

Modellering luchtkwaliteit en depositie voor Stad Hoogstraten en Wuustwezel

Lefebvre Wouter, Gruyters Willem

Studie uitgevoerd in opdracht van: Stad Hoogstraten en Gemeente Wuustwezel
2020/RMA/R/2234

Mei 2020



VITO NV

Boeretang 200 - 2400 MOL - BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 - Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be - www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 375-1117354-90 ING
BE34 3751 1173 5490 - BBRUBEBB

Alle rechten, waaronder het auteursrecht, op de informatie vermeld in dit document berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. De informatie zoals verstrekt in dit document is vertrouwelijke informatie van VITO. Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO mag dit document niet worden gereproduceerd of verspreid worden noch geheel of gedeeltelijk gebruikt worden voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin aangewend worden

VERSPREIDINGSLIJST

Stad Hoogstraten
Gemeente Wuustwezel
VMM
RIVM
VITO

SAMENVATTING

Deze studie onderzocht de luchtkwaliteit in Hoogstraten en Wuustwezel. We kunnen volgende besluiten trekken:

- Voor wat betreft de concentraties aan stikstofdioxide (NO_2) is er geen groot probleem in de gemeenten. De concentraties liggen voor een groot deel onder de Luchtplan-drempel van $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en de Europese norm wordt slechts sporadisch, in enkele street canyons, overschreden. Wegverkeer blijkt de belangrijkste lokale bron, maar de invoer vanuit de rest van de wereld is heel belangrijk.
- Voor wat betreft fijn stof is er ook geen groot probleem. De concentraties liggen onder de Europese limieten, behalve mogelijks in de omgeving van belangrijke bronnen van houtstook. De WGO-streefwaarde wordt wel overal overschreden. De belangrijkste oorzaak van het fijn stof in de betrokken gemeenten is invoer van buiten uit. De belangrijkste lokale bron is houtverbranding bij de verschillende huishoudens.
- De deposities van reactief stikstof zijn heel hoog binnen de betrokken gemeenten en overschrijden quasi overal de draagkracht van de natuur. Dit is zowel gelinkt aan lokale emissies (stallen, mestverwerking, wegverkeer) als aan emissies buiten de gemeenten.
- Er is een aanzienlijke negatieve bijdrage door geurhinder in grote delen van de betrokken gemeenten. Dit is gelinkt aan de emissies in de landbouw (stallen).

Deze studie bevat ook maatregelen die genomen kunnen worden op lokaal vlak om deze knelpunten aan te pakken. Deze problematiek kan echter alleen aangepakt worden door gecoördineerd beleid op verschillende schalen samen (lokaal, provinciaal, gewestelijk, nationaal, Europees).

INHOUD

Verspreidingslijst	I
Samenvatting	II
Inhoud	III
Lijst van tabellen	V
Lijst van figuren	VI
HOOFDSTUK 1. Inleiding	1
HOOFDSTUK 2. Luchtkwaliteit	1
2.1. Inleiding	1
2.2. Enkele begrippen	2
2.3. De belangrijkste vervuilende stoffen	3
2.3.1. Stikstofoxides (NO _x), in het bijzonder stikstofdioxide (NO ₂)	4
2.3.2. Zwaveldioxide (SO ₂)	6
2.3.3. Ammoniak (NH ₃)	7
2.3.4. Vluchtige Organische Stoffen	8
2.3.5. Fijn stof	9
2.3.6. Elementary Carbon (EC)	14
2.3.7. Ozon	16
2.3.8. Richtwaardes, grenswaardes en streefwaardes	18
HOOFDSTUK 3. Methodologie	21
3.1. ATMO-Street	21
3.1.1. RIO- en VLOPS-modellen voor bepaling regionale achtergrondconcentraties	21
3.1.2. IFDM- en OSPM-modellen voor dispersie van polluenten	22
3.2. Het modeldomein Hoogstraten-Wuustwezel	23
3.3. Emissieanalyse	24
3.4. Geur	26
3.5. Modelparameters	27
3.6. Modelvalidatie	27
HOOFDSTUK 4. Resultaten	29
HOOFDSTUK 5. Brontoewijzing	37
5.1. Algemeen	37
5.2. Brontoewijzing PM _{2.5}	37
5.3. Brontoewijzing NO ₂	49
5.4. Brontoewijzing stikstofdepositie	65
5.4.1. Lokale bijdrage	65

5.4.2.	Totale bijdrage _____	77
5.4.3.	Vergelijking met draagkracht natuur _____	84
5.5.	<i>Beschrijving gebruik IFDM-scenario analyzer</i>	88
HOOFDSTUK 6.	Besluiten en Gebruik van deze studie voor lokaal beleid _____	95
Literatuurlijst	_____	100

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht van de grens- en streefwaardes betreffende luchtkwaliteit. Bron: VMM (2013).	18
Tabel 2 : Emissieanalyse voor het domein en voor Vlaanderen. Cijfers hoger dan 1% zijn in vet aangeduid.	25
Tabel 3 : Uitsnede uit Tabel 1 voor de relevante polluenten binnen deze studie.	29
Tabel 4: De maximale relatieve bijdrage van iedere sector (in %) tot de totale NO ₂ - en PM _{2.5} -concentraties binnen het studiegebied. De cijfers in het vetgedrukt tonen aan dat de desbetreffende sector een minimale bijdrage heeft tot de totale pollutant-concentratie.	37
Tabel 5 : Emissies per diercategorie voor ammoniak en geur, voor Hoogstraten (boven), Wuustwezel (midden) en samengeteld over de gemeenten Wuustwezel en Hoogstraten (onderaan). Voor konijnen en paarden zijn geen geuremissies bekend vanwege het ontbreken van emissiefactoren (zie §3.4).	96

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1 : Figuur 2 uit Nawrot et al. (2011). Van een aantal oorzaken van hartinfarcten worden twee effecten vergeleken. Op de X-as staat in hoeverre in aanraking komen met een oorzaak een verandering geeft in de kans op een hartaanval. Op de Y-as staat hoeveel % van de hartinfarcten verklaard kan worden door de verschillende oorzaken. Luchtvervuiling (air pollution) zijn de twee meest linkse bolletjes.	2
Figuur 2 : Aandeel van de sectoren in de totale uitstoot van NO _x binnen Vlaanderen voor het jaar 2016 (%). Bron figuur: VMM (2018)	5
Figuur 3 : Jaargemiddelde NO ₂ -concentraties in België (2017) in µg/m ³ . Bron figuur: geo5.irceline.be	6
Figuur 4: Aandeel van de sectoren in de totale uitstoot van SO ₂ binnen Vlaanderen voor het jaar 2016. Bron figuur: VMM (2018)	7
Figuur 5: Aandeel van de sectoren in de totale uitstoot van NH ₃ binnen Vlaanderen voor het jaar 2016. Bron figuur: VMM (2018)	8
Figuur 6 : De uitstoot van NMVOS (Vluchtige organische stoffen, methaan niet meegerekend) binnen Vlaanderen voor het jaar 2017. Bron figuur: VMM (2019)	9
Figuur 7 : De vergelijking tussen de grootte van fijn stof, een mensenhaar en fijn zand. Let op: het deel van de figuur dat PM _{2.5} aanduidt (in de grote cirkel) is een vergrote versie van de kleine cirkel op het mensenhaar. Bron: US EPA, www.epa.gov	10
Figuur 8 : De rechtstreekse uitstoot van fijn stof (PM ₁₀) in Vlaanderen in 2016. Bron data: VMM, 2018.	11
Figuur 9 : Bijdrages van de verschillende bronnen aan het fijn stof in Vlaanderen (bevolkingsgewogen gemiddelde, in µg/m ³). De sectoren beginnende met VI_ zijn emissies uit Vlaanderen (respectievelijk handel & diensten, transport, landbouw, energie, industrie en huishoudens). De 'Set van Landen' bestaat uit volgende landen en regio's: Wallonië, Brussel, Nederland, Luxemburg, Duitsland, Frankrijk, Groot Brittannië, Denemarken, Noorwegen, Zweden, Polen, Litouwen, Letland, Wit-Rusland, Tsjechië, Oostenrijk en Zwitserland. Rest bestaat uit natuurlijke bronnen en bronnen buiten de voorafgenaaemde set van landen.	12
Figuur 10 : Jaargemiddelde PM ₁₀ -concentraties in België (2017) in µg/m ³ . Bron: geo5.irceline.be	14
Figuur 11 : De rechtstreekse uitstoot van elementair koolstof (EC) in Vlaanderen in 2016. Bron data: VMM, 2018.	15
Figuur 12 : Jaargemiddelde EC-concentraties (2009) in µg/m ³ . Bron: atmosys.eu	15
Figuur 13 : Emissies van het troposferisch ozonvormend potentieel in Vlaanderen in 2017. Bron figuur: VMM, 2019.	17
Figuur 14 : Jaargemiddelde O ₃ -concentraties (2012) in µg/m ³ . Bron: atmosys.eu	17
Figuur 15 : Overzicht combinatie achtergrondkaarten RIO, dispersie van polluenten in het studiegebied aan de hand van IFDM en street canyon-bijdrages aan de hand van OSPM.	23
Figuur 16 : Het domein van de studie. In blauw: de opdrachtgevende gemeenten. De grote rechthoek is het onderzochte domein. Als we van de Rest van het domein spreken, dan gaat het normaal (behalve als er iets anders vermeld is) over de Vlaamse gemeenten binnen dit domein.	24
Figuur 17 : Jaargemiddelde concentratie NO ₂ (in µg/m ³) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.	32
Figuur 18 : Jaargemiddelde concentratie ozon (in µg/m ³) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.	32
Figuur 19 : Jaargemiddelde concentratie PM _{2.5} (in µg/m ³) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.	33
Figuur 20 : Jaargemiddelde depositie van reactieve stikstof (in kgN/ha/jaar) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.	34

Figuur 21 : Jaargemiddelde concentratie geur (in OU_E/m^3) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel. _____	35
Figuur 22 : P98-percentie van de geurconcentratie (in OU_E/m^3) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel. _____	36
Figuur 23: De som van de relatieve bijdrages door alle lokale bronnen samen tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	39
Figuur 24: De som van de relatieve bijdrages door alle niet-lokale bronnen samen tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	40
Figuur 25: De som van de relatieve bijdrages door alle bronnen in de gemeente Hoogstraten samen tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	41
Figuur 26: De som van de relatieve bijdrages door alle bronnen in de gemeente Wuustwezel samen tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	42
Figuur 27: De som van de relatieve bijdrages door de omliggende gemeenten van Hoogstraten en Wuustwezel samen tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	43
Figuur 28: De relatieve bijdrage door de sector 'huishoudens' tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	44
Figuur 29: De relatieve bijdrage door de sector 'wegverkeer' tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	45
Figuur 30: De relatieve bijdrage door de sector 'stallen' tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	46
Figuur 31: De relatieve bijdrage door de sector 'weidedieren' tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. Er is enkel een kleine bijdrage (lichtblauwe kleur $\sim 1\%$) in het zuid-westen van Wuustwezel zichtbaar op deze figuur. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	47
Figuur 32: De relatieve bijdrage door de sector 'glastuinbouw' tot de totale $\text{PM}_{2.5}$ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	48
Figuur 33: De som van de relatieve bijdrages door alle lokale bronnen samen tot de totale NO_2 concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	51
Figuur 34: De som van de relatieve bijdrages door alle niet-lokale bronnen samen tot de totale NO_2 concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	52
Figuur 35: De som van de relatieve bijdrages door alle bronnen in de gemeente Hoogstraten samen tot de totale NO_2 concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	53
Figuur 36: De som van de relatieve bijdrages door alle bronnen in de gemeente Wuustwezel samen tot de totale NO_2 concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	54
Figuur 37: De som van de relatieve bijdrages door de omliggende gemeenten van Hoogstraten en Wuustwezel samen tot de totale NO_2 concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	55
Figuur 38: De relatieve bijdrage door de sector 'huishoudens' tot de totale NO_2 concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars. _____	56

Figuur 39: De relatieve bijdrage door de sector 'wegverkeer' tot de totale NO ₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.	57
Figuur 40: De relatieve bijdrage door de sector 'luchtvaart' tot de totale NO ₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.	58
Figuur 41: De relatieve bijdrage door de sector 'industrie en energie' tot de totale NO ₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.	59
Figuur 42: De relatieve bijdrage door de sector 'handel en diensten' tot de totale NO ₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.	60
Figuur 43: De relatieve bijdrage door de sector 'glastuinbouw' tot de totale NO ₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.	61
Figuur 44: De relatieve bijdrage door de sector 'kunstmest' tot de totale NO ₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.	62
Figuur 45: De relatieve bijdrage door de sector 'andere landbouw' tot de totale NO ₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.	63
Figuur 46: De relatieve bijdrage door de sector 'weidedieren' tot de totale NO ₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.	64
Figuur 47 : De bijdrage van bronnen binnen de gemeente Hoogstraten aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	66
Figuur 48 : De bijdrage van bronnen binnen de gemeente Wuustwezel aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	67
Figuur 49 : De bijdrage van bronnen binnen de rest van het domein aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	68
Figuur 50 : De bijdrage van de Nederlandse stallen binnen het domein aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	69
Figuur 51 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector wegverkeer aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	70
Figuur 52 : De bijdrage van de lokale bronnen van de stallen aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	71
Figuur 53 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector mestverwerking aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	72
Figuur 54 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector kunstmest aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	73
Figuur 55 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector weidedieren aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	74
Figuur 56 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector huishoudens aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	75
Figuur 57 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector glastuinbouw aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	76
Figuur 58 : De bijdrage van de Vlaamse huishoudens aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	77
Figuur 59 : De bijdrage van de Vlaamse industrie en energie-sector aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	78
Figuur 60 : De bijdrage van de Vlaamse landbouwsector aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	79
Figuur 61 : De bijdrage van de Vlaamse transportsector aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	80
Figuur 62 : De bijdrage van de niet-Vlaamse bronnen aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	81
Figuur 63 : De bijdrage van de bronnen buiten het modeldomein aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	82

Figuur 64 : De bijdrage van de bronnen binnen het modeldomein aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).	83
Figuur 65 : Kritische depositiewaarde (KDW, in kgN/ha/jaar) van de natuur in de betrokken gemeenten.	85
Figuur 66 : Overschrijding van de kritische depositiewaarde (in kgN/ha/jaar) van de natuur in de betrokken gemeenten.	86
Figuur 67 : Kritische depositiewaarde (KDW, in kgN/ha/jaar) van de natuur in de betrokken gemeenten voor alleen de actuele habitats.	87
Figuur 68 : Het beginscherm van de ATMOSYS-IFDM Scenario tool.	88
Figuur 69 : De situatie na het kiezen van de pollutent.	89
Figuur 70 : De situatie na het aanzetten van de achtergrondkaart en de het deels transparant maken van de datakaart.	90
Figuur 71 : De situatie na het halveren van het wegverkeer in Hoogstraten.	91
Figuur 72 : De situatie na openen brontoewijzing.	92
Figuur 73 : De situatie na het aanklikken van een bepaald punt.	93
Figuur 74 : De situatie na het switchen naar de regio-brontoewijzing.	94

HOOFDSTUK 1. INLEIDING

De gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel zijn bij uitstek landbouwgemeenten. Vanuit een algemene bezorgdheid omtrent de leefbaarheid van het platteland, de draagkracht van de omgeving en de gebruiksmogelijkheden voor alle actoren, wenst het college een gedragen visie te ontwikkelen betreffende de gewenste evolutie en de hieraan gekoppelde vergunningsverlening. Om een objectief en onderbouwd oordeel te kunnen vellen over die verdere ontwikkelingen is het aangewezen een algemene studie op te laten maken aangaande de immissie/depositie van ammoniak, geur en fijn stof. Het college besloot dan ook om een algemene studie op te laten maken aangaande de emissie van ammoniak, geur en fijn stof vanuit de intensieve landbouwbedrijven en de impact hiervan op het milieu. Het is echter belangrijk om ook andere bronnen buiten de landbouwsector mee in rekening te brengen. Daarom werd besloten om de studie uit te breiden tot alle belangrijke bronnen van luchtvervuiling binnen de stad Hoogstraten en de gemeente Wuustwezel. Deze studie bespreekt de resultaten hiervan en geeft richting naar de betrokken gemeenten om de problematiek aan te pakken.

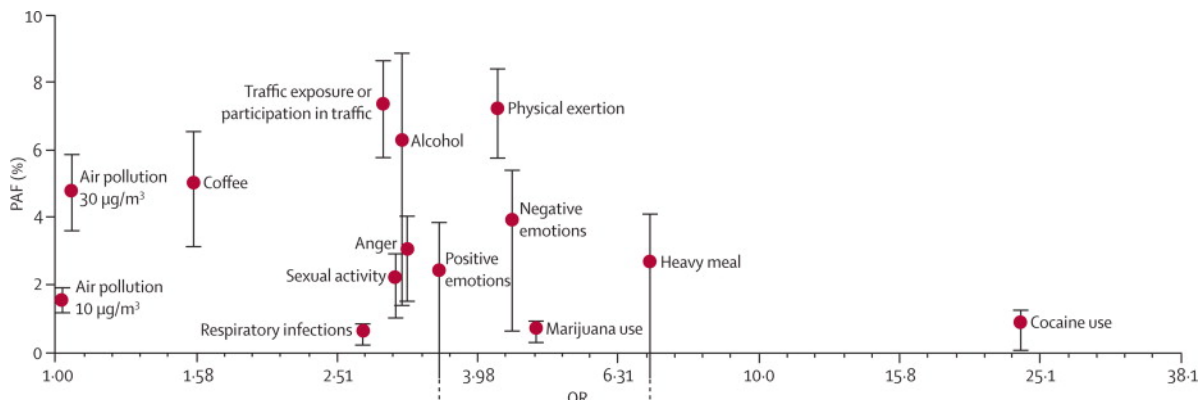
HOOFDSTUK 2. LUCHTKWALITEIT

2.1. INLEIDING

Dit hoofdstuk is voornamelijk gebaseerd op en gedeeltelijk overgenomen uit het rapport Lefebvre et al. (2014) maar werd voor deze studie geüpdatet met de meest recente informatie.

Vooraleer er van start gegaan wordt, worden reeds enkele belangrijke punten meegegeven over de algemene toestand van de luchtkwaliteit in Vlaanderen:

- 1) De luchtkwaliteit in Vlaanderen verbetert jaar op jaar, en dit voor het overgrote deel van de pollutanten (VMM, 2018). Dit heeft te maken met de vele maatregelen die reeds genomen werden in het verleden (bv. in de industrie). Deze geleidelijke daling kan echter slechts volgehouden worden indien verdere maatregelen ingevoerd worden. Ook is, gezien de schadelijke effecten van luchtvervuiling, het huidige tempo waarin de verbetering plaatsvindt ontoereikend.
- 2) Eén van de doodsoorzaken waarmee we het meest geconfronteerd worden zijn verkeersongevallen. Ieder weekend (en ook op vele weekdays) wordt in het nieuwsbericht melding gemaakt van verkeersslachtoffers. Dit gebeurt echter niet (of amper) voor slachtoffers van luchtvervuiling. Dit heeft onder andere te maken met de moeilijkheid om bij een individueel slachtoffer de link te leggen tussen luchtvervuiling en de rechtstreekse doodsoorzaak (zoals hartinfarcten, longkanker, ...). Op een grotere schaal kan dit wel op een correcte manier door gebruik te maken van statistiek. Daarom kan het interessant zijn om het aantal verkeersdoden en het aantal doden door luchtvervuiling eens te vergelijken (Lefebvre, 2018). Het aantal doden door luchtvervuiling wordt, voor België, 10 maal hoger ingeschat dan het aantal doden door verkeersongevallen. Aangezien de slachtoffers van deze tweede categorie over het algemeen veel jonger zijn dan bij luchtvervuiling is het verschil in aantal verloren levensjaren kleiner, maar ook dan blijft luchtvervuiling belangrijker qua bijdrage dan verkeersslachtoffers, met een factor 2. Kijken we naar het aantal verloren gezonde levensjaren dan is het verschil ongeveer 10%.
- 3) Een van de belangrijke redenen waarom luchtvervuiling zo gevaarlijk is, is omdat iedereen er mee in aanraking komt. Zoals gezien kan worden in Figuur 1 stijgt de kans op een hartinfarct slechts heel beperkt door luchtvervuiling. Daarentegen stijgt de kans op een hartinfarct veel meer door bv. cocaïnegebruik. Toch is het gedeelte van de hartinfarcten dat toewijsbaar is aan luchtvervuiling groter dan dat aan cocaïnegebruik, omdat slechts weinigen (en niet continu) in aanraking komen met cocaïne en iedereen met luchtvervuiling (en permanent). De grafiek is slechts voor één doodsoorzaak (en niet ieder hartinfarct is dodelijk) maar hij geeft een algemeen beeld over hoe het overal voorkomen van luchtvervuiling kan leiden tot zo veel doden.



Figuur 1 : Figuur 2 uit Nawrot et al. (2011). Van een aantal oorzaken van hartinfarcten worden twee effecten vergeleken. Op de X-as staat in hoeverre in aanraking komen met een oorzaak een verandering geeft in de kans op een hartaanval. Op de Y-as staat hoeveel % van de hartinfarcten verklaard kan worden door de verschillende oorzaken. Luchtvervuiling (air pollution) zijn de twee meest linkse bolletjes.

2.2. ENKELE BEGRIPPEN

Vooraleer de luchtkwaliteit in de gemeenten Wuustwezel en Hoogstraten besproken worden, is het belangrijk om enkele begrippen te definiëren.

- **Polluenten:** Polluenten zijn vervuilende stoffen in de atmosfeer. Voorbeelden zijn: fijn stof, ozon, stikstofoxides, dioxines,
- **Emissies:** Emissies worden gedefinieerd als uitstoot van vervuilende stoffen door een bron (bijvoorbeeld een schoorsteen). De bronnen (en de bijhorende uitstoot) zijn gerelateerd aan verschillende sectoren, zoals bijvoorbeeld het verkeer, de industrie, de huishoudens, enz. Emissies worden uitgedrukt in een massa per tijdseenheid zoals gram per seconde (g/s) of ton/jaar.
- **Concentraties (ook immissies genoemd):** Concentraties zijn de hoeveelheden aan vervuiling die op leefniveau (1,5 meter boven de grond) in de lucht aanwezig zijn. Ze worden uitgedrukt in een massa per kubieke meter lucht, zoals bijvoorbeeld microgram per kubieke meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- **Emissies versus immissies:** Emissies uit een bron verspreiden zich (transmissie) en resulteren uiteindelijk in bepaalde concentraties aan verontreinigende stoffen op leefhoogte (immissie). De manier waarop emissies zich verder in de atmosfeer verspreiden hangt onder andere af van de hoogte van de bron, de windrichting, de turbulentie, de temperatuur en de aard van de verontreiniging. De geëmitteerde stoffen worden in de omgeving verdund, verspreid en getransporteerd en kunnen chemische reacties ondergaan.
- **Depositie:** Depositie is de manier waarop vervuilende stoffen uit de lucht verwijderd worden. Dit gebeurt via verschillende processen. Sommige maken gebruik van vallende neerslag die de lucht 'wast' (natte depositie); andere depositie gebeurt door de interactie tussen de vervuiling en de grond (droge depositie).
- **Smog:** Smog is een tijdelijke verhoogde luchtverontreiniging, mede onder invloed van weersomstandigheden. Er zijn twee soorten smog: zomersmog en wintersmog. Beide zijn schadelijk voor de volksgezondheid en voor ecosystemen. Veranderende weersomstandigheden, zoals regen of het opsteken van wind, maken over het algemeen een einde aan smogepisoden.
 - **Zomersmog:** Zomersmog, ook wel ozonsmog of fotochemische smog genoemd, treedt op wanneer er op warme en zonnige dagen te veel ozon in de lucht hangt.

Ozon ontstaat door de inwerking van zonlicht op een aantal vervuilende stoffen afkomstig van het verkeer en van de industrie.

- **Wintersmog:** Wintersmog bevat weinig ozon (de zon schijnt daarvoor niet hard genoeg in de winter) maar ontstaat als stoffen afkomstig van verkeer, huishoudens en industrie (fijn stof, roet en zwaveloxiden) blijven hangen. Dit is vaak het gevolg van weersomstandigheden. Zo ontstaat bij langdurige vorst en stabiel weer een scheiding tussen koude lucht boven het aardoppervlak en warme lucht op enkele honderden meters hoogte (inversie). De koude lucht, die zwaarder is, blijft hangen onder de warmere lucht erboven, de vervuilende stoffen geraken niet weg en wintersmog ontstaat.
- **Verzuring:** Door het wegverkeer, grote fabrieken en door mest uit onder meer varkens- en kippenstallen komen grote hoeveelheden 'verzurende' stoffen (stikstofoxides, zwaveldioxides, ammoniak) in de lucht en de bodem. Het gevolg van deze uitstoot is verzuring, ook wel zure regen genoemd.
- **Vermesting:** Vermesting is de aanrijking van bodem, water en lucht met voedingsstoffen (stikstof, fosfor, kalium) waardoor ecologische processen en natuurlijke kringlopen verstoord worden. Het gebruik van meststoffen, afvalwaterlozingen, verbrandingsprocessen, het houden van landbouwdieren en het storten van huishoudelijk afval en waterzuiveringsslib leiden tot vermestende emissies. In Vlaanderen, en ook in dit rapport, focussen we op vermesting door het neerslaan van te grote hoeveelheden reactief stikstof.
- **Aantal vroegtijdige overlijdens:** het aantal doden dat gelinkt kan worden aan een bepaalde oorzaak. Hierbij wordt geen rekening gehouden met het feit of de persoon in kwestie zonder die oorzaak slechts 1 dag of nog 20 jaar geleefd zou hebben.
- **Years of Life Lost (YLL):** het aantal verloren levensjaren dat gelinkt kan worden aan een bepaalde oorzaak. Hierbij wordt rekening gehouden met de gemiddeld (statistisch) te verwachten extra levensduur die de overledene zou gehad hebben in afwezigheid van de oorzaak.
- **Disability-Adjusted Life Years Lost (DALY):** het aantal verloren gezonde levensjaren dat gelinkt kan worden aan een bepaalde oorzaak. Hierbij wordt zowel rekening gehouden met de gemiddeld (statistisch) te verwachten extra levensduur die de overledene zou gehad hebben in afwezigheid van de oorzaak. Ook de verminderde levenskwaliteit door een ziekte ontstaan door de oorzaak wordt in rekening gebracht.

2.3. DE BELANGRIJKSTE VERVUILENDE STOFFEN

In deze sectie worden kort de belangrijkste vervuilende stoffen besproken. In deze studie worden enkel fijn stof (PM_{2.5}) en stikstofdioxide (NO₂) opgenomen en worden hieronder uitvoerig beschreven. De keuze voor deze twee stoffen werd als volgt bepaald:

- Fijn stof omwille van de gerelateerde gezondheidseffecten.
- Stikstofoxides, en meer specifiek stikstofdioxide, werden gekozen als parameters die sterk verkeersgebonden zijn.

Naast deze twee stoffen zal ook de depositie van reactief stikstof besproken worden. Die zijn gelieerd aan de emissies van ammoniak en stikstofoxides. Finaal wordt er ook naar geur gekeken, maar dat is een categorie apart, aangezien geur niet aan één of enkele vervuilende stoffen toegekend kan worden.

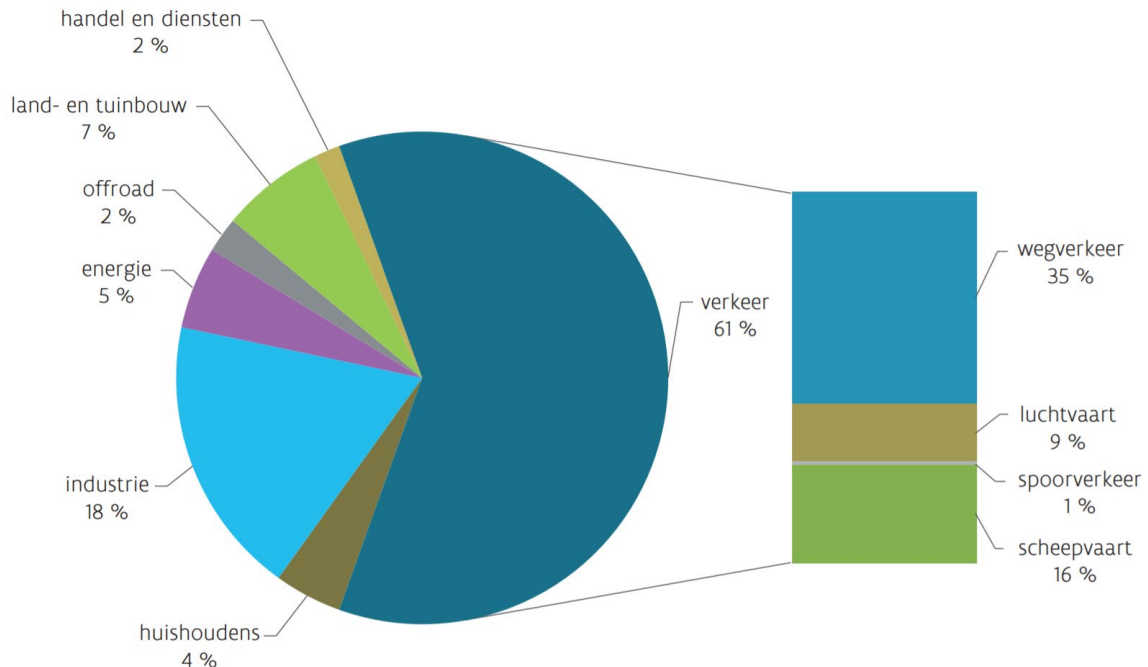
Niet alle stoffen kunnen natuurlijk beschreven worden in een rapport; daarom is er de keuze gemaakt om bepaalde stoffen waarvan a priori geen belangrijke invloed verwacht wordt niet te bespreken, zoals zware metalen. De onderstaande beschrijving van deze stoffen omvat: definitie, ontstaan en samenstelling; de belangrijkste bronnen van deze stoffen; de impact ervan op de volksgezondheid; de Europese regelgeving en de huidige situatie in België.

2.3.1. STIKSTOFOXIDES (NO_x), IN HET BIJZONDER STIKSTOFDIOXIDE (NO_2)

Definitie, ontstaan, samenstelling. Stikstofoxides (NO_x) ontstaan bij hoge temperaturen in een verbrandingsmotor door de reactie van de twee meest voorkomende componenten in de atmosfeer: stikstof (N_2) en zuurstof (O_2). In normale omstandigheden reageren deze stoffen niet met elkaar, maar bij hoge temperaturen reageren zij tot stikstofoxides en in het bijzonder tot stikstofmono-oxide (NO). Deze stof is kleur-, geur- en smaakloos en vormt geen gevaar voor de volksgezondheid (VMM, 2018). NO reageert echter in de atmosfeer, onder de invloed van ozon (O_3 , zie verder) en andere vervuilende stoffen tot stikstofdioxide (NO_2). Deze stof is een bruin-rood gas met een irriterende geur. In sommige verbrandingsmotoren (in het bijzonder moderne dieselwagens) wordt ook rechtstreeks NO_2 uitgestoten. NO_x is het totaal van NO en NO_2 .

Belangrijkste bronnen. De belangrijkste bron van uitstoot van stikstofoxides binnen Vlaanderen is het verkeer (Figuur 2), met een aandeel van 61% van de totale NO_x -uitstoot. Daarna volgen de industrie (18%) en de land- en tuinbouw (7%). Doordat het verkeer meer rechtstreeks NO_2 uitstoot dan de andere sectoren speelt het nog een belangrijkere rol dan afgeleid kan worden uit de grafiek in Figuur 2. Bovendien wordt de vervuiling van het verkeer ook vaak dicht bij de bevolking uitgestoten (wegen vlak bij huizen, geen hoge schouwen, laag bij de grond en dus op ademhoogte) waardoor de gezondheidsinvloed nogmaals versterkt wordt. NO_2 wordt dan ook vaak gebruikt als algemene aanduiding voor verkeersgerelateerde vervuiling, inclusief verkeersgerelateerde vervuiling door andere pollutanten.

Impact op volksgezondheid. Stikstofdioxide (NO_2) is irriterend en leidt tot overgevoeligheid van de luchtwegen, in het bijzonder bij mensen met ademhalingsproblemen, bijvoorbeeld astmatici en kleine kinderen. Mogelijke problemen zijn een slechtere longfunctie en symptomatische reacties, acute ademhalingsziekte, beschadiging van het longweefsel (bij hoge blootstelling) en hogere gevoeligheid voor infecties. Nadelige effecten bij de mens treden op bij kortdurende blootstelling aan hoge concentraties of bij chronische blootstelling aan lagere niveaus.

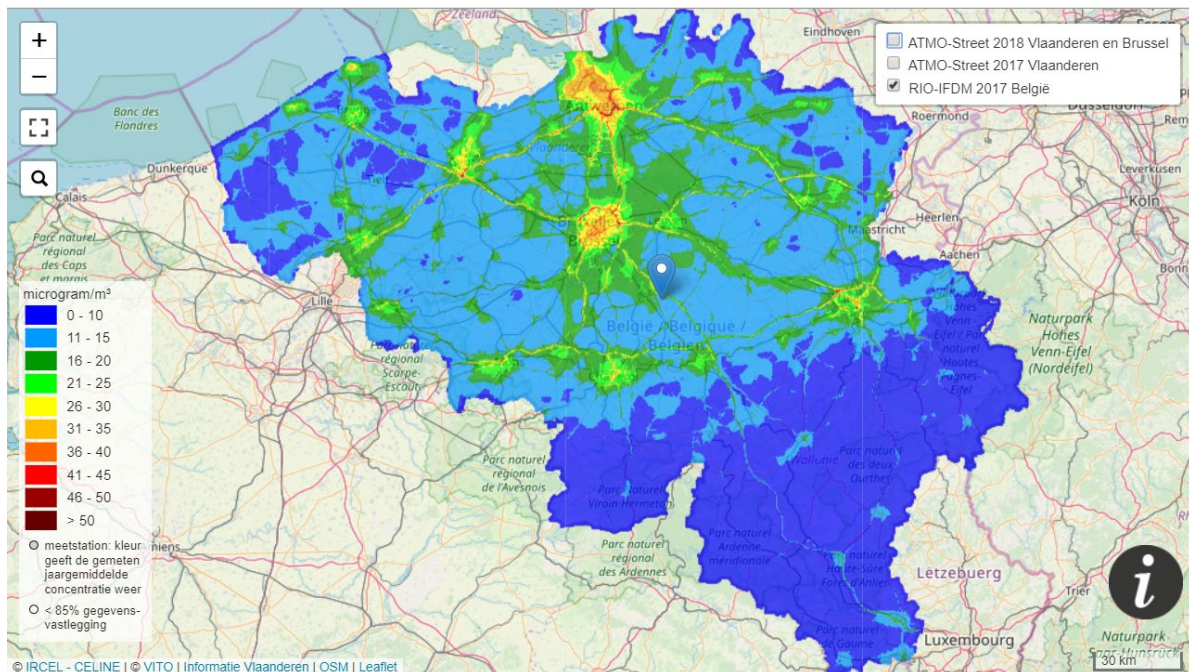


Figuur 2 : Aandeel van de sectoren in de totale uitstoot van NO_x binnen Vlaanderen voor het jaar 2016 (%). Bron figuur: VMM (2018)

Europese regelgeving. De Europese regelgeving stelt dat op iedere locatie de jaargemiddelde concentratie aan stikstofdioxide lager moet zijn dan 40 µg/m³. In Vlaanderen (Luchtplan) is er een langetermijndoelstelling van 20 µg/m³.

Huidige situatie in België. Figuur 3 toont de jaargemiddelde verdeling van de NO₂-concentraties in België (2017). De concentraties zijn het laagst ten zuiden van Samber en Maas. Er zijn ook relatief lage concentraties te vinden in West-Vlaanderen en in de Kempen. De hoogste concentraties worden gemeten in de belangrijkste steden en in de omgeving van de drukste wegen, getuige van het feit dat verkeer de belangrijkste NO₂-bron is in België. Rond enkele belangrijke wegen en in enkele belangrijke steden wordt de Europese norm nog niet gehaald.

Een relatief groot deel van de aanwezige stikstofdioxides wordt op regionale en lokale schaal geproduceerd.



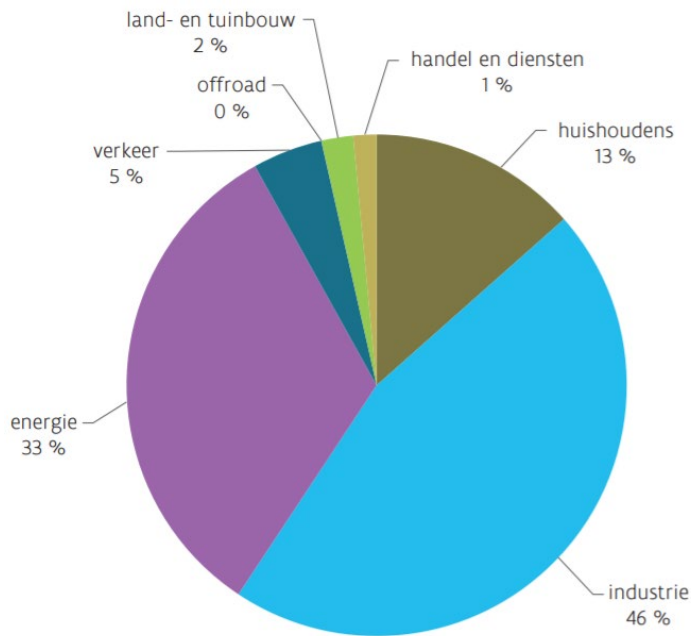
Figuur 3 : Jaargemiddelde NO_2 -concentraties in België (2017) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bron figuur: geo5.irceline.be

2.3.2. ZWAVELDIOXIDE (SO_2)

Definitie, ontstaan, samenstelling. Zwaveldioxide (SO_2) is een verbinding bestaande uit zuurstof en zwavel. Het is een kleurloos, wateroplosbaar en zuur gas. Door chemische processen in de atmosfeer kan dit gas omgevormd worden tot secundair fijn stof.

Belangrijkste bronnen. Het overgrote deel van de uitgestoten zwaveldioxide is afkomstig van de verbranding van klassieke brandstoffen met een hoog zwavelgehalte zoals kolen en aardolie. De sectoren 'industrie' (46%) en 'energie' (33%) waren in 2016 samen verantwoordelijk voor liefst 79% van de SO_2 -uitstoot (zie Figuur 4). De overige 21% komt voort uit verwarming van gebouwen (verwarming van huishoudens met stookolie; 13%), land- en tuinbouw (2%) en het verkeer (vooral luchtvaart; 5%).

Impact op volksgezondheid. Zwaveldioxide is schadelijk voor planten, dieren en mensen. Het werkt vooral op de ademhalingsorganen en veroorzaakt ademhalingsmoeilijkheden bij astmapatiënten en chronische longpatiënten. Bij kinderen zouden ze zelfs een deel van de longfunctie onomkeerbaar aantasten en het sterftecijfer opdrijven. Het is mede oorzaak van zure regen en wintersmog. De normen voor SO_2 worden reeds vele jaren niet meer overschreden in Vlaanderen.



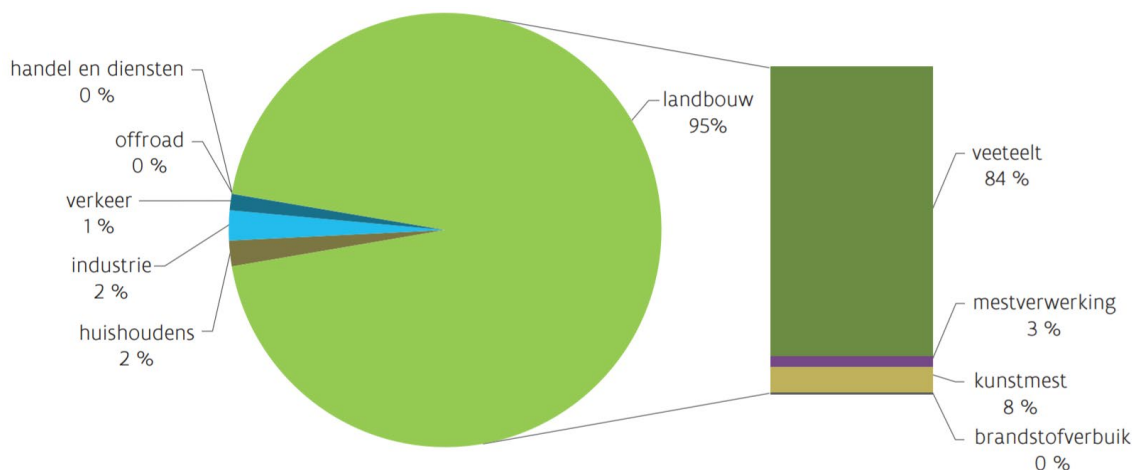
Figuur 4: Aandeel van de sectoren in de totale uitstoot van SO₂ binnen Vlaanderen voor het jaar 2016. Bron figuur: VMM (2018)

2.3.3. AMMONIAK (NH₃)

Definitie, ontstaan, samenstelling. Ammoniak (NH₃) is een verbinding van stikstof en waterstof. Bij kamertemperatuur is het een kleurloos giftig gas met een karakteristieke, sterk prikkelende geur.

Belangrijkste bronnen. Ammoniak komt voor het overgrote deel in de lucht terecht door intensieve veeteelt en de verdeling van dierlijke meststoffen op de akkers (zie Figuur 5). De emissies komen bij de veeteelt vooral van rundvee en varkenstallen. Een groot deel van de ammoniak stijgt dan op als gas en slaat vervolgens neer. Een deel slaat neer in de onmiddellijke omgeving van stallen en akkers, het overige deel wordt via de lucht getransporteerd over grotere afstanden. In deze studie is voornamelijk het deel dat getransporteerd wordt relevant, aangezien dat deel een precursor voor secundair fijn stof vormt (zie sectie 2.3.5).

Impact op volksgezondheid. Een teveel aan ammoniak schaadt het milieu. Ammoniak is basisch, maar wordt door oxidatie in de lucht en in de bodem omgezet tot salpeterzuur. Deze verzuring is schadelijk voor bos- en natuurgebieden. Hoewel stikstof een essentiële voedingsstof is voor planten, leidt een teveel aan ammoniak ook tot vermesting, wat een negatief effect heeft op de biodiversiteit in Vlaanderen. In deze studie is ook de onrechtstreekse impact van ammoniak relevant, met name ammoniak als bron voor fijn stof. Dit wordt in sectie 2.3.5 verder toegelicht.



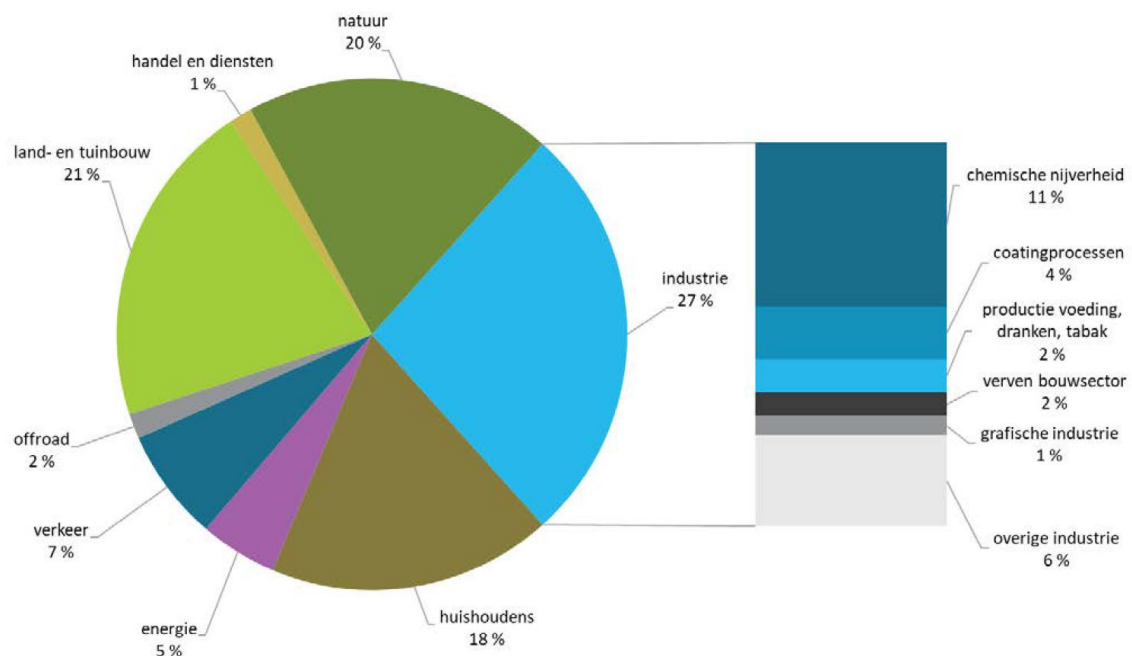
Figuur 5: Aandeel van de sectoren in de totale uitstoot van NH_3 binnen Vlaanderen voor het jaar 2016. Bron figuur: VMM (2018)

2.3.4. VLUCHTIGE ORGANISCHE STOFFEN

Definitie, ontstaan, samenstelling. Vluchtige Organische Stoffen of VOS is een verzamelnaam voor gassen die koolstof, zuurstof, zwavel, halogenen en waterstof bevatten en in de omgevingslucht voorkomen.

Belangrijkste bronnen. Oorspronkelijk kwamen VOS alleen voort uit levende wezens. Vandaar de naam organische stoffen. Vandaag maakt de organische chemie ze ook kunstmatig. Petroleum, aardgas en steenkool zijn hiervoor de belangrijkste grondstoffen. In Vlaanderen ontstaan VOS voornamelijk uit verdamping. Daarnaast zijn tankstations en verkeer de belangrijkste bronnen. Overige bronnen zijn oplosmiddelen, raffinaderijen, chemische productie, verbranding en afvalverwerking.

