

Stikstofdepositie dicht bij een punt- of lijnbron

Gerard Cats, *Geetacs*
28 september 2020

Samenvatting

Voor de berekening van stikstofdepositie gebruikt AERIUS het Operationele Prioritaire Stoffen model (OPS) (behalve voor vergunningverlening bij wegenprojecten). Op 20 m afstand van een puntbron vertoont AERIUS een grote sprong. Juist op korte afstanden is een goede berekening essentieel, want daar is de depositie het hoogst. Omdat het bestaan van zo'n sprong niet volgt uit de documentatie wordt betwijfeld of OPS goed is geïmplementeerd in AERIUS.

Vervolgens worden berekeningen met OPS uitgevoerd, waaruit wordt geconcludeerd dat OPS zelf goed direct gebruikt kan worden, ook op korte afstanden. Puntberekeningen zijn op zeer korte afstanden weliswaar niet representatief voor gebieden met een oppervlak van een hectare, maar dat probleem verdwijnt bij middelen over die gebieden – zoals AERIUS volgens de documentatie ook zou moeten doen. Daarbij is er geen aantoonbare motivatie om punten die erg dicht bij de bron liggen uit te sluiten van het middelingsproces.

Het gedrag van AERIUS en van OPS is onderzocht dicht bij een puntbron en dicht bij een lijnbron. Bij een van de uitgevoerde berekeningen werd OPS zodanig aangepast dat OPS goed in staat werd de effecten van een verhoogde wegligging of de aanwezigheid van geluidsschermen, zoals het luchtvervuilingsmodel SRM2 die berekent, te reproduceren. Daarmee is er geen reden meer over om SRM2 te blijven gebruiken, nu OPS alles kan wat SRM2 kan, maar wel beter.

Dit resulteert in een pleidooi om AERIUS te vereenvoudigen: SRM2 kan eruit en er is geen reden om punten dicht bij een bron uit te sluiten. Aan het herzien van een model voor de berekening van stikstofdepositie worden momenteel in Nederland politieke gevolgen verbonden. Daarom hechten wij eraan te vermelden dat dergelijke herzieningen altijd twee kanten op werken. Door het vervangen van SRM2 door OPS wordt het lastiger een vergunning te krijgen voor een wegenproject. Maar aan de andere kant wordt het berekende effect van de generieke snelheidsmaatregel (maximaal 100 km/u) groter. Daarmee wordt het gemakkelijker een vergunning voor een woningbouwproject te krijgen.

Stikstofdepositie dicht bij een punt- of lijnbron

1 Inleiding

Bij de aanvraag voor een vergunning voor een activiteit (een project of een maatregel) waardoor de uitstoot van stikstofoxide of ammoniak toeneemt of vermindert moet het stikstofeffect op Natura 2000 gebieden in kaart worden gebracht. De Regeling Natuurbescherming ¹ schrijft voor dat de depositie wordt berekend met “AERIUS Calculator versie 2019A”. Dit rekenmodel is ontwikkeld door het RIVM en wordt beheerd onder verantwoordelijkheid van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. AERIUS is goed gedocumenteerd ².

In versie 2019A van AERIUS wordt de depositie berekend met het “Operationele Prioritaire Stoffen model” (OPS) ³, voor alle brontypen anders dan wegverkeer. Voor wegverkeer wordt SRM2 (standaard rekenmethode 2) ⁴ gebruikt. Al eerder is aangetoond ⁵ dat SRM2 op grotere afstand van de bron de depositie ernstig onderschat doordat het een afkapgrens van 5 km hanteert. Daarbij werd geconstateerd dat SRM2 ook dicht bij een weg de depositie onderschat.

Een belangrijke reden om SRM2 te blijven gebruiken is volgens het RIVM dat het beter dan OPS in staat zou zijn de effecten van een verhoogde of verdiepte wegligging, of de aanwezigheid van geluidschermen uit te rekenen ⁶. Deze effecten treden vooral dicht bij de bron op ⁷. Om de vraag of OPS SRM2 kan vervangen te beantwoorden moet dan ook iets bekend zijn over wat OPS doet dicht bij de bron. In de nu voorliggende studie wordt het gedrag van OPS dicht bij een bron onderzocht.

Dicht bij een bron is de depositie het grootst. Dat is een belangrijke motivatie voor dit onderzoek. Hoewel de behoefte eraan dus ontstond uit een conflict tussen SRM2 en OPS, werd al snel duidelijk dat er eerst onderzocht zou moeten worden hoe AERIUS zich gedraagt bij een puntbron, en wel omdat AERIUS in OPS een lijnbron als een reeks van puntbronnen implementeert. In eerste opzet werd gekozen voor een eenvoudige configuratie, waarbij de depositie werd berekend op eigen rekenpunten, op een raai van punten vanaf een puntbron. Een rapport van die berekeningen staat in Sectie 3. Maar daarbij kwamen dusdanig grote afwijkingen tussen de gevonden en de verwachte resultaten van AERIUS aan het licht dat toch besloten werd “full monty” berekeningen te gaan uitvoeren, waarbij onderzocht kon worden of AERIUS zich inderdaad volgens de documentatie gedraagt. De resultaten van deze berekeningen staan in Sectie 4. Alvorens de berekeningen worden gepresenteerd worden in Sectie 2 de relevante passages uit de documentatie van AERIUS geciteerd.

1 <https://wetten.overheid.nl/BWBR0038668/2020-03-24>, geldig sinds 24 maart 2020,

2 <https://www.aerius.nl/nl/documenten>

3 <https://www.rivm.nl/operationele-prioritaire-stoffen-model>

4 <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2014-0109.pdf>

5 *Stikstofdepositie uit wegverkeer*, Geetacs rapport dd. 14 juli 2020

6 <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/kamerstukken/2020/06/29/beantwoording-kamervragen-leden-bruins-cu-paternotte-d66-en-kroger-gl-over-rapport-evaluatie-stikstofberekeningen-lelystad-airport/beantwoording-kamervragen-leden-bruins-cu-paternotte-d66-en-kroger-gl-over-rapport-evaluatie-stikstofberekeningen-lelystad-airport.pdf>

7 Zie voetnoot 5

De berekening van depositie dicht bij de bron is kritisch. Immers, juist daar is de depositie zeer hoog. Kleine fouten kunnen grote gevolgen hebben, zowel voor de natuur als voor vergunningsverlening. De onderhavige studie heeft dan ook in potentie grote maatschappelijke relevantie.

