



Effecten van groenelementen op de luchtkwaliteit

Samenvattende rapportage en perspectieven toepassing groenelementen voor het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit rondom stallen

Annette Pronk, Nico Ogink, Henk Jan Holterman, Peter Hofschreuder & Izaak Vermeij





Effecten van groenelementen op de luchtkwaliteit

Samenvattende rapportage en perspectieven toepassing groenelementen
voor het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit rondom stallen

Annette Pronk¹, Nico Ogink², Henk Jan Holterman¹, Peter Hofschreuder² &
Izaak Vermeij²

¹ Plant Research International

² Livestock Research

© 2013 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.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.



Ministerie van Economische Zaken

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde

Adres : Postbus 616, 6700 AP 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. Werkingsmechanismen van groenelementen ter verbetering van de luchtkwaliteit	9
2.1 De vervuilende componenten en de verspreiding uit bronnen	9
2.2 De basiseffecten van groenelementen	11
2.2.1 Veranderingen van de windrichting en de windsnelheid rond dichte groenelementen	11
2.2.2 Veranderingen van de windrichting en de windsnelheid rond doorlatende groenelementen	12
2.2.3 De positie van de emissiebron ten opzichte van een groenelement en de windrichting	12
2.2.4 Wegvangen van verontreinigingen: depositie versus opname via huidmondjes	15
2.2.5 Structuurkenmerken van groenelementen	16
3. Resultaten	17
3.1 Conclusies uit onderzoek	17
3.1.1 Verkeersemisies	17
3.1.2 Stalemissies	18
3.2 Samenvattende conclusies	23
3.2.1 Verkeersemisies	23
3.2.2 Emissies uit de veehouderij	24
4. Case studie: groenelementen rondom een veehouderijbedrijf	27
4.1 Randvoorwaarden groenelementen voor een maximaal effect op de fijnstofconcentratie	27
4.1.1 Afstand groenelement tot emissieopening(en)	27
4.1.2 Opbouw van het groenelement	28
4.1.3 Positie bron en groenelement in relatie tot de overheersende windrichting	29
4.2 Toepassen randvoorwaarden bij twee pluimveehouderijsystemen	30
4.2.1 Configuraties en vegetatietypes	30
4.2.2 Landschappelijke waarde van groenelementen	30
4.2.3 Geschatte kosten van groenelementen rondom stallen	32
4.3 Borging maatregel groenelementen als instrument voor verbeterde luchtkwaliteit	35
5. Conclusies en aanbevelingen	37
5.1 Conclusies uit onderzoek	37
5.2 Aanbevelingen	37
Literatuur	39
Bijlage I. Risicoschatting van ammoniakschade aan gewassen in de directe omgeving van intensieve veehouderijbedrijven	1 p.
Bijlage II. Indeling van bomen en stuiken naar ammoniak (NH ₃) gevoeligheid (Franzaring & Dijk 2000)	1 p.

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. Een vergaande bundeling van kennis van Plant Research International en Livestock Research en de intensieve samenwerking was nodig om dit onderzoek te kunnen uitvoeren. De verkregen basiskennis op dit terrein verdiept en verbetert de kennis van de interceptie van fijnstof door groenelementen.

Ter ondersteuning van het beleid om luchtkwaliteit te verbeteren door toepassing van groenelementen bestaat er behoefte aan een overkoepelende samenvattende rapportage. Deze rapportage geeft een integraal overzicht van de beschikbare informatie uit onderzoeken en publicaties, zowel Nederlands als internationaal, met medeneming van alle facetten die relevant zijn voor het instrument groenelementen. Het hoofddaccent ligt daarbij op toepassing in de veehouderij. De rapportage geeft stand van zaken weer en weerspiegelt de opvattingen en interpretaties die wetenschappelijk als verantwoord kunnen worden beschouwd. Het overzicht is verbreed met twee case studies waardoor het gebruikt kan worden als ondersteunend document voor het verder ontwikkelen van beleid op dit terrein.

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

Annette Pronk

Projectleider van het project interceptie fijnstof door opgaande gewassen.
Plant Research International, Wageningen UR.

Samenvatting

In Nederland moet de luchtkwaliteit aan een aantal door de Europese Unie vastgestelde normen voldoen. Voor een beperkt aantal stoffen is het op sommige locaties moeilijk om aan deze normen te voldoen. Verkeersemissies en stalmissies kunnen in specifieke situaties en op specifieke locaties aanleiding geven tot normoverschrijding, zodat maatregelen nodig zijn om deze overschrijdingen te voorkomen. De concentratie van een vervuילende stof bestaat uit een achtergrondconcentratie en een bijdrage uit een bron. Diverse maatregelen worden onderzocht om de bijdrage van de bron terug te dringen. Maatregelen kunnen de bronbijdrage (de emissie) verlagen maar maatregelen kunnen ook gericht zijn op het verminderen van emissies nadat ze in de lucht zijn gekomen.

Bomen en struiken in een houtwal, een groenelement, kunnen een bijdrage leveren aan het verlagen van de concentratie emissies in de lucht. Twee processen dragen daaraan bij. Ten eerste neemt de concentratie af door extra verdunning doordat de emissie door opstuwing met meer schonere lucht wordt gemengd. Ten tweede blijft een deel van de emissie op de bomen achter waardoor de concentratie afneemt.

In het eerste deel van deze studie wordt een samenvatting gegeven van de potentie van groenelementen om de concentraties fijnstof (PM_{10}) en NO_2 afkomstig van verkeer en fijnstof (PM_{10}), ammoniak en geur afkomstig van stallen, te verlagen. In het tweede deel wordt een casestudie voor een groenelement rondom een veehouderijbedrijf uitgewerkt, gevolgd door algemene conclusies en aanbevelingen.

De algemene effecten van groenelementen op de concentraties fijnstof en gasvormige componenten kunnen als volgt worden samengevat:

- De concentratie van vervuילende stoffen wordt verlaagd doordat:
 1. het groenelement een bijdrage levert via extra verdunning door opstuwing van de vervuilde lucht, waardoor extra inmenging met schonere lucht optreedt,
 2. het groenelement emissies/vervuilingen uit de lucht afvangt door botsing van deeltjes op gewassen en door opname van gassen (NO_2 en NH_3) via de huidmondjes.
- Het uiteindelijke, verdunnende effect (netto resultaat) van een groenelement op de concentratie vervuילende stoffen op enige afstand achter het groenelement, is de resultante van complexe, elkaar bevorderende maar ook belemmerende, processen (stromingsleer) en daardoor lastig te voorspellen.
- Groenelementen nemen stikstofhoudende gasvormige stoffen (emissies/vervuilingen van NO_2 en NH_3) op uit de lucht en benutten dat voor de groei. De hoeveelheden die nodig zijn voor een goede groei van de gewassen, zijn in het algemeen gering in verhouding tot de hoeveelheden die door verkeer of veehouderij in de lucht gebracht worden. De concentratieafname door permanente opname is in de orde van 'enkele procenten'.

Specifieke conclusies t.a.v. verkeersemissies zijn:

- Groenelementen vangen PM_{10} af. Dit betreft voornamelijk de grotere deeltjes binnen PM_{10} (3 tot 10 μm). Het verkeer stoot voor het overgrote deel een andere deeltjesgrootte uit, <2,5 μm . Groenelementen verlagen wel de massa PM_{10} in de lucht maar vangen de verkeersemissies nauwelijks af.
- In bepaalde situaties kunnen bomen en struiken de lokale concentratie van emissies verhogen, doordat juist de verdunning van de emissies met schonere lucht wordt gehinderd door de bomen (street canyon) en emissies blijven hangen.

Specifieke conclusies t.a.v. veehouderijemissies zijn:

- Groenelementen vangen NH_3 af als gasvormige emissies maar ook in de vorm van secundair fijnstofdeeltjes. Over de afvangst van ammoniak als fijnstofdeeltje is weinig onderzoek bekend.
- Groenelementen kunnen, geschat op basis van experimenten en in een ideale situatie, de PM_{10} emissie op enige afstand achter het groenelement met ongeveer 30% permanent verlagen.
- De geëmitteerde fractie stof > PM_{10} kan zeer waarschijnlijk goed afgevangen worden door een groenelement.
- Een reducerend effect van groenelementen op geur is niet overtuigend aangetoond. Een substantieel effect is ook niet te verwachten. Mogelijk draagt de afvangst van grovere stofdeeltjes enigszins bij aan minder

geurbelasting in de omgeving, maar een dergelijk effect is met de huidige geurmeetmethoden niet goed aan te tonen.

- De kosten van een groenelement voor het verminderen van de concentratie fijnstof zijn laag in vergelijking met andere maatregelen, €0,05 per dierplaats voor een vleeskuikenstal en €0,10 per dierplaats voor een leghennenbedrijf.

Uit deze samenvattende studie komen een aantal aanbevelingen naar voren. Het betreft hier aanbevelingen voor vervolgonderzoek maar ook voor de ontwikkeling van een strategie en visie over de mogelijkheden om groenelementen in te zetten voor een betere luchtkwaliteit.

Aanbevelingen:

- De geschatte concentratieverbetering van ongeveer 30% dient op een veehouderijbedrijf bevestigd te worden. Een perspectievenstudie zou kunnen aangeven of een studie op een veehouderijbedrijf mogelijk is en aan welke randvoorwaarden een dergelijke studie zou moeten voldoen.
- De afvangst van grotere geëmitteerde deeltjes uit de veehouderij kunnen mogelijk goed afgevangen worden door groenelementen. Hoewel deze deeltjesgrootte voor de normen van fijnstof minder interessant is, kan dit wellicht wel een bijdrage leveren aan het verminderen van de emissie van bioaerosolen, die voornamelijk gevonden wordt op de grotere stofdeeltjes (Aarnink *et al.* 2012). Dit zou in de bovengenoemde perspectievenstudie goed meegenomen kunnen worden.
- Een praktijkstudie naar de afvangst van fijnstof en eventueel ammoniak door groenelementen op een veehouderijbedrijf vormt een goede basis voor modelontwikkeling. Speciale aandacht is daarbij nodig voor turbulente stroming rondom ventilatoren en de emissiepluim.

Summary

The Dutch air quality needs to comply with the European standards of the Air Quality Directive (1996). On specific locations and for a limited number of substances, these standards are difficult to meet. Traffic emissions and emissions of animal housing exceed these standards occasionally and measures are taken to reduce emissions to comply with the standards.

The concentration of the contaminant in the air consists of a background concentration and the contribution of the source. Measures to improve air quality can reduce the emissions at the source or emissions when mixed into the ambient air. Among many different measures to improve air quality trees and shrubs, a hedgerow, may improve air quality after emissions have occurred.

Two processes are identified to improve the air quality by hedgerows. First, hedgerows have the ability to lift part of the contaminated air into the lower atmosphere adding the dilution and dispersion processes. Second, hedgerows can and do filter airstreams of contaminants as the contaminants deposit on the vegetation.

This study focusses on the improvement by hedgerows of the contaminants nitrogen dioxide (NO_2) and particulate matter (PM_{10}) emitted by traffic, and particulate matter (PM_{10}), ammonia (NH_3) and odour emitted by animal housing.

In the first part of this study the theory on the improvement of air quality due to hedgerows is presented in short and the effects of a hedgerow on concentrations based on literature and field experiments is evaluated. The second part of the study explores the costs of hedgerows on two types of animal housing, a broiler house and a layer house, followed by a section on how this measure could be used to facilitate regulations on air quality. Finally, general conclusions on hedgerows as a measure to improve air quality and recommendations are presented.

The overall effects of hedgerows on the concentrations of particulate matter and gaseous contaminants are:

- The concentration of contaminants in the air is reduced because:
 1. hedgerows lift part of the contaminated air into the lower atmosphere adding the dilution and dispersion processes and therefore lowering the concentrations,
 2. hedgerows filter part of the emissions by impaction of particles and by uptake of gasses (NO_2 en NH_3) through the stomata, and therefore lowering the concentrations.
- The final effect of a hedgerow on the concentration of a contaminant at some distance behind the hedgerow is the outcome of complex and often contradictory processes (fluid dynamics) and subsequently difficult to predict.
- Hedgerows take up gaseous nitrogen compounds and use them for growth. However, the amounts needed for growth are in general small compared to the emissions by traffic or animal housing. Effects on concentrations are therefore small and estimated to be only a few percentages.

Specific conclusions related to traffic emissions are:

- Hedgerows remove PM_{10} by filtering the air. The fraction best removed is the coarser fraction of PM_{10} (3 tot $10\ \mu\text{m}$) whereas traffic emissions are mainly smaller ($<2,5\ \mu\text{m}$). Therefore, hedgerows reduce PM_{10} concentrations but hardly remove traffic emissions.
- In some situations trees and shrubs may increase concentrations of emissions as the dilution and dispersion is reduced. Local air quality is thus decreased as emissions stay in a limited volume of air and are increased compared to a situation without trees and shrubs. This occurs in so called street canyons.

Specific conclusions related to emissions of animal housing are:

- Hedgerows filter NH_3 as gas as well as fine particles, secondary aerosols. The second process is relatively few investigated.
- Based on field experiments and in an optimum situation, it is estimated that approximately 30% of the particulate matter can be trapped by the hedgerow. The conditions are optimal when the hedgerow is of the

same height as the emission plume and at some distance of the source so that the emissions are homogeneously mixed in the ambient air. Because the particulate matter is trapped and removed permanently, the concentration at some distance behind the hedgerow is permanently reduced.

- Based on field experiments, it is estimated that the emitted fraction $> PM_{10}$ is trapped even better by the hedgerow than PM_{10} .
- As expected, an effect of hedgerows on odour has not been found in this study. It might, however, be possible to reduce odour concentrations by trapping the larger particles but the current techniques to investigate odour concentrations are hardly capable to evaluate an effect of hedgerows on odour concentrations.
- Total costs to reduce particulate matter are relatively low and ranged from €0.05 to €0.10 per animal produced for broiler farms and layer farms, respectively.

This study shows some possibilities for the use of hedgerows to improve air quality but also points out a number of unanswered questions. Therefore, some recommendations are presented which include topics for investigation but also the need for a future plan and a view on the use of hedgerows to improve (local) air quality.

Recommendations:

- On farm experiments should be done to validate the potential reduction of the PM_{10} concentration of 30%. To facilitate the on farm experiments, a desk study needs to be done on the experimental layout and the boundary conditions for a successful experiment. The issue is complex, multidisciplinary and requires a good thought before starting.
- Hedgerows may filter the emitted fraction of dust $> PM_{10}$ even better than 30%. Although these particles are not included in the regulations of dust, they are associated with health problems due to endotoxins and bacterial / fungal disease transmission (Aarnink *et al.* 2012). This potential benefit of hedgerows may be included in the study preliminary study as mentioned above.
- An on-farm study on the effects of a hedgerow on dust and possibly ammonia concentrations contributes to model development. Specific questions to be answered for model development are: - what are the fluid dynamics around the animal housing and, - what is the dispersion of the emission plume from the animal housing ventilators.

1. Inleiding

In de samenvattende rapportage wordt de toepassing van groenelementen ter verbetering van luchtkwaliteit onderscheiden naar twee hoofdgebieden. Enerzijds is dit de toepassing gerelateerd aan de verbetering van luchtkwaliteit langs wegen en anderzijds is dit de toepassing gerelateerd aan de verbetering van de luchtkwaliteit bij stallen in de veehouderij. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat hier sprake is van sterk verschillende brontypes met verschillende vervuilende componenten (Tabel 1).

Tabel 1. *Verzurende en grootschalige luchtverontreiniging. Bron: Emissieregistratie¹.*

	1990		1995		2000		2005		2010	
	10 ⁶ kg	%	10 ⁶ kg	%	10 ⁶ kg	%	10 ⁶ kg	%	10 ⁶ kg	%
Stikstofoxiden (NO _x)	566		472		398		346		280	
Wegverkeer	243	43	187	40	122	31	118	34	104	37
Ammoniak (NH ₃)	355		208		161		140		124	
Landbouw	333	94	187	90	121	75	109	78	107	86
Fijnstof (PM ₁₀)	67		50		39		33		30	
Wegverkeer	15	23	12	25	10	27	9	26	7	23
Overig verkeer	5	8	5	9	4	11	3	10	2	8
Landbouw	4,8	7	4,8	10	5,7	15	5,9	18	6,1	20

¹ Conform de NEC-richtlijnen: feitelijke emissies exclusief zeescheepvaart (zie IPCC- en NEC-emissies: verkeer en vervoer).

* De cijfers over 2010 zijn voorlopig. De definitieve cijfers worden in maart 2012 vastgesteld.