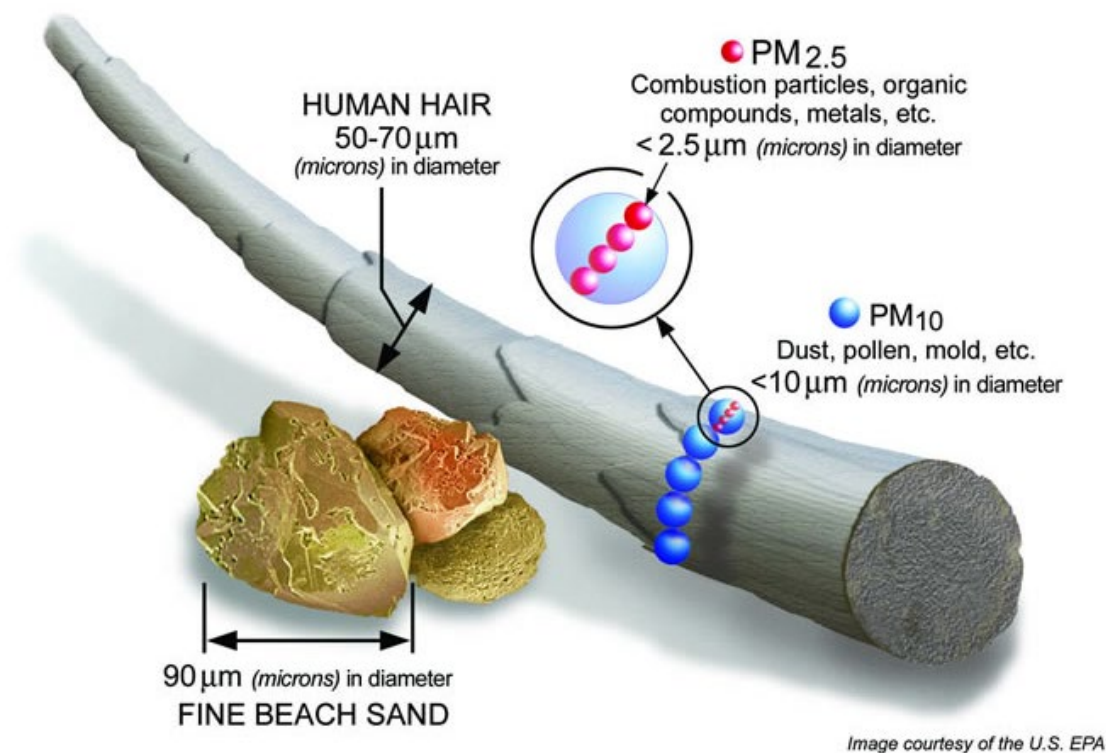
Impact op volksgezondheid. Sommige Vluchtige Organische Stoffen (VOS) verwekken kanker of tasten het leefmilieu aan. Andere bedreigen dan weer de ozonlaag.



Figuur 6 : De uitstoot van NMVOS (Vluchtige organische stoffen, methaan niet meegerekend) binnen Vlaanderen voor het jaar 2017. Bron figuur: VMM (2019)

2.3.5. FIJN STOF

Definitie, ontstaan, samenstelling. Fijn stof bestaat uit alle deeltjes (vloeibaar of vast) die rondzweven in de atmosfeer en een diameter hebben kleiner dan een bepaalde waarde. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen drie grootte-classes van deeltjes. PM_{10} is de ruimste klasse van fijn stof en bevat alle deeltjes kleiner dan $10\ \mu m$; $PM_{2.5}$ bevat alle deeltjes kleiner dan $2.5\ \mu m$. Aangezien deze dus ook kleiner zijn dan $10\ \mu m$, horen alle $PM_{2.5}$ -deeltjes ook tot het PM_{10} . Tenslotte wordt ook UFP (Ultra Fine Particles) gedefinieerd. Hierin zitten alleen de deeltjes met een diameter kleiner dan $0.1\ \mu m$. Ter vergelijking: mensenhaar heeft een diameter van gemiddeld 50 tot $70\ \mu m$, fijn zand zit rond de $90\ \mu m$ (Figuur 7). Het totaal fijn stof wordt aangeduid met TSP (Total Suspended Particles).



Figuur 7 : De vergelijking tussen de grootte van fijn stof, een mensenhaar en fijn zand. Let op: het deel van de figuur dat PM_{2.5} aanduidt (in de grote cirkel) is een vergrote versie van de kleine cirkel op het mensenhaar. Bron: US EPA, www.epa.gov

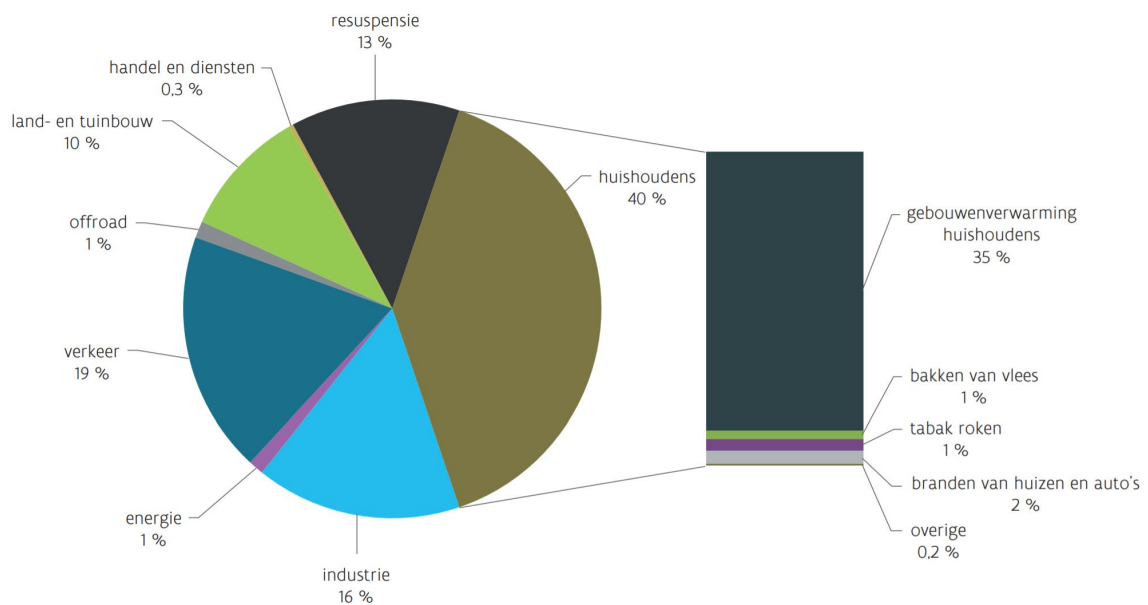
Het is bij fijn stof heel belangrijk om onderscheid te maken tussen primair en secundair fijn stof. Primair fijn stof is rechtstreeks uitgestoten fijn stof, dwz. fijn stof dat als fijn stof uitgestoten wordt. Secundair fijn stof ontstaat in de atmosfeer door chemische reacties tussen andere pollutanten. Bij uitstoot horen deze pollutanten nog niet tot het fijn stof. Een voorbeeld hiervan is ammoniak, dat een gas is. Doordat PM₁₀ alle rondzwevende deeltjes met een diameter kleiner dan 10 μm bevat, is het een allegaartje van vele verschillende stoffen.

Belangrijkste bronnen. Voor wat betreft de rechtstreekse uitstoot van fijn stof (PM₁₀; Figuur 8) is de sector huishoudens veruit de grootste (40%). Het gaat dan vooral over uitstoot van fijn stof door het verbranden van hout in haarden en kachels om de woning te verwarmen. Ook zijn verkeer (19%), industrie (16%) en landbouw (10%) belangrijke sectoren als rechtstreekse bronnen van fijn stof.

De uitstoot van stikstofoxides werd beschreven in sectie 2.3.1. Uit Figuur 2 werd duidelijk dat in Vlaanderen verkeer de belangrijkste bron vormt, op ruime achterstand gevolgd door de sectoren industrie en landbouw.

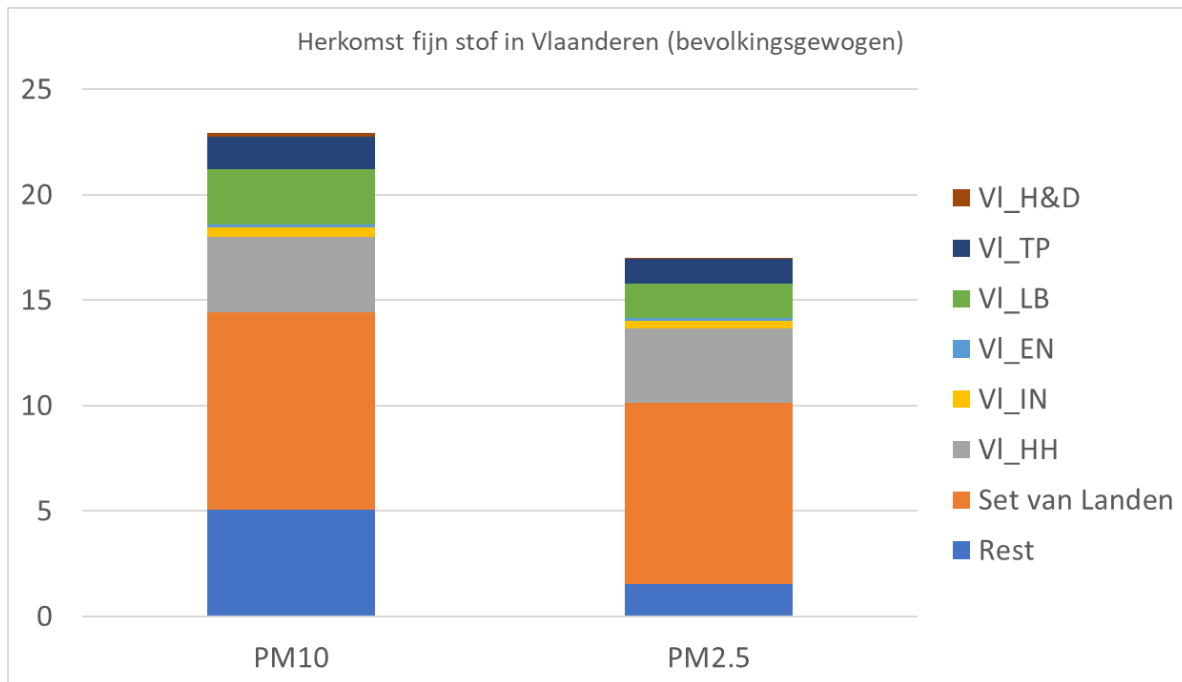
De uitstoot van zwaveloxides werd beschreven in sectie 2.3.2. Figuur 4 gaf aan dat zwaveloxides in Vlaanderen vooral veroorzaakt worden door de industrie (zowel de basisindustrie als de raffinaderijen en de elektriciteitscentrales). Een kleinere rol wordt gespeeld door de huishoudens (gebouwenverwarming) en het verkeer.

De uitstoot van ammoniak werd beschreven in sectie 2.3.3. Uit Figuur 5 is duidelijk dat de ammoniak uitstoot in Vlaanderen overheerst wordt door de landbouw, en dit met een aandeel van 95%.



Figuur 8 : De rechtstreekse uitstoot van fijn stof (PM_{10}) in Vlaanderen in 2016. Bron data: VMM, 2018.

In 2019 werd door Veldeman et al. (2019) een rapport gepubliceerd waarin wordt beschreven welke oorzaken aan de basis liggen van fijn stof in Vlaanderen. In het rapport werd o.a. ingeschat welke sectoren verantwoordelijk zijn voor het fijn stof in Vlaanderen (Figuur 9). Hieruit blijkt dat de invloed van de Vlaamse bronnen op de fijnstofconcentraties gemiddeld in Vlaanderen relatief laag is (ongeveer 40% voor $PM_{2.5}$). Veel van ons fijn stof wordt met andere woorden aangevoerd uit het buitenland (net zoals veel van het stof in het buitenland aangevoerd wordt vanuit ons land). In tegenstelling tot stikstofoxides wordt fijn stof dan ook niet vooral lokaal aangemaakt. Van de concentraties die wel door Vlaamse bronnen ontstaan is ongeveer de helft uitgestoten door de huishoudens (houtverbranding), naast een belangrijk deel door de landbouw (vooral secundair fijn stof op basis van ammoniak, naast het rechtstreekse fijn stof dat de landbouw uitstoot). Ook verkeer speelt nog een rol, naast kleinere bijdrages van industrie, energie en handel & diensten.



Figuur 9 : Bijdrages van de verschillende bronnen aan het fijn stof in Vlaanderen (bevolkingsgewogen gemiddelde, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$). De sectoren beginnende met VI_ zijn emissies uit Vlaanderen (respectievelijk handel & diensten, transport, landbouw, energie, industrie en huishoudens). De 'Set van Landen' bestaat uit volgende landen en regio's: Wallonië, Brussel, Nederland, Luxemburg, Duitsland, Frankrijk, Groot Brittannië, Denemarken, Noorwegen, Zweden, Polen, Litouwen, Letland, Wit-Rusland, Tsjechië, Oostenrijk en Zwitserland. Rest bestaat uit natuurlijke bronnen en bronnen buiten de voorafgenamde set van landen.

Impact op volksgezondheid. Fijn stof is heel gevaarlijk voor onze gezondheid en dit zowel op korte als op lange termijn. Voor wat betreft het kortetermijneffect leggen grootschalige gezondheidsstudies uit Noord-Amerika en Europa een verband tussen korte periodes van luchtvervuiling (24 uur) en gezondheidseffecten op korte termijn. Het aantal luchtwegenklachten stijgt en leidt tot meer spoedopnamen. Luchtwegeninfecties en astma worden erger, mensen hoesten meer en het gebruik van geneesmiddelen die de luchtwegen verwijderen neemt toe. Heel wat studies verbinden acute blootstelling aan fijn stof van PM_{10} en $\text{PM}_{2.5}$ ook met vervroegd overlijden. Dat is vooral het geval bij ouderen met hart- en longproblemen. Bij kinderen vermindert fijn stof de longfunctie bij TSP-concentraties boven de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of wanneer er meer dan $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ inadembare deeltjes (PM_{10}) zijn. Fijn stof is ook op langere termijn ongezond. De Wereldgezondheidsorganisatie (WGO) meldt onder andere een verminderde longfunctie en een stijgend aantal chronische luchtwegenaandoeningen, zoals bronchitis en emfyseemastma. De WGO en andere onderzoeksinstellingen schatten dat de levensduur met één tot drie jaar verkort in Vlaanderen.

Over de gezondheidinvloed van fijn stof zijn vele studies geschreven en de bewijzen voor de schadelijke invloed van fijn stof zijn erg sterk. Ingaan op al die bewijzen zou de lezer helaas te ver leiden. Daarom wordt er getracht te schetsen hoe groot het gezondheidseffect van fijn stof is aan de hand van een eerdere studie uitgevoerd door VITO. Buekers et al. (2012) heeft de invloed van

verschillende milieufactoren¹ (oa. fijn stof, passief roken, geluid, dioxines, hitte, ozon, ...) op de gezondheid van de Vlaamse bevolking onderzocht. Daarbij werd rekening gehouden met het aantal verloren levensjaren door blootstelling aan deze indicatoren en met het ontstaan van ziektes. Dit wordt samengevat in één factor: de DALY, het aantal verloren gezonde levensjaren. Aan alle onderzochte factoren worden er jaarlijks ongeveer 100,000 DALY's toegekend, wat wil zeggen dat er jaarlijks door milieufactoren ongeveer 100,000 gezonde levensjaren verloren gaan in Vlaanderen. Van deze DALY's zijn er ongeveer 79,500 veroorzaakt door fijn stof. Ter vergelijking: passief roken veroorzaakt 'slechts' 6,600 DALY's. Anders uitgedrukt²: gemiddeld verliest een persoon ongeveer 15 gezonde levensmaanden door milieufactoren, waarvan 12 door fijn stof en 1 door passief roken.

De laatste tijd zijn er steeds meer aanwijzingen dat bepaalde componenten van fijn stof (in het bijzonder EC, of elementair koolstof, zie volgende sectie) voor een belangrijk gedeelte van de schadelijkheid van fijn stof zorgen (Janssen et al., 2012). Voor geen enkele component van fijn stof is bewezen dat deze component niet schadelijk is en de bewijzen voor de schadelijkheid van de totale massa fijn stof zijn sterker dan deze voor afzonderlijke componenten.

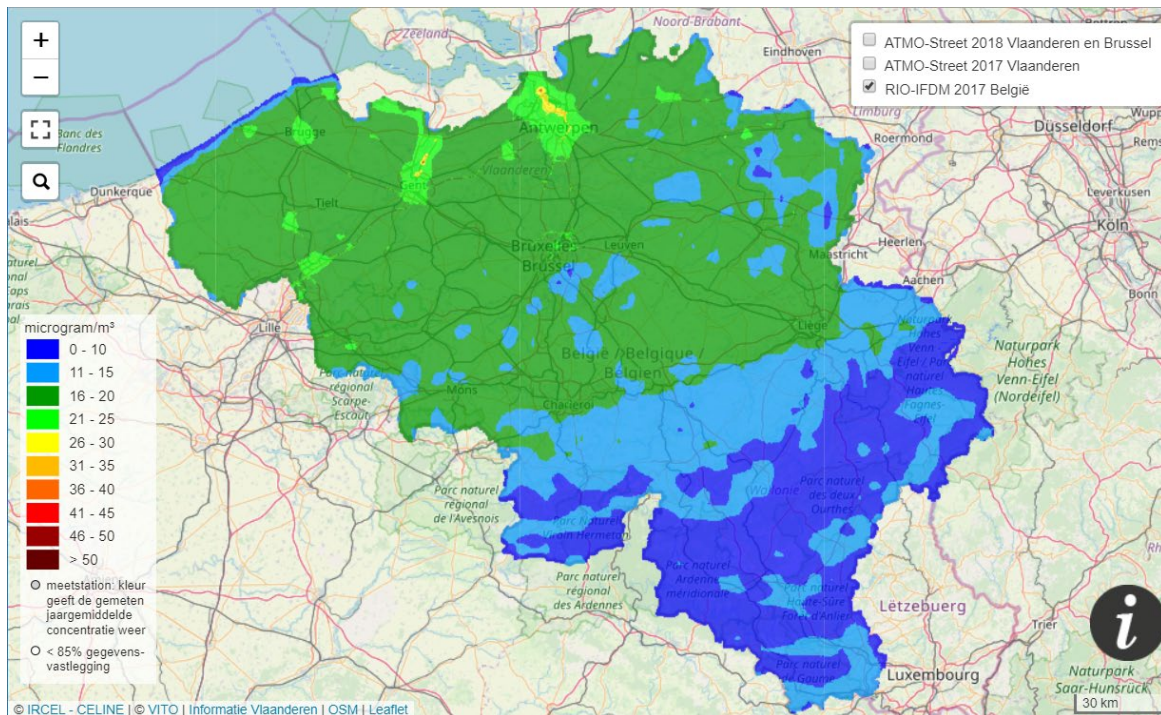
Europese regelgeving. Om de burger te beschermen tegen deze schadelijke invloeden worden vanuit de Europese Unie drie verschillende normen opgelegd waaraan de concentratie in de lucht moet voldoen:

- De jaargemiddelde PM₁₀-concentratie moet lager zijn dan 40 µg/m³.
- De daggemiddelde PM₁₀-concentratie mag slechts 35 dagen per jaar hoger zijn dan 50 µg/m³.
- De jaargemiddelde PM_{2.5}-concentratie moet lager zijn dan 25 µg/m³.

Huidige situatie in België. De fijnstofconcentraties (Figuur 10) zijn gemiddeld het laagst in het zuiden van Wallonië. De concentraties boven Vlaanderen zijn relatief gelijklopend, met iets lagere concentraties in delen van Limburg en hogere concentraties in Antwerpen (+ haven), Gent (+ haven) en Brussel. Nergens wordt de jaarnorm voor PM₁₀ overschreden. Een analoge verdeling (niet getoond) is er ook in de jaargemiddelde concentraties van PM_{2.5}, zonder overschrijdingen van de jaarnorm.

¹ Dit zijn factoren die niet rechtstreeks (deels) door het gedrag van de persoon veroorzaakt worden (zelf roken en obesitas worden bv. uitgesloten) en die niet veroorzaakt worden door besmettelijke ziektes (bv. griep, aids, ...)

² Gerekend met een Vlaamse bevolking van 6,589,069 personen (bron: wikipedia) en een gemiddelde levensverwachting van 82.3 jaar (bron: statbel).



Figuur 10 : Jaargemiddelde PM_{10} -concentraties in België (2017) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bron: geo5.irceline.be

2.3.6. ELEMENTARY CARBON (EC)

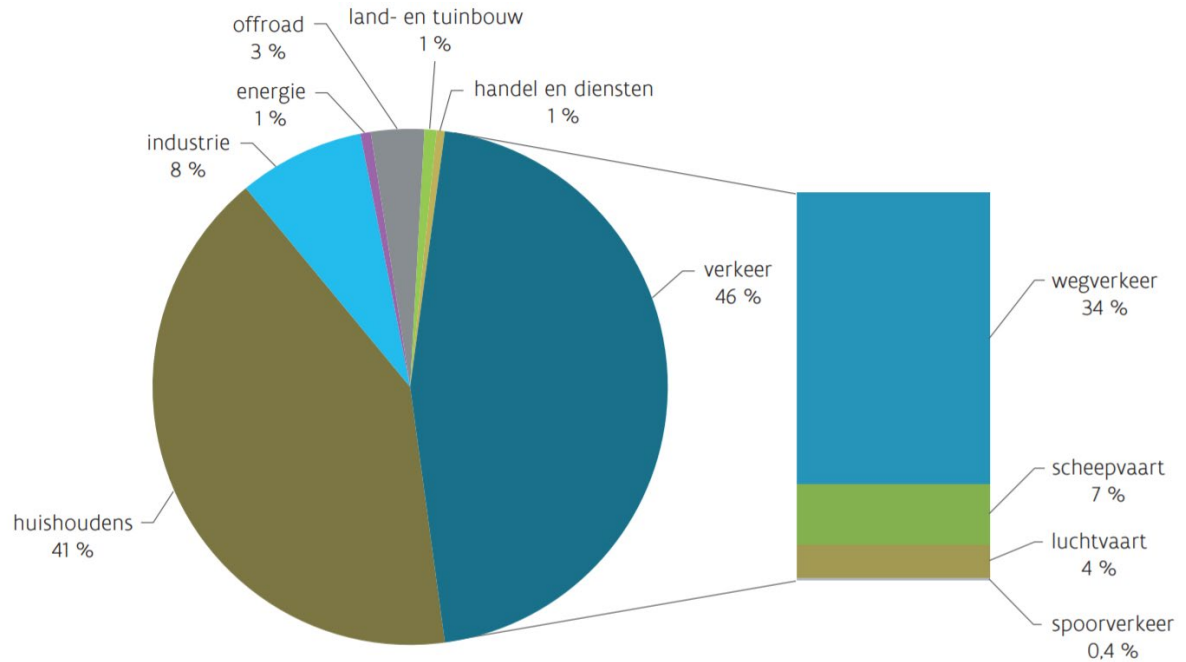
Definitie, ontstaan, samenstelling. Elementary Carbon is een gedeelte van fijn stof, met name roet. Het is sterk gelinkt aan BC (black carbon), wat gemeten wordt door het fijn stof door een filter te sturen en te kijken hoe zwart de filter wordt.

Belangrijkste bronnen. Het wordt vooral uitgestoten door het verkeer en de huishoudens (houtverbranding) en in mindere mate door de industrie en de landbouw. Het ontstaat vooral bij verbranding, in het bijzonder bij onvolledige verbranding van fossiele brandstoffen.

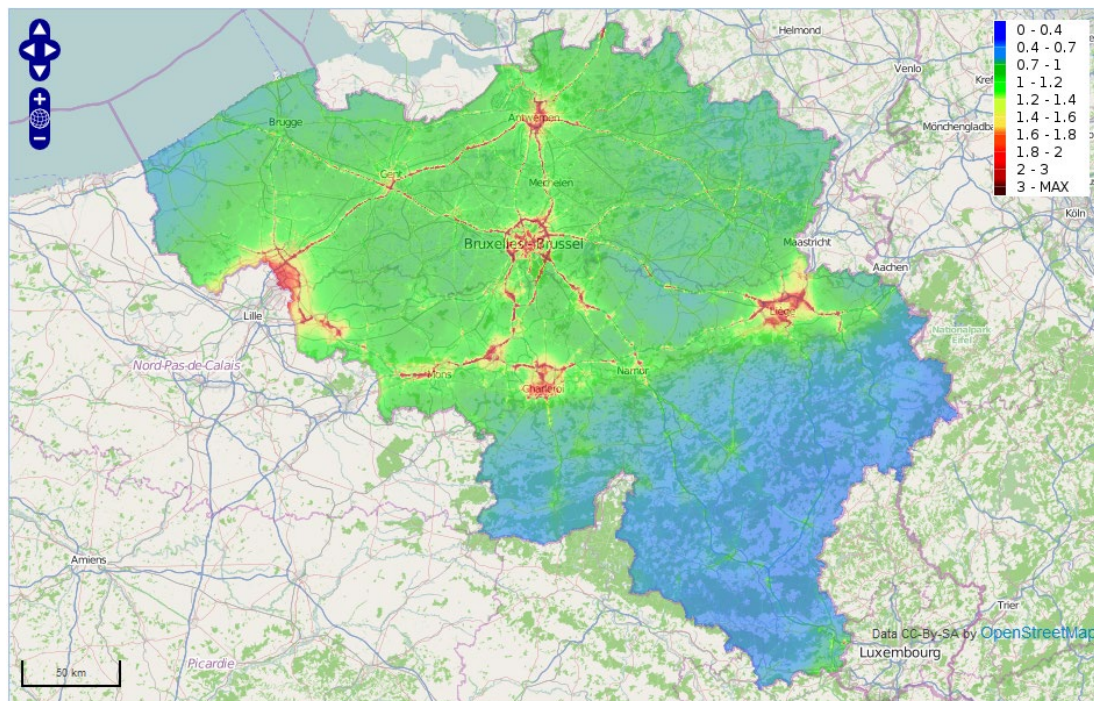
Impact op volksgezondheid. De gezondheidseffecten van EC vallen onder die van fijn stof, met de opmerking dat het EC/BC-gedeelte waarschijnlijk voor een belangrijk gedeelte van de schadelijkheid van fijn stof zorgt (Janssen et al., 2012).

Europese regelgeving. Er zijn momenteel geen normen specifiek voor EC.

Huidige situatie in België. De jaargemiddelde kaart van EC voor 2009 (Figuur 12) toont de gevoeligheid van EC aan het verkeer, met de hoogste concentraties dichtst bij de belangrijkste wegen en de laagste concentraties in het zuiden van Wallonië.



Figuur 11 : De rechtstreekse uitstoot van elementair koolstof (EC) in Vlaanderen in 2016. Bron data: VMM, 2018.



Figuur 12 : Jaargemiddelde EC-concentraties (2009) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bron: atmosys.eu

2.3.7. OZON

Definitie, ontstaan, samenstelling. Ozon (O_3) is een chemische verbinding van 3 zuurstofatomen. In de onderste luchtlagen is het een vervuilende stof. In hogere luchtlagen beschermt het ons net van schadelijke straling (UV) van de zon.

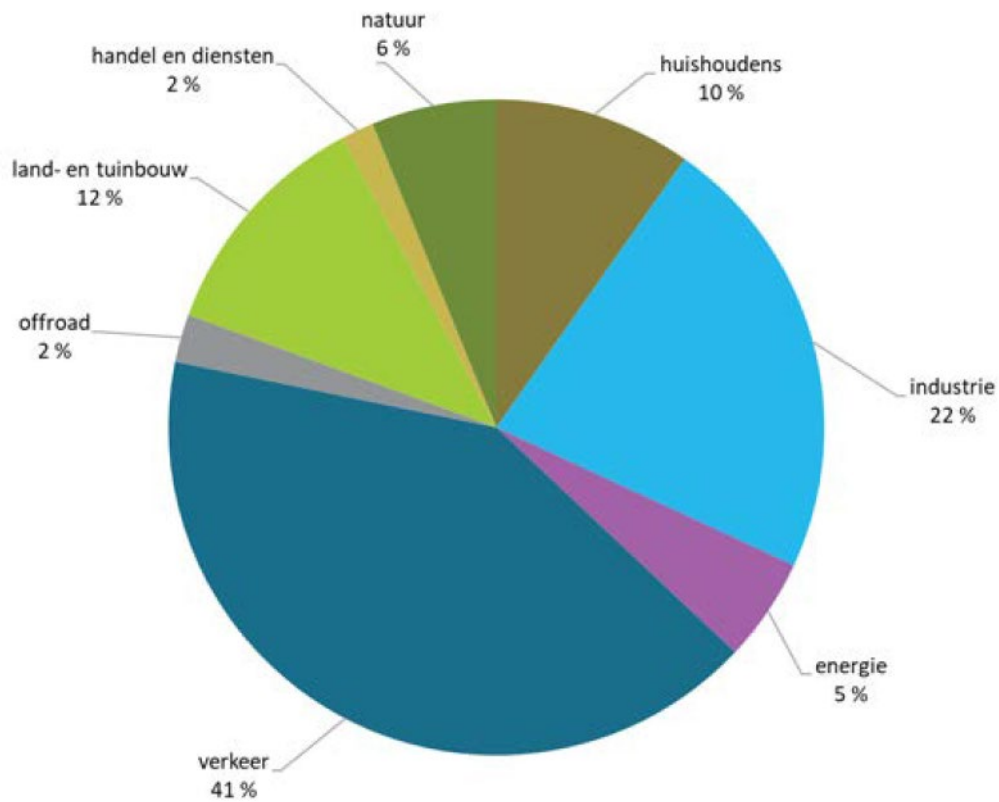
Belangrijkste bronnen. Ozon wordt niet rechtstreeks uitgestoten door de mens. Het is een stof die ontstaat in de atmosfeer op warme dagen. Het ontstaat uit stikstofdioxide (NO_2) onder invloed van zonnestraling. Ozon wordt afgebroken door stikstofmono-oxide (NO) waardoor je rond belangrijke bronnen van stikstofmono-oxides lagere concentraties van ozon krijgt. Stikstofmono-oxide wordt echter, op langere tijdsschaal, omgezet in stikstofdioxide onder invloed van vluchtige organische componenten (VOS). Emissie van NO zal dus op korte termijn (en dus dichtbij de bron) de ozonconcentratie doen dalen, maar op langere termijn (en dus op grotere afstand) de ozonconcentratie doen stijgen. De chemische processen die hierin een rol spelen zijn heel complex en vallen buiten het interessegebied van dit rapport. Wat betreft de bronnen van ozon is het dus belangrijk om te kijken naar de bronnen van de stoffen die ozon voorafgaan. Om deze te kunnen vergelijken wordt een 'troposferisch ozonvormend potentieel' gedefinieerd zodat de verschillende stoffen en de sectoren die ze uitstoten vergeleken kunnen worden. Uit Figuur 13 blijkt dat het verkeer een belangrijke rol speelt. Daarna volgen de industrie, de huishoudens en de landbouw. Ozon is een stof die slechts langzaam gevormd wordt en vervolgens heel lang in de atmosfeer blijft. Hierdoor zijn de Vlaamse emissies relatief onbelangrijk voor de Vlaamse ozonwaardes, de ozonconcentratie in Vlaanderen wordt immers vooral bepaald door emissies verderop (behalve bij windstille omstandigheden). Uitzondering is echter de NO-emissie die zoals gezegd lokaal de ozon afbreekt.

Impact op volksgezondheid. Ozon is verantwoordelijk voor een aantal gezondheidseffecten, zoals vermindering van de longfunctie, prikkelende ogen, hoesten en irritatie van de slijmvliezen, in het bijzonder bij personen die extra gevoelig zijn (zoals ouderen, kinderen en mensen met verminderde longfunctie). Daarenboven tasten hoge ozonconcentraties verschillende planten aan, waaronder een aantal landbouwgewassen. Verder zorgt ozon ook voor de verwerking van een aantal materialen, o.a. sommige kunststoffen, en is ozon een broeikasgas.

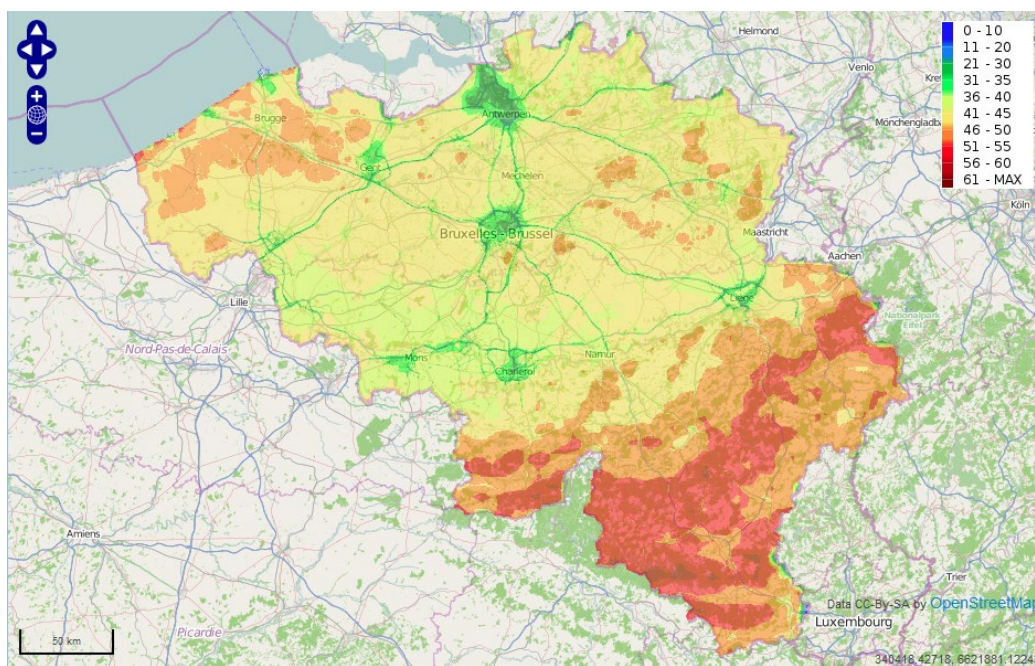
Een belangrijke opmerking met betrekking tot het ozonprobleem heeft te maken met de verwarring tussen enerzijds de negatieve effecten van te veel ozon enerzijds en anderzijds het problematische ozongat, dat ontstaat door een gebrek aan ozon. Cruciaal hierbij is de hoogte waarop beide fenomenen zich voordoen. Terwijl ozon aan het oppervlak schadelijk is voor mens, dier en plant, is ozon op ongeveer 30km hoogte net gunstig, omdat dit daar de schadelijk UV-straling van de zon filtert. Met andere woorden, aan het oppervlak hebben we door menselijk toedoen te hoge concentraties ozon, terwijl we er op hoogte te lage hebben.

Europese regelgeving. Omwille van de negatieve effecten op mens en milieu zijn er enkele Europese normen vastgelegd voor ozon. In het kader van deze studie zijn de normen betreffende de volksgezondheid de belangrijkste. Er is een streefwaarde dat de hoogste 8-uur glijdend gemiddelde concentratie van een dag gemiddeld over drie jaar niet meer dan 25 dagen per jaar hoger mag liggen dan $120 \mu g/m^3$.

Huidige situatie in België. De jaargemiddelde kaart voor ozon (Figuur 14) toont de hoogste concentraties in de het zuiden van Wallonië en in West-Vlaanderen en lagere concentraties in de omgeving van de grote steden. Dit heeft te maken met de snelle werking van de afbraakprocessen van ozon door NO, waardoor de concentraties van ozon verlaagd zijn dicht bij de NO-bronnen (zoals verkeer).



Figuur 13 : Emissies van het troposferisch ozonvormend potentieel in Vlaanderen in 2017. Bron figuur: VMM, 2019.



Figuur 14 : Jaargemiddelde O₃-concentraties (2012) in µg/m³. Bron: atmosys.eu

2.3.8. RICHTWAARDES, GRENSWAARDES EN STREEFWAARDES

In onderstaande tabel worden de belangrijkste richtwaardes, grenswaardes en streefwaardes opgenomen voor concentraties ter bescherming van de gezondheid. Waardes ter bescherming van de vegetatie zijn niet opgenomen in de tabel³.

Tabel 1: Overzicht van de grens- en streefwaardes betreffende luchtkwaliteit. Bron: VMM (2013).

Wetgeving	Type	Polluent	Middelingstijd	Doelstelling	Aantal toegelaten overschrijdingen
EU	Grenswaarde	SO ₂	1 uur	350 µg/m ³	24 / jaar
			1 dag	125 µg/m ³	3 / jaar
WGO	Richtwaarde		1 dag	20 µg/m ³	
			10 minuten	500 µg/m ³	
EU	Grenswaarde	NO ₂	1 uur	200 µg/m ³	18 / jaar
			Jaar	40 µg/m ³	
WGO	Richtwaarde		1 uur	200 µg/m ³	
			Jaar	40 µg/m ³	
Vlaanderen	Richtwaarde		Jaar	20 µg/m ³	
EU	Streefwaarde	O ₃	Hoogste 8-uur glijdend gemiddelde per dag	120 µg/m ³	Gemiddeld over drie jaar niet meer dan 25 dagen/jaar
	Langetermijn-doelstelling			120 µg/m ³	
EU	Grenswaarde	PM ₁₀	1 dag	50 µg/m ³	35 / jaar
			1 jaar	40 µg/m ³	
WGO	Richtwaarde		1 dag	50 µg/m ³	3 / jaar
			1 jaar	20 µg/m ³	
EU	Streefwaarde	PM _{2.5}	1 jaar	25 µg/m ³	
EU	Grenswaarde (2015)		1 jaar	25 µg/m ³	
	Indicatieve grenswaarde (2020)		1 jaar	20 µg/m ³	
	Streefwaarde (2020)		GGBI ⁴	15,7 µg/m ³	
WGO	Richtwaarde		1 Jaar	10 µg/m ³	
			Dag	25 µg/m ³	3 / jaar

³ Deze tabel heeft niet als bedoeling exhaustief te zijn. Normen op de werkplaats zijn bijvoorbeeld niet meegenomen.

⁴ De GGBI (Gewestelijke Gemiddelde Blootstellings Indicator) is voor Vlaanderen gedefinieerd als de gemiddelde concentratie van Brugge, Borgerhout, Schoten en Gent over het jaar voor, het jaar van en het jaar na het jaartal waarvoor deze berekend wordt.

EU	Grenswaarde	CO	Hoogste 8-uur glijdend gemiddelde per dag	10 mg/m ³	
WGO	Richtwaarde		15 minuten	100 mg/m ³	
			30 minuten	60 mg/m ³	
			1 uur	30 mg/m ³	
			8 uur	10 mg/m ³	
EU	Grenswaarde	Lood ⁵	1 jaar	500 ng/m ³	
EU	Streefwaarde	Arseen ⁶	1 jaar	6 ng/m ³	
EU	Streefwaarde	Cadmium ⁷	1 jaar	5 ng/m ³	
EU	Streefwaarde	Nikkel ⁸	1 jaar	20 ng/m ³	
Vlaanderen	Grenswaarde	Cadmium ⁹	1 jaar	30 ng/m ³	
WGO	Richtwaarde	Cadmium ¹⁰	1 jaar	5 ng/m ³	
WGO	Richtwaarde	Kwik ¹¹	1 jaar	1000 ng/m ³	
WGO	Richtwaarde	Lood ¹²	1 jaar	500 ng/m ³	
WGO	Richtwaarde	Mangaan ¹³	1 jaar	150 ng/m ³	
EU/Vlaanderen	Drempelwaarde	Dioxine-depositie	1 jaar	8,2 pg TEQ/(m ² .dag)	Alleen in agrarische gebieden en woonzones
			1 maand	21 pg TEQ/(m ² .dag)	
Vlaanderen	Richtwaarde	Vinylchloride	1 jaar	1 µg/m ³	
	Grenswaarde		1 half uur	10 µg/m ³	350 / jaar
Vlaanderen	Grenswaarde	Benzeen	1 dag	50 µg/m ³	7 / jaar
EU	Grenswaarde		1 jaar	5 µg/m ³	
WGO	Richtwaarde	1,2-dichloorethaan	1 dag	700 µg/m ³	
WGO	Richtwaarde	Tolueen	1 week	260 µg/m ³	
			1 half uur	1000 µg/m ³	
WGO	Richtwaarde	Styreen	1 week	260 µg/m ³	
WGO	Richtwaarde	Tetrachloor-ethyleen	1 dag	250 µg/m ³	

⁵ Voor alle zware metalen gelden de waardes als concentraties aanwezig in fijn stof.

⁶ Voor alle zware metalen gelden de waardes als concentraties aanwezig in fijn stof.

⁷ Voor alle zware metalen gelden de waardes als concentraties aanwezig in fijn stof.

⁸ Voor alle zware metalen gelden de waardes als concentraties aanwezig in fijn stof.

⁹ Voor alle zware metalen gelden de waardes als concentraties aanwezig in fijn stof.

¹⁰ Voor alle zware metalen gelden de waardes als concentraties aanwezig in fijn stof.

¹¹ Voor alle zware metalen gelden de waardes als concentraties aanwezig in fijn stof.

¹² Voor alle zware metalen gelden de waardes als concentraties aanwezig in fijn stof.

¹³ Voor alle zware metalen gelden de waardes als concentraties aanwezig in fijn stof.

HOOFDSTUK 3. METHODOLOGIE

3.1. ATMO-STREET

Om de effecten op de luchtkwaliteit tot op straatniveau door te rekenen werd de ATMO-Street modelketen gebruikt. Dit model gebruikt gegevens over de meteorologie en de emissies om uurlijkse concentratiewaarden te bepalen voor het modeldomein. Dit is de modelketen die eveneens gebruikt wordt voor de hoge-resolutie luchtkwaliteitskaarten voor Vlaanderen¹⁴ en beleidsstudies zoals de recente actualisatie van de Antwerpse luchtkwaliteitskaarten (Vranckx et al., 2019). Deze modelketen bestaat uit de koppeling van regionale achtergrondconcentraties, het IFDM-model en een aangepaste versie van het OSPM-street canyon model.

Voor geur kan er geen achtergrondconcentratie bepaald worden en zijn street canyons niet belangrijk. Hier wordt dus puur gebruik gemaakt van IFDM.

3.1.1. RIO- EN VLOPS-MODELLEN VOOR BEPALING REGIONALE ACHTERGRONDCONCENTRATIES¹⁵

De concentraties aan vervuilende stoffen in de regio Hoogstraten-Wuustwezel worden bepaald door zowel de uitstoot van deze vervuilende stoffen in de regio Hoogstraten-Wuustwezel zelf als de uitstoot en transport van emissies buiten deze regio. De bijdrage van de emissies buiten deze regio wordt in rekening gebracht door als startpunt de kaarten van de regionale achtergrondconcentraties in Vlaanderen te nemen. Dit brengt ook alle emissies binnen de regio Hoogstraten-Wuustwezel in rekening, die niet in hoge resolutie worden gemodelleerd.

Voor 2017 zijn de achtergrondconcentratiekaarten opgemaakt aan de hand van het RIO-model. Dit model neemt als startpunt de metingen van het officiële monitornetwerk van VMM. RIO is een intelligente interpolatietechniek waarmee de lokale invloed per meetstation eerst verwijderd wordt om zo een ruimtelijke homogene dataset van luchtkwaliteitsmetingen te verzamelen. De zo verkregen meetwaarden kunnen dan worden geïnterpoleerd met Ordinary Kriging. Het lokale karakter voor elk van de geïnterpoleerde meetpunten wordt in de laatste stap weer toegevoegd.

Het lokale karakter van een meetplaats wordt bepaald door een statistische analyse van lange tijdsreeksen van concentraties in de meetstations en het landgebruik (Corine Land Cover) in de buurt van die meetstations. Uit die analyse blijkt dat er een robuuste correlatie bestaat tussen landgebruik en concentratieniveaus. De correlatie tussen de concentraties en het landgebruik wordt samengevat in trendfuncties. Omdat het landgebruik voor heel België bekend is, kan het lokale karakter voor elke plaats waar geïnterpoleerd wordt, in rekening worden gebracht. Voor de interpolatie van PM_{2,5} werd voor de bepaling van het lokale karakter naast de landbedekking ook gebruikgemaakt van de aerosol optische diepte (AOD). De ruimtelijke resolutie van de RIO-interpolatietechniek is 4x4 km². Met RIO is het mogelijk om op elk uur voor alle 4x4 km² roosterzellen in België de luchtkwaliteit te berekenen. Het RIO-model is gedocumenteerd op de website van IRCEL¹⁶ en in de wetenschappelijke literatuur

¹⁴ <http://www.vmm.be/data/stikstofdioxiide-no2-jaargemiddelde>

¹⁵ Tekst aangepast uit Vranckx et al. (2019)

¹⁶ <http://www.irceline.be/nl/documentatie/modellen>

(Janssen et al., 2018). De RIO-aanpak geeft dus op 4x4 km² kaarten van de pollutentconcentraties in België voor 2016 op uurbasis.

Voor de stikstofdepositie wordt een ander model gebruikt als achtergrondmodel: het VLOPS-model. VLOPS¹⁷ staat voor de Vlaamse versie van het Operationeel Prioritaire Stoffen (OPS) model, ontwikkeld door het RIVM (Nederland). Het model wordt gebruikt om voor gans Vlaanderen de concentraties en deposities van verzurende stoffen te berekenen met een geografische resolutie van 1 x 1 km². Invoergegevens voor het model zijn: meteorologische gegevens, emissiegegevens van punt- en oppervlaktebronnen binnen en buiten Vlaanderen en gegevens over receptorgebieden. Grensoverschrijdend transport van emissies (import en export) wordt hierbij in rekening gebracht. De VLOPS-resultaten worden op concentratieniveau gekalibreerd op de metingen.

3.1.2. IFDM- EN OSPM-MODELLEN VOOR DISPERSIE VAN POLLUENTEN¹⁸

Voor de verschillende onderzochte pollutenten (NO₂, PM_{2.5}, geur, NH₃) zijn de concentratiekaarten voor de regio Hoogstraten en Wuustwezel gemaakt aan de hand van accurate modelsimulaties voor 2017. Hiertoe is een modelketen gebruikt waarbij IFDM (Immision Frequency Distribution Model), een bi-gaussiaans pluimmodel, wordt toegepast voor dispersie van pollutenten geëmitteerd in het studiegebied en OSPM (Operational Street Pollution Model) de verhoogde street canyon bijdrages toekent.