2 AERIUS, volgens de documentatie

De volgende citaten uit factsheets documenteren hoe AERIUS gebruik maakt van OPS dicht bij een bron.

Uit het factsheet over korte afstanden ⁸:

Indien de afstand tussen de emissiebron en het rekenpunt relatief kort is, kan de modelberekening een waarde opleveren die niet representatief is voor de depositiebijdrage op dit rekenpunt. Om dit te voorkomen definieert AERIUS, wanneer een bron binnen het hexagoon valt, in het desbetreffende hexagoon 397 subrekenpunten.

AERIUS berekent de depositie op al deze subrekenpunten. De berekende waarden worden vervolgens gemiddeld om te komen tot een realistische waarde voor de depositie in het gehele hexagoon. Bij deze middeling worden de subrekenpunten meegenomen die tenminste 20 meter van de bron zijn gelegen.

Een en ander wordt geïllustreerd met een Afbeelding, die hier is overgenomen (1). In deze studie wordt aanvankelijk gebruik gemaakt van "eigen rekenpunten". Daarom zijn de volgende citaten ook van belang ⁹, waarbij 2 is geplaatst:

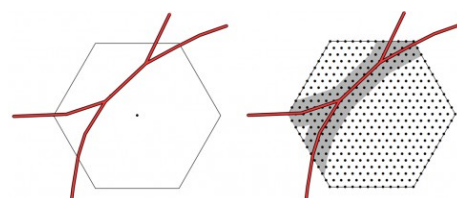
De meest gangbare manier van rekenen in AERIUS is het berekenen van depositie voor hexagonalen.

Een eigen rekenpunt is een punt met een cirkel er omheen. Deze cirkel heeft een oppervlakte van 1 hectare (wat overeenkomt met een straal van ongeveer 56,4 meter). Het rekenpunt kan op een willekeurige plek in Nederland worden neergelegd door de gebruiker.

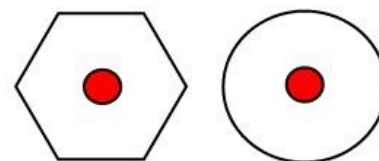
Het laatste is de reden dat deze studie aanvankelijk gebaseerd was op eigen rekenpunten. Immers, daardoor is het mogelijk een willekeurige raai van rekenpunten te definiëren, en zodoende een gedetailleerd beeld te verkrijgen van het verloop van de depositie als functie van de afstand tot de bron.

Waarom een cirkel wordt getekend is niet duidelijk. Aannemelijk is dat erover gemiddeld wordt, zoals over het hexagoon uit 1.

Het factsheet meldt nog dat de achtergronddepositie anders wordt berekend bij eigen rekenpunten dan bij hexagonalen. Dat speelt in deze studie nauwelijks een rol, want er wordt geen gebruik gemaakt van de achtergronddepositie. Wel wordt de achtergrondconcentratie van NO_x, NH₃ en SO₂ gebruikt. De documentatie maakt geen melding van verschil in gebruik daarvan. Hoe dan ook, het effect van eventuele verschillen in behandeling van deze achtergrondconcentratie op de depositie dicht bij een bron is klein, alleen al omdat de verschillen klein zijn.



Afbeelding 1: Illustratie bij subrekenpunten en het niet meenemen van rekenpunten dicht bij een bron



Afbeelding 2: Illustratie bij verschil tussen hexagonalen en eigen rekenpunten

⁸ <https://www.aerius.nl/nl/factsheets/berekening-depositiebijdrage-bronnen-op-korte-afstand-van-het-rekenpunt/17-03-2017>

⁹ <https://www.aerius.nl/nl/factsheets/verschil-tussen-vaste-rekenpunten-en-eigen-rekenpunten/28-09-2017>

3 Vaste puntbron, eigen rekenpunten

3.1 Methode

In deze studie wordt verondersteld dat AERIUS dicht bij de bron eigen rekenpunten op dezelfde manier zou moeten behandelen als hexagonen. Dat wil zeggen dat als een bron binnen een cirkel met een oppervlak van 1 ha rondom het rekenpunt ligt, de door AERIUS gerapporteerde waarde een gemiddelde is van de depositie over die hele cirkel. De straal van deze cirkel wordt in het vervolg aangeduid als R_o . Echter, het deel van die cirkel dat dicht bij de bron ligt dan 20 m, wordt niet meegenomen. Dat laatste lijkt een willekeurige ingreep in de data en is als zodanig discutabel. In deze studie zal het effect ervan dan ook afzonderlijk worden beoordeeld.

De standaardhexagonen hebben een oppervlakte van 1 ha. Met 397 subrekenpunten¹⁰ representeert elk subrekenpunt een oppervlakte van ruim 25 m². De verdeling van de subrekenpunten heeft geen randeffecten, omdat een hexagoon mooi in te delen is. Bij eigen rekenpunten echter wordt een cirkel rondom het rekenpunt getrokken, en dan is een homogene verdeling lastiger. Daarom is in deze studie ervoor gekozen om de subrekenpunten op een regulier rooster met een resolutie van 1 m te leggen. Voor zover de rekenpunten dicht bij de bron liggen dan R_o resulteert in rond de 10000 rekenpunten, maar dankzij een veronderstelde isotropie (zie verderop) is de hoeveelheid rekenwerk doenlijk.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van AERIUS versie 2019A, en van OPS-versie “L-4.6.2.5 06 dec 2019”. OPS rondt coördinaten van rekenpunten en puntbronnen af op hele meters. Op zich is dat gezien de nauwkeurigheid van dit type modellen volledig acceptabel, maar in een studie naar het gedrag op korte afstanden is dat toch onwenselijk. Daarom is OPS aangepast, zodat de berekeningen met hogere nauwkeurigheid kunnen worden uitgevoerd¹¹. Uiteraard is deze aanpassing niet beschikbaar in AERIUS, zodat de berekeningen met AERIUS daarvan niet zullen profiteren.

Er is een puntbron geconfigureerd met de eigenschappen zoals vermeld in 1. De dagelijkse gang (code 31) is die voor personenauto's. De parameter 's' is gezet op 3 m, maar de OPS versie uit voetnoot 11 meldt dat die waarde buiten het toegestane bereik valt, en zet hem terug naar 2,5 m. Overigens gebruikt die versie van OPS de parameter s helemaal niet bij punt- of lijnbronnen (zie ook Sectie 4.4.3).

De raai van rekenpunten is gegeven in 3. De resolutie is 1 m tot 20 m van de bron, 10 m tot 100 m en 20 m tot 200 m¹². De uitvergroting in 4 laat zien dat de coördinaten van de rekenpunten van AERIUS afgerond zijn.

