



Effecten van landschapselementen op de ammoniakdepositie in Natura 2000-gebieden

Hans Kros, Edo Gies en Jan Cees Voogd

Effecten van landschapselementen op de ammoniakdepositie in Natura 2000-gebieden

Hans Kros, Edo Gies en Jan Cees Voogd

Met advies en ondersteuning van Wilco de Vries, Jan Aben en Addo van Pul (RIVM)

Alterra Wageningen UR

Wageningen, december 2015

Alterra-rapport 2689


ISSN 1566-7197

Kros, J., T.J.A. Gies en J.C.H. Voogd, 2015. *Effecten van landschapselementen op de ammoniakdepositie in Natura 2000-gebieden*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2689. 38 blz.; 21 fig.; 10 tab.; 25 ref.

Om het mogelijke effect van het aanbrengen van landschapselementen op de NH_x ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) depositie op Natura 2000-gebieden in te schatten, is door Alterra een aantal indicatieve berekeningen uitgevoerd voor de gehele provincie Overijssel. De berekeningen zijn uitgevoerd met het OPS-model van het RIVM. Het aanbrengen van een landschapselement van 50m breed rondom bedrijven, lijkt van de doorgerekende scenario's het meestbelovend.

Trefwoorden: ammoniak, landschapselementen, Proeftuin Natura 2000, PAS

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2015 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2689 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Shutterstock

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
2	Literatuuronderzoek	10
3	Methodiek: OPS-berekening en scenario's landschapselementen	16
	3.1 Werking OPS-model	16
	3.2 Aanpassen van oppervlakte weerstand in OPS	17
	3.3 Scenario's	17
	3.4 Aanpak OPS-berekening en scenario's	18
4	Resultaten OPS-berekening	21
	4.1 Resultaten voor geheel Overijssel	21
	4.2 Effect van aantal bedrijven voorzien van landschapselementen	29
5	Conclusies en discussie	30
	5.1 Conclusies	30
	5.2 Discussie	30
	Literatuur	32
	Bijlage 1 Vegetatieparameters voor de verschillende soorten landgebruik in het OPS	34
	Bijlage 2 Effecten van een bedrijf op een N2000-gebied	35
	Bijlage 3 Inzoomen Boetelerveld en Aamsveen	37

Woord vooraf

In het kader van het project Proeftuin Natura 2000 Overijssel worden mogelijkheden onderzocht om via bedrijfsmanagement de ammoniakemissie te verlagen. Proeftuin Natura 2000 Overijssel richt zich op de realisatie van Natura 2000-doelstellingen in de provincie Overijssel met behoud van agrarisch ontwikkelingsperspectief. Het project combineert het ontwikkelen en toepassen van ammoniak-reducerende maatregelen in de praktijk, met de kennisuitwisseling tussen veehouders, adviseurs en andere betrokkenen. Hoewel de basis van de Proeftuin in Overijssel ligt, zijn de ervaringen en resultaten landelijk van meerwaarde. Uit bijeenkomsten met deelnemende boeren van Proeftuin Natura 2000 Overijssel is om nader onderzoek gevraagd over de effecten van landschapselementen op de uitstoot van ammoniak uit veestallen.

Om het mogelijke effect van het aanbrengen van landschapselementen op de NH_x -depositie op Natura 2000-gebieden in te schatten, is door Alterra een aantal indicatieve berekeningen uitgevoerd voor de gehele provincie Overijssel. Hierbij is vooral nagegaan in hoeverre de locatie van de landschapselementen, rondom de stal of rondom een Natura 2000-gebied, de mate van depositie-reductie op de natuur beïnvloedt. De berekeningen zijn uitgevoerd met het OPS-model van het RIVM. Bij de uitvoering van dit onderzoek hebben wij dankbaar gebruikgemaakt van de adviezen en ondersteuning bij het duiden van de resultaten door Wilco de Vries, Jan Aben en Addo van Pul (allen werkzaam bij het RIVM).

Dit onderzoek is gefinancierd door de Proeftuin Natura 2000 Overijssel en achterliggende financiers.

De auteurs

Samenvatting

Aan de effecten van landschapselementen op de ammoniakinvang is veel experimenteel, veld- en modelonderzoek verricht. Voor zover bekend, is echter nog nooit gekeken wat het mogelijke effect is op de ammoniakdepositie in natuurgebieden bij het op grote, ruimtelijke schaal – zoals een gehele provincie – toepassen van landschapselementen. Om hier meer inzicht in te krijgen, heeft de projectgroep Proeftuin Natura 2000 aan Alterra gevraagd om een beknopte verkennende studie uit te voeren naar de mogelijk te behalen effecten. De belangrijkste onderzoeksvraag betrof: in hoeverre is het inzetten van het grootschalig inzetten van landschapselementen zinvol als maatregel om de depositie op de natuur te verminderen?

Om deze vraag te beantwoorden, is eerst een beknopt literatuuronderzoek uitgevoerd naar de effectiviteit van landschapselementen als invangers van ammoniak, waarbij is voortgebouwd op een recentelijk uitgevoerde deskstudie door LTO Noord. Vervolgens is, om een indicatief inzicht te krijgen in de effecten van het grootschalig inzetten van landschapselementen op gebiedsniveau op de N-depositie in een Natura 2000-gebied, een modelstudie uitgevoerd. Hierbij is gebruikgemaakt van het atmosferische verspreidingsmodel OPS-model van het RIVM, het model dat is opgenomen als rekenhart in de PAS-rekentool Aerius. Dit model is toegepast voor de gehele provincie Overijssel om de perspectieven ten aanzien van reductie van de ammoniakdepositie van diverse varianten van het toepassen van landschapselementen op gebiedsniveau in beeld te brengen.

Om het effect van deze varianten op de NH_x -depositie te kwantificeren zijn de volgende scenario's doorgerekend voor het vaststellen van de NH_x -depositie op de Natura 2000-gebieden (N2000-gebieden) ten gevolge van de stal- en opslagemissie:

0. De huidige (GIAB 2013/LGN7) situatie.
 1. Een landschapselement van 50m rondom de bedrijven.
 2. Een landschapselement van 250m rondom de bedrijven.
 3. Een landschapselement van 50m rondom N2000-gebieden.
 4. Een landschapselement van 250m rondom N2000-gebieden.
 5. Verruwen van de ruimte tussen 250m rondom bedrijven en 250m rondom N2000-gebieden (tussengebieden).
 6. Scenario 1, 3 en 5 gecombineerd.
 7. Scenario 2, 4 en 5 gecombineerd.

Uit experimenteel onderzoek blijkt dat met groene landschapselementen rondom stallen een reductie van ca. 3% (op basis van Schotsonderzoek) tot ca. 8% (op basis van Nederlands onderzoek) van de geëmitteerde ammoniak te realiseren is. Door het vergroten en/of weloverwogen aanleggen van het landschapselement zijn waarschijnlijk hogere reducties te bereiken. In deze verkennende studie kijken we niet naar het effect van emissiereductie, maar naar het effect van depositiereductie op de habitattypen in de Overijsselse Natura 2000.

Het grootste effect, een reductie van de NH_x -depositie ten gevolge van de stal- en opslagemissie met ca. 10%, wordt bereikt door het integraal verruwen van het tussengebied (11%) en het aanbrengen van een landschapselement van 250m (10% reductie). Het geringste effect, 3% reductie, wordt bereikt met het aanleggen van een landschapselement rondom N2000-gebieden, waarbij het verschil tussen een landschapselement van 50m en 250m verwaarloosbaar klein is.

Het aanbrengen van een landschapselement van 50m breed rondom bedrijven, lijkt van de doorgerekende scenario's het meestbelovend. De benodigde ingreep is namelijk ten opzichte van de overige scenario's het minst ingrijpend. Het heeft betrekking op minder dan 1% van het landareaal in Overijssel. Het te behalen effect van deze maatregel bedraagt 8 tot 12% reductie van de depositie door stal- en opslagemissie.

1 Inleiding

Ammoniak heeft een schadelijk effect op natuurlijke vegetaties als gevolg van eutrofiëring en verzuring, met name op gevoelige natuurgebieden zoals de stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden (N2000-gebieden). Uit bijeenkomsten met deelnemende boeren van Proeftuin Natura 2000 Overijssel is om nader onderzoek gevraagd over de effecten van landschapselementen op de uitstoot van ammoniak uit veestallen. Achterliggende gedachte bij de boeren is dat ze toch landschappelijk moeten inpassen. Als hierbij het mes aan twee kanten snijdt, wordt het vervolgens een (bedrijfs)economische afweging. Hun vraag is letterlijk: heeft het plaatsen van groene landschapselementen effect en zo ja, waar, waarmee en in welke omvang?

Achterliggende gedachte bij dit onderzoek is dat door de aanleg van groene ofwel uit vegetatie bestaande landschapselementen, zoals windsingels, houtwallen en heggen een verdunnend effect optreedt door opstuwning van vervuilde lucht, waardoor er vermenging met schonere lucht optreedt. Daarnaast wordt de vervuilde lucht over een groter gebied verspreid. In het vervolg zal voor de aanduiding van dergelijke groene structuren voornamelijk de term landschapselementen worden gebruikt. Op deze wijze zal de depositie van ammoniak over een groter gebied worden verspreid, waardoor de depositie in de nabijheid van de bron wordt verlaagd (zie bijv. Pronk *et al.*, 2013). Landschapselementen vormen ook een fysiek obstakel voor de verspreiding van stoffen en deeltjes in de atmosfeer. Door de fysieke aanwezigheid en het deels afvangen en/of opname door het blad (gefilterd) van de geëmitteerde ammoniak door de beplanting zou de ongewenste verspreiding van vervuilde lucht buiten de invloedssfeer van het landschapselement worden tegengegaan. Hierdoor wordt de ammoniak in de nabijheid van de bron gehouden, waardoor de concentratie – en daarmee de depositie – buiten de zone met aangebrachte landschapselement afneemt. Dit effect treedt zowel op bij een windsingel rondom een stal, waarbij de ammoniak in de buurt van de stal accumuleert, als bij een windsingel rondom een natuurgebied, waarbij er aan de randen van het gebied extra ammoniak wordt ingevangen.

Aan de effecten van landschapselementen op de ammoniakinvang is veel experimenteel, veld- en modelonderzoek verricht. Voor zover bekend, is echter nog nooit gekeken wat het mogelijke effect is op de ammoniakdepositie in natuurgebieden bij het op grote, ruimtelijke schaal – zoals een gehele provincie – toepassen van landschapselementen. Om hier meer inzicht in te krijgen, heeft de projectgroep Proeftuin Natura 2000 aan Alterra gevraagd om een beknopte verkennende studie uit te voeren naar de mogelijk te behalen effecten. De belangrijkste onderzoeksvraag betreft: in hoeverre is het inzetten van het grootschalig toepassen van landschapselementen zinvol als maatregel om de depositie op de natuur te verminderen?

Het doel van deze verkenning is tweeledig:

1. Kort overzicht van wat er bekend is uit de literatuur over landschapselementen als invangers van ammoniak.
2. Een indicatief inzicht krijgen in de effecten van het grootschalig inzetten van landschapselementen op gebiedsniveau op de N-depositie in een Natura 2000-gebied.

Hierbij is als volgt te werk gegaan. Allereerst is het literatuuronderzoek uitgevoerd, waarbij is voortgebouwd op een recentelijk uitgevoerde deskstudie van LTO Noord. Vervolgens zijn met behulp van het atmosferische verspreidingsmodel OPS van het RIVM (Sauter *et al.*, 2015) – het model dat is opgenomen als rekenhart in de PAS-rekentool Aeries (Metz, 2015) – de perspectieven van diverse varianten van het toepassen van landschapselementen op gebiedsniveau in beeld gebracht.

De resultaten van het beknopte literatuuronderzoek zijn beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 worden de doorgerekende scenario's beschreven die gebruikt zijn voor de OPS-berekeningen. De resultaten van de uitgevoerde OPS-berekeningen zijn beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 ten slotte worden de bevindingen bediscussieerd en de conclusies gepresenteerd.

2 Literatuuronderzoek

Naar het effect van het aanbrengen van landschapselementen op de luchtkwaliteit is door diverse onderzoeksgroepen onderzoek verricht. In Nederland betreft dit voornamelijk onderzoek in Wageningen-UR ASG/Meteorologie en luchtkwaliteit (Hofschreuder, 2008), Wageningen-UR PSG (Van der Eerden *et al.*, 1998; Tonneijck & Blom-Zandstra, 2002; Van Dijk *et al.*, 2005; Hiemstra *et al.*, 2008; Pronk *et al.*, 2013) en Wageningen-UR Alterra (Oosterbaan *et al.*, 2006). Hierbij is slechts in beperkte mate (door Van der Eerden *et al.*, 1998; Van Dijk *et al.*, 2004; Hofschreuder, 2008; Pronk *et al.*, 2013) specifiek de invloed van groenstructuren op de ammoniakconcentratie en/of depositie onderzocht. Het merendeel van het onderzoek is vooral gericht op de positieve bijdrage van groenstructuren aan de luchtkwaliteit in de stad, met de nadruk op fijnstof en stikstofoxiden (zie voor een samenvattend overzicht Kuypers *et al.*, 2006). Wat betreft het onderzoek naar bosranden is in het verleden vooral onderzoek uitgevoerd door de Universiteit Utrecht (Draaijers *et al.*, 1988). Internationaal is op gebiedsniveau zowel veldonderzoek uitgevoerd door het Centre of Ecology and Hydrology in het VK (Theobald *et al.*, 2001; Dragosits *et al.*, 2006) en in de VS (Adriral *et al.*, 2008) als modelonderzoek (Bealey *et al.*, 2014).

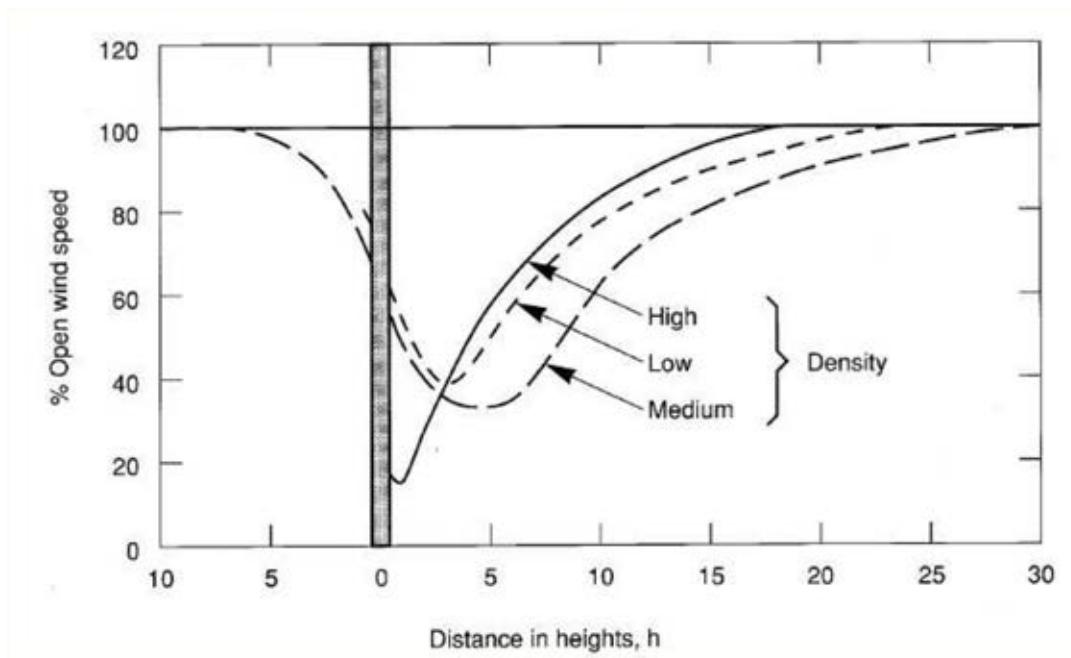
Het aanbrengen van landschapselementen heeft ruwweg op drie manieren invloed op de ammoniakconcentratie en ammoniakdepositie:

1. Luchtstroom beïnvloeden door:
 - a. Het tegenhouden van ammoniak, waardoor het neerslaat tussen de stal en het landschapselement.
 - b. De luchtstroom zodanig aan te passen dat er verdunning optreedt van ammoniak in de lucht en de ammoniak over een groter gebied wordt verspreid.
2. Opname ammoniak door landschapselementen.
3. Combinatie van beide effecten.