Voor beide hoofdgebieden komen de volgende aspecten aan de orde in het eerste deel van de rapportage (hoofdstuk 2 en 3):

- Welke werkingsmechanismen/processen spelen een rol (deeltjes versus gasvormige componenten) bij het verbeteren van de luchtkwaliteit door groenelementen?
- Welke werking kan verwacht worden van groenelementen op de omgevingsconcentraties van vervuilende componenten (fijnstof, NO_x, ammoniak, geur) uit de te bestrijden bronnen?
- Welke conclusies kunnen getrokken worden uit beschikbare onderzoeksresultaten over de effectiviteit van groenelementen m.b.t. het verbeteren van de verschillende luchtkwaliteitsparameters?

Het hoofddaccent van de samenvattende rapportage ligt bij de potentie van toepassing van groenelementen in de veehouderij. Daarom gaan de volgende componenten alleen over de toepassing bij stallen (hoofdstuk 4 en 5):

- Aan welke randvoorwaarden zouden groenelementen rondom stallen moeten voldoen om de maximale verbetering van de luchtkwaliteit te garanderen (Par. 4.1)?
- Hoe ziet de voorziene toepassing van groenelementen rondom stallen er in de praktijk uit, of zou deze er uit kunnen zien? Welke configuraties en vegetatietypes komen hiervoor in aanmerking (Par. 4.2)?
- In hoeverre kunnen de functies verbetering landschappelijke kwaliteit en luchtkwaliteit worden gecombineerd, ook rekening houdend met andere aspecten van groenelementen als inpasbaarheid in landelijk gebied, biodiversiteit en streekgebonden vegetatietypes (Par. 4.2.2)?
- Wat zijn de ordes van grootte qua kosten van toepassing van groenelementen rondom stallen (aanleg en onderhoud, Par. 4.2.3)?

- Welke mogelijkheden zijn er om de effecten van groenelementen op de luchtkwaliteit rondom stallen te evalueren?
- Hoe kan de effectiviteit van groenelementen als instrument voor verbeterde luchtkwaliteit in de praktijk geborgd worden (Par. 4.3)?
- Zijn er aspecten in de toepassing van groenelementen rondom stallen, die nader aandacht verdienen in het onderzoek, en zo ja welke (Par. 5.2)?

De algemene doelstelling van het onderzoek is het opstellen van een samenvattende rapportage over de toepassing van groenelementen als instrument ter verbetering van de luchtkwaliteit.

2. Werkingmechanismen van groenelementen ter verbetering van de luchtkwaliteit

In dit hoofdstuk worden de werkingmechanismen van groenelementen besproken die tot een verbetering van de luchtkwaliteit kunnen leiden. Het gaat daarbij om verschillende werkingmechanismen die elkaar in bepaalde situaties versterken maar elkaar in andere situaties kunnen tegenwerken. Daardoor kan op het eerste gezicht een resultaat onverwacht zijn, omdat dezelfde werkingmechanismen in een net andere situatie een andere resultaat kan hebben. Deze studie behandelt een beperkt aantal vervuilende stoffen uit het verkeer, (fijnstof en NO_2) en uit stallen, (fijnstof, ammoniak (NH_3) en geur). De vervuilende stoffen worden door de bron in de lucht gebracht. Die lucht heeft al een zekere concentratie van de vervuilende stoffen, de zogenaamde achtergrondconcentratie. Eisen aan luchtkwaliteit zijn geformuleerd in termen van concentraties. Het betreft hier de achtergrondconcentratie van een bepaalde stof plus de bijdrage van nabije bronnen. De achtergrondconcentratie en de bijdrage van de lokale bron(nen) vormen samen de actuele concentratie en die moet aan bepaalde eisen voldoen. Een verbetering van de luchtkwaliteit kan nu gerelateerd worden aan de bijdrage uit lokale bronnen, de emissie, maar ook aan de actuele concentratie (achtergrond + lokale bijdragen). Deze verschillende wijzen van het benoemen van een verbetering van de luchtkwaliteit leidt tot aanzienlijke verschillen in percentages verbeteringen (Pronk *et al.* 2012). In deze rapportage wordt daarom steeds benoemd ten opzichte van welke referentie, namelijk de actuele concentratie of de bronbijdrage, de verbeteringen optreden.

2.1 De vervuilende componenten en de verspreiding uit bronnen

Fijnstof

Fijnstof is de benaming voor deeltjes die in de lucht voorkomen tot een (aerodynamische) diameter van 10 micrometer, PM_{10} . Het is daarmee een bonte verzameling van deeltjes van verschillende grootte, chemische samenstelling en herkomst. De samenstelling van fijnstofdeeltjes in de lucht kan daardoor sterk variëren.

Een deel van de fijnstofconcentratie in de lucht bestaat uit deeltjes van natuurlijke oorsprong, zoals opwaaiend bodemstof en zoutdeeltjes. Een groot gedeelte van de fijnstofconcentratie wordt echter door de mens in de lucht gebracht en is afkomstig uit o.a. verbrandingsmotoren zoals verkeer en industrie, en uit stallen. Fijnstof uit menselijk handelen bestaat uit primaire en/of secundaire deeltjes. Primaire deeltjes zijn deeltjes die door de bron in de lucht zijn gebracht en daar weinig tot geen veranderingen ondergaan zoals roetdeeltjes, rubber van autobanden en slijpsel van draaiende machines. Secundaire deeltjes kunnen in de lucht worden gevormd uit andere aanwezige componenten, onder andere uit zwaveldioxide (SO_2), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3) (Buijsman *et al.* 2005). De vorming van secundaire fijnstofdeeltjes hangt af van de klimatologische omstandigheden en de concentratie aan stoffen die de vorming van fijnstof mogelijk maken (precursorstoffen).

De uitstoot van fijnstof uit het verkeer (primaire fijnstof) bestaat voor het overgrote deel uit deeltjes $< 2,5 \mu\text{m}$. De grootte van de deeltjes hangt af van het type voertuig en de rijsnelheid. De fijnstof uit stallen bestaat uit mest-, huid-, voer- en strooiseldeeltjes. Gemiddeld is slechts 6% van de PM_{10} -massa uit stallen kleiner dan $2,5 \mu\text{m}$. Het overgrote deel van de massa van fijnstofemissies uit stallen is afkomstig van deeltjes tussen de $2,5$ en $10 \mu\text{m}$ (Aarnink *et al.* 2011). Het gaat bij de emissie van fijnstof uit stallen om primaire fijnstofdeeltjes. Ammoniak uit stallen kan in de lucht verbindingen aangaan met andere gasvormige componenten zodat er secundaire fijnstofdeeltjes ontstaan.

Gasvormige componenten worden door groenelementen afgevangen via diffusie terwijl fijnstof wordt afgevangen door diffusie, impactie of sedimentatie (Par. 2.2.4). Gasvormige componenten, die groeien tot fijnstofdeeltjes, gedragen zich als fijnstofdeeltjes en kunnen derhalve ook door impactie en sedimentatie worden afgevangen.

Gasvormige componenten

De vervuilende gassen NO en NO₂ komen vooral vrij uit verbrandingsmotoren, waardoor verkeer een belangrijke bijdrager is. Tezamen worden deze stoffen NO_x genoemd. Een deel van de emissie van NO_x is NO₂. Daarnaast wordt NO vrij snel na het vrijkomen omgezet in NO₂ via een groot aantal chemische reacties. Voor deze omzettingen zijn o.a. zonlicht en ozon nodig. In gebieden met veel verkeeremissies is de concentratie ozon daardoor relatief laag terwijl juist NO₂ in hogere concentraties voorkomt.

Meer dan 90% van de ammoniakemissie (NH₃) is afkomstig uit de veehouderij (Jimmink *et al.* 2011). De emissie wordt veroorzaakt door de afbraak van ureum en de microbiële afbraak van eiwitten. Belangrijk daarbij zijn de temperatuur en de zuurgraad van mest. Gasvormig ammoniak kan onder bepaalde klimatologische omstandigheden samen met andere gasvormige componenten (SO₂) groeien tot secundair fijnstof (Buijsman *et al.* 2005).

Geur wordt door een grote diversiteit aan bronnen uitgestoten en bestaat veelal uit mengsels van een groot aantal gassen. Beneden een zekere drempelwaarde ruiken we geur niet. Deze grens is sterk individu afhankelijk en hangt ook van de leeftijd van personen af. Hoe ouder een persoon, hoe slechter deze kan ruiken. Om die reden worden voor metingen van geurconcentraties (in Odour Units per m³, OU/m³) gecertificeerde geurpanels gebruikt. Een OU wordt gedefinieerd als die hoeveelheid van geurstoffen in een kubieke meter lucht, waarbij 50% van het gecertificeerde panel met zekerheid de geur kan onderscheiden van geurloze lucht.

Naast het ruiken van geur is het ook belangrijk hoe geur wordt ervaren. De geur van koffie wordt anders ervaren dan de geur van een veedestructiebedrijf. De klassering naar appreciatie (schaal -4 t/m 4) wordt de hedonische waarde genoemd, waarbij -4 staat voor aangenaam en +4 voor zeer onaangenaam. Voor de beoordeling van de geurconcentratie voor een geurgevoelig object wordt een maat gehanteerd, die zowel afhankelijk is van de hedonische waarde als het geurniveau (concentratie). Daarbij geldt als maat het 98 percentiel, de waarde die gedurende 2% van de tijd wordt overschreden.

Veehouderij bedrijven zijn één van de vele categorieën van geur uitstotende bedrijven. Hiervoor zijn per diercategorie emissiefactoren vastgesteld en is een speciaal verspreidingsmodel (V-Stacks, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2010-9998.html>) ontwikkeld. Emissies worden daarbij alleen betrokken op stalemissies.

Emissies uit lijnbronnen en puntbronnen

Emissies komen in de lucht doordat een bron die uitstoot. De bron kan een auto zijn die over een weg rijdt, een schoorsteen van de industrie of een ventilator van een stal. Veel auto's op een weg stoten vervuilende stoffen uit waardoor deze uitstoot als een lijnbron beschouwd kan worden. Deze lijnbron mengt met de lucht en wordt door de wind meegevoerd. Vanuit fysische principes verspreiden de emissies zich over een steeds groter volume zodat de concentraties afnemen doordat ze mengen met relatief schonere lucht. Dit proces heet turbulente diffusie, een proces waarbij stoffen in de lucht streven naar een homogene concentratie maar waarbij ook aanvullende fysische processen een bijdrage leveren aan de verspreiding. Ook emissies uit een puntbron, zoals een ventilator of een schoorsteen, verspreiden zich via turbulente diffusie.

Industriële emissies worden meestal als puntbron beschouwd in de berekeningen, waarbij meestal het effect van gebouwen op de verspreiding wordt meegenomen.

De emissies uit stallen worden gekenmerkt door een verspreiding uit één of meerdere puntbronnen, zoals de verticale emissie via dakventilatoren (vooral voor varkensstallen), de horizontale emissie via ventilatoren in de kopgevel (vooral voor pluimveestallen) of de natuurlijke ventilatie door (regelbare) openingen in zijgevels of ventilatie

via de nok (rundveestallen). Recente ontwikkeling bij de rundveestallen zijn het geheel ontbreken van een zijwand. De windsnelheid wordt dan gereduceerd met een windscherm (gaas). In de berekeningen van de effecten van emissies op de luchtkwaliteit wordt rekening gehouden met deze verschillende emissieroutes. Dichtbij de dakventilator wordt de uitstoot beschouwd als een emissie vanuit een puntbron. Ook op grotere afstand wordt de uitstoot van een of meerdere ventilatoren naast elkaar beschouwd als een emissie van een puntbron.

2.2 De basiseffecten van groenelementen

Groenelementen hebben invloed op de windrichting en de windsnelheid, doordat wind door en over een groenelement heen waait. De samenstelling van het groenelement, met name de porositeit (doorlatendheid) heeft een grote invloed op de veranderingen van de windrichting en de windsnelheid. De stroming rondom een dicht groenelement is daardoor anders dan rondom een poreus groenelement (Heisler & Dewalle 1988).

Op enige afstand voor het groenelement verandert de wind van richting doordat het groenelement de vrije doorstroming blokkeert. De wind wordt als het ware voorbereid om (gedeeltelijk) over het groenelement heen te waaien. De stijging begint al op geruime afstand voor het groenelement, op een afstand van ongeveer 10 maal de hoogte van het groenelement.

Wind, die door een groenelement heen waait verlies energie zodat de windsnelheid afneemt. Hoe dichter het groenelement is, hoe minder wind erdoorheen waait en hoe meer eroverheen waait. Bij een ondoorlatend groenelement gaat alle wind over de bomen heen.

Emissies kunnen ten opzichte van een groenelement op verschillende plaatsen optreden. De effecten van het groenelement op de emissieconcentratie zijn afhankelijk van de positie van de emissiebron ten opzichte van de windrichting en het groenelement. De verschillende situaties worden hieronder toegelicht.

2.2.1 Veranderingen van de windrichting en de windsnelheid rond dichte groenelementen

Een weinig doorlatend groenelement stuwt de wind hoofdzakelijk over het groenelement heen (Figuur 1, links). De pijlen in Figuur 1 (links van het groenelement) geven aan dat een gedeelte van de wind recht op het groenelement waait maar een groot gedeelte eroverheen. Doordat de wind nauwelijks door het dichte groenelement heen kan waaien ontstaan kleine wervelingen aan de windzijde van het groenelement. Achter het dichte groenelement ontstaan grotere wervelingen doordat de luchtstroom naar beneden afbuigt. Voor niet al te hoge windsnelheden benadert de stroming rondom een dicht groenelement dat van een geluidswal of een geluidsscherm, beide ondoorlatend. Echter, een dicht groenelement heeft een onregelmatige en een iets doorlatende bovenkant die bovendien beweegt in de wind. De recirculatie achter een dicht groenelement zal daardoor minder scherp en turbulent zijn dan bij een scherm en daardoor treedt minder inmenging op.

Achter het groenelement is de windsnelheid sterk afgenomen. Op grotere afstand achter het groenelement, ongeveer 20 maal de hoogte van de haag, herstelt de windsnelheid tot de oorspronkelijke snelheid.



Figuur 1. Schematische weergave van de stroming rond een dicht groenelement zonder emissiebron.

2.2.2 Veranderingen van de windrichting en de windsnelheid rond doorlatende groenelementen

Bij een doorlatend groenelement waait een groter gedeelte van de wind door het element heen dan bij een dicht groenelement en een kleiner gedeelte er overheen (Figuur 2). De pijlen in Figuur 2 (links van het groenelement) geven aan dat een gedeelte van de wind er overheen waait maar een groot gedeelte door het groenelement waait. Aan de windzijde ontstaan daardoor geen wervelingen. Aan de achterkant is de windsnelheid wel afgenomen maar die afname is kleiner dan bij een dicht groenelement. Daardoor ontstaan aan de achterkant van een poreus groenelement nauwelijks wervels. Achter het groenelement is de windsnelheid afgenomen. Op grotere afstand achter het groenelement, ongeveer 20 maal de hoogte van de haag, herstelt de windsnelheid tot de oorspronkelijke snelheid.



Figuur 2. Schematische weergave van de stroming rond een doorlatend groenelement zonder emissiebron.

2.2.3 De positie van de emissiebron ten opzichte van een groenelement en de windrichting

De emissie kan op verschillende plaatsen ten opzichte van het groenelement en de windrichting optreden. De emissie kan aan de windzijde in of aan de lijzijde. In Figuur 3 en Figuur 4 is de emissiebron aangegeven met een rode vrachtauto, boven aan de windzijde en onder aan de lijzijde. In deze schematische weergave wordt een situatie geschetst waarbij de windrichting loodrecht op de bron (vrachtauto) en het groenelement staat, aangegeven door de pijltjes in de figuur.

Bij de effecten van het groenelement op de verspreiding van de emissies, wordt dit vergeleken met een situatie zonder groenelement. In het navolgende stukje worden 4 situaties beschreven:

- Emissie aan de *wind*zijde van een *dicht* groenelement.
- Een emissie aan de *lij*zijde (in de luwte) van een *dicht* groenelement.

- Een emissie aan de *windzijde* van een *poreus/doorlatend* groenelement.
- Een emissie aan de *lijzijde* (in de *luwte*) van een *poreus/doorlatend* groenelement.

Emissie aan de windzijde van een dicht groenelement.

In Figuur 3 boven is de situatie voor een dicht groenelement weergegeven waarbij de emissies aan de windzijde optreden. De emissies komen als een lijnbron nabij het dichte groenelement vrij. Figuur 3 boven illustreert hoe emissies worden meegevoerd met de wind dwars over de weg richting het groenelement, hoe de emissies worden opgestuwd en hoe ze via turbulentie achter het groenelement naar beneden stromen. Achter het groenelement, rechts in deze figuur, is de windsnelheid afgenomen. De kleine wervelingen aan de voorzijde van het dichte groenelement kunnen vervuilde lucht laten terugstromen waardoor vermenging met schone lucht minder optreedt.