IFDM berekent de impact van de emissies van punt-, lijn- en oppervlaktebronnen op de luchtkwaliteit in de onmiddellijke omgeving van die bronnen. Een puntbron is bijvoorbeeld een fabrieksschouw. Een lijnbron is de uitstoot van het verkeer op een weg of een deel van een weg. Een oppervlaktebron kan bijvoorbeeld de emissie bij het bewerken van velden zijn. In deze studie met IFDM werd een set van emissiebronnen bepaald die het meest relevant zijn voor het domein (zie §3.3). Andere bronnen van luchtvervuiling worden niet apart gemodelleerd, maar zitten in de RIO 4x4 km² “achtergrond” of in de VLOPS 1x1 km² “achtergrond”. Die simulaties brengen ook de achtergrondconcentraties in rekening. Om te vermijden dat de bronnen die wel expliciet meegenomen worden in het model dubbel berekend worden, wordt een “dubbeltellingscorrectie” toegepast voor deze bronnen. In de RIO 4x4 km² resultaten, die het resultaat zijn van geïnterpoleerde metingen, zitten immers de bijdrages van alle bronnen. Ook in VLOPS zitten alle bronnen, enerzijds door de modellering zelf en anderzijds door de kalibratie op de metingen.

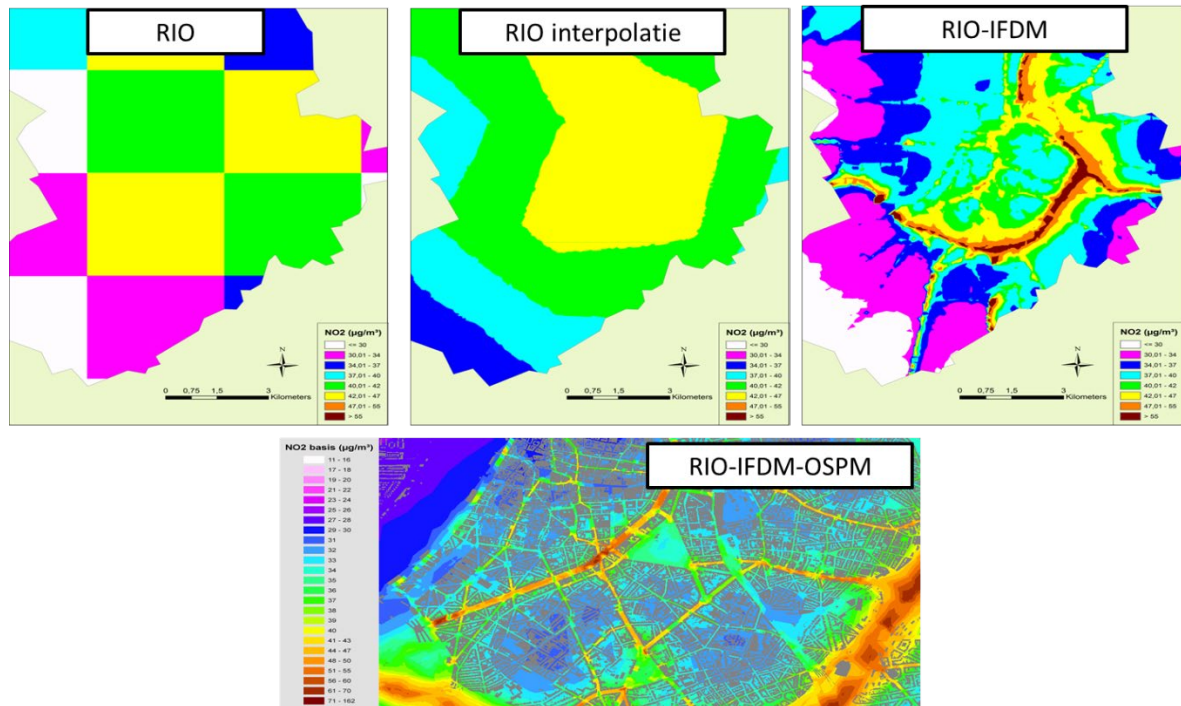
Het IFDM dispersiemodel is een 'open street' model en houdt geen rekening met obstakels (bomen, geluidsschermen, gesloten huizenrijen...) langs de wegen waar de impact van het verkeer wordt berekend. Dit betekent dat de combinatie RIO-IFDM in smalle straten met veel verkeer in het binnenstedelijk gebied (zogenaamde “street canyons”) de concentraties zal onderschatten. De natuurlijke ventilatie in deze straten is beperkt waardoor de luchtvervuiling zich tussen de bebouwing minder goed kan verspreiden. Om ook hiermee rekening te houden wordt de RIO-IFDM-keten verder uitgebreid met een derde model: het OSPM model. Dit model gebruikt zeer gedetailleerde informatie over de straatconfiguratie. Deze informatie is voor gans Vlaanderen in kaart gebracht. Voor alle straten die als street canyon worden beschouwd, wordt dan ook een OSPM-berekening uitgevoerd. Hierdoor wordt ook rekening gehouden met de slechtere verdunning van de

¹⁷ Tekst overgenomen en aangepast uit Lefebvre en Deutsch (2015)

¹⁸ Tekst aangepast uit Vranckx et al. (2019)

luchtvervuiling in deze straten. De modellen worden uitgebreid beschreven op de website van IRCEL¹⁹ en in de wetenschappelijke literatuur²⁰.

Uit een reeks validatieoefeningen blijkt dat ATMO-Street, de RIO-IFDM-OSPM-combinatie, momenteel de best mogelijke (reken)tool is om de luchtkwaliteit tot op straatniveau te modelleren in Vlaanderen²¹.



Figuur 15 : Overzicht combinatie achtergrondkaarten RIO, dispersie van polluenten in het studiegebied aan de hand van IFDM en street canyon-bijdrages aan de hand van OSPM.

Voor het bepalen van de stikstofdepositie neemt IFDM de depositiesnelheden over uit het VLOPS-model, zoals beschreven in Lefebvre en Deutsch (2015). Deze data zijn op een resolutie van 1x1 km² wat aanleiding kan geven tot het zien van een 1x1 km² blokkenpatroon op de kaarten.

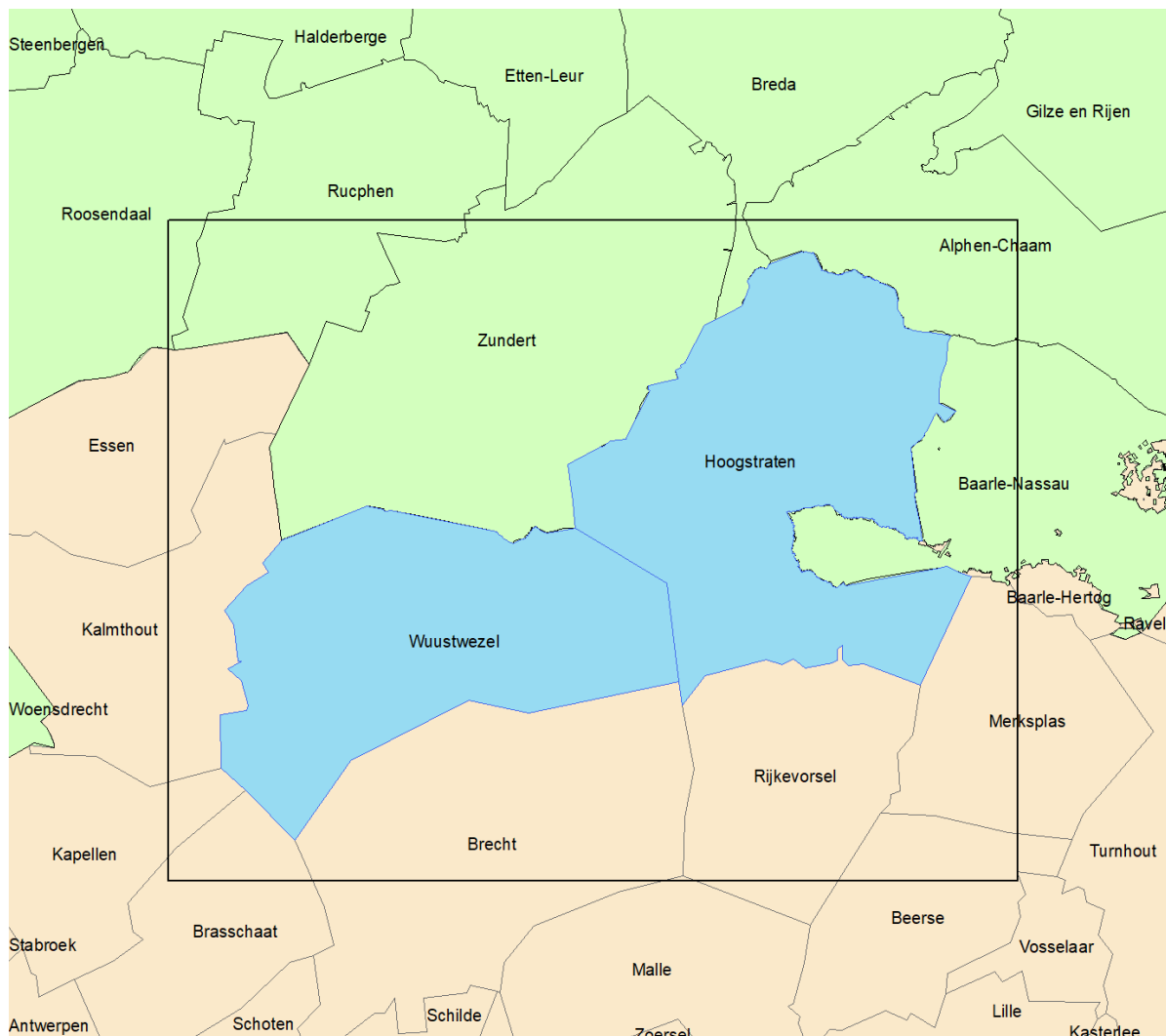
3.2. HET MODELDOEIN HOOGSTRATEN-WUUSTWEZEL

In Figuur 16 is het gebruikte modeldomein te vinden. Binnen het zwarte kader werden de bronnen zo goed mogelijk bepaald (zie volgende paragraaf) voor wat de Vlaamse bronnen betreft. Voor de Nederlandse bronnen werden bij RIVM de stalemissies opgevraagd. De emissies voor de andere bronnen uit Nederland worden door de achtergrond meegenomen, net als de bronnen gelegen buiten het zwarte kader op Figuur 16. We delen het domein voor de analyse nog op in drie delen: ten eerste de gemeente Hoogstraten, ten tweede de gemeente Wuustwezel en ten derde de delen van Vlaanderen die niet tot Hoogstraten en Wuustwezel behoren maar wel binnen het zwarte kader liggen. Dit wordt in de analyse ‘Rest van het domein’ genoemd.

¹⁹ <http://www.irceline.be/nl/documentatie/modellen/rio-ifdm-ospm>

²⁰ Lefebvre, W. et al, Evaluation of the RIO-IFDM-street canyon model chain (2013), Atmospheric Environment (2013) 77 325-337, doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.05.026

²¹ Lefebvre W., Vranckx S., 2013 “Validation of the IFDM model for use in urban applications”



Figuur 16 : Het domein van de studie. In blauw: de opdrachtgevende gemeenten. De grote rechthoek is het onderzocht domein. Als we van de Rest van het domein spreken, dan gaat het normaal (behalve als er iets anders vermeld is) over de Vlaamse gemeenten binnen dit domein.

3.3. EMISSIEANALYSE

We doen eerst een emissieanalyse voor de Vlaamse emissies binnen het domein (Figuur 16) en vergelijken deze emissieverdeling met de verdeling op Vlaamse schaal. Hieruit kunnen we dan bepalen op welke sectoren we ons best focussen. Hierbij is het belangrijk om op te merken dat sectoren waarop we minder focussen ook nog meegenomen worden in het verhaal, zij het met een lagere detailgraad en niet noodzakelijk expliciet in de brontoewijzing.

We bekijken hiervoor de 3 belangrijkste emissiebronnen voor de onderzochte stoffen: NO_x, NH₃ en PM_{2.5}. Geur behandelen we later apart.

Voor de emissiedata maken we gebruik van de resultaten van E-MAP (Emissie-mapper), het officiële spreidingsmodel van de Vlaamse Overheid voor emissies voor het gebruik in luchtkwaliteitmodellen. E-MAP vertrekt vanuit verschillende datasets:

- De totaalemissie per sector, zoals ingeschat door de VMM

- De gekende bronnen, zoals bv. schouwemissies aangeleverd door de grote bedrijven in hun jaarlijkse verplichte rapportage
- Een reeks 'proxy'-kaarten om de emissies waarvan de detailgegevens over de bronnen niet gekend zijn over uit te spreiden.

Voor een sector als akkerbouw zou zulk een proxy-kaart bijvoorbeeld de ligging van de akkers kunnen zijn. De emissie van stof die er ontstaat bij het bewerken van akkers wordt dan door de VMM ingeschat voor heel Vlaanderen en dan via de proxy-kaart gespreid. Dit is inherent onnauwkeurig, maar voor dit type bronnen is er geen betere data beschikbaar. Voor andere bronnen is die data er wel, zoals bijvoorbeeld het wegverkeer of de stallen en daar wordt dan meer gedetailleerde data gebruikt.

Tabel 2 : Emissieanalyse voor het domein en voor Vlaanderen. Cijfers hoger dan 1% zijn in vet aangeduid.

	Domein				Vlaanderen		
	PM _{2.5}	NO _x	NH ₃		PM _{2.5}	NO _x	NH ₃
Huishoudens	65.8%	3.4%	0.8%		55.5%	4.5%	1.8%
Industrie	5.8%	4.0%	0.0%		15.5%	17.5%	2.0%
Energie	0.0%	1.5%	0.0%		1.3%	6.4%	0.0%
Akkerbouw	0.6%	2.2%	0.0%		0.3%	0.7%	0.0%
Kunstmest	0.0%	6.9%	4.6%		0.0%	2.8%	12.5%
Veeteelt	6.3%	7.4%	94.1%		3.4%	2.8%	82.3%
Glastuinbouw	7.4%	13.6%	0.0%		1.3%	1.5%	0.0%
Andere landbouw	1.0%	3.7%	0.0%		0.5%	1.3%	0.0%
Wegverkeer	12.4%	49.3%	0.4%		14.1%	38.3%	1.3%
Luchtvaart	0.5%	6.2%	0.0%		0.1%	1.4%	0.0%
Scheepvaart	0.0%	0.1%	0.0%		5.4%	18.8%	0.0%
Spoorverkeer	0.0%	0.0%	0.0%		1.7%	0.7%	0.0%
Handel & diensten	0.2%	1.7%	0.0%		1.1%	3.4%	0.0%
Som	100.0%	100.0%	100.0%		100.0%	100.0%	100.0%

We overlopen de betrokken sectoren één per één om te kijken of, en hoe we ze meenemen in de studie. Sectoren die niet expliciet meegenomen worden zullen toch in de data verwerkt zijn, zij het op lagere resolutie via de achtergrondkaarten (zie §3.1.2).

- 1) Huishoudens: duidelijk een heel belangrijke sector, in het bijzonder voor fijn stof. Hiervoor hebben we de (Vlaamse) totaalemissie binnen het domein homogeen gespreid over de adressen binnen het domein (CRAB-bestand zoals beschikbaar op geopunt.be). Dit is niet ideaal aangezien het overgrote deel van de emissies enkel zal voorkomen bij huizen waar er hout verbrand wordt (open haarden, kachels). We hebben echter geen gegevens over welke huizen hout als verwarming gebruiken en welk type kachel ze hiervoor gebruiken. Daarom gebruiken we een gelijke spreiding over het volledige adressenbestand.
- 2) Industrie en energiesector: Deze sectoren zullen we samen nemen. Hiervoor nemen we de gekende puntbronnen binnen het domein. Hierbij was er slechts één bron waarvan de coördinaten benaderend waren, maar dankzij opzoekwerk via google hebben we deze bron correct gelokaliseerd. We hebben ook de benodigde toelating voor het gebruik van deze data gekregen van VMM.

- 3) Akkerbouw: Deze data hebben we ter beschikking op basis van 1x1 km²-oppervlaktebronnen uit het E-MAP-emissiemodel. Aangezien de exacte locatie van de emissies moeilijk te bepalen is doen we geen verdere verfijning en nemen die oppervlaktebronnen zo op in het model.
- 4) Kunstmest: Deze data hebben we ter beschikking op basis van 250x250 m²-oppervlaktebronnen (uitrijden van mest) gecombineerd met enkele belangrijke verwerkingsinstallaties (puntbronnen). Bron van de data is het landbouwemissiemodel EMAV2.1. We hebben ook de benodigde toelating voor het gebruik van deze data gekregen van VMM.
- 5) Veeteelt: Deze data hebben we ter beschikking op basis van 250x250 m²-oppervlaktebronnen (beweiden) gecombineerd met de emissies van stallen (puntbronnen). Bron van de data is het landbouwemissiemodel EMAV2.1. We hebben ook de benodigde toelating voor het gebruik van deze data gekregen van VMM.
- 6) Glastuinbouw: Deze sector is op Vlaamse schaal weinig relevant maar wel binnen het domein. We nemen deze sector dus wel mee. We hebben alleen data ter beschikking op basis van 1x1 km²-oppervlaktebronnen. De spreiding is gebaseerd op de relevante percelen van de landbouwgebruikspercelenkaart uit 2013. In het algemeen werden de emissies van elke landbouwcategorie dus ruimtelijk verdeeld over deze geselecteerde percelen waarbij elke hectare van de geselecteerde percelen evenveel emissies toegewezen kreeg. Het is dus belangrijk op te merken dat hier vooral de oppervlakte aan glastuinbouw een rol speelt in de spreiding en niet de werkelijke emissies.
- 7) Andere landbouw (bv. gebruik van tractoren buiten de weg): Deze data hebben we ter beschikking op basis van 1x1 km²-oppervlaktebronnen. Aangezien de exacte locatie van de emissies moeilijk te bepalen is doen we geen verdere verfijning en nemen die oppervlaktebronnen zo op in het model.
- 8) Wegverkeer: Deze data hebben we ter beschikking op lijnbronnen van de belangrijkste wegen.
- 9) Luchtvaart: Het gaat hier om de emissies op de luchthaven van Brasschaat. We zullen deze emissies (uit E-MAP) spreiden op de start- en landingsbaan.
- 10) Scheepvaart: Niet relevant binnen het domein.
- 11) Spoorverkeer: Niet relevant binnen het domein.
- 12) Handel & Diensten: Deze data hebben we ter beschikking op basis van 1x1 km²-oppervlaktebronnen. Aangezien de bijdrage van deze sector binnen het domein klein is zullen we hier niet verder verfijnen.

In het totaal zullen we aldus 94% van de fijnstofemissies, 95.8% van de NO_x-emissies en 100% van de NH₃-emissies meenemen in de detailberekeningen. De overige emissies worden enkel in de achtergrondberekeningen meegenomen.

Het resultaat is een set van 3171 lijnbronnen, 44495 puntbronnen en 9604 oppervlaktebronnen die doorgerekend worden.

3.4. GEUR

Voor geur vertrekken we van de aantallen dieren en staltypes die van de VLM komen en ons via EMAV2.1 ter beschikking komen. Voor de diertypes waarvan er geuremissiefactoren staan in het richtlijnenboek

landbouwdieren
(https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/atoms/files/20190517_RLB%20Landbouwdieren_bijlage%20emissiefactoren.pdf) gebruiken we deze. Indien voor een bepaalde diersoort geen geuremissiefactoren beschikbaar zijn bij een bepaald staltype vullen we dit aan met een equivalent

staltype. Een belangrijke aanvulling gebeurt hier voor melkvee waarvoor geen geuremissies bekend zijn. Deze worden dan qua geuremissie gelijkgesteld aan vleesvee. We houden hierbij rekening met emissiereducerende technieken. Het resultaat is dat we geen geuremissies hebben voor bepaalde diersoorten zoals struisvogels, paarden, pony's, konijnen en nertsen. In de betrokken gemeenten zijn alleen paarden en konijnen hiervan relevant. Het negeren van deze diersoorten zal tot een te lage inschatting van de geur leiden. De fout hierdoor is echter klein als we kijken naar de betrokken dieraantallen.

3.5. MODELPARAMETERS

In overleg met de opdrachtgevers is beslist te werken met het basisjaar 2017. Dit is met name het laatste jaar waar, bij het begin van de studie, alle emissiedata voor beschikbaar was. Ook was dit jaar, in tegenstelling tot de meer recente jaren, een relatief representatief jaar qua meteorologie. Finaal was dit ook het laatste jaar waarvoor VLOPS-data beschikbaar waren. Sedert 2017 zijn er echter al verschillende nieuwe vergunningen toegekend in de betrokken gemeenten. De resultaten in deze studie zijn op de kritieke parameters voor landbouw (geur, stikstofdepositie) dus waarschijnlijk nog een onderschatting van de werkelijkheid.

Deze VLOPS-data is qua landbouwemissies gebaseerd op EMAV2.0. Intussen is echter EMAV2.1 beschikbaar, waar een verbeterde inschatting van de landbouwemissies in gebeurd is. De VLOPS-data op basis van EMAV2.1 was echter nog niet gekalibreerd waardoor we deze niet konden gebruiken. We hebben beslist voor de IFDM-berekeningen wel rekening te houden met de nieuwste emissies. Dit geeft automatisch aanleiding tot mogelijke afwijkingen tussen de voorgrond en de achtergrond bij de stikstofdeposities. Niets in deze afwijkingen is echter belangrijk genoeg om de besluiten van de studie significant te wijzigen alhoewel er lokaal wel veranderingen in de vormen van bepaalde vlekken kunnen optreden.

3.6. MODELVALIDATIE

Wanneer modellen gebruikt worden is het belangrijk om te bepalen of deze correcte resultaten geven. Dit gebeurt met behulp van validatie. Er zijn voor alle gebruikte modellen uitgebreide validatiestudies beschikbaar waarin aangetoond werd dat de modellen de werkelijke concentraties goed inschatten.

Voor de ATMO-Street-keten verwijzen we hiervoor naar Lefebvre en Vranckx (2013), Lefebvre et al. (2013) en de recente validatie met behulp van Curieuzeneuzen (Lefebvre et al., 2019). Uit de conclusies van deze laatste studie volgt o.a. dat:

- Het model de gemeten concentraties in Vlaanderen goed beschrijft.
- De verbeteringen die dankzij de Curieuzeneuzen-campagne aangebracht zijn de situatie nog verbeteren.
- De gemeten spatiale variatie goed verklaard wordt door het model.

Voor wat betreft VLOPS-IFDM is onlangs nog een uitgebreide validatie gebeurd (VMM, 2019b en bijlages). Hiervoor werden in 2017 de ammoniakconcentraties (NH_3) gemeten op 60 plaatsen in en rond 6 Europees beschermde natuurgebieden. Hieruit bleken volgende resultaten:

- Het model is goed in staat om de gemeten concentraties te reproduceren.
- Het toevoegen van het IFDM-model aan VLOPS om de resolutie te verhogen, verhoogt de

kwaliteit van de modelresultaten (stijging van de R^2 van 0.48 naar 0.74, daling van de RMSE van 54% naar 35% en verbetering van de bias van -15% naar -7%).

- Er was één sterk afwijkend meetpunt dat niet goed ingeschat werd door het model. Zonder dit meetpunt was er een BIAS van -5%, een RMSE van 25% en een R^2 van 0.85.
- De modelketen is vooral in gebieden met veel lokale bronnen uitstekend in staat om de concentraties te beschrijven.

Algemeen blijkt uit deze validaties dat de grootste bron van onzekerheden op het model de exacte bepaling van de emissies is.

HOOFDSTUK 4. RESULTATEN

De relevante grens- en streefwaardes binnen deze studie worden getoond in Tabel 3.

Tabel 3 : Uitsnede uit Tabel 1 voor de relevante polluenten binnen deze studie.

Wetgeving	Type	Polluent	Middelingstijd	Doelstelling	Aantal toegelaten overschrijdingen
EU	Grenswaarde	NO ₂	1 uur	200 µg/m ³	18 / jaar
			Jaar	40 µg/m ³	
WGO	Richtwaarde		1 uur	200 µg/m ³	
			Jaar	40 µg/m ³	
Vlaanderen	Richtwaarde		Jaar	20 µg/m ³	
EU	Streefwaarde	O ₃	Hoogste 8-uur glijdend gemiddelde per dag	120 µg/m ³	Gemiddeld over drie jaar niet meer dan 25 dagen/jaar
	Langetermijn-doelstelling			120 µg/m ³	
EU	Streefwaarde	PM _{2.5}	1 jaar	25 µg/m ³	
	Grenswaarde (2015)		1 jaar	25 µg/m ³	
	Indicatieve grenswaarde (2020)		1 jaar	20 µg/m ³	
	Streefwaarde (2020)		GGBI ²²	15,7 µg/m ³	
WGO	Richtwaarde		1 Jaar	10 µg/m ³	
			Dag	25 µg/m ³	3 / jaar

In dit hoofdstuk worden de gevonden resultaatkaarten besproken waarbij er vooral gekeken wordt hoe deze zich verhouden tot de normen die er zijn voor deze polluenten.

Op Figuur 17 zien we de jaargemiddelde concentratie van stikstofdioxide voor het jaar 2017 in de twee gemeenten. Op de kaart zijn direct de wegen duidelijk herkenbaar met als grootste blikvanger de E19-autosnelweg die de gemeenten kruist. Ook enkele gewestwegen zijn herkenbaar en waar

²² De GGBI (Gewestelijke Gemiddelde Blootstellings Indicator) is voor Vlaanderen gedefinieerd als de gemiddelde concentratie van Brugge, Borgerhout, Schoten en Gent over het jaar voor, het jaar van en het jaar na het jaartal waarvoor deze berekend wordt.

deze wegen tussen de huizen komen zien we verhoogde street-canyon-concentraties (in het bijzonder de N14 bij de passage door Hoogstraten). In die street canyon concentraties worden lokaal nog concentraties boven de Europees toegestane limiet ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gemodelleerd. De concentratie-lange-termijn-doelstelling van $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ uit het Luchtplan Vlaanderen wordt nog overschreden langs enkele drukke wegen, in de nabijheid van de autosnelweg en in het uiterste zuidwesten van Wuustwezel. Dat wegverkeer hiervoor een belangrijke sector zou zijn hadden we al kunnen afleiden uit de emissies (Tabel 2).

Voor ozon (Figuur 18) zien we het tegengestelde patroon omdat verkeeremissies op korte afstand ozon afbreken (en op lange afstand ozon creëren). We zien dus lagere concentraties rond de belangrijkste wegen en hogere concentraties ver weg van deze. Voor deze kaart is geen street canyon modellering meegenomen. Rekening houdende met de relatief lage ozonconcentraties gemiddeld in Vlaanderen en met het feit dat op lange afstand stikstofdioxides ook ozon veroorzaken is het aangewezen van te focussen op de bron van het NO_2 -probleem.

Op Figuur 19 zien we de jaargemiddelde concentratie van fijn stof ($\text{PM}_{2.5}$) voor het jaar 2017 in de twee gemeenten. Over het algemeen zien we lage concentraties en worden de Europese normen (20 en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) niet overschreden. We zien echter enkele vlekjes waar deze wel overschreden worden in de kernen van de dorpen. Dit komt door de verhoogde concentraties door houtverbranding die daar gemodelleerd worden (zie ook de belangrijke emissies van houtverbranding in Tabel 2). Dit duidt er echter niet op dat de concentraties daar in werkelijkheid de Europese norm overschrijden aangezien we niet weten waar er veel hout verbrand wordt en waar niet (zie §3.3). Deze vlekken wijzen er wel op dat de jaargemiddelde $\text{PM}_{2.5}$ -norm mogelijks wel overschreden wordt in de nabijheid van sterke bronnen van houtverbranding. We hebben echter geen data om deze exact te lokaliseren op de kaart. De WGO-richtwaarde voor $\text{PM}_{2.5}$ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wordt overal overschreden in het studiegebied.

Op Figuur 20 vinden we de jaargemiddelde depositie van reactief stikstof terug in de betrokken gemeenten. De kleurschaal is hierbij gebaseerd op wat verschillende soorten natuur aankunnen qua hoeveelheden reactief stikstof. De meest gevoelige natuur die in Vlaanderen te vinden is heeft een kritische depositiewaarde (KDW) van $6 \text{ kgN}/\text{ha}/\text{jaar}$ terwijl de minst gevoelige natuur (die toch nog gevoelig is aan stikstofdepositie) een KDW heeft van $32 \text{ kgN}/\text{ha}/\text{jaar}$. De ondergrens op de kaart is gekozen als 5% (uit het significantiekader landbouw) van de meest gevoelige natuur. Binnen het huidige significantiekader van de PAS wordt een depositie onder deze grens ($0,3 \text{ kgN}/\text{ha}/\text{jaar}$) als niet significant beschouwd. Het is belangrijk om erop te wijzen dat in Nederland deze nulwaarde als veel lager ingeschat wordt.

We vinden in het grootste deel van de gemeenten een stikstofdepositie van meer dan $30 \text{ kgN}/\text{ha}/\text{jaar}$. We zullen later (§5.4.3) deze data nog vergelijken met de draagkracht van de natuur.

Voor de geurconcentraties (Figuur 21, Figuur 22) worden twee kaarten weergegeven. Enerzijds gaat het over de gemiddelde geur over het jaar, anderzijds over het P98-percentiel. Dit laatste is de concentratie die 175 uur per jaar overschreden wordt, of 2% van de tijd. Voor iedere locatie worden dus alle uurconcentraties geordend van hoog naar laag en wordt de 176-hoogste concentratie afgebeeld. Geurconcentraties worden over het algemeen beoordeeld op basis van deze laatste kaart.

Om een kader te hebben kijken we naar het significantiekader uit het richtlijnenboek (RLB) landbouwdieren en we nemen daarbij het kader voor de clusters van bedrijven (aangezien we hier naar een totaalkaart kijken en niet naar de invloed van één bedrijf). Dit richtlijnenboek beschrijft volgend kader voor:

- $10 \text{ OU}_E/\text{m}^3$ als 98-percentiel: wordt voorgesteld als grenswaarde voor een varkenscluster,

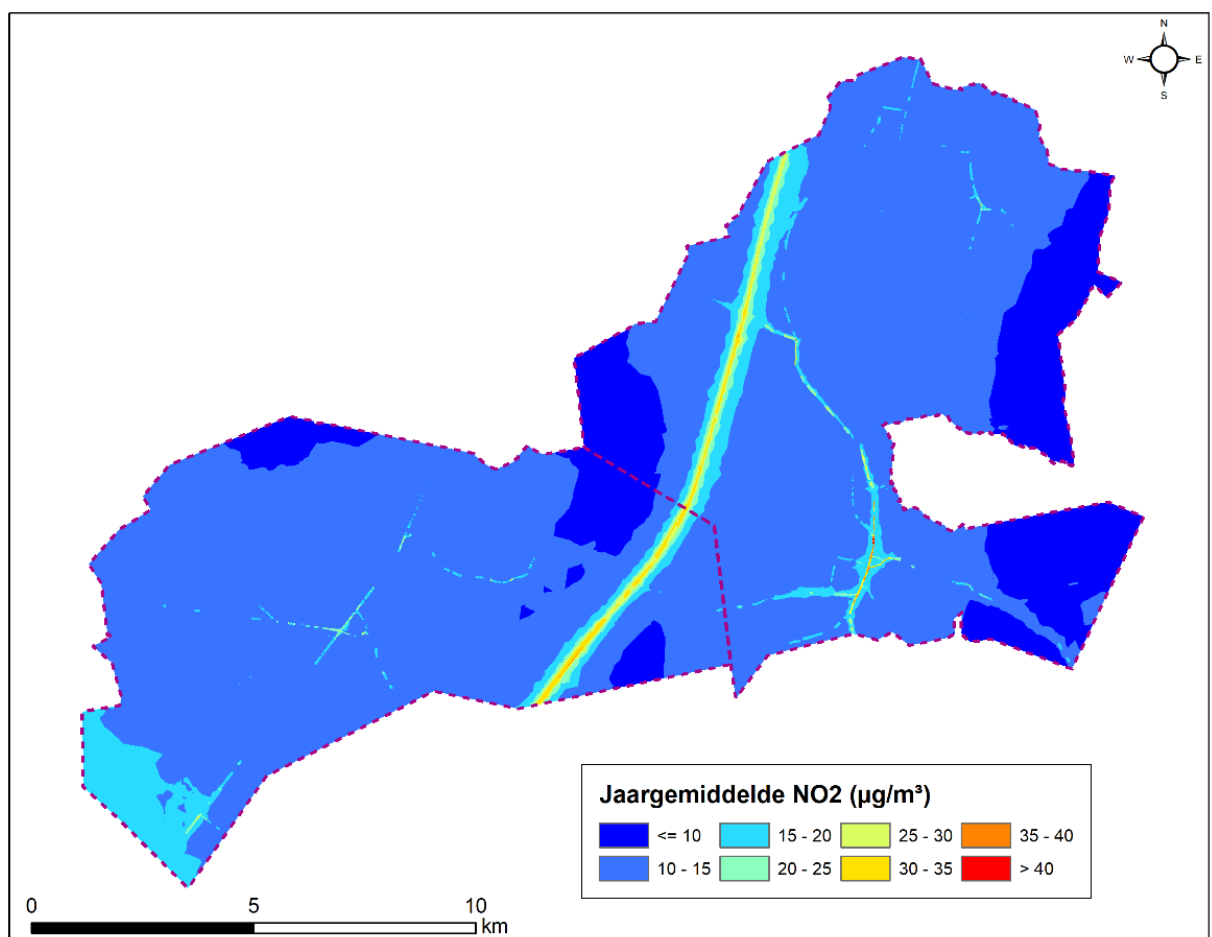
waarbij dient getoetst te worden t.o.v. verspreide woningen in agrarisch gebied (hierbij worden geen woningen gerekend van andere, naburige veehouderijen).

- 3 OU_E/m^3 als 98-percentiel: wordt voorgesteld als richtwaarde voor een varkenscluster, waarbij dient te worden getoetst t.o.v. hoog geurgevoelige bestemmingen (woongebied volgens gewestplan, ziekenhuizen, scholen, winkelcentra, kampeerterreinen etc.).
- De tussenwaarde van 5 OU_E/m^3 als 98-percentiel werd in vroegere versies van het visiedocument voorgesteld als richtwaarde (3 OU_E/m^2 werd toen voorgesteld als streefwaarde i.p.v. richtwaarde). Deze waarde is in de laatste versie van het visiedocument (versie september 2008) niet meer voorzien. Nochtans, om ook woongebieden met landelijk karakter enige bescherming te kunnen bieden, is een tussenliggende toetsingswaarde aangewezen (visie Dienst Hinder en Risicobeheer). Woongebieden met landelijk karakter dienen getoetst te worden ten opzichte van deze waarde van 5 OU_E/m^3 als 98-percentiel.

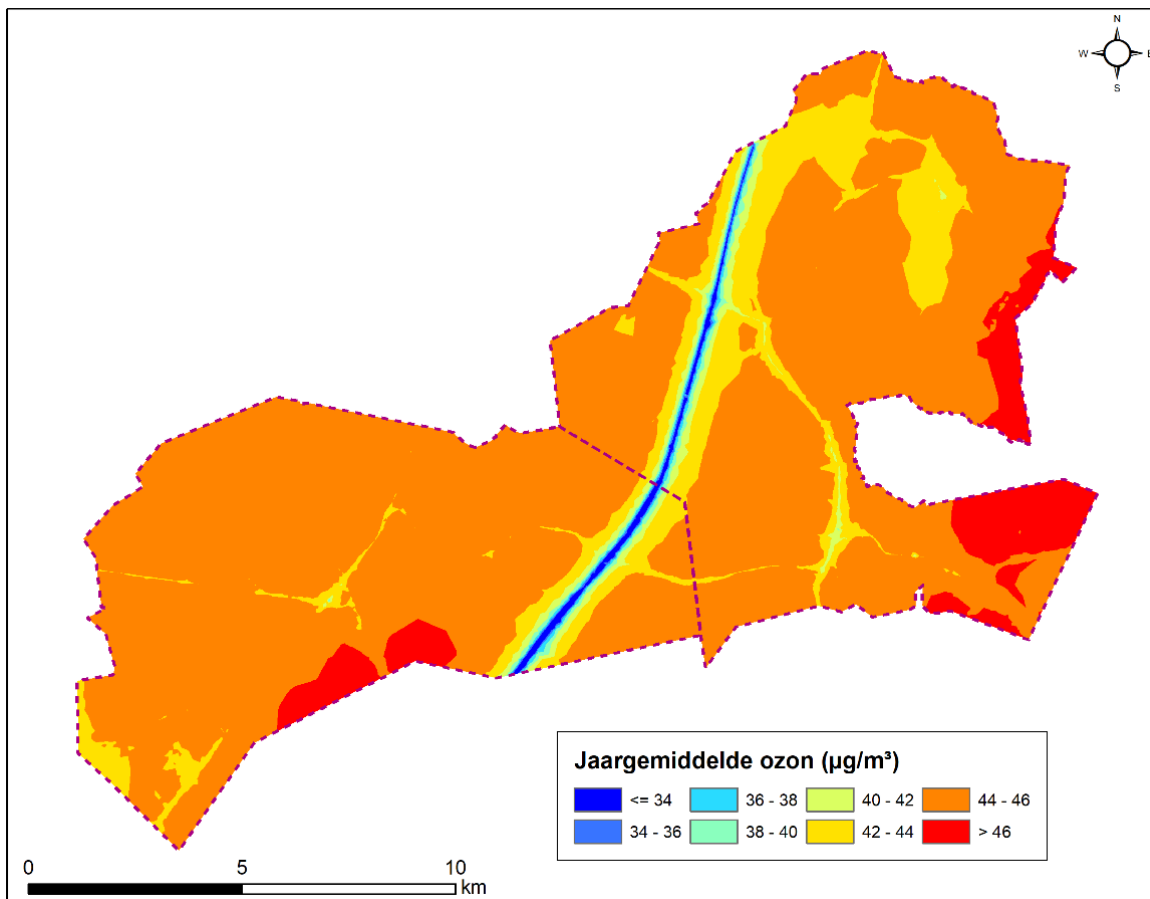
Opmerking: strikt genomen werd bovenstaande ontwikkeld voor varkensbedrijven. Deze werkmethode wordt echter aangeraden voor alle veehouderijen.

Hierbij worden dan alleen uitgegaan van de 'aanzienlijk negatieve effecten'. De negatieve effecten en de beperkt negatieve effecten worden dan nog niet bekeken.

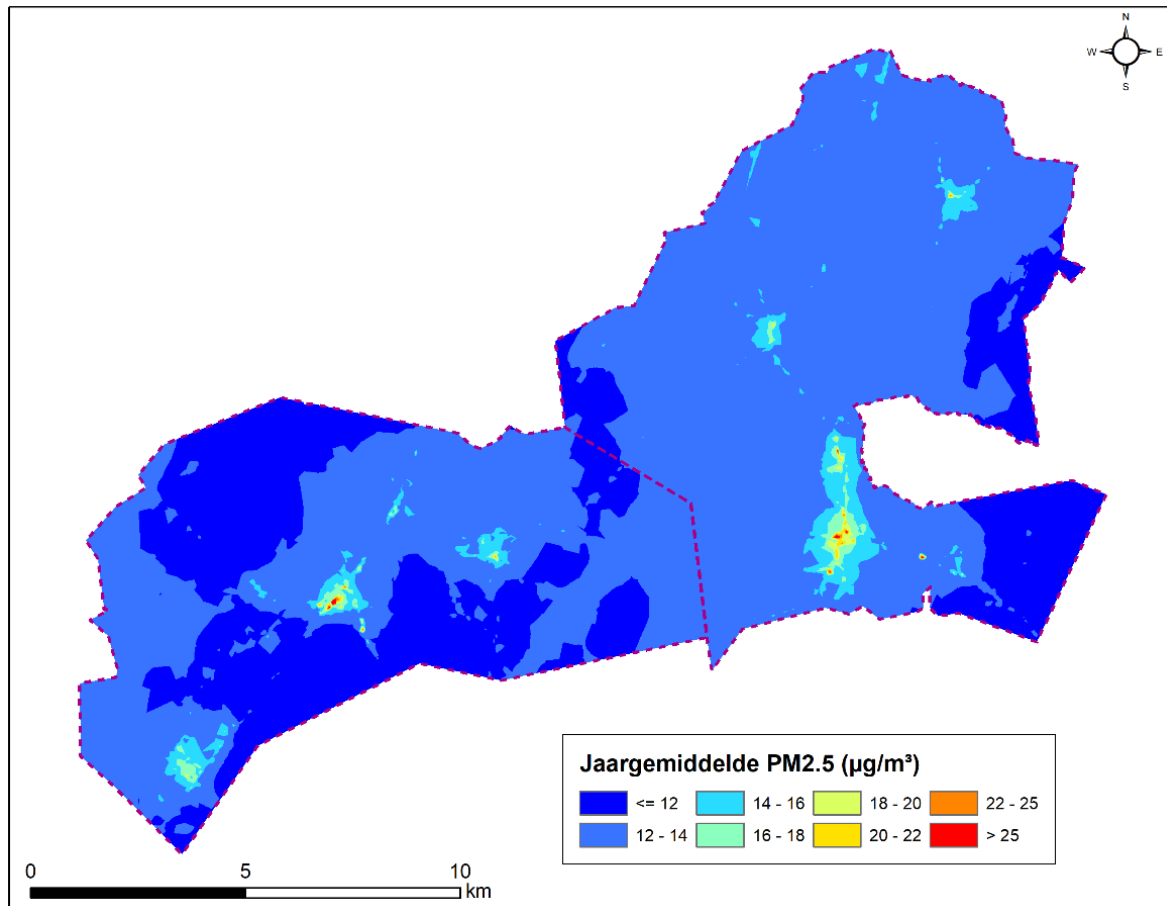
We zien dat de grens van 3 OU_E/m^3 overal overschreden wordt, de grens van 5 OU_E/m^3 alleen niet in het uiterste zuidwesten van Wuustwezel en dat de grens van 10 OU_E/m^3 in grote delen van de gemeenten (ruim) overschreden wordt. Men kan dus stellen dat beide gemeenten zwaar te lijden hebben van geurhinder.



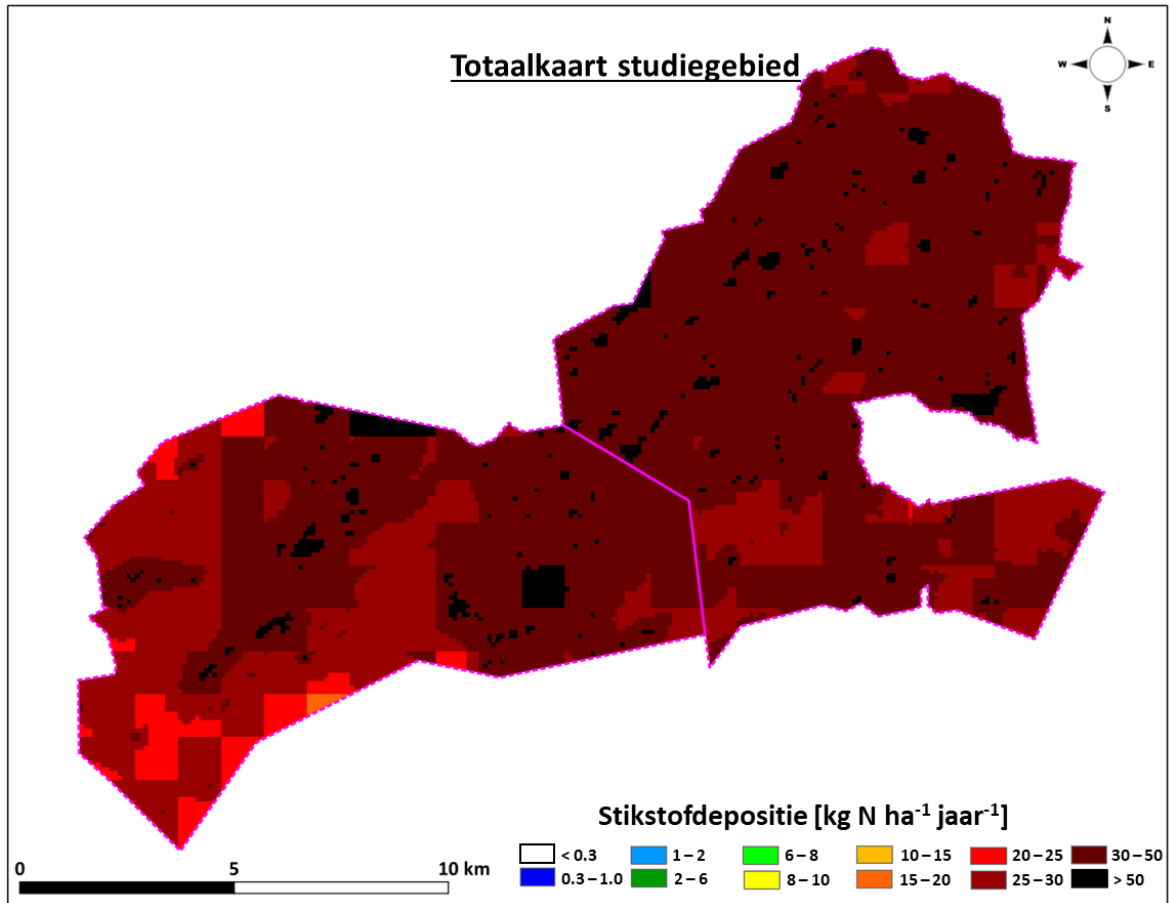
Figuur 17 : Jaargemiddelde concentratie NO₂ (in µg/m³) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.



