



Effecten van landschapsinrichting in de gebiedsgerichte aanpak van de stikstofopgave in provincie Flevoland

Een verkenning naar effecten van landschapselementen in Flevoland op de stikstofdepositie op De Wieden en Weerribben, de Veluwe en het Naardermeer

Edo Gies, Hans Kros, Jan Cees Voogd



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Effecten van landschapsinrichting in de gebiedsgerichte aanpak van de stikstofopgave in provincie Flevoland

Een verkenning naar effecten van landschapselementen in Flevoland op de stikstofdepositie op De Wieden en Weerribben, de Veluwe en het Naardermeer

Edo Gies, Hans Kros, Jan Cees Voogd

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van en gefinancierd door de provincie Flevoland.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, februari 2021

Gereviewd door:

René Rietra, onderzoeker bodemkwaliteit (team Duurzaam Bodemgebruik, WENR)

Akkoord voor publicatie:

Corine van As, teamleider Regionale ontwikkeling en Ruimtegebruik (WENR)

Rapport 3051
ISSN 1566-7197

Edo Gies, Hans Kros, Jan Cees Voogd, 2021. *Effecten van landschapsinrichting in de gebiedsgerichte aanpak van de stikstofopgave in provincie Flevoland; Een verkenning naar effecten van landschapselementen in Flevoland op de stikstofdepositie op De Wieden en Weerribben, de Veluwe en het Naardermeer*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3051. 32 blz.; 6 fig.; 6 tab.; 34 ref.

Op het mogelijke effect van het aanbrengen van landschapselementen in de provincie Flevoland op de ammoniakdepositie op drie nabij de provincie Flevoland gelegen stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden (De Wieden en Weerribben, Veluwe en Naardermeer) is een literatuurstudie gedaan en is een aantal indicatieve modelberekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn voor de provincie Flevoland effecten van verschillende varianten van landschapselementen op de ammoniakdepositie op de drie Natura 2000-gebieden doorgerekend met de modellen INITIATOR en OPS. Hoewel er vrij extreme scenario's zijn gehanteerd, zijn de te behalende reducties in depositie zijn relatief klein en sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden.

Trefwoorden: ammoniak, stikstof, depositie, Flevoland, landschapselementen, Natura 2000-gebieden, De Wieden en Weerribben, Veluwe en Naardermeer.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/541014> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2021 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- 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.

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



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3051 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Shutterstock

Inhoud

	Verantwoording	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Aanleiding	9
	1.2 Doel en onderzoeksvragen	9
	1.3 Leeswijzer	10
2	Literatuuronderzoek	11
3	Effecten landschapselementen in Flevoland op de stikstofdepositie omringende Natura 2000-gebieden	17
	3.1 Inleiding	17
	3.2 Werking OPS-model en berekening emissies	17
	3.3 Beschrijving scenario's	18
	3.4 Resultaten scenario's	19
	3.4.1 Huidige situatie (scenario 0)	19
	3.4.2 Effecten op de stikstofdeposities van de vier scenario's	20
4	Conclusies en aanbevelingen	23
	4.1 Conclusies	23
	4.2 Discussie en aanbevelingen	23
	Literatuur	25
	Bijlage 1 Ruwheden en landgebruik in het OPS-model	28

Verantwoording

Rapport: 3051

Projectnummer: 5200046383

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: onderzoeker bodemkwaliteit Wageningen Environmental Research

naam: dr.ir. R.P.J.J. Rietra

datum: 29 januari 2021

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: C.J. van As, MSc

datum: 5 februari 2021

Samenvatting

Provincie Flevoland is op verschillende fronten bezig met een gebiedsgerichte aanpak van opgaven die spelen in het landelijk gebied van de provincie die relatie hebben met groene, hoog opgaande landschapselementen (aanplant van bomen en/of bos): (i) ze leggen koolstof vast, (ii) vangen atmosferische stikstof (N) in of beïnvloeden het verspreidingspatroon van stikstof en (iii) dragen bij aan de ruimtelijke kwaliteit en identiteit van het landschap in Flevoland. In deze verkenning is gekeken in hoeverre dergelijke landschapselementen effect hebben op de verspreiding van de stikstofdepositie en daarmee ook een reductie in de stikstofdepositie kunnen bewerkstelligen op de drie nabij de provincie Flevoland gelegen stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden (De Wieden en Weerribben, Veluwe en Naardermeer). Daarvoor is een literatuurstudie gedaan en is een aantal indicatieve berekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn voor de provincie Flevoland effecten van verschillende varianten van landschapselementen op de ammoniakdepositie op de drie Natura 2000-gebieden doorgerekend met de modellen INITIATOR en OPS. Hoewel er vrij extreme scenario's zijn gehanteerd, zijn de te behalende reducties in depositie zijn relatief klein en sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden.

De belangrijkste bevindingen zijn:

- Het aanbrengen van landschapselementen rondom bedrijven of natuurgebieden het depositiepatroon van ammoniak kan beïnvloeden. Uit experimenteel onderzoek blijkt dat met groene landschapselementen rondom stallen een reductie van ca. 3% (op basis van Schots onderzoek) 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 mogelijk hogere reducties te bereiken zijn. 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 sterk afhankelijk zijn van de lokale omstandigheden. Zo is de effectiviteit van groene landschapselementen afhankelijk van (i) het soort vegetatie (loofbomen bieden meer perspectief dan naaldbomen), (ii) de structuur (porositeit, vorm, hoogte en breedte) en (iii) de locatie (bij de bron, bij de receptor en in de tussenruimte).
- Gezien de beperktheid aan bestaand onderzoek, is nader onderzoek onder praktijkomstandigheden nodig is om de effectiviteit van deze maatregel beter te meten/kwantificeren en te onderscheiden voor de verschillende types en structuren van landschapselementen en de soorten waaruit ze bestaan.
- De verruwing van het landschap met behulp van hoog opgaande landschapselementen op gebiedsniveau in Flevoland weinig invloed heeft op het depositiepatroon a.g.v. de ammoniakemissies van de landbouw in Flevoland. Indicatieve modelberekeningen met de stal- en opslagemissies vanuit de veehouderijen in Flevoland laat zien dat de gemiddelde depositiereductie niet hoger is dan enkele tienden mol N/ha/jr. De reductie is daarmee kleiner dan 1% t.o.v. de huidige situatie. Dit zijn gemiddelden; op sommige plekken in het Natura 2000-gebied zal de reductie hoger zijn dan 0,5 mol N/ha/jr, maar tegelijkertijd kan het elders leiden tot een verhoging van de depositie (zie Veluwe). De resultaten zijn zo gering dat ze binnen de onnauwkeurigheidsmarges van modellen vallen en hier geen harde conclusies uit getrokken kunnen worden.
- Nader onderzoek onder praktijkomstandigheden is nodig om de effectiviteit van maatregelen beter te kwantificeren en daarbij onderscheid te maken in verschillende typen, soorten en structuren van landschapselementen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Provincie Flevoland is op verschillende fronten bezig met een gebiedsgerichte aanpak van opgaven die spelen in het landelijk gebied van de provincie. Specifiek gaat het om het maken van:

1. Een bossenstrategie om meer samenhang te brengen in het bossen-, natuur- en klimaatbeleid, met als doelstelling meer houtige elementen in de provincie aan te leggen.
2. Landschapsvisie en een uitvoeringsprogramma waarin de landschappelijke karakteristieken, ruimtelijke essentie en onderscheidende belevingswaarde nu en in de toekomst behouden blijven en versterkt dienen te worden. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan het versterken van erfbeplanting rondom boerderijen en de bossen langs de randmeren en het versterken van landschappelijke structuren langs wegen.
3. Een gebiedsgerichte uitwerking die bijdraagt aan het oplossen van de stikstofproblematiek. Omdat er grote verschillen zijn tussen de verschillende gebieden, vindt het kabinet één algemene aanpak om de stikstofproblematiek niet verstandig. De aanpak over hoe de stikstofneerslag is te verminderen, is overal anders en vergt gebiedsgericht maatwerk.

De drie thema's komen samen als het gaat om groene, hoog opgaande landschapselementen (aanplant van bomen en/of bos): (i) ze leggen koolstof vast, (ii) vangen atmosferische stikstof (N) in of beïnvloeden het verspreidingspatroon van stikstof en (iii) dragen bij aan de ruimtelijke kwaliteit en identiteit van het landschap in Flevoland.

Provincie Flevoland heeft aan Wageningen Environmental Research (WENR) gevraagd om met onze wetenschappelijk kennis en inzichten bij te dragen aan dit vraagstuk.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van deze opdracht is te komen tot onderbouwing van de effecten op atmosferische stikstofverspreiding van hoogopgaande begroeiing, zoals extra bomen en bos, in Flevoland ten dienste van koolstofopslag, reductie stikstofdepositie en de ruimtelijke kwaliteit.

De resultaten van deze bureaustudie vormen daarmee de gevraagde kennisinbreng met betrekking tot hoog opgaande landschapselementen in de beleidsvorming van de bossenstrategie, de gebiedsgerichte aanpak stikstof en het provinciale landschapsbeleid.

Hierbij heeft de provincie de volgende specifieke vragen:

- Wat zijn vanuit de doelstelling voor het reduceren van stikstofverspreiding de beste locaties voor het aanbrengen van dergelijke landschapselementen, opdat deze een maximaal effect hebben? Is er overal een effect of alleen nabij de emissiebronnen?
- Hoe zouden die elementen eruit moeten zien (omvang, expositie, soortensamenstelling etc.)?

Afbakening

Dit onderzoek richt zich alleen gericht op de ammoniak (NH₃) uitstoot vanuit de stallen- en opslagen van veehouderijbedrijven in Flevoland. De effecten voor stikstofoxide (NO_x)-bronnen en de NH₃-emissies door beweiden en bemesten zijn niet meegenomen. NO_x is niet meegenomen omdat dit vooral vanuit het stedelijk gebied, door industrie, energiesector en verkeer, wordt geëmitteerd. De NH₃-emissies door beweiden en bemesten zijn buiten beschouwing gelaten omdat (i) een omvangrijke rekenexercitie verg die niet paste binnen de omvang van deze opdracht en (ii) door het diffuse karakter lastiger te beïnvloeden zijn door landschapselementen. Dit zou bijv. landschapselementen om de percelen vergen.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt beschreven wat er in de literatuur bekend is over de effecten van hoog opgaande begroeiing op de stikstofdepositie. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens op basis van de stal- en opslagmissiebronnen in Flevoland in verschillende scenario's verkend welke invloed hoog opgaande begroeiing in Flevoland kan hebben op drie nabijgelegen stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden, die allen buiten de provincie Flevoland liggen. In hoofdstuk 4 ten slotte sluiten we af met de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

2 Literatuuronderzoek

Uit modelvoorspellingen en aanwijzingen uit empirisch onderzoek, blijkt dat (houtige) landschapselementen in staat zijn de verspreiding van landbouwemissies te beïnvloeden. Het gaat om landschapselementen bestaande uit hoog opgaande bomen en/of struiken in lijnvormige (houtwallen en bomenrijen) of vlakvormige patronen (bossen). Ook agroforestry-systemen, waarbij het telen van bomen gecombineerd wordt met tussenteelten van een- of meerjarige landbouwgewassen of grasland op hetzelfde perceel, kunnen hieronder geschaard worden. We gaan hier in onderstaande paragrafen nader op in.

Onderzoek naar landschapselementen en luchtkwaliteit

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 fijnstof¹ 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 (Adrizal et al., 2008) als modelonderzoek (Bealey et al., 2014, 2016). De laatste jaren is er weinig onderzoek naar gedaan.

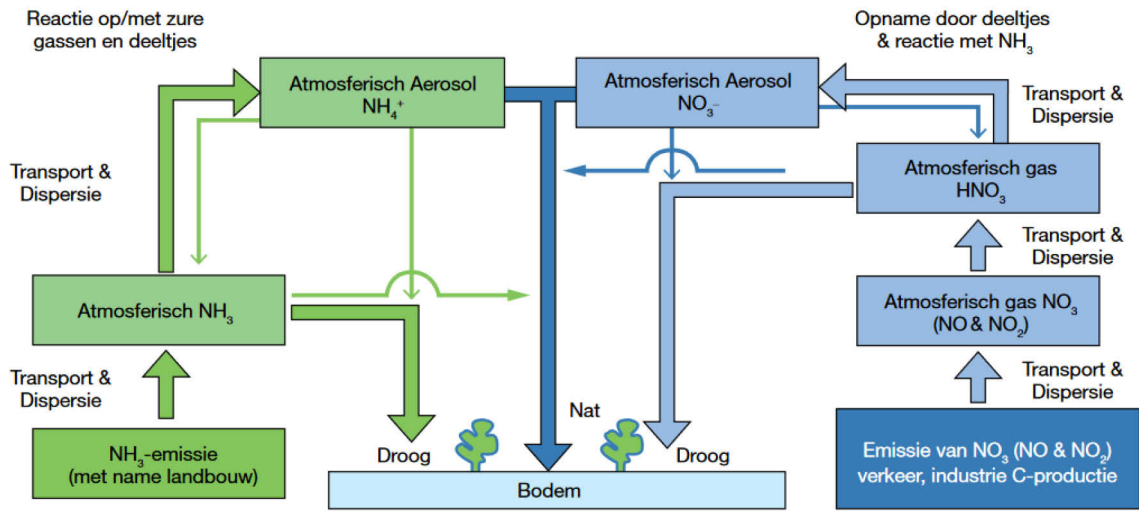
Landschapselementen beïnvloeden luchtstromen en nemen ammoniak op

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.

Depositie kan plaatsvinden in de vorm van droge depositie en natte depositie. Bij natte depositie lost de stof op in druppeltjes in de lucht en komt vervolgens met regen naar beneden. Natte depositie komt dus alleen voor ten tijde van neerslag. Droge depositie is het proces waarbij stoffen door luchtbewegingen (turbulentie) naar het oppervlak getransporteerd worden en daar opgenomen worden. Dit proces vindt vrijwel continu plaats (zie Figuur 2.1). De droge depositie van ammoniak is ongeveer twee keer zo groot als de natte depositie (Van Pul et al., 2018). De landschapselementen zijn vooral van invloed op de droge depositie. Deze kent een sterk ruimtelijk aspect, omdat de depositiesnelheid mede een functie is van landgebruik en terreinruwheid.

¹ Fijnstof is een verzamelnaam voor uiteenlopende deeltjes die door de lucht zweven: roetdeeltjes, opstuiwend zand, uitlaatgassen, zeezout, plantmateriaal, cementdeeltjes en bijvoorbeeld stukjes afgesleten autoband of wegdek (primair fijnstof). Fijnstof kan ook ontstaan door reacties tussen verschillende gassen in de lucht (secundair fijnstof). Stoffen als stikstofoxiden (NO_x), zwaveldioxide (SO₂) en ammoniak (NH₃) worden dan omgezet naar ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat.



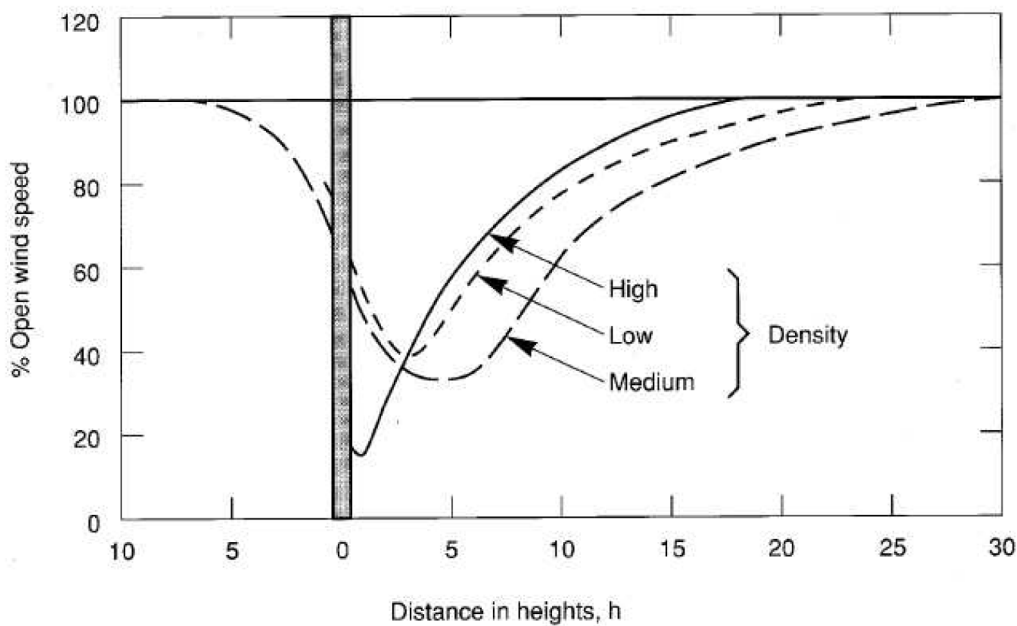
Figuur 2.1 Routes van stikstof in de atmosfeer (Bleeker en Hensen, 2015).

Verandering ammoniakdepositie 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:

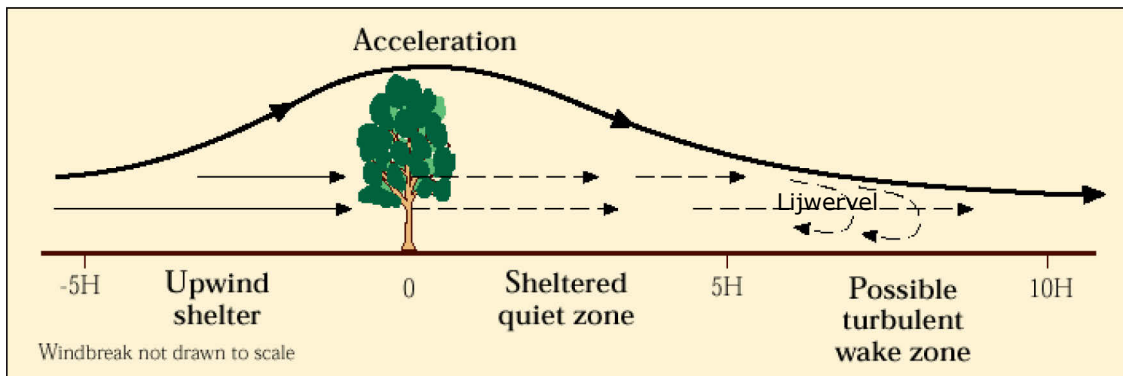
- de weerstand ofwel porositeit van het element;
- de breedte van het element;
- de windrichting (Jacobs, 1983; Heimann, 2003; Wesseling et al., 2004).

Met behulp van deze gegevens is een optimale structuur van het landschapselement te berekenen om een afname in windsnelheid te bewerkstelligen (zie Figuur 2.2).



Figuur 2.2 De 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 2.3). De wervel die hierdoor ontstaat, wordt '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 complexer. 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).

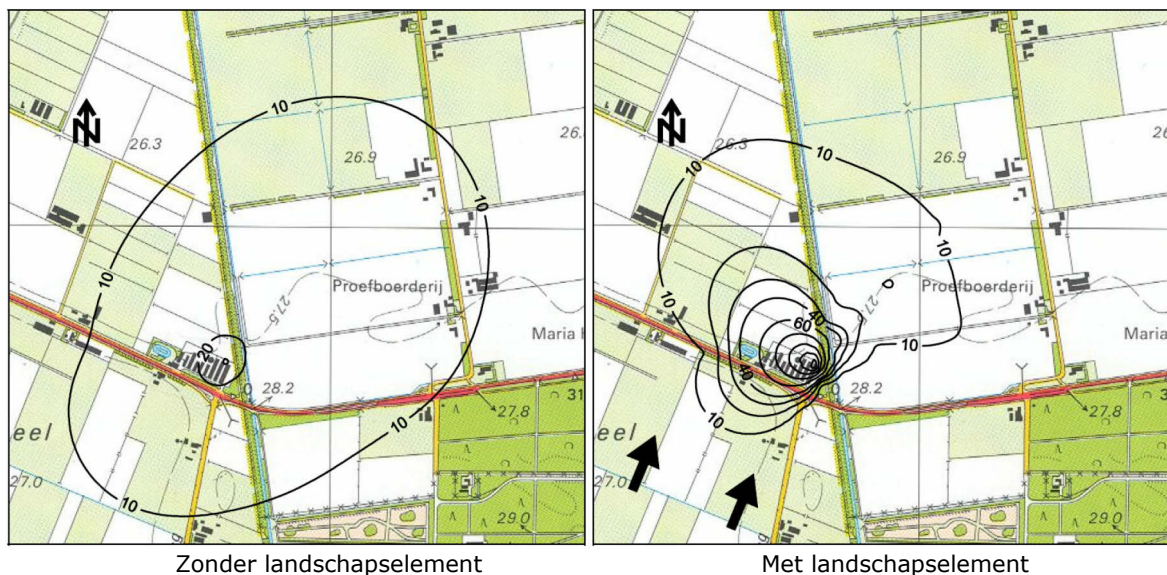


Figuur 1.3 Het ontstaan van turbulentie (ofwel lijwervel) achter een landschapselement (Bron: Lambeck et al., 1997).

Door het aanbrengen van landschapselementen in een open landschap treedt een verdunnend effect op door opstuwning van lucht met een hoge ammoniakconcentratie, waardoor er extra inmenging met schonere lucht optreedt (Hofschreuder, 2008). Daarnaast kan door de plaatsing van landschapselementen de luchtstroom versterkt worden. Hierdoor wordt de vervuilde lucht over een groter gebied verspreid. Verder kan een windsingel ook de luchtstroom beperken, waardoor het verspreidingspatroon wordt aangepast. Voor de windsingel zal de depositie verhoogd worden en achter de windsingel verlaagd.

In Figuur 2.4 is het effect van de aanwezigheid van een windsingel aan de oostkant van de stal op de ammoniakconcentratie geïllustreerd. Hierbij zijn de gemeten ammoniakconcentraties rondom een stal met windsingel (gelegen op enkele meters afstand ten noordoosten van de stallen met een zeer geringe porositeit en bestond vrijwel uitsluitend uit loofbomen met struiken (Figuur 2.4, rechts)) vergeleken met de berekende concentraties voor een situatie zonder windsingel (Figuur 2.4, links) (Van Dijk et al., 2004). Hieruit blijkt dat voor de situatie met windsingel (Figuur 2.4, rechts) het concentratieniveau en het verspreidingspatroon sterk beïnvloedt. Dit resultaat laat zien dat op korte afstand van de stallen (voor de windsingel) tot zesmaal hogere ammoniakconcentraties gemeten werden dan voorspeld voor een situatie zonder windsingel en dat de ammoniakconcentratie beduidend sneller afneemt in zuidoostelijke richting. De ammoniak werd als het ware bij de bron gehouden.

Overigens concluderen Pronk et al. (2013) dat landschapselementen een overtuigender effect hebben op beïnvloeding van de fijnstofconcentratie dan op de ammoniakconcentratie.



Figuur 2.4 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

Bomen en planten nemen voor de groei ook rechtstreeks ammoniak uit de lucht op via bladeren en stengels. De opname van ammoniak door planten en bomen wordt gestuurd door het verschil tussen de ammoniakconcentratie in de plant en in de buitenlucht. Is de concentratie in de buitenlucht hoger dan in de plant, dan wordt er ammoniak opgenomen. Het omgekeerde proces is ook mogelijk: is de buitenluchtconcentratie lager, dan wordt door de plant ammoniak afgegeven. Dit komt vooral aan het einde van het groeiseizoen wanneer proteïnen en aminozuren worden afgebroken als gevolg van de natuurlijke veroudering van het blad (Van Dijk et al., 2005). Daarnaast treedt er ook passieve afvangst plaats door het oplossen van ammoniak in vocht (neerslag, dauw) op het blad.

Op basis van bevindingen uit de literatuur hebben Oosterbaan et al. (2006) een bureaustudie uitgevoerd naar afvang van fijnstof en ammoniak voor een pilotgebied van 1 km² 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 voerden een theoretische berekening uit naar de benodigde begroeide oppervlakte voor een rechtstreekse reductie (door N-opname van groeiende bomen; ca. 100 kg N/ha). Daaruit volgde dat voor een reductie van 5% van de geëmitteerde hoeveelheid $\text{NH}_3\text{-N}$ uit een vleeskuikenstal ($5\% \times 2600 \text{ kg NH}_3\text{-N} = 130 \text{ kg N}$; een stal met ca. 50.000 vleeskuikens) er minstens 1,3 ha (= $130 \text{ kg N}/100 \text{ kg N/ha/jaar}$) oppervlak aan bos nodig om N rechtstreeks op te nemen. Zij vermoeden dat bij eerdere onderzoeken de ammoniakopname overschat is of mogelijk beïnvloed is door andere factoren, zoals de verandering van luchtstroompatronen. Analooeg kan aangetoond worden dat een groot landschapselement van 20 m breed en 100 m lang maximaal 20 kg N ($0,2 \times 100 \text{ kg N}$) kan opnemen, wat neerkomt op 0,8% van de geëmitteerde hoeveelheid $\text{NH}_3\text{-N}$.

Gevoeligheid van bomen en planten voor ammoniak

Bij de keuze van planten- en bomensoorten is het van belang om rekening te houden met de gevoeligheid van de planten voor ammoniak. Te veel ammoniak zal leiden tot afsterving van bladweefsel en dus tot vermindering van het effectieve bladoppervlak. Een verhoogd stikstofaanbod voor de planten kan o.a. een grotere gevoeligheid voor abiotische stress, een toename van de gevoeligheid voor ziekten en plagen en een verschuiving in de soortensamenstelling tot gevolg hebben. Bomen en struiken reageren zeer verschillend op ammoniak. Uit studies van De Temmerman (1980) en Temple et al. (1979) blijkt dat naaldbomen gevoeliger zijn voor ammoniak dan loofboomsoorten. Bij naaldbomen wordt de waslaag op het naaldoppervlak aangetast, waardoor

bomen gevoeliger worden voor schimmelziekten. Ook kan er een grotere gevoeligheid voor vorstschade optreden. Dit is het geval bij coniferen, waardoor de aanplant van coniferen dicht bij stallen vermeden moet worden. Naalden vangen daarentegen fijnstof wel beter af dan bladeren van bomen.

Oosterbaan et al. (2006) concluderen eveneens 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. Voor een zo groot mogelijke invangcapaciteit kan een landschapselement het best bestaan uit hoge loofbomen. Door het aanplanten van een niet geheel dichte onderlaag met struiken, kan de ammoniak-Invang nog verder worden verhoogd. Grotere vlak- en lijnvormige landschapselementen hebben naar verwachting een grotere bijdrage aan de ammoniak-Invang.

Ruimtelijke situering van landschapselementen

Bij vaststelling van de effectiviteit van groen ter vermindering van luchtconcentraties is het interessant om zowel naar de locaties bij bronnen te kijken als naar de locaties waar gevoelige natuurgebieden zich bevinden. Het directe effect op de concentratie is namelijk heel lokaal en treedt op in een gebied achter het element ter grootte van 15-20 maal de hoogte. Ook de grootte van de te beschermen habitat is bepalend: kleinere habitats hebben relatief meer voordeel bij omgevingsmaatregelen met landschapselementen (Theobald et al., 2004a; 2004b).

De locatie van de landschapselementen kan het best zo gekozen worden dat – rekening houdend met de overheersende windrichting – het element zo veel mogelijk van de pluim ammoniak kan opvangen. Dit pleit voor een aanplant op een zodanig korte afstand noordoostelijk van bronnen van emissies dat zijwaartse instroom met stallucht mogelijk is. Dragosits et al. (2006) stellen echter dat landschapselementen in de nabije omgeving van kwetsbare habitattypen effectiever zijn dan elementen in de nabijheid van de emissiebron, met name omdat op die manier inkomende depositie van alle omgevende bronnen gereduceerd kan worden, en niet enkel van nabijgelegen boerderijen.

De kans bestaat overigens dat door de beïnvloeding van de luchtstroming het probleem van de stikstofdepositie wordt verplaatst. Ook kan door de hogere deposities rondom de landschapselementen het risico op uitspoeling van nitraten toenemen als de landschapselementen of omringende gewassen de stikstof niet kunnen benutten.

Effectiviteit landschapselementen

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. De conclusie is echter dat deze resultaten een onderschatting van de reële potentie zijn, omwille van de suboptimale structuur van de bestudeerde bomengroep en omwille van methodologische tekortkomingen. Zo schatten Theobald et al. (2004a; 2004b) in een vervolgstudie (op basis van een simulatie) in dat 2,1% van de geëmitteerde hoeveelheid ammoniak opgevangen kon worden door een 15 m brede, 10 m hoge bomengroep, die begon op 5 m van een 2 m hoge ammoniak emitterende bron, en tot 7,1% voor een gelijkaardige, maar 60 m brede bomengroep.

In de VS is voor een aantal pluimveebedrijven experimenteel onderzocht wat het effect is van windsingels – bestaande uit verschillende soorten bomen – op de ammoniakconcentratie (Adrizal et al., 2008; Paterson et al., 2008). Het ging hierbij om een windsingel bestaande uit vijf rijen bomen over een breedte van 7 m op 3 m afstand van de stal. Deze bomen zaten in (mobiele) containers, waardoor het mogelijk was om ter plaatse de ammoniakconcentratie zowel met als zonder containers met bomen te meten. Zij maten dat door het plaatsen van een bomenrij direct naast de stallen de ammoniakconcentratie 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 voornamelijk 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 ammoniak in plaats van opgevangen te worden in het spuiwater, in de biomassa van de bomen wordt vastgelegd. Maar zoals hierboven aangegeven, is de te verwachten bovengrondse opname ten behoeve van de groei door de aangeplante bomen zeer gering en kan dit nooit tot dergelijk hoge reducties leiden als gerapporteerd door Adrizal et al. (2008). Daarnaast ontbreekt in hun studie een controle-experiment zonder bomenrij, zodat niet kan worden vastgesteld dat de concentratieafname daadwerkelijk door de bomenrij wordt bepaald.

Dragosits et al. (2006) voerden een scenarioanalyse uit met alternatieve N-reducerende maatregelen rondom een grote pluimveehouderij als emissiebron. Zij schatten in dat de aanwezigheid van bomenstroken rondom de boerderijen de gemiddelde ammoniakdepositie in de drie natuurgebieden in het studiegebied kon terugdringen met 6% bij een boomstrook van 25 m, met 9% bij een 50 m brede bomenstrook tot wel 21% bij een bomenstrook van 200 m.

Bealy et al. (2014) evalueerden aan de hand van het MODDAS-THETIS-model verschillende ontwerpen van boomaanplant nabij ammoniakbronnen om zo de optimale ontwerpen voor de invang van ammoniak nabij kwetsbare ecosystemen te kwantificeren. Zij schatten in dat tot maximaal 27% van de geëmitteerde ammoniak opgevangen kan worden door de bomen op 50 m van een huisvestingssysteem voor pluimvee, en tot 60% van de geëmitteerde ammoniak in een agroforestry-scenario met kippen met vrije uitloop onder bomen. Bealy et al. (2014) concluderen dan ook dat boslandbouw/agroforestry met variaties in boomstructuur nabij ammoniakemissiebronnen een effectieve maatregel kan zijn, zeker in combinatie met andere bestaande reductiemaatregelen.

In een modelstudie naar de effecten van bosaanleg op landelijke schaal hebben Bealey et al (2016) berekend wat het effect van (i) windsingels op pluimvee- en rundbedrijven en (ii) herbebossing. Dit resulteerde in een reductie van de ammoniakdepositie op natuur van 0,1 tot 2,2% wanneer ca. 50% van de pluimveebedrijven en 20% van de rundveebedrijven worden voorzien van een windsingel en 6% tot 11% depositiereductie bij resp. 25% en 50% uitbreiding van het bosareaal. Uit een modelstudie voor de provincie Overijssel (Kros et al., 2015) waarbij de ammoniakdepositie-reductie in Natura-2000 gebieden onder invloed van verruwingsscenario's werd een depositiereductie van 8% tot 12% berekend bij het aanleggen van windsingels van 50m om alle bedrijven en een reductie van 3% wanneer een boszone van 50m om de Natura-2000 gebieden wordt aangelegd. In beide studies gaat het dus om vrij extreme varianten, waarbij maximaal een depositiereductie van ca. 10% wordt bereikt.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat experimenteel onderzoek naar de effecten van de invang van ammoniak schaars is en leidt soms tot niet-eenduidige resultaten. De meeste experimentele studies naar de het invangen van luchtverontreinigende stoffen door landschapselementen richten zich op stikstofoxiden en fijnstof in stedelijk gebied. Modelstudies op nationale schaal naar de effecten van landschapselementen op de invang van ammoniak laten zien dat het aanleggen van bossen de depositie tot 10% kan reduceren, maar dat vergt wel een substantiële aanleg van bos (tot 50%) dan wel windsingels van 50m breed om alle bedrijven.

3 Effecten landschapselementen in Flevoland op de stikstofdepositie omringende Natura 2000-gebieden

3.1 Inleiding

Om de vraag te beantwoorden wat het effect is op de stikstofdepositie op drie nabij de provincie Flevoland gelegen stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden (De Wieden en Weerribben, Veluwe en Naardermeer) zijn er scenarioberekeningen uitgevoerd met verschillende varianten aan hoog opgaande beplanting. Deze berekeningen worden doorgerekend met het OPS-model (Sauter et al., 2015). Het OPS model is beschikbaar via. <https://www.rivm.nl/operationele-prioritaire-stoffen-model>, in deze studie is gebruik gemaakt van versie 4.5.2.2.

Het OPS-model houdt echter geen rekening met de bovengrondse opname van ammoniak door de vegetatie ten behoeve van de groei, omdat hier nog te weinig onderzoeksgegevens over beschikbaar zijn. Het meten van de directe bovengrondse opname door de vegetatie is complex en duur, waardoor er bijna geen gemeten tijdreeksen beschikbaar zijn. Dit betekent dat het mogelijke effect van de opname van ammoniak door een landschapselement niet is meegenomen in de berekeningen.

3.2 Werking OPS-model en berekening emissies

In het OPS-model wordt de verspreiding van de geëmitteerde ammoniak berekend. Onderweg verandert de concentratie door verdunning, chemische omzetting en natte en droge depositie (zie ook Figuur 2.1). De (droge) depositiesnelheid wordt bepaald door de atmosferische weerstand en de weerstand van het landgebruik, onder andere bepaald door de structuur en hoogte. 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, zie Tabel B1 in Bijlage 1) effect op de droge depositie. Deze depositieparameters zijn via twee gridbestanden, een voor z_0 en een voor lu , met een resolutie van $250m \times 250m$ in het model gebracht. Deze twee gridbestanden zijn afgeleid van de Landgebruikskaat Nederland, versie 6 (LGN6) met een resolutie van $25m \times 25m$. Deze basisinformatie (al of niet aangepast, zoals bij de hier doorgerekende scenario's, zie paragraaf 3.2) wordt opgeschaald naar (gemiddelde voor z_0 en % voor lu) $250m \times 250m$.

In het OPS-model wordt echter met het aanpassen van z_0 en lu alleen de invang en de verticale dispersie van de pluim wordt beïnvloed (alleen effect van z_0) alleen de depositiesnelheid aangepast, waardoor de depositie voor en in het aangebrachte landschapselement wordt verhoogd. Mogelijke (lokale) effecten op het en niet het afbuigen van de luchtstromen in en na het landschapselement worden niet meegenomen. Hiervoor is het OPS-model niet ontwikkeld. OPS is bedoeld voor het in kaart brengen van luchtverontreiniging op nationale schaal. Hoe het verwaarlozen van dit effect in de praktijk uitwerkt, is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. Dit betekent dat in deze indicatieve studie alleen de effecten van het veranderen van de ruwheid en gewasweerstand op de depositiesnelheid zijn 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. Verder is het effect van NH₃-opname door het blad ten behoeve van de groei niet meegenomen.

Door het veranderen van het huidige landgebruik in OPS door landgebruik met een grotere ruwheid zal de (droge) NH₃-depositie in de betreffende gridcel toenemen, waardoor de NH₃-depositie elders zal afnemen. In Bijlage 1 is een overzicht gegeven van de landgebruik-gerelateerde aspecten zoals die zijn opgenomen in OPS.

Voor de berekening van de scenario's zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De referentie lu- en z0-kaarten zijn afgeleid op basis het LGN7 (peiljaar 2012).
- De OPS berekeningen zijn uitgevoerd op een 100m×100m resolutie, gebruikmakend van een langjarige gemiddelde meteorologie.
- Voor de omvang en ruimtelijke configuratie van veehouderij is gebruik gemaakt van GIAB 2018 (Van Os et al., 2016) en de stal- en opslagemissies voor de veehouderijbedrijven in Flevoland zijn berekend met het model INITIATOR (Kros et al., 2019) eveneens op een resolutie van 100m×100m.

3.3 Beschrijving scenario's

Voor het kwantificeren van de effecten van landschapselementen op de stikstofdepositie op drie nabij de provincie Flevoland gelegen stikstofgevoelige Natura 2000-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 Natura 2000-gebieden bepaald voor de volgende scenario's:

1. De huidige situatie
2. De huidige situatie plus het aanbrengen van windsingels, bestaande uit een bosstrook van 50 m, rondom alle stallen² van de veehouderijbedrijven in Flevoland.
3. De huidige situatie plus de tussenruimtes (tussen de windsingels uit scenario 1 en de boszone uit scenario 3) op te vullen met bos op die plekken waar momenteel gras en mais staat.
4. De huidige situatie plus het aanbrengen van een bosstrook van 250 m breed aan de buitenranden van Flevoland nabij de drie Natura 2000-gebieden.
5. Heel Flevoland (incl. bebouwing) te voorzien van gras.

We kiezen voor het aanbrengen van landschapselementen voor loofbomen, omdat deze bij een grootschalige toepassing meer perspectief bieden. Zo zijn ze minder gevoelig voor ammoniak dan naaldbomen. Voor maïs is om puur pragmatische redenen gekozen, omdat voor dit gewas ruwheidsparameters beschikbaar zijn in het OPS-model.

Variante 2 kan gezien worden als een invulling van *agroforestry* op de gronden die nu voor de ruwvoerwinning van vee gebruikt worden; agrarisch gras en mais uit LGN 7 wordt omgezet naar bos. In variante 3 gaan we uit van een aaneengesloten boszone van 250 m langs de buitengrens van Flevoland. In deze zone wordt daar waar nu geen bos is, bos aangeplant (op land) en bestaand bos blijft. Variante 4 is een afwijkende variant en gaat niet in op het effect van het extra aanbrengen van hoog opgaande begroeiing. Deze variant geeft een indruk van wat het huidige landgebruik en ruwheid voor invloed heeft op de depositie op de Natura 2000-gebieden. Verder is ook de huidige depositie door emissie van alle stallen en opslagen in Flevoland berekend. Dit beschouwen we hierna als scenario 0 en fungeert als referentiesituatie.

In Tabel 3.1 is een overzicht gegeven van de arealen die per scenario worden omgezet. De minste ruimtelijke impact hebben de windsingels rondom de agrarische bedrijven (ca. 0,5% van het landbouwareaal) en 250 m zone bos rondom heel Flevoland (ca. 6% van het landbouwareaal).

² Zoals opgenomen in INITIATOR (Kros et al., 2019) voor het jaar 2018.

Tabel 3.1 Areaal dat per scenario wordt omgezet in landschapselement.

Scenario nr.	Omschrijving	Areaal (ha) ¹⁾	% van totaal areaal	% van totaal landbouwareaal
1	Windsingels	463	0,32	0,48
2	Tussenruimte	19.050	13	20
3	Boszone rondom Flevoland	6.082	4,2	6,3
4	Heel Flevoland gras	146.307	100	n.v.t. (152)

Totaal areaal = 146.307 ha

Totaal landbouwareaal = 96.268 ha

1) Betreft areaal waar het huidige landgebruik is aangepast.

3.4 Resultaten scenario's

3.4.1 Huidige situatie (scenario 0)

In deze paragraaf worden de huidige stal- en opslagmissie in Flevoland en de daardoor veroorzaakte stikstofdepositie op drie nabij gelegen Natura 2000-gebieden weergegeven. In Tabel 3.2. staat een overzicht van de huidige ammoniakemissie uit de landbouw in Flevoland (uitgesplitst naar stal- en opslagmissies en aanwending- en beweidingsemisies) en de gemiddelde depositie op de drie nabijgelegen Natura 2000-gebieden (zowel a.g.v. ammoniakemissies uit de stal- en opslagmissies landbouw Flevoland als de totale N-depositie). Figuur 3.1 geeft de depositie a.g.v. de stal- en opslagmissies in Flevoland op de Natura 2000-gebieden weer. Hierin valt op dat een groot deel van de Noord-Veluwe een depositie heeft hoger dan 25 mol N/ha/jr en daarmee net zo zwaar belast wordt als de Wieden- Weerribben vanuit de landbouw in Flevoland, maar doordat de Veluwe zo groot is, een lagere gemiddelde depositie heeft.

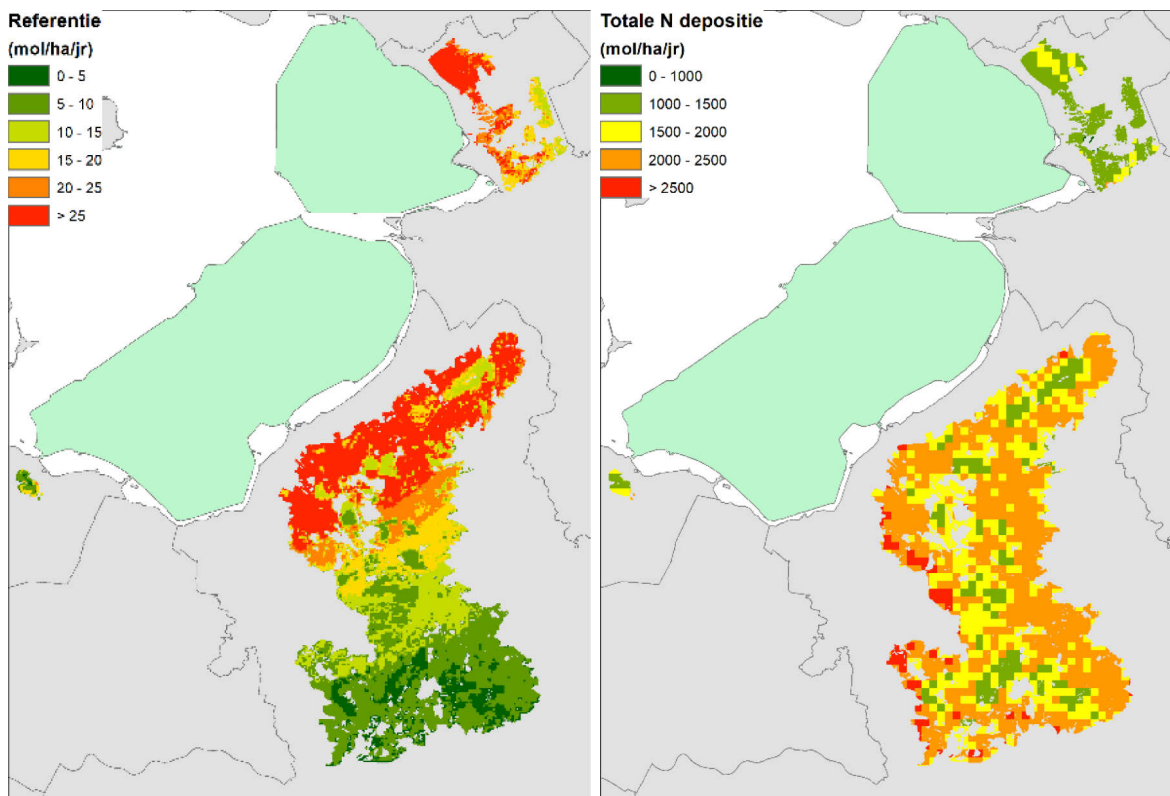
NB Het gaat hier om de effecten a.g.v. de stal- en opslagmissies uit de landbouw. De effecten van de aanwendings- en beweidingsemisies zijn niet meegenomen, net zomin als de NO_x-emissiebronnen.

Tabel 3.2 Huidige emissie en depositie (peiljaar 2018).

Gebied	N emissie stallen en opslagen (ton NH ₃ -N/jr)	N emissie beweiden en bemesten (ton NH ₃ -N/jr) ¹⁾	Gemiddelde N-depositie door stal en opslagmissie Flevoland (mol N/ha/jr)	Gemiddelde totale N depositie (mol N/ha/jr) ²⁾
De Wieden en Weerribben	nvt	nvt	29	1.376
Veluwe	nvt	nvt	17	1.987
Naardermeer	nvt	nvt	10	1.478
Heel Flevoland	952	12.140	nvt	nvt

¹⁾ De emissies door beweiden en bemesten zijn in deze analyse verder niet meegenomen.

²⁾ Het gaat hier om de totale stikstofdepositie van zowel de NH₃-emissiebronnen (voornamelijk landbouw) als ook de NO_x- emissiebronnen (o.a industrie, verkeer, scheepvaart).



Figuur 3.1 Ruimtelijk beeld van de N-depositie door stal- en opslagmissies in Flevoland (links) en totale N-depositie op de drie nabij gelegen Natura 2000-gebieden voor het jaar 2018.

3.4.2 Effecten op de stikstofdeposities van de vier scenario's

In Tabel 3.3 staat een overzicht van het effect van vier scenario's op de N-depositie op de drie nabij gelegen Natura 2000-gebieden tezamen. Tabel 3.4 t/m 3.6 geven het effect weer per Natura 2000-gebied. Figuur 3.2 geeft het ruimtelijke beeld van de effecten.

De resultaten laten zien dat de effecten van het aanbrengen van hoog opgaande landschapselementen in de provincie Flevoland een klein effect zullen hebben op de stikstofdepositie op de drie nabijgelegen stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden buiten de provincie. De reductie is in alle varianten kleiner dan 1% t.o.v. de huidige situatie. De huidige ruwheid van de oppervlakte speelt echter wel een rol. Als alle bebouwing en bossen er niet zouden zijn in Flevoland, geeft dit gemiddeld bijna 10% meer depositie op de drie Natura 2000-gebieden.

Tabel 3.3 Effect van scenario's op de gemiddelde, 5-percentiel en 95-percentiel NH_3 -depositie op alle drie nabijgelegen Natura 2000-gebieden.

Scenario	Gem. NH_3 dep	Verschil t.o.v. scen. 0		P05	P95
	<i>mol N/ha/jr</i>	<i>mol N/ha/jr</i>	%	<i>mol N/ha/jr</i>	<i>mol N/ha/jr</i>
0	17,84			4,55	43,73
1	17,78	-0,06	-0,3%	4,59	43,39
2	17,80	-0,04	-0,2%	4,77	42,73
3	17,77	-0,07	-0,4%	4,54	43,58
4	19,53	1,69	9,5%	4,18	48,15

Tabel 3.4 Effect van scenario's op de gemiddelde, 5-percentiel en 95-percentiel NH₃-depositie op De Wieden en Weerribben.

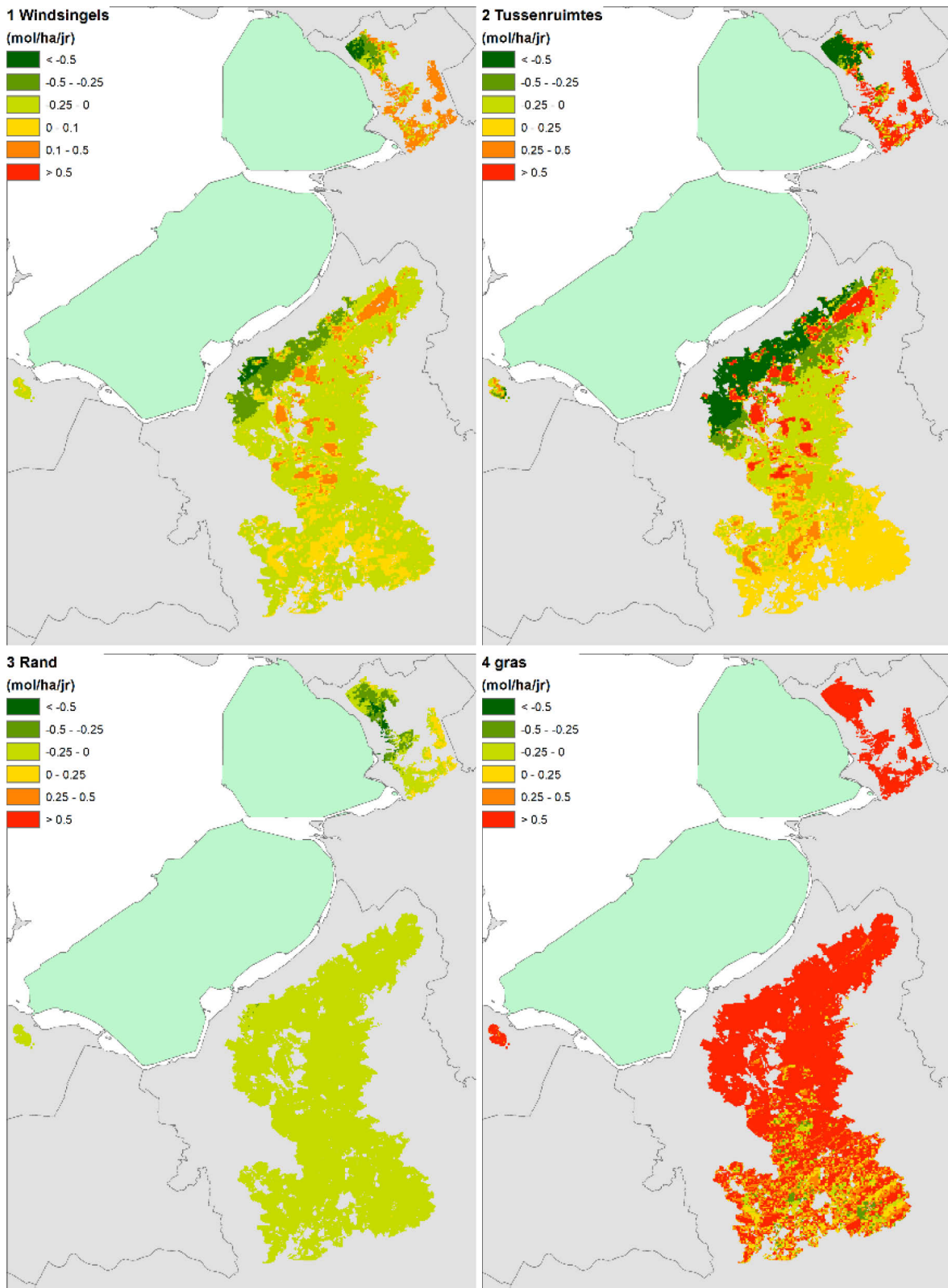
Scenario	Gem. NH ₃ dep	Verschil t.o.v. scen. 0		P05	P95
	<i>mol N/ha/jr</i>	<i>mol N/ha/jr</i>	%	<i>mol N/ha/jr</i>	<i>mol N/ha/jr</i>
0	28,96			14,29	55,19
1	28,91	-0,05	-0,2%	14,59	54,84
2	28,84	-0,12	-0,4%	15,39	53,45
3	28,76	-0,20	-0,7%	14,33	54,69
4	33,92	4,96	17,1%	14,86	63,42

Tabel 3.5 Effect van scenario's op de gemiddelde, 5-percentiel en 95-percentiel NH₃-depositie op de Veluwe.

Scenario	Gem. NH ₃ dep	Verschil t.o.v. scen. 0		P05	P95
	<i>mol N/ha/jr</i>	<i>mol N/ha/jr</i>	%	<i>mol N/ha/jr</i>	<i>mol N/ha/jr</i>
0	17,18			4,49	42,85
1	17,12	-0,06	-0,3%	4,53	42,54
2	17,15	-0,03	-0,2%	4,70	41,98
3	17,13	-0,05	-0,3%	4,48	42,71
4	18,67	1,49	8,7%	4,10	46,77

Tabel 3.6 Effect van scenario's op de gemiddelde, 5-percentiel en 95-percentiel NH₃-depositie op het Naardermeer.

Scenario	Gem. NH ₃ dep	Verschil t.o.v. scen. 0		P05	P95
	<i>mol N/ha/jr</i>	<i>mol N/ha/jr</i>	%	<i>mol N/ha/jr</i>	<i>mol N/ha/jr</i>
0	9,60			4,45	18,99
1	9,52	-0,08	-0,8%	4,48	18,82
2	9,56	-0,04	-0,4%	4,90	18,50
3	9,58	-0,02	-0,2%	4,44	18,93
4	10,86	1,26	13,1%	5,00	20,62



Figuur 3.2 Effect van het aanbrengen van ruwheden (1. Windsingels, 2. Tussenruimtes, 3. Begrenzing Flevoland) en het weglaten van alle ruwheden (4. Gras) in Flevoland op de depositie door de emissie vanuit stallen en opslagen in Flevoland.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat:

- Het aanbrengen van landschapselementen rondom bedrijven of natuurgebieden het depositiepatroon van ammoniak kan beïnvloeden. Uit experimenteel onderzoek blijkt dat met groene landschapselementen rondom stallen een reductie van ca. 3% (op basis van Schots onderzoek) 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 mogelijk hogere reducties te bereiken zijn. 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 sterk afhankelijk zijn van de lokale omstandigheden. Zo is de effectiviteit van groene landschapselementen afhankelijk van (i) het soort vegetatie (loofbomen bieden meer perspectief dan naaldbomen), (ii) de structuur (porositeit, vorm, hoogte en breedte) en (iii) de locatie (bij de bron, bij de receptor en in de tussenruimte).
- Gezien de beperktheid aan bestaand onderzoek, is nader onderzoek onder praktijkomstandigheden nodig is om de effectiviteit van deze maatregel beter te meten/kwantificeren en te onderscheiden voor de verschillende types en structuren van landschapselementen en de soorten waaruit ze bestaan.
- De verruwing van het landschap met behulp van hoog opgaande landschapselementen op gebiedsniveau in Flevoland weinig invloed heeft op het depositiepatroon a.g.v. de ammoniakemissies van de landbouw in Flevoland. Indicatieve modelberekeningen met de stal- en opslagmissies vanuit de veehouderijen in Flevoland laat zien dat de gemiddelde depositiereductie niet hoger is dan enkele tienden mol N/ha/jr. De reductie is daarmee kleiner dan 1% t.o.v. de huidige situatie. Dit zijn gemiddelden; op sommige plekken in het Natura 2000-gebied zal de reductie hoger zijn dan 0,5 mol N/ha/jr, maar tegelijkertijd kan het elders leiden tot een verhoging van de depositie (zie Veluwe). De resultaten zijn zo gering dat ze binnen de onnauwkeurigheidsmarges van modellen vallen en hier geen harde conclusies uit getrokken kunnen worden.

4.2 Discussie en aanbevelingen

De hier gehanteerde varianten waren extremen en vragen voor de aanleg van landschapselementen veel ruimte. 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. Deze varianten zouden meer verfijnd kunnen worden. Bijvoorbeeld door het slimmer positioneren van een boszone (enkel langs de randen met het vaste land) zou de ruimtelijke impact kleiner kunnen zijn en het effect op de depositie op de drie nabijgelegen Natura 2000-gebieden gelijk blijven. 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.

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 opslagmissie. De eventuele reductie in de 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. Verder is het effect van NH₃-opname door het blad niet meegenomen, waardoor het mogelijke verlagende effect op de NH₃-depositie iets te laag is ingeschat. Maar in vergelijking tot de effecten van verandering van luchtstroompatronen kan theoretisch

aangetoond worden dat de bovengrondse opname voor gewasgroei slechts een geringe bijdrage kan leveren (Pronk et al., 2013).

De effectiviteit hangt in sterke mate af van de locatie, omvang en type van het landschapselement. Hoog opgaande beplanting rondom de stallen in de provincie Flevoland lijkt dan toch het meest veelbelovend gezien het relatief kleine ruimtebeslag en een hoger of vergelijkbaar effect in de depositiereductie ten opzichte van de andere varianten. De vraag in hoeverre het grootschalig inzetten van landschapselementen zinvol is, is niet in zijn algemeenheid te beantwoorden. Effectiviteit van maatregelen is in de praktijk maar beperkt onderzocht. Nader onderzoek onder praktijkomstandigheden is nodig om de effectiviteit van maatregelen beter te kwantificeren en daarbij onderscheid te maken in verschillende typen, soorten en structuren van landschapselementen.

Een praktijkstudie naar een nadere kwantificering van de effecten van landschapselementen op de verspreiding van ammoniak vraagt een behoorlijke inspanning. Dit vraagt om een multidisciplinaire aanpak, variërend van veeteelt, bosbouw tot atmosferische processen en transportverschijnselen, waarbij gemeten (zowel in het landschapselement, incl. vegetatie en bodem, als in de lucht in de omgeving) en gemodelleerd (met een gedetailleerd lokaal dispersie-depositiemodel) wordt. Het meest voor de hand ligt om in eerste instantie het effect van een landschapselement rondom een veehouderijbedrijf te gaan onderzoeken, zie bijv. het in Schotland uitgevoerde onderzoek door Theobald et al. (2001). Hier is ten behoeve van het onderzoek een pluimveebedrijf voorzien van een groen landschapselement, maar mogelijk zijn er in Flevoland twee vergelijkbare veehouderijbedrijven te vinden waarvan één een winsingel heeft en het andere niet. Hierbij speelt uiteraard ook de vorm, omvang en ligging van de windsingel een belangrijke rol. Verder dient er ook minimaal een jaar gemeten te worden om een indruk te krijgen van een jaarrond-effect.

Literatuur

- Adrizal, 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
- Bleeker, A., en A. Hensen, 2015. *Waarom meten we zo weinig onze stikstofdepositie?* ECN-V—15-005, juli 2015.
- 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
- Bealey, W.J., A.J. Dore, U. Dragosits, S. Reis, D.S. Reay & M.A. Sutton, 2016. The potential for tree planting strategies to reduce local and regional ecosystem impacts of agricultural ammonia emissions. *J Environ Manage* 165, 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.012>.
- 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, Alterra-Rapport 2548. <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. Report 136. <http://edepot.wur.nl/24155>
- Jacobs, A.F.G., 1983. Flow around a line obstacle. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, Thesis [s.n.]. <http://edepot.wur.nl/203150>
- Kros, J., T.J.A. Gies & J.C.A. Voogd, 2015. Effecten van landschapselementen op de ammoniak depositie in Natura 2000-gebieden. Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2689. <http://edepot.wur.nl/368151>.
- Kros, H., J. van Os, J.C. Voogd, P. Groenendijk, C. van Bruggen, R. te Molder & G. Ros, 2019. Ruimtelijke allocatie van mesttoediening en ammoniakemissie: beschrijving mestverdelingsmodule INITIATOR versie 5. Wageningen, Wageningen Environmental Research. <http://edepot.wur.nl/474513>

-
- 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, brochure. <http://edepot.wur.nl/133768>.
- 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>.
- Os van, J., L.J.J. Jeurissen & H.S.D. Naeff, 2016. Geografisch informatiesysteem voor de emissieregistratie van landbouwbedrijven; GIABplus-bestand 2013 – Status A. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. WOT technical report: 66. <http://edepot.wur.nl/386756>
- Patterson, P.H., Adrizal, A., Hulet, R.M., Bates, R.M., Despot, D.A., Wheeler, E.F., Topper, P.A. (2008). The potential for plants to trap emissions from farms with laying hens: 1 Ammonia. *Journal of Applied Poultry Research* 17, 54-63.
- 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>
- Pul van, A., R. Wichink Kruit, A. Frumau, H. Kros en W.de Vries, 2018. Trends in ammoniak en ammonium. Concentraties en deposities. *V-focus augustus 2018*.
- 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, 2004a. Modelling nitrogen fluxes at the landscape scale. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 4 (6), 135-142.
- Theobald, M.R., Milford, C., Hargreaves, K.J., Sheppard, L.J., Nemitz, E., Tang, Y.S., Dragosits, U., McDonald, A.G., Harvey, F.J., Leith, I.D., Sneath, R., Williams, A.G., Hoxey, R.P., Quinn, A.D., McCartney, L., Sandars, D.L., Phillips, V.R., Blyth, J.F., Cape, J.N., Fowler, D., Sutton, M.A., 2004b. AMBER: Ammonia Mitigation By Enhanced Recapture. Impact of vegetation and/or other on-farm features on net ammonia emissions from livestock farms., Final report to Defra. CEH Edinburgh.
- 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, Nota 152. <https://edepot.wur.nl/49451>
- Tonneijck, F., 2010. Kleine landschapselementen voor zuivere lucht en zuiver water. Wageningen, Plant Research International, presentatie <http://edepot.wur.nl/133770>
- 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. Wageningen
- 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. TNO-rapport R 2004/383. <https://edepot.wur.nl/46317><http://edepot.wur.nl/46317>

Bijlage 1 Ruwheden en landgebruik in het 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 , in m, vastgesteld per LGN-klasse; oorspronkelijk voor de LGN3+-klassen en later vertaald naar LGN6-klassen, zie Tabel B2 en B3) en landgebruik (lu , uitgedrukt in 9 klassen, zie Tabel B1) 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 $250m \times 250m$ 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 toenemen, waardoor de NH_x -depositie elders zal afnemen.

Tabel B1 Landgebruiksklassen in DEPAC.

Klasse	Omschrijving
1	Grasland
2	Bouwland
3	Vaste gewassen
4	Naaldbossen
5	Loofbossen
6	Water
7	Bebouwing
8	Overige natuur (korte grasachtige gewassen)
9	Kale grond (duinen, zandige gebieden)

Tabel B2 Landgebruik (LGN3+-klassen) en bijbehorende z0-waarden.

LGN3+klasse	Omschrijving	z0 (m)
1	gras	0.03
2	mais	0.17
3	aardappelen	0.07
4	bieten	0.07
5	granen	0.16
6	overige landbouwgewassen	0.07
7	buitenland (org: foreign land)	0.15
8	glastuinbouw	0.1
9	boomgaard	0.39
10	bollen	0.07
11	loofbos	0.75
12	naaldbos	0.75
16	zoet water	0.001
17	zout water	0.001
18	stedelijk bebouwd gebied	1.6
19	bebouwing in buitengebied	0.5
20	loofbos in bebouwd gebied	1.1
21	naaldbos in bebouwd gebied	1.1
22	bos met dichte bebouwing	2
23	gras in bebouwd gebied	0.03
24	kale grond in bebouwd buitengebied	0.001
25	hoofdwegen en spoorwegen	0.1
26	bebouwing in agrarisch gebied	0.5
27	startbaan, landingsbaan? (org: runways)	0.0003
28	Parkeerplaats	0.1
30	Kwelders	0.0002
31	Open zand in kustgebied	0.0003
32	Open duinvegetatie	0.02
33	Gesloten duinvegetatie	0.06
34	Duinheide	0.04
35	Open stuifzand	0.0003
36	Heide	0.03
37	Matig vergraste heide	0.04
38	Sterk vergraste heide	0.06
39	Hoogveen	0.06
40	Bos in hoogveengebied	0.75
41	Overige moerasvegetatie	0.03
42	Rietvegetatie	0.1
43	Bos in moerasgebied	0.75
44	Veenweidegebied	0.07
45	Overig open begroeid natuurgebied	0.03
46	Kale grond in natuurgebied	0.001

Tabel B3 Vertaling van LGN6-landgebruiksklassen naar LGN3+-landgebruiksklassen.

LGN6 klasse	Omschrijving	LGN3+ klasse	Omschrijving (volgens LGN3+)	z0
1	Agrarisch gras	1	Gras	0.03
2	Mais	2	Mais	0.17
3	Aardappelen	3	Aardappelen	0.07
4	Bieten	4	Bieten	0.07
5	Granen	5	Granen	0.16
6	Overige gewassen	6	Overige landbouwgewassen	0.07
8	Glastuinbouw	8	Glastuinbouw	0.1
9	Boomgaarden	9	Boomgaard	0.39
61	Boomkwekerijen	6	Overige landbouwgewassen	0.07
62	Fruitekwekerijen	9	Boomgaard	0.39
10	Bloembollen	10	Bollen	0.07
11	Loofbos	11	Loofbos	0.75
12	Naaldbos	12	Naaldbos	0.75
16	Zoetwater	16	Zoetwater	0.001
17	Zoutwater	17	Zoutwater	0.001
18	Bebouwing in primair bebouwd gebied	18	Stedelijk bebouwd gebied	1.6
19	Bebouwing in secundair bebouwd gebied	19	Bebouwing in buitengebied	0.5
20	Bos in primair bebouwd gebied	20	Loofbos in bebouwd gebied	1.1
22	Bos in secundair bebouwd gebied	20	Loofbos in bebouwd gebied	1.1
23	Gras in primair bebouwd gebied	23	Gras in bebouwd gebied	0.03
24	Kale grond in bebouwd gebied	24	Kale grond in bebouwd buitengebied	0.001
25	Hoofdwegen en spoorwegen	25	Hoofdwegen en spoorwegen	0.1
26	Bebouwing in het buitengebied	26	Bebouwing in agrarisch gebied	0.5
28	Gras in secundair bebouwd gebied	23	Gras in bebouwd gebied	0.03
30	Kwelders	30	Kwelders	0.0002
31	Open zand in kustgebied	31	Open zand in kustgebied	0.0003
32	Duinen met een lage vegetatie (<1m)	11	Loofbos (10%)	0.07
		31	Open zand in kustgebied (10%)	
		32	Open duinvegetatie (40%)	
		33	Gesloten duinvegetatie (40%)	
33	Duinen met een hoge vegetatie (>1m)	11	Loofbos (40%)	0.29
		32	Open duinvegetatie (20%)	
		33	Gesloten duinvegetatie (40%)	
34	Duinheide	34	Duinheide	0.04
35	Open stuifzand en/of rivierzand	35	Open stuifzand	0.0003
36	Heide	36	Heide	0.03
37	Matig vergraste heide	37	Matig vergraste heide	0.04
38	Sterk vergraste heide	38	Sterk vergraste heide	0.06
39	Hoogveen	39	Hoogveen	0.06
40	Bos in hoogveengebied	40	Bos in hoogveengebied	0.75
41	Overige moerasvegetatie	41	Overige moerasvegetatie	0.03
42	Rietvegetatie	42	Rietvegetatie	0.1
43	Bos in moerasgebied	43	Bos in moerasgebied	0.75
45	Natuurgraslanden	45	Overig open begroeid natuurgebied	0.03

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3051
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research 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



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 3051
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.000 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research 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.