In vergelijking met een situatie zonder groenelement kunnen de concentraties van de emissies aan de windzijde toenemen, doordat de lucht terugstroomt. Het gedeelte van de emissies dat juist omhoog gestuwd wordt, vermengt met meer lucht, zodat de concentraties van de omhoog gestuwde emissies afnemen. Het netto effect op de concentraties is lastig in de schatten. In de meeste situaties is de verwachting dat de concentraties van de emissies bij een redelijke windsnelheid sneller afnemen dan in een situatie zonder dicht groenelement. Dit komt doordat de emissies met de lucht omhoog gestuwd worden en extra gemengd worden met schonere lucht uit hogere luchtlagen.



Figuur 3. Schematische weergave van de stroming rond een dicht groenelement met een emissiebron, de vrachtauto, aan de windzijde (boven) en in de luwte (onder) van het groenelement.

Een emissie aan de lijzijde (in de luwte) van een dicht groenelement

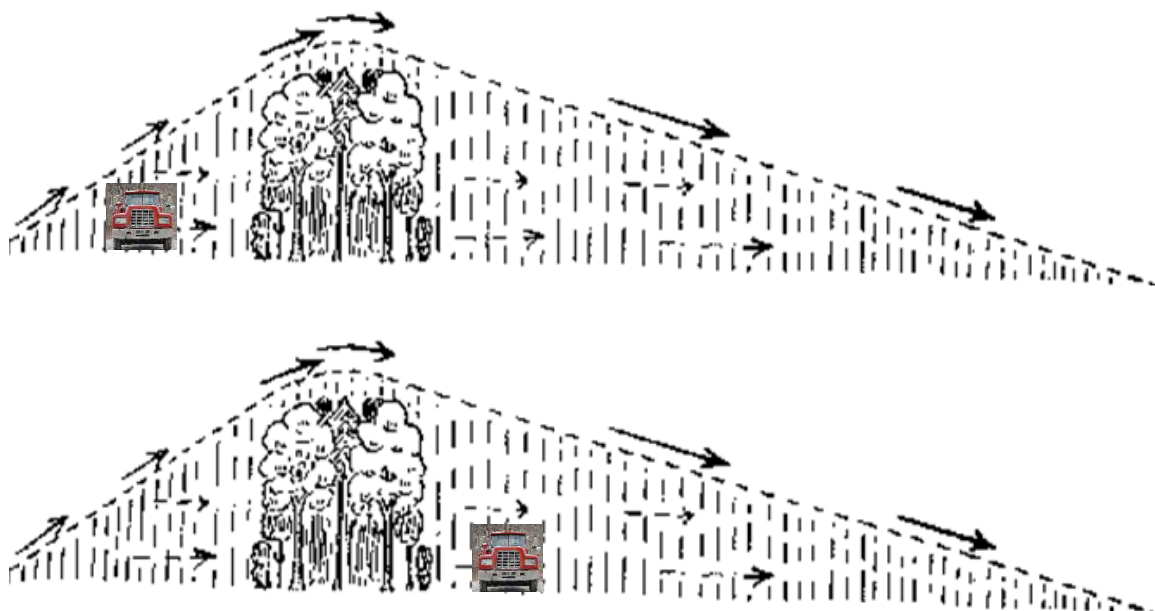
In Figuur 3 onder is de situatie voor een dicht groenelement weergegeven waarbij de emissies aan de lijzijde optreden. De emissies komen als een lijnbron nabij het dicht groenelement vrij. Figuur 3 onder illustreert dat emissies weinig worden meegevoerd omdat de wind achter het groenelement door de turbulentie in kringetjes blijft rondcirkelen. Ook is de windsnelheid aan de lijzijde, de luwte, afgenomen.

In vergelijking met een situatie zonder groenelement nemen de concentraties van de emissies toe aan deze lijzijde van het groenelement.

Een emissie aan de windzijde van een poreus/doorlatend groenelement

In Figuur 4 boven is de situatie voor een poreus groenelement weergegeven waarbij de emissies aan de windzijde optreden (links van de haag). Deze situatie is net iets anders dan bij een dicht groenelement. Een deel van de lucht met emissies waait in deze situatie door het groenelement heen, het andere deel waait er overheen. In het groenelement wordt een beperkt gedeelte van de emissies afgevangen doordat deze op de bladeren en takken van de bomen botsen of via de huidmondjes kunnen worden opgenomen (zie ook Par. 2.2.4). Uiteindelijk waait de wind weer uit het groenelement maar heeft aan kracht ingeleverd. De niet afgevangen emissies stromen met de wind de haag uit en kunnen hier ophopen door de sterk afgenomen windsnelheid. Door de afwezigheid van turbulentie mengen de emissies zich minder met schonere lucht en kan de concentratie oplopen. Het netto effect op de concentratie is moeilijk te voorspellen.

In vergelijking met een situatie zonder groenelement is het effect op de concentraties sterk afhankelijk van de windsnelheid en de hoeveelheid massa die door de haag wordt afgevangen.



Figuur 4. Schematische weergave van de stroming rond een poreus groenelement en emissiebronnen, de vrachtwagen, aan de windzijde (boven) en in de luwte (onder) van het groenelement.

Een emissie aan de lijzijde (in de luwte) van een poreus/doorlatend groenelement

In Figuur 4 onder is de situatie voor een poreus groenelement weergegeven waarbij de emissies aan de lijzijde optreden. De emissies komen als een lijnbron nabij het dicht groenelement vrij. Figuur 4 onder illustreert dat emissies weinig worden meegevoerd omdat de wind achter het groenelement sterk is afgenomen.

In vergelijking met een situatie zonder groenelement nemen de concentraties van de emissies toe aan deze lijzijde van het groenelement.

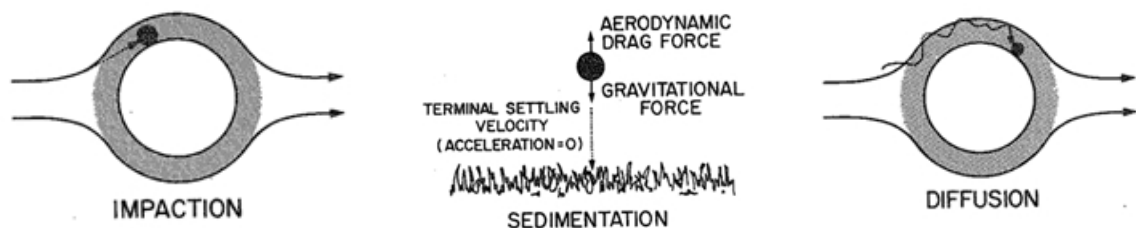
2.2.4 Wegvangen van verontreinigingen: depositie versus opname via huidmondjes

Er bestaan verschillende processen waarbij verontreinigingen uit de lucht worden verwijderd. Het eerste onderscheid is de verdeling tussen natte en droge processen. Natte processen zijn vooral de verwijdering via neerslag, mist en sneeuw. Deze processen worden niet verder besproken. Droge processen zijn impactie, sedimentatie en diffusie (Figuur 5) (Twomey 1977).

Planten vangen fijnstof af doordat deeltjes tegen naalden, bladeren of takken aanbotsen. Deze manier van deeltjes uit de lucht verwijderen kan beschreven worden met verschillende fysische processen zoals impactie, sedimentatie en diffusie (Figuur 5). Bij impactie vliegt het deeltje als het ware tegen het oppervlak aan omdat het deeltje de luchtstroom om het botsingsoppervlak heen niet kan volgen. Zwaardere en/of grotere fijnstofdeeltjes vliegen eerder rechtdoor dan lichtere en/of kleinere deeltjes. Sedimentatie is een proces waarbij het deeltje onder invloed van zijn eigen gewicht uitzakt en uiteindelijk op een oppervlak terecht komt. Diffusie treedt vooral op bij deeltjes $< 1 \mu\text{m}$, doordat deze kleine deeltjes zich gaan gedragen als een gas. Een gas streeft naar gelijke concentraties in de lucht en het proces om tot gelijke concentraties te komen wordt diffusie genoemd. Aan een blad- of naaldoppervlak is de concentratie nul zodat deeltjes daarnaartoe bewegen. Afhankelijk van de situatie (o.a. deeltjesgrootte, windsnelheid) voert één proces de boventoon en is daardoor verantwoordelijk voor de afvangst.

De fysische processen zijn afhankelijk van de structureigenschappen van de gewassen maar ook van de deeltjesgrootte, de massa en de windsnelheid. Een belangrijk kenmerk is de totale hoeveelheid 'botsingsoppervlak', hoe meer oppervlak hoe meer deeltjes er tegenaan kunnen botsen maar ook de verhouding tussen oppervlak en volume van het botsingsoppervlak is belangrijk voor de botsingskans. Een groot oppervlak in relatie tot het volume is gunstig, omdat hierdoor veel stroming aan het oppervlak ontstaat en botsingen gestimuleerd worden. Bomen hebben veel 'botsingsoppervlak' per m^2 grondoppervlak, doordat alle bladeren, naalden en takken meedoen. Sommige bomen kunnen tot 10 bladlagen per m^2 grondoppervlak hebben, wat een Leaf Area Index (LAI) van 10 wordt genoemd. Bij naaldbomen is de vorm gunstig doordat het naaldoppervlak relatief groot is ten opzichte van het volume van de naalden. Ook het jaar rond aanwezig zijn van de naalden is een groot voordeel ten opzicht van bladverliezende bomen voor het afvangen van fijnstof.

Planten nemen gasvormige componenten op uit de lucht voor de groei. Ook NO_2 kan opgenomen worden. De opname vindt plaats via de huidmondjes en de gasvormige component wordt daardoor permanent uit de lucht verwijderd. De openingstoestand van de huidmondjes bepaalt de opname van NO_2 . De openingstoestand is afhankelijk van de aanwezigheid van licht en de mogelijkheid van de planten om voldoende water op te nemen. In het huidmondje wordt het goed oplosbare NO_2 door de celwand heen getransporteerd en verwerkt (Van der Eerden *et al.* 1998). Door deze goede oplosbaarheid neemt de concentratie in het huidmondje af en komt nieuwe NO_2 het huidmondje binnen. Planten met veel huidmondjes nemen relatief veel NO_2 op. Vaak zijn dit planten met brede en dunne bladeren. In de winter wordt NO_2 niet opgenomen doordat bladverliezende planten geen blad hebben en doordat groenblijvende planten in de winter nauwelijks groeien wegens het lage lichtniveau en de lage temperatuur.



Figuur 5. Schematisch overzicht van de drie fysische processen van de verwijdering van verontreinigingen uit de lucht (Davidson & Wu 1990)

2.2.5 Structuurkenmerken van groenelementen

Een groenelement beïnvloedt de luchtkwaliteit zowel via het afvangen van verontreiniging door de bladeren als via de structuur. Een duidelijk onderscheid tussen de effecten door afvangen en door de structuur is lastig, omdat ook afvangen mede wordt bepaald door de structuur van de bladeren. Wel is duidelijk dat de structuur van de gewassen in het groenelement een duidelijke invloed heeft op de windsnelheid voor, boven en in het groenelement. Ook is duidelijk dat de structuur van een groenelement aan een grote dynamiek onderhevig is, zowel op jaarbasis als gedurende de levenscyclus. Een aantal kenmerken van de structuur van groenelementen en de effecten op de luchtkwaliteit zijn hierboven al benoemd, maar hier volgt een kort overzicht.

De afmetingen

Een belangrijk aspect is de afmeting van het groenelement. De hoogte en de diepte/breedte (loodrecht op de aanstromende windrichting) bepalen in grote mate de veranderingen van de luchtstroming en daarmee de mate waarin verontreinigingen in contact komen met bladeren. Hoe hoger de beplanting hoe groter het gebied waarbinnen de luchtsnelheid afneemt en ook hoe groter het botsingsoppervlak met de verontreinigingen. Vooral de eerste bomenrij vangt de meeste deeltjes af (Pronk *et al.* 2012), waarschijnlijk doordat daar de windsnelheid het grootste is en de deeltjes daardoor makkelijker 'de bocht uit vliegen' en tegen het botsingsoppervlak aan vliegen.

De porositeit

De porositeit van het groenelement heeft invloed op het gedeelte van de wind die door dan wel over het groenelement heen gaat. Zoals in Par. 2.2.1 is beschreven, waait bij een dicht groenelement een groter gedeelte van de wind over het groenelement heen en emissies in deze stroom komen niet voor afvangst in aanmerking. De porositeit van een groenelement is de resultante van de beplanting maar ook van de wijze waarop de beplanting is aangelegd, bijvoorbeeld de afstand tussen de individuele bomen. Voor het beste rendement van de afvangst moet de beplanting zo homogeen mogelijk binnen het groenelement verdeeld zijn. Een porositeit van ongeveer 30% is optimaal voor de afvangst (Abel *et al.* 1997) van emissies.

Bladeren/naalden

Bladeren vangen zowel fijnstof als stikstofdioxide (NO_2) af. Hoe meer blad des te meer emissies kunnen worden afgevangen. Een maat voor de hoeveelheid blad is het aantal bladlagen per vierkante meter, de 'leaf area index', of de LAI.

In Nederland komen bomen voor die het gehele jaar door groen blijven. Deze groenblijvende bomen kunnen naalden hebben, coniferen, maar ook brede bladeren, zoals rododendron of laurier. Daarnaast zijn er de bladverliezende bomen, waaronder de meeste loofbomen maar ook enkele coniferen zoals *larix*.

Groenblijvende bomen vangen het gehele jaar door fijnstof af doordat de bladeren/naalden jaarrond aanwezig zijn. Naaldbomen hebben doorgaans een grotere LAI dan loofbomen (Breuer *et al.* 2003) en de naaldvormige structuren vangen fijnstof beter af dan brede bladeren. Ook haren op naalden of bladeren bevordert de afvangst van fijnstof, doordat rondom deze haren wervelingen ontstaan die de botsing van deeltjes stimuleert. Een ruw oppervlak bevordert eveneens wervelingen en daarmee de afvangst in vergelijking met een glad en vlak oppervlak. Zo zijn er ook aanwijzingen dat een schimmelaantasting op bladeren de afvangst van fijnstof bevordert (Langner 2006).

Bladverliezende bomen hebben doorgaans grote, brede bladeren en zijn daarmee geschikt voor de opname van NO_2 . Vooral bladeren met veel huidmondjes kunnen NO_2 goed opnemen. NO_2 wordt alleen opgenomen als de bomen groeien en de huidmondjes open staan. Bij vochttekort sluit de plant de huidmondjes om de verdamping te verminderen en kan dan ook geen NO_2 meer opnemen. Anders dan bij de afvangst van fijnstof spelen de groeiomstandigheden voor het verwijderen van NO_2 een belangrijke rol: er moet voldoende licht zijn (alleen overdag opname), voldoende beschikbaar water aanwezig zijn voor het gewas en voldoende temperatuur, in de winter geen groei en dientengevolge geen opname, ook niet bij groenblijvende gewassen.

3. Resultaten

3.1 Conclusies uit onderzoek

3.1.1 Verkeersemissies

In deze studie wordt de term 'groenelementen' voor de effecten op verkeersemissies ruim geïnterpreteerd: van een bosgebied, via een windsingel of bomenhaag tot een boom of struik in een straat. Ook kunnen de effecten bekeken worden in het landelijk gebied langs drukke (snel)wegen, in verstedelijkte buitengebieden en in stedelijke gebieden, en kan een verbetering betrekking hebben op de lokale luchtkwaliteit of een algehele verbetering van de luchtkwaliteit.

Onderzoek naar de effecten van groenelementen op fijnstof en NO_2 uit verkeer voor een verbetering van de luchtkwaliteit bestaat uit grofweg twee categorieën: metingen en modelanalyses. De metingen hebben betrekking op verbeteringen van de lokale luchtkwaliteit en zijn sterk gericht op het verminderen van de bronbijdrage (verkeersemissies). Met metingen is het echter erg moeilijk om significante verbeteringen van de concentraties fijnstof en NO_2 aan te tonen. Dat komt omdat de verbeteringen vastgesteld worden in de actuele lucht, de bronbijdrage met de achtergrondconcentratie. De verbeteringen zijn meestal beperkt en vallen daardoor binnen de grote spreiding van de metingen. Het wetenschappelijk aantonen van een effect op de concentraties wordt daardoor lastig. Met modelstudies worden verbeteringen berekend die vooral betrekking hebben op grotere gebieden en minder op de lokale luchtkwaliteit. De berekende verbeteringen zijn meestal ook beperkt, maar gerelateerd aan bronbijdragen in een gebied kan er procentueel nog best een aanzienlijke verbetering uitgerekend worden. Een studie naar alle onderzoeken naar de effecten van groen op de luchtkwaliteit is recentelijk uitgevoerd door Wesseling et al. (2011). De studie betreft een update van de in 2008 uitgevoerde studie waaruit de resultaten grotendeels zijn overgenomen in Tabel 2.

De algemene conclusie uit Tabel 2 is, dat groenelementen een beperkte bijdrage leveren aan het verbeteren van de lokale concentraties fijnstof en NO_2 van maximaal enkele procenten en dat de verbetering voor een groter leefgebied eveneens maximaal enkele procenten is. In slecht één studie, een meetcampagne, was de afname van de totale concentratie NO_2 12 tot 16%. Voor fijnstof werd in de dezelfde studie geen afname vastgesteld.