De berekeningen met AERIUS volgen rechtstreeks uit deze gegevens. Voor de berekeningen met OPS wordt voorts vermeld dat daarbij gebruik is gemaakt van velden met achtergrondconcentratie die geda-teerd zijn in 2015.

De berekeningen met OPS wijken in het volgende opzicht af van die van AERIUS. In principe zou je voor elk punt binnen de cirkel met straal R_o rondom het rekenpunt een aparte berekening moeten uitvoeren. Maar in plaats daarvan wordt in deze studie verondersteld dat de verdeling isotroop is. De depositie is dan alleen afhankelijk van de afstand tot de bron, niet van de richting van de lijn van bron naar subrekenpunt. De depositie op een subrekenpunt is verkregen door lineaire interpolatie, enkel op basis

¹⁰ Omdat een aantal van deze op de rand liggen is het effectieve aantal 363.

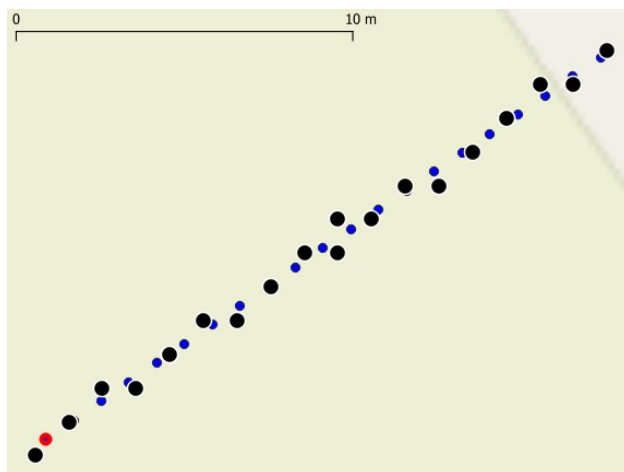
¹¹ Deze versie van OPS versie “L-4.6.2.5 06 dec 2019” is beschikbaar op GitHub:<https://github.com/gjcats/OPS8>. Er zijn diverse acties uitgevoerd om te verifiëren dat deze versie juist is, met dank aan “OPS-Support@rivm.nl”. Zie ook voetnoot 12.

¹² Eén van de acties uit voetnoot 11 wordt gerapporteerd bij Afbeelding 6. Daartoe werd de raai verlengd tot 5500 m.

van de afstand, vanuit de depositie die met OPS is berekend langs de raai van rekenpunten. Deze veronderstelling van isotropie is in het algemeen niet geldig. De belangrijkste reden waarom depositie niet isotroop is is variatie in terreinruwheid en landgebruik. Er is gekozen voor een rekendomein in Zuidelijk Flevoland om deze variatie zoveel mogelijk uit te sluiten. De tweede factor die isotropie breekt is meteorologie, maar op korte afstand is daarvan de rol beperkt. Daarom is de veronderstelling van isotropie verantwoord.



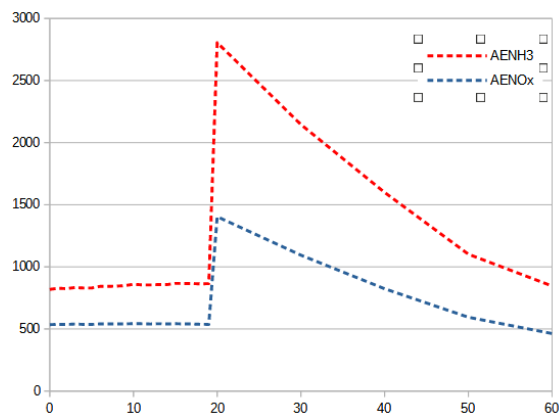
Afbeelding 3: De raai van rekenpunten



Afbeelding 4: Ligging van de bron (rood, tevens OPS rekenpunt) en rekenpunten (blauw OPS, zwart AERIUS)

Tabel 1: De eigenschappen van de twee bronnen, voor NH₃ resp. NO_x.

positie(RDM)	x(m)	153178.324	
	y(m)	483023.476	
component		NH ₃	NO _x
bronsterkte	q(g/s)	0.02148543	0.15539463
warmte-inhoud	hc(MW)	0	0
uittreedhoogte	h(m)	2.5	2.5
brondiameter	r(m)	0	0
spreiding	s(m)	3	3
dagelijkse gang	dv	31	31
	cat	3111	3111
	area	528	528
pluimstijging	ps	0	0



Afbeelding 5: De depositie (mol/ha/jr) als functie van de afstand tot de bron (m) volgens AERIUS. Rood: NH₃, blauw: NO_x.

3.2 Resultaten

5 toont de depositie met AERIUS berekend. Op 20 m afstand van de bron maakt die een enorme sprong, van 537 mol/ha/jr naar 1404 mol/ha/jr voor NO_x en van 865 mol/ha/jr naar 2805 mol/ha/jr (NH_3).

In de documentatie (zie Sectie 2) wordt wel gewag gemaakt van een grens van 20 m, maar die zou niet mogen leiden tot een sprong. Immers, naarmate een rekenpunt verder weg van de bron komt te liggen komt een steeds kleiner deel van de cirkel rondom het rekenpunt binnen de cirkel met een straal van 20 m rondom de bron te liggen. Daardoor zou de overgang geleidelijk moeten verlopen. De vraag rijst dan of dit een probleem van OPS is, of van de implementatie van OPS in AERIUS.

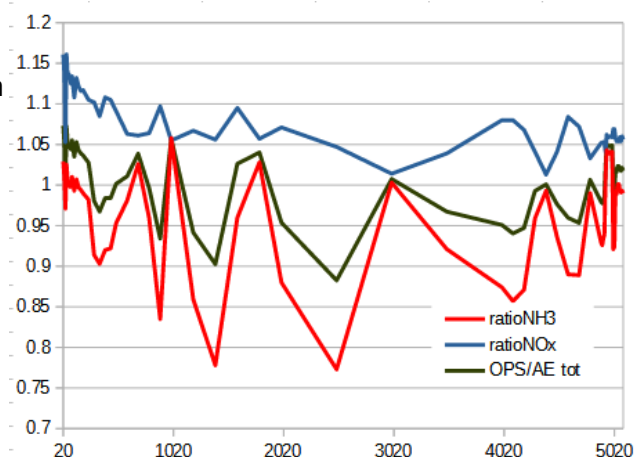
Omdat er gebruik gemaakt wordt van een aangepaste versie van OPS (voetnoot 11) is eerst nagegaan of die versie overeenkomt met de versie die AERIUS gebruikt.