Verandering ammoniak depositie door beïnvloeding luchtstroom

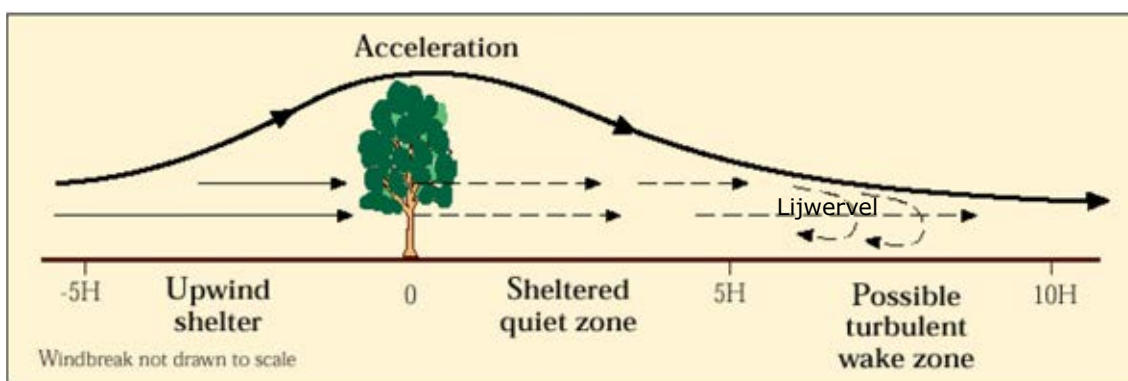
In Hofschreuder (2008) wordt een overzicht gegeven van de fysische principes achter de relaties tussen de emissie van ammoniak (en andere luchtverontreinigende stoffen in de atmosfeer, zoals fijnstof en broeikasgassen) vanuit de veehouderij en de beïnvloeding door landschapselementen in de nabijheid van stallen. Hierbij is sprake van een reductie in windsnelheid door fysieke aanwezigheid van een landschapselement en de invloed op de turbulentie voor en achter het element.

De reductie in windsnelheid is afhankelijk van de weerstand ofwel porositeit van het element, de breedte en de windrichting Jacobs (Jacobs, 1983; Heimann, 2003; Wesseling *et al.*, 2004), zie Figuur 1. Met behulp van deze gegevens is een optimale structuur van het landschapselement te berekenen om windreductie te bewerkstelligen. Hierover zijn diverse handboeken geschreven, zie bijv. Lambeck *et al.* (1997).



Figuur 1 Windsnelheid uitgedrukt als fractie van de windsnelheid in het vrije veld als functie van de afstand tot het landschapselement (uitgedrukt als het aantal keren de hoogte (h) van het element (distance in heights, h)) en de porositeit (density) van het scherm (Bron: Jacobs, 1983).

Als gevolg van reductie in windsnelheid treedt er een stuwing op van de vervuilde lucht over het element heen, waardoor er turbulentie ontstaat (Jacobs, 1983), zie ook Figuur 2. De wervel die hierdoor ontstaat, wordt veelal 'lijwervel' genoemd. Hierdoor treedt er menging op met schonere lucht uit hogere luchtlagen, waardoor de concentraties na het element dalen. Voor stallen met vegetatie eromheen is de situatie meer complex. Omdat een stal beperkt doorstroombaar is, wordt veel lucht over een stal gestuurd. Dit geldt vooral voor mechanisch geventileerde stallen, maar door de stromingsweerstand ook voor natuurlijk geventileerde stallen, zij het in mindere mate. Deze obstructie zorgt bij een stal zonder vegetatie bij hogere windsnelheden voor een lijwervel met hogere concentraties binnen die wervel. Vegetatie rond de stal zorgt voor een geleidelijkere overgang van de windsnelheid naar een stroming over de stal en daarmee een minder sterke lijwervel bij hogere windsnelheden (Hofschreuder, 2008).



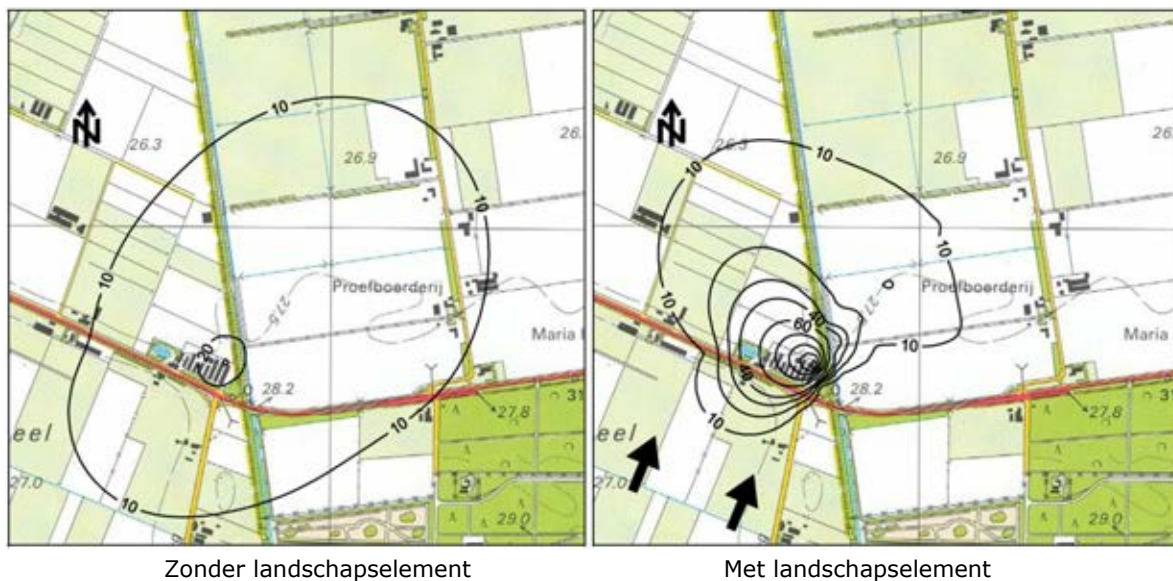
Figuur 2 Het ontstaan van turbulentie (ofwel lijwervel) achter een landschapselement (Bron: Lambeck et al., 1997).

Door het aanbrengen van landschapselementen in een open landschap treedt er vnl. in het verticale vlak een verdunnend effect op door opstuwing van lucht met een hoge ammoniakconcentratie, waardoor er extra inmenging met schonere lucht optreedt (Hofschreuder, 2008). Hierdoor wordt de

ammoniakconcentratie verlaagd en daarmee de depositie. Daarnaast kan door de plaatsing van landschapselementen de luchtstroom versterkt worden. Hierdoor wordt de vervuilde lucht over een groter gebied verspreid. Op deze wijze zal de depositie van ammoniak kort achter het landschapselement worden verlaagd en op grotere afstand worden verhoogd. Verder zal een windsingel ook de luchtstroom beperken, waardoor vnl. het horizontale verspreidingspatroon wordt aangepast. Hierdoor zal voor de windsingel de depositie hoger en achter de windsingel lager worden. Beide effecten bieden kansen voor de veehouderijen die zich in of vlak bij een Natura 2000-gebied bevinden.

Op basis van de literatuurstudie van Pronk *et al.* (2013) kan worden geconcludeerd dat landschapselementen een overtuigend effect hebben op fijn stof. Echter, de mate waarin landschapselementen de concentratie van ammoniak beïnvloeden, is minder uitgesproken en waarschijnlijk kleiner (Pronk *et al.*, 2013).

In Figuur 3 is het effect van de aanwezigheid een windsingel aan de oostkant van de stal op de NH_3 -concentratie geïllustreerd. Hierbij zijn de gemeten NH_3 -concentraties rondom een stal met windsingel (Figuur 3, rechts) vergeleken met de berekende concentraties voor een situatie zonder windsingel (Figuur 3, links) (Van Dijk *et al.*, 2004). Hieruit blijkt dat voor de situatie met windsingel (Figuur 3, rechts) het verspreidingspatroon sterk beïnvloedt. Dit resultaat laat zien dat als gevolg van de windsingel de NH_3 -concentratie beduidend sneller afneemt in zuidoostelijke richting. Zowel het concentratieniveau als de richting waarin de ammoniak wordt verspreid wijkt af ten opzichte van de denkbeeldige situatie zonder windsingel (Figuur 3, links).



Figuur 3 De verspreiding van ammoniak uit een stal zonder (links) en met een landschapselement (rechts). De contouren in de figuur geven de NH_3 -concentratie aan (in $\mu\text{g NH}_3 \text{ m}^3$) (Bron: Van Dijk *et al.*, 2004).

Opname van ammoniak door landschapselementen

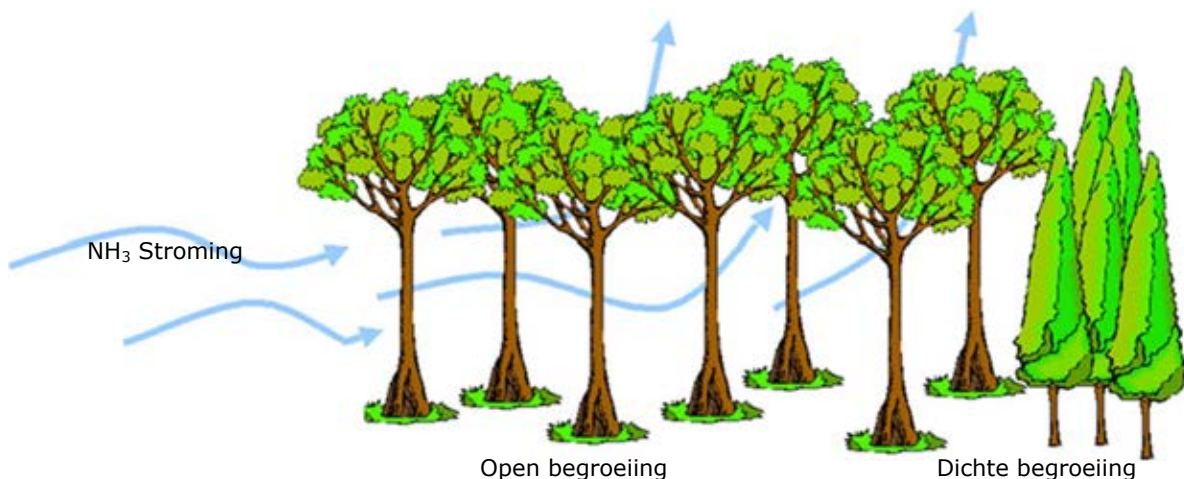
Volgens het literatuuronderzoek van Alterra (Oosterbaan *et al.*, 2006) hebben kleine landschapselementen de potentie om zowel fijnstof als ammoniak in te vangen. Op basis van bevindingen uit de literatuur hebben Oosterbaan *et al.* (2006) een bureaustudie uitgevoerd voor een pilotgebied van 1 km^2 in de omgeving van Woudenberg, met vier veehouderijen en groenelementen die ca. 3% van het oppervlak uitmaken. Voor dit pilotgebied is berekend dat de groene landschapselementen 8% van de geëmitteerde ammoniak vastleggen. Echter, Pronk *et al.* (2013) geven aan dat het onmogelijk is dat de ingevangen hoeveelheid ammoniak als nutriënt door de bomen wordt opgenomen. Zij vermoeden dat bij eerdere onderzoeken de ammoniakopname overschat is of mogelijk beïnvloed is door andere factoren.

De opname van ammoniak door planten en bomen is afhankelijk van het niveauverschil tussen ammoniak in de buitenlucht ten opzichte van het niveau in het blad. Bij lage concentraties in de buitenlucht kunnen planten zelfs ammoniak te emitteren.

Overige bevindingen ten aanzien de relatie ammoniak en landschapselementen

Bij de keuze van planten- en bomensoorten is het van belang om rekening te houden met de gevoeligheid van de planten voor ammoniak, zowel direct als indirect. Indirecte effecten kunnen inhouden dat de bij naaldbomen de waslaag op het naaldoppervlak wordt aangetast, waardoor bomen gevoeliger worden voor schimmelziekten. Ook kan een indirect effect zijn dat er een grotere gevoeligheid voor vorstschade optreedt. Dit is het geval bij coniferen, waardoor de aanplant van coniferen dichtbij stallen vermeden moet worden. Door Van Dijk *et al.* (2005; Figuur 7) wordt een overzicht gegeven van de relatieve ammoniakgevoeligheid van bomen en struiken, en Oosterbaan *et al.* (2006; Tabel 2) geven een overzicht van de verschillende soorten kleine landschapselementen op hun mogelijke bijdrage aan de ammoniakinvang.

Oosterbaan *et al.* (2006) concluderen op basis van hun literatuuronderzoek dat voor de invang van ammoniak het best gebruik kan worden gemaakt van een landschapselement bestaande uit loofbomen. Hoewel naaldbomen niet minder effectief zijn, zijn ze wel gevoeliger voor ammoniak dan loofbomen. Door het aanplanten van een niet geheel dichte onderlaag met struiken, kan de ammoniakinvang nog verder worden verhoogd, doordat naast de invang door het kronendak ook sprake is van een verhoging van het 'inwaai-effect' (zie Figuur 4).



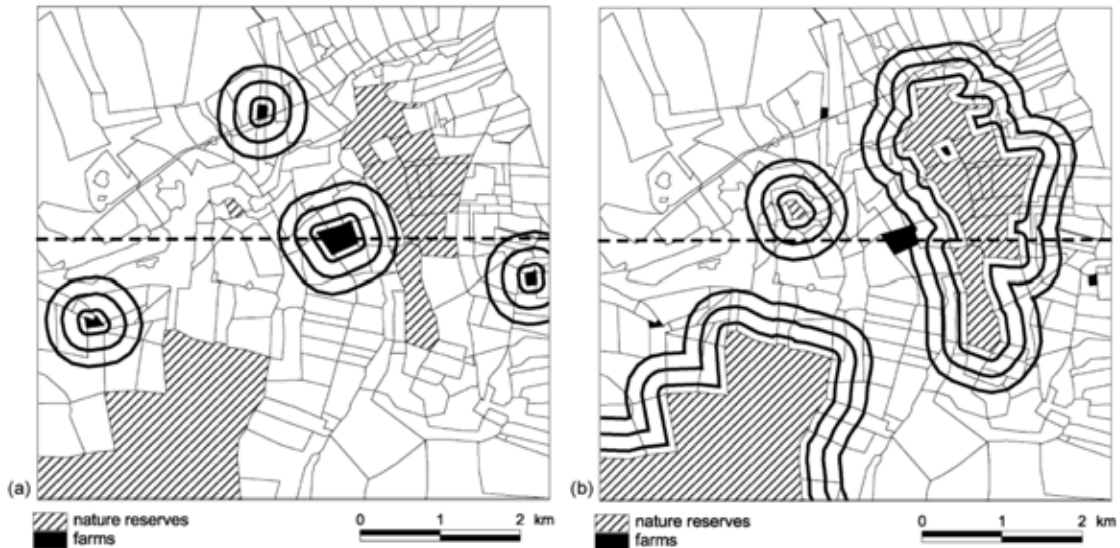
Figuur 4 Schematische weergave van een windsingel met de maximale ammoniakinvang (Bron: Theobald *et al.*, 2004).

In Schotland hebben Theobald *et al.* (2001) experimenteel veldonderzoek uitgevoerd nabij een pluimveebedrijf voorzien van een groen landschapselement van 150 m lang en 60 m breed en bestaand uit gemengd naald- (grove den, fijnspar) en loofbos (berk). Zij hebben zowel de ammoniakconcentraties gemeten als de stikstof doorvalfluxen in het beboste landschapselement. De resultaten laten zien dat minstens 3% van de geëmitteerde ammoniak door het landschapselement uit de lucht wordt verwijderd. Verder geven zij aan dat met een weloverwogen aangelegde windsingel, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 4, een beduidend hogere invang te bereiken is.

In de VS is voor een aantal pluimveebedrijven experimenteel onderzocht wat het effect is van windsingels – bestaande uit verschillende soorten bomen – op de NH₃-concentratie (Adrizal *et al.*, 2008). Het ging hierbij om een windsingel bestaande uit vijf rijen bomen over een breedte van 7m op 3m afstand van de stal Deze bomen zaten in containers, waardoor het mogelijk was om zowel met als zonder container de NH₃-concentratie te meten. Zij maten dat het plaatsen van een bomenrij direct naast de stallen de NH₃-concentratie achter de bomenrij met meer dan 50% afnam. Verder vonden zij dat deze afname correspondeerde met de gemeten hoeveelheid N die via het blad van de bomen werd

opgenomen. Hoe de resultaten van dit onderzoek vertaald moeten naar een windsingel op grotere afstand van een stal, is vooralsnog onduidelijk. Wel lijkt het erop dat het plaatsen van een bomenrij direct naast de stal behoorlijk effectief zou kunnen zijn. De op deze wijze toepassen van een windsingel lijkt op een luchtwasser-variant, waarbij de NH_3 in plaats van opgevangen te worden in het spuiwater, in de biomassa van de bomen wordt vastgelegd.