Tabel 2. Overzicht van de gerapporteerde reducerende effecten van beplanting op de concentraties NO_2 en PM_{10} .

Bron	Inzet	Effect NO_2 *	Effect PM_{10} *
(Wesseling <i>et al.</i> 2004)	Langs snelweg	Afname < 10% ^a	Afname < 15-20% ^a
(Bloemen <i>et al.</i> 2007a)	Langs snelweg	Afname 'zeer gering'	-
(Bloemen <i>et al.</i> 2007b)	Binnenstedelijke weg	Afname < 10-20%	-
(Weijers <i>et al.</i> 2006)	Langs snelweg	Toename < 10% Afname < 20%	^b
(Janssen <i>et al.</i> 2008)	Langs snelweg	Afname < 10% ^c	Afname < 10% ^c
(Van Hove 2006)	Groot gebied	-	Afname < 1%
(Nowak <i>et al.</i> 2006)	Groot stedelijk gebied	Afname < 1%	Afname < 1%
(Bealey <i>et al.</i> 2007)	Groot gebied	-	Afname < 2-7%
(McDonald <i>et al.</i> 2007)	Groot (stedelijk) gebied	-	Afname < 3% (ruraal gebied), Afname 0,4% (urbaan gebied)
(Langner 2006)	Binnenstedelijke weg	-	Afname < 4%
(Beckett <i>et al.</i> 2000)	Binnenstedelijke weg	-	Weinig depositie kleinere deeltjes
(Hofschreuder <i>et al.</i> 2005)	Langs snelweg	Afname < 6%	Afname < 20% ^d
(De Ridder 2003)	Street canyon	-	Toename
(De Ridder 2004)	Stadspark/wijk	-	Afname 'enkele microgrammen'
(Jonkers 2008)	Street canyon	Toename: 20-60% (verkeersbijdrage) ^e	Toename: 20-60% (verkeersbijdrage) ^e
(Keuken 2009)	Binnenstedelijke weg	Afname < 10%	-
(Erbrink <i>et al.</i> 2009)	Langs snelweg	Afname < 1%	Afname < 1%
		Afname < 12-16% ^f	-
(Vermeulen <i>et al.</i> 2009)	Langs snelweg	Afname < 26% ^a	Afname < 5% ^{ag}
(Vankerkom <i>et al.</i> 2009)	Binnenstedelijke weg	Afname < 2% ^a	Afname < 2% ^a
(De Maerschallck <i>et al.</i> 2011)	Binnenstedelijke weg (street canyon)	Toename tot 60% ^a	Afname < 2% tot toename tot 30% ^a

(*) Voor wegen is het effect over het algemeen ten opzichte van de verkeersbijdrage. Vet gedrukt betreft metingen, overige modelleringen of ruwe schattingen.

^a verandering t.o.v. de verkeersbijdrage.

^b Het effect van de beplanting op de deeltjesconcentratie is complex. Er treedt wel depositie op, maar de concentraties achter het groen zijn hoger dan bij de referentiemeting zonder beplanting.

^c De door Janssen *et al.* (2008) gerapporteerde effecten zijn ten opzichte van de totale concentratieniveaus (achtergrond + verkeersbijdrage). Relatief ten opzichte van de verkeersbijdragen zijn de effecten groter. Een factor twee groter is mogelijk.

^d Berekend met een Box model, alleen verkeersbijdrage.

^e Verhoging van de concentratie door minder verdunning.

^f Meting t.o.v. verkeersemissie plus achtergrond.

3.1.2 Stalemissies

Er zijn een beperkt aantal studies uitgevoerd naar het effect van beplanting op de luchtkwaliteit rond stallen. De kwaliteit van deze studies is zeer wisselend, in veel gevallen ontbreken goede controles en directe bladdepositie waarnemingen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3. Voor fijnstof, ammoniak en geur gaat het om het gecombineerde effect van extra verdunning door extra turbulentie die door een groenelement rondom een stal wordt opgewekt en mogelijke depositie van fijnstof, ammoniak en geurcomponenten en op de vegetatie.

Fijnstof

De concentraties luchtvervuilende stoffen in de stallen zijn hoog ten opzichte van de achtergrondconcentratie. Voor fijnstof variëren de concentraties van de emissies van 300-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor rundveestallen, 800-1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor varkensstallen en 1000-5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor pluimveestallen (Aarnink *et al.* 2011). Deze concentraties zijn overigens van zeer veel factoren afhankelijk zoals o.a. de ontwikkelingsfase van de dieren (bij opfok), wel of geen strooisel in de stal, en stofbeperkende maatregelen.

Malone (2004; 2008) heeft een studie uitgevoerd naar de effecten van een groenelement op fijnstof, ammoniak en geur. In de studie werd een afname van de concentratie fijnstof vastgesteld van 53% in 2002 en 50% in 2003. De afname was voor de gehele projectperiode (2002-2005) $49\% \pm 27\%$. De afname werd gerelateerd aan de concentratie aan de emissiezijde van het groenelement. Er is geen vergelijking uitgevoerd met een situatie waar geen groenelement stond. Hierdoor is niet duidelijk of de afname eventueel ook optreedt als er geen groenelement zou staan. Verder wordt niet aangegeven waar het verdwenen stof naar toe zou kunnen zijn gegaan en is geen balans opgesteld van de massa fijnstof.

Colletti *et al.* (2006) heeft praktisch dezelfde aanpak gevolgd als Malone. Rondom een stal zijn meerdere soorten bomen en struiken geplant. De plaatjes in de publicatie illustreren dat het groenelement zeer beperkt van omvang is (Figuur 6). Op drie locaties (1: tussen ventilator en groenelement, 2: na eerste bomenrij in groenelement, 3: vlak achter groenelement) is een 9 m hoge meetmast geplaatst waarbij op drie hoogtes windsnelheid- en gasmetingen werden uitgevoerd. Aan het einde van de proef is de stofdepositie (PM_{10} en $\text{PM}_{2.5}$) op de geplaatste bomen vastgesteld en vergeleken met dezelfde soort bomen die op geruime afstand van de ventilatoren stonden. De controlebomen hadden een lage stofdepositie (0,06 en 0,02 mg/cm^2 voor Amerikaanse jeneverbes (*Juniperus virginiana*) respectievelijk Amerikaanse dwergpijnboom (*Pinus flexilis*) terwijl de bomen vlak achter de ventilatoren beduidend meer stof hadden opgevangen (ruim 3 mg/cm^2 voor de Amerikaanse Jeneverbes en ruim 0,24 mg/cm^2 voor de Amerikaanse Dwergpijnboom. In deze studie zijn geen fijnstofconcentraties in de buitenlucht bepaald. Wel wordt duidelijk dat Amerikaanse jeneverbes meer fijnstof op de naalden vangt dan de Amerikaanse dwergpijnboom.



Figuur 6. Overzicht van het groenelement geplaatst in de studie van Colletti *et al.* (2006).

Adrizal *et al.* (2008) rapporteren over een veldstudie waarin het effect van verschillende bomen op de emissies van fijnstof en ammoniak uit diverse kippenboerderijen zijn onderzocht. De depositie van fijnstof op de gewassen blootgesteld aan de ventilatoren werd vergeleken met fijnstof op dezelfde gewassen die in de windschaduw van een gebouw stonden, de controle. Er werd geen verschil gevonden in fijnstof op de gewassen achter de ventilatoren en de controlegewassen. Er werd wel een verschil gevonden in fijnstofdepositie tussen de gewassen onderling. Op fijnspar werd ongeveer een 5 maal hogere depositie van PM_{10} (mg/cm^2 bladoppervlak) aangetroffen dan op wilgen en een drie maal hogere depositie PM_{10} dan op populieren. Alleen voor fijnspar kon worden vastgesteld (10% overschrijdingskans) dat er meer fijnstof (1,7 maal) op de naalden zat achter de ventilatoren dan op de controle-

naalden. Deze afgevangen hoeveelheden fijnstof zijn niet gerelateerd aan de hoeveelheden fijnstof die door de stallen werd uitgestoten. Een schatting voor het effect op de concentratie fijnstof kan daardoor niet gemaakt worden.

Burley et al. (2011) hebben het effect van groenelementen op de hoeveelheid fijnstof op filters en de verspreiding van virussen onderzocht en deze vergeleken met situaties zonder groenelementen. Verschillen in de hoeveelheid fijnstof op de filters tussen groenelementen en de controle konden niet worden vastgesteld. Hoewel bij de laatste meting het infectieuze bronchitis virus was afgenomen kon de aanwezigheid van het virus op de gewasmonsters uit het groenelement niet worden vastgesteld.

Hernandez et al. (2012) onderzochten in een gecombineerd windtunnel- en praktijkonderzoek de effecten van groenelementen op geur met als neven doel het gedrag van stofdeeltjes. Het aantal PM_{10} -deeltjes juist voor en na het groenelement nam met 40% af (waarschijnlijk op stahoogte gemeten, hoewel niet aangegeven). Er was geen controle aanwezig in deze opstelling en er zijn geen waarnemingen uitgevoerd naar stofdepositie op het blad. Net als in een aantal eerder genoemde studies beperkt hier het ontbreken van een effectieve controle en het ontbreken van depositie-waarnemingen de interpretatiemogelijkheden.

Pronk et al. (2012) hebben de effecten van twee groenelementen op de concentratie van drie deeltjesgrootte van fijnstof onderzocht in een veldstudie met kunstmatig fijnstof. In dit onderzoek is een volledige deeltjesbalans opgesteld. Het bleek dat het groenelement van grove den de grotere deeltjes ($3,8-10,0 \mu m$) beter afving dan het groenelement van haagbeuk. De gemiddelde afvangst van drie herhalingen door grove den van de grotere deeltjes was 44% van de deeltjes die tot boomhoogte kwamen aanwaaien en voor haagbeuk was dit 9%. De gemiddelde afvangst door grove den van middelgrootte deeltjes ($2,6-6,8 \mu m$) was 4% en de afvangst door grove den van de kleine deeltjes ($1,6-4,3 \mu m$) kon niet worden vastgesteld. Het resultaat van 44% is enigszins geflatteerd omdat de weersomstandigheden niet optimaal waren en vermoedelijk meer grotere deeltjes aanwezig waren. Grotere deeltjes worden gemakkelijker afgevangen zodat de afvangst groter wordt en het resultaat beter. De afvangst van de grotere deeltjes door grove den van de herhaling waarbij volledig aan de klimatologische randvoorwaarden was voldaan was 34% van de massa die tot aan de boomhoogte kwam aanwaaien. Uit de conclusies is het volgende overgenomen: 'Een schatting van de gevonden resultaten geeft aan dat het plaatsen van een bomenhaag, conform de onderzochte geometrie en in het uitstroomgebied van stalventilatoren, duurzaam (op grotere afstand achter de haag) de concentratie van fijnstofdeeltjes (4 tot $10 \mu m$) kan verminderen tot 18% voor grove den en tot 5% voor haagbeuk.' Deze percentages zijn lager dan de hiervoor genoemde percentages omdat deze gerelateerd zijn aan de totale massa in de lucht en die was in deze studie ruwweg 2 maal zo groot als de massa die tot boomhoogte kwam aanwaaien.

Gericht onderzoek naar de depositie van stof geeft aan dat er sprake is van aantoonbare vastlegging van de grotere deeltjes binnen de PM_{10} -fractie, variërend tussen 9 en 34% van de PM_{10} in de groenelementen doorstromende lucht met emissies, bijvoorbeeld stallucht. Afhankelijk van de plaatsing van de groenelementen t.o.v. de emissiepunten en de porositeit zal een deel van de uitgestoten lucht echter onbehandeld over de elementen wegstromen. De hoeveelheid onbehandelde lucht hangt af van de wijze waarop het groenelement rondom de stal wordt geplaatst. Een expert-inschatting (Hofschreuder 2011) qua orde van grootte van deze onbehandelde deelstroom bedraagt ca. 50%. Het netto-afvangstpercentage zal daardoor met ca. de helft afnemen. De hoogte van de emissiepluim wordt op een afstand van ongeveer 25 m van de ventilator op ongeveer een hoogte van 5 tot 6 m geschat. Bij het aanleggen van een groenelement tot die hoogte zal een groter gedeelte van de emissiepluim door het groenelement stromen, met een mogelijk hogere afvangst tot gevolg. Een tweede, belangrijk effect van groenelementen op luchtkwaliteitsverbetering zal komen van betere verspreiding van fijnstof de hoogte in. Van belang hierbij is vooral het effect van groenelementen op stofverspreiding gedurende klimatologisch ongunstige condities, d.w.z. condities waarbij de kans op overschrijding van de fijnstofnormen het hoogst is. De huidige verspreidingsmodellen zijn onvoldoende ontwikkeld om de verspreidingseffecten van ventilatoren met op enige afstand groenelementen in kaart te brengen.

Ammoniak

In de eerder aangehaalde studie van Malone (2004; 2008) werd een afname in de ammoniakconcentratie waargenomen waarbij de concentraties vlak voor het groenelement werden vergeleken met achter het groenelement. De afname bedroeg 67% in 2002 en 29% in 2003, en voor de gehele projectperiode met $46\% \pm 31\%$. Een vergelijking met een situatie zonder groenelement ontbreekt waardoor de afname niet uitsluitend aan het groenelement kan worden toegeschreven.

Van Dijk et al. (Van Dijk *et al.* 2005) onderzochten de invloed van een groenelement (windsingel) op de verspreiding van ammoniak uit een complex varkensstallen. Er werden een groot aantal concentratiemetingen op meerdere punten tussen stal en windsingel maar ook achter de windsingel op verschillende afstanden uitgevoerd (33 meetpunten in totaal). Ook werden bladmonsters geanalyseerd op N-gehalte en vergeleken met N-gehalten van dezelfde gewassen uit een 'ammoniak' vrije omgeving. Als controle vergeleken zij de waargenomen concentraties met concentraties berekend met het Nieuwe National Model (Anonymous 1998) waarin het effect van de windsingel niet was opgenomen. Uit de metingen bleek dat er sprake was van veel hogere ammoniakconcentraties tussen stal en windsingel dan op grond van het verspreidingsmodel zonder windsingel werd verwacht. Geconcludeerd wordt dat de windsingel effect heeft op het verspreidingspatroon in de vorm van een ophogend effect tussen stal en windsingel, gevolgd door lagere concentraties achter de windsingel. De N-gehalten van de onderzochte bomen waren verhoogd ten opzichte van de achtergrondgehalten. Deze waarnemingen bevestigen de opname van ammoniak door de windsingel. Het vergelijken van situaties met enerzijds meetgegevens en anderzijds gemodelleerde gegeven laat echter geen harde conclusies toe omdat deze volledig afhankelijk is van de juistheid van het verspreidingsmodel. Het Nieuwe Nationaal Model was op het moment van deze studie minder geschikt voor de berekening van effecten op korte afstand tot de bron (berekeningen voor punten < 100 m) en effecten van gebouwen op de verspreiding van luchtverontreiniging.

In de studie van Adrizal et al. (2008) zijn op diverse afstanden van de ventilatoren metingen van de concentratie ammoniak uitgevoerd. De concentratie nam af naarmate verder van de bron werd gemeten. De afname was tot aan het groenelement, 11,4 m, significant. Daarna werd geen verdere afname vastgesteld tot 30 m. Wel was het stikstofpercentage in de bladeren in het groenelement verhoogd ten opzichte van N-concentraties in controleplanten. Hogere stikstofpercentages in het blad kunnen voortkomen uit een hogere N-opname via blad of depositie op de bodem, maar kunnen niet vertaald worden naar een afname van concentraties in de lucht. Uit deze studie kan niet worden opgemaakt of de sterke afname in de eerste 11 m van de bron komt door het groenelement, omdat de vergelijking met een controle zonder groenelement ontbreekt.

Het effect van groenelementen op ammoniakemissies uit stallen kan tot stand komen door een gewijzigd verspreidingspatroon waardoor deposities bv. worden uitgesmeerd over een groter gebied of door een rechtstreeks reducerend effect in de vorm van N-opname dan wel N-afvangst door het groenelement. N-opname treedt op als de planten N via de huidmondjes opnemen en gebruiken voor de groei. Opname via de cuticula, de vetachtige buitenlaag van het blad, is betrekkelijk laag maar gasdeeltjes kunnen wel op dit oppervlak 'landen' door diffusie (zie par. 2.2.4). Deze afvangst is passief en hangt niet af van de groeiomstandigheden. De ammoniakhoeveelheden die op deze wijze uit de lucht verwijderd worden, kunnen groter zijn dan de hoeveelheid N die planten nodig hebben voor een goede groei. Bomen en struiken die te dicht bij een ventilator staan vangen zoveel ammoniak af dat er schade ontstaat en bomen dood kunnen gaan (De Visser & Van der Eerden 1996).

De fractie N (in de vorm van NH_3) van de stalemissie die planten via de huidmondjes opnemen voor de groei, kan benaderd worden door de hoeveelheid uitgestoten NH_3 uit een stal te vergelijken met de N-behoefte van het beplante oppervlak dat nodig is om een reductie te bereiken. Als voorbeeld volgt hier een berekening met een vleeskuikenstal. Op jaarbasis stoot een gemiddelde vleeskuikenstal met 40.000 dieren ca. 2600 kg N- NH_3 uit. De N-opname van groeiende bomen varieert van enkele kilogrammen tot ongeveer 100 kg N/ha/jaar (Van der Sluis *et al.* 2004). Vanuit deze N-opname is te berekenen hoeveel begroeid oppervlak nodig is voor directe afvangst voor een deel van de uitgestoten N. Bij een gewenste afvangst van 5% van de hoeveelheid uitgestoten N dan moet het groenelement $0,05 \times 2600 = 130$ kg N opnemen en is 1,3 ha oppervlak nodig. Een groenelement aan de kop van de stal zal maximaal een geschat oppervlakte van ca. $50 \times 10 = 500 \text{ m}^2$ kunnen beslaan. Uitgaande van deze 100 kg/ha zal de N-opname maximaal 5 kg N bedragen, dat is 0,02% van de N-uitstoot. Een afvangst van 1% op

deze 500 m² zou resulteren in een N-opname van 500 kg N/ha, hetgeen fysiologisch niet erg waarschijnlijk is en hetgeen tot gewasschade kan leiden als de afvangst zo hoog zou zijn. Gelijksortige balansrekeningen kunnen voor andere diercategorieën worden uitgevoerd met vergelijkbare onrealistische N-opname niveaus voor minieme N-afvangsten van stalemissies.

Groenelementen dragen vooral bij aan het verlagen van de ammoniakconcentraties via effecten op luchtstromingspatronen, dus door verdunning van de emissies door opstuwing en innenging met meer schonere lucht. Dergelijke effecten zijn sterk afhankelijk van de configuratie van stalgebouw en omliggende groenelementen. Er is veel onderzoek verricht naar de effecten van groenelementen op stromingspatronen (Heisler & Dewalle 1988; McNaughton 1988; Raupach *et al.* 2001) maar weinig studies zijn beschikbaar waarin de effecten van gebouwen in combinatie met groenelementen op de luchtstroming zijn onderzocht.

Geur

In de eerder aangehaalde studie van Malone (2004; 2008) kon geen consistent beeld van het effect op geurverspreiding worden verkregen. In 2002 van er een afname van 23% tussen voor en achter het groenelement, in 2003 was dit 5%. Voor de gehele projectperiode was de afname 6% en niet significant. Malone geeft als mogelijk verklaring dat het in 2003 achter het groenelement windstil was, waardoor de concentraties in dat jaar minder afnamen dan in 2002.

De studie van Colletti (2006) is eveneens beschreven onder het kopje fijnstof. Voor geur wordt een afname gepresenteerd naarmate de afstand tot de bron toeneemt. De afname bedraagt op de grootste afstand ongeveer 70% maar er is geen vergelijking met een situatie zonder groenelement. Dit resultaat kan daarom niet aan het groenelement worden toegeschreven.

Lin *et al.* (2007) vergeleken de maximale lengte van de waarneembare geurpluim van een kunstmatige varkensgeurbron in veldstudies met rondlopende geurpanels. Een referentiesituatie zonder windsingel werd vergeleken met vier windsingel-situaties. De aanwezigheid van windsingels leidde tot een (significant) 22% minder lange pluimlengte bij singels met voldoende dichtheid.

Parker *et al.* (2011; 2012) hebben het effect van groenelementen op geur onderzocht door geurconcentraties te meten en te vergelijken met situaties zonder groenelementen. Ook is de geur op gewasmonsters in een windtunnel vastgesteld voor en na het afwassen van de gewasmonsters. Net achter het groenelement was de geur met 49,1% afgenomen, en op 15 m afstand werd een statistisch significante afname van 66,3% vastgesteld. Driehonderdmeter wind afwaarts werden geen verschillen tussen controle en de stal met het groenelement vastgesteld. In een windtunnel experiment werd aangetoond dat het reinigen van gewasmonsters leidde tot geringere geurconcentraties in de langsstromende lucht, maar deze waarneming hoeft nog niet te betekenen dat depositie van geurcomponenten in praktijkomstandigheden een substantiële rol spelen.

Hernandez *et al.* (2012) hebben gericht onderzoek gedaan naar de vastlegging van geurcomponenten in groenelementen door middel van het meten van concentratiegradiënten van belangrijke geurverbindingen in en rond het groenelement. Zij vonden in horizontale lijn door het groenelement geen concentratieverschillen, wat een sterke aanwijzing is voor het achterwege blijven van opname van geurcomponenten bij doorstroming van stallucht door het element. Er was echter wel een duidelijke afnemende concentratiegradiënt in verticale lijn in het groenelement, hetgeen duidt op een concentratieverlagend effect door de menging van uitstromende stallucht met lucht uit bovenlagen. Deze menging wordt volgens het aanvullend windtunnelonderzoek voor deze specifiek opstelling veroorzaakt door het stalgebouw en niet door het groenelement.

Analoog aan de effecten van groenelementen op ammoniakverspreiding, kunnen de effecten op geuremissie onderscheiden worden naar vastlegging van geurcomponenten en het beïnvloeden van verspreidingspatronen. Wat betreft vastlegging van geur kan het gaan om rechtstreekse vastlegging van gasvormige componenten en stofdeeltjes met daaraan verbonden geur. De genoemde onderzoeken geven geen aanwijzing dat gasvormige geurcomponenten worden vastgelegd in groenelementen, met name de toegepaste methode en resultaten van

Hernandez et al. (2012) zijn hier van belang. Er zijn ook geen fysiologische mechanismen bekend die zouden kunnen wijzen op een substantiële 'sink'-werking van groen. Een deel van de uitgestoten stofdeeltjes wordt wel opgenomen door groenelementen, en daarmee tevens de aan deze deeltjes verbonden geur. De rol en het belang van stofdeeltjes bij de verspreiding van geur uit stallen is echter onduidelijk omdat het met de huidige geurmeetmethoden moeilijk bemeetbaar is. Een expert-inschatting (mond med. N. Ogink) is dat hooguit een tiental procenten van alle uitgestoten geurcomponenten aan stofdeeltjes is gebonden. Het is daarmee onrealistisch een hoge verwachting te hebben van de effecten van stofbinding door groenelementen op de geurverspreiding. Het gaat immers om een beperkte binding van stofdeeltjes en een waarschijnlijk beperkte rol van stofdeeltjes in geurverspreiding, waardoor het netto-effect zeer gering zal zijn. Analooq aan de effecten op ammoniakemissie laten de onderzoeken naar geurverspreiding alleen de conclusie toe dat aantoonbare effecten van groenelementen optreden door beïnvloeding van luchtstromingspatronen. De huidige wetenschappelijke literatuur geeft onvoldoende inzicht in de effecten van verschillende configuraties van stallen en groenelementen op geurconcentraties. Net als voor de verspreiding van ammoniak en stofdeeltjes is inzicht met name vereist gedurende de piekconcentraties waarin de hoogste geurbelasting optreedt.

Tabel 3. Overzicht van de gerapporteerde effecten van beplanting op de concentraties NH_3 , PM_{10} en geur.

Bron	Effect NH_3	Effect PM_{10} *	Effect geur
(De Visser & Van der Eerden 1996)	Afname <1%	.. ¹	-
(Malone 2004) ²	<i>Afname < 29-67%</i>	<i>Afname < 50%</i>	<i>Afname < 5-23%</i>
(Van Dijk et al. 2005) ²	<i>Beïnvloeding concentraties</i>	-	-
(Colletti et al. 2006) ²		Depositie op gewas	<i>Afname < 70%</i>
(Lin et al. 2007)			Verkleining waarneembare geurverspreidingspluim
(Malone et al. 2008) ²	<i>Afname < 46%</i>	<i>Afname < 49 ±27%</i>	<i>Afname < 6 ±45% (n.s.)</i>
(Adrizal et al. 2008)		Depositie op gewas	-
(Burley et al. 2011)	-	Geen	-
(Parker et al. 2011)	-	-	Afname < 49,1% op 15 m afstand beplanting, geen effect op 150 m
(Pronk et al. 2012)	-	Afname tot ± 30%	-
(Hernandez et al. 2012) ²	-	<i>Afname aantal deeltjes na element</i>	Geen vastlegging van geurcomponenten op blad

* Effect in het algemeen van de stalbijdrage.

¹ Niet bepaald.

² afname gerelateerd aan concentraties voor het groenelement. Een controle zonder groenelement is niet opgenomen. Resultaten zonder goede controle staan cursief weergegeven.

3.2 Samenvattende conclusies

3.2.1 Verkeersemisies

Groenelementen hebben in het algemeen een gering verlagend effect op de concentraties van NO_2 of fijnstof op korte afstand van de weg (Tabel 4). De afname door depositie wordt veelal gecompenseerd door stijging van de concentratie door geringere windsnelheden rond het groenelement. De mogelijke afname in concentratie door depositie op een groenelement en extra verdunning door opstuwning is beperkt ten opzichte van de verkeersbijdrage.

Verkeer draagt, naast fijnstof ook bij aan de concentratie deeltjes $> PM_{10}$, zoals deeltjes afkomstig van bandenslijtage, opwervend stof en losraken van eerder gedeponeerd materiaal in de uitlaat. Deze fractie wordt beter afgevangen door groenelementen dan de kleinere deeltjes, zoals blijkt uit de studie van Pronk et al. (2012).

Voor het afvangen van PM_{10} van verkeersemisies is sprake van een bijzondere situatie. Groenelementen vangen hoofdzakelijke de grote deeltjes binnen PM_{10} (3-10 μm) af terwijl uit het verkeer vooral kleinere deeltjes ($< 2,5 \mu m$) geëmitteerd wordt. Binnen de huidige meettechniek is het goed mogelijk om deeltjes van verschillende grootte te meten, bijvoorbeeld van 1,0 μm of 0,1 μm , maar deze fracties zijn (nog) niet in luchtkwaliteitsrichtlijnen vastgelegd. Vanuit gezondheidsoogpunt zouden juist de kleine en schadelijkere deeltjes in de lucht moeten worden gereduceerd. Er komt een norm voor deeltjes tot 2,5 μm . De verwachting is dat deze norm in Nederland geen knelpunten zal veroorzaken.

3.2.2 Emissies uit de veehouderij

De fijnstofemissie uit stallen bestaat voor 94% uit deeltjes tussen de $PM_{2,5}$ en PM_{10} . De afvangstkans van deze deeltjes door groenelementen is vele malen groter dan voor deeltjes $< PM_{2,5}$. De onderzoeken gepresenteerd in Tabel 3 laten in het algemeen een aantoonbare afname zien van de concentratie fijnstof en een depositie van de grotere fijnstofdeeltjes op gewassen in het groenelement. Geen enkele studie heeft echter rondom stallen een balans opgesteld om vast te stellen waar de emissies naar toe gaan. De afname van de gemeten concentratie kan daarom niet worden toegeschreven aan het groenelement of aan de depositie van fijnstof op de gewassen in het groenelement. In de studie van Pronk et al. (2012) is wel een volledige balans opgesteld. Vanuit deze balans is geschat dat concentraties fijnstof op grotere afstand achter het groenelement (na hersteld windprofiel) permanent verlaagd zijn, in een ideale configuratie met maximaal 34%.

Voor zowel ammoniak- als geuremissies is het onwaarschijnlijk en niet aangetoond dat groenelementen via depositie en/of verdunning bijdragen aan een betere luchtkwaliteit (Tabel 4). Wel is het mogelijk dat aangepaste verspreiding de luchtkwaliteit in de lokale omgeving verbetert en daarmee de ammoniakdepositie in de lokale omgeving vermindert. Depositie treedt dan op over een groter gebied. Of, zoals van Dijk et al. (2005) hebben gemeten, de concentraties tussen stal en groenelement nemen juist toe, omdat de verspreiding afneemt. In die situatie neemt de lokale luchtkwaliteit af terwijl het verspreidingsgebied juist kleiner wordt. De in enkele onderzoeken waargenomen substantiële verlaging van concentraties op enkele meters achter groenelementen hebben weinig praktische betekenis. Voor de Nederlandse situatie gaat het om een verbetering op grotere afstand van de bron, meestal nadat het windprofiel zich heeft hersteld. Dit is op ca. 100 tot 500 m en is belangrijk omdat woningbouw rond een veehouderijbedrijf kan voorkomen.

Groenelementen bieden het meeste perspectief voor het verlagen van de concentratie fijnstof in de lucht. Het effect van een groenelement op de concentraties ammoniak en geur is minder duidelijk en waarschijnlijk kleiner.

De configuratie van het groenelement rondom de stal heeft veel invloed op de verlagend effect. Hoe dit effect precies is, is nog onduidelijk en zou nader onderzocht moeten worden.

Tabel 4. Kwalitatieve samenvatting van de resultaten van de verbeteringen van de lokale luchtkwaliteit (in termen van concentraties) door een groenelement (gering = maximaal enkele procenten, matig tot 1/3 van de concentratie).

	Fijnstof	Ammoniak	NO ₂	Geur
Verkeersemissies	Gering	⁻¹	Gering	⁻¹
Stalemissies	Matig	Geen tot gering	⁻¹	Geen tot gering ²

¹ Geen onderwerp van deze studie.

² De onzekerheid komt ook doordat het meten van geur erg lastig is. De genoemde associatie van geur en fijnstof verdient nadere aandacht.

4. Case studie: groenelementen rondom een veehouderijbedrijf

4.1 Randvoorwaarden groenelementen voor een maximaal effect op de fijnstofconcentratie

4.1.1 Afstand groenelement tot emissieopening(en)

De afstand van het groenelement tot de emissieopening, verder voor het gemak ventilator genoemd, is om meerdere redenen belangrijk.

Allereerst moet voorkomen worden dat de ventilator gehinderd wordt bij het emitteren van lucht. Een groenelement belemmert in zekere mate de luchtstroom. Een deel van de lucht wordt dan ook over het groenelement heen geblazen, een deel gaat er doorheen. De ventilator stoot met kracht lucht uit en dat kost energie. Een belemmering van deze uitstoot heeft tot gevolg dat de ventilator harder gaat werken, om toch de gewenste uitstoot te behalen. Een belemmering kost daardoor meer energie. Als een haag vlak achter een ventilator wordt geplaatst zal er drukopbouw optreden tussen de ventilator en de haag en neemt het energieverbruik toe. Daarom moet de ruimte tussen haag en ventilator zodanig zijn dat er geen drukopbouw optreedt. Hofschreuder (pers. com.) heeft geschat dat een minimale afstand van 25 m. voldoende is om drukopbouw te voorkomen.

Ten tweede is het voor een optimaal rendement van het groenelement belangrijk dat de vervuiling goed gemengd met de buitenlucht rechtstreeks naar het groenelement wordt gevoerd tot boomhoogte of op zodanige wijze wordt bijgemengd met buitenlucht, dat de emissies niet via staande wervels etc. over het groenelement worden getild. De werkingsmechanismen beschreven in Par. 2.2, kunnen dan maximaal plaatsvinden. De hoogte van het groenelement speelt hier een belangrijke rol bij. De emissiepluim mag niet hoger zijn dan de bomenrij zodat alle emissies zoveel mogelijk het groenelement inwaaien. De hoogte van het groenelement wordt op basis van oriënterende berekeningen van Hofschreuder geschat op 6 á 7 m bij een afstand van 25 m en is gebaseerd op de gemiddelde hoogte van de stal in combinatie met de gekozen afstand. Als die even hoog zijn zullen zowel de stal als de haag de lucht in dezelfde mate op en zal er weinig extra turbulentie worden gegenereerd. De emissiepluim zal naar alle waarschijnlijkheid hierdoor niet meteen tot grote hoogte worden gemengd. Alle emissie zal daardoor recht op de bomen afwaaien. Een grotere afstand geeft een hogere emissiepluim zodat ook de bomenrij hoger moet worden. Een bijkomend aspect waar rekening mee gehouden moet worden voor een goede menging en een aanstroming tot boomhoogte, is windinslag in de ruimte tussen stal en groenelement. Windinslag dient voorkomen te worden, omdat dit meer lucht afkomstig uit de ventilatieopening over de vegetatie heen tilt en daardoor daalt de effectiviteit. Een afstand tussen stal en groenelement van minder dan 5 maal de hoogte van stal voorkomt windinslag.



Figuur 7. Emissies uit een pluimveehouderij (links) en stofopslag op een conifeer (rechts).

Ten derde moet het groenelement de concentraties vervuilende stoffen aan kunnen, dat wil zeggen de concentraties vervuilende stoffen mogen niet zo hoog zijn dat de bomen dood gaan. Uit praktijkervaring is bekend dat bomen te dicht geplant bij de ventilator van een stal, het niet overleven. Zowel een hoge neerslag van stof (Figuur 7, rechts) als te hoge concentraties ammoniak maken het noodzakelijk de haag voldoende ver weg te zetten maar ook om ongevoelige gewassen te selecteren voor de haag. Vooralsnog is er weinig bekend over gevoeligheid voor stof maar voor de gevoeligheid van gewassen voor ammoniak is een lijst beschikbaar (Franzaring & Dijk 2000). Ook is er een studie uitgevoerd waarin de risico's op gewasschade in beeld zijn gebracht in afhankelijkheid van de totale jaarlijkse ammoniakemissie en de afstand van de haag (Bijlage I). Hieruit blijkt dat bij een jaarlijkse ammoniakuitstoot van ongeveer 2500 kg/jaar een afstand van 30 meter nodig is om risico's op gewasschade te voorkomen. Tot slot moet de ruimte tussen groenelement en ventilator voldoende zijn om daar met landbouwmachines werkzaamheden te kunnen verrichten. De minimale afstand tussen het groenelement en de ventilator voor werkzaamheden met landbouwmachines wordt geschat op ongeveer 10 m.

Uit de vier hierboven geformuleerde randvoorwaarden blijkt dat een afstand van 25 tot 30 m als eerste inschatting een goede keuze is bij een stalhoogte van 6 á 7 m. Alleen windinslag kan voorkomen worden door het groenelement op maximaal 5 m afstand van de ventilator te plaatsen terwijl alle andere randvoorwaarden een grotere afstand vereisen. Bij een keuze van 25 tot 30 m zal naar alle waarschijnlijkheid wel windinslag optreden, terwijl aan alle andere eisen tegemoet gekomen wordt.

4.1.2 Opbouw van het groenelement

De samenstelling van de soorten

De samenstelling van het groenelement moet bestaan uit bomen die fijnstof zo veel mogelijk kunnen afvangen. De beste keuze is voor een groenblijvende naaldboom, met een uniforme naaldverdeling met de hoogte en de breedte, dus van de grond tot de kruin en van het begin tot het einde van het groenelement. Daarachter kunnen gewassen geplaatst worden die meer geschikt zijn voor de afvangst van ammoniak. Hoewel hier geen grote effecten op de concentraties verwacht mogen worden, kan het wel een bijdrage leveren aan de (bio)diversiteit en inpassing in het landschap. Een dichte rij van loofbomen achter de naaldbomen is niet wenselijk, omdat de porositeit voldoende moet blijven voor een goede doorstroming van het groenelement.

Aan de emissiezijde komt een groenblijvende, van onder tot boven geveerde naaldboom waarvan de bomen een gesloten rij vormen.

De afnemingen: hoogte en diepte

De hoogte van het groenelement moet zodanig zijn dat het minimaal de bovenkant van de emissiepluim invangt. Deze hoogte kan sterk verschillen per stalsysteem, afstand tot groenelement en positie ten opzichte van de heersende windrichting. Ook klimatologische (o.a. atmosferische stabiliteit) en fysische (o.a. debiet van de ventilator) omstandigheden hebben effect op de hoogte van de emissiepluim. Op dit moment is de inschatting dat de hoogte van de bomen minimaal de nokhoogte van de stal moet zijn om de emissiepluim volledig in te vangen.

Een diepte van het groenelement van 2 m van groenblijvende naaldbomen volstaat. Vooral de eerste bomenrij vangt het meeste fijnstof af (Pronk *et al.* 2012). De bomen dienen wel goed aan elkaar aan te sluiten zodat geen 'windgaten' ontstaan.

De porositeit

De porositeit moet voldoende zijn om de wind door het groenelement te laten waaien. Deze doorstroming is noodzakelijk voor het beste filterende effect maar mag ook niet te groot zijn omdat de wind anders minder efficiënt gefilterd wordt. De optimale porositeit voor een maximale afvangst is afhankelijk van de grootte en vorm van het depositieoppervlak (Raupach *et al.* 2001), ook in verhouding tot de af te vangen deeltjesgrootte. Dit maakt het lastig om een algemene streefwaarde te formuleren, maar 20 tot 30% wordt gezien als een goede porositeit (Abel *et al.*

1997; Raupach *et al.* 2000). Het gaat hierbij om de zogenaamde 'optische porositeit' die op een vrij eenvoudige wijze kan worden vastgesteld (Pronk 2012). De optische porositeit is te meten door een zwart-wit foto te nemen van de haag tegen een egale, lichtkleurige achtergrond. De verhouding tussen het oppervlak witte achtergrond en zwarte bladeren of naalden en takken, is de optische porositeit.

Layout van het groenelement

Van een groenelement mag het meeste resultaat worden verwacht als dit de omgeving volledig beschermt voor aanwaaiende emissies. De oriëntatie van het groenelement ten opzichte van de ventilator en de overheersende windrichting dient daarom zo gekozen te worden dat er geen open gaten zijn waardoor emissies langs het element kunnen waaien. Een stalomringend groenelement, waarbij wel ruimte blijft voor mechanisatie tussen stal en groenelement, is de meest eenvoudige vorm waarbij alle emissies bij alle, vooral de overheersende windrichting, door de vegetatie heen worden geleid. De twee voorbeelden van Figuur 8 zijn overgenomen van Hofschreuder (2011) maar ook andere lay-outs zijn mogelijk (Burley *et al.* 2011).

Gevoeligheid van het sortiment voor ammoniak

Bomen kunnen gevoelig zijn voor hoge concentraties ammoniak, waardoor niet alle soorten even geschikt zijn om in de nabijheid van de uitlaat van een ventilator van een stal te plaatsen. Hiermee dient bij de keuze van de soorten rekening gehouden te worden. In de voorgestelde lay-out staat het groenelement op een afstand van ongeveer 30 m. Bij een maximale uitstoot van 1700 kg ammoniak per jaar is het risico op hinder van de ammoniakemissies erg klein (Bijlage I). Er bestaat een emissieniveau waarbij de risico's afhankelijk zijn van de specifieke omstandigheden, bij een emissie tussen de 1700 en 2500 kg/ha op ongeveer 30 m afstand en bij meer dan 2500 kg/ha zijn de risico's op gewasschade groot.

4.1.3 Positie bron en groenelement in relatie tot de overheersende windrichting

De overheersende windrichting in Nederland is west tot zuidwest. In het algemeen is de belasting van de omgeving door stof- en ammoniakemissies uit een stal zonder groenelementen daardoor het grootste aan de noordoostzijde van een stal. Voor geur is de situatie anders: de hogere percentielen (98 percentiel) komen vooral voor bij lage windsnelheden, waarbij de windrichting erg variabel is of zelfs niet gedefinieerd is. In dat geval is de windroos vrijwel rond en verspreiden de geuremissies zich cirkelvormig rondom te stal.

De meest ongunstige situatie doet zich voor als een stal de ventilatoren aan de noordoostzijde heeft. De emissies worden dan direct het grootste deel van het jaar in de lijwervel van het gebouw uitgestoten en geconcentreerd weggevoerd.

Voor situaties met een groenelement zal de situatie aanzienlijk complexer, omdat de haag waarschijnlijk het optreden van een lijwervel verhindert (persoonlijke mededeling Hofschreuder).

In de meeste gevallen zal er overigens weinig keus zijn omdat de ligging van het bouwblok bepaald hoe een groenelement optimaal rond een stal geplaatst kan worden.

4.2 Toepassen randvoorwaarden bij twee pluimveehouderijsystemen

4.2.1 Configuraties en vegetatietypes

De mogelijkheden om groenelementen rondom een stal aan te leggen moeten aan de voorwaarde voldoen dat bij alle mogelijke windrichtingen de emissies naar het groenelement gevoerd worden, om aldaar voor afvangst in aanmerking te komen. In Figuur 8 staan twee vormen van groenelementen (Hofschreuder 2011) die aan deze voorwaarde voldoen: een hoefijzervormig groenelement en een groenelement rondom de gehele stal.



Figuur 8. Hoefijzervormige vegetatie rond de ventilatieopening van een stal (links) en omsluitende vegetatie rond de gehele stal (rechts).

Bij deze twee vormen zal de emissie bij vrijwel alle windrichtingen bij het groenelement aankomen. Voor een optimale werking voor de afvangst van fijnstof is grove den een geschikte keuze (Pronk *et al.* 2012).

4.2.2 Landschappelijke waarde van groenelementen

In Nederland is in 1990 de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) geïntroduceerd als antwoord op de achteruitgang van de natuur en biodiversiteit in Nederland. De EHS voorziet in de (her)introductie van landschapselementen zoals windsingels, houtwallen en heggen, waarbij ecologische en cultuurhistorische argumenten een belangrijke rol spelen. Verhoging van de biodiversiteit in agro-ecosystemen is eveneens een belangrijke reden om landschapselementen aan te leggen. Een combinatie van filtering van stalemissies en het verhogen van de biodiversiteit levert een win-win situatie op.

De keuze voor het inrichten van een dergelijk groenelement is allereerst gericht op de plantensoorten met een zo groot mogelijke filterende werking van relevante luchtverontreinigende stoffen, d.w.z. fijnstof (PM_{10}) en ammoniak en dat deze planten ook de hoge concentratieniveaus van deze stoffen aan kunnen. Dit geldt vooral voor de beplantingsrij aan de zijde van de stal waar de emissies optreden. Voor de beplanting aan de andere kant, de zichtzijde, is ook een belangrijk criterium dat de soort past in het landschap en een bijdrage levert aan de biodiversiteit. Hierbij is er voorkeur voor een streekeigen beplanting. In deze studie is de streekeigen beplanting gericht op de Provincie Gelderland.

De soorten voor deze beplantingen zijn geselecteerd met behulp van een soortenlijst (Hiemstra *et al.* 2008; Hoffman 2009) en het zijn goed verkrijgbare soorten.

Soortkeuze

De singel bestaat uit een dubbele rij planten. Aan de kant van de stal is gekozen voor Grove den (*Pinus sylvestris*). Deze heeft op de eerste plaats een uitstekende wegvangcapaciteit van fijnstof (Pronk *et al.* 2012) en in iets mindere mate ook van ammoniak. Door de losse structuur kan de wind hier goed doorheen waaien voor een optimaal effect.

Als onderbeplanting en tevens doorlopend naar de tweede rij wordt een mengsel van verschillende heesters gebruikt, in een informeel plantverband. Dit zijn allemaal inheemse en streekeigen soorten waaraan bovendien op grond van algemene kenmerken een goed luchtzuiverend vermogen aan kan worden toegeschreven, vooral voor het wegvangen van ammoniak. De gekozen soorten zijn Hulst (*Ilex aquifolium*), Meidoorn (*Crataegus monogyna*), Gewone liguster (*Ligustrum vulgare*), Hazelaar (*Corylus avellana*), Gelderse roos (*Viburnum opulus*) en Kardinaalsmuts (*Euonymus europaeus*).

Met deze soortkeuze in combinatie met de beplantingsvorm ontstaat een goede mix van luchtzuiverend vermogen, streekeigen beplanting en biodiversiteit.



Figuur 9. Gewone liguster (*Ligustrum vulgare*) (links) en Hazelaar (*Corylus avellana*) (recht) als voorbeeld voor streekeigen beplanting voor de Provincie Gelderland aan de niet stal zijde.



Figuur 10. De vroeg in het voorjaar bloeiende Meidoorn (*Crataegus monogyna*) is een waardevolle honingleverancier voor bijen.

4.2.3 Geschatte kosten van groenelementen rondom stallen

De investerings- en jaarkosten van groenelementen worden ingeschat voor een tweetal pluimveebedrijven, een vleeskuikenbedrijf en een leghenbedrijf. Het standaard vleeskuikenbedrijf heeft in de berekening 2 stallen met elk 45.000 dieren, het leghenbedrijf heeft 40.000 leghennen in een volièrehuisvesting.

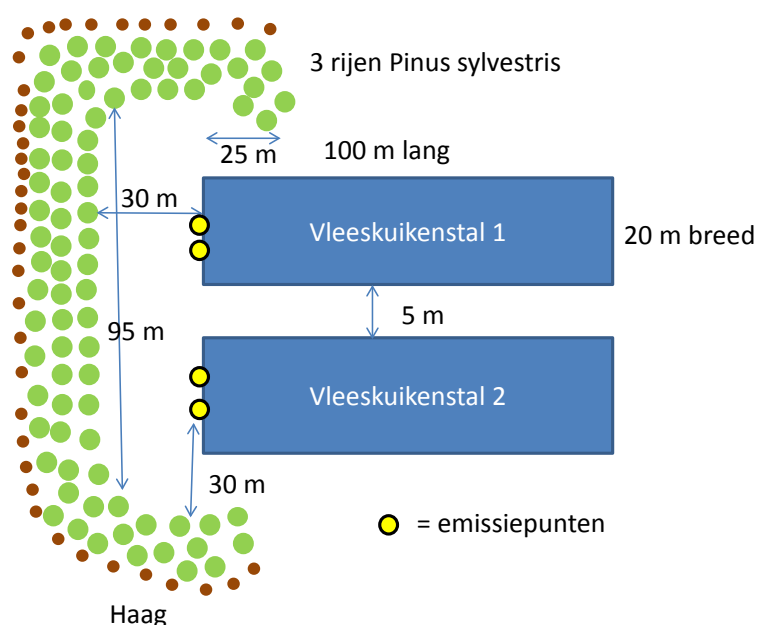
Om stof af te vangen wordt uitgegaan van drie rijen *Pinus sylvestris* rondom de emissiepunten van de stallen, in navolging van het uitgevoerde onderzoek naar de afvangst van fijnstof door groenelementen van Pronk et al. (2012). Daaromheen komt nog een beukenhaag. De 1^e rij *Pinus* wordt op 30 m. van de emissiepunten geplant als grote boom met een hoogte van circa 7 m. De doorsnee van de kruin van deze bomen is 5-7 m. De bomen worden daarom met 6 m tussenafstand gepoot. De andere twee rijen worden (om kosten te besparen) geplant met jonge, kleinere bomen. Ook de beukenhaag wordt aangelegd met jonge aanplant om kosten te besparen.

De kosten voor het plantmateriaal, de aanleg en onderhoud van het groenelement zijn geschat in samenwerking met de bedrijfseconoom van het Praktijkonderzoek Plant en Omgeving afdeling bollen, bomen, fruit (Peter Roelofs). Houtwallen worden doorgaans aangelegd met bos- en haagplantsoen en kennen een aantal ontwikkelingsstadia, een jonge fase (0-5 jaar), een dichte fase (5-10 jaar), een stakenfase (10-40 jaar), een volgroeide fase (40-100 jaar) gevolgd door een verjongingsfase (200 jaar en ouder) (RIGO-projectgroep Groen Salland 2012). Het betreft hier een houtwal/groenelement van uitgangsmateriaal van een verschillende leeftijd, waarbij gekozen is door de volgroeide fase (50 jaar) als moment waarop de afschrijving wordt gebaseerd.

Situatie 1: Vleeskuikenbedrijf

Figuur 11 schetst de situatie op het vleeskuikenbedrijf. Twee stallen naast elkaar met afmetingen van 100 * 20 m en 5 m afstand ertussen. De emissiepunten liggen in de topgevels van de stallen, zodat daaromheen de groenelementen worden aangebracht.

De 1^e rij bomen is 30 m + 15 m + 5 m + 15 m + 30 m = 95 m lang en aan de zijkant van de stal 30 + 25 m breed. Totale lengte 1^e rij is 205 m. De omtrek van de 2^e rij is groter omdat deze 7 m. verder naar buiten staat en de lengte hiervan is 230 m. De 3^e rij heeft dan een lengte van 255 m. De beukenhaag hieromheen heeft een lengte van zo'n 260 m.



Figuur 11. Schematische opzet van het groenelement rondom de vleeskuikenstallen.

Investering en jaarkosten

Voor de aanschafprijs van *Pinus sylvestris* 500-600 (cm hoog) is € 1.000 per stuk. Voor 205 m. lengte zijn 34 bomen nodig. Voor de 2^e rij wordt uitgegaan van een *Pinus sylvestris* 400-450, met een aanschafprijs van € 550 per stuk. Voor 230 m. lengte zijn 38 bomen nodig. Voor de 3^e rij wordt uitgegaan van een *Pinus sylvestris* 175-200 met een geschatte aanschafprijs van € 100 per stuk. Voor 255 m. lengte zijn 42 bomen nodig. De beukenhaag heeft een aanschafprijs van € 10 per strekkende meter.

Investering

De totale investering staat in Tabel 5. De jaarlijkse kosten bestaan uit rente, afschrijving en onderhoud. De rente bedraagt 5% over de helft van het geïnvesteerde bedrag. Voor de bomen gaan we uit van een afschrijvingstermijn van 50 jaar. Onderhoud is met name aan het begin heel hoog omdat veel tijd besteed moet worden om de aangeplante bomen in leven te houden. Gemiddeld over de 50 jaar schatten we onderhoud op 3% van de investering. Dit betekent dat de jaarlijkse kosten $5\%/2 + 2\% + 1\%$ is 5,5% bedragen. 5,5% over € 81.700 betekent een jaarlijkse kostenpost van bijna € 4.500 per bedrijf. Omgerekend naar dierplaats is dit € 0,05.

Tabel 5. Overzicht van de investering nodig voor de aanleg van het groenelement rondom de vleeskuikenstallen.

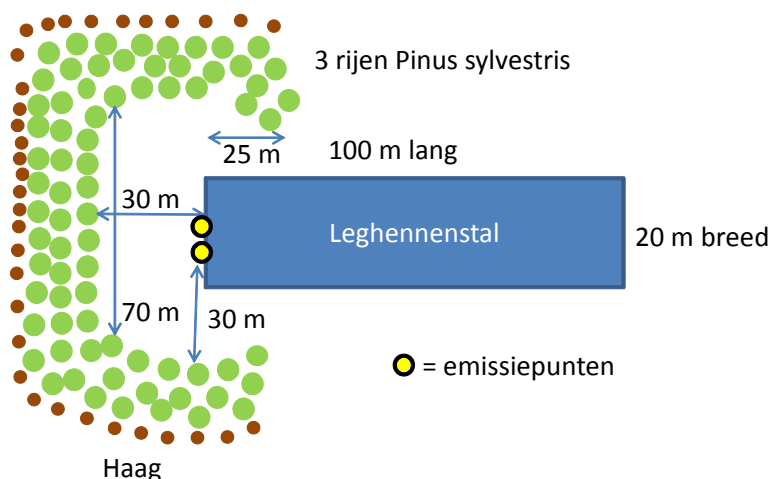
	Aantal	Prijs per stuk (€)	Totaal (€)
1 ^e rij	34	1.000	34.000
2 ^e rij	38	550	20.900
3 ^e rij	42	100	4.200
Beukenhaag ¹	260	10	2.600
Plantkosten			20.000
Totaal			81.700
Jaarlijkse kosten		5,5%	4.490

¹ Per strekkende meter.

Situatie 2 Leghennenbedrijf

Figuur 12 schetst de situatie op het legghennenbedrijf. Eén stal met afmetingen van 100 * 20 m. De emissiepunten liggen in de topgevel van de stal, zodat daaromheen de groenelementen worden aangebracht.

De 1^e rij bomen is 25 m + 20 m + 25 m = 70 m lang en aan de zijkant van de stal 30 + 25 m breed. Totale lengte 1^e rij is 180 m. De omtrek van de 2^e rij is groter omdat deze 7 m verder naar buiten staat en de lengte hiervan is 205 m. De 3^e rij heeft dan een lengte van 230 m. De beukenhaag hieromheen heeft een lengte van zo'n 235 m.



Figuur 12. Schematische opzet van het groenelement rondom het leghennenbedrijf.

Investering en jaarkosten

Voor de aanschafprijs van *Pinus sylvestris* 500-600 is € 1.000 per stuk aangenomen. Voor 180 m. lengte zijn 30 bomen nodig. Voor de 2^e rij wordt uitgegaan van een *Pinus sylvestris* 400-450, met een aanschafprijs van € 550 per stuk. Voor 205 m. lengte zijn 34 bomen nodig. Voor de 3^e rij wordt uitgegaan van een *Pinus sylvestris* 175-200 met een geschatte aanschafprijs van € 100 per stuk. Voor 230 m. lengte zijn 38 bomen nodig. De beukenhaag heeft een aanschafprijs van € 10 per strekkende m.

Investering

De totale investering staat in Tabel 5. De jaarlijkse kosten bestaan uit rente, afschrijving en onderhoud. De rente bedraagt 5% over de helft van het geïnvesteerde bedrag. De afschrijvingstermijn van het groenelement is 50 jaar. Het onderhoud is met name aan het begin heel hoog omdat veel tijd besteed moet worden om de aangeplante bomen in leven te houden. Gemiddeld over de 50 jaar schatten is het onderhoud 3% van de investering.

Tabel 6. Overzicht van de investering nodig voor de aanleg van het groenelement rondom het leghennenbedrijf.

	Aantal	Prijs per stuk (€)	Totaal (€)
1 ^{ste} rij	30	1000	30.000
2 ^{de} rij	34	550	18.700
3 ^{de} rij	38	100	3.800
Beukenhaag ¹	235	10	2.350
Plantkosten			20.000
Totaal			74.850
Jaarlijkse kosten		5,5%	4.120

¹ Prijs per strekkende m.

De jaarlijkse kosten bedragen 5%/2 + 2% + 1% is 5,5% over € 74.850 wat leidt tot een jaarlijkse kostenpost van ruim € 4.100 voor het leghennenbedrijf. Omgerekend naar dierplaats is dit € 0,10.

De kosten van het groenelement per dierplaats van de vleeskuikenstallen van 0,05€ en van het leghennenbedrijf van € 0,10 liggen binnen de range van kosten berekend door Tyndall en Grala (Tyndall & Grala 2009).

4.3 Borging maatregel groenelementen als instrument voor verbeterde luchtkwaliteit

Voorwaarde voor een verantwoorde inzet van groenelementen ter verbetering van luchtkwaliteit is dat er vertrouwd op kan worden dat het instrument bij praktijkinzet het verwachte verwijderingsrendement haalt. Bij inzet als emissie reducerende techniek in de nabijheid van een stalgebouw kan aangesloten worden bij de huidige systematiek die in regelingen wordt gebruikt om emissies van ammoniak, geur en fijn stof terug te dringen. Deze werkwijze houdt in dat bij de beoordeling van vergunningverlening aan een veehouderijbedrijf de uitstoot van emissies op het betreffende bedrijf wordt vastgesteld via een systeem van emissiefactoren. De bedrijfsemissie kan dan getoetst worden per emissiecomponent. Voor ammoniak, geur en PM₁₀ zijn deze generieke emissiefactoren voor een groot aantal reguliere en emissiearme bedrijfssystemen vastgesteld in de verschillende diercategorieën. In deze lijsten komen ook stallen met luchtreinigingssystemen voor. Dit zou in principe ook kunnen voor een groenelement opgebouwd volgens een vastgestelde configuratie, waarbij alleen rekening gehouden wordt met de afvangst van fijnstof door het groenelement. In systeembeschrijvingen wordt de toegestane dimensionering en uitvoering beschreven, evenals de wijze waarop de werking van het systeem in de praktijk geborgd kan worden door controleparameters voor gemeentelijke handhavers. Voor het effect van het groenelement op de extra verdunning door opstuwing (het beïnvloeden van de luchtstromingen), zijn andere methoden nodig (zie verder).

Om meer inzicht te geven in de werkwijze wordt als voorbeeld de luchtwastechniek beschreven. De betrouwbaarheid van het resultaat van de techniek in de praktijk hangt af van twee elementen: de nauwkeurigheid waarmee een emissiefactor voor een techniek kan worden vastgesteld, en de effectiviteit van borging via controleparameters die regelmatig geïnspecteerd worden in het kader van handhaving. Wat betreft het eerste aspect wordt gebruik gemaakt van door de overheid voorgeschreven meetprotocollen om emissiefactoren vast te stellen. Daarmee wordt bereikt dat emissiefactoren met een bekende betrouwbaarheid worden doorgemeten volgens erkende meetmethoden. Voor luchtwastechnieken schrijft het protocol bv. voor dat de verwijdering van ammoniak en fijnstof op twee verschillende praktijkbedrijven gedurende de periode van een jaar via een serie 24-uursmetingen wordt vastgesteld. De betreffende techniek is gedurende de test uitgevoerd conform de wijze waarmee het later in de systeembeschrijving wordt opgenomen. De kwaliteit en het resultaat van de metingen worden door een technische adviescommissie van I&M beoordeeld. De meetmethoden in deze protocollen zijn echter niet toegesneden op het testen van een groenelement. De huidige meetprotocollen zouden hiervoor geschikt moeten worden gemaakt en hiermee zou het effect van afvangst kunnen worden vastgesteld terwijl voor het effect op de luchtstroming andere technieken zouden moeten worden toegepast. Naast de technische en financiële aspecten komt eveneens de vraag aan de orde of een dergelijke testopzet voldoende representatief kan zijn voor de verschillende uitvoeringen van stalgebouwen in de praktijk. De meetprotocollen laten ook andere methodes voor vaststelling van het rendement toe mits aannemelijk kan worden gemaakt dat een andere aanpak minstens gelijkwaardig is qua nauwkeurigheid van het resultaat. Voor de effecten op de luchtstroming zou een alternatief een toegesneden luchtstromingsmodel kunnen zijn. Deze dient ontwikkeld te worden op basis van huidige onderzoeksgegevens, eventueel ondersteund met aanvullend onderzoek. Met een dergelijk model zou het rendement van één of meerdere standaardconfiguraties voor de praktijk kunnen worden doorgerekend. Naast het vaststellen van rendementen kan een dergelijk model ook bijdragen aan het optimaliseren van de configuratie van een element. Een bijzonder aspect aan de inzet van groenelementen is hoe omgegaan kan worden met de groei van het element en het verwijderingsresultaat. Ook hier zou een luchtstromingsmodel, zoals bijvoorbeeld Computational Fluid Dynamics (CFD) of particle trapping modellen zoals gebruikt worden voor de certificering van driftarme spuitdoppen (Groot *et al.* 2011; Holterman & van de Zande 2007; Holterman *et al.* 1997) goede diensten kunnen bewijzen.

Wanneer het verwijderingsrendement is vastgesteld voor één of meerdere standaarduitvoeringen kan worden overgegaan tot het opmaken van een systeembeschrijving. In het standaardformat van een systeembeschrijving dient aangegeven te worden waaraan het systeem qua dimensionering en uitvoering moet voldoen om het vastgestelde emissiereducerende resultaat te behalen. De beschrijving dient voldoende duidelijk voor

vergunningverleners te zijn om bij realisatie van de techniek in de praktijk te kunnen controleren of aan deze beschrijving wordt voldaan. Voor een groenelement zou het hierbij bv. om de afmetingen kunnen gaan, afstand en positionering t.o.v. de stal en gebruikte bomensoorten. Daarnaast dienen in de beschrijving controle-parameters te worden opgenomen die een voortdurende effectieve werking bij gebruik waarborgen. Voor een groenelement zou het hier bv. kunnen gaan om parameters die het onderhoud van het element garanderen. De inschatting hier is dat zowel de controle bij ingebruikname als de controle op voldoende werking geen onoverkomelijke problemen hoeft op te leveren in de praktijk.

Samengevat wordt hier geconcludeerd dat de uitdaging voor borging van de maatregel in de praktijk vooral ligt bij de betrouwbaarheid waarmee het effect van de maatregel kan worden vastgesteld in testopstellingen op praktijkbedrijven of in een modelmatige aanpak.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies uit onderzoek

Algemene effecten van groenelementen op de concentraties fijnstof en gasvormige componenten:

- De concentratie van vervuilende stoffen wordt verlaagd doordat:
 1. het groenelement een bijdrage levert via extra verdunning door opstuwing van de vervuilde lucht, waardoor extra inmenging met schonere lucht optreedt,
 2. het groenelement emissies/vervuilingen uit de lucht afvangt door botsing van deeltjes op gewassen en door opname van gassen (NO_2 en NH_3) via de huidmondjes.
- Het uiteindelijke, verdunnende effect (netto resultaat) van een groenelement op de concentratie vervuilende stoffen op enige afstand achter het groenelement, is de resultante van complexe, elkaar bevorderende maar ook belemmerende, processen (stromingsleer) en daardoor lastig te voorspellen.
- Groenelementen nemen stikstofhoudende gasvormige stoffen (emissies/vervuilingen van NO_2 en NH_3) op uit de lucht en benutten dat voor de groei. De hoeveelheden die nodig zijn voor een goede groei van de gewassen, zijn in het algemeen gering in verhouding tot de hoeveelheden die door verkeer of veehouderij in de lucht gebracht worden. De concentratieafname door permanente opname is in de orde van 'enkele procenten'.

Specifieke conclusies t.a.v. verkeersemisies:

- Groenelementen vangen PM_{10} af. Dit betreft voornamelijk de grotere deeltjes binnen PM_{10} (3 tot 10 μm). Het verkeer stoot voor het overgrote deel een andere deeltjesgrootte uit ($<2,5 \mu\text{m}$). Groenelementen verlagen wel de massa PM_{10} in de lucht maar vangen de verkeersemisies nauwelijks af.
- In bepaalde situaties kunnen bomen en struiken de lokale concentratie van emissies verhogen, doordat juist de verdunning van de emissies met schonere lucht wordt gehinderd door de bomen (street canyon) en emissies blijven hangen.

Specifieke conclusies t.a.v. veehouderijemissies:

- Groenelementen vangen NH_3 af als gasvormige emissies maar ook in de vorm van secundair fijnstofdeeltjes. Over de afvangst van ammoniak als fijnstofdeeltje is weinig onderzoek bekend.
- Groenelementen kunnen, geschat op basis van experimenten en in een ideale situatie, de PM_{10} emissie op enige afstand achter het groenelement met ongeveer 30% permanent verlagen.
- De geëmitteerde fractie stof $> \text{PM}_{10}$ kan zeer waarschijnlijk goed afgevangen worden door een groenelement.
- Een reducerend effect van groenelementen op geur is niet overtuigend aangetoond. Een substantieel effect is ook niet te verwachten. Mogelijk draagt de afvangst van grovere stofdeeltjes enigszins bij aan minder geurbelasting in de omgeving, maar een dergelijk effect is met de huidige geurmeetmethoden niet goed aan te tonen.
- De kosten van een groenelement voor het verminderen van de concentratie fijnstof zijn laag in vergelijking met andere maatregelen, €0,05 per dierplaats voor een vleeskuikenstal en €0,10 per dierplaats voor een leghennenbedrijf.

5.2 Aanbevelingen

Uit deze samenvattende studie komen een aantal aanbevelingen naar voren. Het betreft hier aanbevelingen voor vervolgonderzoek maar ook voor de ontwikkeling van een strategie en visie over de mogelijkheden om groenelementen in te zetten voor een betere luchtkwaliteit.

Aanbevelingen:

- De geschatte concentratieverbetering van ongeveer 30% dient op een veehouderijbedrijf bevestigd te worden. Een perspectievenstudie zou kunnen aangeven of een studie op een veehouderijbedrijf mogelijk is en aan welke randvoorwaarden een dergelijke studie zou moeten voldoen.

- De afvangst van grotere geëmitteerde deeltjes uit de veehouderij kunnen mogelijkwerwijs goed afgevangen worden door groenelementen. Hoewel deze deeltjesgrootte voor de normen van fijnstof minder interessant is, kan dit wellicht wel een bijdrage leveren aan het verminderen van de emissie van bioaerosolen, die voornamelijk gevonden wordt op de grotere stofdeeltjes (Aarnink *et al.* 2012). Dit zou in de bovengenoemde perspectievenstudie goed meegenomen kunnen worden.
- Een praktijkstudie naar de afvangst van fijnstof en eventueel ammoniak door groenelementen op een veehouderijbedrijf vormt een goede basis voor modelontwikkeling. Speciale aandacht is daarbij nodig voor turbulente stroming rondom ventilatoren en de emissiepluim.

Literatuur

- Aarnink A.J.A., M. Cambra-López, H.T.L. Lai & N.W.M. Ogink, 2011.
Size distribution and sources of dust from stables: summary report [in Dutch with English abstract].
Wageningen UR Livestock Research, Lelystad. 22 p p.
- Aarnink A.J.A., J. Mosquera, M. Cambra López, H.I.J. Roest, J.M.G. Hol, M.C. Van der Hulst, Y. Zhao, J.W.H. Huis in 't Veld, F.A. Gerrits & N.W.M. Ogink, 2012.
Emissies van stof en ziektekiemen uit melkgeitenstallen. 489, Wageningen UR Livestock Research, Lelystad, 49 pp.
- Abel N., J. Baxter, A. Campbell, H. Cleugh, J. Fargher, R. Lambeck, R. Prinsley, M. Prosser, R. Reid, G. Revell, C. Schmidt, R. Stirzaker & P. Thorburn, 1997.
Design principles for farm forestry. A Guide to assist far mers to decide where to place trees and farm plantations on farms. Rural Industries Research and Development Corporation, Barton, Kingston. 102 p.
- Adaros G. & U. Dämmgen, 1994.
Phytotoxische Wirkungen der aktuellen NH₃-Immissionen. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Braunschweig
- Adrizal A., P.H. Patterson, R.M. Hulet, R.M. Bates, C.A.B. Myers, G.P. Martin, R.L. Shockey, M. Van Der Grinten, D.A. Anderson & J.R. Thompson, 2008.
Vegetative buffers for fan emissions from poultry farms: 2. Ammonia, dust and foliar nitrogen. Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes 43, 96-103.
- Anonymous, 1998.
Het nieuwe nationaal model. Model voor de verspreiding van luchtverontreiniging uit bronnen over korte afstanden. Infomil, Den Haag.
- Bealey W.J., A.G. McDonald, E. Nernitz, R. Donovan, U. Dragosits, T.R. Duffy & D. Fowler, 2007.
Estimating the reduction of urban PM10 concentrations by trees within an environmental information system for planners. Journal of Environmental Management 85, 44-58.
- Beckett K.P., P. Freer Smith & G. Taylor, 2000.
Effective tree species for local air-quality management. Journal of Arboriculture 26, 12-19.
- Bloemen H.J.T., W. Uiterwijk, E. Van Putten & J. Wesseling, 2007a.
De invloed van bebouwing en vegetatie op luchtkwaliteit. RIVM rapport 729999003/2007, RIVM, Bilthoven, 27 pp.
- Bloemen H.J.T., W. Uiterwijk & J. Wesseling, 2007b.
Invloed van vegetatie op stikstofdioxideniveaus. Een oriënterend onderzoek. RIVM rapport 680705003/2007, RIVM, Bilthoven, 21 pp.
- Breuer L., K. Eckhardt & H.G. Frede, 2003.
Plant parameter values for models in temperate climates. Ecological Modelling 169, 237-293.
- Buijsman E., J.P. Beck, L. Van Bree, F.R. Cassee, R.B.A. Koelemeijer, J. Matthijsen, R. Thomas & K. Wieringa, 2005.
Fijn stof nader bekeken. De stand van zaken in het dossier fijn stof. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven. 63 p.
- Burley H.K., A. Adrizal, P.H. Patterson, R.M. Hulet, H. Lu, R.M. Bates, G.P. Martin, C.A.B. Myers & H.M. Atkins, 2011.
The potential of vegetative buffers to reduce dust and respiratory virus transmission from commercial poultry farms. Journal of Applied Poultry Research 20, 210-222.
- 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. // Workshop on Agricultural Air Quality, 2006. pp. 284-291.
- Davidson C.I. & Y.L. Wu, 1990.
Dry deposition of particles and vapors. // Acid precipitation, Eds S.E. Lindberg, A.L. Page & S.A. Norton. pp. 103-216. Springer, Berlin.

- De Maerschack B., P. Vos, S. Janssen & T. Op't Eyndt, 2011.
Envi-met Modelanalyse: Effecten van Vegetatie op de Lokale Luchtkwaliteit in een Street Canyon, Vito, 41 pp.
- De Ridder K., 2003.
First Research Brief. VITO NV, Mol.
- De Ridder K., 2004.
Research Summary VITO NV, Mol.
- De Visser P.H.B. & L.J.M. Van der Eerden, 1996.
Effecten van ammoniak op planten in de directe omgeving van stallen: update van een risicoschatting. AB-DLO, Wageningen. 62 p.
- Erbrink H., P. Hofschreuder, S. Jansen, V.H.M. Kuypers, B. De Maerschack, F. Ruyten, E.A. De Vries & J. De Wolff, 2009.
Flora-vegetatie voor een betere luchtkwaliteit. Rijkswaterstaat DVS, Delft. 197 p.
- Franzaring J. & C.J.v. Dijk, 2000.
A feasibility study on the potential use of buffer plantings as pollutant traps of emissions from livestock farming. Plant Research International, Wageningen. 28, XIII p p.
- Groot T.T., J.C. van der Zande & H.J. Holterman, 2011.
Onderzoek aan Agrotop AirMiX AM80.025 Hollow Cone spuitdop ter verkrijging van de status driftarm en voor classificatie op basis van driftgevoeligheid. Rapport 412, Plant Research International, Wageningen.
- Heisler G.M. & D.R. Dewalle, 1988.
Effects of windbreak structure on wind flow. Agriculture, Ecosystems and Environment 22/23, 41-69.
- Hernandez G., S. Trabue, T. Sauer, R. Pfeiffer & J. Tyndall, 2012.
Odor mitigation with tree buffers: Swine production case study. Agriculture, Ecosystems and Environment 149, 154-163.
- Hiemstra J.A., E. Schoemaker, A. Tonneick, E.G. & M.H.A. Hoffman, 2008.
Bomen, een verademing voor de stad. Plant Publicity Holland.
- Hoffman M., 2009.
Planten en luchtkwaliteit. Dendroflora 46, 24-49.
- Hofschreuder P., 2011.
Stromingen van ventilatielucht uit stallen door groenelementen. Intern rapport, Animal Science Groups, Wageningen, 13 pp.
- Hofschreuder P., A.E.G. Tonneijck & E. Hofschreuder, 2005.
Optimalisatie van geluidsschermen voor de verbetering van de luchtkwaliteit. Agrotechnology & Foods Innovations B.V., Wageningen. 90 p.
- Holterman H.J. & J.C. van de Zande, 2007.
Onderzoek aan Agrifac HTA D3-21 TKSS-5 en TKSS-7.5 spuitdoppen ter verkrijging van de status driftarm en voor classificatie op basis van driftgevoeligheid. Nota 465, Plant Research International, Wageningen.
- Holterman H.J., J.C. Van De Zande, H.A.J. Porskamp & J.F.M. Huijsmans, 1997.
Modelling spray drift from boom sprayers. Computers and Electronics in Agriculture 19, 1-22.
- Janssen S., B. De Maerschack, J. Vankerkom & J. Vliegen, 2008.
Modelanalyse van de IPL-meetcampagne langs de A50 te Vaassen ter bepaling van het effect van vegetatie op de luchtkwaliteit langs snelwegen: ENVI-met modellering van de ECN 2006 meetcampagne te Vaassen. Eindrapport. VITO NV.
- Jimmink B.A., P.W.H.G. Coenen, R. Droge, G.P. Geilenkirchen, A.J. Leekstra, C.W.M. Van der Maas, C.J. Peek, J. Vonk & D. Wever, 2011.
Emissions of transboundary air pollutants in the Netherlands 1990-2009: Informative Inventory Report 2011. [Emissies van luchtverontreinigende stoffen in Nederland, 1990-2009: Toelichting op jaarlijkse reeks emissiecijfers]. RIVM rapport 680355003, RIVM, Bilthoven, 117 pp.
- Jonkers S., 2008.
Effecten van bomen in het CAR II model: Herbepaling van de bomenfactor en literatuuronderzoek naar filtereffecten van bomen. TNO, Utrecht. 26 p.
- Keuken M., 2009.
Effecten maatregelen voor oplossen knelpunten luchtkwaliteit in Amsterdam. TNO, Utrecht. 39 p.

- Langner M., 2006.
Exponierter innerstädtischer Spitzahorn (*Acer platanoides*) - eine effiziente Senke für PM₁₀? Institut für Geographie und Geoökologie der Universität Karlsruhe, Karlsruhe. 135 p.
- Lin X.J., S. Barrington, J. Nicell & D. Choinière, 2007.
Effect of natural windbreaks on maximum odour dispersion distance (MODD). *Canadian Biosystems Engineering / Le Genie des biosystems au Canada* 49, 6.21-26.32.
- Malone G.W., 2004.
Using trees to reduce dust and odour emissions from poultry farms. *In* Proceedings 2004 Poultry Information Exchange, Surface Paradise, Qld, Australia, 19 April 2004, 2004. pp. 33-38.
- Malone G.W., G.L. Van Wicklen & S.L. Collier, 2008.
Efficacy of Vegetative Environmental Buffers to Mitigate Emissions from Tunnel-Ventilated Poultry Houses. *In* Mitigating air emissions from animal feeding operations conference. Exploring the advantages, limitations, and economics of mitigation technologies, Eds C.J. Hapeman & L.L. McConnell, Hotel Fort Des Moines, Des Moines, Iowa.
- McDonald A.G., W.J. Bealey, D. Fowler, U. Dragosits, U. Skiba, R.I. Smith, R.G. Donovan, H.E. Brett, C.N. Hewitt & E. Nemitz, 2007.
Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM₁₀ in two UK conurbations. *Atmospheric Environment* 41, 8455-8467.
- McNaughton K.G., 1988.
Effects of windbreaks on turbulent transport and microclimate. *Agriculture Ecosystems & Environment* 22-3, 17-39.
- Nowak D.J., D.E. Crane & J.C. Stevens, 2006.
Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening* 4, 115-123.
- Parker D.B., G.W. Malone & W.D. Walter, 2011.
Vegetative environmental buffers for reducing downwind odor and VOC's from tunnel-ventilated swine barns. *In* ASABE Annual International Meeting. pp 1-22, Louisville, Kentucky.
- Parker D.B., G.W. Malone & W.D. Walter, 2012.
Vegetative environmental buffers and exhaust fan deflectors for reducing downwind odor and VOCs from tunnel-ventilated swine barns. *Transactions of the Asabe* 55, 227-240.
- Pronk A.A., 2012.
Beplanting en luchtkwaliteit. CROW, Ede. 72 p.
- 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, planmt Research International, Wageningen.
- Raupach M.R., J.F. Leys, N. Woods, G. Dorr & H.A. Cleugh, 2000.
Modelling the effect of riparian vegetation on spray drift and dust: the role of local protection. CSIRO Land and Water Canberra, Australia. 43 p.
- Raupach M.R., N. Woods, G. Dorr, J.F. Leys & H.A. Cleugh, 2001.
The entrainment of particles by windbreaks. *Atmospheric Environment* 35, 3373-3383.
- RIGO-projectgroep Groen Salland, 2012.
Kenniskbank Houtwallen. Alles over de geschiedenis, het aanplanten en beheren van houtwallen. 46 p.
- Twomey S., 1977.
Atmospheric aerosols. Elsevier, Amsterdam. 302 p.
- Tyndall J.C. & R.K. Grala, 2009.
Financial feasibility of using shelterbelts for swine odor mitigation. *Agroforestry Systems* 76, 237-250.
- Van der Eerden L.J., P. De Visser & M. Peérez-Soba, 1998.
Urban and agricultural nitrogen deposition: are there differences in impact? *In* Responses of plant metabolism to air pollution and global change invited and contributed papers of the 4th international symposium on responses, Eds L.J. De Kok & I. Stulen. pp 469-471. Backhuys, Leiden, Egmond aan Zee.
- Van der Sluis B.J., A.A. Pronk, F.C.T. Guiking & W.J.M. Hazelaar, 2004.
Kosteneffectieve maatregelen-pakketten bij mineralenbeleid verdergaand dan Minas: boomkwekerij, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Bomen, Boskoop, 43 pp.

- Van Dijk C.J., T.A. Dueck, G.W.W. Wamelink & J. Mosquera, 2005.
Invloed van een landschapselement (windsingel) op de verspreiding van ammoniak uit een varkenshouderij: eindrapport. Plant Research International, Wageningen. 28 p.
- Van Hove L.W.A., 2006.
De invloed van de geplande groengebieden nabij de N201 op de achtergrondconcentratie van fijn stof. Alterra, Wageningen. 21 p.
- Vankerkom J., B. Maiheu, B. De Maerschalck & S. Janssen, 2009.
Modelanalyse ter optimalisatie van lokale luchtkwaliteitsmaatregelen te Waalre. VITO NV, Mol. 26 p.
- Vermeulen A.T., A. Kraai, J.H. Duyzer, E.J. Klok & A.A. Pronk, 2009.
Vegetatie voor een betere luchtkwaliteit. Prijsvraag 'Meten is weten'. Perceel 1: A50 Vaassen. De invloed van vegetatie langs (snel) wegen op de luchtkwaliteit. Eindrapport. Rijkswaterstaat DVS, Delft. 54 p.
- Weijers E.P., G.P.A. Kos, W.C.M. Van den Bulk & A.T. Vermeulen, 2006.
Onderzoek naar de luchtkwaliteit rondom een vegetatiestrook langs de snelweg. ECN, Petten.
- Wesseling J., S. Van der Zee & A. Van Overveld, 2011.
Het effect van vegetatie op de luchtkwaliteit.
- Wesseling J.P., J. Duyzer, A.E.G. Tonneijck & C.J. Van Dijk, 2004.
Effecten van groenelementen op NO₂ en PM₁₀ concentraties in de buitenlucht. TNO, Apeldoorn. 75 p.

Bijlage I.

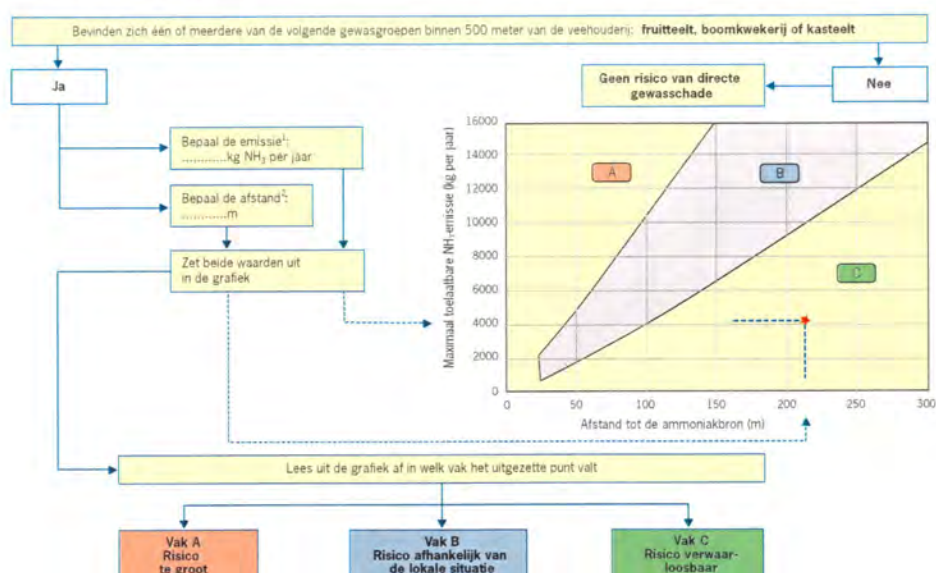
Risicoschatting van ammoniakschade aan gewassen in de directe omgeving van intensieve veehouderijbedrijven



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 stal(len): afstand (m) tussen het emissiezwaartpunt van de bron en het dichtstbijzijnde punt van het perceel met het gevoelige gewas. Het emissiezwaartpunt 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' emissiezwaartpunt ($\sum(\text{afstand} \times \text{emissie}) / \sum \text{emissies}$).

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.



Neem voor meer informatie contact op met:
AB, C.J. (Chris) van Dijk
Postbus 14, 6700 AA Wageningen
Telefoon: 0317 475 910 - Fax: 0317 423 110
E-mail: c.j.vandijk@ab.wag-ur.nl

WAGENINGEN UR

Bijlage II.

Indeling van bomen en stuiken naar ammoniak (NH₃) gevoeligheid (Franzaring & Dijk 2000)

Inheemse soorten	Nederlandse naam	Sensitivity [Relatief ^a]
Acer campestre	Spaanse aak	Ins
Acer negundo	Velderesdoorn	Ins
Buxus sempervirens	Palmboompje	Ins
Crataegus spec.	Meidoorn	Ins
Ligustrum vulgare	Wilde liguster	Ins
Pinus mugo	Bergden	Ins
Pinus nigra	Zwarte den	Ins
Pinus sylvestris	Grove den	Ins
Quercus robur	Zomereik	Ins
Rhododendron spec.	Rhododendron	Ins
Rosa canina	Hondsroos	Ins
Acer pseudoplatanus	Gewone esdoorn	Mod
Betula pubescens	Zachte berk	Mod
Cornus mas	Gele kornoelje	Mod
Fagus sylvatica	Beuk	Mod
Fraxinus excelsior	Gewone es	Mod
Larix decidua	Europese lork	Mod
Berberis vulgaris	Zuurbes	mod-ins
Hedera helix	Klimop	mod-ins
Alnus glutinosa	Zwarte els	Sens
Carpinus betulus	Haagbeuk	Sens
Picea abies	Fijnspar	Sens
Sorbus aucuparia	Wilde lijsterbes	Sens
Tilia cordata	Kleinbladige linde	Sens
Sambucus nigra	Gewone vlier	sens-mod
Taxus baccata	Taxus	sens-mod
Uitheemse soorten		
Tsuga canadensis	Canadese hemlockspar	Ins
Hamamelis spec.	Toverhazelaar	Ins
Quercus rubra	Amerikaanse eik	Ins
Robinia pseudoacacia	Witte acacia	Ins
Thuja occidentalis	Westerse levensboom	ins-sen
Picea omorika	O	Mod
Pinus strobus	Weymouthden	ins-sens
Pseudotsuga menziesii	Douglasspar	Sens
Snel groeiende soort		
Populus nigra	Zwarte populier	ins-sens

^a *ins=insensitive, mod=moderately sensitive, sens=sensitive, beoordelingsmethode overgenomen van Adaros & Dämmgen (1994).*