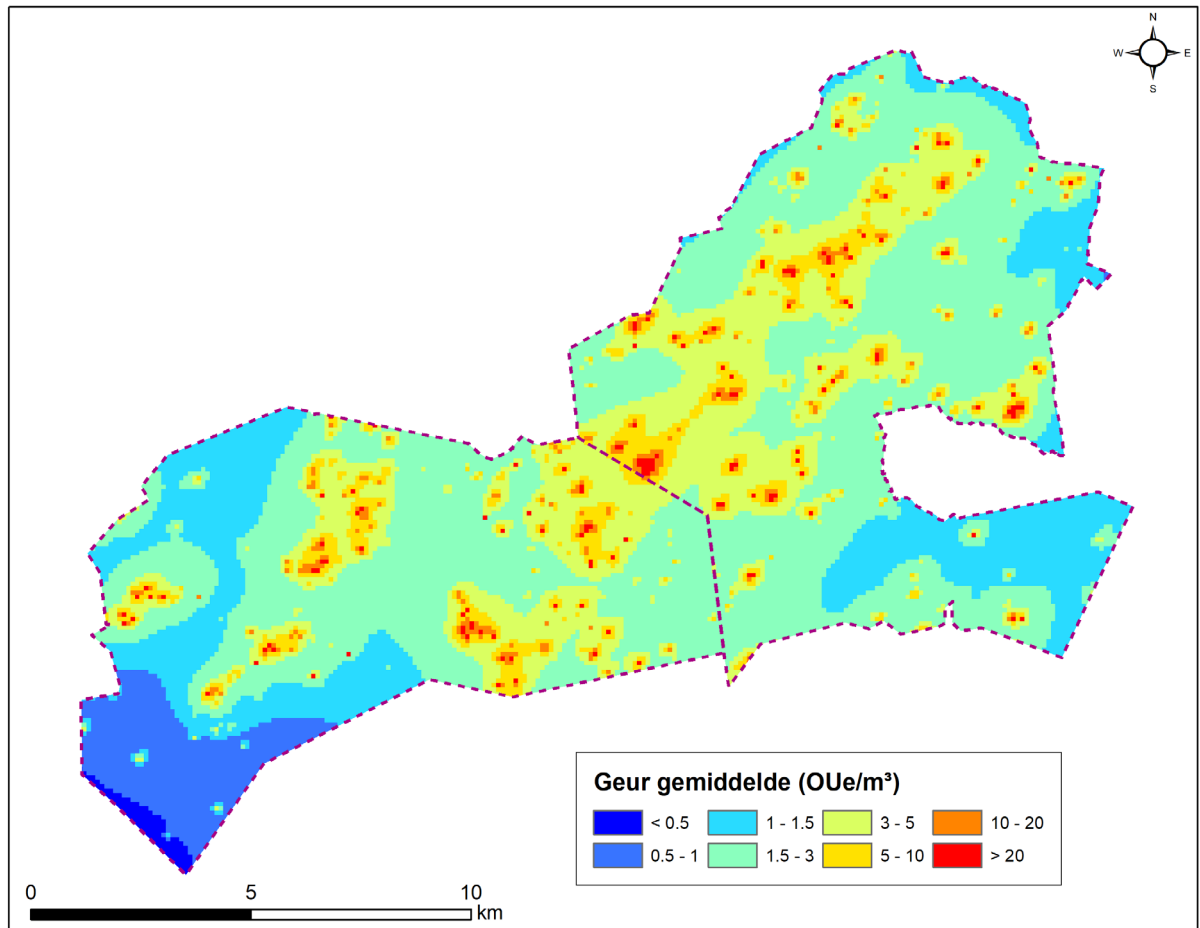
Figuur 18 : Jaargemiddelde concentratie ozon (in µg/m³) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.



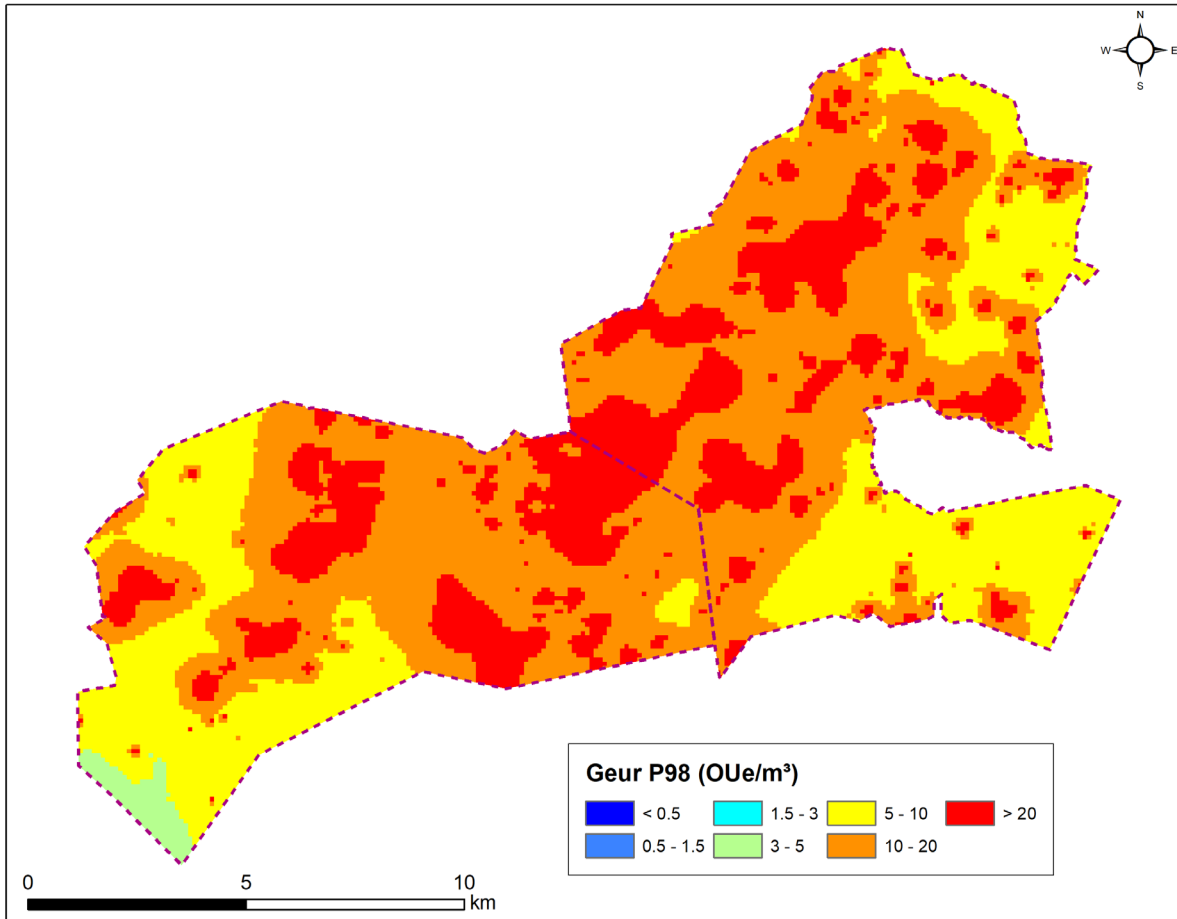
Figuur 19 : Jaargemiddelde concentratie PM_{2.5} (in µg/m³) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.



Figuur 20 : Jaargemiddelde depositie van reactieve stikstof (in kgN/ha/jaar) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.



Figuur 21 : Jaargemiddelde concentratie geur (in OU_e/m^3) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.



Figuur 22 : P98-percentie van de geurconcentratie (in OU_e/m^3) voor het jaar 2017 in de gemeenten Hoogstraten en Wuustwezel.

HOOFDSTUK 5. BRONTOEWIJZING

5.1. ALGEMEEN

In wat volgt worden de resultaten van de ATMO-Street-berekeningen in detail besproken aan de hand van de relatieve bijdrage van een bepaalde sector tot de totale pollutieconcentratie. Algemeen geldt er dat een lage waarde voor de relatieve bijdrage betekent dat een bepaalde sector maar weinig bijdraagt tot de totale pollutieconcentratie binnen het studiegebied, op die specifieke plaats. Dit wordt aan de hand van verschillende figuren met de relatieve bijdrage aan NO₂ of PM_{2.5}-concentratie per sector en per gemeente weergegeven. Deze relatieve bijdrage wordt uitgedrukt in %. De maximale relatieve bijdrage per sector wordt weergegeven in Tabel 4. Hieruit blijkt dat de belangrijkste sectoren die lokaal sterk bijdragen aan de PM_{2.5}-concentratie 'huishoudens', 'wegverkeer' en 'stallen' zijn. Voor de NO₂-concentratie zijn dit naast 'wegverkeer' en 'huishoudens' ook nog 'glastuinbouw', en 'luchtvaart'. Indien de maximale relatieve bijdrage van een bepaalde sector binnen het studiegebied lager ligt dan 1%, wordt hun bijdrage verwaarloosbaar geacht. Dit is het geval voor sommige sectoren (vetgedrukte cijfers in Tabel 4). Voor deze sectoren worden dan ook geen figuren getoond.

Tabel 4: De maximale relatieve bijdrage van iedere sector (in %) tot de totale NO₂- en PM_{2.5}-concentraties binnen het studiegebied. De cijfers in het vetgedrukt tonen aan dat de desbetreffende sector een minimale bijdrage heeft tot de totale pollutieconcentratie.

Sector	Max. bijdrage NO ₂ [%]	Max. bijdrage PM _{2.5} [%]
Luchtvaart	17	0.5
Kunstmest	7	<0.01
Industrie en energie	4	0.4
Huishoudens	18	57
Handel en diensten	2	0.03
Glastuinbouw	27	4
Andere landbouw	7	0.2
Weidedieren	6	1
Stallen	<0.01	13
Mestverwerking	<0.01	<0.01
Wegverkeer	81	13

5.2. BRONTOEWIJZING PM_{2.5}

In Figuur 23 wordt de totale som van de relatieve bijdrage van alle lokale bronnen binnen het studiegebied tot de totale PM_{2.5}-concentratie getoond. Wat meteen opvalt is de relatief hoge bijdrage van de E19 en de bevolkingscentra tot de totale PM_{2.5}-concentratie. Uit Figuur 24 waarin de relatieve bijdrage van alle niet-lokale bronnen getoond wordt, blijkt echter dat het overgrote gedeelte van de totale PM_{2.5}-concentratie veroorzaakt wordt door niet-lokale bronnen (zwarte kleur op de figuur toont een bijdrage van meer dan de helft tot de totale PM_{2.5}-concentratie). Dit is ook consistent met wat we elders in Vlaanderen zien en heeft te maken met het regionale karakter van

het merendeel van de fijnstofconcentratie. Wel kunnen de dorpskernen van Wuustwezel, Hoogstraten en Wortel opgemerkt worden door de kleine bruine vlekjes op de figuur.

In Figuur 25 en Figuur 26 worden de $PM_{2.5}$ -bijdrage van alle lokale bronnen in respectievelijk Hoogstraten en Wuustwezel binnen het studiegebied getoond. Slechts een klein gedeelte van de $PM_{2.5}$ -concentratie in een beperkt gebied rond de gemeentegrens met Wuustwezel wordt veroorzaakt door lokale bronnen in Hoogstraten (tussen 1-3%). Doordat fijn stof gemakkelijk meegevoerd wordt met de wind (in België is de overheersende windrichting zuidwesten), is de $PM_{2.5}$ -bijdrage van lokale bronnen uit Wuustwezel wat meer uitgesproken ten noord-noordoosten van de gemeentegrens met Hoogstraten.

Figuur 27 geeft de relatieve bijdrage van de omringende gemeenten weer. Voornamelijk de buurgemeenten ten zuid-zuidwesten van het studiegebied dragen significant bij tot de totale $PM_{2.5}$ -concentratie binnen het studiegebied. Dit treft vooral de gemeente Wuustwezel ter hoogte van 'Achterbroek' (ten westen van Wuustwezel) en 'Heibaart' (ten zuidoosten van Wuustwezel).

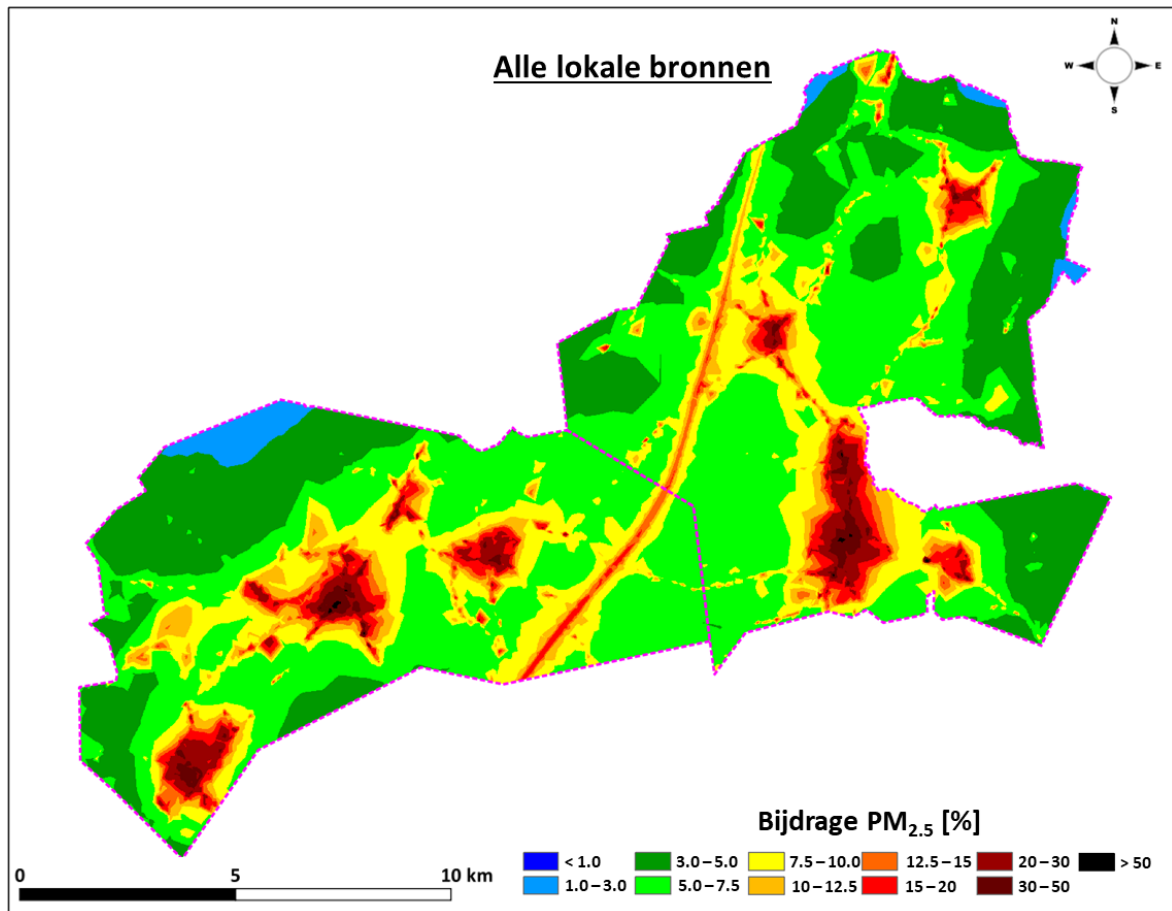
In de volgende figuren wordt de $PM_{2.5}$ -bijdrage per individuele sector bekeken. Zo wordt in Figuur 28 de relatieve bijdrage van de sector 'huishoudens' getoond. Deze sector heeft logischerwijs de grootste bijdrage tot de totale $PM_{2.5}$ -concentratie, wat ook duidelijk naar voor kwam uit Tabel 4 waar de maximale $PM_{2.5}$ -bijdrage op 57% lag voor de sector 'huishoudens'. Hoge residentiële emissies worden immers vaak geassocieerd met residentiële verwarming door houtstook. Afhankelijk van het type houtkachel dat men gebruikt, kan deze bijdrage erg oplopen. Omdat de exacte cijfers voor lokale residentiële verwarming binnen de twee gemeenten ontbreken, is dit een inschatting op basis van Vlaamse gebruiksstatistieken. Vooral in de gemeente Wuustwezel vallen de dorpen Gooreind, Wuustwezel, Braken en Lorenhout op; in de gemeente Hoogstraten zijn dit de dorpen Wortel, Meer, Meerle, Hoogstraten en Minderhout, en de omgeving van Meersel-Dreef. Daarnaast kan men duidelijk de lintbebouwing in Hoogstraten rond het dorp Meer waarnemen, vooral in de richting van de as Beek-Minderhout-Hoogstraten. De hoogste $PM_{2.5}$ -bijdrages bevinden zich voornamelijk ter hoogte van de dorpskernen. De belangrijke bijdrage van de huishoudens aan de totale concentratie is ook consistent met de bijdrage in de emissies zoals getoond in Tabel 2.

Figuur 29 toont de relatieve $PM_{2.5}$ -bijdrage door de sector 'wegverkeer'. De grootste bijdrage binnen deze sector wordt geleverd door de E19-snelweg die beide gemeenten kruist. Een "pollutie-bijdrageband" heeft zich rond deze snelweg ontwikkeld die snel afneemt van een bijdrage van '12.5 - 15%' naar '5 - 7.5%' en daarna verder uitgesmeerd wordt in een "bijdrageband" van '1 - 3%'. Daarnaast zijn een aantal invalswegen naar verschillende dorpen duidelijk zichtbaar door een "bijdrageband" van '1 - 3%' rond deze wegen. Hoe breder deze "bijdrageband" hoe drukker (en/of vervuilerder) het verkeer op deze wegen, iets wat duidelijk zichtbaar is voor de gewestwegen N144, N124, N126 en N14 in de gemeente Hoogstraten. Daarnaast is het op- en afrittencomplex ter hoogte van Meer ook zichtbaar met een licht uitgesmeerde, verhoogde $PM_{2.5}$ -bijdrage van '3 - 5%'. Ook deze bijdrage is consistent met de emissiebijdrage waar wegverkeer de 2^e grootste bijdrage was in de $PM_{2.5}$ -emissies (Tabel 2).

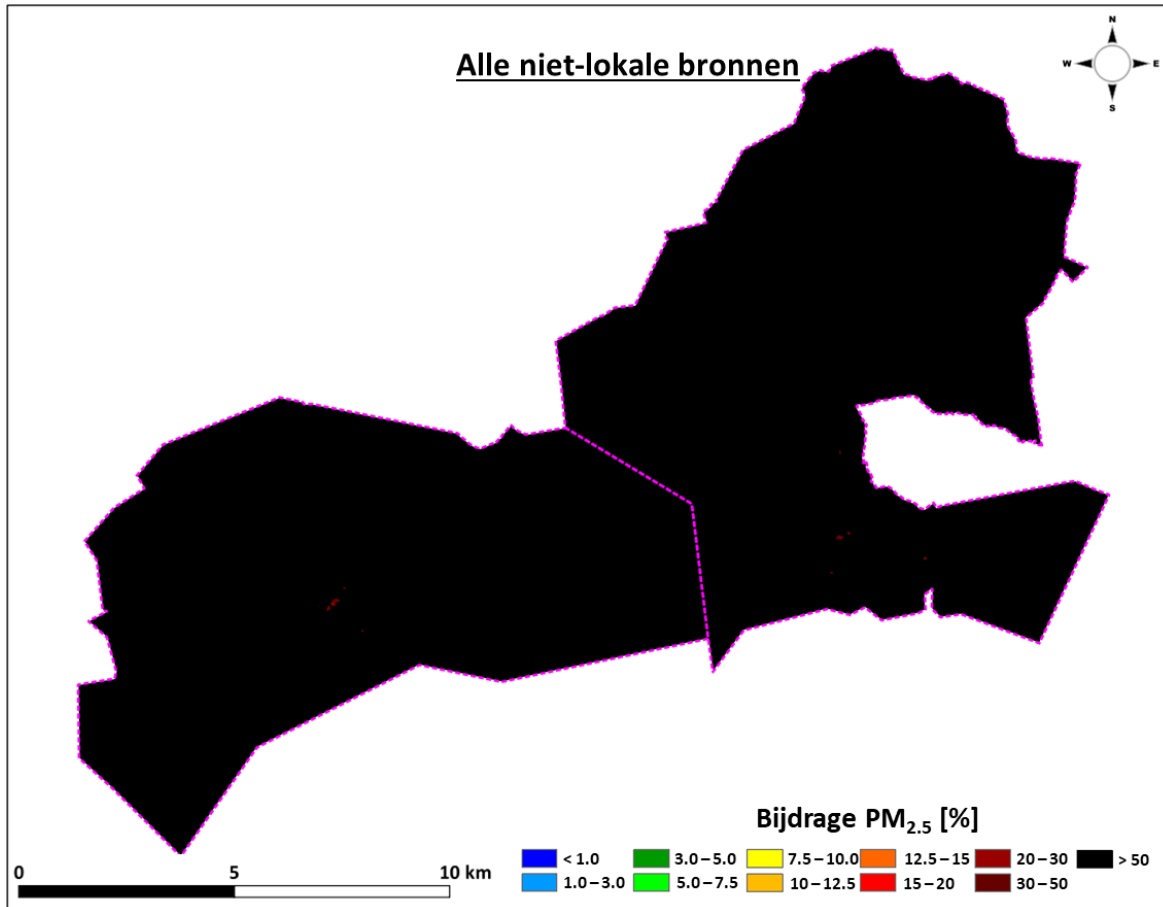
In Figuur 30 en Figuur 31 worden de relatieve $PM_{2.5}$ -bijdrages voor respectievelijk de sectoren 'stallen' en 'weidedieren' getoond. De veelvuldige aanwezigheid van stallen in het studiegebied is duidelijk door het 'vlekkenpatroon' van verhoogde $PM_{2.5}$ -bijdrages in het studiegebied. Daarentegen is de $PM_{2.5}$ -bijdrage van weidedieren heel beperkt tot slechts één zichtbare locatie (maximale $PM_{2.5}$ -bijdrage van 1%) in het zuidwesten van Wuustwezel, ter hoogte van Akkerveken.

De $PM_{2.5}$ -resultaten voor de sector 'glastuinbouw' worden getoond in Figuur 32. Deze sector is vooral belangrijk voor de gemeente Hoogstraten met een piek- $PM_{2.5}$ -bijdrage van 3 - 5% vooral in het

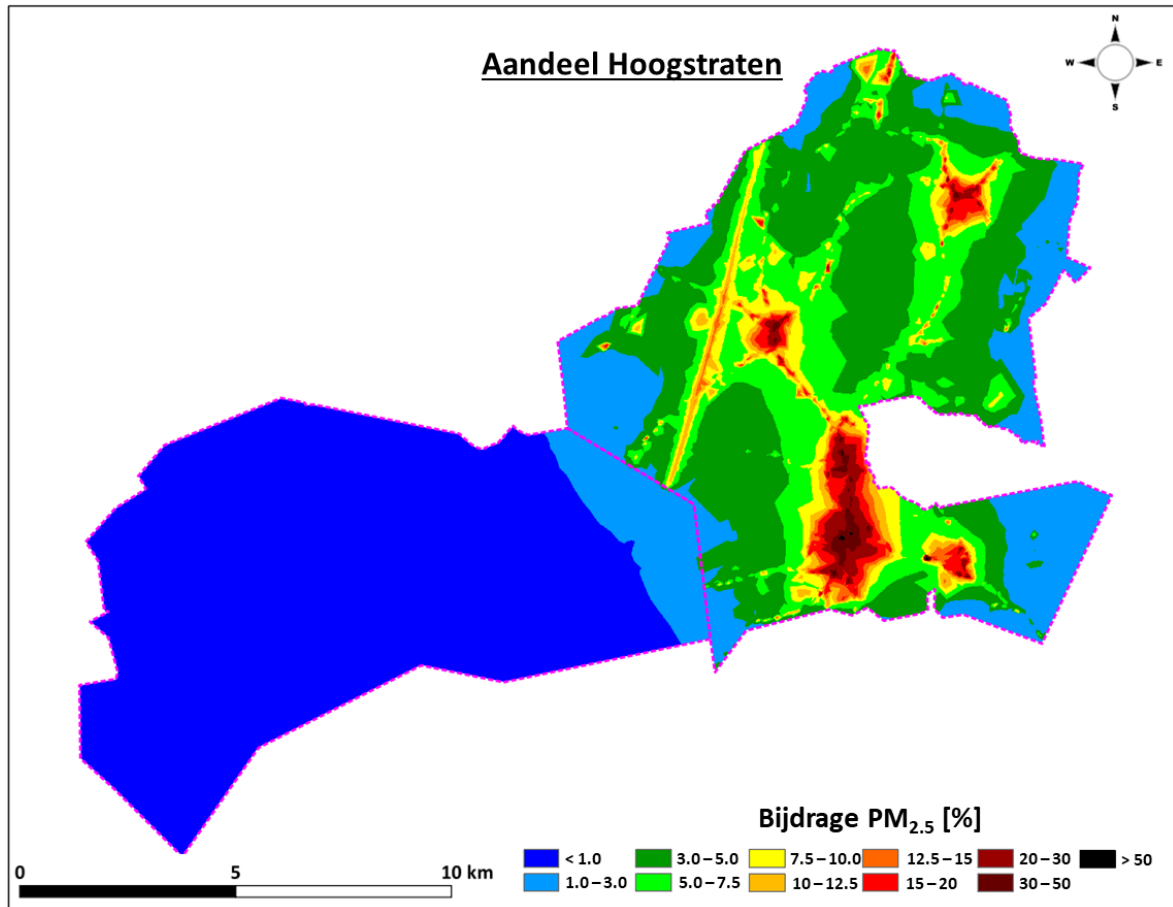
noordoosten van deze gemeente. Anderzijds blijft dit echter een beperkte bijdrage. Deze bijdrage is waarschijnlijk groter dan elders in Vlaanderen vanwege de belangrijke rol van glastuinbouw in de betrokken gemeenten (Tabel 2).



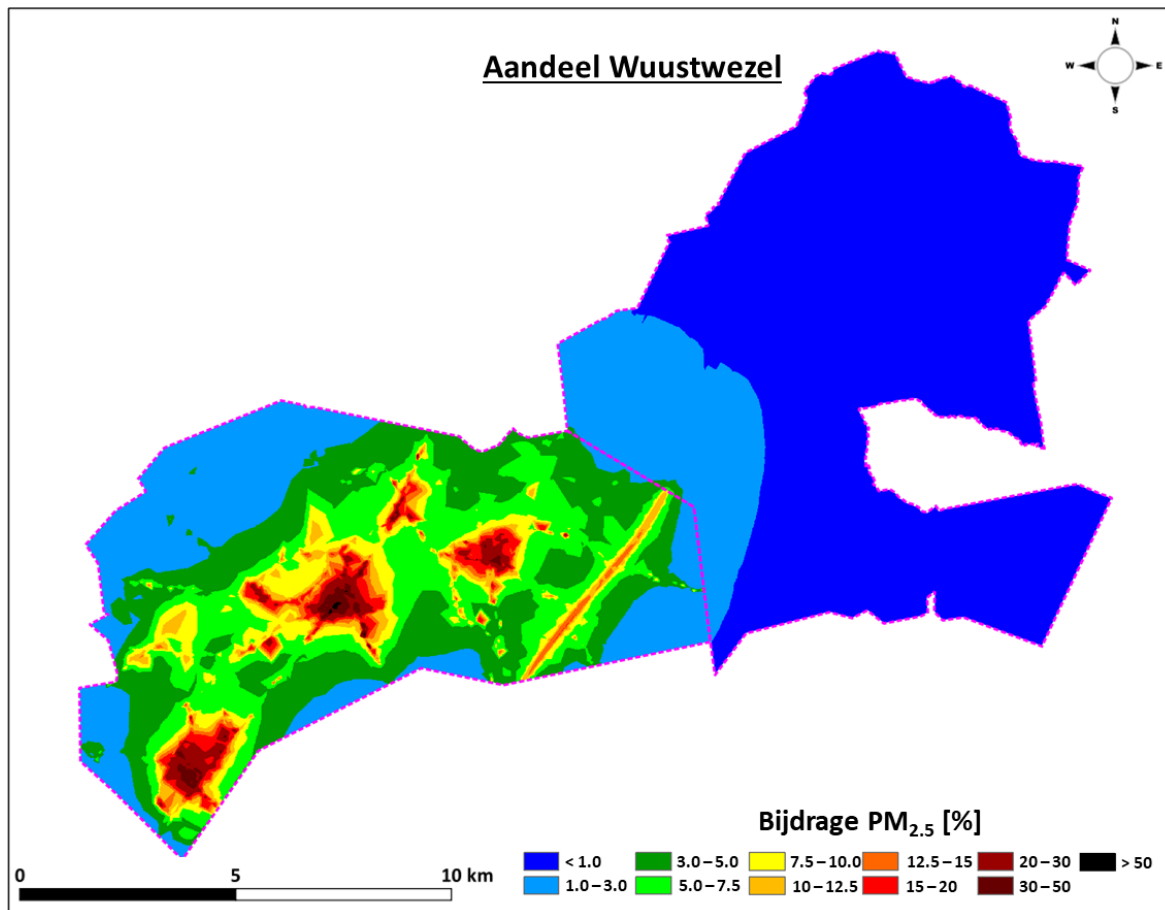
Figuur 23: De som van de relatieve bijdrages door alle lokale bronnen samen tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



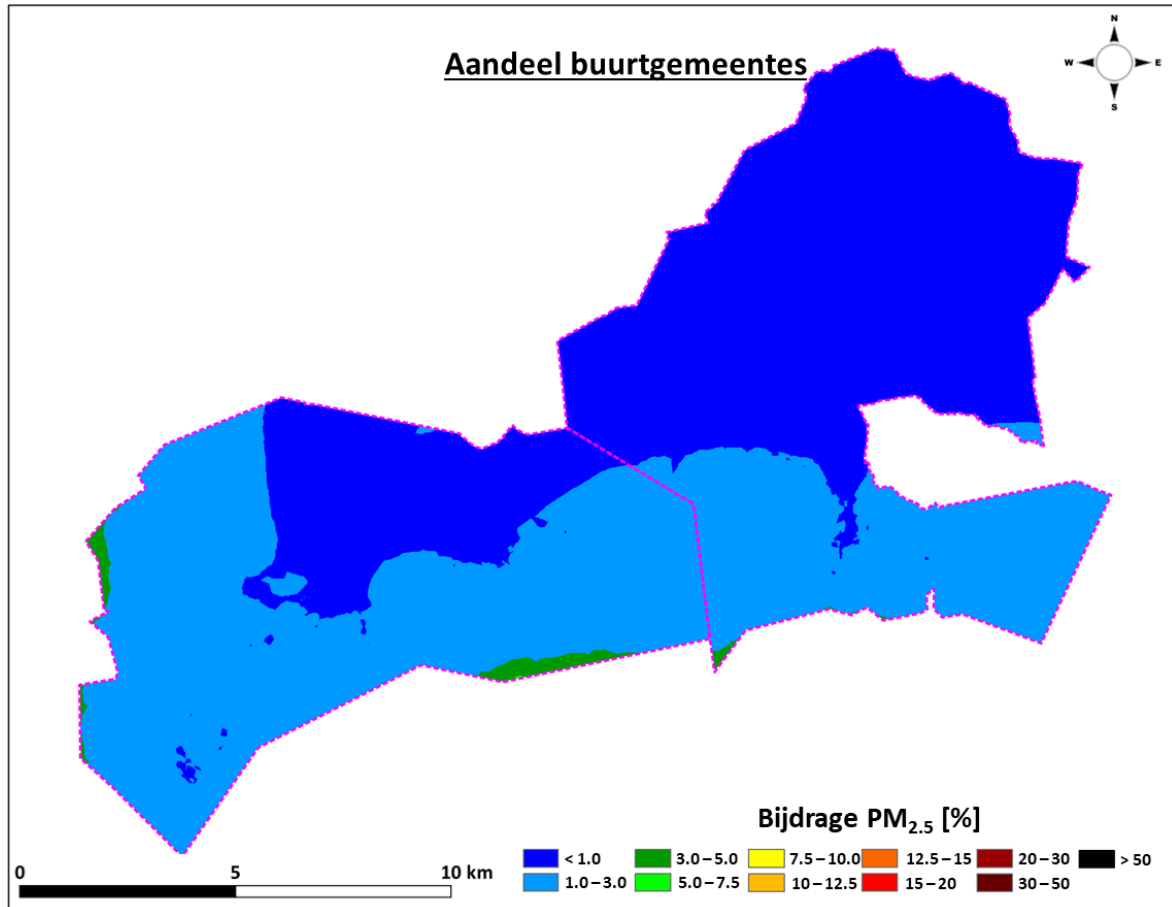
Figuur 24: De som van de relatieve bijdrages door alle niet-lokale bronnen samen tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



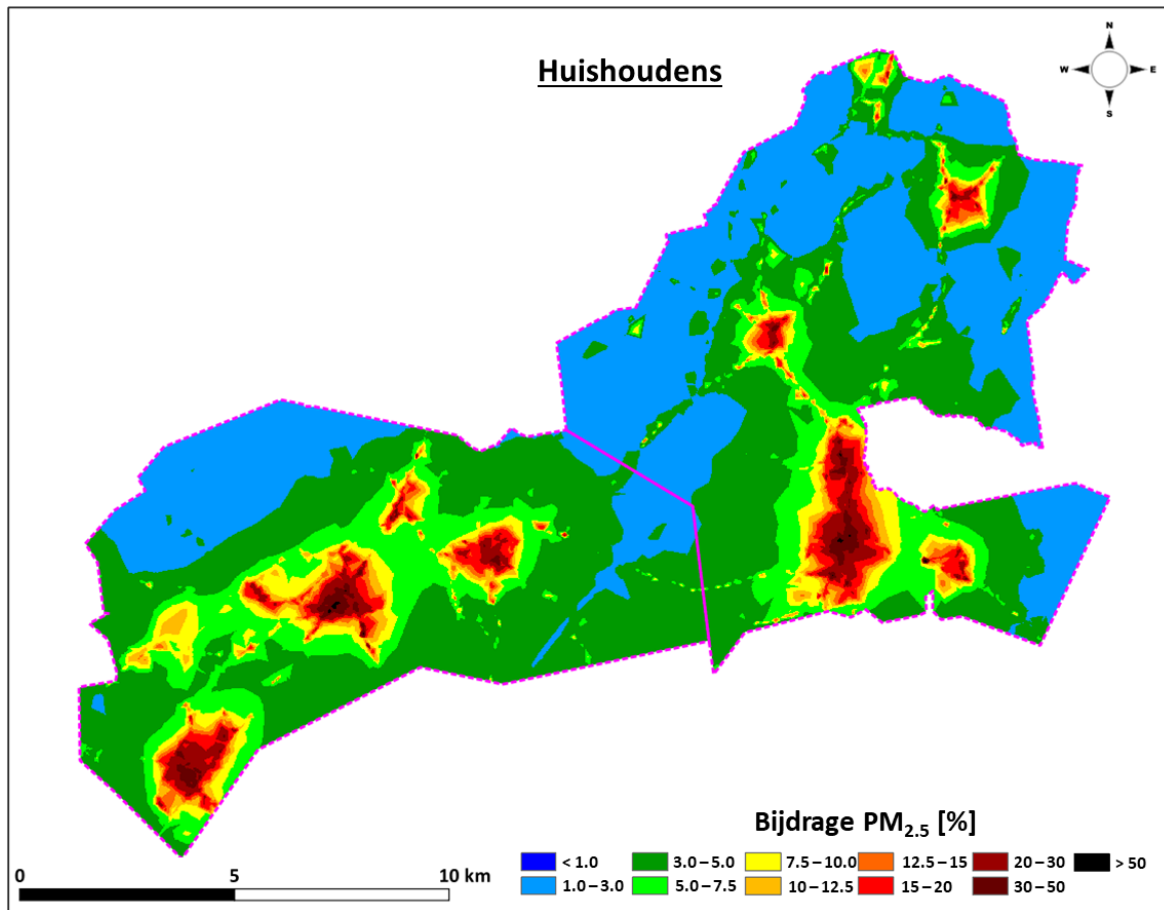
Figuur 25: De som van de relatieve bijdrages door alle bronnen in de gemeente Hoogstraten samen tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



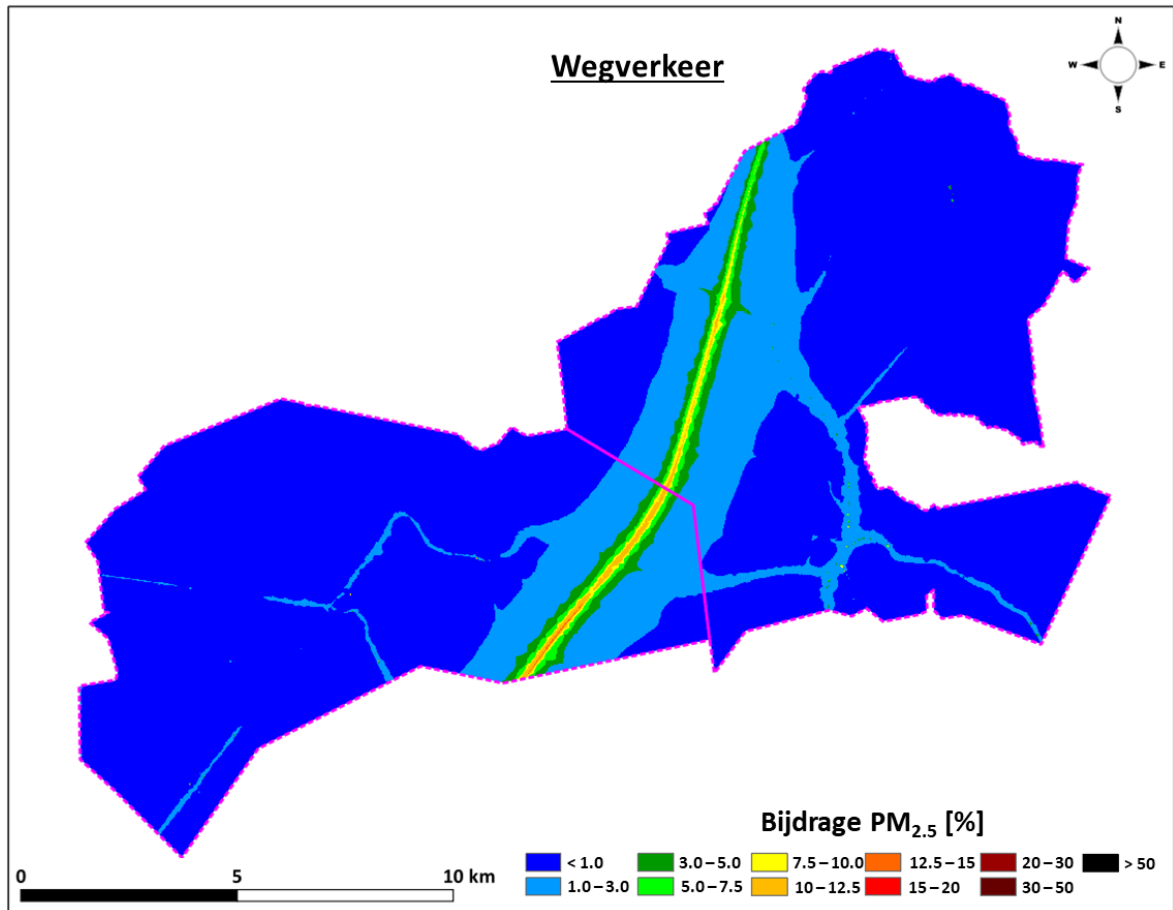
Figuur 26: De som van de relatieve bijdrages door alle bronnen in de gemeente Wuustwezel samen tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



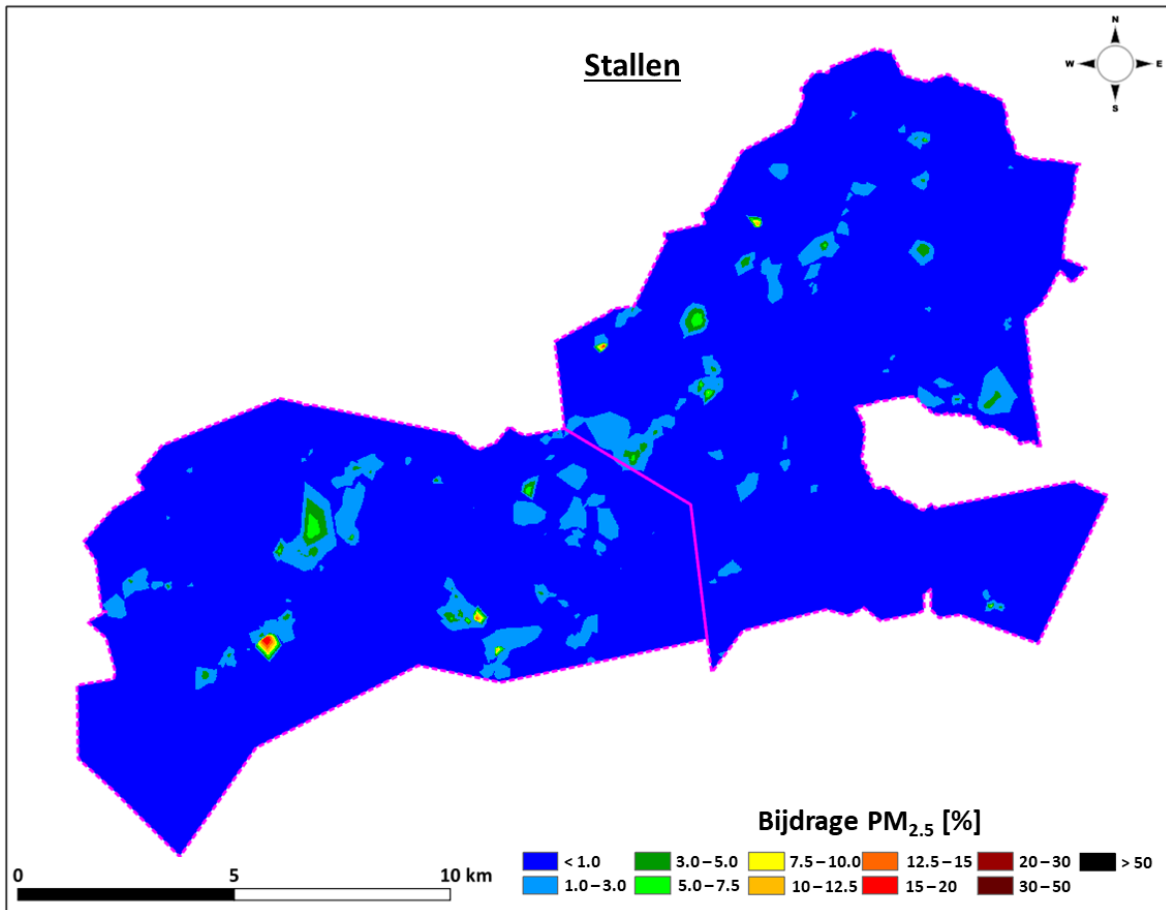
Figuur 27: De som van de relatieve bijdrages door de omliggende gemeenten van Hoogstraten en Wuustwezel samen tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



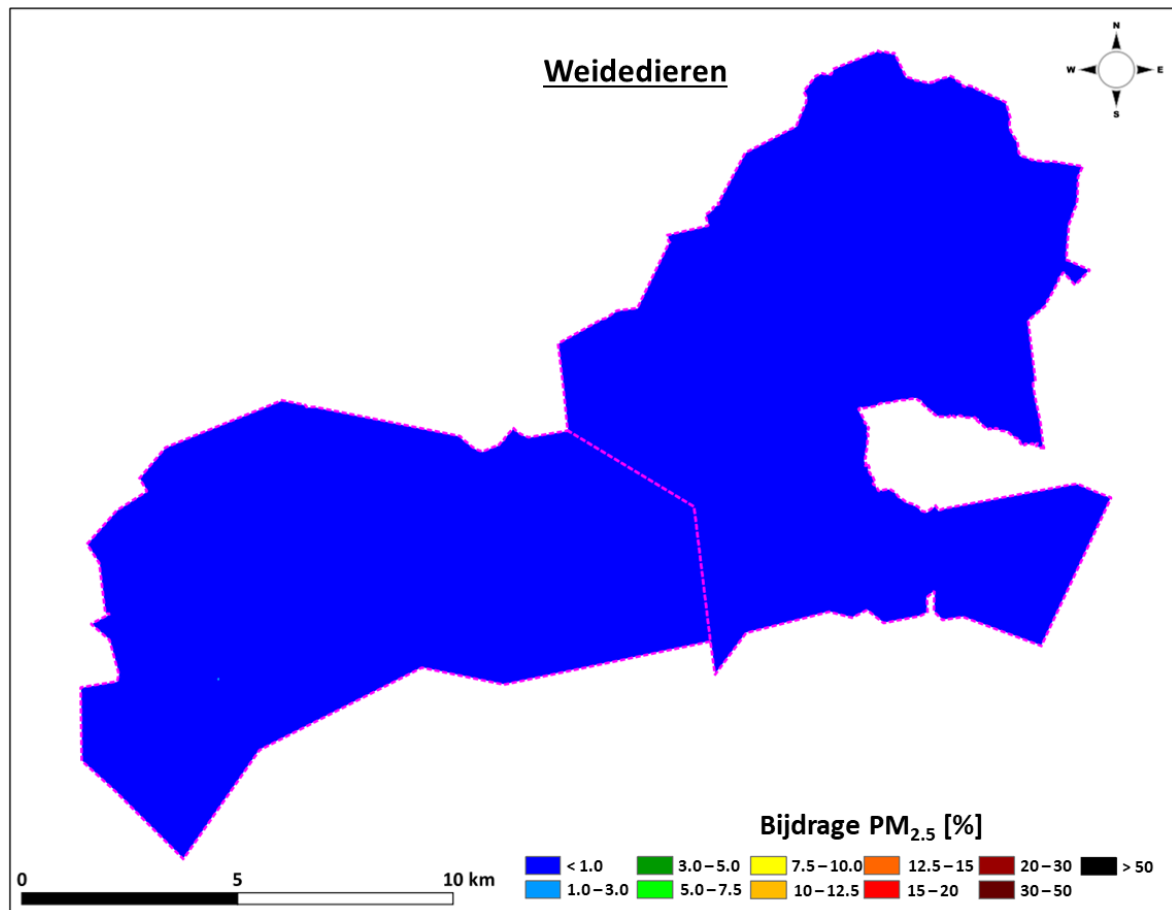
Figuur 28: De relatieve bijdrage door de sector 'huishoudens' tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. De gemeentegrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



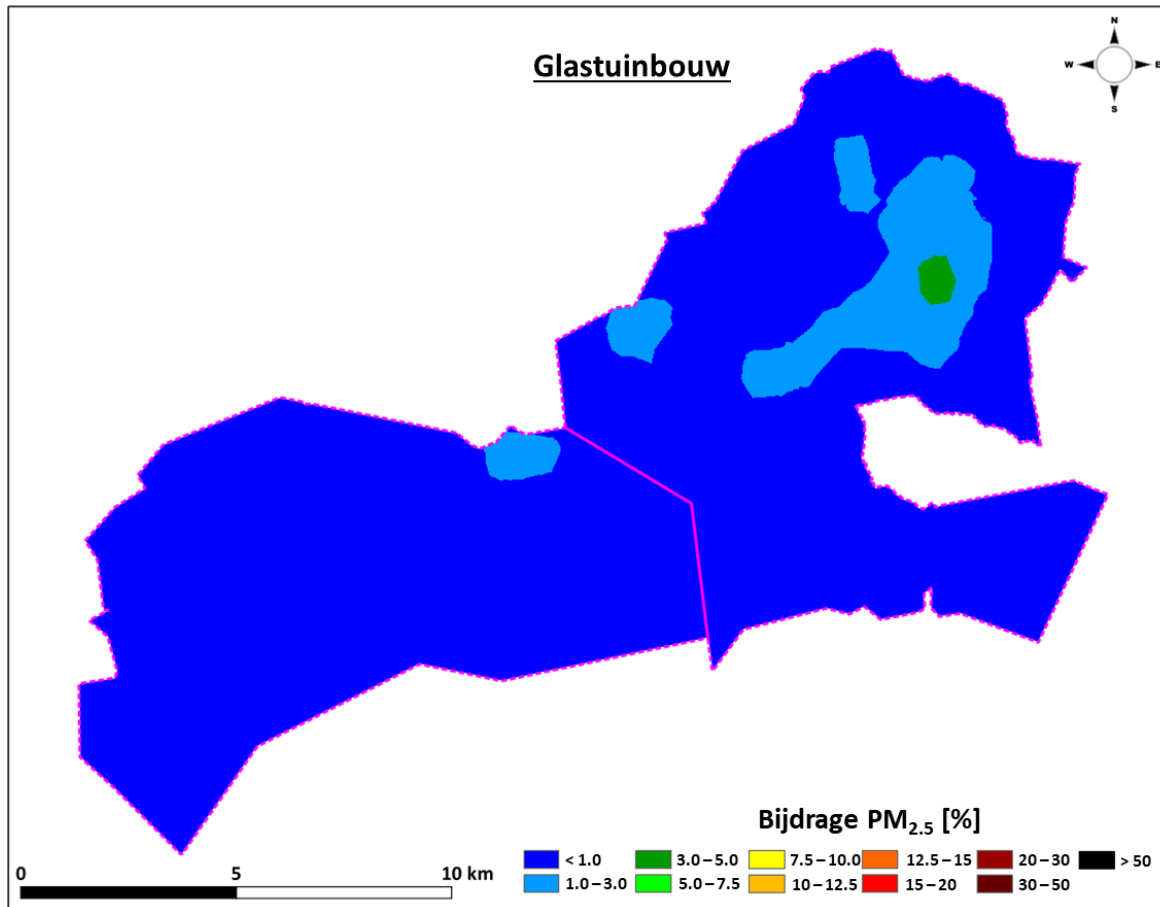
Figuur 29: De relatieve bijdrage door de sector 'wegverkeer' tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



Figuur 30: De relatieve bijdrage door de sector 'stallen' tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



Figuur 31: De relatieve bijdrage door de sector 'weidedieren' tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. Er is enkel een kleine bijdrage (lichtblauwe kleur ~1%) in het zuid-westen van Wuustwezel zichtbaar op deze figuur. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



Figuur 32: De relatieve bijdrage door de sector ‘glastuinbouw’ tot de totale PM_{2.5} concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.

5.3. BRONTOEWIJZING NO₂

In vergelijking met de totale PM_{2.5}-concentratie zijn er voor NO₂ meerdere lokale sectoren van belang die samen een grotere bijdrage op de totale NO₂-concentratie hebben. Zo wordt in Figuur 33 de relatieve NO₂-bijdrage voor alle lokale bronnen samen weergegeven. Ten opzichte van Figuur 23 kan er meteen opgemerkt worden dat de lokale bronnen veel sterker bijdragen tot de lokale totale NO₂-concentratie in het studiegebied. Vooral in de onmiddellijke omgeving van de gewestwegen en de E19-autosnelweg zijn deze lokale bijdragen duidelijk zichtbaar op de figuur. Dit kan ook waargenomen worden indien de bijdrage van alle niet-lokale bronnen binnen het studiegebied worden weergegeven (zie Figuur 34). Hoewel het overgrote gedeelte van het studiegebied nog steeds zwart kleurt (dus overheersende bijdrage van niet-lokale bronnen) is er toch een significante bijdrage van de lokale bronnen tot de totale NO₂-concentratie binnen het studiegebied.

In Figuur 35, Figuur 36 en Figuur 37 worden respectievelijk het aandeel van de lokale bronnen in Hoogstraten, Wuustwezel en de omliggende buurgemeenten tot de lokale NO₂-concentratie getoond. Hier valt het effect van de E19-autosnelweg opnieuw op. Beide gemeenten dragen over de gemeentegrens heen bij tot de lokale NO₂-concentratie. De bijdrage van Hoogstraten aan Wuustwezel is echter wat lager dan omgekeerd het geval is. Wat opvalt uit Figuur 37, is dat de omliggende gemeenten een relatief grote bijdrage tot de lokale NO₂-concentratie binnen de gemeente Wuustwezel hebben. Vooral het effect van de E19-autosnelweg is zichtbaar doordat er een NO₂-bijdragepluim in de overheersende zuidwestelijke windrichting uitstrekt. Deze bijdragepluim ligt tussen 15-20% in de directe omgeving van de snelweg. Over het gehele grondgebied van Wuustwezel is er een NO₂-bijdragepluim tussen de 3.0 tot 7.5%, afkomstig van de buurgemeenten. Deze bijdrage is het meest uitgesproken ten westen en ten zuiden van de gemeentegrens. Voor Hoogstraten is de voornaamste NO₂-bijdrage van de omliggende buurgemeenten zichtbaar in de zuidelijke helft van het grondgebied. Vooral ten oosten van het dorp 'Wortel' is er een sterke NO₂-bijdragepluim tussen de 7.5 tot 10.0% die veroorzaakt wordt door de omliggende buurgemeenten. De belangrijke rol van wegverkeer in de NO₂-concentratie was ook te verwachten uit de emissiebijdrage (Tabel 2). Dit is ook consistent met wat we op Vlaamse schaal zien.

In de volgende figuren wordt de lokale NO₂-bijdrage per individuele sector bekeken die significant bijdragen tot de lokale NO₂-concentratie. Voor de sector 'huishoudens' wordt dit getoond in Figuur 38. Ook hier vallen de grotere dorpskernen op door lokale piek-NO₂-bijdragen van rond de 5 tot zelfs 20% op sommige plaatsen. In de onmiddellijke omgeving rond deze dorpskernen zijn er kleine doch uitgestrekte NO₂-bijdragepluimen van tussen de 1 en 3% te zien.

Voor de lokale NO₂-bijdrage is 'wegverkeer' de belangrijkste sector. Dit was al duidelijk op te maken uit Tabel 4 waar de maximale lokale NO₂-bijdrage voor de sector 'wegverkeer' lag op 81%. Naast de duidelijke aanwezigheid van de E19-autosnelweg, zijn alle grote invalswegen richting de verschillende dorpskernen ook duidelijk zichtbaar. Rond deze gewestwegen is er namelijk een lokale NO₂-bijdragepluim. In de gemeente Wuustwezel neemt deze bijdragepluim rond de gewestwegen eerder snel af, in vergelijking met deze in de gemeente Hoogstraten. Dit wil zeggen dat er minder (vervuilend) verkeer op de gewestwegen in Wuustwezel rijdt.

Enkel ten zuidwesten van het grondgebied van de gemeente Wuustwezel bevindt er zich een luchthaven (Militair vliegveld Brasschaat). Vandaar dat er enkel een kleinere NO₂-bijdrage in de buurt van deze luchthaven zichtbaar is op Figuur 40. De lokale NO₂-bijdragepluim (tussen 1-3% bijdrage) afkomstig van dit vliegveld strekt zich uit richting het noordoosten.

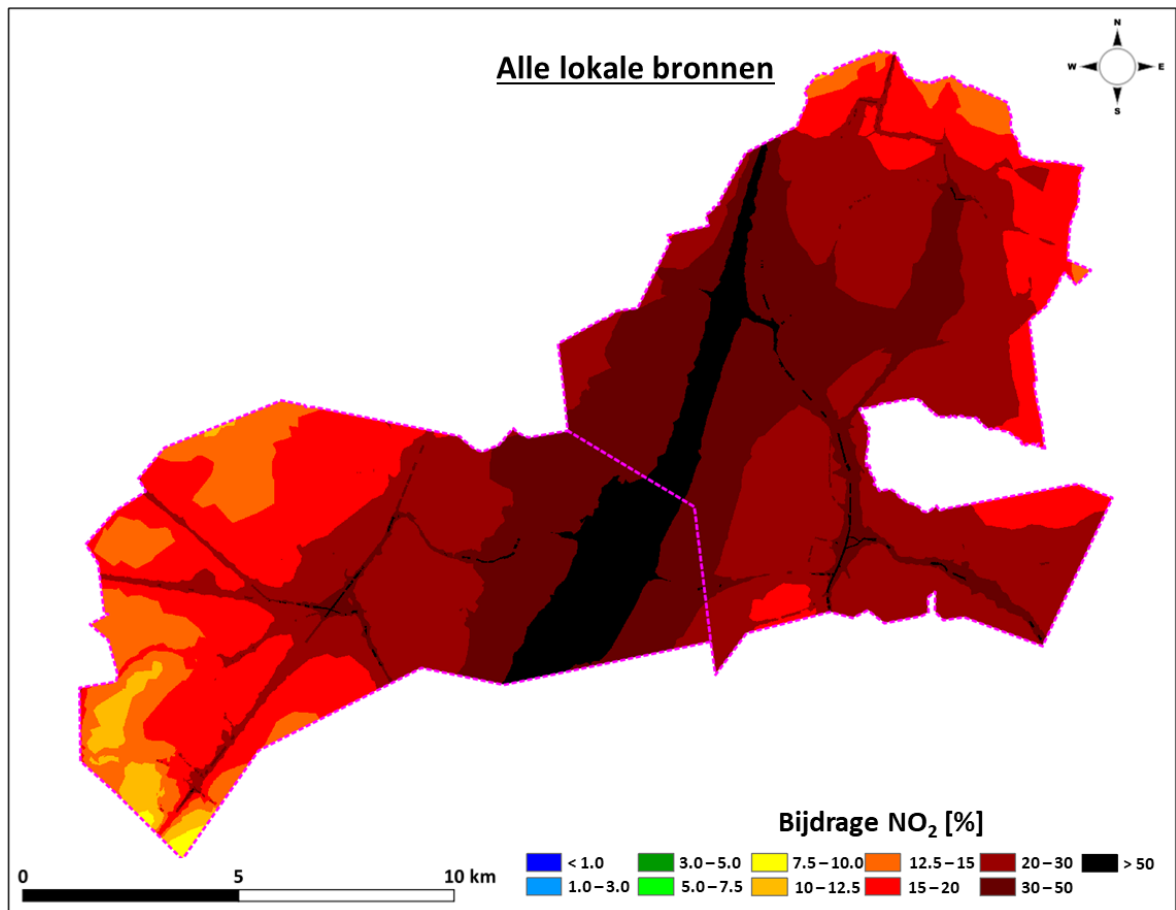
De lokale NO₂-bijdrages van de sectoren 'industrie en energie' en 'handel en diensten' is eerder beperkt (zie Figuur 41 en Figuur 42). Voor de eerste sector zijn er slechts twee regio's waar de lokale NO₂-bijdrage tussen 1 - 5% ligt: één op de gemeentegrens tussen Wuustwezel en Hoogstraten, in het zuiden, de andere ten oosten van Hoogstraten. Voor de andere sector is er enkel in het west-zuidwesten van Wuustwezel een beperkte NO₂-bijdrage zichtbaar.

Voor de sector 'glastuinbouw' kunnen er grotere lokale NO₂-bijdrages opgemerkt worden in het oost-noordoosten en west-noordwesten van de gemeente Hoogstraten, en in het noord-noordoosten en west-zuidwesten van de gemeente Wuustwezel. De grootste lokale NO₂-bijdrage van de sector 'glastuinbouw' ligt echter in de gemeente Hoogstraten, waar er een grote NO₂-bijdragepluim zichtbaar is met een piek-NO₂-bijdrage van 27% (zie Tabel 4). Dit heeft te maken met de grote oppervlakte aan tuinbouwbedrijven in deze regio (zie ook §3.3). Deze sector is ook belangrijker in de betrokken gemeenten dan algemeen in Vlaanderen (zie Tabel 2).

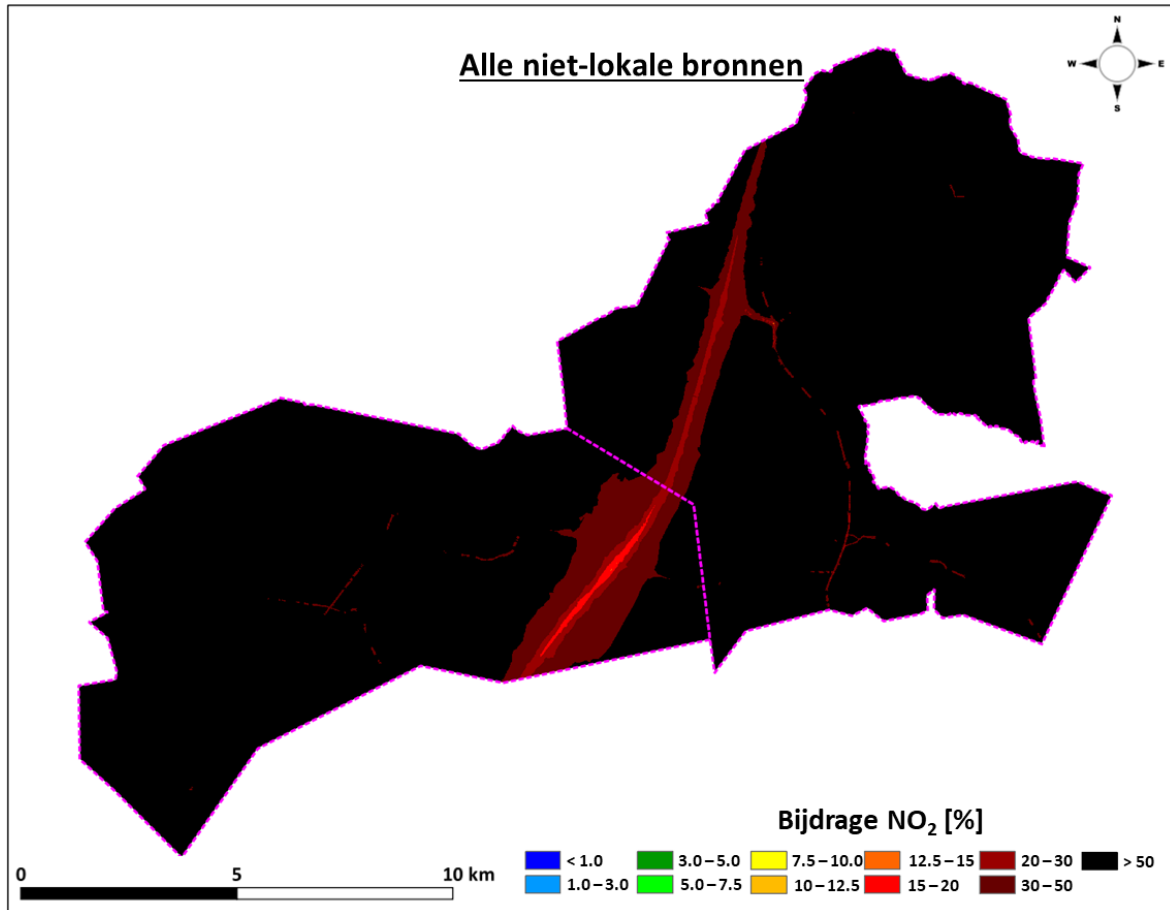
Voor de sector 'kunstmest' (zie Figuur 44) is er binnen de gemeente Hoogstraten enkel een verhoogde lokale NO₂-bijdrage te zien in het westen (en dus het midden van het studiegebied). Voor de gemeente Wuustwezel is dit eveneens in deze regio maar ook ten noordwesten van het dorp 'Molenbergen'. Hier kan een verhoogde lokale NO₂-bijdrage tussen 5.0 - 7.5% waargenomen worden.

De sector 'andere landbouw'²³ heeft een lichtjes grotere lokale impact op de totale NO₂-concentratie. Voornamelijk in het oosten van de gemeente Wuustwezel, aan beide kanten van de E19-autosnelweg kan er een verhoogde lokale NO₂-bijdrage waargenomen worden. Net over de gemeentegrens is dit ook het geval voor de gemeente Hoogstraten maar de verhoogde NO₂-bijdragepluim reikt niet zo ver. Daarnaast liggen er ook verhoogde NO₂-bijdragepluimen (tussen 3 - 5% NO₂-bijdrage) tussen het dorp 'Meer' en 'Voort' en tussen de gehuchten 'Hal' en 'Bergen'. Ook ten zuid-zuidoosten van het dorp 'Wortel' van de gemeente Hoogstraten zien we een dergelijke verhoogde NO₂-bijdragepluim terug. Voor de sector 'weidedieren' kan er voornamelijk in de buurt van de E19-autosnelweg op het grondgebied van Wuustwezel een verhoogde NO₂-bijdrage opgemerkt worden (zie Figuur 46). Voor de rest zijn er enkel her en der kleine verhoogde NO₂-bijdragepluimen zichtbaar.

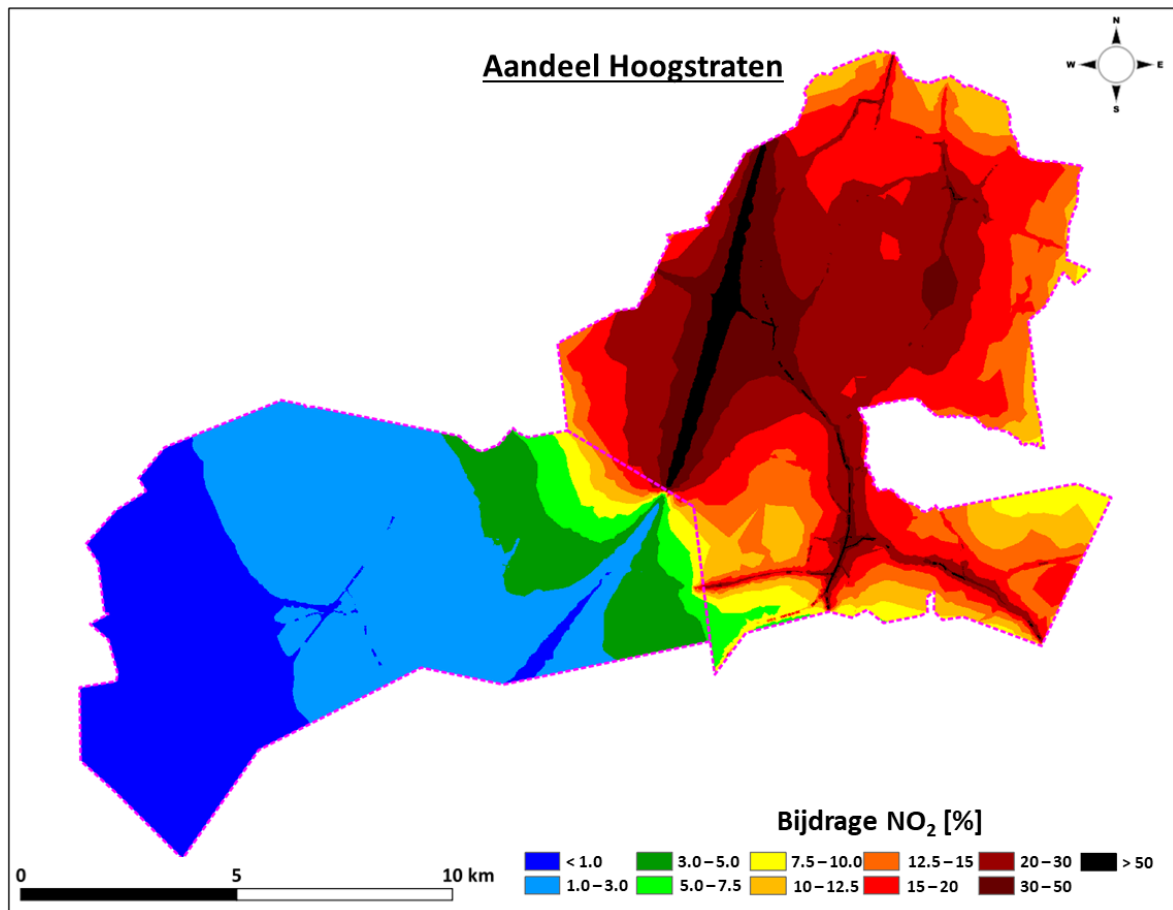
²³ Het gaat hier vooral over off-road van de landbouw, zijnde de emissies door bijvoorbeeld tractoren.



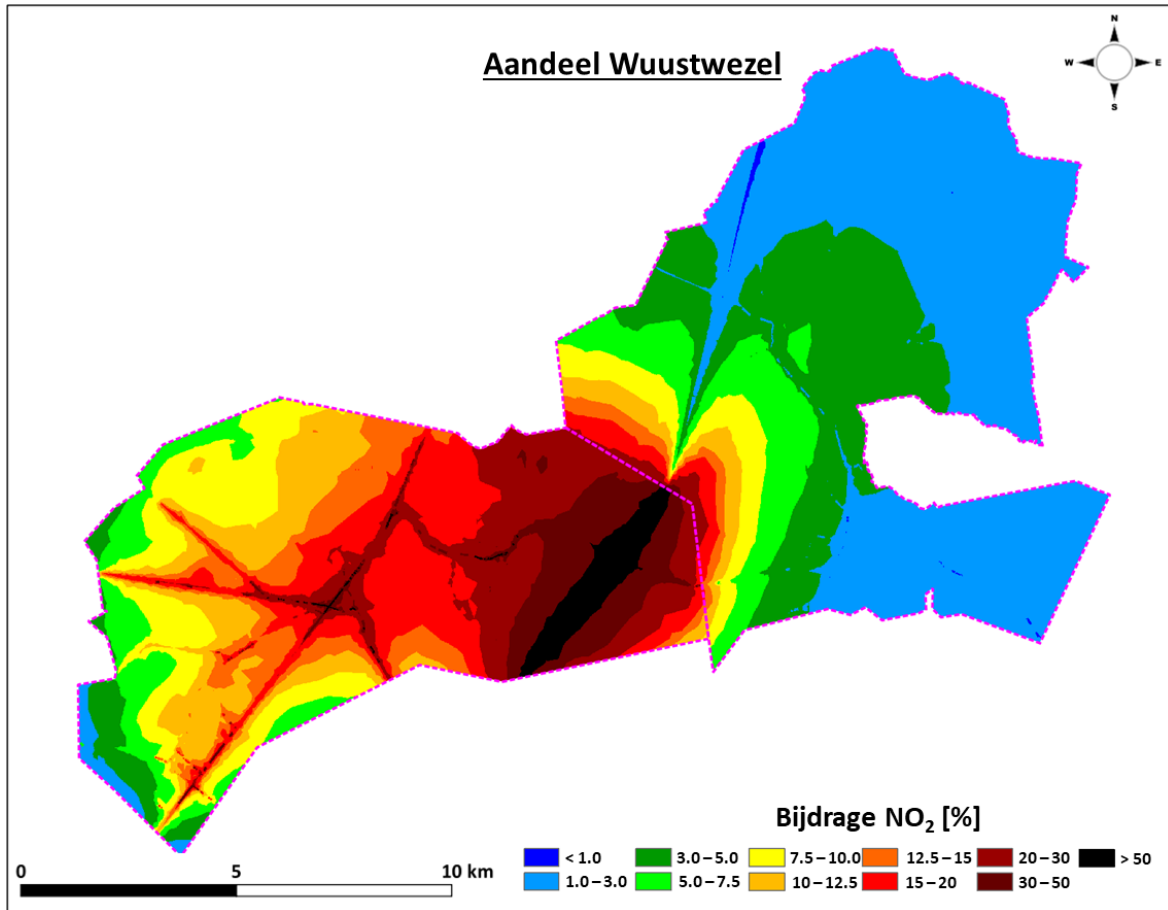
Figuur 33: De som van de relatieve bijdrages door alle lokale bronnen samen tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



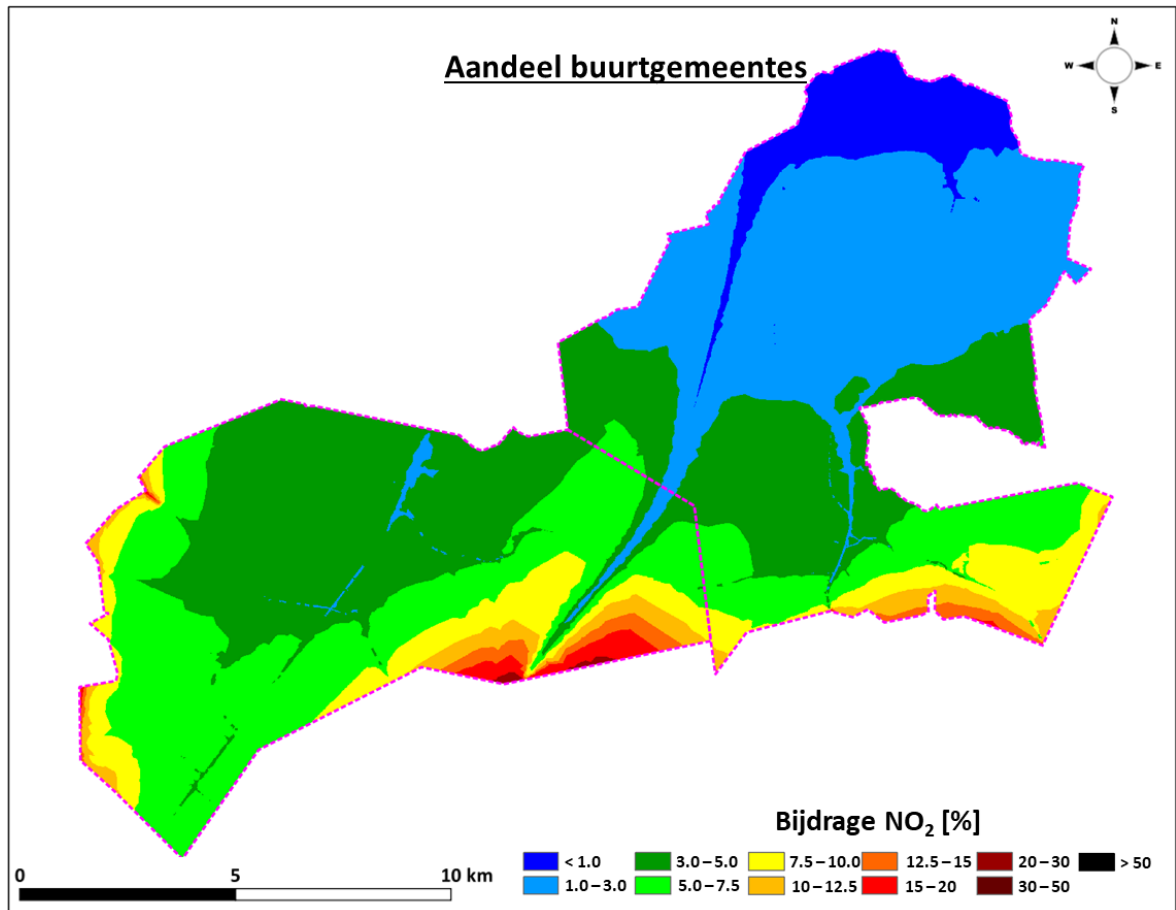
Figuur 34: De som van de relatieve bijdrages door alle niet-lokale bronnen samen tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



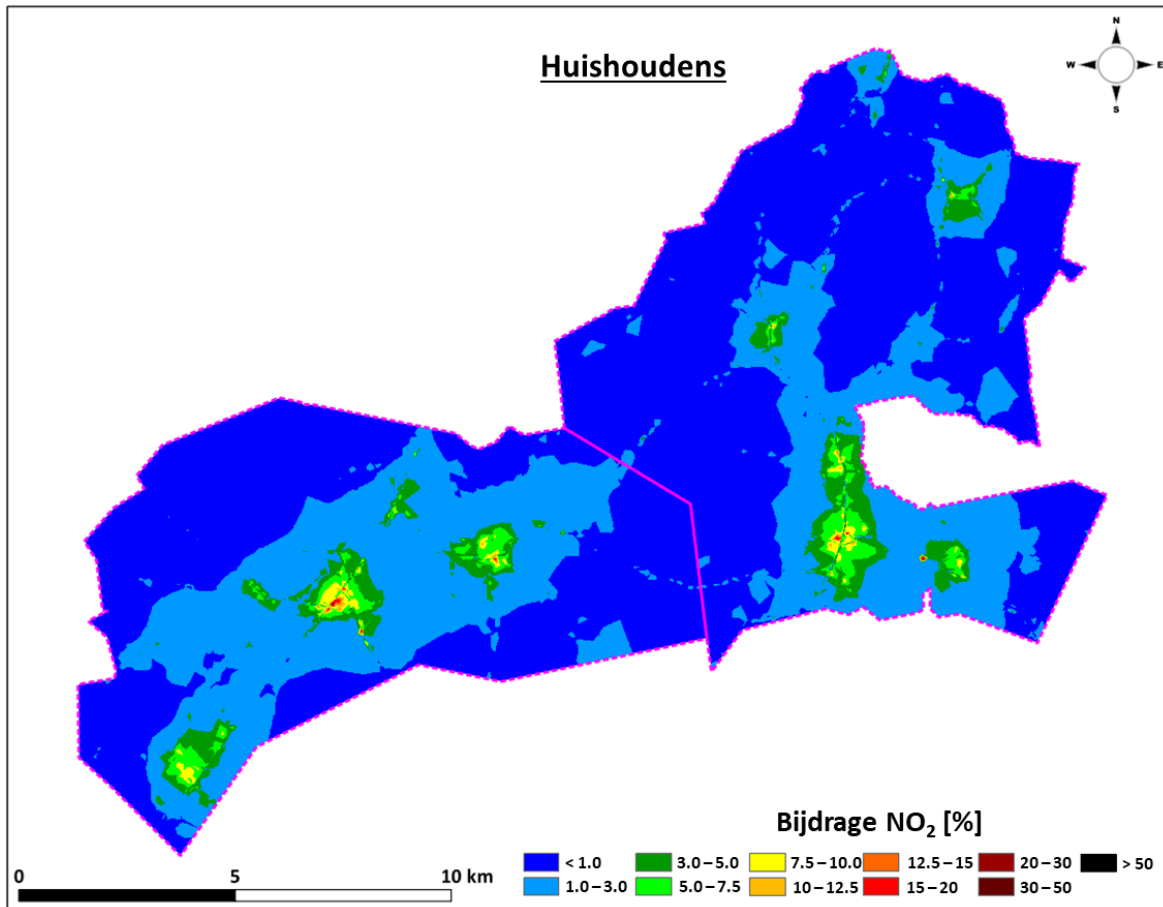
Figuur 35: De som van de relatieve bijdrages door alle bronnen in de gemeente Hoogstraten samen tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



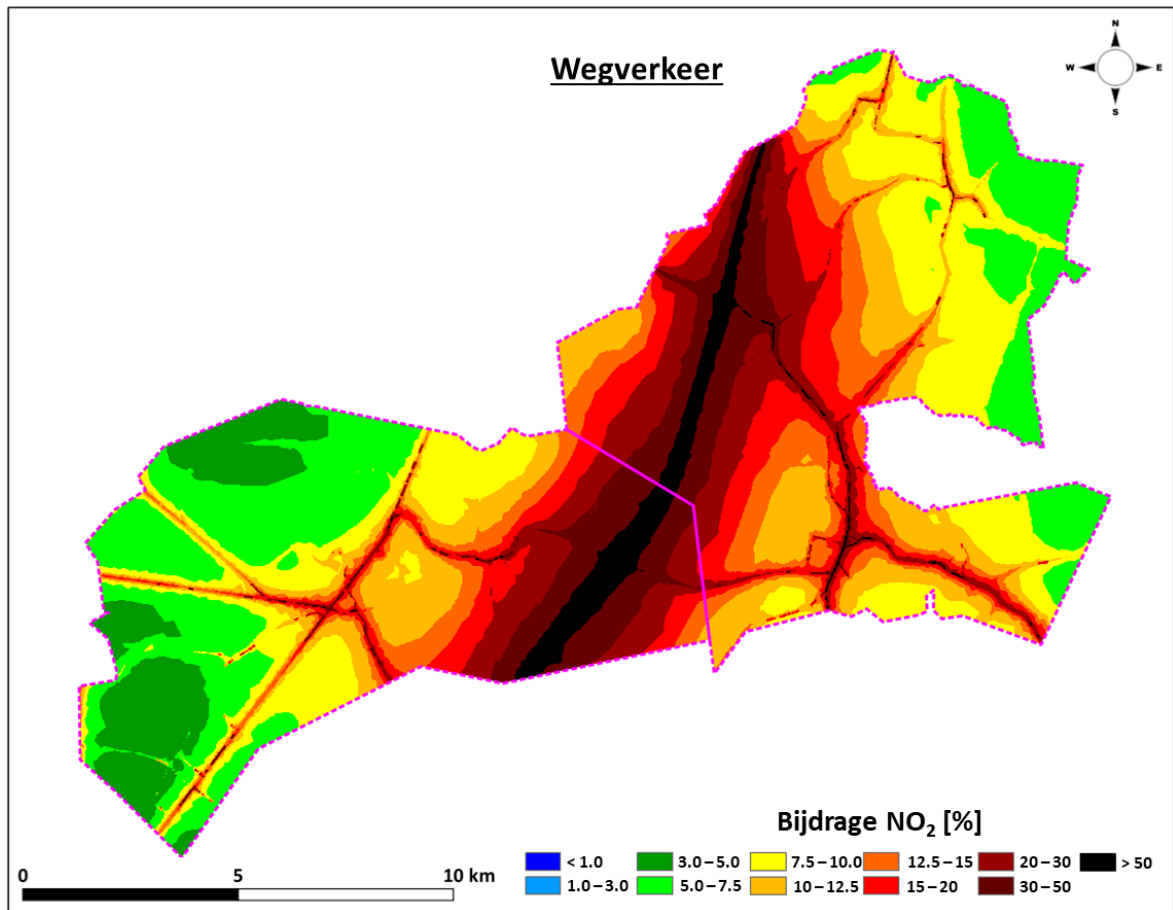
Figuur 36: De som van de relatieve bijdrages door alle bronnen in de gemeente Wuustwezel samen tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



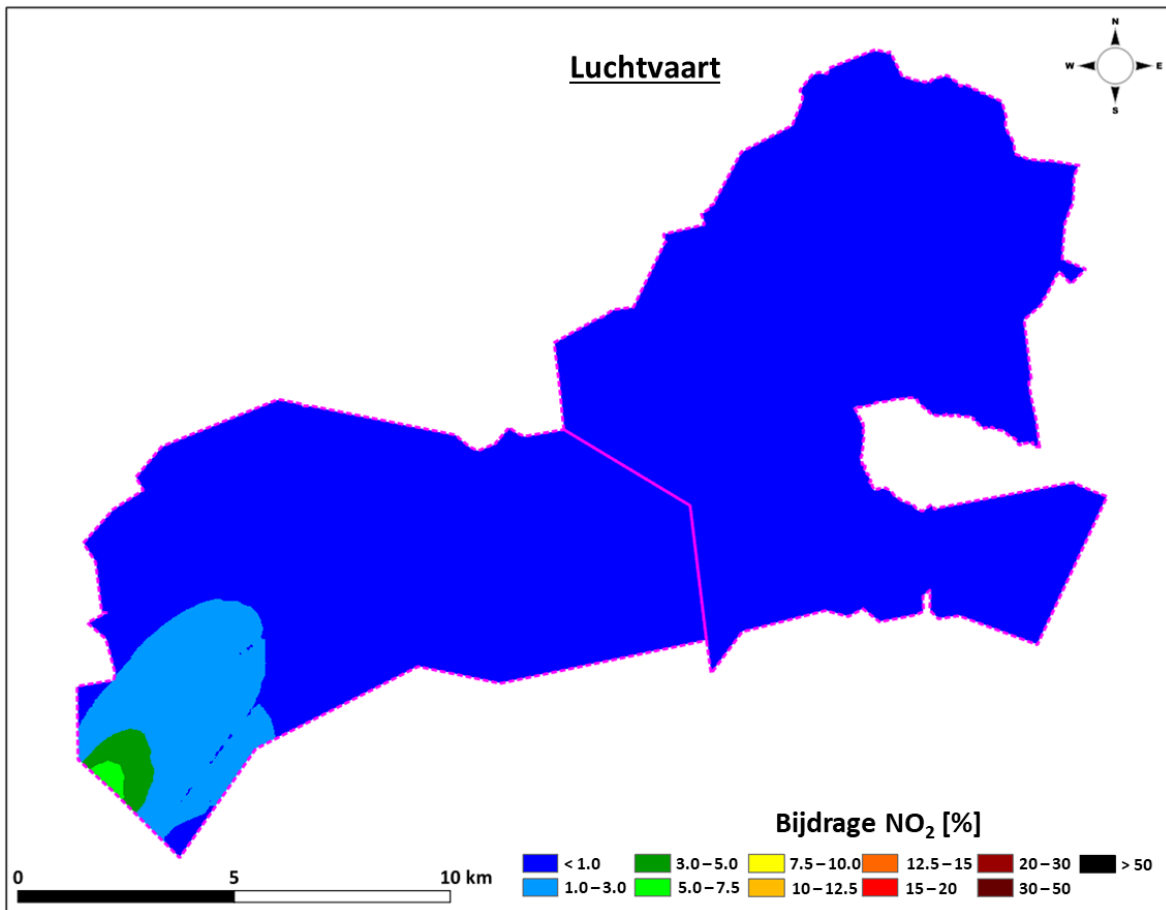
Figuur 37: De som van de relatieve bijdrages door de omliggende gemeenten van Hoogstraten en Wuustwezel samen tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



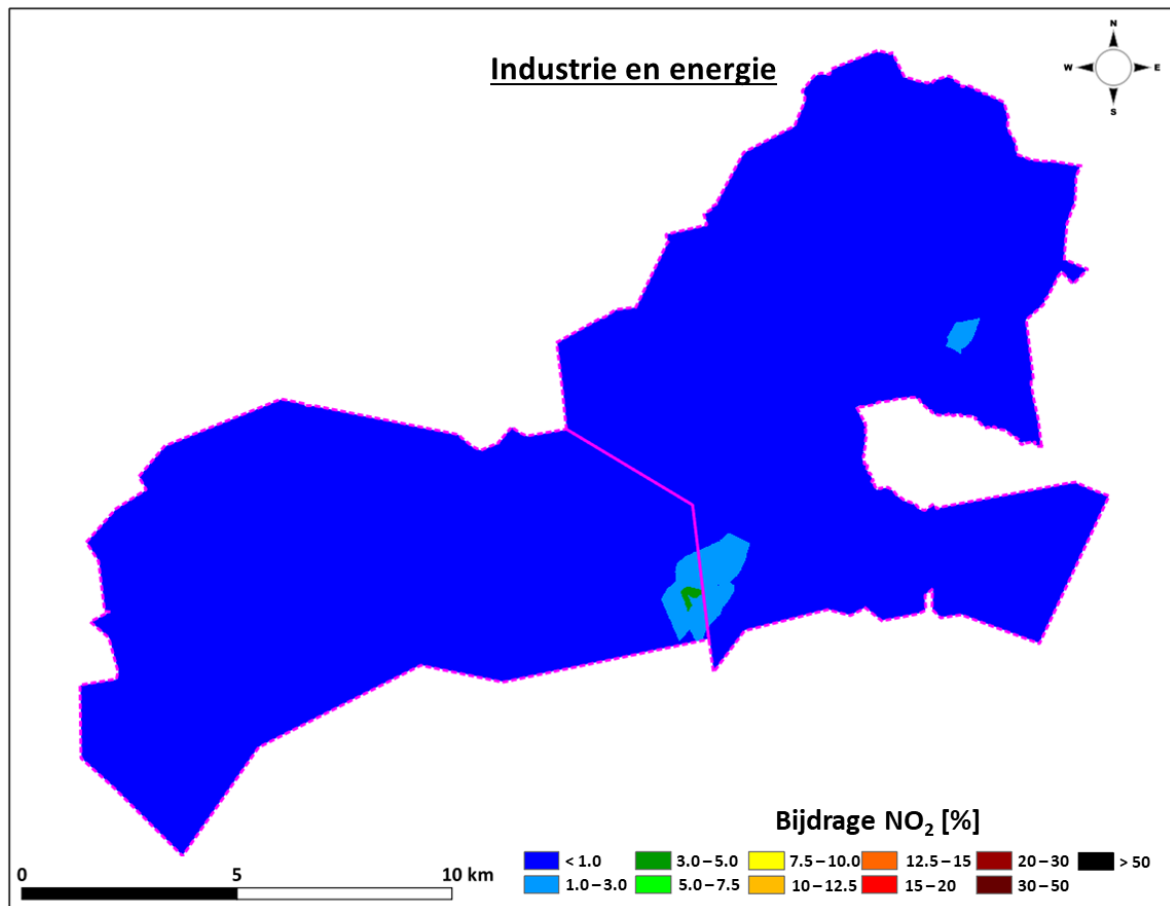
Figuur 38: De relatieve bijdrage door de sector 'huishoudens' tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



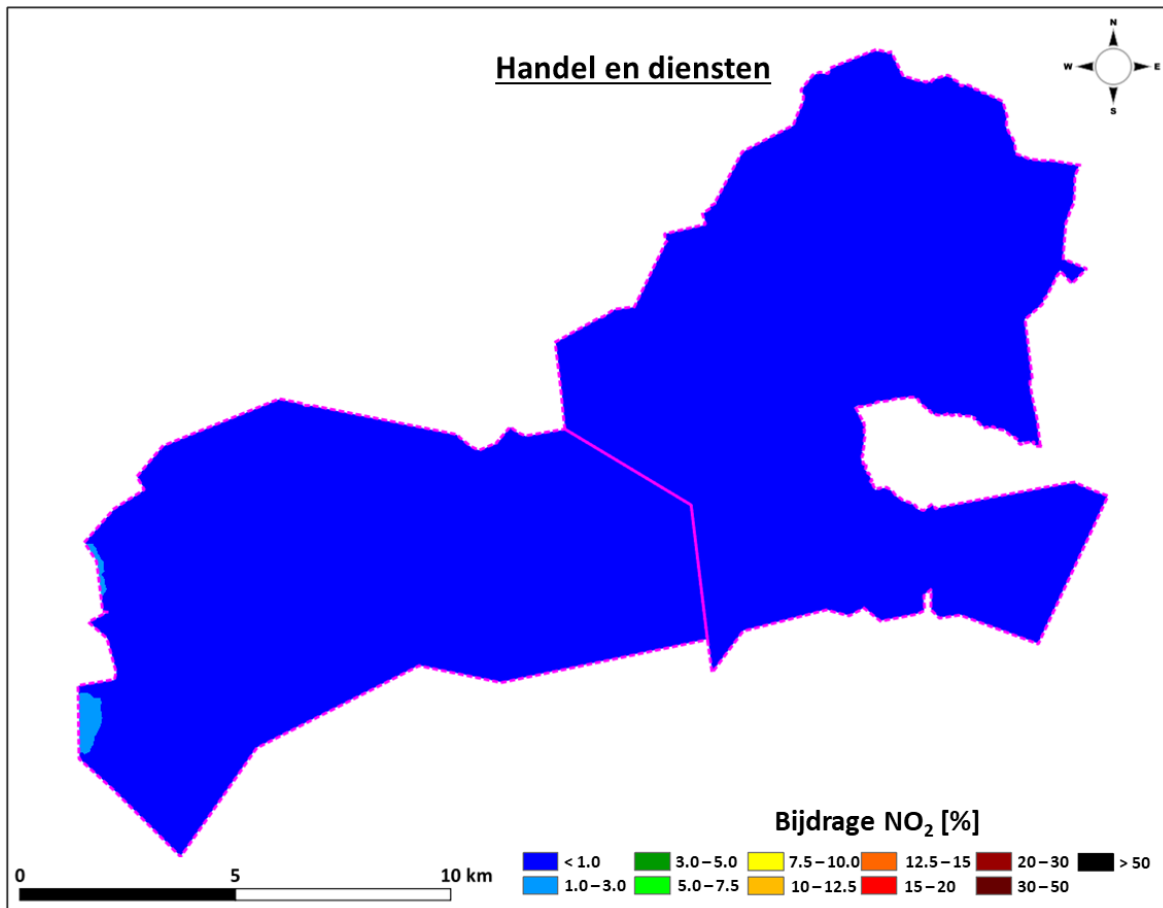
Figuur 39: De relatieve bijdrage door de sector 'wegverkeer' tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



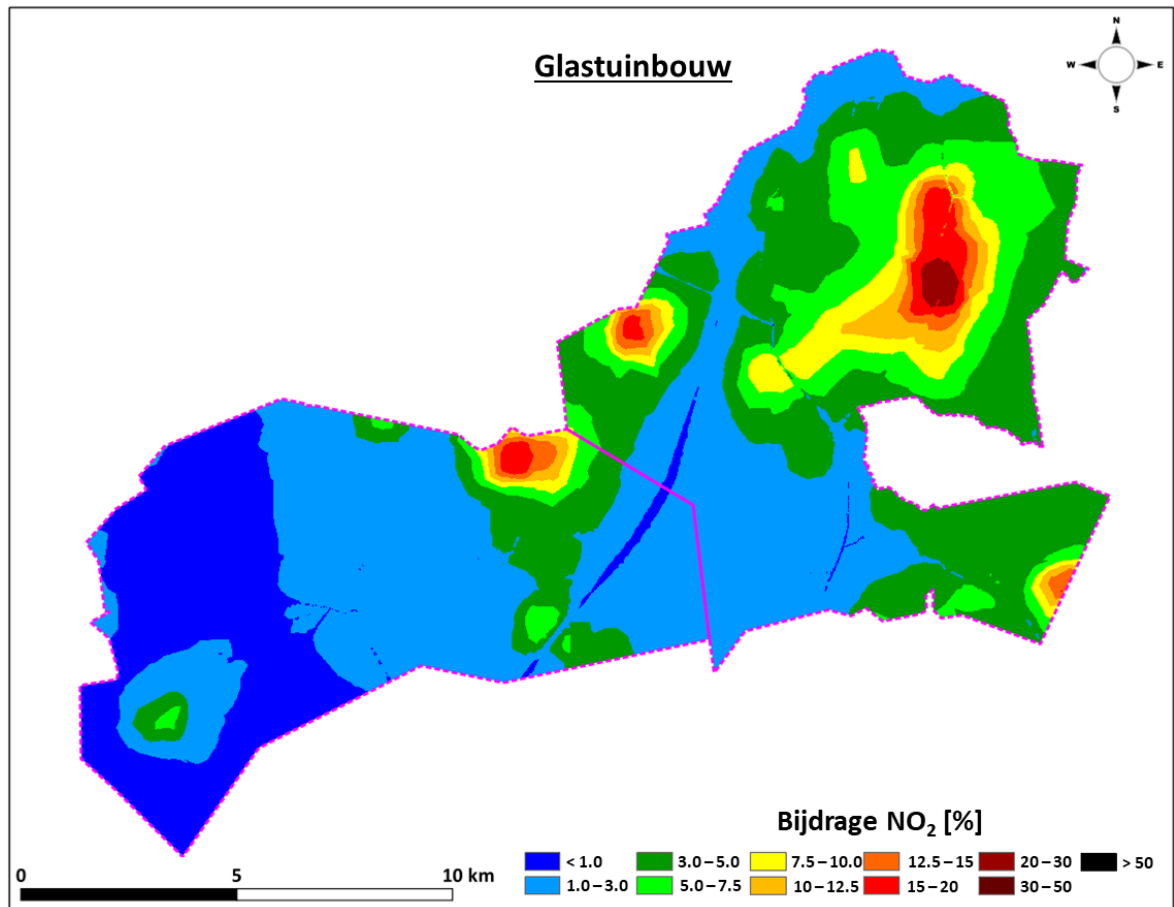
Figuur 40: De relatieve bijdrage door de sector 'luchtvaart' tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



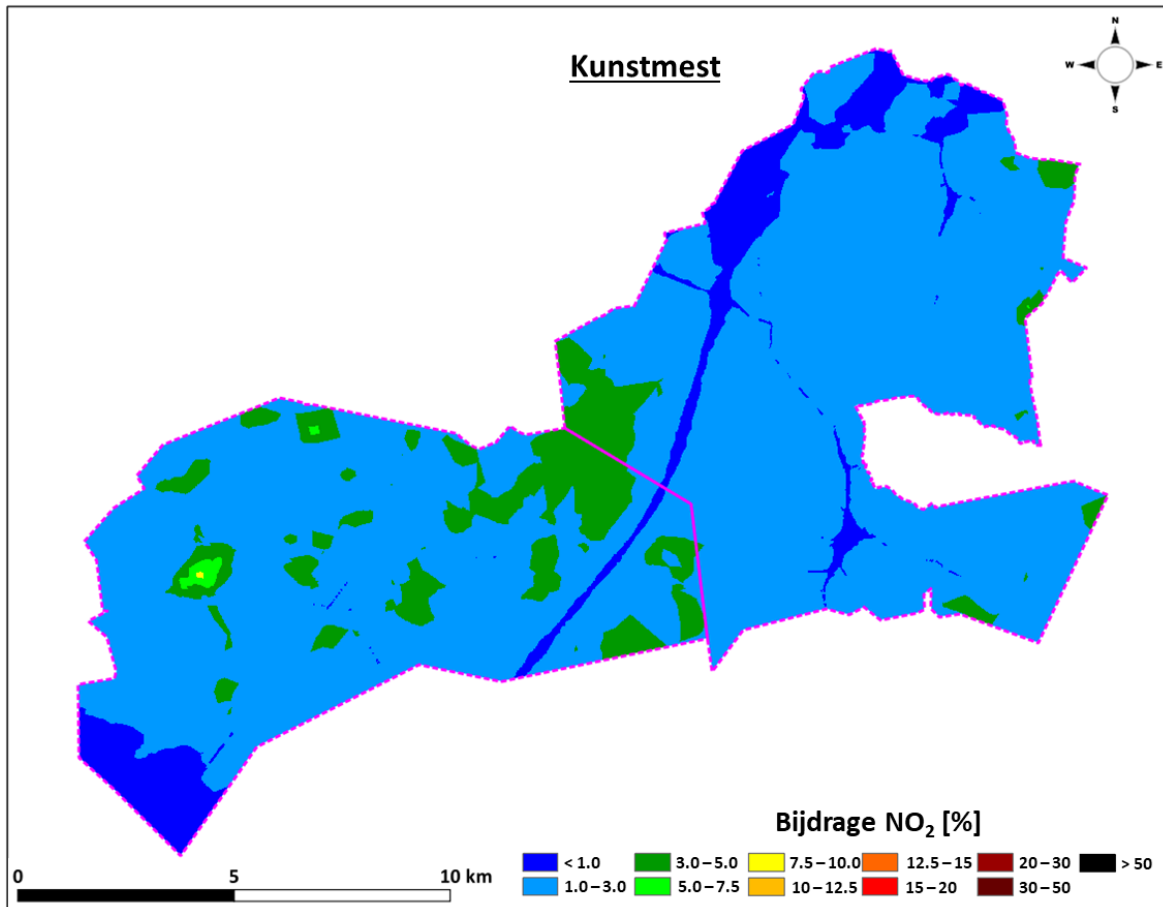
Figuur 41: De relatieve bijdrage door de sector 'industrie en energie' tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentegrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



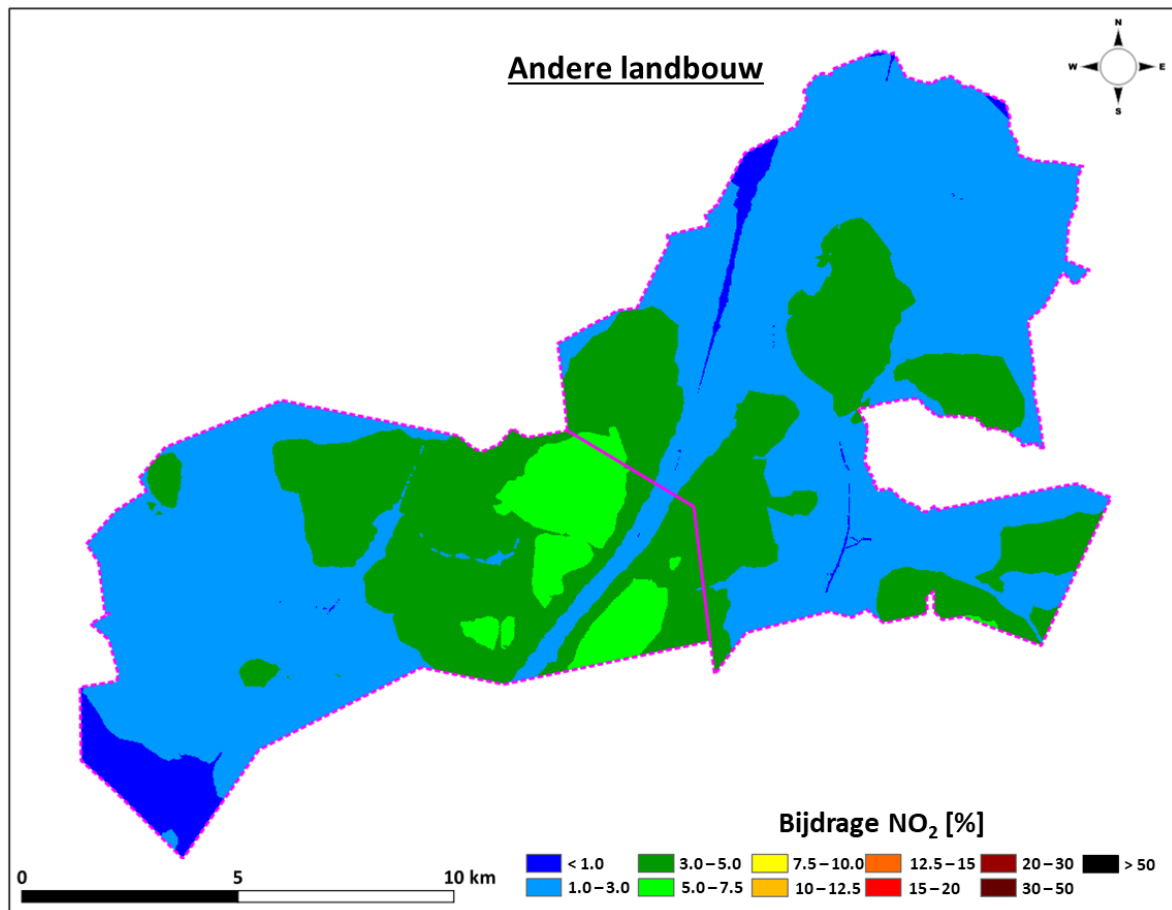
Figuur 42: De relatieve bijdrage door de sector 'handel en diensten' tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



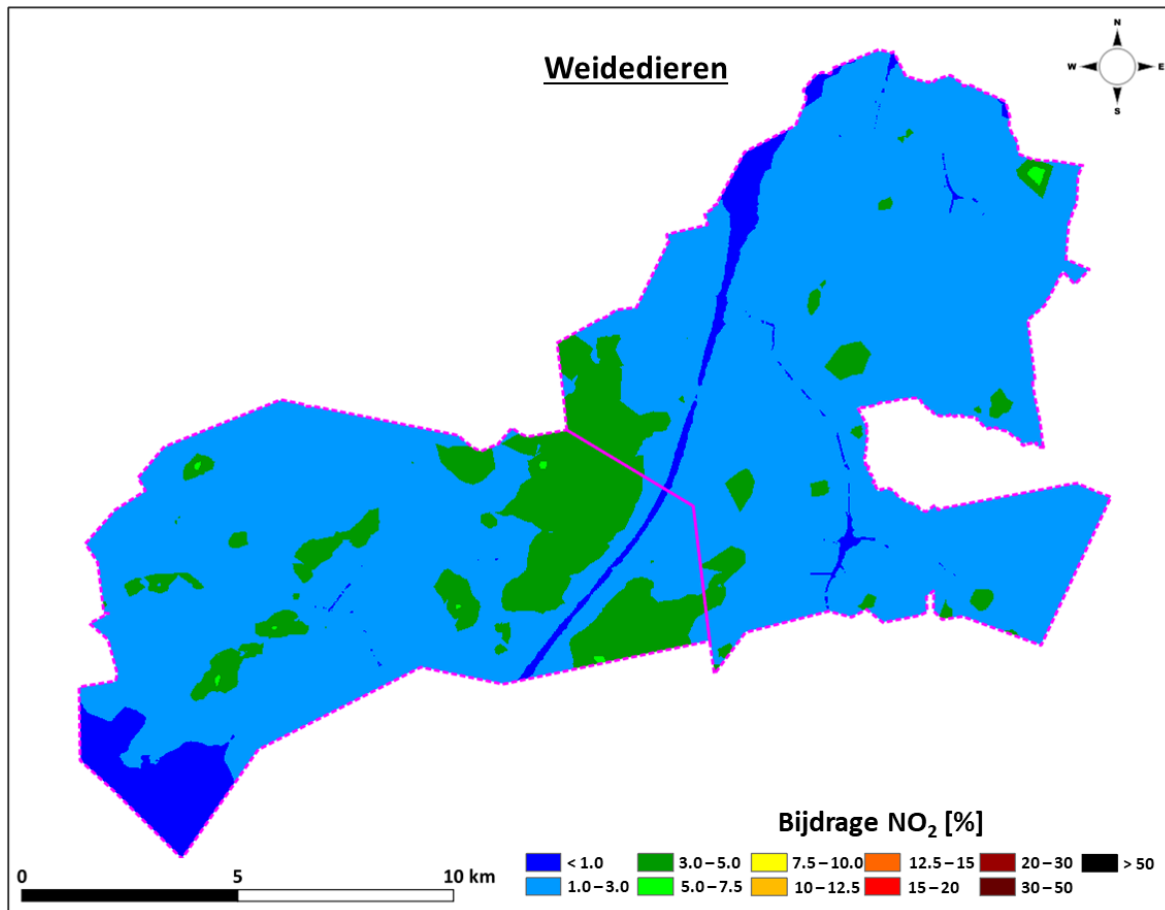
Figuur 43: De relatieve bijdrage door de sector 'glastuinbouw' tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



Figuur 44: De relatieve bijdrage door de sector 'kunstmest' tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



Figuur 45: De relatieve bijdrage door de sector 'andere landbouw' tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentegrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.



Figuur 46: De relatieve bijdrage door de sector 'weidedieren' tot de totale NO₂ concentratie binnen het studiegebied. De gemeentengrenzen worden aangeduid met stippellijn in het fel-paars.

5.4. BRONTOEWIJZING STIKSTOFDEPOSITIE

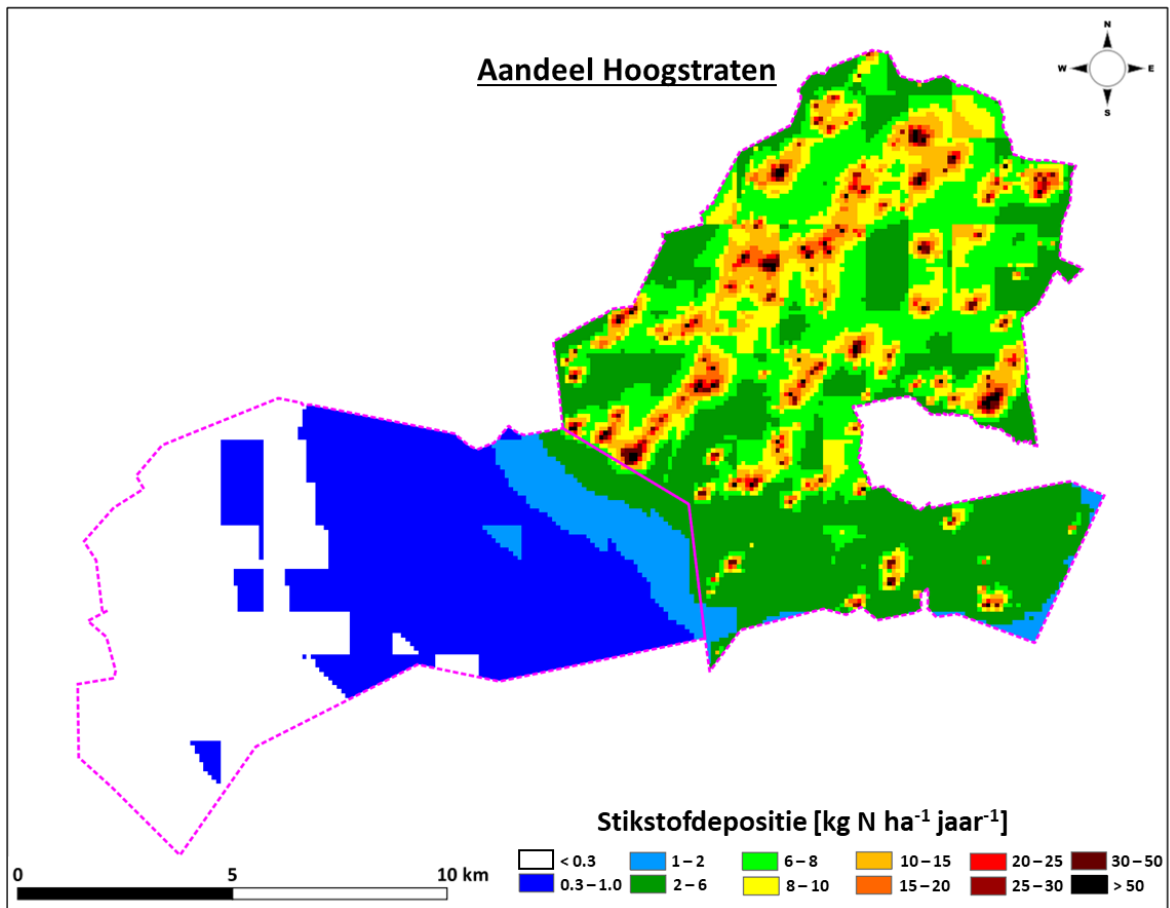
5.4.1. LOKALE BIJDRAGE

De analyse betreffende de brontoewijzing gebeurt niet in percent van de totale depositie maar in absolute waarden van de stikstofdepositie. We hebben dit zo gekozen omwille van twee redenen: enerzijds is de spatiale variatie van de stikstofdepositie heel groot (Figuur 20), anderzijds is de draagkracht van de natuur soms heel sterk overschreden. Het zou dus mogelijk zijn dat een sector die wel een significante rol speelt in de stikstofdepositie in percentage slechts een beperkte rol lijkt te spelen. Dit zou kunnen leiden tot een verkeerde inschatting van het belang van een bepaalde sector.

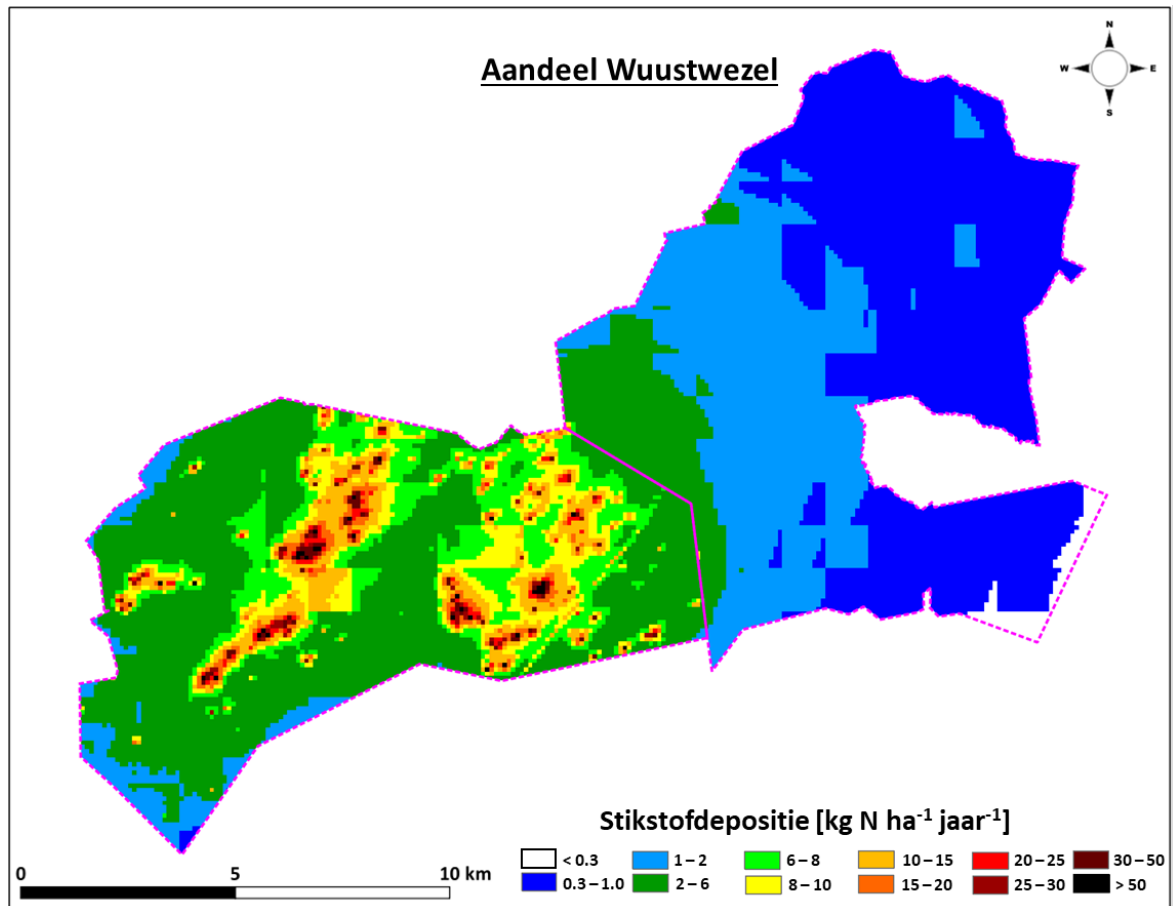
Wanneer we de bijdrages aan de stikstofdepositie bespreken kijken we eerst naar de bijdrages van de afzonderlijke gemeenten (Figuur 47-Figuur 50). De bijdrage van de bronnen uit Hoogstraten zijn heel belangrijk in Hoogstraten zelf maar nemen snel af naarmate we ons verder van Hoogstraten begeven. We zien dat de lokale bronnen vaak al voldoende sterk zijn om de draagkracht van potentiële natuur te ondermijnen. Een analoog patroon zien we voor Wuustwezel, zij het dat de invloed van Wuustwezel op Hoogstraten hoger is dan omgekeerd, door de overheersende zuidwestelijke windrichting. De bijdrage van de rest van het domein is groter aan de zuidelijke grenzen van Hoogstraten en Wuustwezel maar blijft significant doorheen heel de gemeenten. De bijdrage van de stallen binnen het domein maar gelegen in Nederland is echter alleen significant tegen de Nederlandse grens en is meestal minder belangrijk dan de bijdrage van de andere Vlaamse gemeenten binnen het domein. Dit heeft als oorzaak opnieuw de overheersende windrichting.

Wanneer we sector per sector (Figuur 51-Figuur 57) bekijken vinden we volgende effecten van de bronnen binnen het domein:

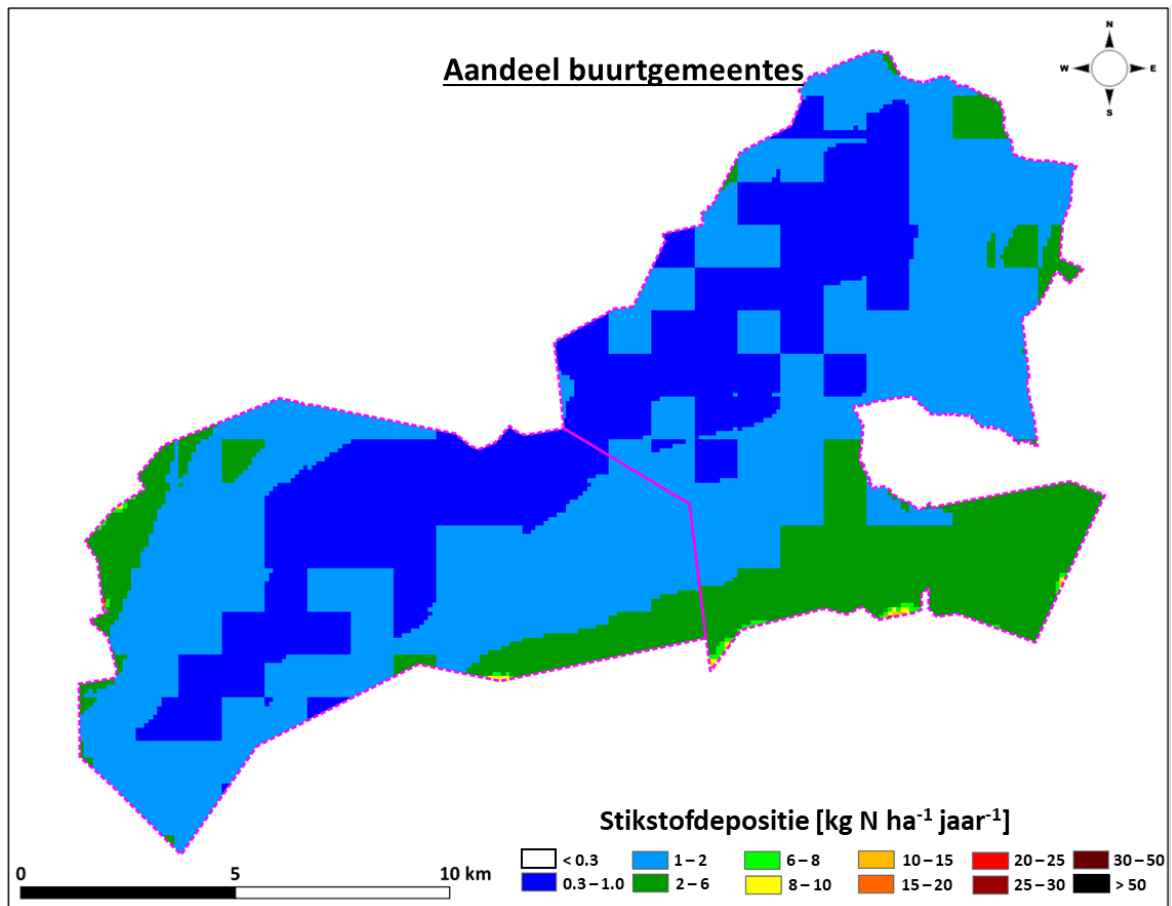
- Wegverkeer is significant rond de autosnelweg en enkele belangrijke wegen. Op grotere afstand van de wegen is het effect van wegverkeer klein.
- De stallen zijn overall significant en veroorzaken lokaal grote hoeveelheden stikstofdepositie.
- In de sector mestverwerking is er één bedrijf dat een heel duidelijke invloed heeft op zijn omgeving. Dat dit bedrijf naar boven komt is uit de combinatie van de hoeveelheden verwerkte mest met de methode die daarvoor toegepast wordt. Er komt veel meer ammoniak vrij bij compostering dan bij andere verwerkingstechnieken (bv. biologische verwerking).
- De sectoren kunstmest, glastuinbouw en huishoudens hebben lokaal (in vlekken) een klein effect op de totale stikstofdepositie. Omwille van de schaal is het belangrijk om mee te nemen dat het gaat om kleine bijdrages. Deze sectoren hebben in de stikstofdepositie geen belangrijke rol.
- Het effect van de sector weidedieren is redelijk homogeen en ligt vaak rond de 1 à 2 kgN/ha/jaar.



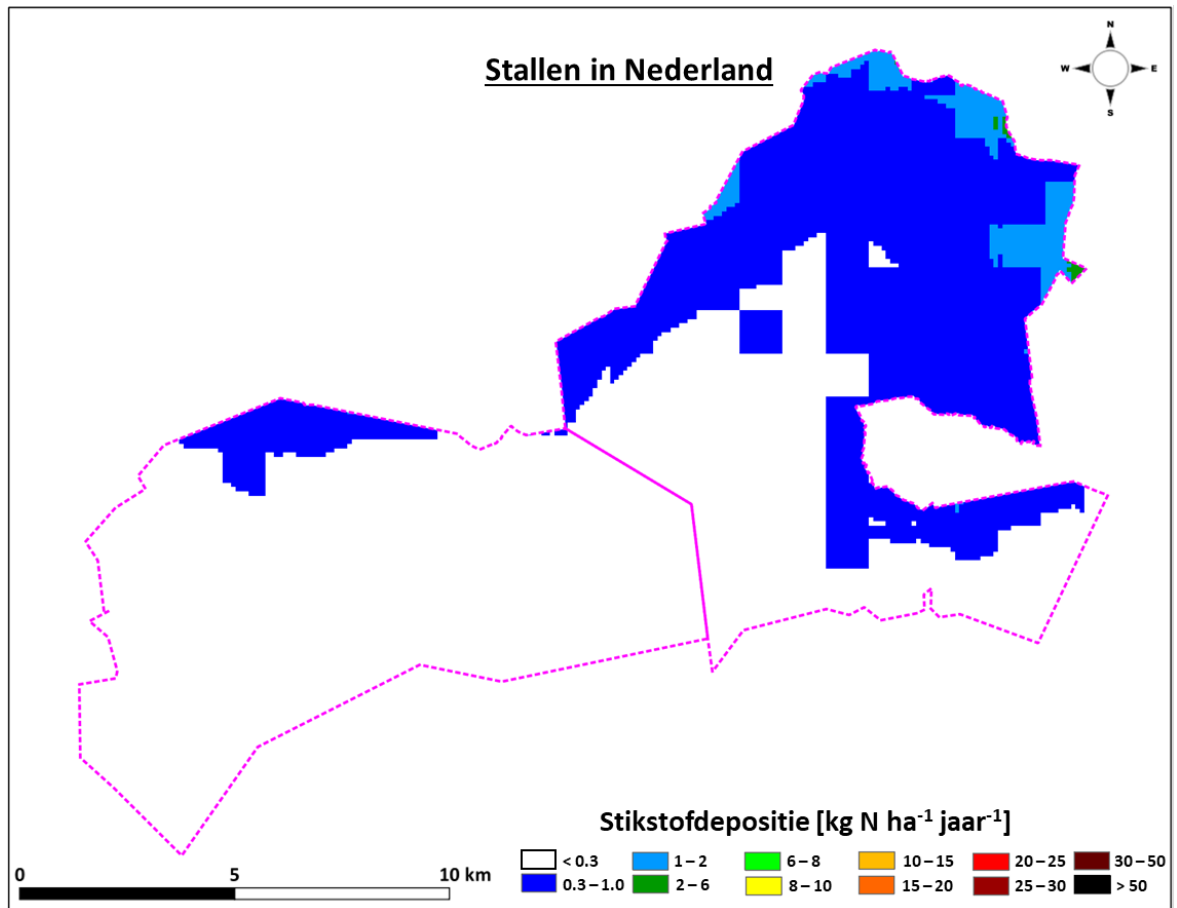
Figuur 47 : De bijdrage van bronnen binnen de gemeente Hoogstraten aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



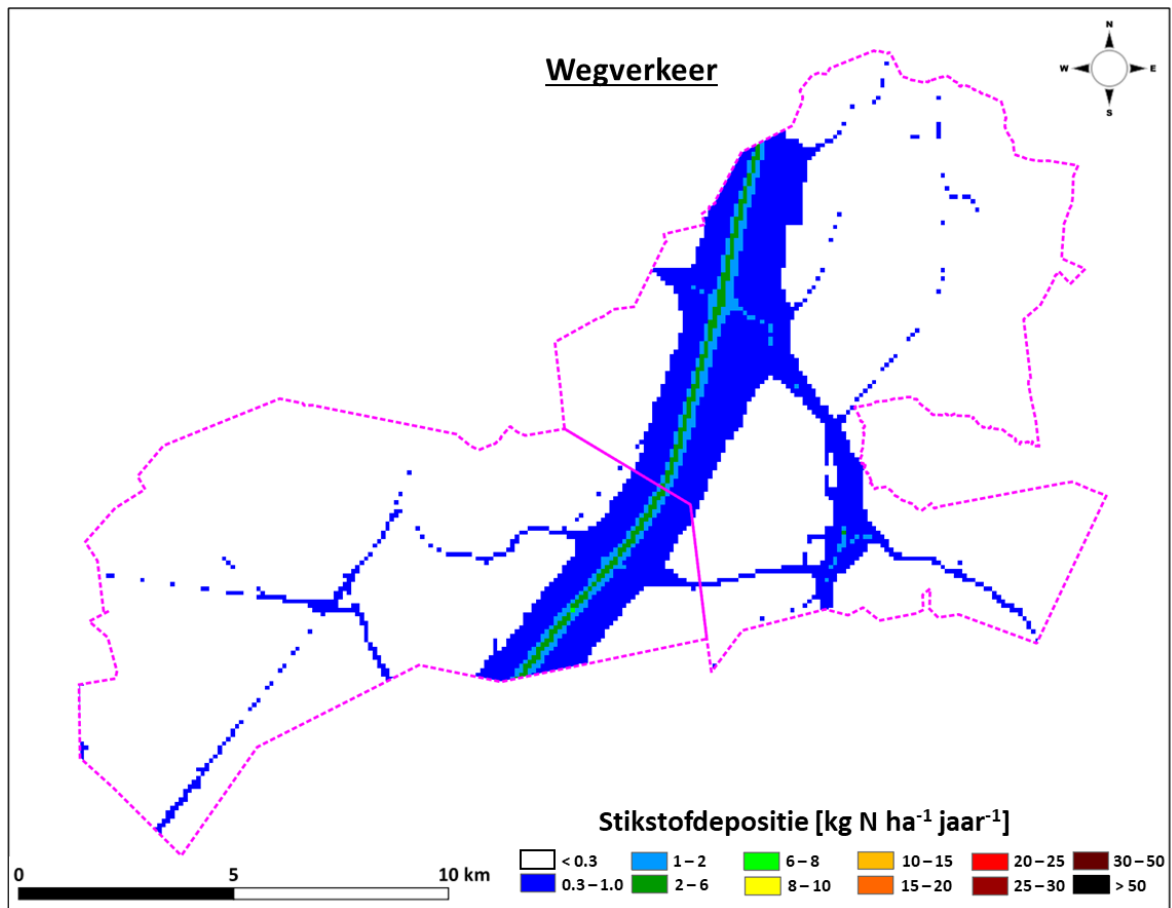
Figuur 48 : De bijdrage van bronnen binnen de gemeente Wuustwezel aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



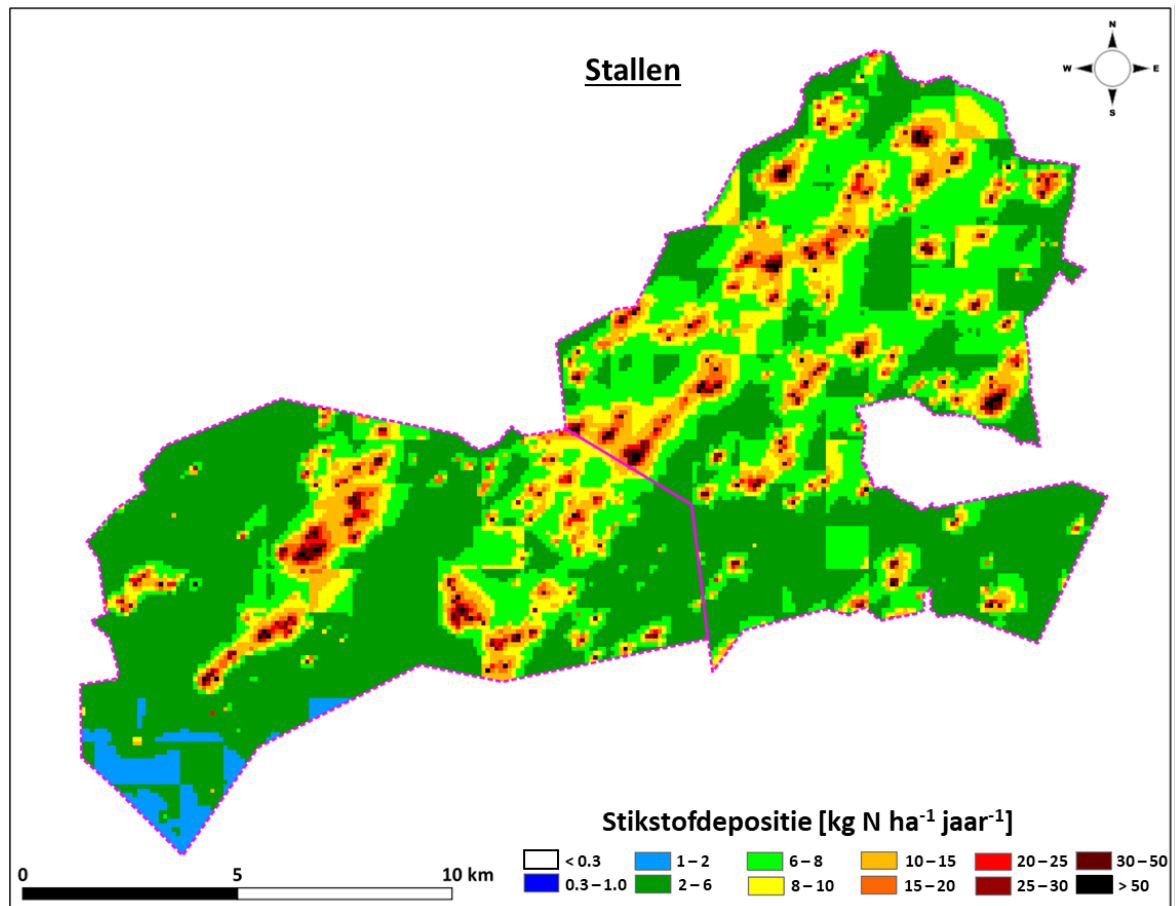
Figuur 49 : De bijdrage van bronnen binnen de rest van het domein aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



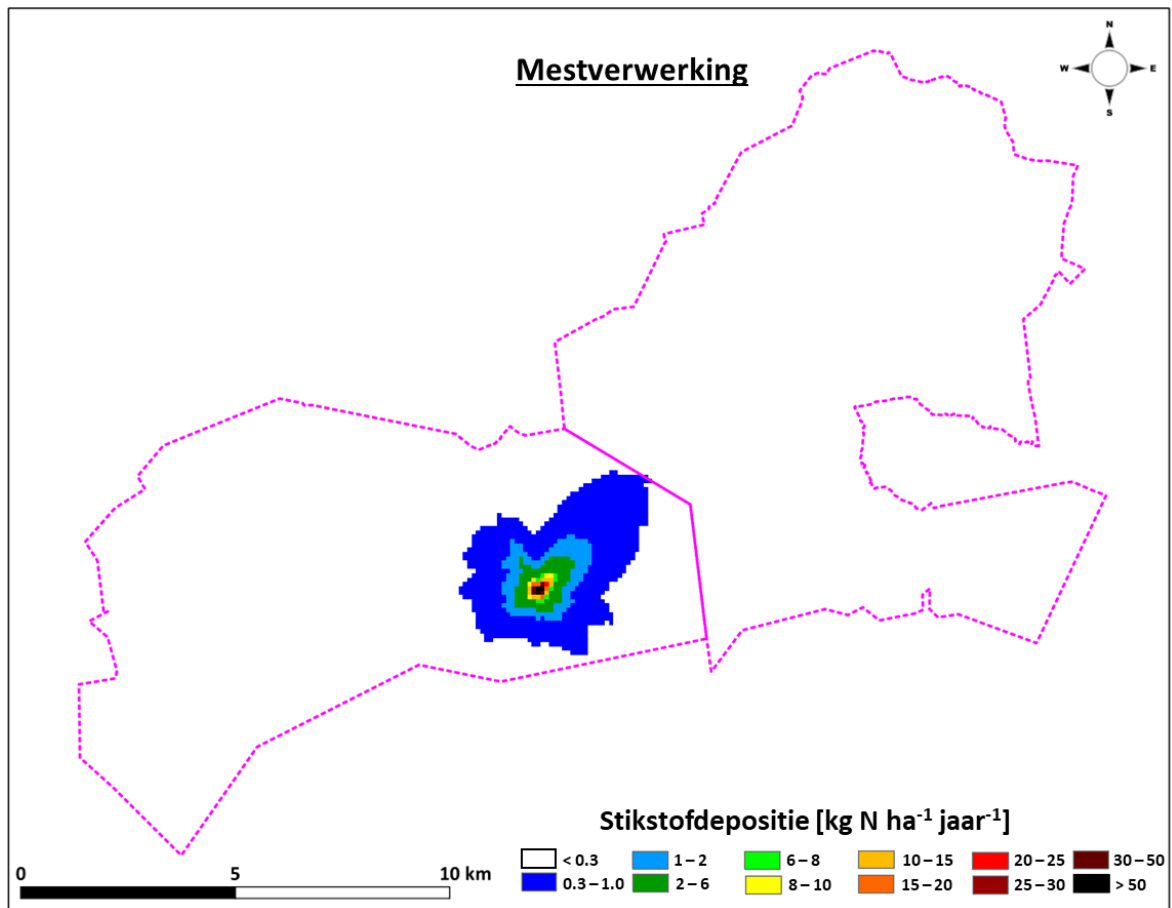
Figuur 50 : De bijdrage van de Nederlandse stallen binnen het domein aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



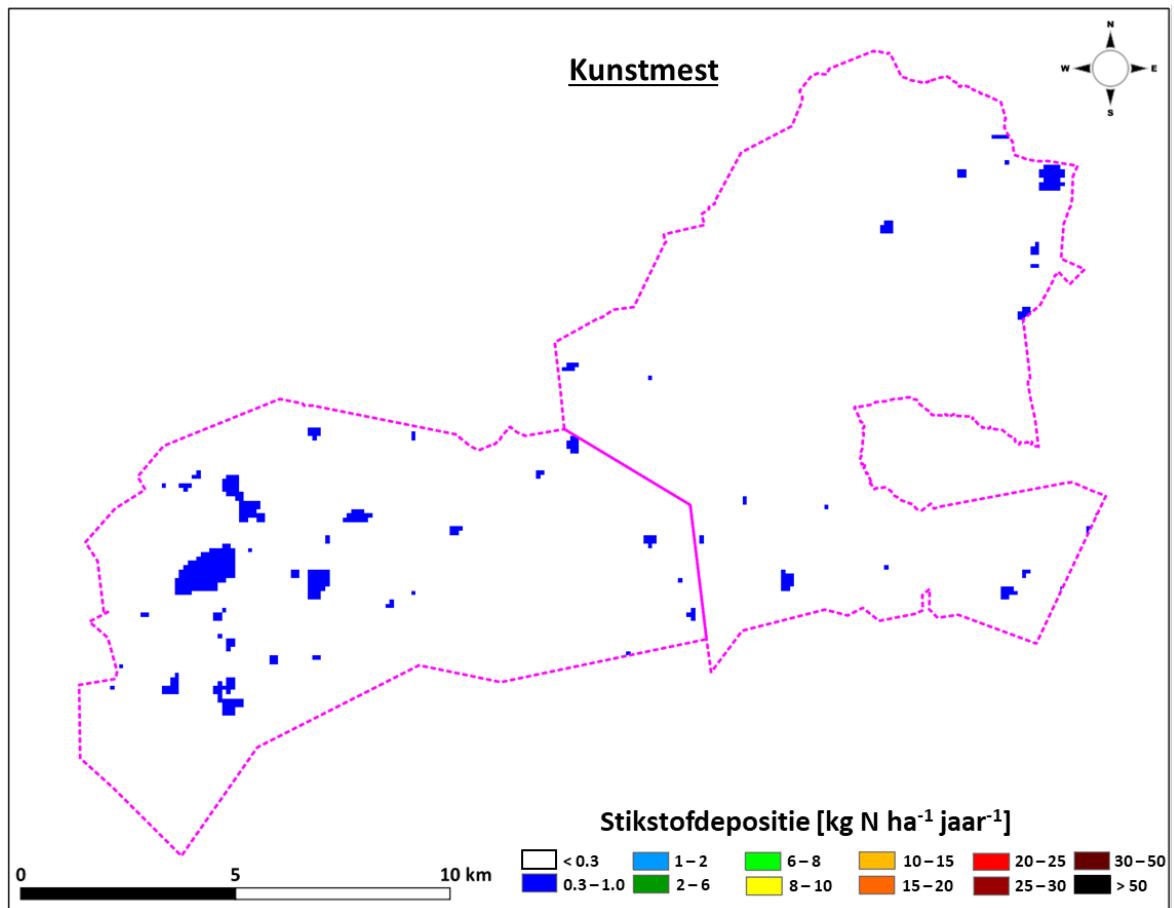
Figuur 51 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector wegverkeer aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



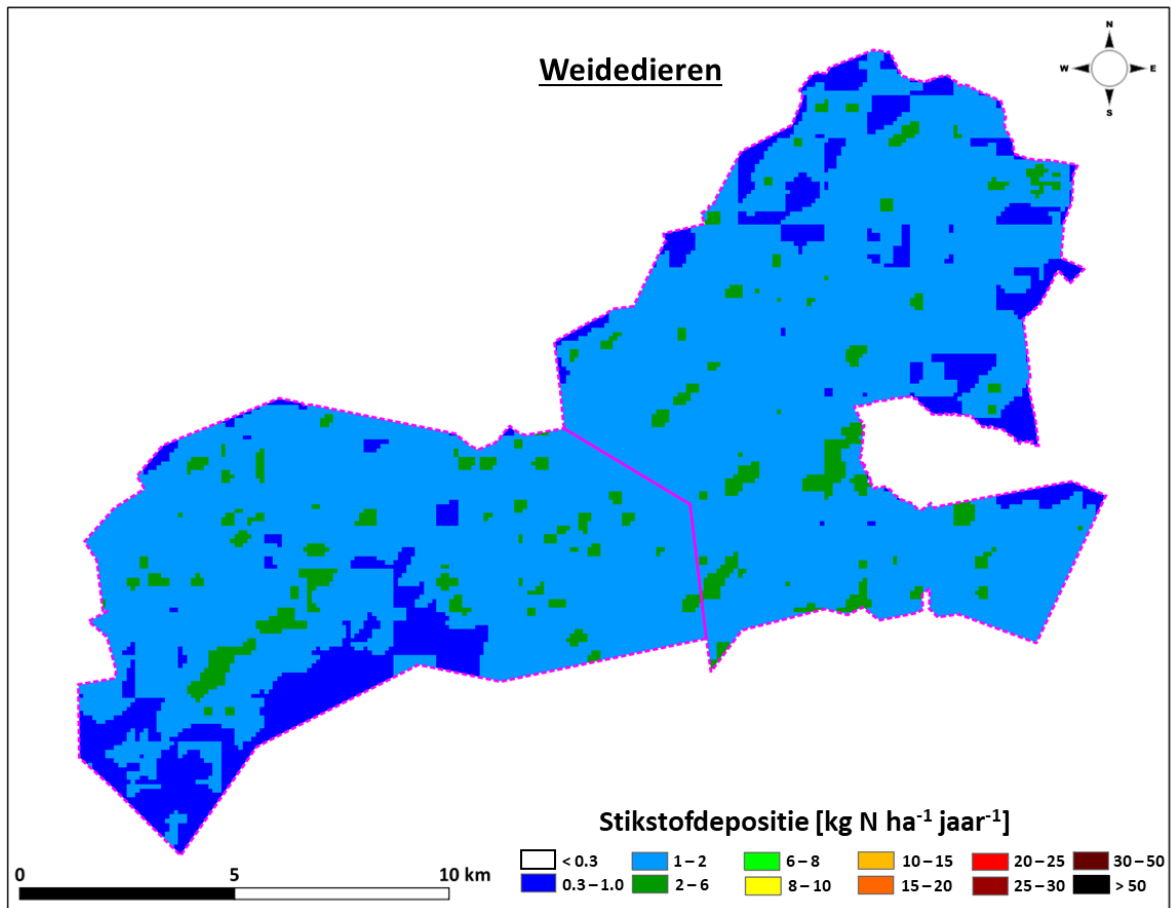
Figuur 52 : De bijdrage van de lokale bronnen van de stallen aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



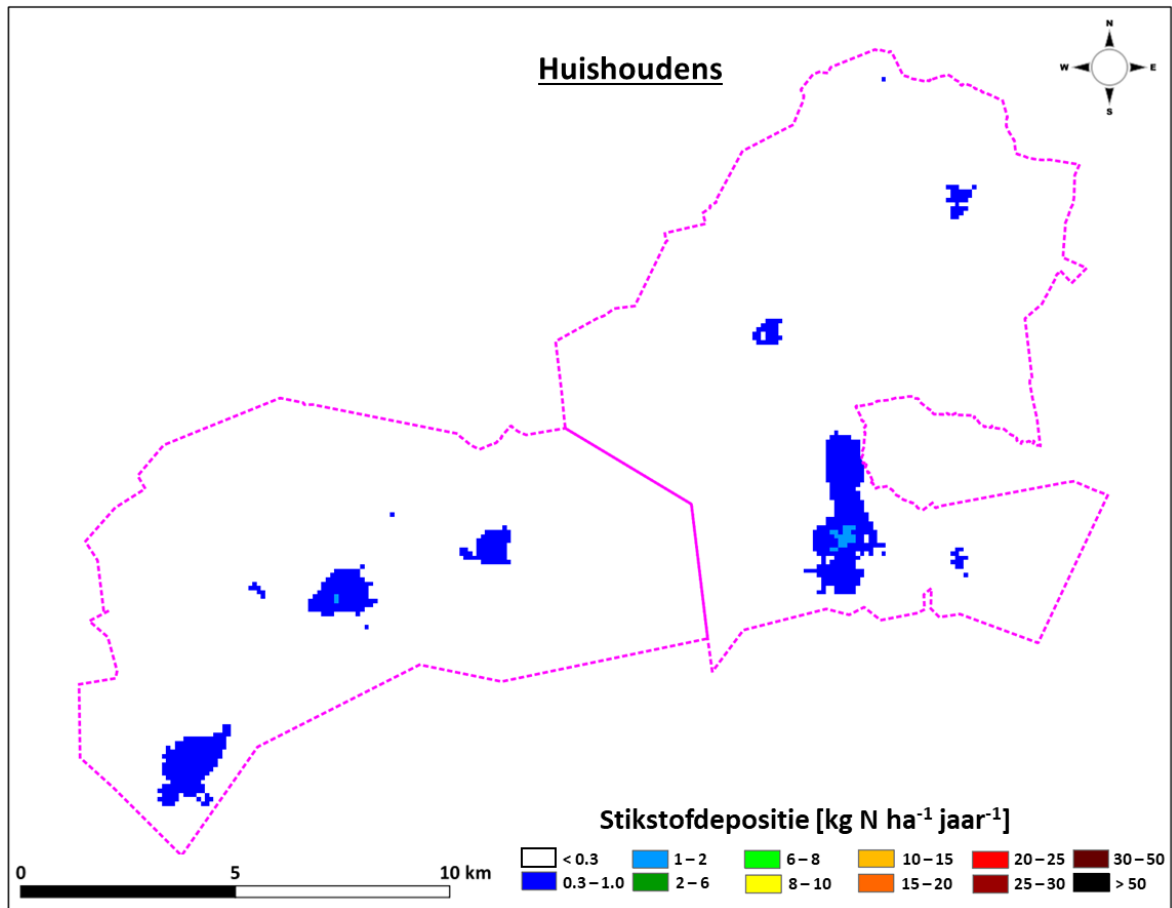
Figuur 53 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector mestverwerking aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



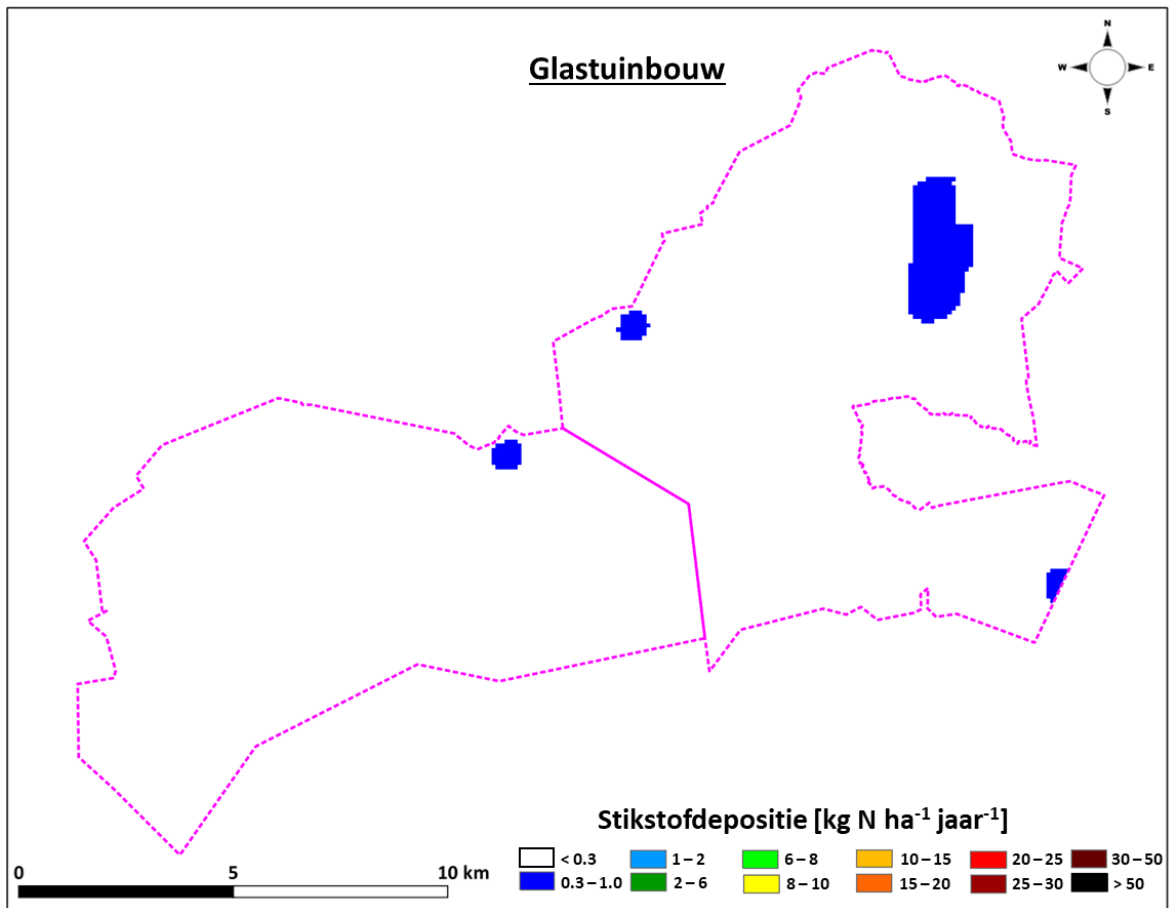
Figuur 54 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector kunstmest aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



Figuur 55 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector weidedieren aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



Figuur 56 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector huishoudens aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).

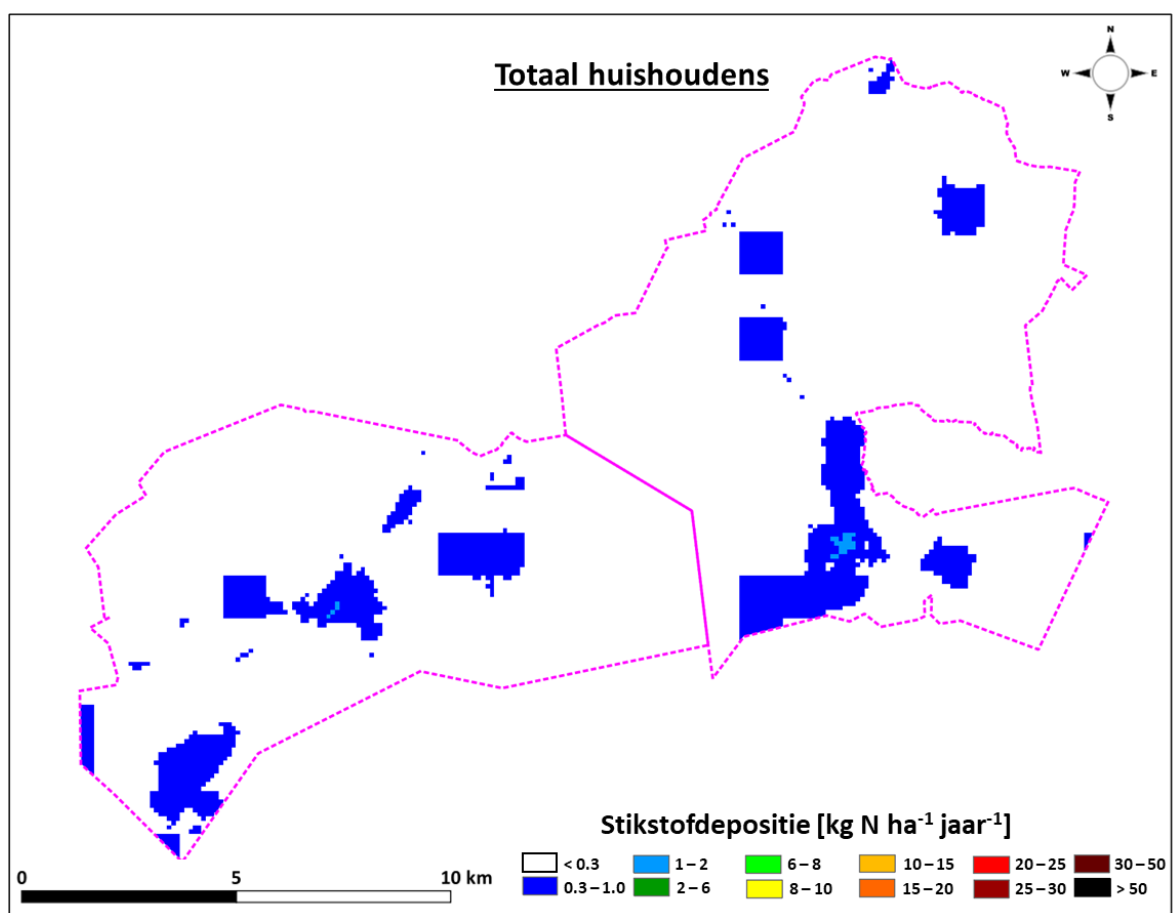


Figuur 57 : De bijdrage van de lokale bronnen van de sector glastuinbouw aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).

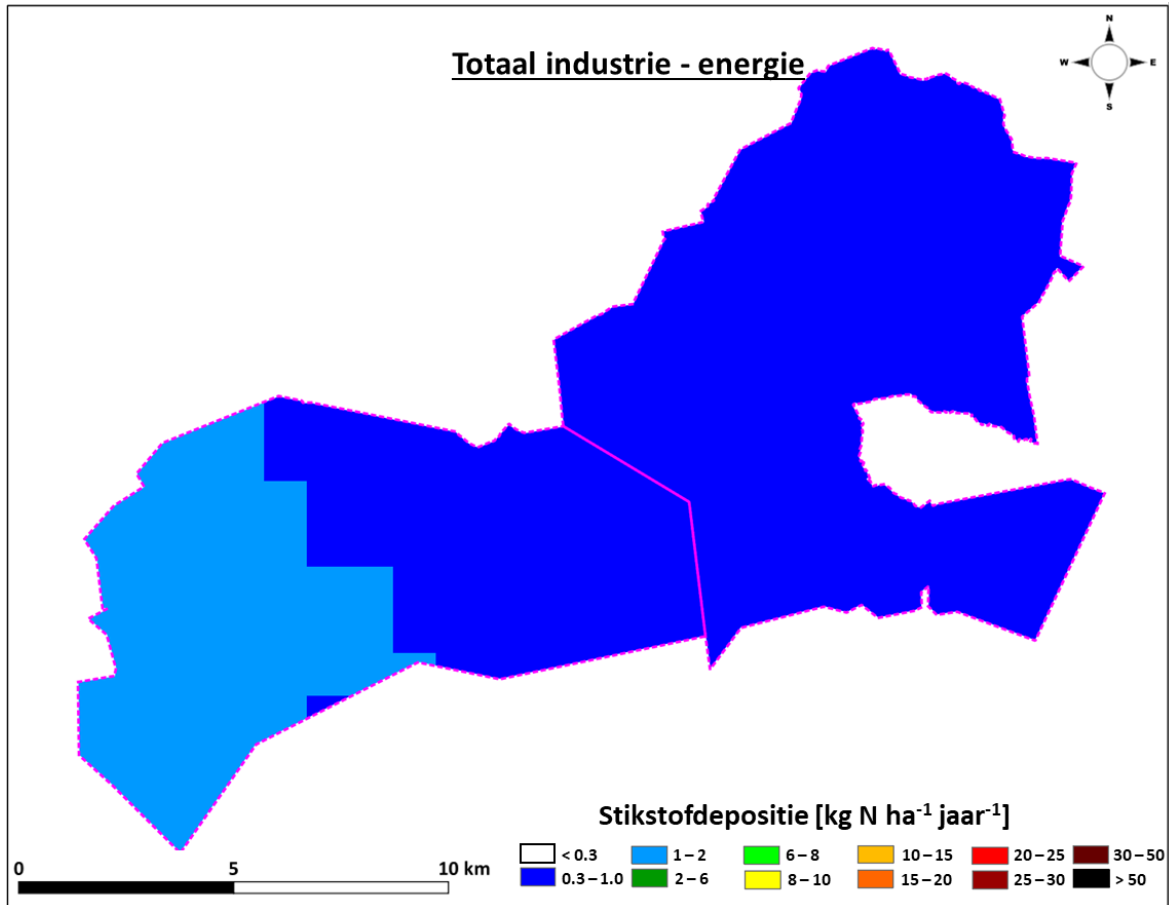
5.4.2. TOTALE BIJDRAGE

Kijken we nu naar de totalen per hoofdsector (en dus niet alleen naar de lokale bronnen, Figuur 58-Figuur 62) dan vinden we dat vooral buitenland (niet-Vlaamse bronnen) en de Vlaamse landbouw de hoeveelheid stikstof-depositie in de gemeenten bepalen. Ook het Vlaamse transport speelt nog een rol, net als de industrie- en energiesector. De sector huishoudens is weinig bepalend en de sector handel & diensten is nergens significant.

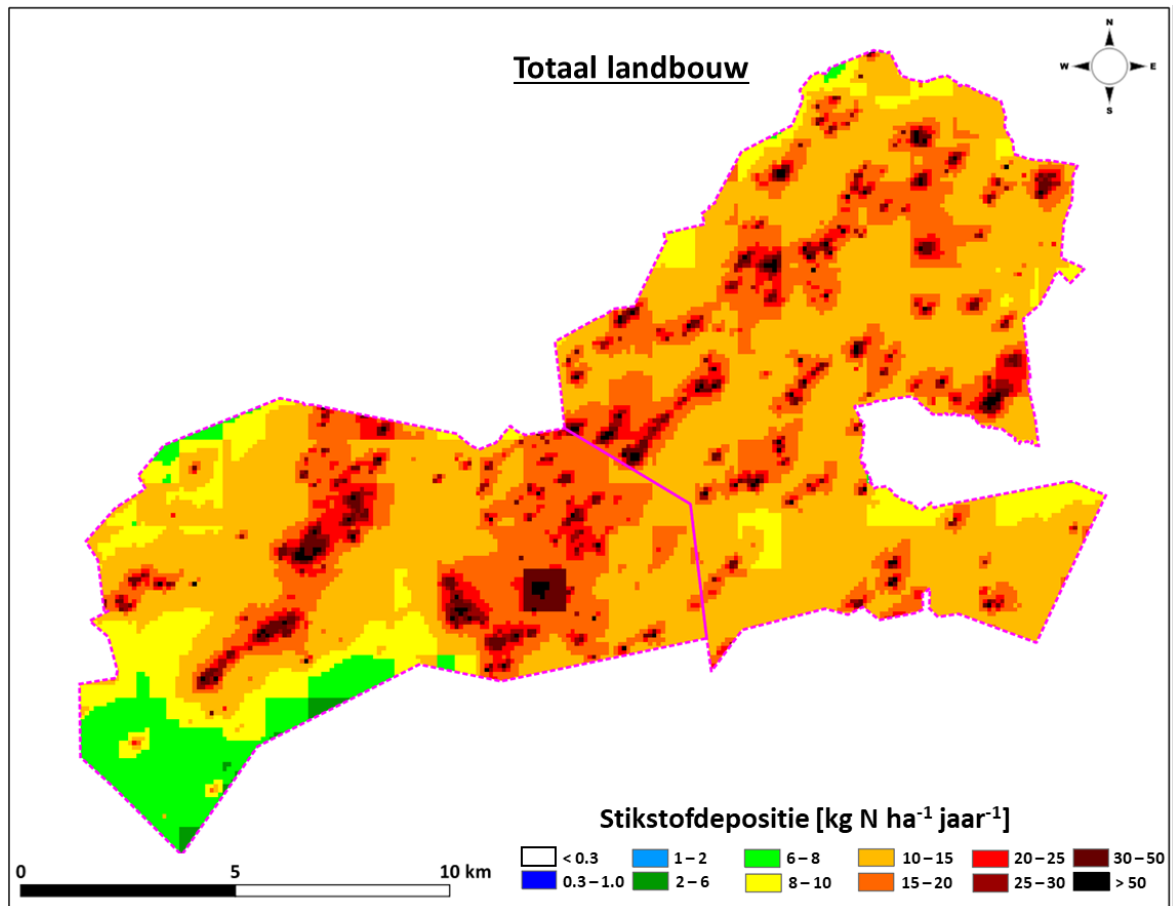
Finaal kunnen we stellen dat zelfs zonder lokale bronnen de hoeveelheid stikstofdepositie in Hoogstraten en Wuustwezel heel hoog zou zijn (Figuur 63). Daarentegen staat dat enkel de lokale bronnen op veel locaties ook leidt tot heel hoge stikstofdeposities (Figuur 64).



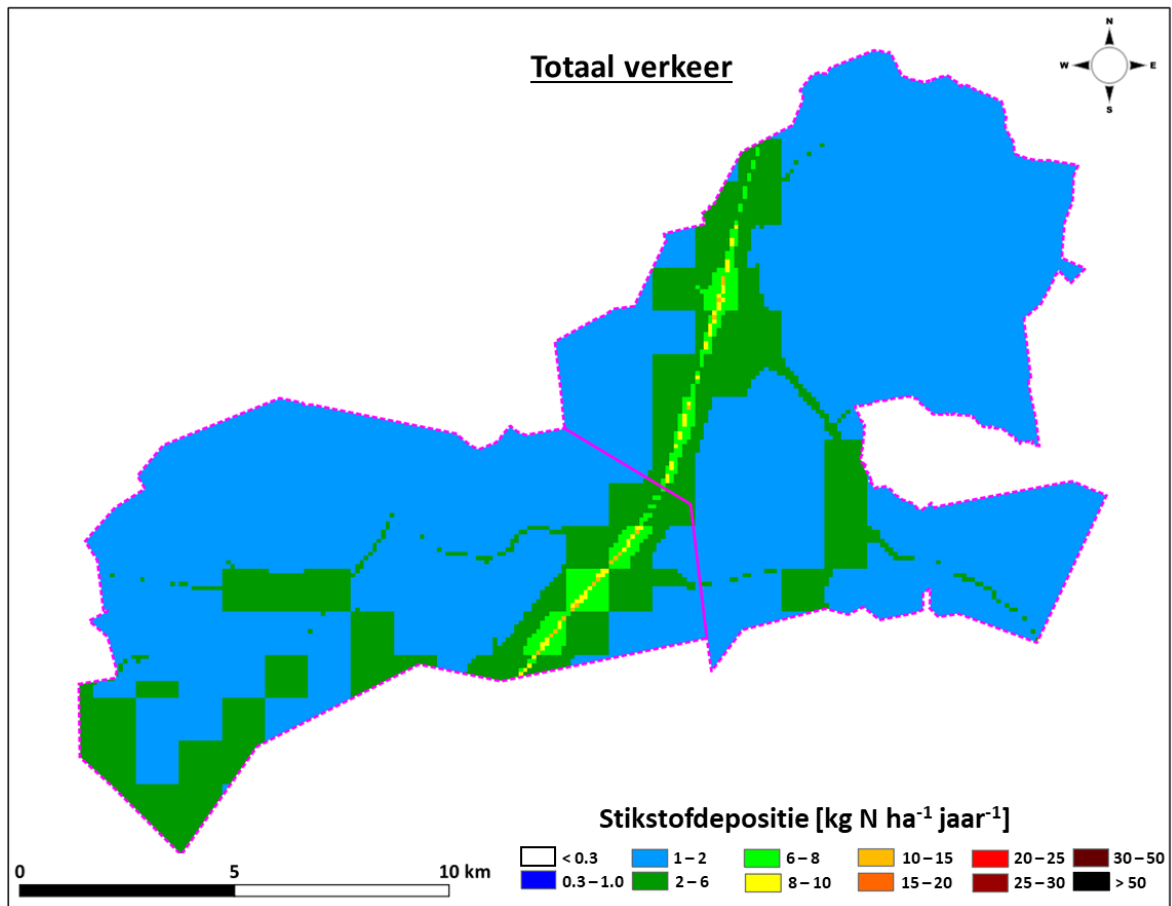
Figuur 58 : De bijdrage van de Vlaamse huishoudens aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



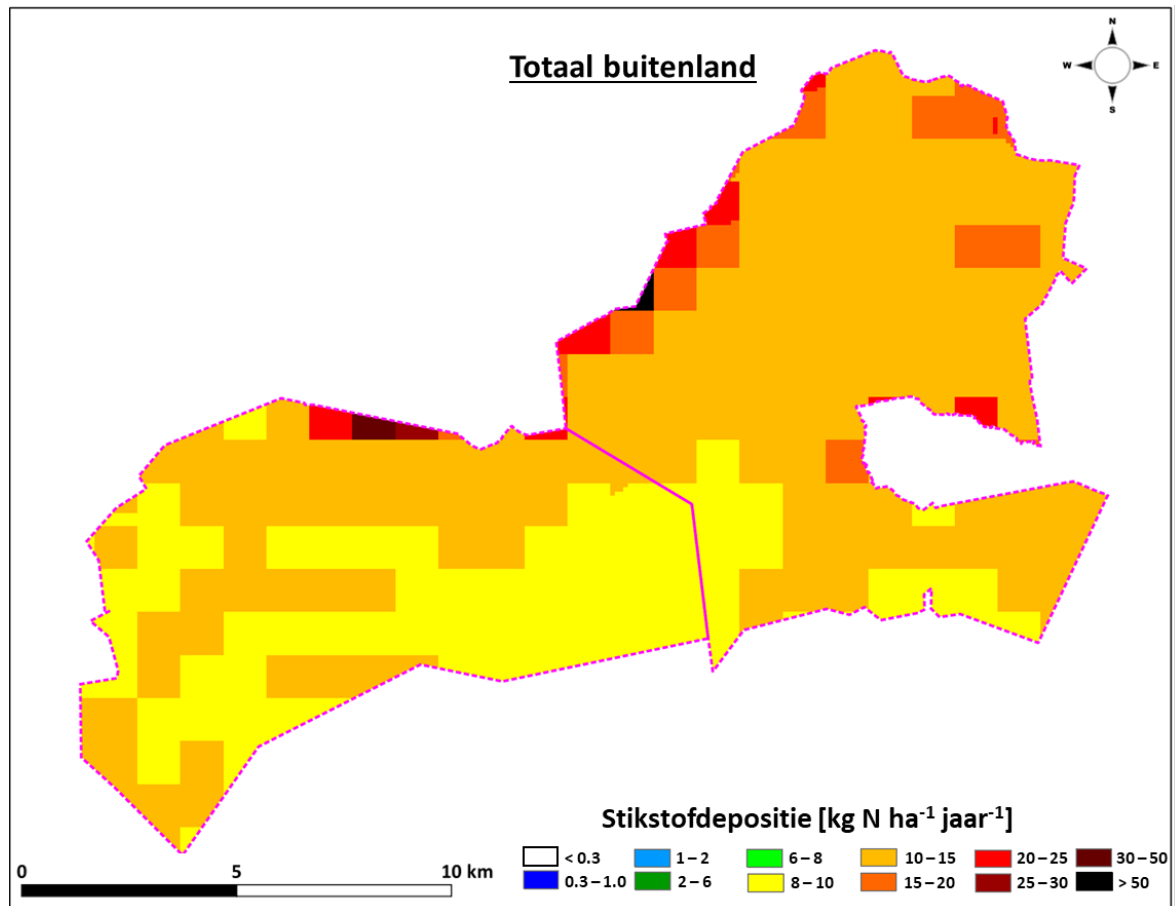
Figuur 59 : De bijdrage van de Vlaamse industrie en energie-sector aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



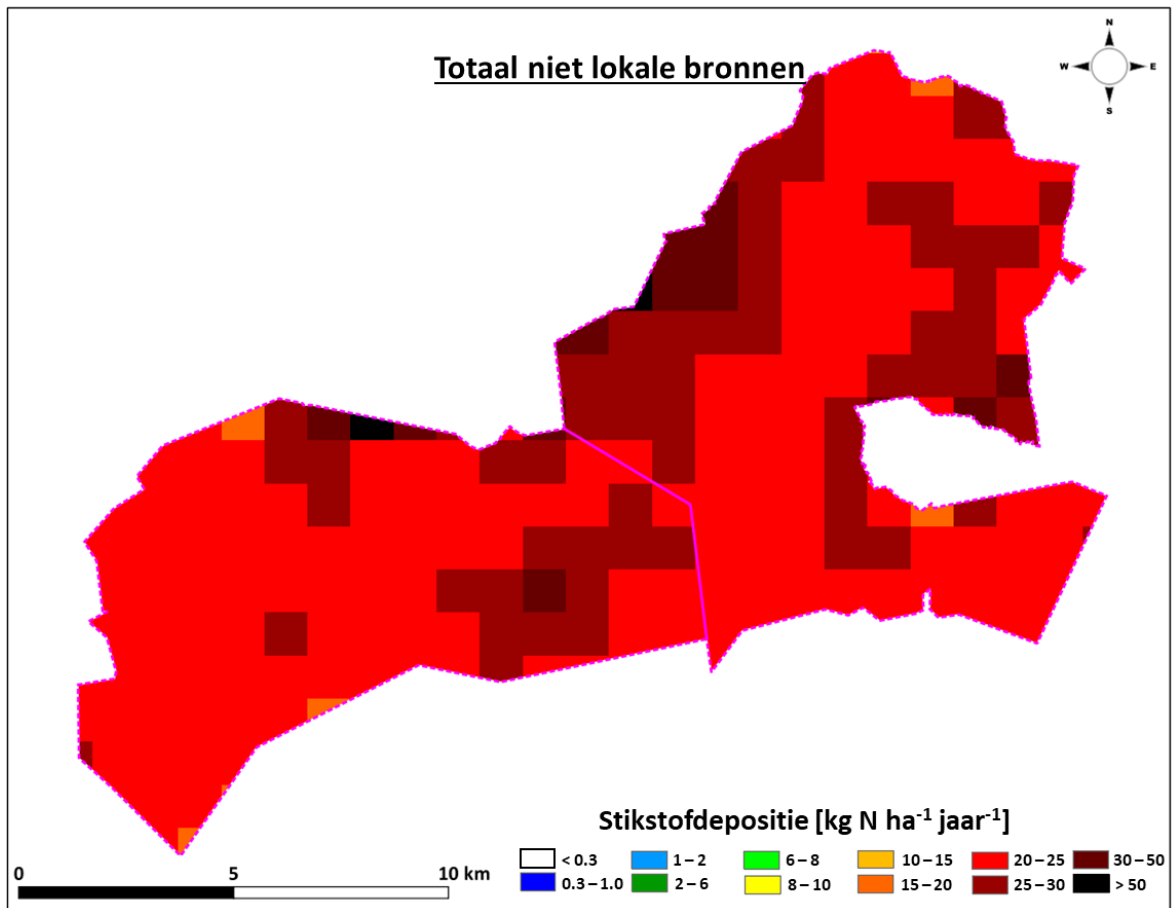
Figuur 60 : De bijdrage van de Vlaamse landbouwsector aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



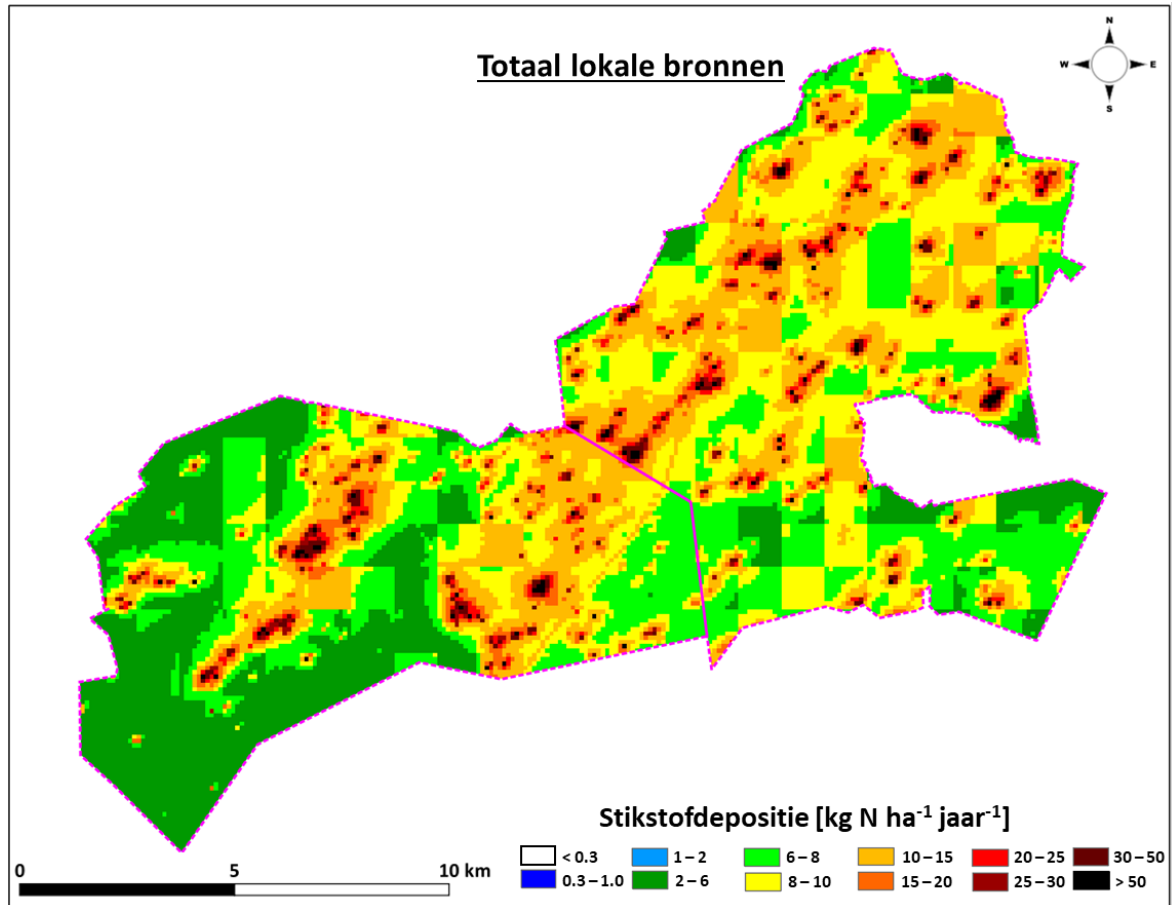
Figuur 61 : De bijdrage van de Vlaamse transportsector aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



Figuur 62 : De bijdrage van de niet-Vlaamse bronnen aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



Figuur 63 : De bijdrage van de bronnen buiten het modeldomein aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).



Figuur 64 : De bijdrage van de bronnen binnen het modeldomein aan de stikstofdepositie (in kgN/ha/jaar).

5.4.3. VERGELIJKING MET DRAAGKRACHT NATUUR

De draagkracht van de natuur wordt aangeduid met de kritische depositie waarde (KDW). Deze waarde geeft aan welke stikstofdepositie er mag neerkomen op een bepaald type natuur zonder significante negatieve langetermijneffecten voor deze natuur.

De waardes voor ieder natuurstype werden bepaald voor alle types die beschermd worden door de Europese habitatrichtlijn. Deze waardes zijn te vinden op <https://pww.natuurenbos.be/sites/pww/files/2019-09/bijlage%20KDW%20eutrofi%C3%ABring.pdf>. Natuurstypes met een aanduiding '> 34 kgN/ha/jaar' zijn niet-stikstofgevoelig en worden in deze analyse genegeerd.

Voor de niet-Europees beschermde natuur zijn er nog geen waardes bekend. In deze analyse kunnen we dus niet anders dan deze te negeren.

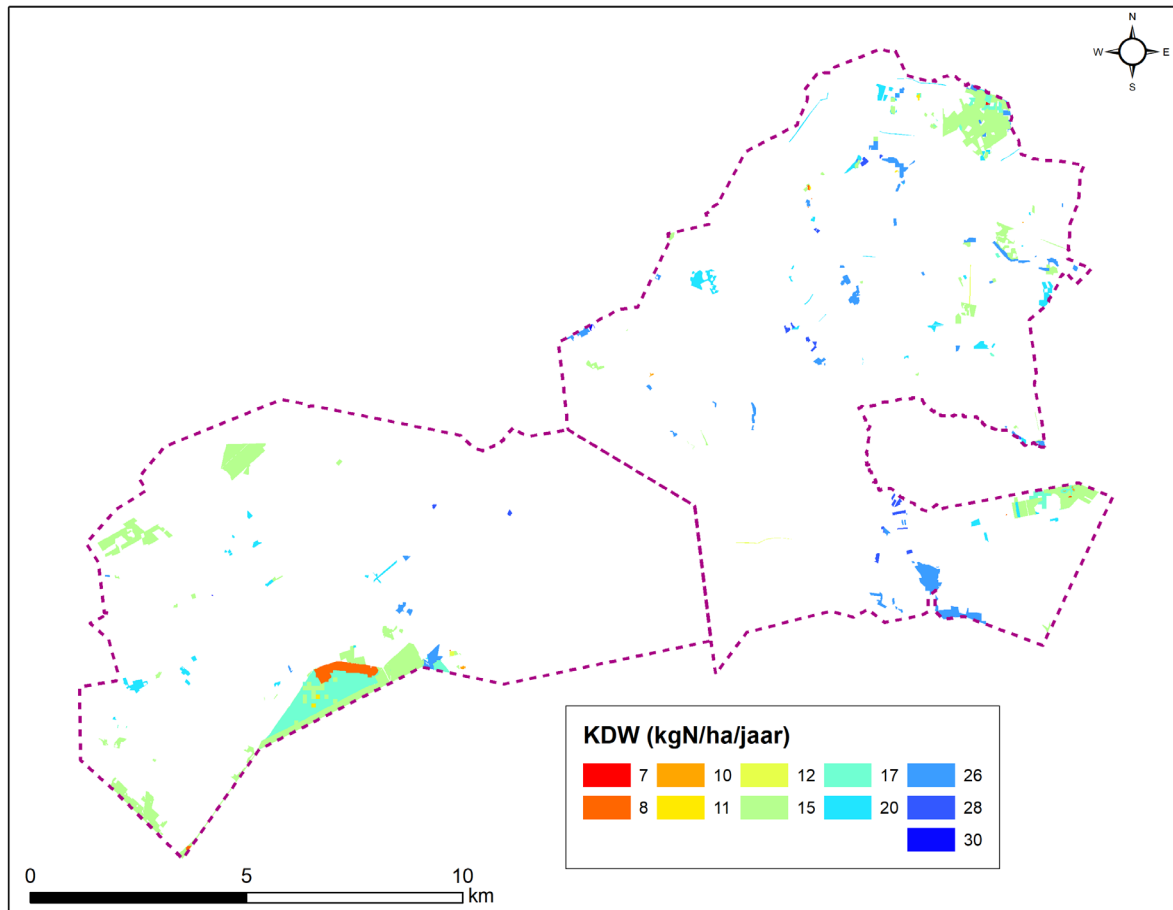
Op Figuur 65 vinden we de kritische depositiewaardes van de natuur binnen Hoogstraten en Wuustwezel. Deze is als volgt bepaald:

- Op basis van de BWK-kaart 2018 (bron: geopunt.be) werd bepaald wat de KDW is van de actuele natuur. In het geval dat er meerdere types natuur ingetekend werden op een bepaalde locatie wordt de laagste KDW gekozen.
- Binnen de speciale beschermingszones voor de Europese habitatrichtlijn (SBZ-H) zijn er al verschillende afspraken gemaakt om de natuur om te vormen tot een ander type natuur (bv. bos naar heidelandschap). Deze aanpassingen worden de natuurdoelen genoemd en overschrijven de actuele natuur.
- Binnen de speciale beschermingszones voor de Europese habitatrichtlijn (SBZ-H) zijn er ook zoekzones getekend voor potentiële mogelijke toekomstige natuur. Deze worden ook in de analyse meegenomen. Om de invloed van deze laatste twee punten te testen (natuurdoelen + zoekzones) is Figuur 65 ook bepaald met alleen de actuele habitats. Deze figuur is te vinden in Figuur 67. Het verschil tussen beide kaarten is duidelijk, maar het zal niets aan de conclusies veranderen.

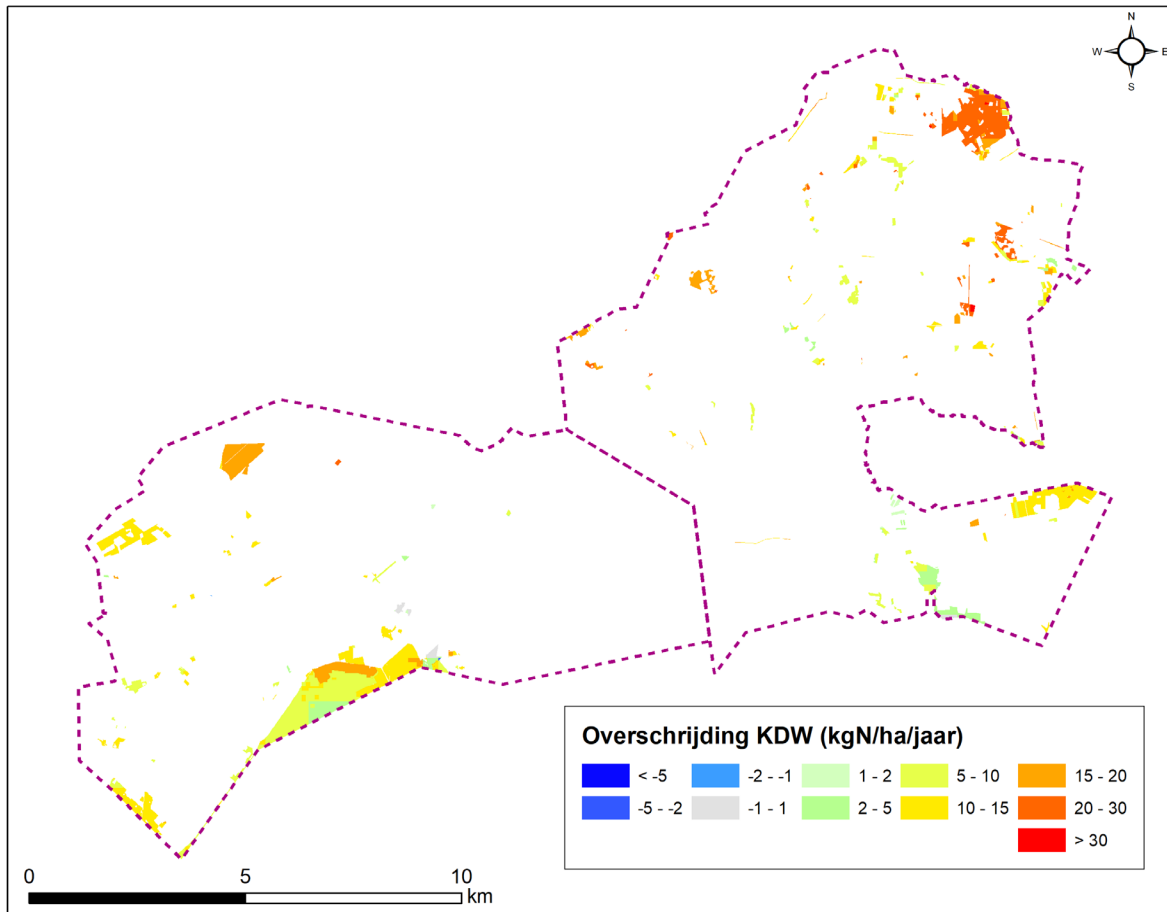
De methode van het opstellen van de kaart is hierin identiek als wat er gebruikt wordt in de impact-tool (impactscore, <https://www.milieuinfo.be/impactscore/#/>) behalve dat ze ook toegepast werd voor actueel habitat dat zich niet binnen het SBZ-H bevindt (maar dat wel van hetzelfde type als de Europees beschermde natuur is en dus een KDW toegekend kreeg).

We zien dat binnen de betrokken gemeenten de KDW een range heeft van 7 tot 30 kgN/ha/jaar waarbij de waardes van respectievelijk 15, 17, 26 en 8 kgN/ha/jaar het meest voorkomen. De witte gebieden op kaart bevatten geen door Europa te beschermen natuur of deze natuur is niet stikstofgevoelig.

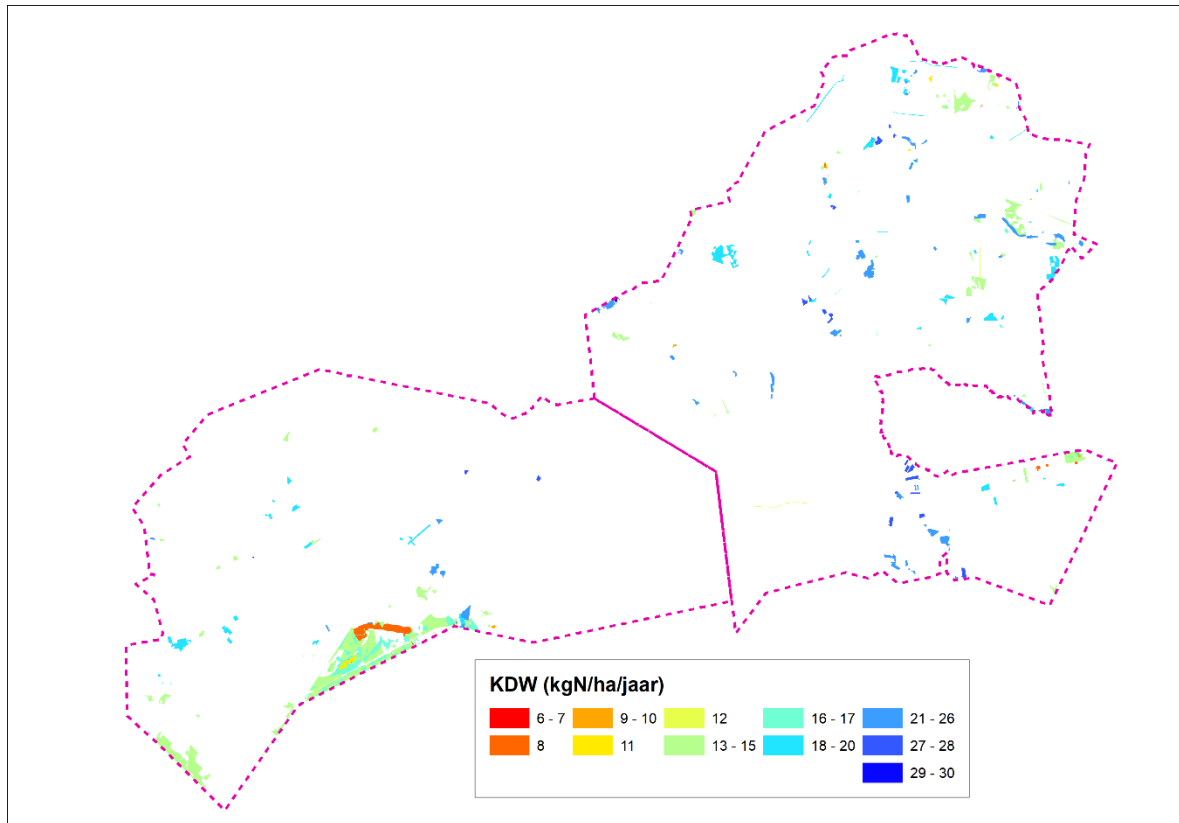
Kruisen we nu wat de natuur aankant (Figuur 65) met wat er neervalt in de natuur (Figuur 20) dan krijgen we dat de natuur bijna overal een overmaat aan stikstof te verwerken krijgt (Figuur 66) en dat deze overschrijdingen vaak heel groot zijn.



Figuur 65 : Kritische depositiewaarde (KDW, in kgN/ha/jaar) van de natuur in de betrokken gemeenten.



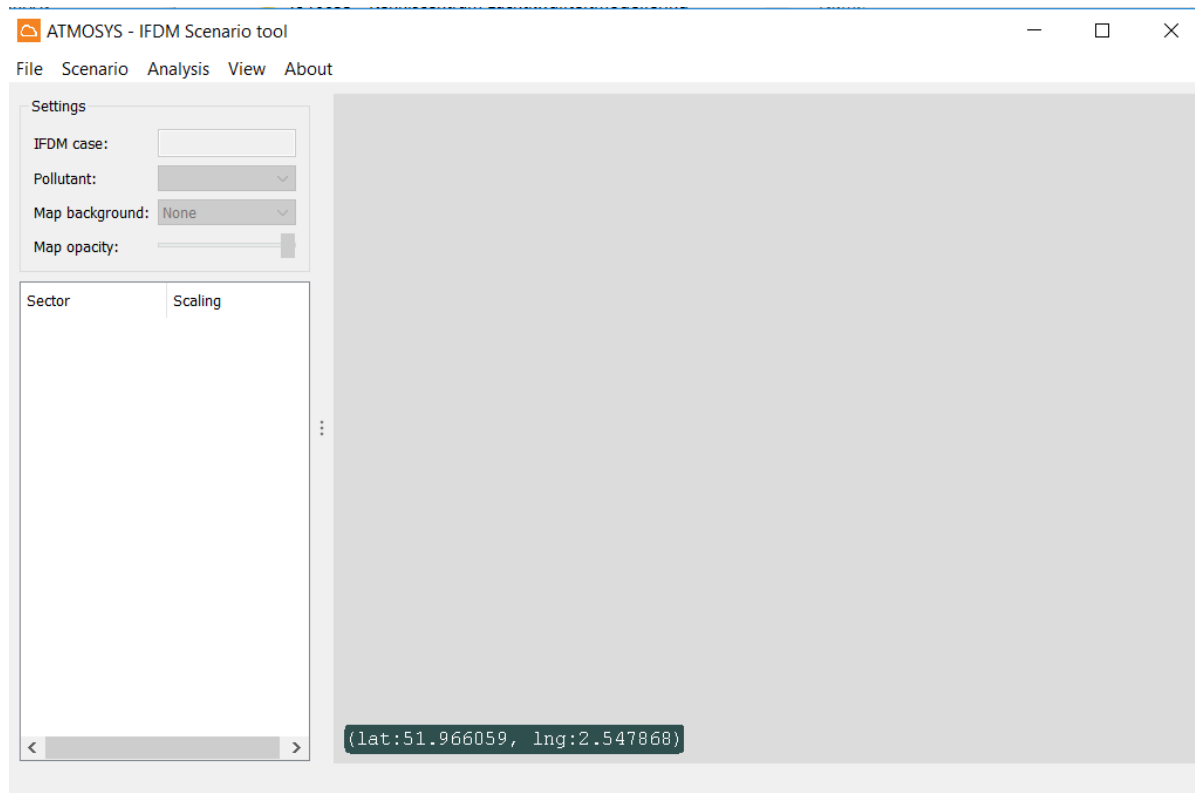
Figuur 66 : Overschrijding van de kritische depositiewaarde (in kgN/ha/jaar) van de natuur in de betrokken gemeenten.



Figuur 67 : Kritische depositiewaarde (KDW, in kgN/ha/jaar) van de natuur in de betrokken gemeenten voor alleen de actuele habitats.

5.5. BESCHRIJVING GEBRUIK IFDM-SCENARIO ANALYZER

De brontoewijzing kan ook bekeken worden in de meegeleverde IFDM-scenario analyzer tool. De aangeleverde bestanden worden ge-unzippt. In het zip-bestand zitten naast een .exe-bestand ook nog twee directories config en data die nodig zijn om de tool correct te doen werken. Het is belangrijk deze directorystructuur niet te veranderen. Om de tool te starten klikken we op het bestand IFDMScenarioTool.exe. Dan verschijnt het scherm zoals op Figuur 68.

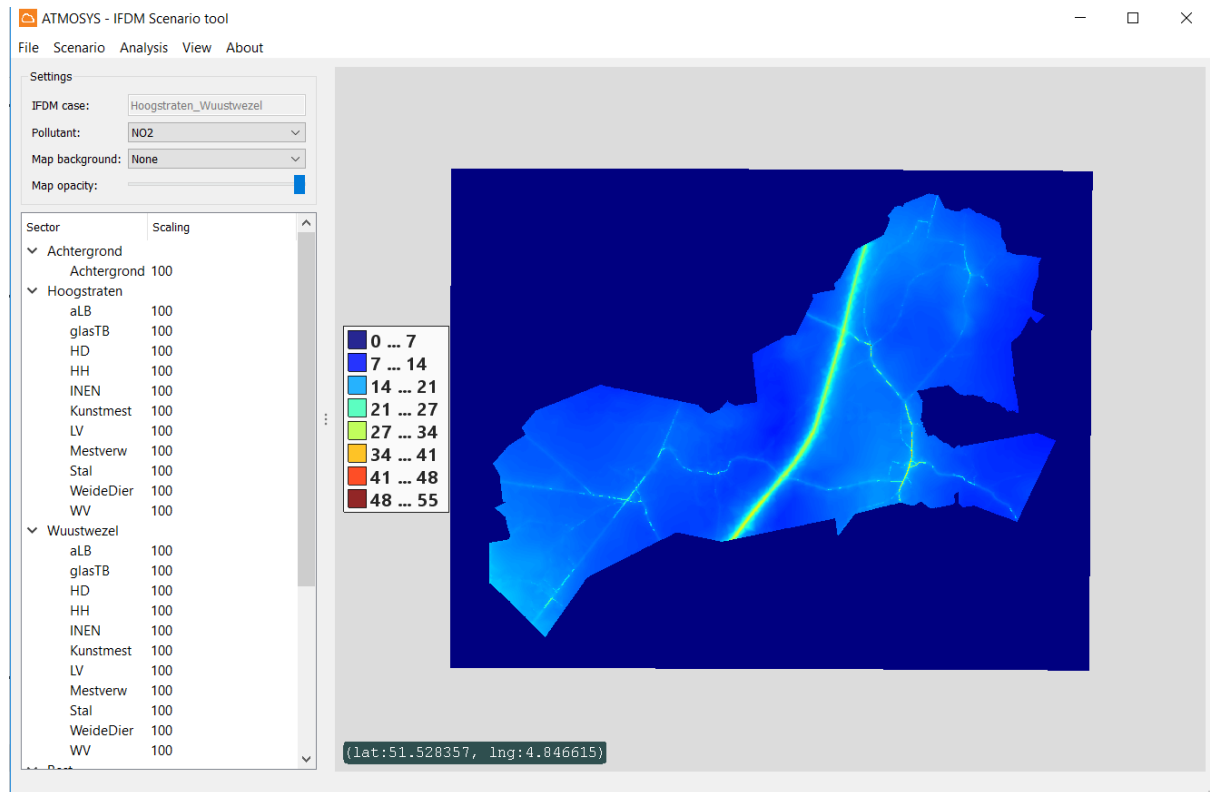


Figuur 68 : Het beginscherm van de ATMOSYS-IFDM Scenario tool.

Een scenario wordt ingeladen door te klikken op File – Open Case, te bladeren naar het mapje config en dan het juiste bestand te kiezen en op open te klikken. Er zijn twee mogelijkheden:

- config_Ndep_Hoogstraten.xml voor de stikstofdepositie
- config_NO2_PM25_Hoogstraten.xml voor de concentraties van NO₂ en PM_{2.5}.

Daarna wordt bij Pollutant in de linkerkolom de gewenste pollutant gekozen. Na even wachten verschijnt er een kaart (Figuur 69).



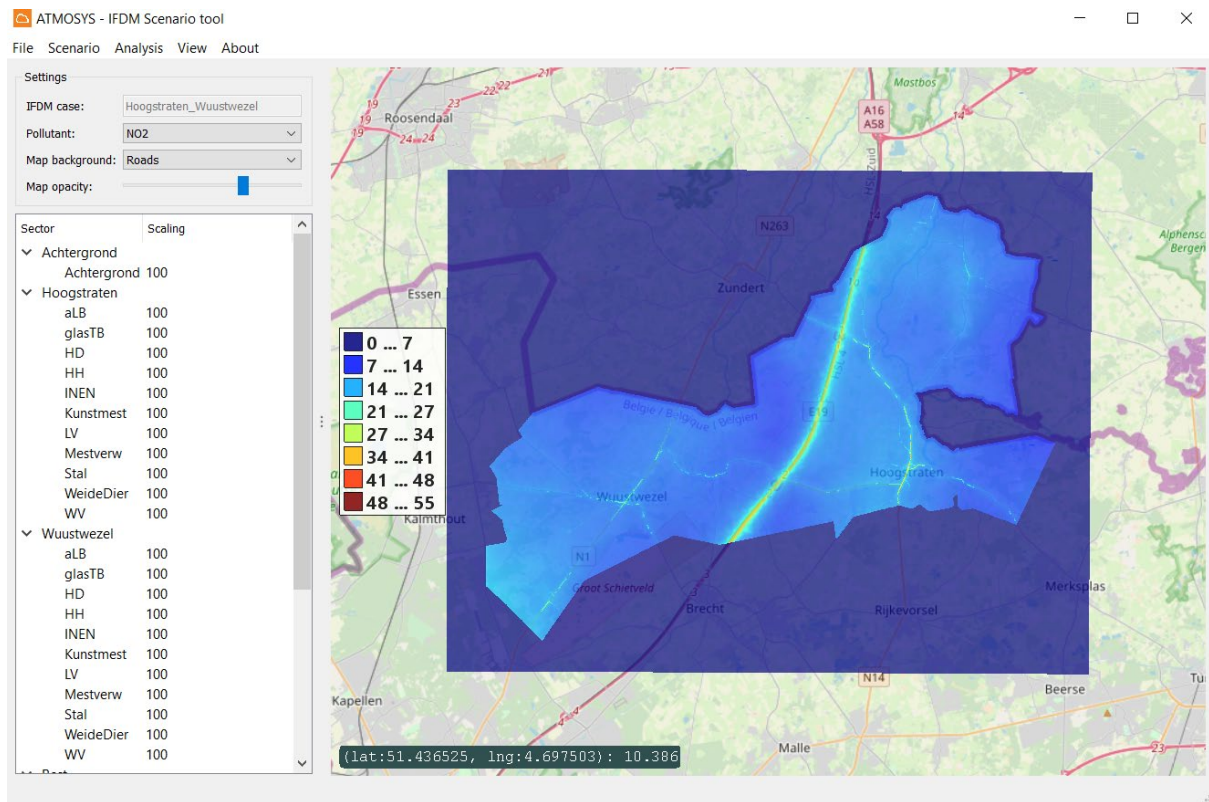
Figuur 69 : De situatie na het kiezen van de pollutent.

De kleurenschaal van de kaart kan aangepast worden bij View – Set Limits waar een onder- en een bovengrens naar keuze ingegeven kunnen worden.

Er kan een achtergrondkaart gekozen worden bij Map Background in het linkerbovengedeelte van de tool. Deze zal echter nog niet zichtbaar zijn in het domein van de berekeningen aangezien de kaart er boven ligt. De transparantie van de kaart kan echter aangepast worden met de slider bij Map opacity (Figuur 70).

Er kan op de kaart gezoomd worden met het wielekje van de muis. Ook slepen in de kaart kan, zoals dit bijvoorbeeld ook kan in Google Maps.

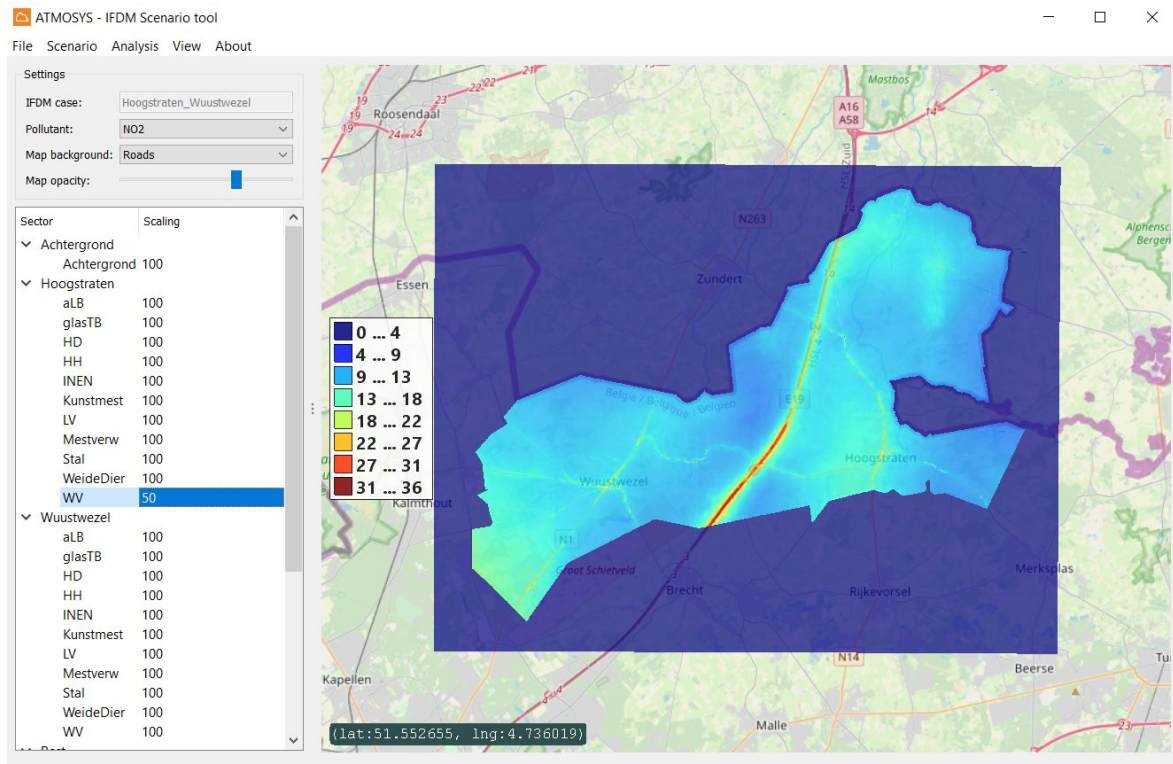
De exacte waarde van de kaart op een locatie kan gevonden worden door met de muis op de locatie te gaan staan. Linksonder in het rechterpaneel verschijnen dan de coördinaten en de concentratiewaarde op die plaats.



Figuur 70 : De situatie na het aanzetten van de achtergrondkaart en de het deels transparant maken van de datakaart.

In de linkerkolom (onderste stuk) staan alle sectoren per regio in het domein aangeduid met een 100 naast iedere sector. Hierin kan geschaald worden door die 100 aan te passen. Als men bijvoorbeeld onder Hoogstraten bij WV de 100 naar 50 zet halveert men het effect van het wegverkeer in Hoogstraten (Figuur 71). De kleurschaal past zich automatisch aan, behalve indien men die eerst gekozen heeft (zie boven). In dat laatste geval blijft ze gelijk. Volgende sectoren zijn beschikbaar in één of meerdere categorieën:

- Achtergrond = achtergrond
- aLB = andere landbouw
- glasTB = glastuinbouw
- HD = handel & diensten
- HH = huishoudens
- INEN = industrie en energie
- Kunstmest = gebruik van kunstmest
- LV = luchtvaart
- Mestverw = mestverwerking
- Stal = stallen
- WeideDier = dieren op de weide
- WV = wegverkeer
- StalNL = stallen in Nederland



Figuur 71 : De situatie na het halveren van het wegverkeer in Hoogstraten.

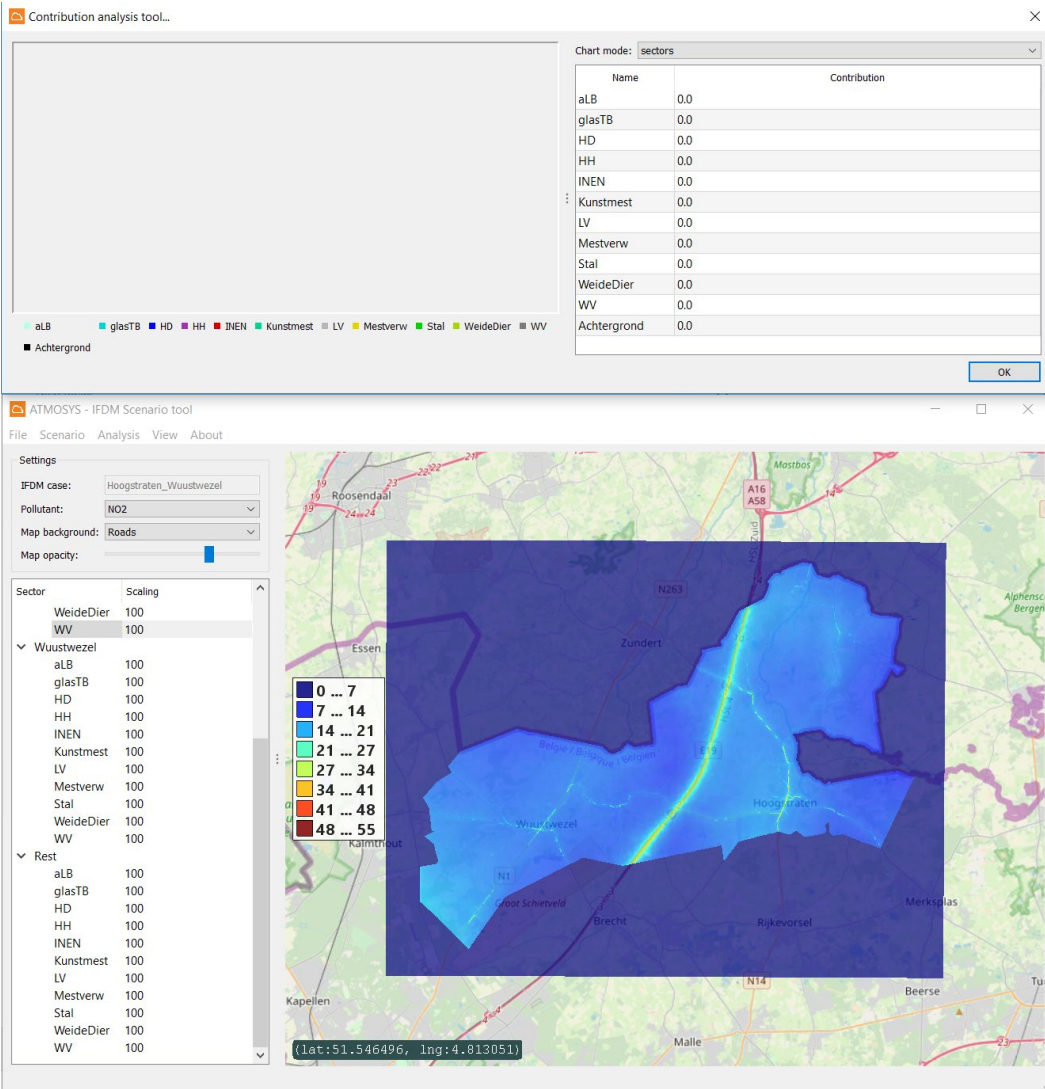
Een scenario kan opgeslagen worden onder Scenario – Save Scenario. We kunnen terug naar de beginsituatie door bij Scenario – Reset te nemen. Scenario – Load Scenario laat ons toe om een eerder gesaved scenario terug te laden.

Bij Analysis – Sector Contributions kan gekeken worden naar de brontoewijzing per locatie. Het is aan te raden om dit te doen nadat het scenario gereset werd zodat alle bijdrages weer op 100% staan. De brontoewijzing opent in een ander kader (Figuur 72). Klikken op een willekeurig punt op de kaart geeft dan in het andere deel de brontoewijzing, zowel als taartgrafiek als in cijfers (Figuur 73). Indien liever de brontoewijzing per regio ipv per sector gewenst is kan dit gekozen worden door in het brontoewijzingsveld bij Chart mode sources te kiezen (Figuur 74).

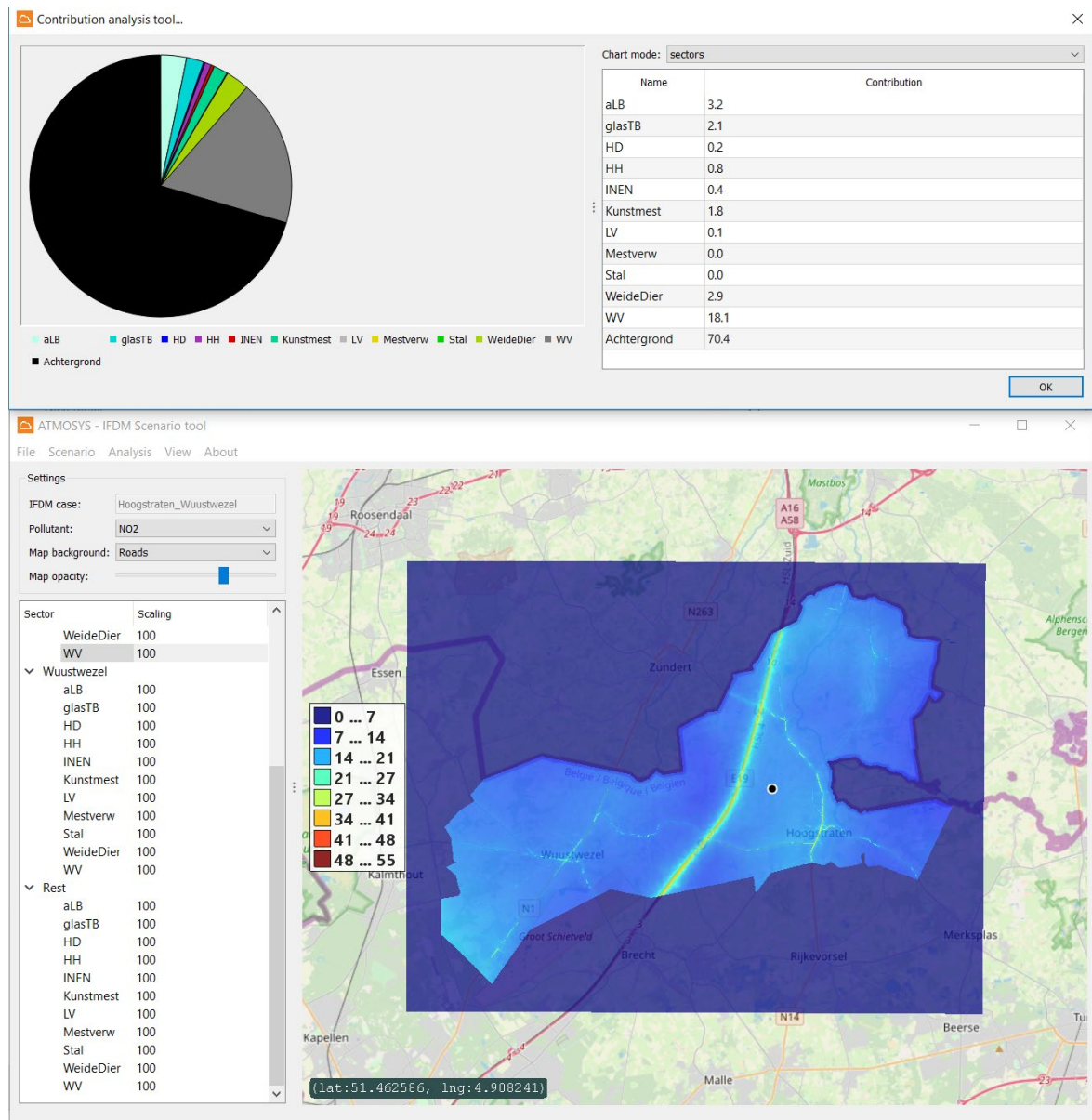
Bij About kan er meer info gekregen worden over de tool en de gebruikte software.

File – Settings is niet relevant in deze case.

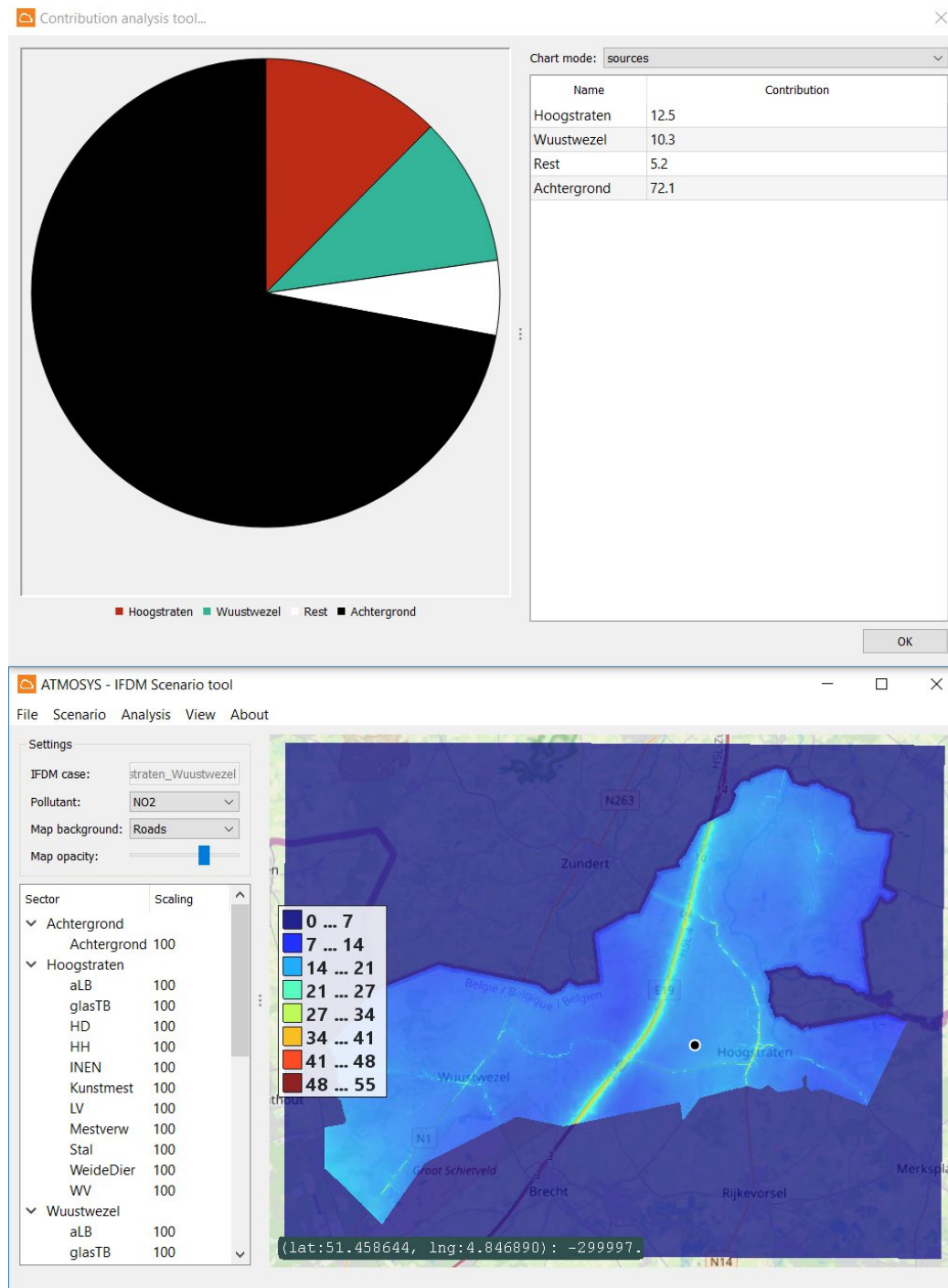
File – Exit doet het programma verlaten.



Figuur 72 : De situatie na openen brontoewijzing.



Figuur 73 : De situatie na het aanklikken van een bepaald punt.



Figuur 74 : De situatie na het switchen naar de regio-brontoewijzing.

HOOFDSTUK 6. **BESLUITEN EN GEBRUIK VAN DEZE STUDIE VOOR LOKAAL BELEID**

Deze studie onderzocht de luchtkwaliteit in Hoogstraten en Wuustwezel. We kunnen volgende besluiten trekken:

- Voor wat betreft de concentraties aan stikstofdioxide (NO₂) is er geen groot probleem in de gemeenten. De concentraties liggen voor een groot deel onder de Luchtplan-drempel van 20 µg/m³ en de Europese norm wordt slechts sporadisch, in enkele street canyons, overschreden. Wegverkeer blijkt de belangrijkste lokale bron, maar de invoer vanuit de rest van de wereld is heel belangrijk.
- Voor wat betreft fijn stof is er ook geen groot probleem. De concentraties liggen onder de Europese limieten, behalve mogelijks in de omgeving van belangrijke bronnen van houtstook. De WGO-streefwaarde wordt wel overal overschreden, net zoals in zowat heel Vlaanderen. De belangrijkste oorzaak van het fijn stof in de betrokken gemeenten is invoer van buiten uit. De belangrijkste lokale bron is houtverbranding bij de verschillende huishoudens.
- De deposities van reactief stikstof zijn heel hoog binnen de betrokken gemeenten en overschrijden quasi overal de draagkracht van de natuur. Dit is zowel gelinkt aan lokale emissies (stallen, mestverwerking, wegverkeer) als aan emissies buiten de gemeenten.
- Er is een aanzienlijke negatieve bijdrage door geurhinder in grote delen van de betrokken gemeenten. Dit is gelinkt aan de emissies in de landbouw.

De opdrachtgevende gemeenten willen deze studie nu gebruiken om hen te helpen vergunningen te beoordelen en principes op te stellen voor zulke beoordelingen. Daarnaast willen ze ook de studie gebruiken voor het bepalen van algemene kaders, zoals het beleidsplan ruimte. Automatisch komen er uit de resultaten van deze studie verschillende vragen naar boven:

- 1) Welke maatregelen kunnen getroffen worden om de verschillende milieudrukken te verminderen?
- 2) Hoe kunnen de resultaten van deze studie gebruikt worden om adviezen en beleidsplannen te ondersteunen?
- 3) Deze studie enkel gebaseerd is op cijfers voor 2017. Vergunningen toegekend na deze periode (of vergunningen die vroeger toegekend werden maar nog niet actief waren) zijn geen onderdeel van deze studie. Daarom stelt zich de vraag hoe de cijfers uit deze studie gebruikt kunnen worden om nieuwe vergunningen te beoordelen, zonder de reeds toegekende vergunningen te negeren. Ook stelt zich de vraag of vergunningen die reeds toegekend zijn de conclusies van deze studie zouden veranderen.

We proberen deze vragen dan ook te beantwoorden.

We zien doorheen de studie drie belangrijke lokale bronnen van vervuiling:

- 1) Veeteelt, in het bijzonder stalemissies, die verantwoordelijk zijn voor een significant deel van de stikstofdepositie en van de geurproblematiek.
- 2) Wegverkeer, wat een belangrijk is voor de NO₂-concentraties in de betrokken gemeenten. Dit is vooral belangrijk in de street canyons. Ook zien we een effect van het wegverkeer op de stikstofdepositie.
- 3) Houtverbranding, wat de belangrijkste lokale bron van fijn stof is in de gemeenten.

Voor elk van deze categorieën zijn maatregelen mogelijk die de betrokken overheid kan nemen/opleggen om de effecten te reduceren (zie ook Lefebvre, 2018). De belangrijkste maatregelen zijn typisch maatregelen die de emissies van de bron reduceren. Bij veeteelt kan het hierbij gaan om emissiearme stalsystemen (AEA-stallen) voor kippen en varkensbedrijven. Deze reduceren de ammoniakemissie per dier en hebben vaak ook een gunstige invloed op de geuremissies. Voor runderen zijn er mogelijkheden door gebruik te maken van de maatregelen op de PAS-lijst alhoewel de reducties hierdoor kleiner zijn. De belangrijkste maatregel die echter genomen kan worden in de reductie van de emissies is het reduceren van het aantal dieren. Om in te schatten naar welke diercategorieën er hiervoor gekeken moet worden kunnen we naar Tabel 5 kijken. We zien dat varkens meer dan de helft van de emissies uitmaken, terwijl ook pluimvee en runderen een belangrijke emissie geven. Andere sectoren zijn niet belangrijk en kunnen in eerste instantie genegeerd worden. Uit de data blijkt dat ook meer dan helft van de varkens in traditionele stallen zitten wat aanleiding geeft tot bijna 80% van de varkensstalemissies. Deze stallen omzetten naar AEA-systemen (zonder verhoging van de dieren aantallen) zou een duidelijke winst betekenen in de milieuproblematiek.

Tabel 5 : Emissies per diercategorie voor ammoniak en geur, voor Hoogstraten (boven), Wuustwezel (midden) en samengeteld over de gemeenten Wuustwezel en Hoogstraten (onderaan). Voor konijnen en paarden zijn geen geuremissies bekend vanwege het ontbreken van emissiefactoren (zie §3.4).

Diercategorie	NH ₃ -emissie (kg/jaar)	Geur-emissie (10 ⁶ ou _E /h)
Andere	8976 (1,2%)	146 (0,6%)
Paarden	1244 (0,2%)	0 (0,0%)
Pluimvee	153871 (19,9%)	1887 (8,3%)
Runderen	136035 (17,6%)	2556 (11,3%)
Varkens	474311 (61,2%)	18022 (79,7%)

Diercategorie	NH ₃ -emissie (kg/jaar)	Geur-emissie (10 ⁶ ou _E /h)
Andere	6338 (1,0%)	238 (1,5%)
Paarden	1735 (0,3%)	0 (0,0%)
Pluimvee	152738 (24,6%)	2031 (12,7%)
Runderen	159146 (25,6%)	3103 (19,3%)
Varkens	301141 (48,5%)	10680 (66,5%)

Diercategorie	NH ₃ -emissie (kg/jaar)	Geur-emissie (10 ⁶ ou _E /h)
Andere	15313 (1,1%)	385 (1,0%)
Paarden	2979 (0,2%)	0 (0,0%)
Pluimvee	306610 (22,0%)	3919 (10,1%)
Runderen	295181 (21,2%)	5659 (14,6%)
Varkens	775451 (55,6%)	28702 (74,2%)

Daarnaast kan het voor verschillende staltypes (dit kan zeker niet voor alle staltypes) ook deels helpen om de emissies af te vangen, te zuiveren (bv. met wassers) en uit te stoten met een hogere

schouw. Dit laatste vermindert dan wel niet de emissies en de totale depositie, maar het vermindert wel de lokale depositie en de geureffecten van deze stallen op de omwonenden²⁴.

Voor wegverkeer is een emissiereductie één van de weinige maatregelen die kan helpen. De maatregelen vallen hierbij uiteen in drie categorieën. De eerste categorie is de vermindering van het auto- en vrachtverkeer. Dit is de meest efficiënte maatregel op milieuvlak. Een tweede maatregel die genomen kan worden is een vermindering van de emissie per voertuig, dwz. schonere wagens. Dit is een effect dat reeds aan het gebeuren is, onder druk van de Europese wetgeving. Dit kan echter versneld worden door bijvoorbeeld het invoeren van low-emission zones (LEZ). Finaal zijn er soms ook lokale maatregelen mogelijk, maar deze zijn sterk plaats- en situatieafhankelijk. Enkele voorbeelden zijn:

- 1) Het verminderen van de snelheid op de snelweg van 120 km/u naar 80 à 90 km/u (als optimale snelheid).
- 2) Het verbeteren van de doorstroming waarbij er geen extra verkeer bijkomt.
- 3) Voor street canyons is er een onderzoek (Wauters et al., 2015) gedaan naar de ruimtelijke methodologieën om een verbetering van de luchtkwaliteit te krijgen in verschillende cases. Voor de huidige situatie interesseert ons vooral de case 'doortocht van een drukke weg door een gemeente'. Hierbij werden drie oplossingen bekeken. De eerste was de doortocht zo ontwikkelen dat er afstand ontstaat tussen de weg en de bebouwing (street canyon breder maken). Deze blijkt goed te scoren wat betreft luchtkwaliteit. Ook het doorbreken van de street canyon door te werken met niet-aaneengesloten bouwblokken scoort goed. Een mogelijkheid die wat minder scoort is om de tuinen af te schermen zodat alvast in de groene ruimtes achter de huizen de luchtkwaliteit beter is.
- 4) Vaak wordt ook vergroening voorgesteld als maatregel om de luchtkwaliteit te verbeteren. Vergroening heeft twee effecten op de luchtkwaliteit (Vranckx et al., 2016) naast vele andere voordelen voor het stedelijke leefklimaat. Enerzijds is er de afvang van vervuiling door depositie op het groen. Anderzijds is er mogelijks een verminderde turbulentie. Het eerste effect is echter klein als we spreken over straatgroen. Het tweede effect kan groot zijn en leiden tot hogere concentraties in de street canyon. Daarom is het aangeraden om in de street canyon te werken met gevelgroen aangezien dit de luchtdoorstroming in de street canyon niet verhindert.

Voor houtverbranding is een eerste belangrijke maatregel het afraden van het verbranden van hout. Het verbranden van hout stoot veel meer fijn stof uit dan de meeste andere verwarmingssystemen ongeacht de methode waarbij het hout verbrand wordt. Hierbij is sensibilisatie een belangrijk punt. Nog altijd wordt houtverbranding als groen en dus als onschadelijk gezien terwijl het aangetoond werd dat hout, ook als men de klimaatbaten meeneemt, de meest vervuilende verwarmingsmethode is in Vlaanderen (VMM, 2019c). Als er dan toch hout verbrand moet worden is het beter dat dit gebeurt in moderne verbrandingssystemen (bv. pelletkachel) dan in oudere systemen (bv. open haard). Dit kan gestimuleerd worden door bv. vervangingspremies. Deze moeten echter goed bekeken worden zodat ze niet aanzetten tot een extra gebruik van de kachel omdat deze maatregel anders weinig effect heeft.

Een laatste aspect waarop het lokale bestuur een invloed kan hebben is het hogere bestuursniveau (in het bijzonder provincie en gewest). Het blijvend aankaarten van de milieuproblematiek met onderbouwde resultaten kan leiden tot een verhoogde gevoeligheid bij de andere beleidsniveaus voor deze problematiek. Alleen door een samenwerking op de verschillende beleidsniveaus zijn milieuproblemen op te lossen.

²⁴ In tegenstelling tot wat vaak aangenomen wordt leidt het daarbij niet tot hogere geurconcentraties veraf.

Uit de studie blijkt dat er twee domeinen zijn waarop de milieudruk heel hoog is binnen de betrokken gemeenten. Er is enerzijds de geurhinder en anderzijds de stikstofdepositie. Het eerste element is een meer subjectief element en is minder sterk verankerd in de milieuwetgeving. Het tweede element is echter strikt gereguleerd door de Natura-2000 richtlijn. We citeren hier even §2 en §3 uit Artikel 6 van deze richtlijn (Bron <https://navigator.emis.vito.be/mijn-navigator?wold=39081&woLang=nl>).

De Lid-Staten treffen passende maatregelen om ervoor te zorgen dat de kwaliteit van de natuurlijke habitats en de habitats van soorten in de speciale beschermingszones niet verslechtert en er geen storende factoren optreden voor de soorten waarvoor de zones zijn aangewezen voor zover die factoren, gelet op de doelstellingen van deze richtlijn een significant effect zouden kunnen hebben.

Voor elk plan of project dat niet direct verband houdt met of nodig is voor het beheer van het gebied, maar afzonderlijk of in combinatie met andere plannen of projecten significante gevolgen kan hebben voor zo'n gebied, wordt een passende beoordeling gemaakt van de gevolgen voor het gebied, rekening houdend met de instandhoudingsdoelstellingen van dat gebied. Gelet op de conclusies van de beoordeling van de gevolgen voor het gebied en onder voorbehoud van het bepaalde in lid 4, geven de bevoegde nationale instanties slechts toestemming voor dat plan of project nadat zij de zekerheid hebben verkregen dat het de natuurlijke kenmerken van het betrokken gebied niet zal aantasten en nadat zij in voorkomend geval inspraakmogelijkheden hebben geboden.

De richtlijn stelt dus duidelijk dat de situatie niet mag verslechteren. Anderzijds is er voor ieder project of plan een bewijs nodig dat er de zekerheid is dat het betrokken gebied niet aangetast zal worden.

Deze richtlijn, samen met de conclusies van deze studie kan een richtsnoer zijn om de vergunningen te beoordelen en de beleidsplannen op te stellen. Het is duidelijk geworden uit deze studie dat de verstoring van de natuur heel hoog is. Het is dan ook logisch om te stellen dat iedere extra verstoring van het gebied, hoe klein ook, problematisch is. Vergunningen zouden in deze logica dus alleen toegekend kunnen worden wanneer de druk op het natuurgebied nergens stijgt (hoe weinig ook) omdat alleen dan de zekerheid gegeven kan worden dat deze vergunning het betrokken gebied niet schaadt.

Daarnaast komt dan nogmaals het aspect van de geurhinder die hoog is. Dit is een extra element om aan te geven dat bijkomende vergunningen in deze regio heel moeilijk zijn.

Er zijn echter bij deze studie, zoals bij iedere studie, enkele kanttekeningen te maken. Een belangrijk aspect is dat deze studie gebruik maakt van data voor 2017 en er sedertdien nog veel extra vergunningen bijgekomen zijn. Deze extra vergunningen zullen echter de grote lijnen van de studie (geen significante normoverschrijdingen voor stikstofdioxide en fijn stof, wel grote geurhinder en sterke overschrijdingen van de draagkracht van de natuur betreffende stikstofdepositie) niet veranderen.

Daarnaast is er een afwijking tussen wat vergund wordt en wat er effectief gebruikt wordt (het laatste zou lager moeten zijn dan het eerste). Aangezien er geen Vlaamse vergunningendatabank bestaat is het onmogelijk om met de vergunningen te werken. Daarnaast zou dit ook leiden tot overschattingen in de concentraties aangezien niet alle vergunningen permanent volledig ingevuld worden.

Omwille van deze redenen is het noodzakelijk om bij de analyse van een vergunningsaanvraag voor de gebieden waarop de invloed van de nieuwe vergunning significant zou zijn (moet blijken uit de vergunningsaanvraag) de effecten van de reeds toegekende vergunningen op die locatie (moet blijken uit de vergunningsaanvragen van de reeds toegekende vergunningen) op te tellen. Op die manier krijgt men een totaalbeeld. Anderzijds zal dit waarschijnlijk, voor de belangrijkste parameters waarover het hier gaat, amper een rol spelen aangezien zowel voor geur als voor stikstofdepositie de limieten reeds overschreden worden zelfs zonder de sedertdien toegekende vergunningen.

LITERATUURLIJST

Buekers J., Torfs R., Deutsch F., Lefebvre W., Bossuyt M., 2012. Inschatting ziektelast en externe kosten veroorzaakt door verschillende milieufactoren in Vlaanderen, Studie uitgevoerd in opdracht van MIRA, Milieuraapport Vlaanderen, MIRA/2012/06, 2012/MRG/R/187, http://www.milieuraapport.be/Upload/main/0 Onderzoeksrapporten/2012/DALYs en externe kosten_TW_red.pdf

Janssen NAH, Gerlofs-Nijland ME, Lanki T, Salonen RO, Cassee F, Hoek G, Fische P, Brunekreef B, Krzyzanowski M (2012). Health effects of black carbon, WHO, <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2012/health-effects-of-black-carbon-2012>

Janssen S., Dumont G., Fierens F., Mensink C. (2008). Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data, *Atm. Env.*, 42, 20, 4884-4903.

Lefebvre, W. et al, (2013) Evaluation of the RIO-IFDM-street canyon model chain, *Atmospheric Environment* (2013) 77 325-337, doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.05.026

Lefebvre W. and Vranckx S. (Eds.) (2013). Validation of the IFDM-model for use in urban applications. 2013/RMA/R/56.

Lefebvre, W., Sleeuwaert, F., Veldeman, N. (2014). De luchtkwaliteit in Beringen. 2014/RMA/R/152.

Lefebvre W. en Deutsch F. (2015). Onderzoek naar de koppeling van de luchtkwaliteitsmodellen VLOPS en IFDM in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). 2015/RMA/R/18.

Lefebvre W., 2018. Onze Lucht, Uitgeverij Lannoo, <https://www.lannoo.be/nl/onze-lucht>

Lefebvre W., Hooyberghs H., De Craemer S., Maiheu B., Deutsch F., 2019. Vergelijking Model-Curieuzeneuzen, 2019/RMA/R/1991.

Nawrot TS, Perez L, Künzli N, Munters E, Nemery B., 2011. Public health importance of triggers of myocardial infarction: a comparative risk assessment, *The Lancet*, 377, 9767, 732-740, doi:10.1016/S0140-6736(10)62296-9. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673610622969>

Veldeman N., Lefebvre W., Hooyberghs H., Viaene P., Vranckx S., Vanhulsel M., Gruyters W., Maiheu B., Driessen G., Peelaerts W., Vanden Boer D., Smeets N., Deutsch F., Janssen S. (2019). Rapport activiteiten in 2019 uitgevoerd in kader van de referentietask 12 "Kenniscentrum Luchtkwaliteitsmodellering", 2019/RMA/R/2073.

VMM, 2013. Luchtkwaliteit in het Vlaamse Gewest-2012. <http://www.vmm.be/pub/luchtkwaliteit-in-het-vlaamse-gewest-jaarverslag-immissiemeetnetten-kalenderjaar-2012>

VMM, 2018. Jaarrapport Lucht. Emissies 2000-2016 en luchtkwaliteit 2017. <https://www.vmm.be/publicaties/jaarrapport-lucht-emissies-2000-2016-en-luchtkwaliteit-in-2017-in-vlaanderen>

VMM, 2019. Jaarrapport Lucht. Emissies 2000-2017 en luchtkwaliteit 2018. <https://www.vmm.be/publicaties/lucht-2019>

VMM, 2019b. Kwaliteitscontrole van het rekenhart voor stikstofdepositie. Beschikbaar bij VMM op aanvraag.

VMM, 2019c. Milieuschadekosten van verschillende technologieën voor woningverwarming, <https://www.milieurapport.be/publicaties/2019/milieuschadekosten-woningverwarming>.

Vranckx S., Viaene P., Vanhulsel M., Lefebvre W. (2019). Actualisatie luchtkwaliteitskaarten Antwerpen, 2018/RMA/R/1779.

Vranckx S., Brabers L., Hendrix R., De Nocker L., Janssen S., Lauwaet D., Broeckx S., Van Renterghem T. (2016). Uitwerken van een aanpak om vegetatiestructuren in te zetten met het oog op de verbetering van het stedelijk leefklimaat: literatuuroverzicht. 2016/RMA/R/0694. <https://groentool.antwerpen.be/docs/Literatuuroverzicht.pdf>

Wauters E., Dhondt A., Schillemans L., Janssen S., Vranckx S. (2015). Analyse omgevingslawaai en luchtverontreiniging in functie van ruimtelijk beleid. Eindrapport Deel II: Cases. https://www2.ruimte.vlaanderen.be/ruimtelijk/onderzoek/studies/lucht_lawaai_DII_cases.pdf