Uit modelonderzoek van Dragosits *et al.* (2006) (zie Figuur 5) blijkt dat een windsingel rondom bedrijven leidt tot een reductie van 6% (bij een singel van 25m) tot 21% (bij een singel van 200m) van de ammoniakdepositie (zie Tabel 1).



Figuur 5 Ligging van boerderijen (farms) en natuurgebieden (nature reserves) en de geplande landschapselementen met breedte van 100m, 300m en 500m (zie contourlijnen) aximale ammoniakinvang (Bron: Dragosits *et al.*, 2006).

Tabel 1

Gemiddelde droge depositie van NH_x (in $kg NH_x-N ha^{-1} jr^{-1}$) op natuurgebieden, uitgedrukt als gemiddelde (Average) en maximale (Maximum) depositie voor diverse varianten van het toepassen van windsingels rondom bedrijven (farm tree belt) en natuurgebieden (reserve buffer). De tussen haakjes vermelde waarden betreffen het reductiepercentage ten opzichte van de referentiesituatie (base scenario) (Bron: Dragosits et al., 2006).

Reserve name	R2—small wood		R1—big wood		R3—mixed (heath)		R3—mixed (wood)	
Average dry deposition in $kg NH_3-N ha^{-1} year^{-1}$ (% reduction cv. base scenario)								
Sc1: base scenario	15.4	(0.0)	4.5	(0.0)	9.6	(0.0)	16.1	(0.0)
Sc5: farm tree belt 25 m	14.7	(4.4)	4.4	(3.0)	9.1	(5.5)	15.2	(5.3)
Sc6: farm tree belt 50 m	14.3	(7.1)	4.3	(4.8)	8.7	(9.1)	14.7	(8.7)
Sc7: farm tree belt 100 m	13.8	(10.4)	4.2	(6.9)	8.3	(13.9)	14.0	(13.2)
Sc8: farm tree belt 200 m	13.1	(14.7)	4.1	(9.8)	7.6	(20.9)	13.0	(19.2)
Sc9: reserve buffer 100 m	13.5	(12.2)	4.5	(1.9)	9.3	(3.0)	15.8	(1.6)
Sc10: reserve buffer 300 m	11.9	(22.5)	4.3	(4.3)	9.2	(4.6)	15.5	(3.4)
Sc11: reserve buffer 500 m	11.5	(25.6)	4.3	(6.1)	9.1	(5.5)	15.3	(4.7)
Sc12: reserve tree belt 25 m	13.0	(15.5)	4.4	(3.4)	8.9	(7.0)	15.2	(5.8)
Sc13: reserve tree belt 50 m	11.8	(23.5)	4.3	(5.8)	8.5	(11.2)	14.5	(9.8)
Sc16: big farm removed (background)	7.1	(53.8)	2.5	(44.1)	1.8	(80.8)	4.3	(73.4)
Maximum dry deposition in $kg NH_3-N ha^{-1} year^{-1}$ (% reduction cv. base scenario)								
Sc1: base scenario	21.4	(0.0)	15.1	(0.0)	30.5	(0.0)	62.7	(0.0)
Sc5: farm tree belt 25 m	20.4	(4.7)	14.4	(4.6)	28.4	(7.1)	57.5	(8.4)
Sc6: farm tree belt 50 m	19.7	(7.8)	14.0	(7.7)	26.9	(12.0)	54.2	(13.6)
Sc7: farm tree belt 100 m	18.9	(11.5)	13.5	(10.8)	25.2	(17.4)	49.8	(20.6)
Sc8: farm tree belt 200 m	17.9	(16.1)	12.8	(15.5)	22.4	(26.6)	44.0	(29.8)
Sc9: reserve buffer 100 m	18.0	(16.0)	14.1	(6.4)	27.7	(9.3)	59.1	(5.7)
Sc10: reserve buffer 300 m	16.6	(22.4)	13.6	(9.9)	27.2	(10.9)	58.3	(7.1)
Sc11: reserve buffer 500 m	16.1	(24.7)	13.4	(11.5)	27.1	(11.3)	57.9	(7.7)
Sc12: Reserve tree belt 25 m	17.1	(20.0)	12.3	(18.6)	27.6	(9.8)	55.8	(10.9)
Sc13: reserve tree belt 50 m	14.6	(31.9)	11.8	(21.8)	22.5	(26.4)	51.7	(17.5)
Sc16: big farm removed (background)	11.4	(46.7)	8.2	(45.9)	5.6	(81.5)	9.8	(84.4)
The relative reduction in dry deposition, compared with the base scenario, is shown in brackets.								

Op basis van een modelstudie vonden Bealey et al. (2014) dat een windsingel bestaande uit bomen rondom een bedrijf resulteert in een ammoniakemissiereductie van maximaal 27%. Daarnaast vonden zij dat wanneer een veehouderijbedrijf volledig wordt geïntegreerd met bosbouw (boslandbouw), waarbij o.a. het vee onder de bomen wordt gehuisvest, er zelfs een reductie van 60% te bereiken is. Zij concluderen dan ook dat boslandbouw zeer veel potenties heeft als aanvullende maatregel ter vermindering van de ammoniakemissie.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat het aanbrengen van landschapselementen rondom bedrijven zorgt voor een lagere emissie en een reductie van de depositie op de nabijgelegen N2000-gebieden. Uit experimenteel onderzoek blijkt dat met groene landschapselementen rondom stallen een reductie van ca. 3% (op basis van Schotsonderzoek) tot ca. 8% (op basis van Nederlands onderzoek) van de geëmitteerde ammoniak te realiseren is. Door het vergroten en/of weloverwogen aanleggen van het landschapselement zijn waarschijnlijk hogere reducties te bereiken. Bijv. door een windsingel samen te stellen uit een combinatie van open en meer dichte begroeiing of door het vee onder bomen te huisvesten en/of te 'beweiden'.

De te behalen effecten zijn echter sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. Zo is de effectiviteit van groene landschapselementen afhankelijk van (zie ook: Tonnejck & Blom-Zandstra, 2002; Hiemstra et al., 2008; Tonnejck, 2010): (i) het soort vegetatie (loofbomen bieden meer perspectief dan naaldbomen), (ii) de structuur (porositeit, vorm, hoogte en breedte) en (iii) locatie (bij de bron, bij de receptor en in de tussenruimte).

3 Methodiek: OPS-berekening en scenario's landschapselementen

Voor het verkrijgen van een indicatief inzicht in de effecten van het inzetten van landschapselementen op gebiedsniveau op de NH_x -depositie in een Natura 2000-gebied, is voor de gehele provincie Overijssel een aantal scenario's met het OPS-model (Sauter *et al.*, 2015) doorgerekend.

3.1 Werking OPS-model

In het OPS-model wordt de verspreiding van de geëmitteerde ammoniak berekend door een combinatie van een Gaussisch pluimmodel en een trajectorie-model. Onderweg verandert de concentratie door verdunning, chemische omzetting en natte en droge depositie. De (droge) depositiesnelheid wordt bepaald door de atmosferische weerstand en de gewasweerstand. De atmosferische weerstand (R_a , uitgedrukt in s m^{-1}) is een functie van ruwheidlengte (z_0 , uitgedrukt in m) en de gewasweerstand (R_c , uitgedrukt in s m^{-1}) is een functie van het landgebruik (lu). De R_c wordt geparametriseerd met behulp van de module DEPAC (Van Zanten *et al.*, 2010). De DEPAC-module in het OPS-model volgt het zogenaamde weerstandsmodel. Deze berekent de droge depositie op basis van de weerstand die ammoniak ondervindt bij het transport richting oppervlak en opname aan dat oppervlak.

In OPS heeft het verruwen van het 'landschap' dus in potentie via de parameters ruwheidlengte (z_0) en landgebruik (lu , uitgedrukt in 9 klassen) effect op de droge depositie. Voor ammoniak geldt dat ca. 75% van de totale depositie bestaat uit droge depositie. Deze depositieparameters zijn via twee gridbestanden, een voor z_0 en een voor lu , met een resolutie van $250\text{m} \times 250\text{m}$ in het model gebracht.

In het OPS-model wordt echter alleen de depositiesnelheid aangepast en niet het afbuigen van de luchtstromen, hiervoor is het OPS-model niet ontwikkeld. Hoe het verwaarlozen van dit effect in de praktijk uitwerkt, is echter sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. OPS is bedoeld voor het in kaart brengen van luchtverontreiniging op nationale schaal. Dit betekent dat in deze indicatieve studie alleen de effecten van het veranderen van de ruwheid en gewasweerstand op depositiesnelheid zijn meegenomen.

Hierbij is van belang te realiseren, zie ook hierboven, dat het aanpassen van z_0 en lu alleen een andere invang (depositie snelheid) oplevert en de verticale dispersie van de pluim wordt beïnvloed (alleen effect van z_0). Mogelijke invloeden op de luchtstroming worden niet meegenomen. Om het volledige effect van (bos)randen in kaart te brengen, dient gebruik te worden gemaakt van een gedetailleerd lokaal dispersie-depositiemodel, waarin ook rekening gehouden wordt met de micro-meteorologische veranderingen.

Door het veranderen van het huidige landgebruik in OPS door landgebruik met een grotere ruwheid zal de (droge) NH_x -depositie in de betreffende gridcel toenemen¹, waardoor de NH_x -depositie elders zal afnemen.

In Bijlage 1 is een overzicht gegeven van de landgebruik gerelateerde waarden zoals die opgenomen zijn in OPS.

¹ Dat geldt niet voor alle stoffen. Als tegenover de lagere aerodynamische weerstand (R_a , door hogere ruwheid) een hogere stomatale weerstand (R_c) staat, dan is effect afhankelijk van welk van beide parameters in doorsnee bepalend is voor de depositie. Nu is bij NH_3 de R_a bepalend en dus zal een verlaging van de R_a inderdaad tot een hogere depositie leiden.

3.2 Aanpassen van oppervlakte weerstand in OPS

Omdat het OPS-model geen standaardfunctionaliteit heeft om de ruwheid van aan te brengen landschapselementen in te voeren, is in samenwerking met RIVM het OPS-model voorzien van nieuwe ruwheidskaarten (z0-kaart en lu-kaart). Hierbij gaan we als volgt te werk:

1. Uitgangspunt is het LGN7-bestand (Hazeu *et al.*, 2014) met een resolutie van 25m×25m, die voor lu geherclassificeerd is naar de 9 DEPAC landgebruikstypen en voor z0 naar LGN3+-klassen (omdat alleen voor LGN3+-klassen z0-waarden beschikbaar zijn).
2. Het aanbrengen van verruwingszones om bedrijven, om N2000-gebieden en het tussengebied (zie paragraaf 3.3 scenario's).
3. Middels een overlay van 1 en 2 wordt het huidige landgebruik veranderd in een landgebruik met een grotere ruwheid. Dit gebeurt voor bedrijven, N2000-gebieden en tussengebied in afzonderlijke bestanden, maar ook voor de 3 verruwingsvarianten tezamen. Dit resulteert in 7 gewijzigde lu-kaarten, zowel de DEPAC-indeling als de LGN3+-indeling.
4. Deze 7 gewijzigde lu-kaarten worden, op basis van een vertaaltabel lu naar z0, vertaald naar 7 gewijzigde z0-kaarten.
5. Opschalen van de gewijzigde z0-kaarten naar 250m cellen van, waarbij het oppervlakte-gewogen gemiddelde z0 van de onderliggende 25m cellen aan de 250m cel wordt toegekend.
6. Opschalen van de gewijzigde lu-kaarten naar 250m cellen worden, waarbij (i) het dominante landgebruik en (ii) en het percentage landgebruik van de 9 DEPAC-klasse, aan de 250m-cel wordt toegekend (in totaal 10 attributen).

3.3 Scenario's

Voor het kwantificeren van de effecten van verruwing op de NH_x-depositie in de Overijsselse N2000-gebieden is gekozen voor een aantal extreme varianten. Dit is vooral gedaan om de verschillen in effecten tussen de locatie van het landschapselement goed zichtbaar te kunnen maken. Conform de door Dragosits *et al.* (2006) op beperkte schaal uitgevoerde studie, hebben wij de depositieveranderingen op de N2000-gebieden bepaald ten gevolge van:

- Het aanbrengen van een zone met loofbomen van 50m en 250m rondom bedrijven.
- Het aanbrengen van een zone met loofbomen van 50m en 250m rondom N2000.
- Het tussengebied – alles buiten de zones rond bedrijven en N2000-gebieden – verruwen door grasland om te zetten in maïs. Hierbij is alleen het tussengebied tussen de 250m zones rondom bedrijven en N2000-gebieden meegenomen.

Voor loofbos is gekozen, omdat loofbomen bij een grootschalige toepassing meer perspectief bieden. Zo zijn ze minder gevoelig voor ammoniak en vanuit landschappelijk oogpunt aantrekkelijker dan naaldbomen. Voor maïs is om puur pragmatische redenen gekozen, omdat voor dit gewas ruwheidsparameters beschikbaar zijn in het OPS-model.

Om het effect van deze varianten op de NH_x-depositie te kwantificeren, zijn de volgende scenario's doorgerekend voor het vaststellen van de NH_x-depositie op de N2000-gebieden ten gevolge van de stal- en opslagmissie (zie Figuur 8):

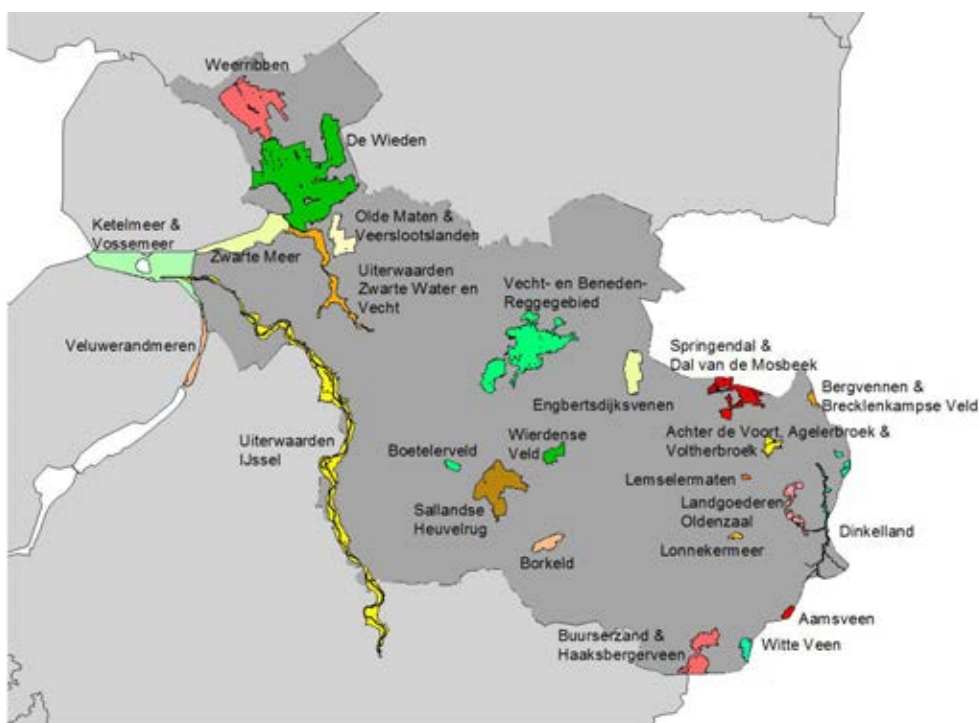
1. De huidige (GIAB 2013/LGN7) situatie (Referentie).
2. Een landschapselement van 50m rondom de bedrijven (Bed 50m).
3. Een landschapselement van 250m rondom de bedrijven (Bed 250m).
4. Een landschapselement van 50m rondom N2000-gebieden (Nat 50m).
5. Een landschapselement van 250m rondom N2000-gebieden (Nat 250m).
6. Verruwen van de ruimte tussen 250m om bedrijven en 250m om N2000-gebieden (Tus 250m).
7. Scenario 1, 3 en 5 gecombineerd (All 50m).
8. Scenario 2, 4 en 5 gecombineerd (All 250m).

Bij het aanbrengen van zones rondom bedrijven en N2000-gebieden is al het bestaande landgebruik veranderd in loofbos. Bij het verruwen van het tussengebied is al het bestaande veranderd grasland in maïs. In alle gevallen zijn alleen de gridcellen gewijzigd die in Overijssel liggen.

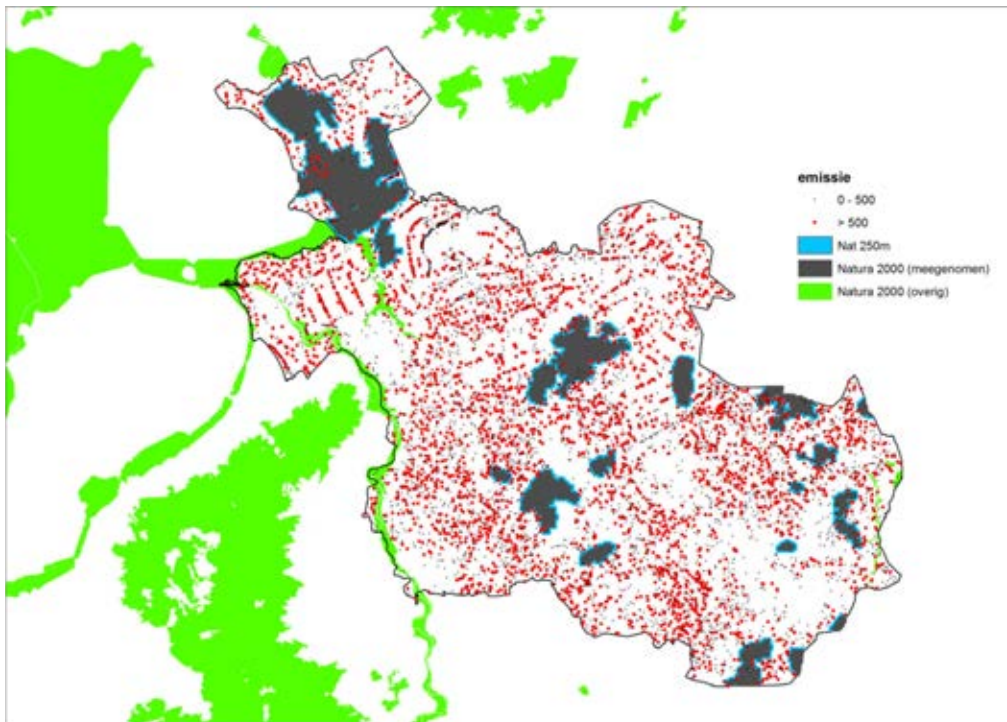
3.4 Aanpak OPS-berekening en scenario's

Voor het berekenen van de NH_x -depositie op de N2000-gebieden ten gevolge van de stal- en opslagemissie, is gebruikgemaakt van OPS versie 4.4.4. In deze versie zijn de lu- en z0-kaarten afgeleid van LGN6 (peiljaar 2007/2008). In dit onderzoek is het recentere LGN7 (peiljaar 2012) als referentie gebruik. De OPS-berekeningen zijn uitgevoerd op een 250m×250m resolutie, gebruikmakend van een langjarige, gemiddelde meteorologie. Voor de omvang en ruimtelijke configuratie van veehouderij is gebruikgemaakt van GIAB 2013. De stal- en opslagemissie voor de Overijsselse bedrijven zijn berekend met de combinatie GIAB/Initiator, waarbij gebruikgemaakt is van de NEMA-systematiek.

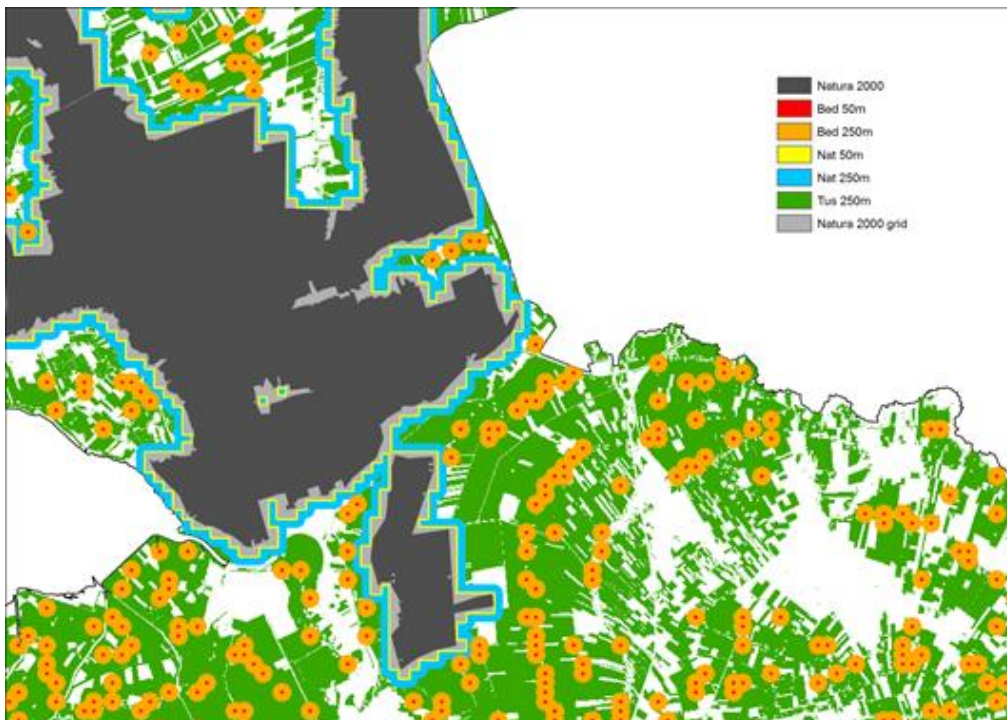
Als proefgebied is de gehele provincie Overijssel gehanteerd. Voor de receptoren richten we ons op de habitattypen in de N2000-gebieden in Overijssel, m.u.v. langgerekte gebieden met uiterwaarden, d.w.z. Rijn en IJsseltakken, Zwarte water en Dinkelland. Dit omdat het aanleggen van verruwingszones rond uiterwaarden weinig realistisch is en omdat het om relatief smalle gebieden gaat. Figuur 6 geeft een overzicht van de ligging van alle N2000-gebieden in Overijssel. In Figuur 7 zijn de N2000-gebieden weergegeven die in deze studie zijn meegenomen en voorzien zijn van een landschapselement.



Figuur 6 Ligging van de Natura 2000-gebieden in Overijssel.

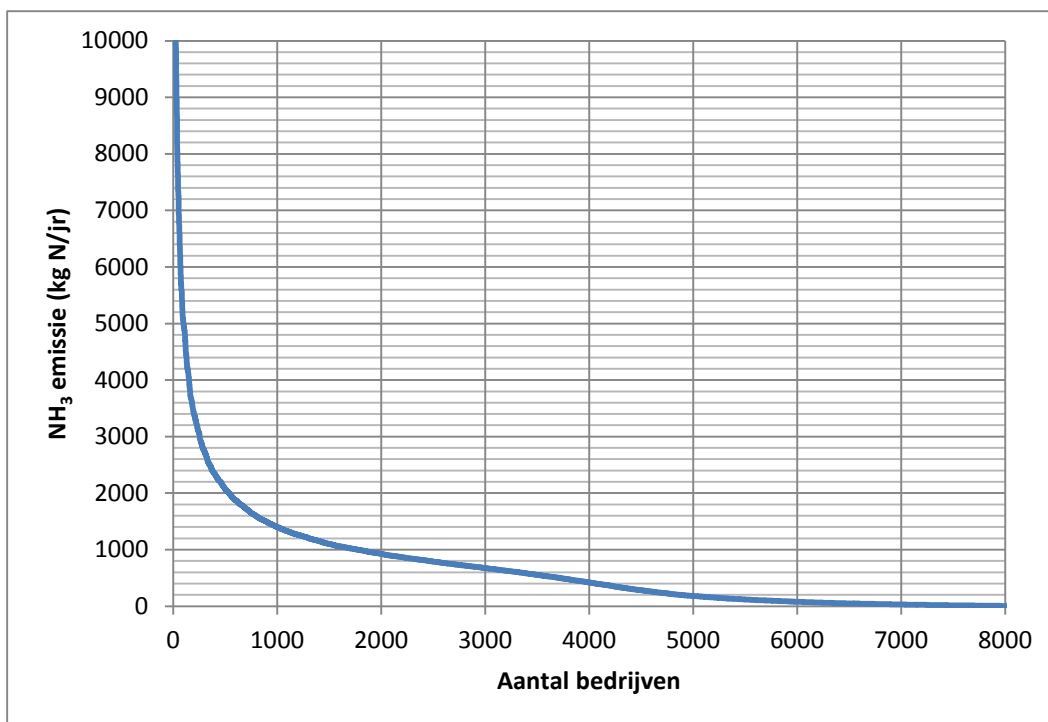


Figuur 7 N2000-gebieden in Overijssel en bedrijven met $> 500\text{kg NH}_3\text{-emissie jr}^{-1}$ die in deze studie zijn meegenomen (zwarte gebieden). Tevens is 250m verzuivingszone om zowel de gebieden als de bedrijven weergegeven.



Figuur 8 Detail van Figuur 7.

Wat betreft de emissies gaan we uit van de stal- en opslagemissie van alle bedrijven in de provincie Overijssel op basis van de landbouwtelling (GIAB) voor het jaar 2013. Deze emissies zijn gebruikt voor het referentiescenario. Voor de scenario's met landschapselementen rondom bedrijven brengen we alleen landschapselementen aan om de bedrijven die meer dan $500\text{kg NH}_3\text{-N-emissie jr}^{-1}$ emitteren. Dit zijn ca. 3.700 bedrijven van de in totaal ca. 8000 bedrijven (Figuur 9).



Figuur 9 Cumulatieve frequentieverdeling van de NH_3 -emissie vanuit stallen en opslagen per bedrijf ($\text{kg NH}_3\text{-emissie jr}^{-1}$).

De emissie-depositieberekeningen zijn uitgevoerd op een resolutie van $250\text{m} \times 250\text{m}$. Per scenario zijn de corresponderende, gewijzigde z0- en lu-kaart aan OPS aangeboden, waarna depositieberekeningen met gewijzigde ruwheid zijn uitgevoerd. De landschapselementen rondom bedrijf en natuurgebied zijn gesimuleerd door het huidige landgebruik te veranderen in bos. Het verruwen van het tussengebied is gesimuleerd door al het agrarisch grasland te veranderen in maïs. Een overzicht van het areaal dat hiermee gemoeid is, is weergegeven in Tabel 2. Dit varieert van ca. 2.500 ha voor 50m zones rondom bedrijven (< 1% van het totaal areaal van Overijssel) tot ca. 175.000 ha voor het combinatiescenario op basis van 250m-zones (ca. 50% van het totaal areaal van Overijssel).

Rondom bedrijven en gebieden die in een N2000-gebied liggen, is geen landschapselement aangebracht. Bij het aanbrengen van zones zijn de 250m-cellen die (deels) een N2000-gebied aansnijden, buiten beschouwing gelaten. Verder is het aanbrengen van verruwing beperkt tot het gebied binnen de grenzen van provincie Overijssel.

Tabel 2

Arealen van zones.

NR	Code	BUFFER breedte (m)	Opp zone (ha)	Relatieve oppervlak van de zone (%) ¹⁾
0	Referentie	-	-	-
1	Bed 50m	50	2.426	0.7%
2	Bed 250m	250	56.775	17%
3	Nat 50m	50	2.228	0.7%
4	Nat 250m	250	10.457	3%
5	Tus 250m	250	109.613	32%
6	All 50m	50	114.267	34%
7	All 250m	250	176.532	52%

¹⁾ Ten opzichte van het totale landareaal in Overijssel: 340.578 ha.

4 Resultaten OPS-berekening

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de uitgevoerde scenarioberekeningen als volgt gepresenteerd: allereerst worden in paragraaf 4.1 de overall-effecten voor geheel Overijssel gepresenteerd, zowel in tabellen als kaarten. Vervolgens wordt in paragraaf 4.2 ingezoomd op de effecten van aantal bedrijven voorzien van landschapselementen in zones rondom het gebied de Lemselermaten. Voor de detaileffecten van slechts één bedrijf wordt verwezen naar Bijlage 2. Bij de hier gepresenteerde depositie gaat het altijd om de depositie op alle 250m×250m cellen in de N2000-gebieden.

4.1 Resultaten voor geheel Overijssel

In Tabel 3 is het effect van de doorgerekende scenario's op de gemiddelde NH_x-depositie – ten gevolge van de stal- en opslagemissie van alle bedrijven – op de N2000-gebieden weergegeven.

Tabel 3

Gemiddelde NH_x-depositie (mol ha⁻¹ jr⁻¹) op alle geselecteerde N2000-gebieden in Overijssel ten gevolge van de stal- en opslagemissie van alle bedrijven in Overijssel voor de referentiesituatie en de 7 scenario's.

Code	Locatie zone	Omschrijving		NH ₃ depositie (mol ha ⁻¹ jr ⁻¹)		Verskil in %
		Zone (m)	Verandering	Gemiddelde	Verskil t.o.v. referentie	
Referentie	-	-	-	247	-	-
Bed 50m	Bedrijven ¹⁾	50	Alles in loofbos ²⁾	230	-17	-7
Bed 250m	Bedrijven ¹⁾	250	Alles in loofbos ²⁾	222	-25	-10
Nat 50m	N2000	50	Alles in loofbos ³⁾	240	-6.7	-3
Nat 250m	N2000	250	Alles in loofbos ³⁾	240	-6.8	-3
Tus 250m	Tussengebied	250	Gras in maïs ⁴⁾	219	-28	-11
Comb 50m	Bed 50m + Nat 50m + Tus 250m	-	-	206	-40.7	-16
Comb 250	Bed 250m + Nat 250m + Tus 250m	-	-	206	-41.5	-17

¹⁾ Landschapselement alleen aangebracht om bedrijven met meer dan 500kg NH₃-N-emissie jr⁻¹

²⁾ Behalve bedrijven binnen 250m buffer rond receptorcellen

³⁾ Buffer rond 250m receptorcellen

⁴⁾ Tussengebied tussen 250m zone rond bedrijven en 250m rond N2000

Het grootste effect wordt bereikt door het integraal verruwen van het tussengebied (11% reductie van de NH_x-depositie ten gevolge van de stal- en opslagemissie) en het aanbrengen van een landschapselement van 250m (10% reductie). Het geringste effect, 3% reductie, wordt bereikt met het aanleggen van een landschapselement rondom N2000-gebieden, waarbij het verschil tussen een landschapselement van 50m en 250m verwaarloosbaar klein is. Het aanbrengen van landschapselementen van 50m rondom bedrijven levert een reductie van 7%.

De resultaten laten duidelijk zien dat het aanbrengen van landschapselementen rondom bedrijven effectiever is dan rondom N2000-gebieden. Aangezien het verschil in reductie tussen een zone van 50m en 250m niet groot is, lijkt het aanleggen van erg brede (> 50m) zones rondom bedrijven niet zinvol, vooral omdat dit zeer grote landschappelijke en economische implicaties met zich meebrengt; 17% van het landareaal van Overijssel dient dan te worden voorzien van opgaande begroeiing. Voor het verruwen van het tussengebied geldt een vergelijkbare overweging. Het ligt dan ook voor de hand om bij het interpreteren van de resultaten te richten op de resultaten van het Bed 50m-scenario. Bij

dit scenario is de verhouding tussen het te verruwen oppervlak met landschapselementen en de potentiële depositiereductie die dit oplevert, het gunstigst.

Zoals gezegd, is in Tabel 3 het effect weergegeven voor alle bedrijven. Dit betekent dat de berekende reducties voor de Bed 50m- en Bed 250m-scenario's worden toebedeeld aan alle bedrijven. Om de behaalde reductie voor de bedrijven met een windsingel te bepalen, dient de reductie bepaald te worden ten opzichte van een referentiedepositie van alleen de geselecteerde bedrijven. De aldus berekende reducties vallen iets hoger uit, nl. 8 en 12% voor respectievelijk Bed 50m en Bed 250m (Tabel 4).

Tabel 4

Gemiddelde NH_x-depositie (mol ha⁻¹ jr⁻¹) op alle geselecteerde N2000-gebieden in Overijssel ten gevolge van de stal- en opslagmissie van de geselecteerde bedrijven (met bedrijven > 500 kg NH₃ jr⁻¹) in Overijssel voor de referentie situatie en de verandering (absoluut en relatief) in NH_x depositie ten opzichte van de referentiesituatie voor de Bed 50m en Bed 250m scenario's.

Code	Locatie zone	NH ₃ depositie (mol ha ⁻¹ jr ⁻¹)			Verschil in %
		Gemiddelde alle bedrijven	Gemiddelde bedrijven > 500 kg NH ₃ jr ⁻¹	Verschil t.o.v. referentie	
Referentie	-	247	219	-	-
Bed 50m	Bedrijven ¹⁾	230	203	-17	-8
Bed 250m	Bedrijven ¹⁾	222	196	-23	-11

Tabel 5

Gemiddelde NH_x depositie (mol ha⁻¹ jr⁻¹) op de geselecteerde N2000-gebieden in Overijssel ten gevolge van de stal- en opslagmissie van alle bedrijven in Overijssel voor de referentie situatie en de verandering in NH_x depositie ten opzichte van de referentiesituatie voor 7 scenario's (negatieve waarde = reductie).

N2000-gebied	Gemiddelde NH _x depositie (mol ha ⁻¹ jr ⁻¹)								
	Ref.	Bed 50m	Bed 250m	Nat 50m	Nat 250m	Tus 250m	Comb 50m	Comb 250	
Weerribben	110	-11	-14	-3	-4	-8	-20	-21	
De Wieden	120	-5	-8	-4	-4	-12	-16	-17	
Olde Maten & Veerslootslanden	151	-18	-23	-2	-2	-22	-31	-34	
Vecht- en Beneden-Reggegebied	451	-31	-47	-11	-11	-54	-77	-77	
Engbertsdijksvenen	343	-27	-38	-6	-6	-53	-63	-63	
Boetelerveld	422	-63	-79	-19	-19	-45	-104	-107	
Sallandse Heuvelrug	354	-20	-32	-7	-7	-42	-51	-52	
Wierdense Veld	275	-26	-35	-8	-8	-36	-51	-52	
Borkeld	330	-35	-48	-11	-10	-38	-62	-66	
Springendal & Dal van de Mosbeek	474	-30	-49	-15	-15	-53	-81	-80	
Bergvennen & Brecklenkampse Veld	310	-31	-43	-11	-11	-36	-68	-67	
Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek	425	-36	-54	-12	-12	-54	-84	-82	
Lemselermaten	371	-47	-67	-8	-8	-47	-82	-83	
Landgoederen Oldenzaal	259	-11	-21	-12	-12	-28	-41	-43	
Lonnekermeer	250	-12	-21	-2	-2	-34	-35	-35	
Buurserzand & Haaksbergerveen	185	-13	-20	-6	-5	-18	-29	-29	
Witte Veen	154	-9	-19	-5	-5	-18	-24	-25	
Aamsveen	108	-1	-5	-1	-2	-16	-12	-13	

Tabel 6

Relatieve verandering (%) in de NH_x -depositie ten gevolge van de stal- en opslagmissie van alle bedrijven op de geselecteerde N2000-gebieden in Overijssel ten opzichte van de referentiesituatie voor de 7 scenario's (negatieve waarde = reductie).

N2000-gebied	Relatieve verandering ten opzichte van referentie						
	Bed 50m	Bed 250m	Nat 50m	Nat 250m	Tus 250m	Comb 50m	Comb 250
Weerribben	-10	-13	-3	-3	-8	-18	-19
De Wieden	-5	-7	-3	-3	-10	-13	-14
Olde Maten & Veerslootslanden	-12	-15	-1	-2	-14	-21	-22
Vecht- en Beneden-Reggegebied	-7	-10	-2	-2	-12	-17	-17
Engbertsdijksvenen	-8	-11	-2	-2	-15	-18	-18
Boetelerveld	-15	-19	-5	-5	-11	-25	-25
Sallandse Heuvelrug	-6	-9	-2	-2	-12	-14	-15
Wierdense Veld	-10	-13	-3	-3	-13	-19	-19
Borkeld	-11	-15	-3	-3	-12	-19	-20
Springendal & Dal van de Mosbeek	-6	-10	-3	-3	-11	-17	-17
Bergvennen & Brecklenkampse Veld	-10	-14	-4	-4	-12	-22	-22
Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek	-9	-13	-3	-3	-13	-20	-19
Lemselermaten	-13	-18	-2	-2	-13	-22	-23
Landgoederen Oldenzaal	-4	-8	-5	-5	-11	-16	-16
Lonnekermeer	-5	-8	-1	-1	-13	-14	-14
Buurserzand & Haaksbergerveen	-7	-11	-3	-3	-10	-16	-16
Witte Veen	-6	-12	-3	-3	-12	-16	-16
Aamsveen	-1	-5	-1	-2	-14	-12	-12

Het te bereiken effect verschilt flink per N2000-gebied (zie Tabel 4 en Tabel 5. Zo wordt met een windsingel van 50m rondom bedrijven voor het Boetelerveld een reductie van 15% behaald tegen 1% reductie voor Aamsveen. Aamsveen valt echter uit de toon, omdat dit gebied grenst aan Duitsland, tevens de begrenzing van het model. Hierdoor is het effect van het aanbrengen van een zone rondom het gebied voor slechts een beperkt deel meegenomen (zie Bijlage 2 voor kaartjes met detailinformatie). Voor het merendeel van de gebieden (14 van de 18) geldt dat met het scenario Bed 50m een reductie van 5 tot 12% wordt behaald. Voor de Proeftuin Natura 2000 kunnen deze tabellen behulpzaam zijn bij het nemen van gebiedsgerichte maatregelen met betrekking tot plaatsing van landschapselementen. Hierbij is vooral van belang dat de effectiviteit van het inzetten van landschapselementen per gebied behoorlijk kan verschillen. Maar hierbij spelen uiteraard ook andere factoren een rol, zoals de mate waarin er sprake is van de overschrijding van de kritische depositie.

De combinatiescenario's hebben een effect dat ongeveer 20 tot 40% lager ligt dan de som het effect van de afzonderlijke scenario's. De effecten van de individuele scenario's mogen dus niet bij elkaar worden opgeteld, omdat de effecten van de diverse type landschapselementen elkaar beïnvloeden.

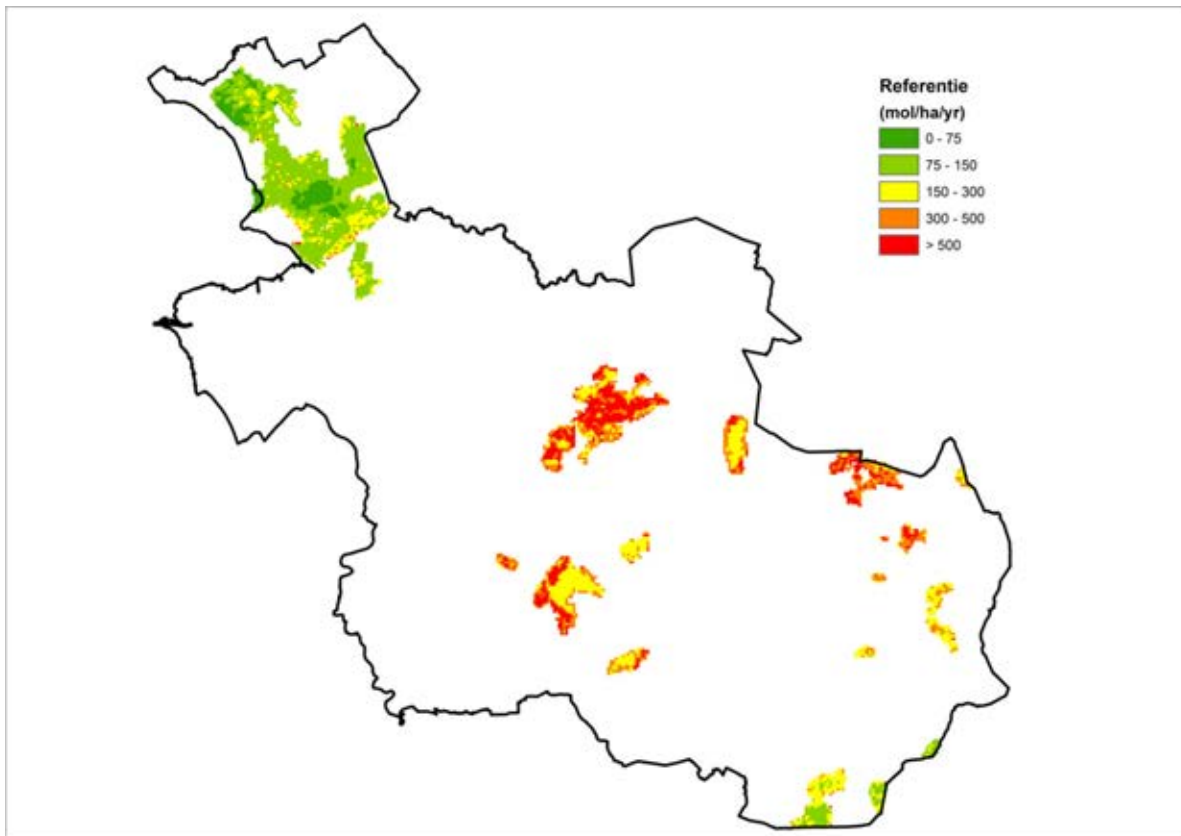
Voor het vaststellen van de behaalde reducties voor alleen de bedrijven met een winsingel dienen, net als bij Tabel 3 voor de Bed 50m en Bed 250m scenario's, de reducties bepaald te worden ten opzichte van een referentiedepositie van alleen de bedrijven met meer dan 500 kg NH_3-N jr^{-1} . De aldus berekende reducties vallen, net als bij het resultaat voor alle N2000-gebieden tezamen, iets hoger uit. Zo wordt voor het merendeel van de gebieden (14 van de 18) een reductie van 6 tot 15% voor het Bed 50m-scenario en 9 tot 18% voor het Bed 250m-scenario berekend (Tabel 7).

Tabel 7

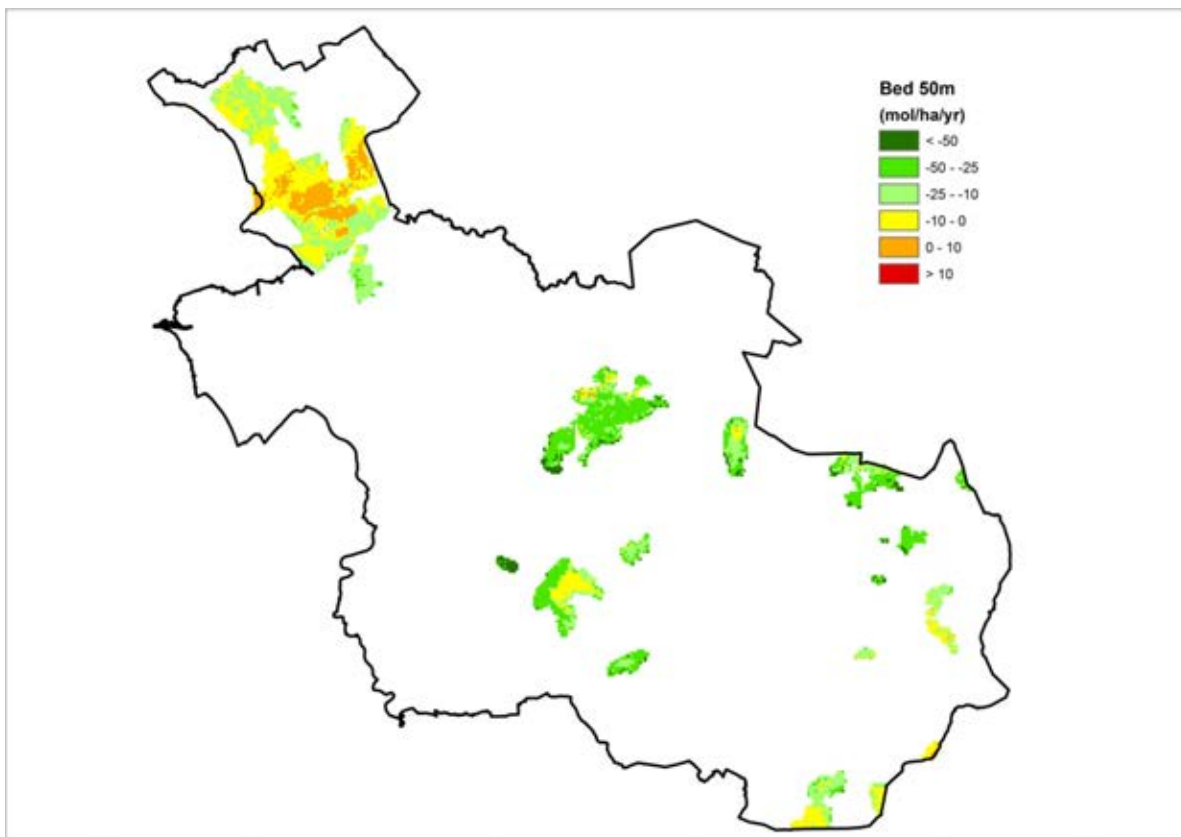
Gemiddelde NH_x -depositie ($mol\ ha^{-1}\ jr^{-1}$) op de geselecteerde N2000-gebieden in Overijssel ten gevolge van de stal- en opslagmissie van de geselecteerde bedrijven (met bedrijven $> 500\ kg\ NH_3\ jr^{-1}$) in Overijssel voor de referentiesituatie en de verandering (absoluut en relatief) in NH_x -depositie ten opzichte van de referentiesituatie voor de Bed 50m- en Bed 250m-scenario's.

N2000-gebied	Gemiddelde NH_x depositie ($mol\ ha^{-1}\ jr^{-1}$)			Relatieve verandering ten opzichte van referentie (%)	
				Bed 50m	Bed 250m
Weerribben	98	-11	-13	-11	-14
De Wieden	105	-5	-7	-5	-7
Olde Maten & Veerslootslanden	132	-17	-21	-13	-16
Vecht- en Beneden-Reggegebied	405	-30	-43	-7	-11
Engbertsdijksvenen	312	-27	-35	-9	-11
Boetelerveld	369	-62	-73	-17	-20
Sallandse Heuvelrug	318	-20	-29	-6	-9
Wierdense Veld	249	-26	-32	-10	-13
Borkeld	297	-34	-45	-11	-15
Springendal & Dal van de Mosbeek	419	-29	-45	-7	-11
Bergvennen & Brecklenkampse Veld	266	-29	-38	-11	-14
Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek	372	-35	-48	-9	-13
Lemselermaten	311	-45	-56	-15	-18
Landgoederen Oldenzaal	217	-11	-18	-5	-8
Lonnekermeer	217	-12	-19	-6	-9
Buurserzand & Haaksbergerveen	161	-13	-18	-8	-11
Witte Veen	135	-9	-16	-7	-12
Aamsveen	92	-1	-5	-1	-5

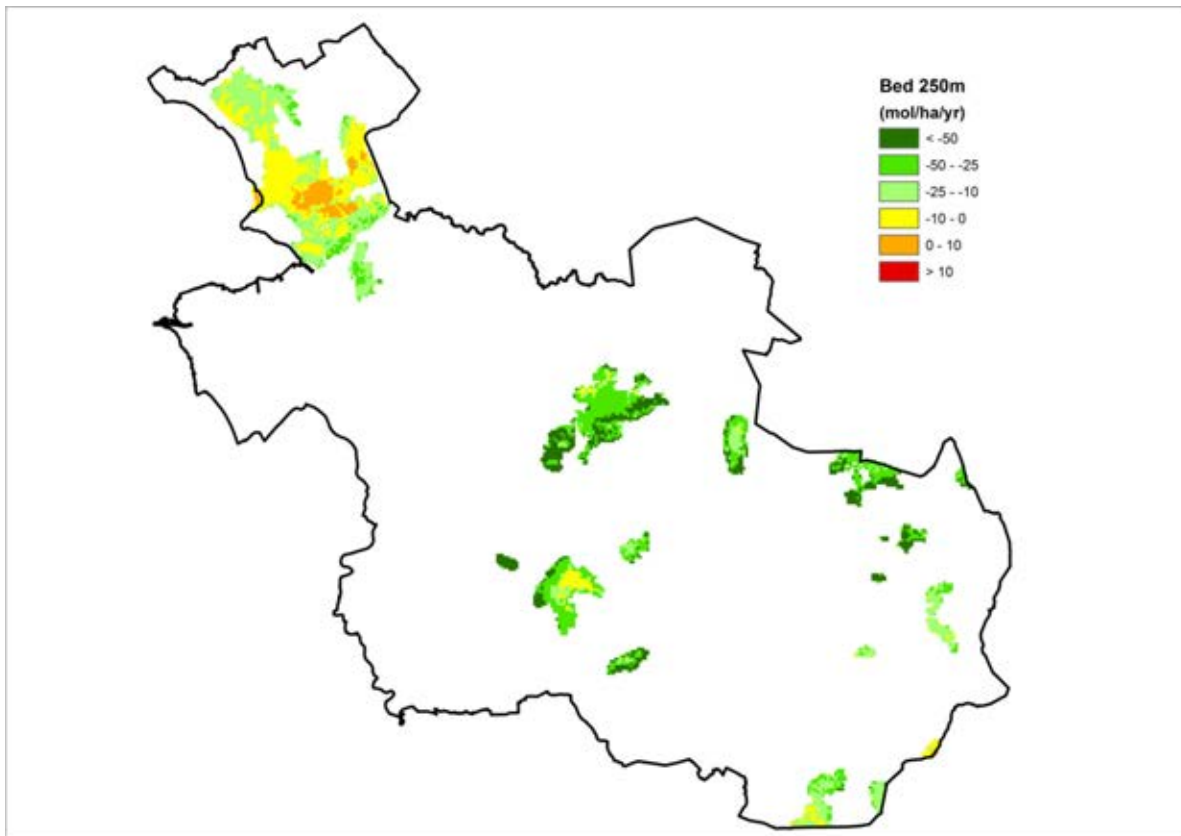
Om een gedetailleerder beeld te krijgen van de ruimtelijke effecten van het aanbrengen van landschapselementen, wordt hieronder tevens de ruimtelijke context van de effecten van de scenario's getoond. Hierbij is eerst de referentiesituatie weergegeven, met de NH_x -depositie ($kg\ N\ ha^{-1}\ jr^{-1}$) ten gevolge van de stal- en opslagmissie op de N2000-gebieden (Figuur 10). In deze figuur neemt – van groen naar rood – de depositie toe. Het ruimtelijk beeld van de absolute veranderingen in de NH_x -depositie ($kg\ N\ ha^{-1}\ jr^{-1}$) ten opzichte van de referentie voor de 7 scenario's is weergegeven in Figuur 11 t/m Figuur 17. In deze figuren geven de kleuren geel tot groen een grote reductie in depositie weer (hoe groener, hoe groter de reductie) en oranje en rood een toename in depositie.



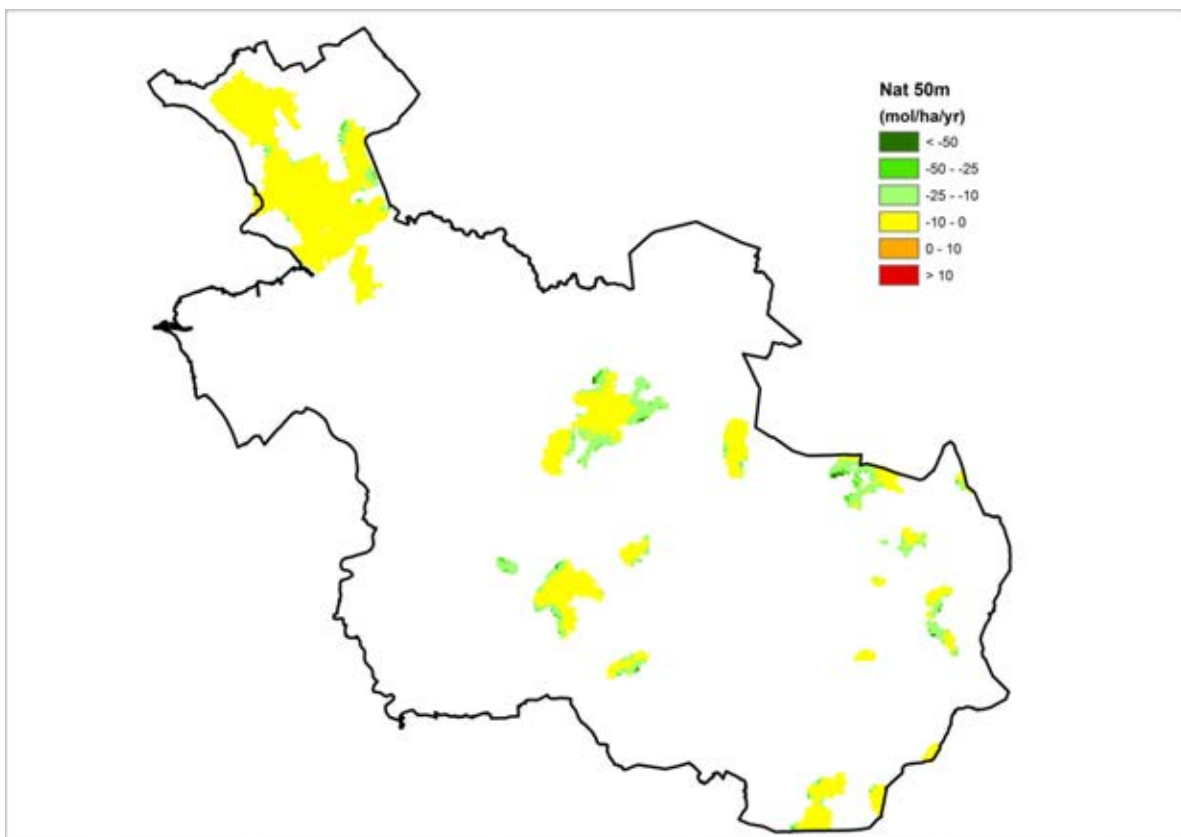
Figuur 10 De NH_x -depositie ($\text{kg N ha}^{-1} \text{jr}^{-1}$) door voor de referentiesituatie op een resolutie van $250\text{m} \times 250\text{m}$. Getoond is de depositie op de geselecteerde N2000-gebieden ten gevolge van de stal- en opslagmissie van alle bedrijven in Overijssel.



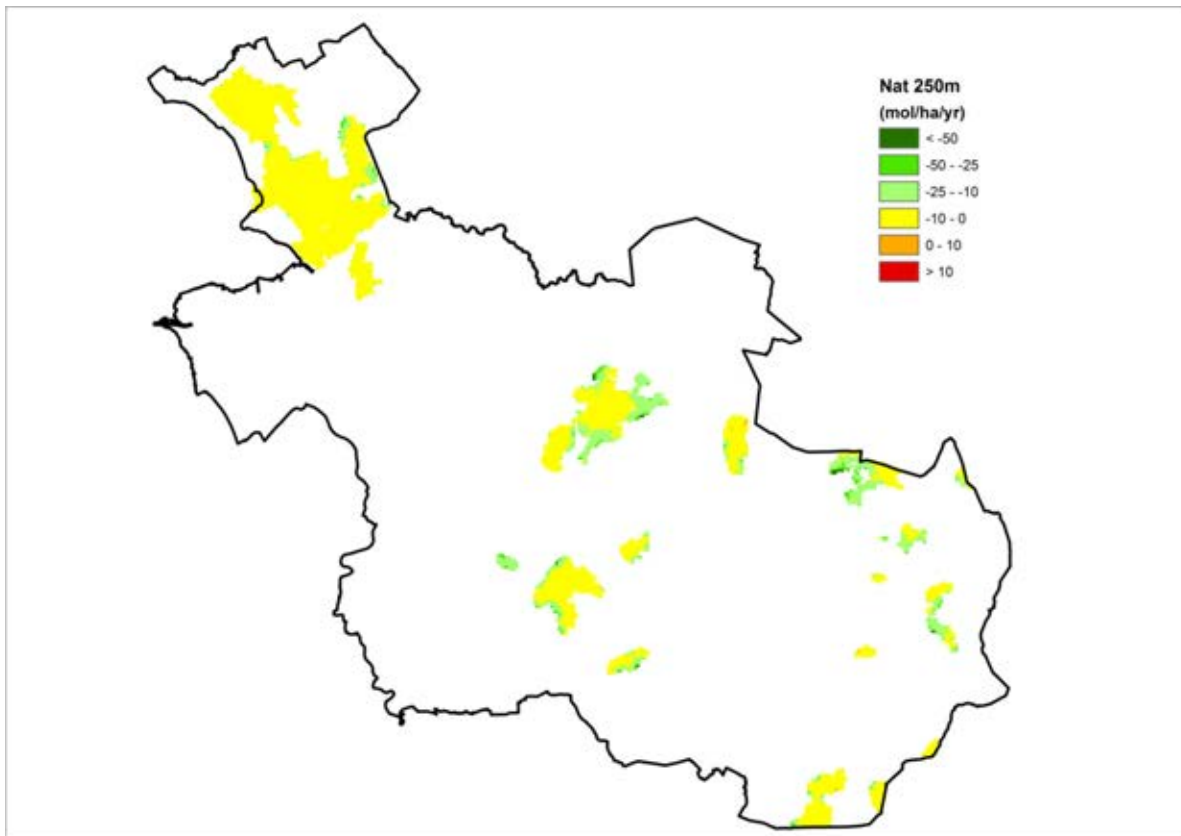
Figuur 11 Effect van het aanbrengen van een landschapselement van 50m breed met loofbomen rondom bedrijven. Weergegeven is het verschil in NH_x -depositie ten opzichte van de referentiesituatie.



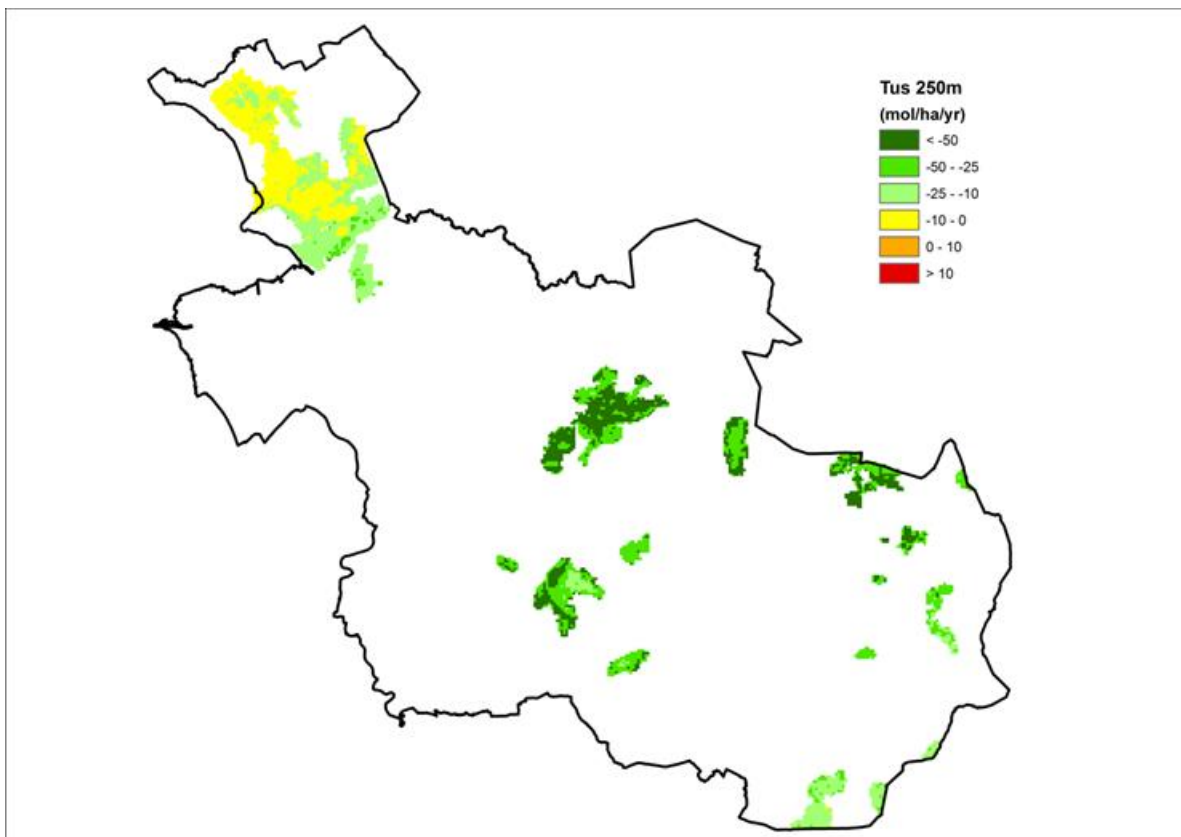
Figuur 12 Effect van het aanbrengen van een landschapselement van 250m breed met loofbomen rondom bedrijven. Weergegeven is het verschil in NH_x -depositie ten opzichte van de referentiesituatie.



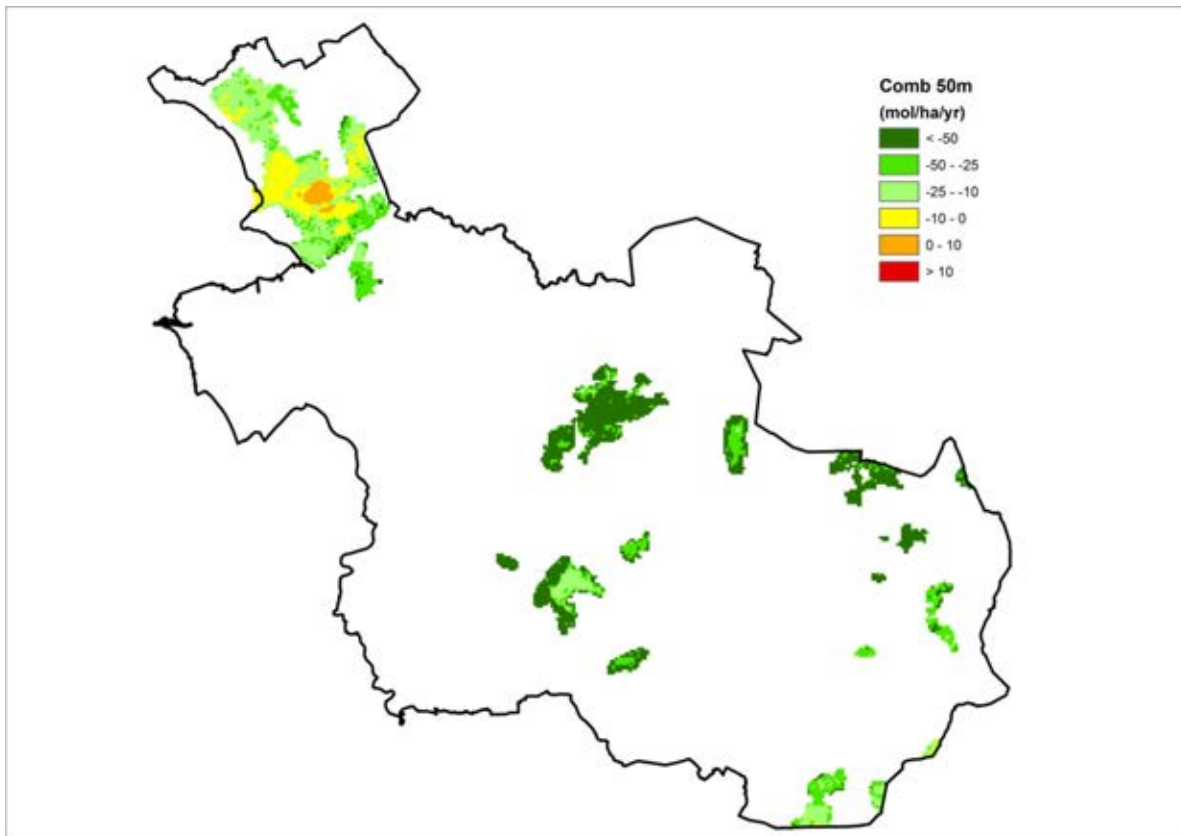
Figuur 13 Effect van het aanbrengen van een landschapselement van 50m breed met loofbomen rondom N2000-gebieden. Weergegeven is het verschil in NH_x -depositie ten opzichte van de referentiesituatie.



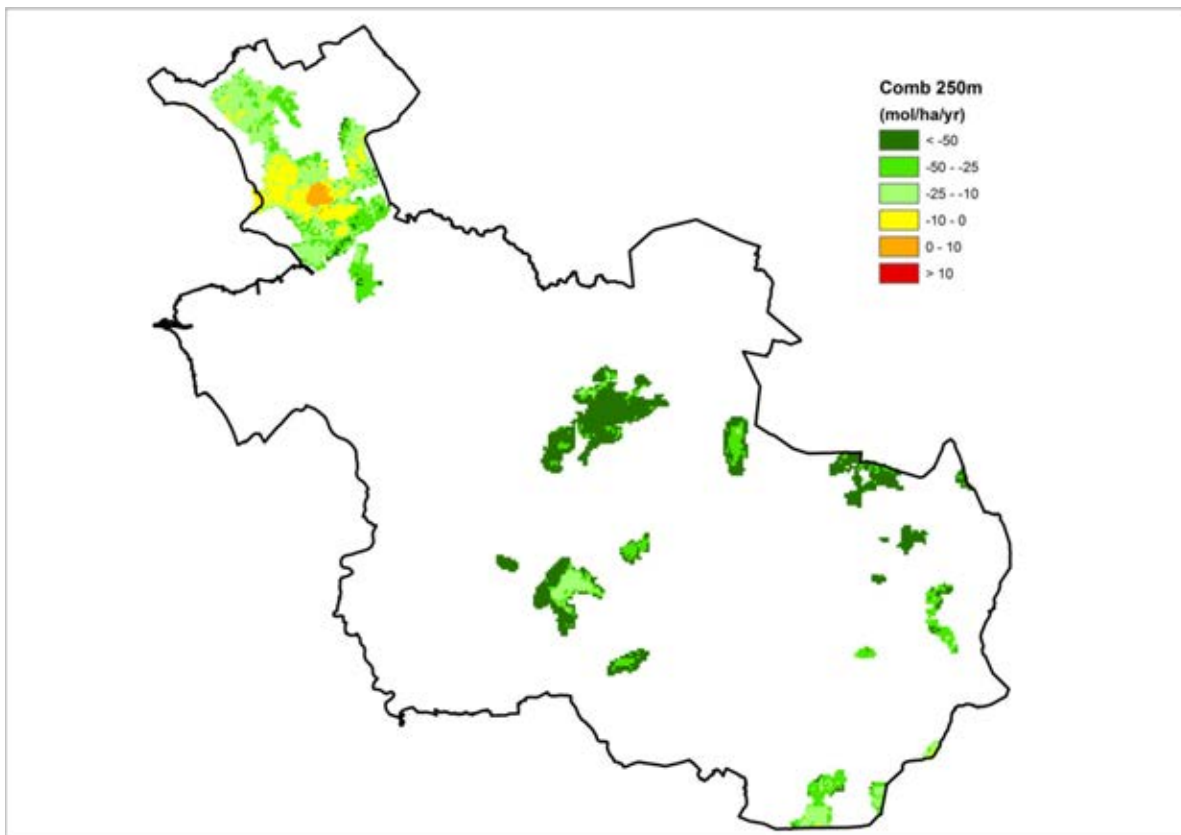
Figuur 14 Effect van het aanbrengen van een landschapselement van 250m breed met loofbomen rondom N2000-gebieden. Weergegeven is het verschil in NH_x -depositie ten opzichte van de referentiesituatie.



Figuur 15 Effect van het verruwen van het tussengebied, waarbij gras land wordt omgezet in maïs. Weergegeven is het verschil in NH_x -depositie ten opzichte van de referentiesituatie.



Figuur 16 Effect van het combinatiescenario met zones van 50m breed. Weergegeven is het verschil in NH_x -depositie ten opzichte van de referentiesituatie.



Figuur 17 Effect van het combinatiescenario met zones van 250m breed. Weergegeven is het verschil in NH_x -depositie ten opzichte van de referentiesituatie.

4.2 Effect van aantal bedrijven voorzien van landschapselementen

Om na te gaan wat de bijdrage is van het aantal bedrijven op de depositiereductie, is voor het gebied de Lemselermaten bepaald wat de depositiereductie is naarmate de bedrijven in steeds groter wordende zones rondom het gebied voorzien worden van landschapselementen.

Hiertoe zijn berekeningen uitgevoerd waarbij telkens meer bedrijven worden voorzien van een landschapselement van 50m. Dit is gedaan voor een zone die stapsgewijs met 500m wordt verbreed (Tabel 8).

Tabel 8

Reductie in de NH_x-depositie voor het gebied Lemselermaten, afhankelijk van het aantal bedrijven dat voorzien wordt van een landschapselement van 50m in afzonderlijke zones rondom het gebied. Daarnaast zijn in de tabel de behaalde reductiepercentages ten opzichte van de referentie vermeld, zowel het gemiddelde per bedrijf als het aandeel per bedrijf.

Zone (m)	Aantal bedrijven in zone	Depositie			Reductie	
		Met Referentie Met singel van 50m (Bed 50m)	Reductie (abs)	Gemiddeld ²⁾	Aandeel per bedrijf ³⁾	
Met singel ¹⁾				(%)	(%)	
0-500	2	6	4	2	35%	17%
500-1000	4	19	12	7	35%	9%
1000-1500	9	18	11	6	36%	4%
1500-2000	13	21	14	7	32%	2%
2000-2500	11	11	8	3	29%	3%
2500-3000	19	23	17	6	27%	1%
>3000	3713	214	200	14	7%	0%

¹⁾ Betreft het aantal bedrijven in de zone met een NH₃-emissie van meer dan 500kg NH₃-N-emissie jr⁻¹ en dus voorzien worden van een windsingel.

²⁾ Deze kolom geeft de gemiddelde reductie per bedrijf a.g.v. het nemen van de maatregel op de bedrijven in de betreffende zone. Deze is afgeleid door de gemiddelde relatieve depositiereductie te delen door de referentiedepositie vanuit de zone.

³⁾ De laatste kolom geeft de depositiereductie per bedrijf a.g.v. het nemen van de maatregel op het betreffende bedrijf. Deze is afgeleid door de gemiddelde relatieve depositiereductie te delen door het aantal bedrijven met een singel in de betreffende zone.

De resultaten in Tabel 8 laten zien dat de grootste reductie per bedrijf wordt behaald in de zones dicht bij het gebied. Zo levert het aanleggen van een windsingel van 50m rondom bedrijven in de zone van 2km rondom het gebied gemiddeld per bedrijf een reductie op van ruim 30% van de NH_x-depositie als gevolg van de stal- en opslagemissie. Voor verderaf gelegen bedrijven neemt de bijdrage per bedrijf duidelijk af.

5 Conclusies en discussie

5.1 Conclusies

- Het aanleggen van landschapselementen rondom bedrijven is effectiever dan het aanleggen van landschapselementen om natuurgebieden:
 - Het aanbrengen van een windsingel van 50m om alle bedrijven (met meer dan 500kg NH₃-N-emissie jr⁻¹) in Overijssel levert een reductie van de gemiddelde depositie op de N2000-gebieden op van 8 tot 12%.
 - Het provincie-breed aanbrengen van landschapselement van 50m rondom alle N2000-gebieden is minder effectief en levert slechts een depositiereductie op van 3%.
- De te behalen reducties met het aanbrengen van landschapselement kunnen per gebied behoorlijk verschillen. Zo lopen de reducties bij het toepassen van een windsingel van 50m om alle bedrijven uiteen van 6 tot 15%.
- De te behalen reducties door het aanleggen van windsingels om bedrijven zijn het grootst voor bedrijven in de nabijheid van een N2000-gebied. Zo wordt voor het gebied Lemselermaten voor het Bed50-scenario voor de 2km-zone een reductie van ruim 30% berekend, tegen een gemiddelde reductie voor alle bedrijven in Overijssel (met meer dan 500kg NH₃-N-emissie jr⁻¹) van 14%.
- De berekende reductiepercentages voor een windsingel van 250m om bedrijven (ruwweg van 9 tot 18% reductie) voor de provincie Overijssel zijn in grote lijnen vergelijkbaar met literatuurwaarden (ruwweg van 8 tot 30% reductie). Een goede vergelijking is echter niet te maken, omdat effectiviteit in sterke mate wordt bepaald door de lokale omstandigheden, zoals de ligging en omvang van gebied in samenhang met de ruimtelijke positionering van de bedrijven.
- Uit het literatuuronderzoek, van zowel experimenteel als modelonderzoek, blijkt dat het plaatsen van een windsingel direct (binnen enkel meters) naast de stal het effectiefst is.
- Deze quickscan geeft slechts in beperkte mate inzicht in het effect van landschapselementen op die NH_x-depositie. Mogelijke overige invloeden op de luchtstroming zijn niet meegenomen in deze studie. Desondanks kan geconcludeerd worden dat het aanbrengen van landschapselementen perspectieven biedt als maatregel ter vermindering van de ammoniakdepositie op N2000-gebieden.

5.2 Discussie

Het behoeft geen toelichting dat de hier gehanteerde scenario's weinig realistisch zijn. Zo wordt bij de gehanteerde (enkelvoudige) scenario's door de landschapselementen een ruimte in beslag genomen van ca. 1% tot meer dan 30% van het landoppervlakte van de provincie Overijssel. Deze extreme varianten van het aanbrengen van landschapselementen zijn zo gekozen om op een eenvoudige en snelle manier een indicatief inzicht te krijgen in de te verwachten effecten. Meer realistische inschattingen vragen om een (veel) uitgebreidere studie, waarbij zowel aandacht wordt besteed aan het construeren van praktisch haalbare scenario's als aan meer gedetailleerde modelberekeningen. Daarnaast is in deze studie volledig voorbijgegaan aan landschappelijke, economische en bestuurlijke implicaties van de doorgerekende scenario's.

Bij de interpretatie van de hier genoemde reductiepercentages moet bedacht worden dat deze betrekking hebben op de reductie van de depositie t.g.v. de stal- en opslagemissie. De eventuele reductie in de NH_x-depositie door aanwendings- en beweidingsemisatie is in dit onderzoek niet meegenomen. De verwachting is wel dat deze ammoniakbronnen in mindere mate beïnvloed zullen worden door landschapselementen. Daarnaast is het zo dat de reducties alleen betrekking hebben op de droge depositie, welke ca. 75% van de totale depositie omvat. De overige ca. 25% wordt via de regen in de vorm van natte depositie gedeponerd.

Het aanbrengen van een landschapselement van 50m breed rondom bedrijven lijkt van de doorgerkende scenario's het meestbelovend. De benodigde ingreep is, ten opzichte van de overige scenario's, het minst ingrijpend: deze heeft betrekking op minder dan 1% van het landareaal in Overijssel. Het te behalen effect van deze maatregel bedraagt ruim 30% reductie wanneer het bedrijf is gelegen binnen een zone van 2km. Dit reductiepercentage valt lager uit dan reducties die in het algemeen te behalen zijn met stalmaatregelen. Zo levert bijv. het toepassen van een emissiearme vloer op een melkveebedrijf een emissiereductie op van ca. 20% op (zie Oost, 2013). Aangezien de relatie emissie-depositie lineair is, zou dit een vergelijkbare reductie in depositie op kunnen leveren.

De belangrijkste onderzoeksvraag betrof: in hoeverre is het inzetten van het grootschalig toepassen van landschapselementen zinvol als maatregel om de depositie op de natuur te verminderen? Uit de uitgevoerde modelberekeningen blijkt dat het op grote, ruimtelijke schaal inzetten van landschapselementen een maatregel is die kan bijdragen aan het verminderen van de ammoniakdepositie op N2000-gebieden. De effectiviteit hangt in sterke mate af van de locatie van het landschapselement: een element rondom een bedrijf lijkt effectiever dan een element rondom een gebied en de omvang en ligging van het N2000-gebied. Ondanks de beperkingen van dit onderzoek blijkt dat met name het grootschalig inzetten van een landschapselement van 50m breed rondom bedrijven in de nabijheid van N2000-gebieden, perspectieven biedt.

De vraag in hoeverre het grootschalig inzetten van landschapselementen zinvol is, is niet in zijn algemeenheid te beantwoorden. Hiervoor is het nodig om gedetailleerdere analyses uit te voeren, gericht op een aantal specifieke gebieden. De resultaten van dit onderzoek bieden een handreiking bij het selecteren van perspectiefvolle kandidaatgebieden voor een dergelijke analyse. Hierbij is het zinvol om met een gedetailleerdere analyse in te zoomen in gebieden die op basis van dit onderzoek perspectiefvol lijken. Daarnaast wordt aanbevolen om dit detailonderzoek te combineren met onderzoek naar de praktische haalbaarheid, op basis waarvan 'realistische' scenario's opgesteld kunnen worden. Verder is het relevant om bij een nader onderzoek ook de rol van landschapselementen bij de beïnvloeding van de ammoniakdepositie door aanwendings- en beweidingsemisies mee te nemen.

Literatuur

- Adriral, P.H. Patterson, R.M. Hulet, R.M. Bates, D.A. Despot, E.F. Wheeler, P.A. Topper, D.A. Anderson & J.R. Thompson, 2008. *The potential for plants to trap emissions from farms with laying hens: 2. Ammonia and dust*. J Appl Poultry Res 17 (3), 398-411. 10.3382/japr.2007-00104
- Bealey, W.J., B. Loubet, C.F. Braban, D. Famulari, M.R. Theobald, S. Reis, D.S. Reay & M.A. Sutton, 2014. *Modelling agro-forestry scenarios for ammonia abatement in the landscape*. Environ. Res. Lett. 9 (12), 125001. 10.1088/1748-9326/9/12/125001
- Draaijers, G.P.J., W.P.M.F. Ivens & W. Bleuten, 1988. *Atmospheric deposition in forest edges measured by monitoring canopy throughfall*. Water Air Soil Pollut. 42 (1-2), 129-136.
- Dragosits, U., M.R. Theobald, C.J. Place, H.M. ApSimon & M.A. Sutton, 2006. *The potential for spatial planning at the landscape level to mitigate the effects of atmospheric ammonia deposition*. Env. Sci. Pol. 9 (7-8), 626-638. 10.1016/j.envsci.2006.07.002
- Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J.v. Dorland, G.J. Roerink, H.S.D. Naeff & R.A. Smidt, 2014. *Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7) : vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik*. Wageningen, Alterra Wageningen UR. <http://edepot.wur.nl/311353>
- Heimann, D., 2003. *Meteorological Aspects in Modeling Noise Propagation Outdoors*. In Euronoise 2003, Vol. CD-ROM, paperID:213-IP- Napoli. <http://elib.dlr.de/9854/>
- Hiemstra, J.A., E. Schoenmaker-van der Bijl, A.E.G. Tonneijck & M.H.A. Hoffman, 2008. *Bomen : een verademing voor de stad*. Boskoop, Plant Publicity Holland [etc.]. <http://edepot.wur.nl/27119>
- Hofschreuder, P., 2008. *Inzet van groenelementen rond agrarische bedrijven om luchtkwaliteit te verbeteren: een quick scan = Vegetative shelterbelts close to livestock houses to improve air quality: a quick scan*. Lelystad, Animal Sciences Group. <http://edepot.wur.nl/24155>
- Jacobs, A.F.G., 1983. *Flow around a line obstacle*. Wageningen, [s.n.]. <http://edepot.wur.nl/203150>
- Kuypers, V.H.M., E.A. de Vries, L.W.A. van Hove, A.E.G. Tonneijck & R.G.J.M. Peeters, 2006. *Groen voor lucht*. Wageningen, Wageningen UR.
- Lambeck, R., R. Stirzaker, N. Abel, J. Fargher, H. Cleugh, A. Campbell, P. Thornburn, J. Baxter, R. Prinsley, R. Reid, M. Prosser, C. Schmidt & G. Revell, 1997. *Design principles for farm forestry: a guide to assist farmers to decide where to place trees and farms plantations on farms*. Canberra, Australian Capital Territory, Australia, Rural Industries Research and Development Corporation. <http://www.lsln.net.au/jspui/handle/1/6984>
- Metz, D., 2015. *Aerius calculator; Toelichting toepassingsbereik en beschrijving rekenmethode*. Utrecht, Ministerie van Economische Zaken. http://www.aerius.nl/files/media/factsheets/aerius_calculator-2014-toepassingsbereik_en_rekenmethode-26_juni_2015.pdf
- Oost, J., 2013. *Emissiearme vloer dankzij provincie*. In Nieuwe OogstZwolle, Agrippers, pp. 1.
- Oosterbaan, A., A.E.G. Tonneijck & E.A. de Vries, 2006. *Kleine landschapselementen als invangers van fijn stof en ammoniak*. Wageningen, Alterra. <http://edepot.wur.nl/21074>
- Pronk, A.A., N.W.M. Ogink, H.J. Holterman, P. Hofschreuder & I. Vermeij, 2013. *Effecten van groenelementen op de luchtkwaliteit: samenvattende rapportage en perspectieven toepassing groenelementen voor het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit rondom stallen*. Wageningen, Plant Research International, Business Unit Agrosysteemkunde. <http://edepot.wur.nl/247550>
- Sauter, F., H. Van Jaarsveld, M. van Zanten, E. van der Swaluw, J. Aben & F. de Leeuw, 2015. *The OPS-model. Description of OPS 4.4.4*. Bilthoven, the Netherlands, National Institute of Public Health and the Environment. RIVM Report. <http://www.rivm.nl/media/ops/OPS-model.pdf>
- Theobald, M.R., U. Dragosits, C.J. Place, J.U. Smith, M. Sozanska, L. Brown, D. Scholefield, A. Del Prado, J. Webb, P.G. Whitehead, A. Angus, I.D. Hodge, D. Fowler & M.A. Sutton, 2004. *Modelling nitrogen fluxes at the landscape scale*. Water, Air, and Soil Pollution: Focus 4 (6), 135-142.
- Theobald, M.R., M.C. Milford, M.K.J. Hargreaves, M.L.J. Sheppard, M.E. Nemitz, M.Y.S. Tang, M.V.R. Phillips, M.R. Sneath, M.L. McCartney, M.F.J. Harvey, M.I.D. Leith, M.J.N. Cape, M.D. Fowler & M.M.A. Sutton, 2001. *Potential for Ammonia Recapture by Farm Woodlands: Design and Application of a New Experimental Facility*. The Scientific World Journal 1 (S2), 791-801. 10.1100/tsw.2001.338

-
- Tonneijck, A.E.G. & M. Blom-Zandstra, 2002. *Landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit rond de Ruit van Rotterdam. Een haalbaarheidsstudie*. Wageningen, Plant Research International. <http://edepot.wur.nl/49451>
- Tonneijck, F., 2010. *Kleine landschapselementen voor zuivere lucht en zuiver water*. Wageningen, Plant Research International.
- Van der Eerden, L.J.M., P.H.B. de Visser & C.J. van Dijk, 1998. *Risk of damage to crops in the direct neighbourhood of ammonia sources*. Environ. Pollut. 102 (Supp 1), 49-53.
- Van Dijk, C.J., T.A. Dueck & G.W.W. Wamelink, 2005. *Invloed van een landschaps element (windsingel) op de verspreiding van ammoniak uit een varkenshouderij*. Plant research International BV. Nota 33.
- Van Dijk, C.J., J. Mosquera Losada, A.J. van Alfen, J.M.G. Hol, G.M. Nijeboer & T.A. Dueck, 2004. *Invloed van een landschapselement (windsingel) op de verspreiding van ammoniak uit een varkenshouderij: meetcampagne 2003*. Wageningen, Plant Research International. <http://edepot.wur.nl/42834>
- Van Zanten, M.C., F.J. Sauter, R.J. Wichink Kruit, J.A. van Jaarsveld & W.A.J. van Pul, 2010. *Description of the DEPAC module. Dry deposition modelling with DEPAC_GCN2010*. Bilthoven, RIVM. RIVM-rapport 680180001/2010. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680180001.html>
- 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*. Apeldoorn, TNO. <http://edepot.wur.nl/46317>

Bijlage 1 Vegetatieparameters voor de verschillende soorten landgebruik in het OPS

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de vegetatieparameters die in OPS gebruikt worden.

Tabel 9

Vegetatieparameters voor de verschillende soorten landgebruik in het OPS, de ruwheidslengte (z_0) en de minimale waarde van de stomatale weerstand (R_i) (Bron: Van Zanten et al., 2010).

Code	Landgebruik Categorie	Aandeel (%)	z_0 (m)		R_i (s m ⁻¹)			
			Zomer	Winter	Zomer	Herfst	Winter	Voorjaar
1	Grasland	60	0.03	0.01	60	na	na	120
2	Bouwland	19	0.25	0.1	60	na	na	121
3	Permanent gewas	0	-	-	60	na	na	122
4	Naaldbos	4	1.08	1.08	130	250	400	250
5	Loofbos	1.2	0.96	0.66	70	na	na	140
6	Open water	7	0.0005	0.00025	na	na	na	na
7	Stedelijk gebied	5	1	1	na	na	na	na
8	Korte vegetatie	3	0.15	0.1	60	na	na	120
9	Duin en wad	0	0.001	0.005	na	na	na	na

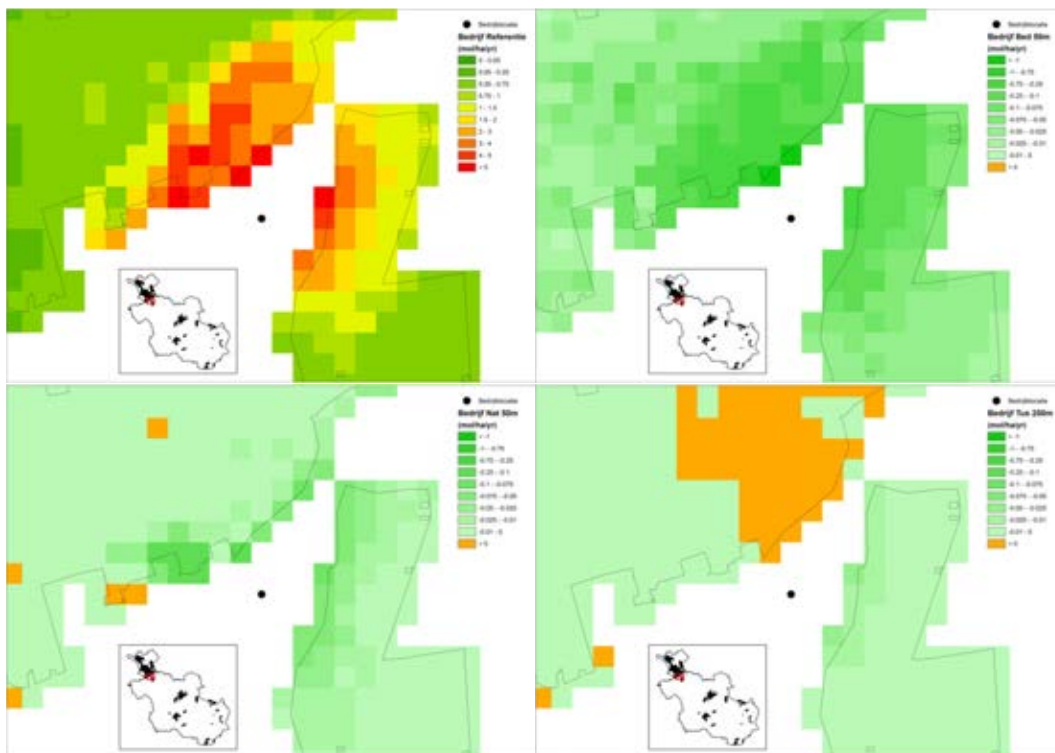
Vanuit de minimale waarde van de stomatale weerstand (R_i) wordt als volgt de actuele stomatale weerstand berekend:

$$R_{stom}(NH_3) = R_i \left[1 + \left(\frac{200}{Q + 0.1} \right)^2 \right] \frac{400}{T_s(40 - T_s)} \frac{R_{stom}(H_2O)}{D_{NH_3}}$$

Met Q is globale straling, W m⁻², T_s temperatuur van het oppervlak in °C, D_{H_2O} moleculaire warmte overdracht van water en D_{NH_3} de moleculaire warmte overdracht van ammoniak.

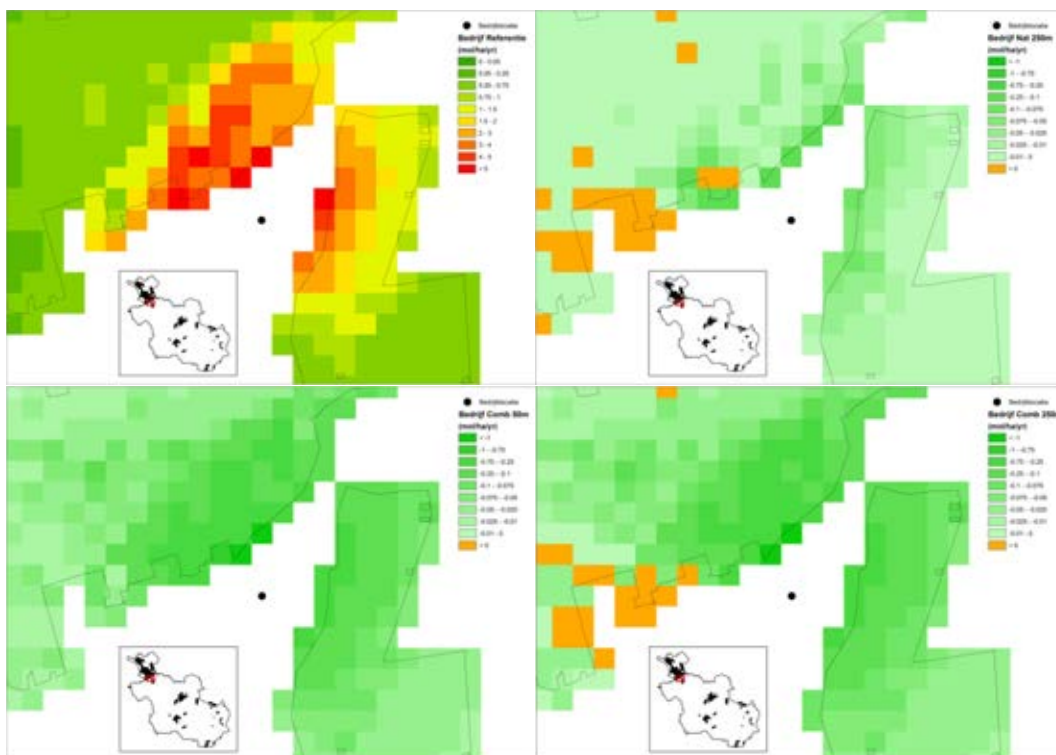
Bijlage 2 Effecten van een bedrijf op een N2000-gebied

In deze bijlage worden de effecten van de scenario's gepresenteerd voor één bedrijf. Deze resultaten zijn toegevoegd om de detaileffecten van de verschillende scenario's inzichtelijk te maken. Hiervoor is een bedrijf gekozen in de kop van Overijssel, nabij de N2000-gebieden De Wieden en Olde Maten & Veerslootslanden. In Figuur 18 zijn de resultaten weergegeven voor de Bed 50m-, Nat 50m- en Tus 250m-scenario's en in Figuur 12 de effecten voor de Bed 250m-, Nat 250m-, All 50m- en All 250m-scenario's.



Figuur 18 De NH_x depositie ten gevolge van een bedrijf in de nabijheid van twee N2000-gebieden voor de referentiesituatie en het verschil ten opzichte van de referentiesituatie voor de Bed 50m-, Nat 50m- en Tus 250m-scenario's.

Hier laat het Bed 50m-scenario de grootste depositiereductie zien. Deze reductie is, uiteraard, het hoogst aan de rand van het gebied en kan lokaal oplopen tot ca. 1 mol ha⁻¹ jr⁻¹ ten opzichte van de referentie van 3 tot 5 mol ha⁻¹ jr⁻¹. Het Nat 50m-scenario is duidelijk minder effectief en het Tus 250m-scenario laat voor deze situatie, met een geringe tussenruimte, nauwelijks een effect zien. Daarnaast laat deze detailanalyse ook zien dat er naast reductie ook sprake kan zijn van een (geringe) verhoging. In Tabel 10 zijn de gemiddelde waarden voor depositie en veranderingen weergegeven en tevens het totale areaal van de landschapselementen voor de in Figuur 18 getoonde uitsnede.



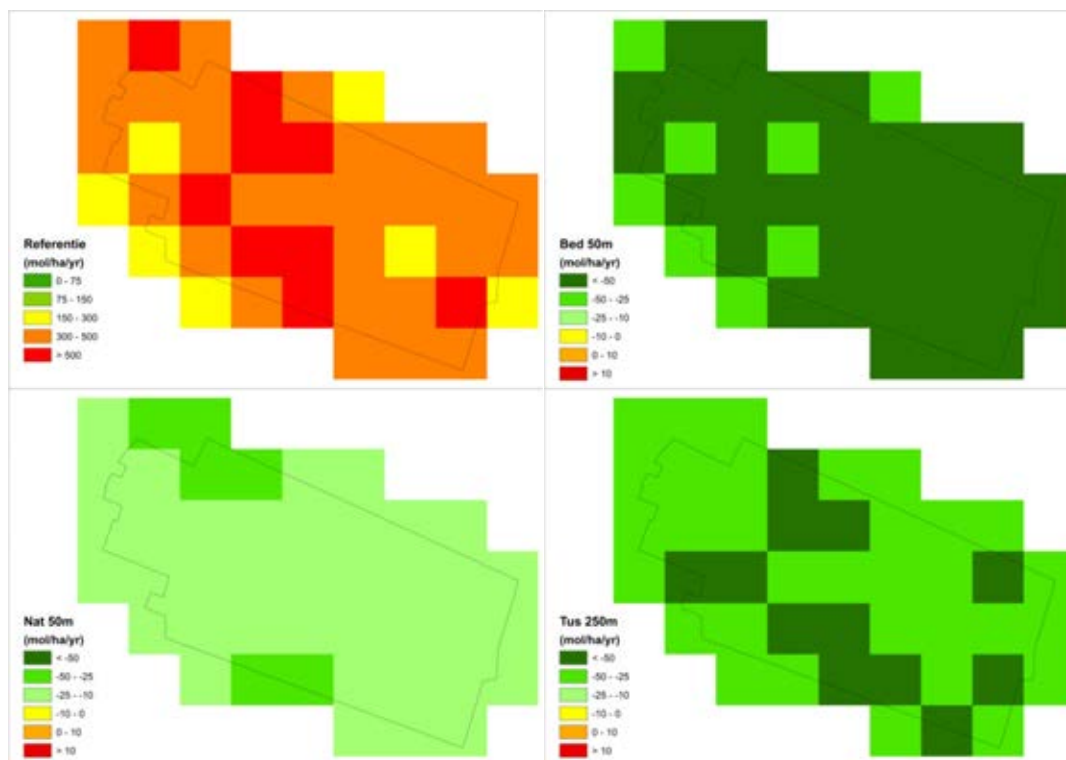
Figuur 19 De NH_x -depositie ten gevolge van een bedrijf in de nabijheid van twee N2000-gebieden voor de referentiesituatie en het verschil ten opzichte van de referentiesituatie voor de Bed 250m-, Nat 250m-, All 50m- en All 250m-scenario's.

Tabel 10

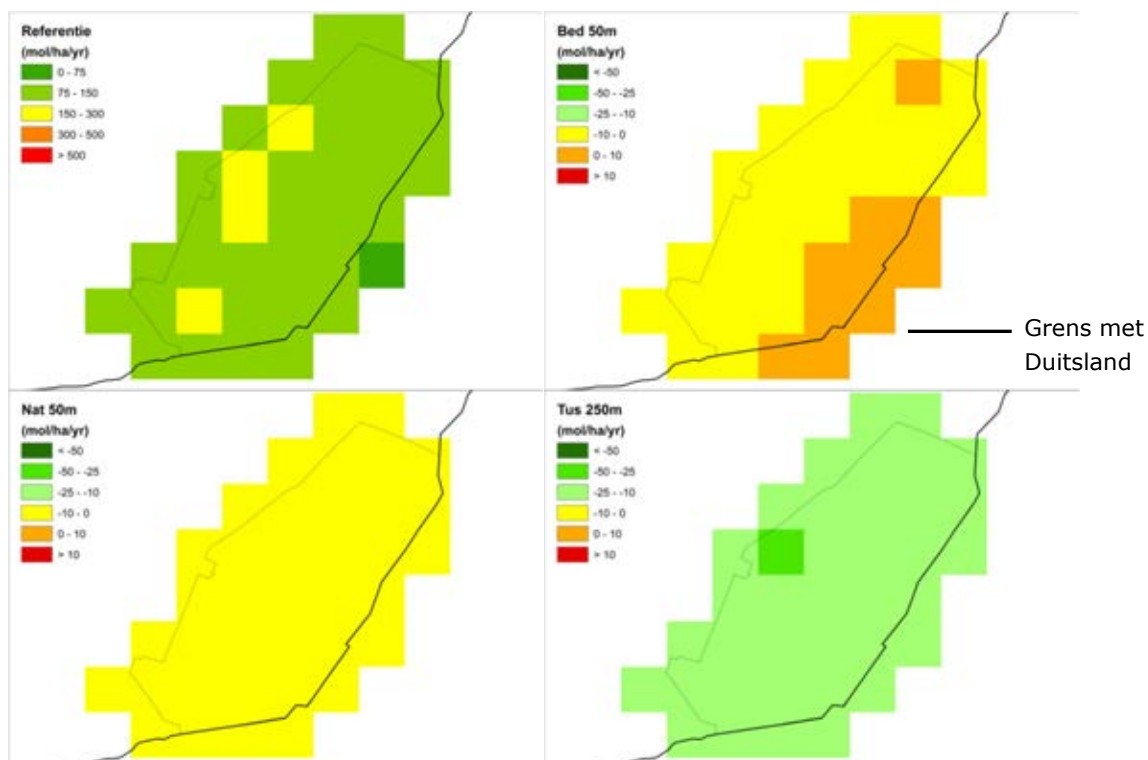
Gemiddelde NH_x -depositie op het in Figuur 18 en 19 getoonde N2000-areaal voor de referentiesituatie en het verschil van de depositie voor de 7 scenario's en de referentie.

Scenario	Areeal structurelement (ha)	NH ₃ depositie (mol ha ⁻¹ jr ⁻¹)		Verschil in %
		Gemiddelde	Verschil t.o.v. referentie	
Referentie	-	1.31	-	-
Bed 50m	5.4	1.20	-0.11	-8.5
Bed 250m	143.3	1.20	-0.12	-8.8
Nat 50m	101.2	1.30	-0.01	-1.1
Nat 250m	463.9	1.30	-0.01	-0.6
Tus 250m	477.6	1.31	0.00	0.1
Comb 50m	584.1	1.19	-0.12	-9.4
Comb 250	1074.7	1.20	-0.11	-8.3

Bijlage 3 Inzoomen Boetelerveld en Aamsveen



Figuur 20 De NH_x -depositie Boetelerveld voor de referentiesituatie en het verschil ten opzichte van de referentiesituatie voor de Bed 50m-, Nat 50m-, All 50m- en Tus 250m-scenario's.



Figuur 21 De NH_x -depositie Aamsveen voor de referentiesituatie en het verschil ten opzichte van de referentiesituatie voor de Bed 50m-, Nat 50m-, All 50m- en Tus 250m-scenario's.

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2689
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

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



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2689
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