6 toont de verhouding tussen de twee berekeningsmethoden op wat grotere afstand. De verhouding springt nogal, vooral voor NH_3 . Omdat die verhouding toch in het algemeen dicht bij 1 ligt wordt de oorzaak van dat gedrag niet allereerst gezocht in een foute implementatie van OPS, maar in het gebruik van verouderde bestanden met achtergrondconcentratie. De afwijkingen van 1 zijn relatief klein ten opzichte van de sprong in de AERIUS resultaten die de aanleiding voor deze studie vormden. Daarbij gaat het immers om een factor 3 of meer (5). De sprongen rond 20 m kunnen er geenszins mee verklaard worden.

In 7 wordt de OPS berekening getoond in aanvulling op die met AERIUS. Op afstanden groter dan 20 m is de overeenkomst relatief goed, zoals zojuist al geconstateerd, maar dicht bij de bron zijn de verschillen groot. De beslissing van de AERIUS ontwerpers om de met OPS berekende waarde niet als puntwaarde te nemen, maar te middelen over een volledige hectare, valt goed te verdedigen, gegeven de grote variatie in de OPS resultaten dicht bij de bron. Een puntberekening is op deze korte afstanden zeker niet representatief voor een heel hexagoon eromheen.

Toch zijn de resultaten van OPS binnen die afstand van 20 m ook weer niet zo onwaarschijnlijk dat daarin een goede motivatie gevonden zou kunnen worden waarom subrekenpunten dicht bij de bron niet meegenomen zouden mogen worden. In 8 zijn de resultaten van de berekening met OPS toegevoegd, waarbij nu gemiddeld is over een cirkel met een oppervlak van 1 ha rondom het rekenpunt, zowel met als zonder uitsluiting van het gebied binnen 20 m afstand tot de bron. Merk op dat als de bron buiten de cirkel met straal R_0 ligt er niet meer wordt gemiddeld. Dan worden, zo stelt de documentatie, de centrale waarden als voldoende representatief voor het hexagoon verondersteld. De krommen eindigen dan ook op afstand R_0 van de bron.

Naar de documentatie te oordelen zouden de AERIUS berekeningen moeten overeenstemmen met de resultaten van OPS met uitsluiting van dat gebied (dat zijn de krommen gemerkt "-r" in 8). Dat is echter geenszins het geval. Daarom moet betwijfeld worden dat AERIUS op de juiste wijze gebruik maakt van OPS op korte afstand.



Afbeelding 6: De verhouding tussen de depositie berekend met OPS en met AERIUS, voor afstanden tussen 20 en 5500 m vanaf de bron, voor NH_3 en NO_x afzonderlijk, en voor de totale stikstofdepositie.

Het is voorts niet te verdedigen dat subrekenpunten op minder dan 20 m afstand van de bron niet meegenomen worden. De documentatie van OPS ¹³ meldt het volgende over de minimale afstand waarover OPS toegepast mag worden:

For a terrain roughness > 0.1 m, the shortest distance is approx. 200 times the roughness length

maar ook

in the case of gridded receptor points in combination with point sources, the minimum source-receptor distance requirement cannot always be met.

De terreinruwheid in het onderhavige hexagoon is 0,075 m ¹⁴. Op basis van het eerste citaat zou men OPS niet mogen gebruiken binnen 20 m. Het tweede citaat reduceert de ernst van die beperking enigszins. Omdat AERIUS OPS op alle afstanden gebruikt is de afkapping op 20 m een slecht te verdedigen ingreep in de data, met als effect dat de depositie stelselmatig wordt onderschat. De “+r” krommen, waarin die subrekenpunten wel meegenomen zijn, liggen overal enigszins hoger dan als die punten niet worden meegenomen. Merk overigens op dat de totale oppervlakte onder de “+r” krommen niettemin minder is dan de oppervlakte onder de kromme van de OPS berekening zelf. Door het middelen wordt de totale berekende depositie dus verlaagd. Ten opzichte van de totale depositie die met AERIUS wordt berekend is het verschil niet groot. AERIUS berekent duidelijk te weinig depositie onder de 20 m (ten opzichte van OPS en ten opzichte van de documentatie) en duidelijk te veel tussen 20 m en ongeveer 45 m (ten opzichte van de documentatie).

3.3 Conclusies

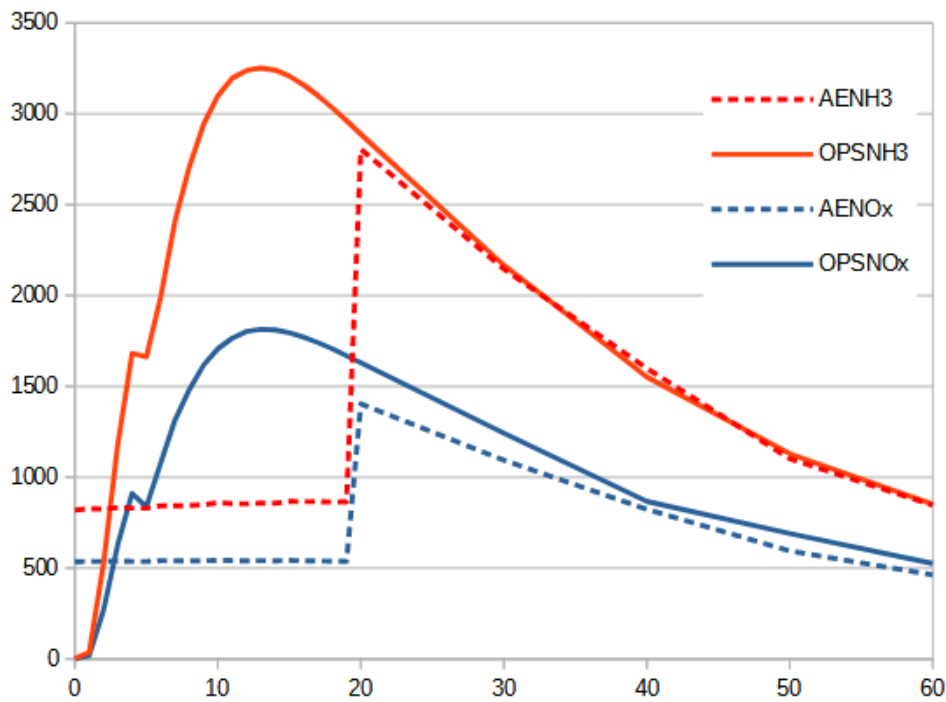
De depositie berekend met AERIUS vertoont een merkwaardige sprong rond 20 m, waarbij de depositie verdrievoudigt binnen een afstand van een meter. De documentatie geeft daarvoor geen verklaring. De meest waarschijnlijke verklaring is dan ook dat OPS niet juist is geïmplementeerd in AERIUS.

Deze conclusie is echter gebaseerd op een interpretatie van hoe eigen rekenpunten in AERIUS behandeld zouden moeten worden, te weten dat de door AERIUS gerapporteerde depositie dicht bij de bron een gemiddelde is van de depositie op een hectare rondom het rekenpunt, waarbij een cirkel van 20 m straal rondom de bron niet wordt meegewogen. Deze interpretatie is niet letterlijk zo opgeschreven in de documentatie. Het is wel een voor de hand liggende voortzetting van de beschrijving hoe de depositie wordt berekend op de hexagonalen van het hexagonalenrooster dat over Natura 2000 gebieden in Nederland is gelegd.

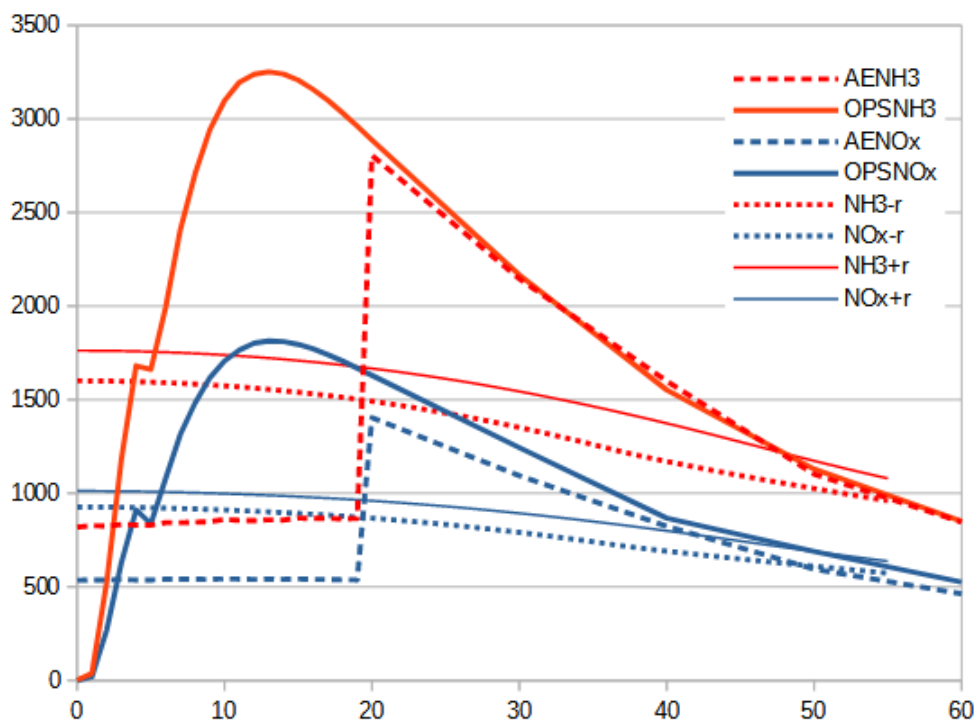
Maar nu dus blijkt dat berekeningen op basis van die interpretatie onwaarschijnlijk gedrag vertonen, zodat geconcludeerd moest worden dat AERIUS waarschijnlijk OPS niet juist implementeert. Om uit te sluiten dat dit onwaarschijnlijke gedrag berust op een foute interpretatie wordt in de volgende secties alsnog gerekend met een hexagonalenrooster.

13 Documentatie van OPS (zie voetnoot 2 en <https://www.rivm.nl/media/ops/v4.5.2/OPS-model-v4.5.2.pdf>)

14 <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/publicaties/2018/03/15/ruwheidskaart-2018/2018-ruwheidskaart.zip>



Afbeelding 7: Als 5, maar aangevuld met de OPS berekening (getrokken lijnen)



Afbeelding 8: Als 7, aangevuld met de resultaten van OPS, na middeling over een cirkel met een oppervlak van 1 ha rondom het rekenpunt; met ("r") en zonder ("r") uitsluiting van subrekenpunten die dichterbij de bron liggen. De "r" krommen zouden volgens de documentatie min of meer de AERIUS resultaten moeten zijn.

4 Bronnen bij een hexagoon

4.1 Inleiding

Vergunningsverlening is gebaseerd op berekeningen met AERIUS aan hexagonen. Hoewel AERIUS berekeningen op eigen roosterpunten mogelijk maakt zijn de resultaten van de berekeningen dicht bij de bron zodanig dat er twijfel aan de juistheid ervan is gerezen, zie Sectie 3. Omdat juist dicht bij de bron de depositie hoog is mag er echter geen twijfel bestaan aan die berekeningen. Deze overwegingen leidden tot het besluit om ook te onderzoeken hoe AERIUS en OPS uitpakken dicht bij een bron op hexagonen.

Het hexagonalenrooster ligt vast. Daarom is het onmogelijk om bij een gegeven bron de afstand tussen bron en rekenpunt naar willekeur te variëren en kan niet onderzocht worden hoe AERIUS zich dicht bij een vaste bron gedraagt. Om toch het onderzoek van de vorige sectie te kunnen uitvoeren, maar dan op hexagonen, moet dus worden afgezien van een vaste bron. In plaats daarvan is een vast hexagoon gekozen, en wordt een “schuivende” bron gekozen. De bron wordt in stapjes steeds verder van het midden van het gekozen hexagoon gelegd.

Helaas moet voor elke nieuwe positie van de bron een volledige AERIUS berekening worden uitgevoerd. Dat vereist een complexe administratie maar het vraagt ook veel van de AERIUS servers. Om anderen niet te veel in de weg te zitten zijn de zware berekeningen buiten kantoor tijden uitgevoerd.

Daarnaast werd deze exercitie ook met de eigen implementatie van OPS (zie voetnoot 11) op een lokale computer uitgevoerd.

In reactie op de resultaten uit Sectie 3 zijn de berekeningen uitgevoerd aan een puntbron. De resultaten worden gepresenteerd in Sectie 4.3. Daar zal blijken dat de sprong die in Sectie 3 de aanleiding vormde voor dit onderzoek, ook bij een hexagoon optreedt. Dat versterkt de conclusie dat AERIUS OPS niet goed implementeert.

AERIUS rekent voor wegverkeer met SRM2. Op grote afstand van de bron is dat fout, omdat SRM2 een afkapgrens van 5 km hanteert. De vraag rijst dan of het merkwaardig gedrag van AERIUS dicht bij een puntbron ook teruggevonden wordt bij een lijnbron dicht bij de bron. Om deze vraag te beantwoorden zijn de berekeningen niet alleen voor een “schuivende” puntbron uitgevoerd, maar ook voor een “schuivende” lijnbron. Zie Sectie 4.4. Hoewel deze studie zich niet richt op SRM2 zijn er wel AERIUS berekeningen met SRM2 uitgevoerd, louter ter illustratie van hoezeer SRM2 afwijkt van OPS.

4.2 Configuratie

Voor de berekeningen is een vast hexagoon gekozen, namelijk hexagoon nummer 4458054. Afbeelding 9 illustreert de situatie.

Er is in die Afbeelding één lijnbron ingetekend, te weten de lijnbron op 30 m afstand van het centrum van het hexagoon. Deze lijnbron is aangeboden aan AERIUS als weg, zodat AERIUS die met SRM2 aanvatte. De weg was verondersteld op maaiveld te liggen, zonder geluidsschermen, etc. De verkeersintensiteit was gezet op 2000 personenauto's per uur. De weg ligt in dezelfde richting als de A50 binnen het hexagoon, maar werd verlengd tot 10 km ten noorden en ten zuiden van het midden van het hexagoon. Door niet het tracé van de A50 te volgen, maar de weg recht te verlengen wordt de afstand van een punt tot de weg eenduidig gedefinieerd. Door de lengte van 10 km ter weerszijden van het midden van de weg worden randeffecten verwaarloosbaar. Het rekenjaar was 2030. AERIUS was versie 2019A.

De lijnbron werd ook als lijnbron aan AERIUS aangeboden, met dezelfde emissie van NH₃ en NO_x (te weten 13350,24 kg/jaar resp. 35075,04 kg/jaar). Dan rekent AERIUS met OPS.

Vervolgens werd de lijnbron aangeboden aan de lokale versie van OPS (zie voetnoot 11). Daartoe werd de lijnbron gesimuleerd door een reeks puntbronnen, met een resolutie van 5 m in het centrum, aflopend tot 1000 m vanaf 5 km van het centrum. Afbeelding 9 illustreert de ligging van die puntbronnen, voor de lijnbron op 70 m afstand van het midden van het hexagoon.

Het midden van de lijnbron werd ook als puntbron aan AERIUS en aan de lokale versie van OPS aangeboden, waarbij de emissie gelijk gesteld werd aan de emissie van 1 km van de lijnbron, dus 1/20 van de boven genoemde emissies. Met die keuze is de depositie uit een lijnbron van 20 km ongeveer gelijk aan die uit een puntbron op een afstand van 200 m van de bronnen. 10 illustreert de ligging van de puntbronnen.

Wellicht ten overvloede wordt vermeld dat bovenstaande acties werden uitgevoerd voor een groot aantal afstanden tussen de lijn- en puntbron enerzijds en het midden van het hexagoon anderzijds. Die afstanden liepen op met stappen van 1 m tussen 0 en 15 m, met stappen van 5 m tussen 15 en 50 m, dan stappen van 10 m tot 100 m en van 20 m tot 200 m. Voor de berekening aan puntbronnen werd de resolutie tussen 15 en 25 m verhoogd tot 1 m. 10 toont die reeks van afstanden, in de ligging van de puntbronnen. De resultaten worden steeds gepresenteerd als functie van die afstand.

De terreinruwheid in het onderhavige hexagoon ligt tussen 0,4 m¹⁵ en 0,75 m¹⁶. De minimale afstand tussen bron en rekenpunt zou dan minstens 80 m moeten zijn (zie ook de discussie rondom voetnoot 14). Omdat AERIUS op alle afstanden, ook veel kleinere dan 80 m, OPS gebruikt is de afkapping op 20 m een willekeurige ingreep in de data. Het effect ervan zal hier dan ook worden onderzocht.

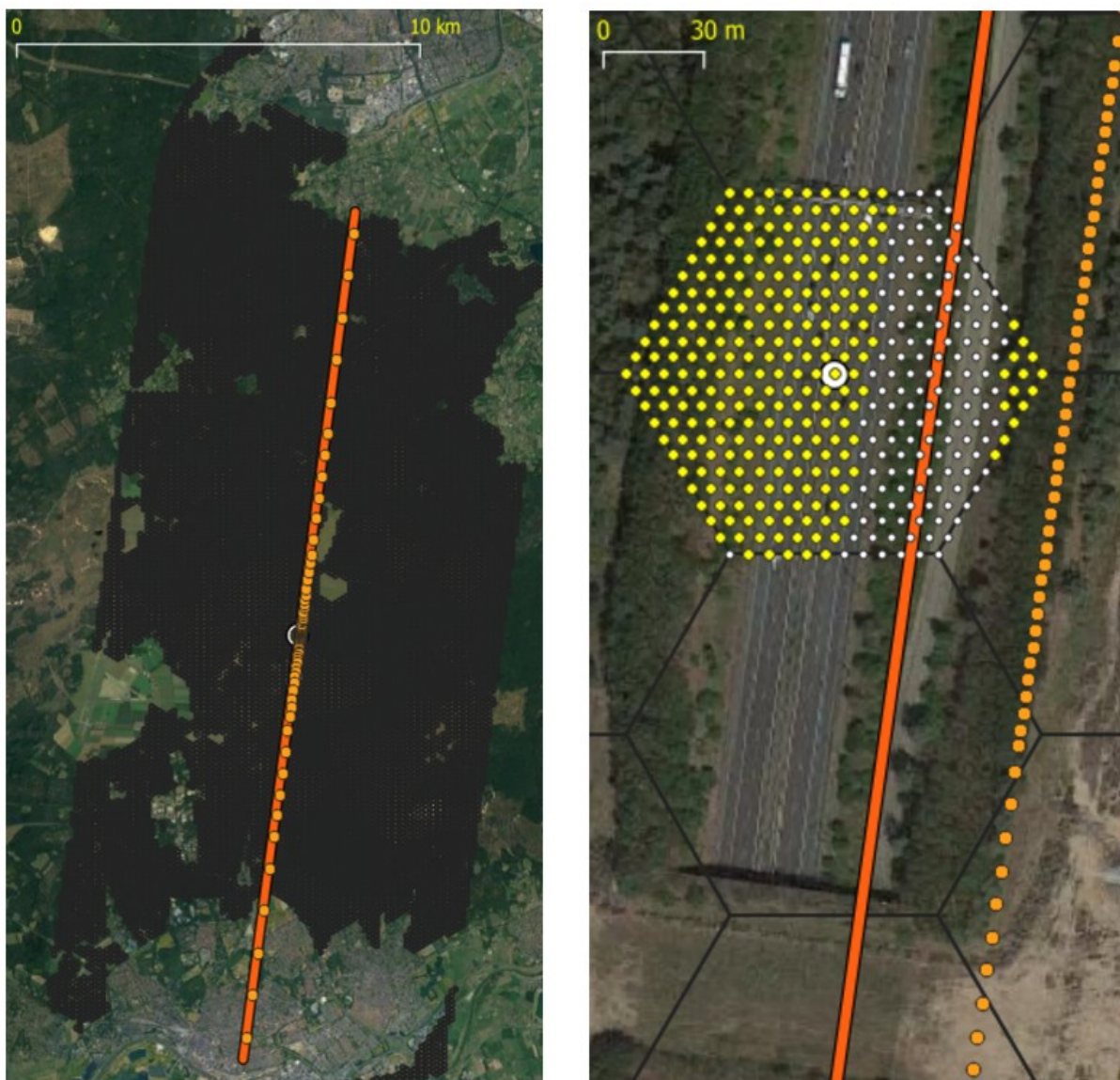
De resultaten betreffen steeds de depositie zoals toegekend aan het hele hexagoon. Bij AERIUS zou het dan volgens de documentatie (zie Sectie 2) moeten gaan om de depositie berekend in het midden van het hexagoon, behalve als de bron binnen het hexagoon ligt. Dan zou de depositie gemiddeld over subrekenpunten moeten zijn, waarbij de subrekenpunten die dichter dan 20 m bij de bron liggen niet worden meegenomen in de middeling. In de lokale OPS wordt de berekening volgens dit voorschrift uitgevoerd. Daarnaast wordt ook een middeling gedaan waarbij de subrekenpunten dicht bij de bron *niet* worden uitgezonderd. Hoewel de documentatie van AERIUS daarover niet duidelijk is is bij de middeling verondersteld dat hoekpunten voor 1/3 en de overige randpunten voor 1/2 meetellen; dit omdat zij het centrum van hexagoontjes vormen die voor een deel buiten het hoofdhexagoon vallen.

Naast bovengenoemde berekeningen werden er nog twee gedaan. Bij één werd de oriëntatie van de weg gedraaid, naar het noordnoordoosten, parallel aan een zijde van het hexagoon (kompasrichting 30°). En bij één werd de lokale versie van OPS aangepast, waarna een weg op een dijk met steil talud kon worden gesimuleerd.

2 geeft een overzicht van de diverse runs.

15 Volgens de kaart genoemd in voetnoot 14.

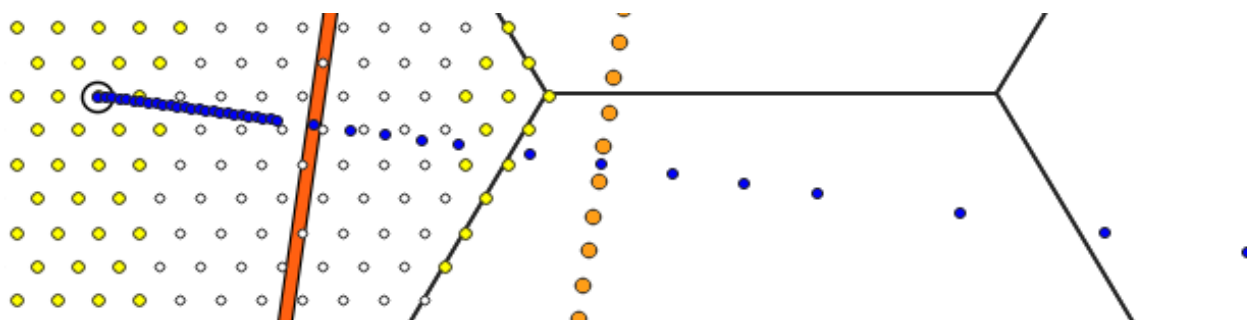
16 https://www.aerius.nl/files/media/factsheets/20150413_lgn_clc_depac_z0.xlsx;



Afbeelding 9: De gekozen configuratie; het rechterpaneel is een uitvergroting van het linker. Getoond worden de ligging van het hexagoon, de ligging van de 397 subrekenpunten binnen dat hexagoon, de ligging van de lijnbron op 30 m afstand van het midden van het hexagoon (rode lijn; met de subrekenpunten die dichterbij dan 20 m bij die lijnbron liggen in wit) en de ligging van de puntbronnen die de lijnbron op 70 m afstand van het midden van het hexagoon simuleren (oranje punten). De hexagonen waarop SRM2 heeft gerekend zijn ook ingetekend. Op het linkerpaneel is te zien dat die niet verder dan 5 km van de weg af liggen.

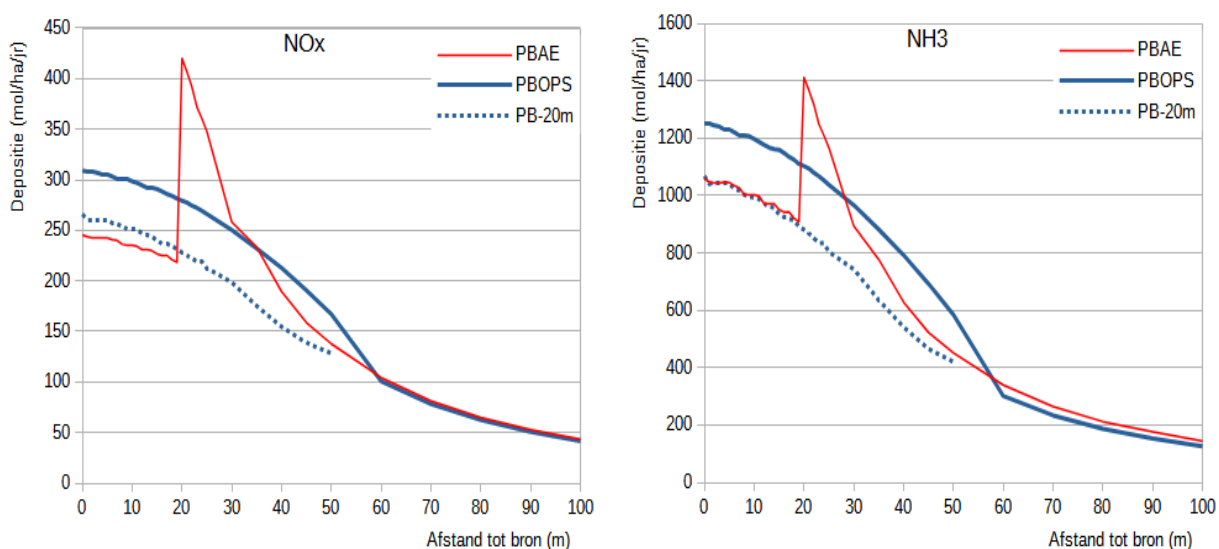
Tabel 2: Overzicht van berekeningen, met AERIUS en met de lokale versie van OPS. De tabel geeft de codes die in de tekst gebruikt worden. De "-20" berekeningen sluiten de zone van 20 m rond de bron uit (als de bron in het hexagoon ligt; AERIUS runs doen dat allemaal). De "dd30" berekeningen betreffen een lijnbron in kompasrichting 30°. De "h10" berekening is aan een weg die op een dijk van 10 m hoog met steil talud ligt.

	AERIUS		OPS, lokaal		opmerking
	SRM2	OPS	Alle	-20 m	
puntbron		PBAE	PBOPS	PB-20m	
lijnbron	SRM2	LBAE	LBOPS	LB-20m	lijn naar NNO weg op dijk
		AEd30	OPSdd30	dd30-20m h10-20m	



Afbeelding 10: (Een deel van) de raai van puntbronnen, in blauw. De overige symbolen zijn als in 9.

4.3 Puntbronnen bij een vast hexagoon



Afbeelding 11: De berekende depositie als functie van de afstand van een puntbron tot het centrum van het hexagoon. Links NO_x, rechts NH₃. Voor de codes, zie Tabel 2.

De resultaten van de berekeningen aan een puntbron staan in Afbeelding 11. De sprong bij 20 m in de AERIUS berekeningen is opvallend. Als je vergunning voor een stal vraagt dan maakt het zo maar 50% uit als je de uitlaat van de stal een meter verschuift. Voor NO_x is de sprong zelfs 100%.

Naast die sprong komen ook in deze configuratie veel van de verschijnselen die in Sectie 3 waren gezien hier weer naar voren. De belangrijkste zijn:

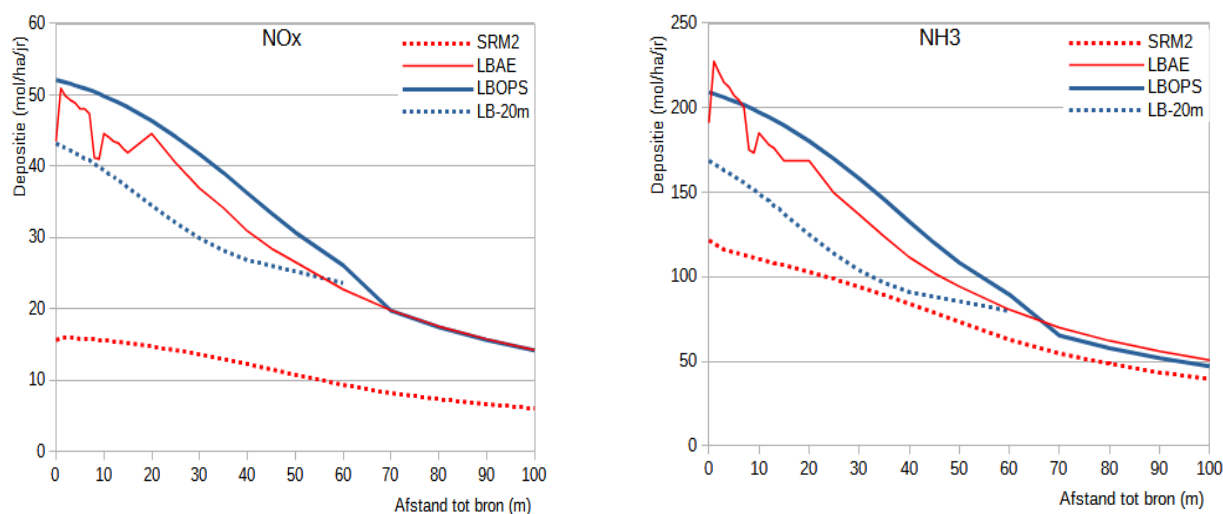
Tot 20 m komen AERIUS (“PBAE”) en OPS (“PB-20m”) vrijwel precies overeen voor NH₃. De twee implementaties van OPS, te weten die in AERIUS en de lokale, bevestigen elkaars juistheid. Ter herinnering zij opgemerkt dat AERIUS de 20 m zone rond de bron uitsluit van middeling, zodat PBAE met PB-20m vergeleken moet worden.

Voor NO_x is de overeenkomst tot 20 m afstand minder goed. Blijkbaar rekent AERIUS de depositie van NO_x anders uit dan OPS. Het verschil is klein maar moet desondanks toch wel worden uitgelegd. In de documentatie van AERIUS is er geen aanleiding voor gevonden.

De berekeningen geven wederom geen motivatie de zone van 20 m rond de bron uit te sluiten. AERIUS overschat de depositie zelfs, tussen 20 en 30 meter van de bron.

4.4 Lijnbronnen bij een vast hexagoon

4.4.1 Standaard configuratie



Afbeelding 12: Depositie als functie van de afstand van een lijnbron tot het centrum van het hexagoon; links NO_x , rechts NH_3 . Voor codes, zie Tabel 2.

De resultaten van de berekeningen aan lijnbronnen worden getoond in Afbeelding 12.

De sprong bij 20 m in de AERIUS berekeningen is nu niet in het oog springend. Dat verbaast niet, omdat immers de vele puntbronnen, die samen de lijnbron simuleren, op verschillende afstanden tot het centrum van het polygoon liggen, zodat de sprong, die waarschijnlijk in de afzonderlijke puntbronnen wel aanwezig is, wordt uitgesmeerd.

SRM2 onderschat NH_3 en vooral NO_x depositie dusdanig dat het zinloos is om nog enige discussie aan SRM2 te wijden. