



Jaarrond stikstofdepositie door ganzen in Utrechtse natuurgebieden

Met bijzondere aandacht voor stikstofgevoelige gebieden

Ralph Buij & Hans Baveco



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Jaarrond stikstofdepositie door ganzen in Utrechtse natuurgebieden

Met bijzondere aandacht voor stikstofgevoelige gebieden

Ralph Buij & Hans Baveco

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van Team Natuur en Landbouw van de Provincie Utrecht onder projectnummer 5200046379.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, januari 2021

Gereviewd door:
Sander Moonen, onderzoeker dierecologie (WENR)

Akkoord voor publicatie:
Marion Kluivers-Poodt, teamleider van Dierecologie

Rapport 3052
ISSN 1566-7197

Ganzen foerageren vaak in landbouwgebieden, maar broeden en rusten in natuurgebieden en kunnen zodoende verantwoordelijk zijn voor een aanzienlijke herverdeling en concentratie van stikstof in die natuurgebieden. Hier onderzoeken we de bijdrage van ganzen aan de stikstofbelasting van stikstofgevoelige gebieden in Utrecht. We bepalen wat de stikstof-input in stikstofgevoelige natuurgebieden is van ganzen in de provincie Utrecht, door uit te gaan van kennis over aantallen ganzen die gemiddeld (op jaarbasis) verblijven in de provincie, om vervolgens een op modelberekeningen gebaseerde schatting te maken van de totale stikstofuitscheiding door die ganzen. Na foerageren verplaatsen de ganzen stikstof naar de natuurgebieden. Hun stikstofproductie wordt zo toegekend aan natuurgebieden, waaronder de stikstofgevoelige gebieden. Onze berekeningen zijn zodoende opgesplitst in een productiemodel en een distributiemodel. De resultaten tonen dat in de provincie Utrecht sprake is van een relatief (zeer) kleine bijdrage van ganzen aan de totale stikstofdepositie. In vergelijking met de geschatte gemiddelde stikstofdepositie in stikstofgevoelige gebieden dragen ganzen met hun depositie maar een zeer kleine fractie bij (gemiddeld een factor 20 lager dan overige stikstofdepositie) en de ganzendepositie is over het algemeen vele malen lager (factor 25) dan de kritische drempelwaarden voor stikstof in stikstofgevoelige gebieden. Hoewel de relatieve bijdrage van stikstofdepositie aan de totale depositie nauwelijks van belang is, kan de depositie van stikstof door ganzen op een beperkt aantal locaties wel belangrijk zijn.

Trefwoorden: ganzen, Utrecht, stikstofdepositie, natuurgebieden

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/542989> 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.

Inhoud

	Verantwoording	5
1	Introductie	7
2	Methoden	9
	2.1 Productiemodel	9
	2.1.1 Ganzentellingen	9
	2.1.2 Modelberekeningen stikstofproductie	9
	2.2 Distributiemodel	10
	2.2.1 Toekenning stikstof aan natuurgebieden	10
3	Resultaten	13
	3.1 Stikstofproductie	13
	3.2 Stikstofdepositie	15
	3.3 Depositie en KDW	20
4	Discussie	26
5	Conclusie	27
6	Dankwoord	28
	Literatuur	29

Verantwoording

Rapport: 3052

Projectnummer: 5200046379

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

naam: Sander Moonen

datum: 22-01-2021

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Marion Kluivers-Poodt

datum: 22-01-2021

1 Introductie

Stikstof – in de lucht aanwezig als stikstofoxiden en ammoniak – afkomstig van verkeer, industrie en veeteelt komt uiteindelijk weer op de bodem terecht, grotendeels als neerslag (natte depositie). Daarnaast kunnen planten stikstof ook direct uit de lucht opnemen (droge depositie). De depositie van stikstofoxiden en ammoniak verrijkt de bodem, waardoor soorten op voedselarme grond verdwijnen. Zo is stikstofdepositie een groot probleem voor Nederlandse natuurgebieden op arme gronden.

Waar watervogels talrijk zijn, kunnen hun uitwerpselen een belangrijke externe bron van stikstof in waterrijke natuurgebieden vormen. In tegenstelling tot visetende watervogels, die bijna uitsluitend aan aquatische systemen zijn gebonden, foerageren veel soorten ganzen en eenden vaak in landbouwgebieden, maar broeden en rusten in natuurgebieden. Ze kunnen dus verantwoordelijk zijn voor een aanzienlijke herverdeling en concentratie van stikstof in die natuurgebieden. In de afgelopen decennia zijn veel soorten ganzen (*Anser* en *Branta*) bovendien sterk in aantal toegenomen, wat deze herverdeling verder in de hand zal hebben gewerkt (Fox en Madsen, 2017). De belangrijkste drijvende kracht achter de toename van ganzen zijn moderne, intensieve landbouwpraktijken die het hele jaar door voedsel (met name gras) van hoge kwaliteit leveren, waardoor de draagkracht voor ganzen sterk is vergroot (Van Eerden et al., 1996). De toegenomen aantallen ganzen zijn zo symptomatisch voor een sterk geïntensiverde landbouw, zoals die in Nederland. Anders dan elders in het verspreidingsgebied, zoals in Oost-Azië, hebben ganzen in onze contreien hun foerageergedrag aangepast en voeden zich veel vaker dan een paar decennia geleden op nutriëntrijke graslanden in landbouwgebieden (Fox en Abraham, 2017). Omdat de ganzen wel zijn blijven slapen in natuurgebieden, zal de toevoer van stikstof naar deze gebieden zijn toegenomen. Dergelijk transport van stikstof door ganzen van foerageer- naar slaapgebieden en effecten op grasgroei en waterleven, is onderzocht in verschillende delen van het verspreidingsgebied van ganzen.

Bemestingseffecten van ganzen in Noordwest-Europese graslanden

Ganzen kunnen tussen de 58 g (brandgans) en 175 g per dag aan fecaal materiaal produceren (Canadese gans: ca. 2-4% van hun lichaamsgewicht; Kear, 1963), waarbij ze 0,3 uitwerpselen per m² per dag kunnen afzetten in sterk begraasde gebieden (Groot Bruinderink, 1989). Ze kunnen zo een gunstig effect hebben op plantengroei, hoewel bemestingseffecten door stikstof in ganzenuitwerpselen vaak relatief onbelangrijk lijken in Noordwest-Europa (bijv. Groot Bruinderink, 1989). Dit komt vermoedelijk omdat de bijdragen van stikstof door ganzen (1-2 kg N per ha; Rutschke en Schiele, 1978) klein zijn in vergelijking met toepassingen van landbouwmest in dergelijke situaties (100-200 kg N per ha voor intensieve graanproductie; Jensen en Schjoerring, 2011).

Van den Wyngaert (2001) toonde wel een verhoogde afgifte van stikstof aan uit bovengronds plantaardig materiaal in door ganzen begraasde (i.v.m. onbegraasde) graslanden. Ze interpreteerden dit als een potentieel 'bemestingseffect', hoewel de effecten van korte duur waren, namelijk alleen tijdens de periode dat ganzen fysiek aanwezig waren.

Stikstofbijdrage door ganzen aan stikstofgevoelige gebieden

Waar ganzen uitwerpselen uitscheiden in stikstof gelimiteerde, of 'stikstofgevoelige', gebieden, zijn de effecten sterker. In bodems met een laag gehalte aan oplosbare stikstof kan de plantengroei namelijk sterk worden beperkt door gebrek aan stikstof. De witte afzettingen op de uitwerpselen van ganzen bevatten oplosbaar stikstof in de vorm van urinezuur en ammoniumionen, wat de plantengroei kan bevorderen. Er zijn een paar studies die het effect van toegevoegde stikstof aan stikstofgevoelige gebieden onderzochten. In arctische systemen beperken lage stikstofconcentraties en korte groeiseizoenen de voorjaarsgroei van veel gras- en zeggensoorten (Cargill en Jefferies, 1984; Bazely en Jefferies, 1989; Ruess et al., 1989; Beaulieu et al., 1996). In dergelijke gebieden maken de uitwerpselen van ganzen meer stikstof beschikbaar, vooral tijdens de kritieke vroege groeifase (Cochran et al., 2000). De reactie van gras op een verhoogde beschikbaarheid van stikstof heeft belangrijke ecologische gevolgen. Het resulteert in een hogere biomassa staand gewas in de late zomer en vroege herfst (Cargill & Jefferies, 1984), omdat de grasmatten door de aanwezigheid van

stikstof kan herstellen van de gevolgen van begrazing, en omdat toevoeging van stikstof via ganzenfeces zorgt voor een hoger stikstofgehalte in de scheuten. Bovendien is de kwaliteit van het begraasde gras hoger als gevolg van de toevoeging van stikstof.

Bijdrage van stikstof door ganzen aan stikstofgevoelige natuurgebieden in Utrecht

Hoewel in Nederland de toevoeging van uitwerpselen van foeragerende ganzen aan de graslanden waar gefoerageerd wordt van beperkte invloed is, kan die bemesting in wateren wel belangrijk zijn. Zoetwatergebieden kunnen stikstof ontvangen via neerslag, afvloeiing van grond, instroom van grondwater en fauna, zoals ganzen. De eerste twee worden direct beïnvloed door menselijke activiteit, zoals nutriëntrijke afvoer van landbouw veroorzaakt door meststoffen (bijv. Schweigert en Van der Ploeg, 2002). Uitwerpselen van ganzen die buiten watergebieden foerageren, maar rusten of broeden in wetlands, zijn een natuurlijke bron voor stikstof. Lokaal kunnen grote concentraties ganzen op relatief kleine zoetwaterlichamen leiden tot een relatief hoge stikstofinput, vooral als andere stikstofbronnen beperkt zijn (Manny et al., 1994; Post et al., 1998; Kitchell et al., 1999).

Om de bijdrage van ganzen aan de stikstofbelasting van stikstofgevoelige gebieden beter te kunnen beoordelen, hebben Provinciale Staten van Utrecht, in vergadering bijeen op 30 oktober 2019, het college van Gedeputeerde Staten verzocht om hiertoe onderzoek te laten doen. In dit rapport presenteren we de resultaten van dit onderzoek naar de relatieve bijdrage van de door ganzen toegevoegde stikstof aan Utrechtse natuurgebieden. We kijken daarbij naar de stikstof die wordt geproduceerd door ganzen in de provincie, hoe deze ruimtelijk herverdeeld wordt, en in welke mate dit uiteindelijk bijdraagt aan de stikstofdepositie in stikstofgevoelige natuurgebieden in de provincie.

2 Methoden

Om te kunnen bepalen wat de stikstofinput in stikstofgevoelige natuurgebieden is door ganzen in de provincie Utrecht, moeten we uitgaan van kennis over aantallen ganzen die gemiddeld (op jaarbasis) verblijven in de provincie, om vervolgens een op modelberekeningen gebaseerde schatting te maken van de hoeveelheid stikstof die na het foerageren, in de gevulde spijsverteringsorganen, verplaatst kan worden naar waterrijke natuurgebieden in de omgeving (slaapplaatsen). Deze hoeveelheid wordt in het vervolg aangeduid als de stikstofproductie, maar kan dus ook gezien worden als de 'emissie' van stikstof door ganzen naar de omgeving buiten de foerageergebieden. Wat tijdens het foerageren aan (stikstof in) uitwerpselen geproduceerd wordt, wordt hier dus buiten beschouwing gelaten, want gedeponeerd in de foerageergebieden zelf. Na foerageren verplaatsen de ganzen zich naar de slaapgebieden. Met behulp van een eerste distributiemodel worden de ganzen (met de stikstof in hun lichaam) verdeeld over slaapplaatsen in de omgeving. Met een tweede distributiemodel wordt de uiteindelijke depositie van stikstof berekend in en rond ieder slaapgebied. De berekeningen zijn zodoende opgesplitst in een productie ('emissie') model en twee distributie ('depositie') modellen. Zoals veelal gebruikelijk, wordt de emissie gegeven in absolute hoeveelheid, als kg of ton N per jaar, en de uiteindelijke depositie in mol N/ha/jr.

2.1 Productiemodel

2.1.1 Ganzentellingen

Voor het productiemodel moet worden onderzocht wat de depositie is door ganzen van stikstof in de stikstofgevoelige gebieden. Hiervoor is kennis nodig van de totale productie van stikstof door ganzen, en dus van het aantal ganzen dat aanwezig is in de provincie. Sovon Vogelonderzoek beschikt over tellingen van ganzen in telgebieden binnen de provincie, maandelijks tussen september en april, en over zometellingen (in juli). Voor de data uit het watervogelmeetnet liggen hier de maandelijkse tellingen op het ruimtelijke niveau van de Sovon telgebieden (met zogenaamde 'imputing' voor de niet-getelde gebieden) aan ten grondslag. Voor de zomerganzen is het ruimtelijke niveau de individuele wildbeheereenheid (WBE), want dan wordt de telling door de WBE's verricht. We gebruiken voor de bepaling van de aantallen ganzen de gemiddelden voor de periode 2013-2018 in die telgebieden.

We nemen de gemiddelde aantallen per maand voor de zeven algemeenste soorten: Toendrarietgans, Kolgans, Grauwe Gans, Soepgans, Canadese Gans, Brandgans en Nijlgans. Deze worden berekend voor de vijf recentste seizoenen: de periode 2012/13-2017/18 (data van 2019/20 waren nog niet beschikbaar ten tijde van de analyse). In de modelberekeningen worden de getelde en geïmputeerde aantallen gebruikt (voor de twaalf maanden).

2.1.2 Modelberekeningen stikstofproductie

Voor de berekeningen van stikstofproductie door individuele ganzen baseren we ons op het model van Hahn et al. (2008). Zij beschrijven een model gebaseerd op voedselopname (intake-model, IM) en een model gebaseerd op productie van keutels (dropping-model, DM). Er wordt van uitgegaan dat de reële waarde van stikstofproductie zich bevindt tussen de berekende modelwaarden, die respectievelijk de bovengrens en de ondergrens vertegenwoordigen van de hoeveelheid geproduceerd allochtoon stikstof. In onze berekeningen kijken we naar IM als bovengrens en worstcasescenario. In dit model wordt ervan uitgegaan dat de dagelijkse hoeveelheid stikstof in de ontlasting overeenkomt met de ingenomen hoeveelheid. De defecatie van stikstof hangt zo direct af van de dagelijkse voedselinname en de stikstofconcentratie in dat voedsel (X_{food} ; mg/g).

De dagelijkse inname van voedsel (DFI_t ; g/dag) wordt berekend met behulp van de allometrische relatie van de dagelijkse energiebehoefte (DER; kJ/dag) met de lichaamsmassa (M ; g, $DER = 10^{1.0195} \times M^{0.6808}$; Nagy et al. 1999), het energiegehalte van het terrestrische dieet (E ; 20.78 kJ/g; Nagy et al. 1999), de metaboliseerbare energiecoëfficiënt (AM , 0.36; Nagy et al. 1999) en het aandeel van energie verkregen uit terrestrisch voedsel in verhouding tot de totale hoeveelheid benodigde energie (f_t):

$$DFI_t = f_t \times DER / (E \times AM)$$

We doen hier de aanname dat er alleen maar gebruikgemaakt wordt van terrestrische voedselbronnen (coëfficiënt $f_t=1$) en dat er niet wordt gevoerd in rustgebieden.

Bij het terugkeren naar wateren na foerageren, scheiden de ganzen een bepaald deel van hun dagelijkse fecale output uit op deze rustplaats (Ebbinge et al., 1975). Ervan uitgaande dat de elementaire concentratie in de ontlasting gedurende de dag constant is, moet de stikstofontlasting bij de slaapplek en dus de allochtone stikstofinput (X_{ai} ; g/dag) overeenkomen met de stikstofconcentratie in het voedsel (X_{food}). We gaan ervan uit dat uitsluitend gevoerd wordt op bemest productiegroenland. Er wordt echter ook een deel ontlast tijdens het foerageren, op groenland; slechts een fractie van de stikstof wordt getransporteerd naar de slaapplekken, namelijk de laatste darmleging van de dag. Om X_{ai} te berekenen, wordt ervan uitgegaan dat het spijsverteringskanaal van ganzen volledig gevuld is wanneer de vogels naar de slaapplek vliegen. De fractie van alle uitwerpselen die bij de slaapplek worden geproduceerd, kan worden berekend als de verhouding van de retentietijd (RT) en totale foerageertijd T_f (hier gesteld op 12 uur voor alle soorten; volgens Hahn et al., 2008), waarbij RT wordt gedefinieerd als de gemiddelde tijd voor voedsel om het spijsverteringskanaal van een vogel te passeren. Volgens het model geldt $RT = 10^{-0.3196} \times M^{0.2020}$. Zo levert het combineren van RT/T_f met voedselinname (DFI_t) en stikstofgehalte van het voedsel de volgende allochtone stikstofinput in wateren op:

$$X_{ai} = RT/T_f \times DFI_t \times X_{food}$$

Op basis van het intake-model berekenen we de hoeveelheid stikstof (per maand, telgebied en soort) die wordt toegevoegd aan de slaapplekken, waaronder de stikstofgevoelige natuurgebieden. Voor het stikstofgehalte van het voedsel worden de maandelijkse waarden voor bemest groenland gebruikt, volgens Hahn et al. (2008) (oktober t/m februari: 41.23; maart en april: 40.13; mei t/m september: 33.70 mg g⁻¹).

2.2 Distributiemodel

2.2.1 Toekenning stikstof aan natuurgebieden

De tweede stap is het maken van een inschatting waar de stikstof geproduceerd door de ganzen uiteindelijk terechtkomt. Voor ons doel moet de door de ganzen geproduceerde stikstof vanuit de landbouw- of foerageergebieden naar de natuurgebieden worden 'gebracht'. Als bekend is wat de hoeveelheid geproduceerde stikstof is door de ganzen in de telgebieden waar ze foerageren, zal deze vervolgens moeten worden toegekend aan slaapplekken. Die slaapplekken zijn de wateren waarop geslapen wordt met hun directe omgeving, waartoe ook de stikstofgevoelige natuurgebieden kunnen behoren.

De uitdaging is nu om de ganzen uit de Sovon (watervogelmeetnet) telgebieden te relateren aan een natuurgebied waar ze een stikstof-footprint achterlaten, omdat ze het natuurgebied gebruiken als slaapplek of daar (deels) ook foerageren. De enkele slaapplekken waar we informatie over hebben, bevinden zich niet in de grote, stikstofgevoelige natuurgebieden. Bij gebrek aan harde gegevens moeten we een inschatting maken van waar de ganzen slapen, op grond van eenvoudige aannames en een eenvoudig model. Uitgangspunt voor de verdeling is dat ganzen 's nachts slapen op open water

en we hanteren de aanname dat ze daarbij kiezen voor de (vanuit de telgebieden gezien) dichtstbijzijnde waterrijke gebieden. Vervolgens kan de extra stikstofbelasting door ganzen in en rond deze slaapgebieden geschat worden, waarbij we ervan uitgaan dat deze belasting het hoogst is in het centrum van het gebied en vanuit dit centrum meer of minder snel afneemt met de afstand. De uiteindelijke ruimtelijke verdeling van de extra depositie door ganzen, vanuit alle slaapgebieden gesommeerd, kan dan worden gerelateerd aan de ligging van N2000-natuurgebieden, met name die gebieden met lage kritische depositiewaarden (KDW's).

Om de verdeling van de stikstof te kunnen kwantificeren, gebruiken we dus twee verdelingsstappen. De eerste stap brengt de stikstof geproduceerd door de ganzen vanuit telgebieden naar slaapgebieden. De tweede stap verdeelt de stikstof vanuit de slaapgebieden over hun directe omgeving. De beginwaarde waarop deze herverdelingen worden losgelaten, is het stikstof dat na foerageren in de telgebieden elders gedeponeerd wordt – per maand en per soort (door het productiemodel). Voor de eerste stap worden maandtotalen gebruikt, over alle soorten ganzen. Dit veronderstelt dat dagelijkse migratie voor alle soorten vergelijkbaar is, maar wel verschilt in de verschillende perioden van het jaar (zomer- vs. wintermaanden). Voor de tweede stap worden jaartotalen gebruikt. Dit veronderstelt dat voor alle maanden en soorten de ruimtelijke verdeling in de slaapgebieden vergelijkbaar is. Vanwege onzekerheid in deze laatste stap hanteren we twee verdelingsmodellen, over korte en over langere afstand.

De stappen worden hieronder verder uitgewerkt. Voor de berekeningen zijn de volgende GIS-bestanden gebruikt:

Habitattypen_KDW.shp. Polygonenbestand, met HAB_CODE en KDW attributen. Stikstofgevoelige gebieden zijn die met $KDW < 2400$; de stikstofgevoelige gebieden worden met een H (habitat) en Lg (Leefgebied) aangegeven. Een subset van dit bestand is gebruikt met uitsluitend de in de provincie Utrecht gelegen gebieden.

AllLayers_watertype_2008_08. Watertypenbestand, waaruit een selectie gemaakt wordt van wateren in de provincie Utrecht, en van mogelijk als slaapplaats te gebruiken typen. Als geschikte typen worden de wateren geselecteerd met voor attribuut WATR2_CD de waarden MKD, MKO, MKV, MMD, MMO, MVN en MWR. Deze representeren de vlakvormige wateren uit de Nederlandse watertypenkaart, respectievelijk kleine diepe plassen, kleine ondiepe plassen, kleine ondiepe veenplassen, matig grote diepe meren, matig grote ondiepe meren, vennen, en (lijnvormig) water in rivierengebied.

Voor de eerste verdelingsstap moeten de potentiële slaapplaatsen in de buurt van een telgebied gedefinieerd worden. Dit zijn gebieden met open water van een minimale omvang. De gehanteerde minimale oppervlakte is een modelparameter. In de berekeningen is uitgegaan van twee versies, minimaal 0,5 ha en minimaal 1 ha wateroppervlakte. Vanuit de telgebieden worden de geproduceerde hoeveelheden stikstof verdeeld over de slaapgebieden, volgens een 'gravity'-modelbenadering: gewogen naar afstand tot en omvang van de slaapgebieden. In deze eerste verdelingsstap is er geen verlies van stikstof mogelijk (wanneer er geen enkel waterlichaam in de buurt van een telgebied ligt, beschouwen we het telgebied zelf als de slaapplaats). Dit levert de 'secundaire bronnen' op: de slaapplaatsen van waaruit stikstof weer verdeeld moet worden over de omgeving. Voor de afstandsberekeningen worden de centrumlocaties van de polygonen genomen, zowel voor de telgebieden als de slaapgebieden. In de tweede stap is wel verlies van stikstof mogelijk, namelijk wanneer een deel van de over de omgeving verdeelde stikstof buiten de provinciegrenzen terechtkomt.

Gravitymodel voor verdeling vanuit een telgebied over slaapplaatsen in de omgeving, met P de fractie van het in het telgebied geproduceerde stikstof dat naar slaapplaats j gaat:

$$P_j = A_j e^{-\alpha D_j} / \sum_i A_i e^{-\alpha D_i}$$

Hierin is α de coëfficiënt die de afname van de 'aantrekkelijkheid' van een slaapgebied met de afstand bepaalt, A de oppervlakte van het slaapgebied (open water) en D de afstand tussen telgebied en slaapgebied (centrumlocaties). De sommatie gaat over alle slaapgebieden i binnen een gestelde maximale afstand. We gaan ervan uit dat in de zomermaanden de afstand kleiner is dan in de wintermaanden. (In de zomermaanden $\alpha = 0.000693 \text{ m}^{-1}$ (half-waarde afstand = 1 km) met een maximale afstand van 2 km; in de wintermaanden $\alpha = 0.000347 \text{ m}^{-1}$ (half-waarde afstand = 2 km) met een maximale afstand van 4 km.) De aantrekkelijkheid van slaapgebieden neemt dus lineair toe met hun oppervlakte en exponentieel af met hun afstand tot de telgebieden. De berekeningen betreffen de totale hoeveelheid stikstof die in één maand binnen een telgebied geproduceerd wordt (alle soorten samen).

De volgende verdelingsstap betreft de verspreiding in/rond de slaapgebieden. Vanuit het zwaartepunt (centrum) van ieder slaapgebied verdelen we de stikstof over een groter gebied, ervan uitgaand dat niet alle vogels zich in het centrum van het gebied bevinden dan wel niet alle keutels daar terechtkomen. Voor de verdeling van de stikstof rond het zwaartepunt van het slaapgebied definiëren we een zg. distributie kernel volgens een tweedimensionale Normale verdeling. Ook hier testen we twee varianten, met een kleine en grote spreiding, bepaald door de standaarddeviatie (σ). (Kleine spreiding voor standaarddeviatie $\sigma = 500 \text{ m}$ (nauwe kernel); grote spreiding voor $\sigma = 1000 \text{ m}$ (wijde kernel).) NB Ongeveer 68% van de waarden zit tussen -1σ en $+1 \sigma$ eenheid vanaf het gemiddelde.

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Voor de berekeningen met deze zg. kernels worden de ruimtelijk te verdelen jaartotalen stikstof geprojecteerd op een fijn raster, met 100m-cellen. De convolutie van het raster met deze bronnen en het raster met de kernel levert de uiteindelijke ruimtelijke verdeling van stikstof (mol/ha/jr) op. Pas in deze laatste stap gaan we over van absolute hoeveelheden (variërend van mg tot tonnen stikstof in het productiemodel en omgerekend naar molen in het distributiemodel) naar concentraties van depositie in mol/ha/jr.

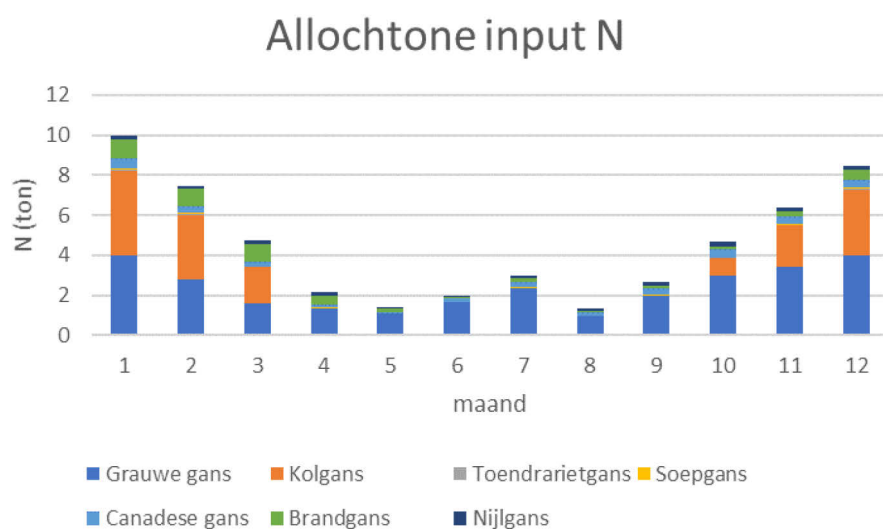
De ruimtelijke verdelingen op het 100m-raster kunnen geaggregeerd worden naar een 1km-raster. De resultaten in dit 1km-raster vergelijken we met de RIVM Grootschalige Concentratie- en Depositiekaarten Nederland (GCN en GDN) (<https://geodata.rivm.nl/gcn/>). We gebruiken hiervoor de kaart gebaseerd op 2020 (gegevens 2019) van totaalstikstof (Ntot) in mol/ha/jr.

Voor de gevoelige habitats/leefgebieden (KDW <2400 mol/ha/jr) in de provincie Utrecht, geselecteerd in het ruimtelijke databestand (**Habitattypen_KDW**), kunnen we alle depositiewaarden vergelijken voor de coördinaten van het middelpunt van het gebied. Depositiewaarden betreffen dus de RIVM-waarde en de berekende depositie door ganzen, op basis van de vier modelscenario's (minimale slaappleaats wateroppervlak 0,5 en 1 ha; wijde en nauwe verdeling voor verspreiding rond slaappleaats).

3 Resultaten

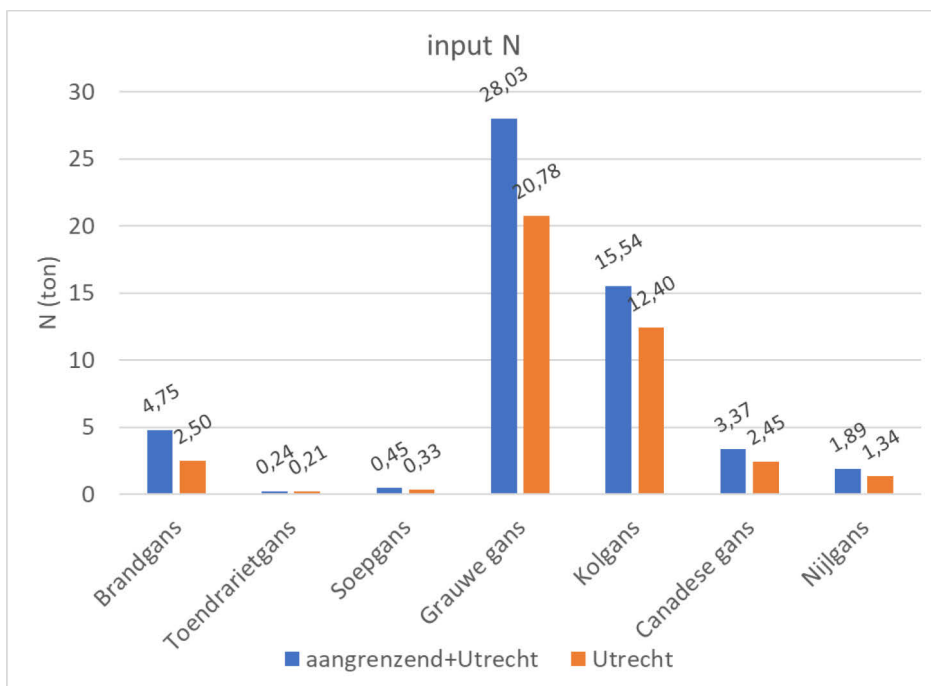
3.1 Stikstofproductie

De allochtone stikstofproductie (allochtone input die buiten de foerageergebieden terecht kan komen) piekt in de maanden november tot februari (Figuur 1). Kolganzen produceren de meeste stikstof in de maanden januari-maart in Utrecht en grauwe ganzen in de rest van het jaar. Andere soorten ganzen zijn betrekkelijk onbelangrijk in de relatieve bijdrage van stikstof. De maanden april tot en met september kenmerken zich door een lage allochtone stikstofinput.



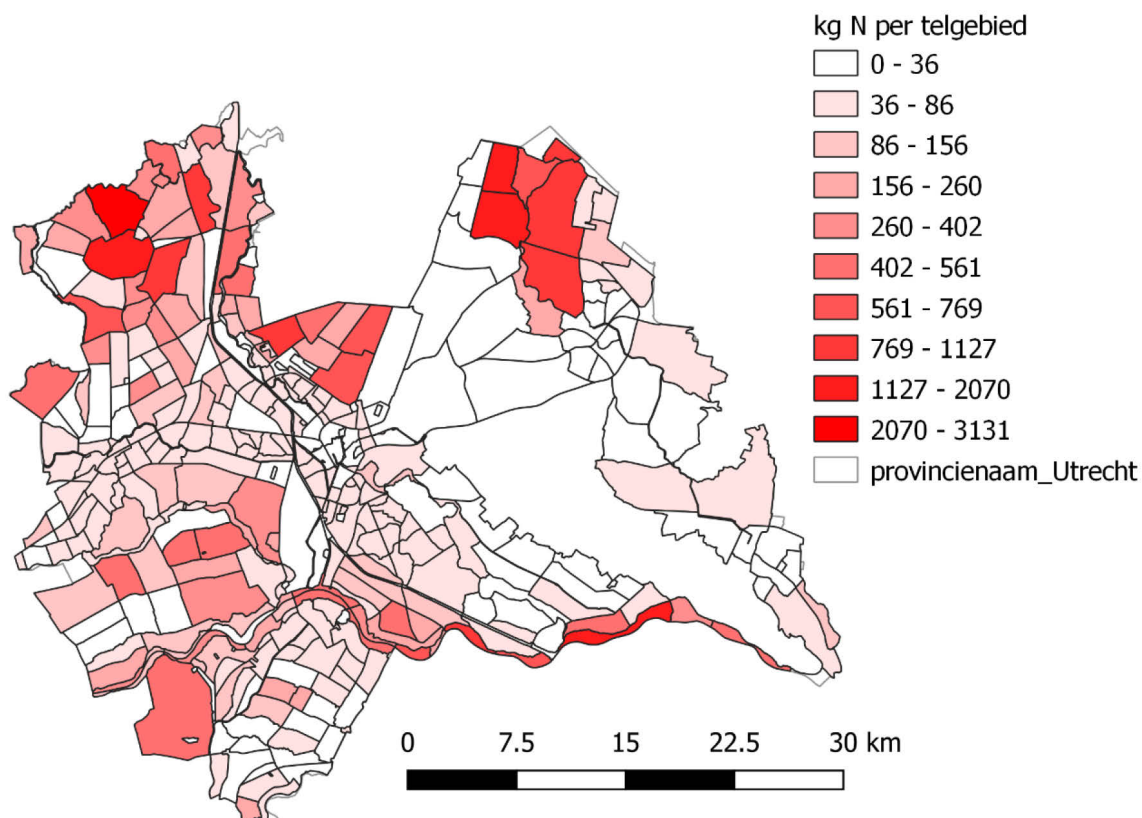
Figuur 1 Geproduceerde hoeveelheid stikstof (ton) per maand, per soort, dat als allochtone input buiten de foerageergebieden terecht kan komen.

De hoeveelheid geproduceerde stikstof in Utrecht is het grootst voor Grauwe gans (Figuur 2). Kolganzen produceert een hoeveelheid stikstof die 40% lager uitvalt dan Grauwe gans. Daarnaast produceren Canadese gans en Nijlgans ook een relatief grote hoeveelheid stikstof in vergelijking met de overige soorten, maar die productie ligt in verhouding lager dan voor Grauwe gans en Kolganzen.



Figuur 2 Geproduceerde hoeveelheid stikstof (ton) per soort per jaar in de provincie Utrecht. De stikstof is geschat op basis van gemiddelde aantallen individuen per soort in de periode 2013-2018. Totale hoeveelheid: 54 ton voor ganzen in alle telgebieden (inclusief die net buiten de provinciegrenzen) en 40 ton voor ganzen in telgebieden binnen de provincie.

De geproduceerde hoeveelheid stikstof (kg) per telgebied per jaar is het hoogst in het noorden, noordoosten en – meer lokaal – in de zuidelijke delen van de provincie Utrecht (Figuur 3).



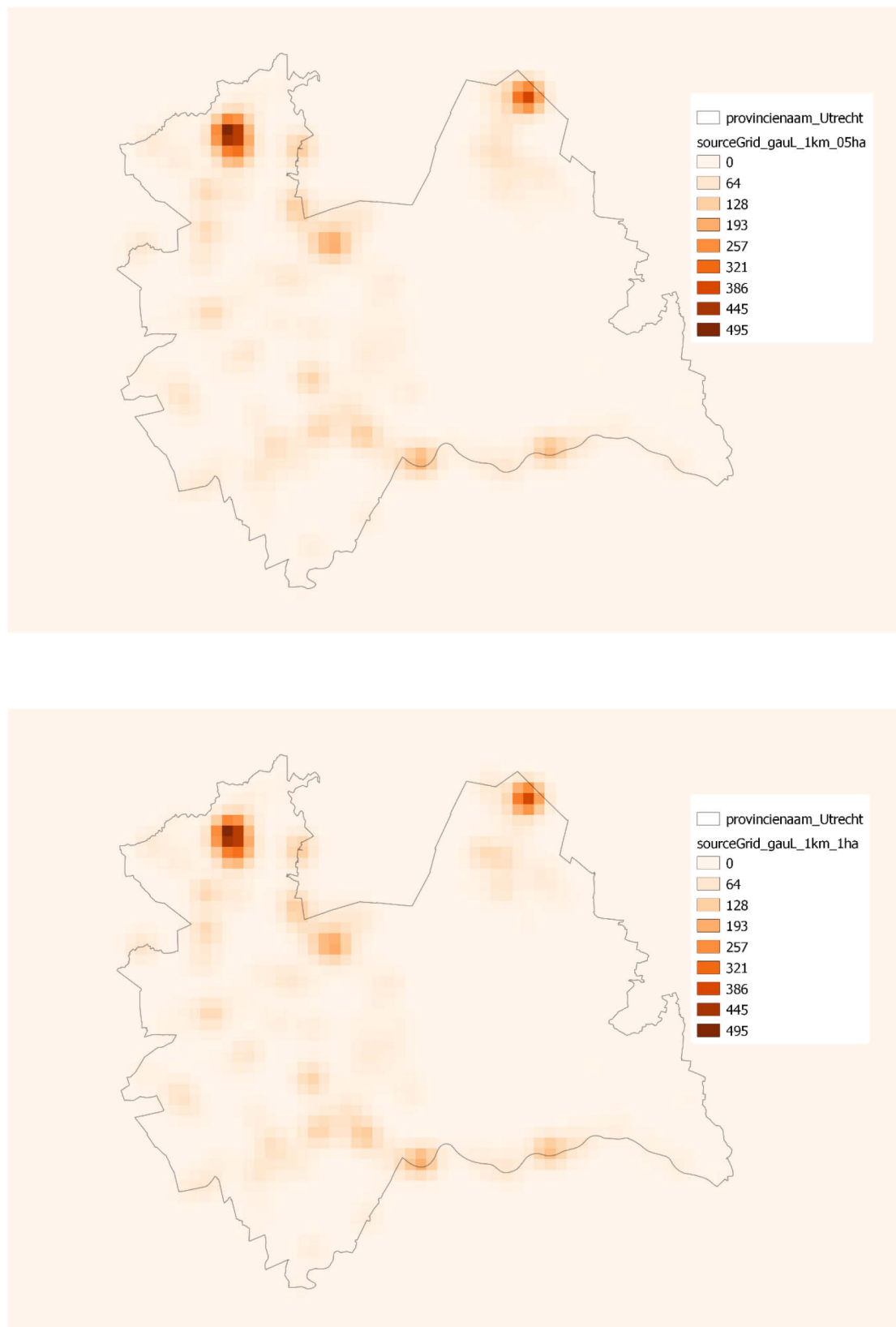
Figuur 3 Geproduceerde hoeveelheid stikstof (kg) per telgebied per jaar, voor alle ganzen in de provincie Utrecht in de periode 2013-2018.

3.2 Stikstofdepositie

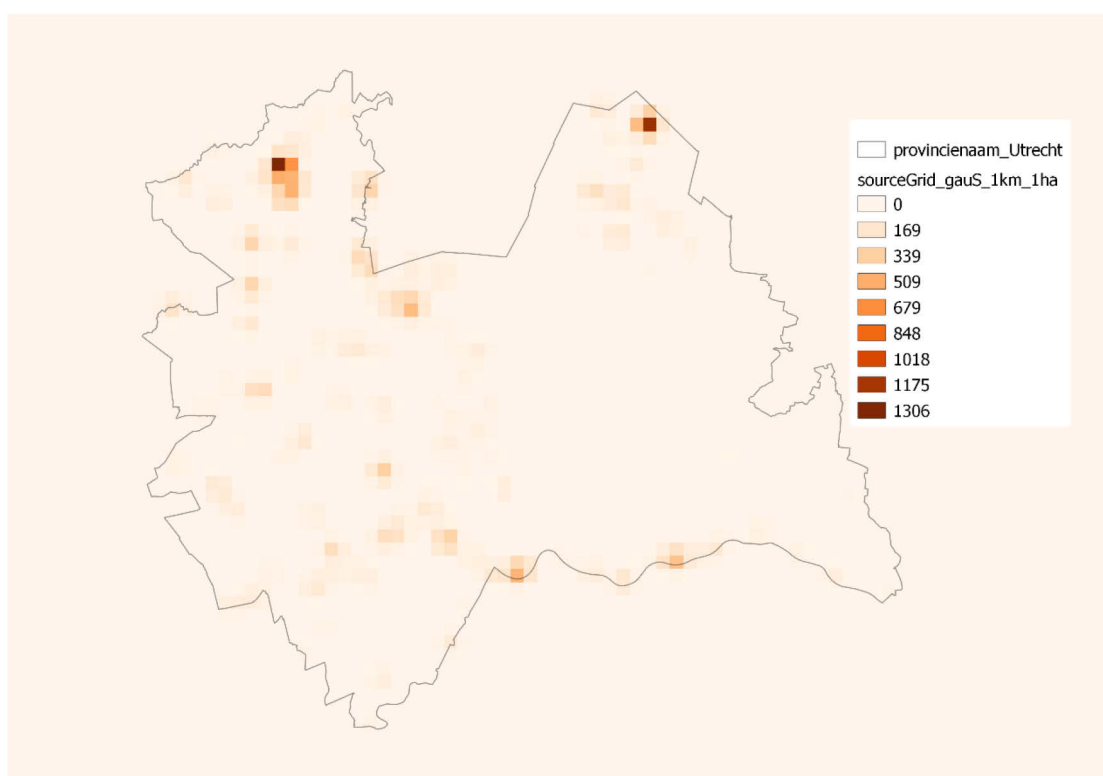
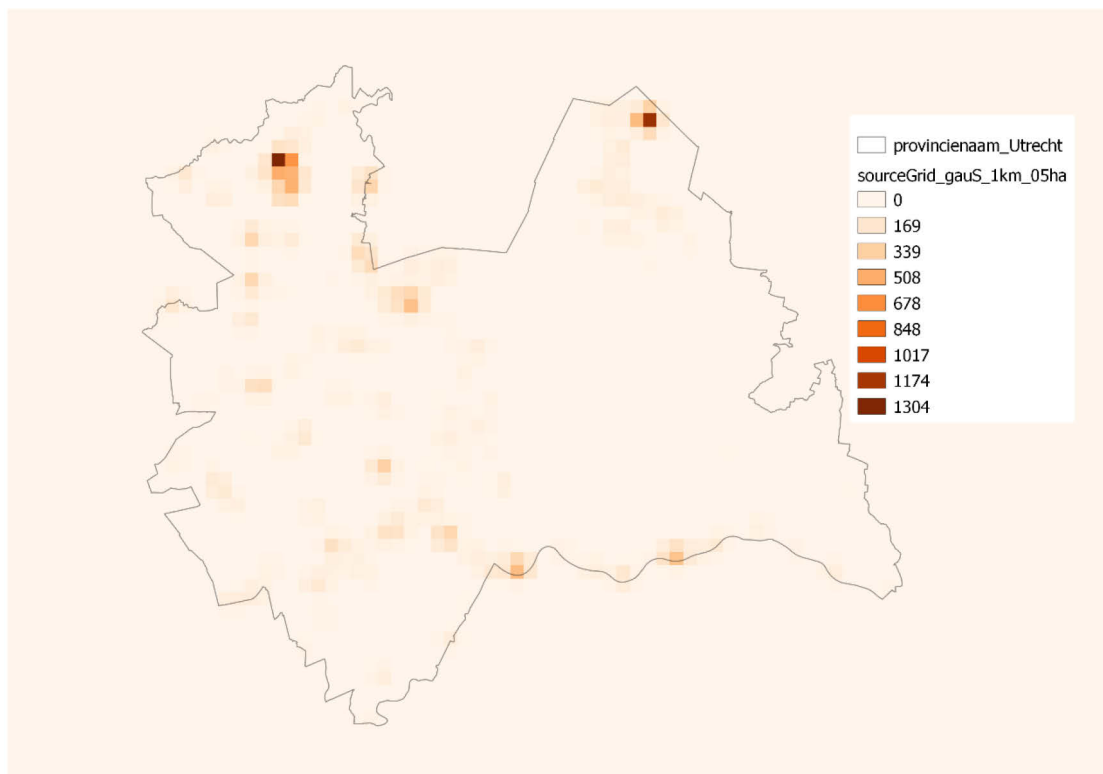
De rasters met depositiewaarden van stikstof via ganzen in mol per ha per jaar, met een resolutie van 1 km (Figuur 4 en 5), geven een ruimtelijk beeld van waar in de provincie de depositie door ganzen het hoogst is: met name in de noordelijke delen. Dit geldt vooral voor de Vinkeveense plassen en Eempolders. De nauwe en wijde kernel-scenario's laten verschillende beelden zien, waarbij de nauwe kernel, zoals verwacht, de depositie meer concentreert rond de slaappleatsen, waardoor deze lokaal een hoge waarde kan bereiken.

Over het algemeen zijn de verschillen tussen de modelscenario's met minimumwaarden in openwateroppervlakte (0,5 en 1 ha) erg klein. Hoewel het aantal mogelijke slaappleatsen bij een kleinere drempelwaarde veel groter is (516 tegenover 369), heeft dit dus vrijwel geen invloed op waar de stikstof uiteindelijk terechtkomt. Het model is hier weinig gevoelig voor, waarschijnlijk vooral doordat de toegevoegde slaappleatsen bij rekenen met 0,5 ha relatief klein zijn (tussen de 0,5 en 1 ha) en in het verdelingsmodel minder zwaar meetellen.

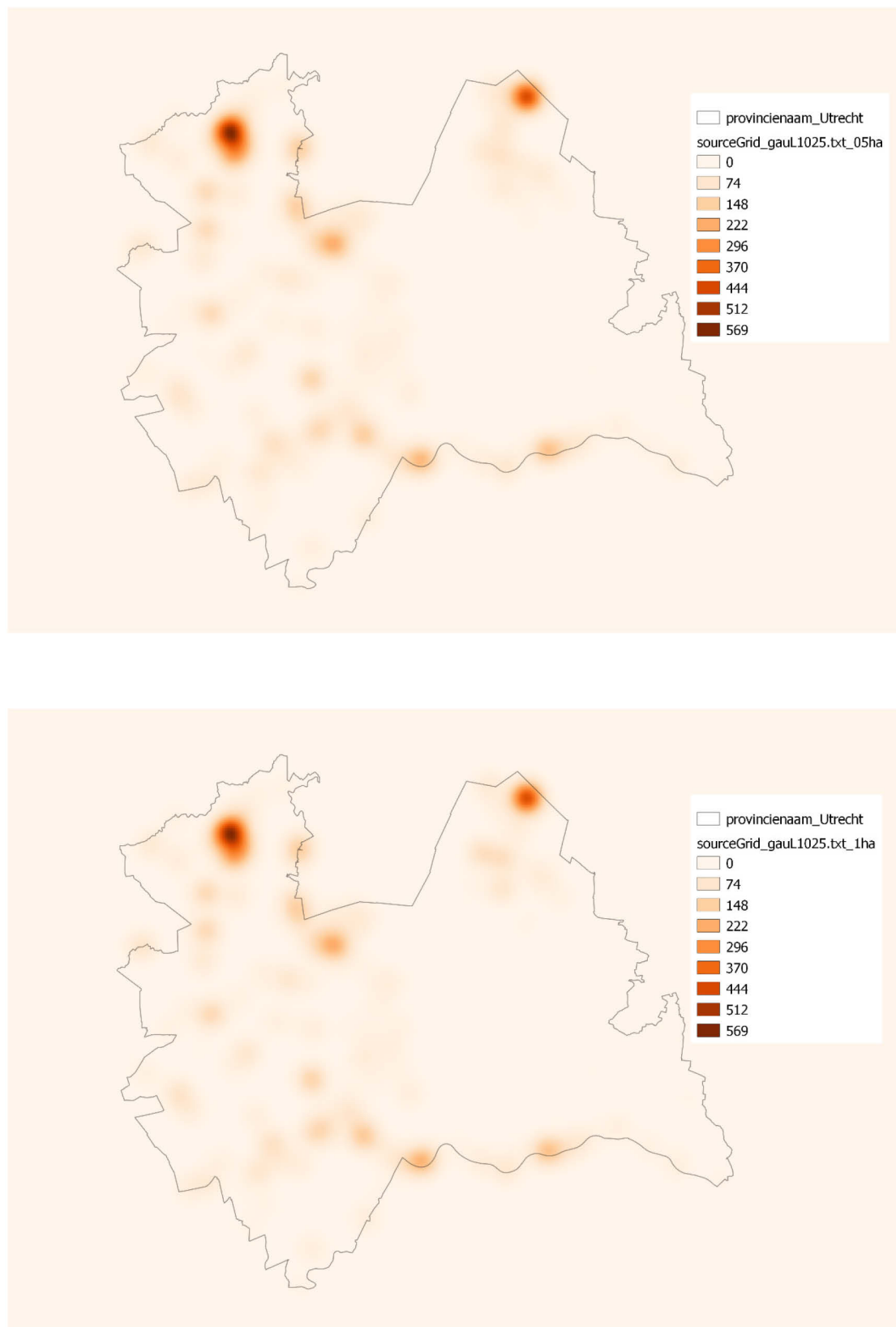
De rasters met depositiewaarden met een resolutie van 100 m geven een wat gedetailleerder beeld van de ruimtelijke verspreiding. Door het niet middelen over een 1km-cel kunnen zeer lokaal behoorlijk hogere waarden voorkomen dan in het bijbehorende 1km-resolutieraster. Voor de wijde kernel zijn dit bijna 600 mol/ha/jr tegenover bijna 500 mol/ha/jr; voor de nauwe kernel ongeveer 2000 tegenover ruim 1300 mol/ha/jr. Gegeven de gevolgde methode (de vrij grove schatting van aantallen in de telgebieden, de verdeling over slaappleatsen en de spreiding vanuit de slaappleatsen) lijkt de hogere resolutie echter niet te verantwoorden.



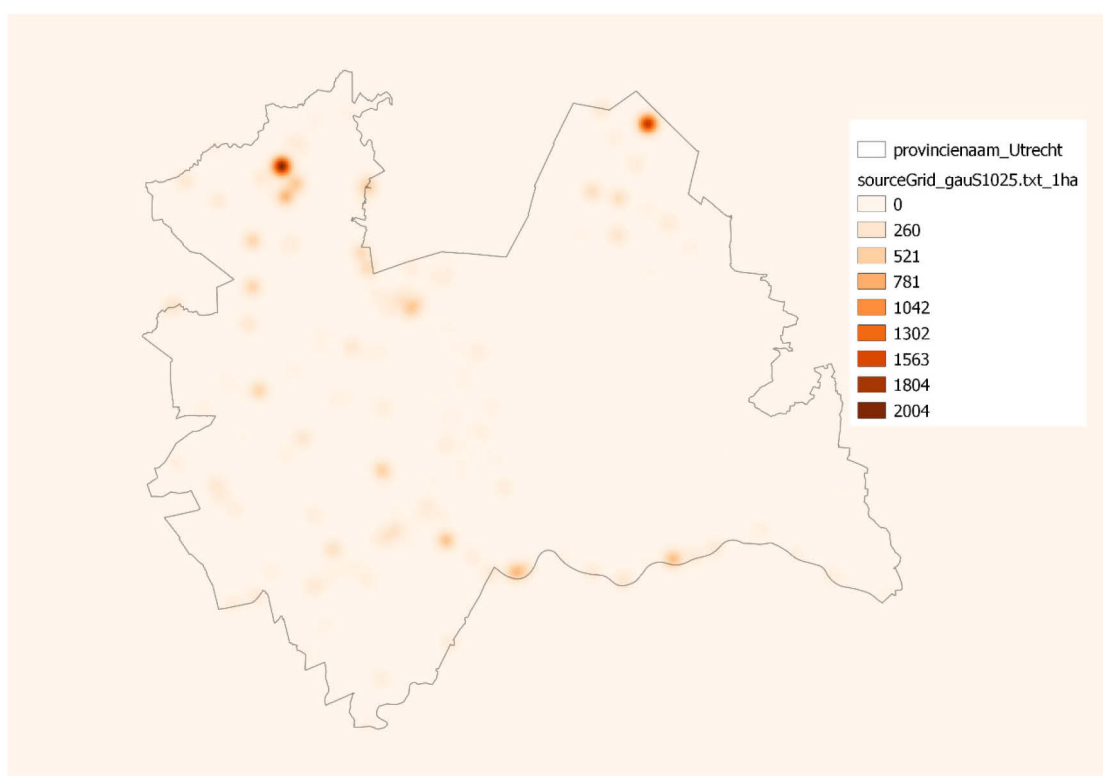
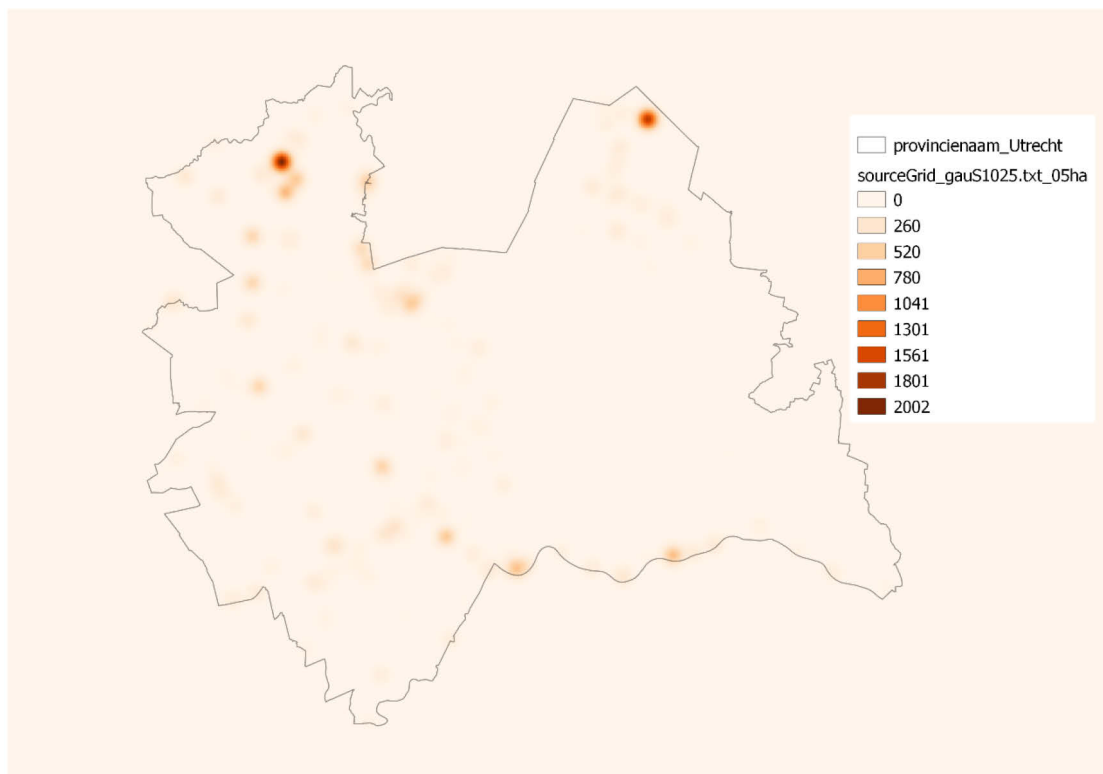
Figuur 4 Stikstofdepositie (mol/ha/jr) op 1km-raster, L-kernel. Boven: minimale openwateroppervlak slaapplek 0,5 ha; onder: minimaal oppervlak 1 ha.



Figuur 5 Stikstofdepositie (mol/ha/jr) op 1km-raster, S-kernel. Boven: minimale openwateroppervlak slaappleaats 0,5 ha; onder: minimaal oppervlak 1 ha.



Figuur 6 Stikstofdepositie (mol/ha/jr) op 100m-raster, L-kernel. Boven: minimale openwateroppervlak slaappleaats 0,5 ha; onder: minimaal oppervlak 1 ha.



Figuur 7 Stikstofdepositie (mol/ha/jr) op 100m-raster, S-kernel. Boven: minimale openwateroppervlak slaappleaats 0,5 ha; onder: minimaal oppervlak 1 ha.

3.3 Depositie en KDW

De berekeningen leveren een lijst op met voor alle stikstofgevoelige gebieden in de provincie Utrecht een vergelijking van de achtergrond stikstofdepositie (RIVM) en de geschatte stikstofdepositie door ganzen, voor de vier modelscenario's en de twee rasterresoluties.

Figuur 8 geeft een indruk van de hoogte van de depositiewaarden door ganzen en de door het RIVM geschatte depositie in deze gebieden. De RIVM-waarden zitten vooral in de range 1000- 2000 mol/ha/jr. De depositie door ganzen is aanzienlijk lager, grofweg 0-200 (wijde kernel) en 1-250 (nauwe kernel) mol/ha/jr.

Figuur 9 geeft per gebied met gevoelige habitattypen de depositie weer, volgens het RIVM en de ganzendepositie voor de twee kernels.

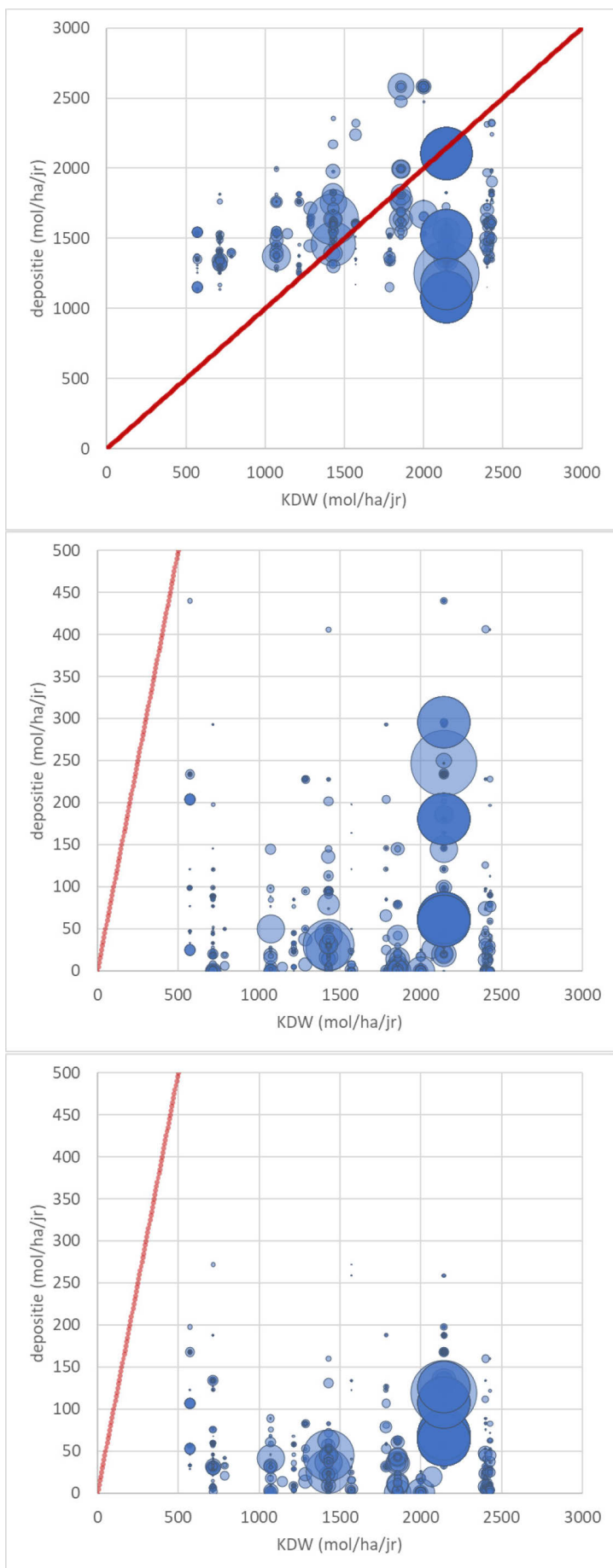
Figuur 10 relateert de oppervlakte-gewogen gemiddelde depositie voor de verschillende habitattypen in de provincie Utrecht aan de KDW voor deze habitattypen. De RIVM-waarden zijn voor de meeste habitattypen rond of boven de KDW. De ganzendepositie is veel kleiner dan de KDW.

Figuur 11 geeft per gebied met gevoelige habitattypen de ratio van depositie/KDW weer, volgens het RIVM en de ganzendepositie voor de twee kernels.

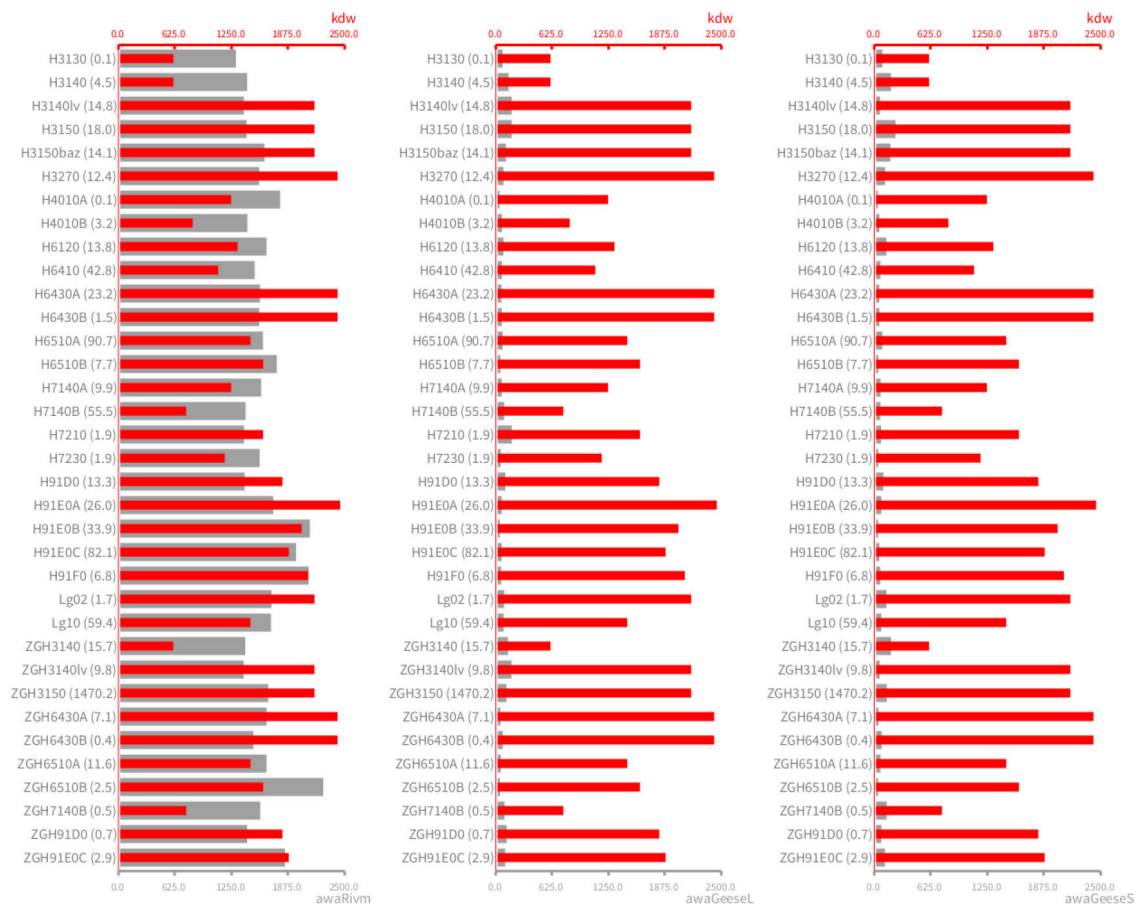
Figuur 12 geeft een andere weergave van de oppervlakte-gewogen gemiddelde depositie tegen de bijbehorende KDW. Duidelijk is dat voor een aantal habitattypen met een substantieel oppervlakte in Utrecht, de depositie volgens RIVM aanzienlijk groter is dan de KDW. De ganzendepositie is voor alle habitattypen veel kleiner dan de KDW. Oppervlakte-gewogen gemiddelde over alle habitattypen tezamen is voor de RIVM-waarden 87%, voor de ganzendepositie 3,6-4,3%, afhankelijk van de gekozen kernel (Tabel 1).

Tabel 1 De gemiddelde ratio van depositiewaarde en KDW, bepaald door het oppervlakte-gewogen gemiddelde te nemen over de uitkomsten per habitatype (Figuur 9 en 10).

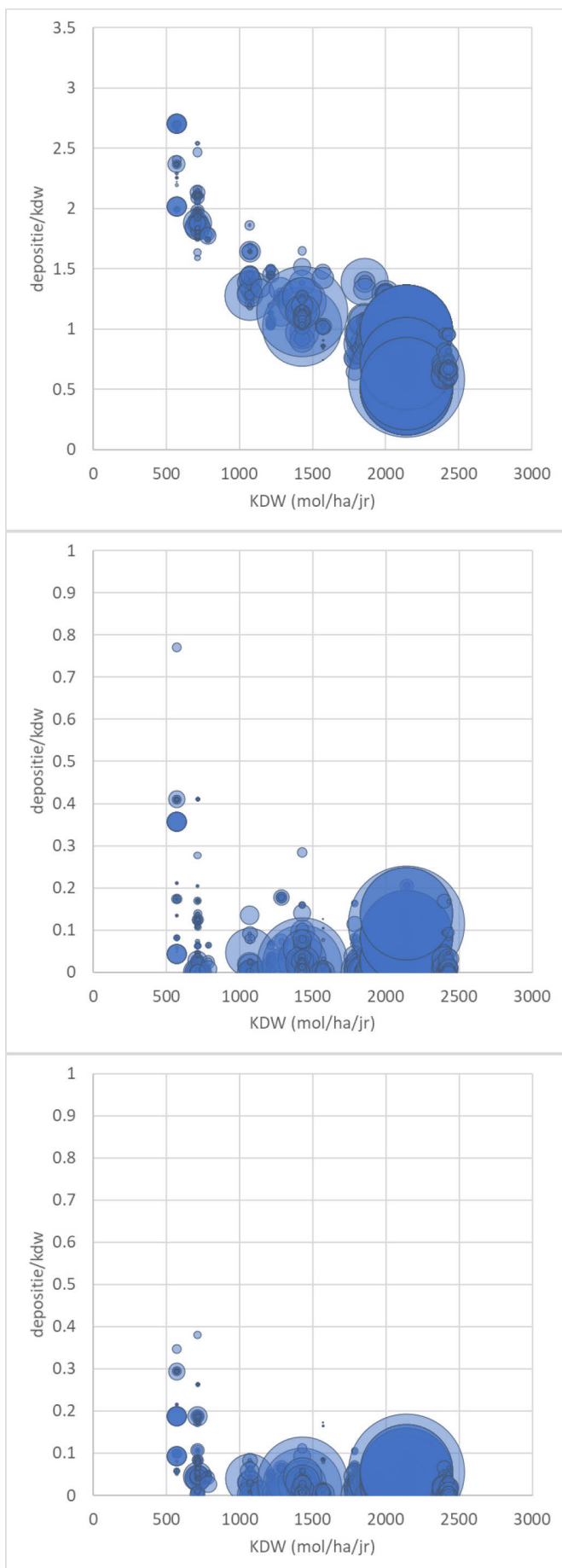
RIVM	Nauwe kernel	Wijde kernel
87%	4,3%	3,6%



Figuur 9 Plots met stikstofdepositie voor alle gebieden met gevoelige habitattypes in de provincie Utrecht, uitgezet tegen de bijbehorende KDW. Stippellijn (rood) geeft de lijn $\text{depositie} = \text{KDW}$ weer. Grootte van de punten is evenredig met oppervlakte van het gebied. Boven: de achtergronddepositie volgens RIVM; midden: ganzendepositie met nauwe kernel; onder: ganzendepositie met wijde kernel.



Figuur 10 Staafdiagrammen met per habitattypen de oppervlakte-gewogen gemiddelde depositie in de provincie Utrecht. In rood (bovenste x-as) de KDW voor het betreffende type, in grijs (onderste x-as) de RIVM-achtergronddepositie of de voor ganzen berekende depositiewaarden. Linkerkolom: stikstofdepositie volgens RIVM; middenkolom: berekende ganzendepositie volgens wijde kernel; rechterkolom: berekende ganzendepositie volgens nauwe kernel. Berekening voor ganzendepositie gebaseerd op 1km-resolutierasters en scenario minimale oppervlak open water voor slaappleaats van 1 ha.



Figuur 11 Plots met *depositie/KDW* voor alle gebieden met gevoelige habitattypes in de provincie Utrecht, uitgezet tegen de bijbehorende KDW. Grootte van de punten is evenredig met oppervlakte van het gebied. Boven: de achtergronddepositie volgens RIVM; midden: ganzendepositie met nauwe kernel; onder: ganzendepositie met wijde kernel.

4 Discussie

In de provincie Utrecht is sprake van een relatief kleine bijdrage van ganzen aan de totale stikstofdepositie. In vergelijking met de geschatte gemiddelde depositie in kwetsbare gebieden zitten ganzen met hun depositie gemiddeld ten minste een factor 20 lager, en de ganzendepositie is over het algemeen vele malen lager (factor 25) dan de kritische drempelwaarden voor stikstof in stikstofgevoelige gebieden (Figuur 10). Dit resultaat correspondeert met eerder onderzoek naar stikstofdepositie door ganzen in Nederland. Op basis van gemodelleerde stikstofuitscheiding door watervogels was de voorspelde jaarlijkse stikstofinput in Nederlandse zoetwatergebieden tussen de 243,5 ton en 527,7 ton in 2001/2004 (Hahn et al., 2008). Gerelateerd aan het oppervlak aan Nederlands zoetwater, levert dit een stikstofbijdrage op van 0,74 kg N per ha per jaar. Ganzen leverden daarvan de hoogste stikstofinput, met een gemiddelde maandelijkse bijdrage van 72%, terwijl eenden en zwanen resp. 16% en 11% van de gemodelleerde stikstofinput voor hun rekening namen. Dit is een relatief beperkte toevoeging van stikstof vergeleken met de nutriënten in Nederlands oppervlaktewater dat afkomstig is van de landbouw; de input van landbouwfvoer en puntemissies in Nederlandse wateren wordt geschat tussen 5 en 5,000 kg N per ha per jaar (Van Puijenbroek et al., 2004). Ook in meren met grote broed- en overwinteringspopulaties was de door vogels veroorzaakte nutriënteninvoer van ondergeschikt belang (<3% stikstof) vergeleken met stikstofinput uit het stroomgebied (Marion et al., 1994). Vergeleken met dergelijke door mensen veroorzaakte nutriëntenemissies lijkt de geschatte gemiddelde nutriëntentoevoer door ganzen dus van verwaarloosbare invloed op de landschapsschaal (Hahn et al., 2008).

Ganzen produceren stikstof niet evenredig in tijd en ruimte. De hoogste concentraties ganzen en stikstofproductie bevinden zich in het noorden, noordoosten en in de zuidelijke delen van de provincie Utrecht. De allochtone stikstofproductie in Utrecht piekt in de wintermaanden, wanneer de grootste aantallen ganzen aanwezig zijn in de provincie; Grauwe ganzen produceren de meeste stikstof van alle soorten ganzen in de provincie, en Kolganzen leveren in de winter een belangrijke bijdrage. Andere soorten zijn relatief onbelangrijk in hun bijdrage van stikstof.

Hoewel de relatieve bijdrage van stikstofdepositie aan de totale depositie nauwelijks van belang is, kan de depositie van stikstof door ganzen op een beperkt aantal locaties wel belangrijk zijn (Figuur 11) en 40-80% (afhankelijk van de gebruikte kernel) van de KDW bedragen. Lokaal kunnen grote concentraties ganzen in kleine zoetwatergebieden zo wel degelijk leiden tot een relatief hoge stikstofinput. Dit wordt vooral belangrijk wanneer input door andere stikstofbronnen beperkt is (Manny et al., 1994; Kitchell et al., 1999). De weinige empirische onderzoeken die de werkelijke input hebben gemeten, hebben geresulteerd in zeer variabele schattingen, variërend van respectievelijk <1% van de jaarlijkse stikstofbelasting (Marion et al., 1994), oplopend tot 40% van stikstofinput tijdens de winter op plekken waar veel ganzen samenkomen en het volume water klein is (Post et al., 1998; Portielje & Van der Molen, 1998). Een hoge mate van bemesting door ganzen kan een risico betekenen voor de instandhouding van natuurwaarden van voedselarme wateren, vooral in vennen en op de oevers, zoals al vastgesteld in Nederland (Brouwer en Van den Broek, 2010). De vermestende effecten van ganzen op oevers blijven dan vooral lokaal, maar zeker ook op korte termijn sterk. Toename van het aantal ganzen leidt tot een uitbreiding van het areaal oever dat wordt aangetast. Vennen en duinplassen bezitten bovendien vaak een rijke microflora (sier- en kiezelwieren) en een rijke macrofauna. De microflora reageert sterk op de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de waterlaag en is dus zeer gevoelig voor vermesting van de waterlaag door ganzen (Brouwer en Van den Broek, 2010).

5 Conclusie

Ganzen in de provincie Utrecht dragen een relatief zeer klein percentage stikstof bij aan de totale allochtone stikstofinput in stikstofgevoelige natuurgebieden. Hoewel deze bijdrage gemiddeld nauwelijks van belang is, is niet uitgesloten dat de bijdrage lokaal belangrijk kan zijn. In dat geval kan sprake zijn van een belangrijke toename van de lokale stikstofafgifte in de betreffende gebieden, met negatieve gevolgen voor de natuurwaarden van voedselarme wateren. Het is waarschijnlijk dat de groei van de populatie van bijvoorbeeld Grauwe gans in toenemende mate bijdraagt aan de allochtone stikstof die van nature stikstofarme gebieden binnendringt.

6 Dankwoord

Wij danken Julia Stahl, Hans Schekkerman en Erik van Winden van SOVON Vogelonderzoek Nederland voor het ter beschikking stellen van de teldata en het meedenken met de analyse.

Literatuur

- Brouwer, E. and van den Broek, T., 2010. Ganzen brengen landbouw naar het ven. *De Levende Natuur*, 111(1), pp.60-62.
- Bruinderink, G.G., 1989. The impact of wild geese visiting improved grasslands in the Netherlands. *Journal of Applied Ecology*, pp.131-146.
- Cargill, S.M. and Jefferies, R.L., 1984. The effects of grazing by lesser snow geese on the vegetation of a sub-arctic salt marsh. *Journal of Applied Ecology*, pp.669-686.
- Fox, A.D. and Abraham, K.F., 2017. Why geese benefit from the transition from natural vegetation to agriculture. *Ambio*, 46(2), pp.188-197.
- Fox, A.D. and Madsen, J., 2017. Threatened species to super-abundance: The unexpected international implications of successful goose conservation. *Ambio*, 46(2), pp.179-187.
- Hahn, S., Bauer, S. and Klaassen, M., 2008. Quantification of allochthonous nutrient input into freshwater bodies by herbivorous waterbirds. *Freshwater Biology*, 53(1), pp.181-193.
- Kitchell, J.F., Schindler, D.E., Herwig, B.R., Post, D.M., Olson, M.H. and Oldham, M., 1999. Nutrient cycling at the landscape scale: the role of diel foraging migrations by geese at the Bosque del Apache National Wildlife Refuge, New Mexico. *Limnology and Oceanography*, 44(3part2), pp.828-836.
- Manny, B.A., Johnson, W.C. and Wetzel, R.G., 1994. Nutrient additions by waterfowl to lakes and reservoirs: predicting their effects on productivity and water quality. In *Aquatic Birds in the Trophic Web of Lakes* (pp. 121-132). Springer, Dordrecht.
- Marion, L., Clergeau, P., Brient, L. and Bertru, G., 1994. The importance of avian-contributed nitrogen (N) and phosphorus (P) to Lake Grand-Lieu, France. In *Aquatic Birds in the Trophic Web of Lakes* (pp. 133-147). Springer, Dordrecht.
- Portielje, R. and Van der Molen, D.T., 1999. Relationships between eutrophication variables: from nutrient loading to transparency. In *Shallow Lakes' 98* (pp. 375-387). Springer, Dordrecht.
- Post, D.M., Taylor, J.P., Kitchell, J.F., Olson, M.H., Schindler, D.E. and Herwig, B.R., 1998. The role of migratory waterfowl as nutrient vectors in a managed wetland. *Conservation Biology*, 12(4), pp.910-920.
- Rutschke, E. and Schiele, G., 1978. The influence of geese (Gen. Anser) migrating and wintering in the GDR on agricultural and limnological ecosystems. *Verh. orn. Ges. Bayern*, 23, pp.177-190.
- Schweigert, P. and Ploeg, R.V.D., 2002. N-Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion in der Bundesrepublik Deutschland nach 1950: Fakten und Bewertung. *Berichte über Landwirtschaft*, 80(2), pp.185-212.
- Van den Wyngaert, I.J.J., 2001. Grazing of extensive reed beds by moulting Greylag geese: effects on nutrient dynamics and growth of the *Phragmites australis* vegetation and consequences for the lake ecosystem.
- Van Eerden, M.R., ZIJLSTRA, M., Van Roomen, M. and Timmerman, A., 1996. The response of Anatidae to changes in agricultural practice: long-term shifts in the carrying capacity of wintering waterfowl. *Gibier Faune Sauvage*, 13(2), pp.681-707.
- Van Puijenbroek, P.J.T.M., Janse, J.H. and Knoop, J.M., 2004. Integrated modelling for nutrient loading and ecology of lakes in The Netherlands. *Ecological Modelling*, 174(1-2), pp.127-141.

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3052
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 3052
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.

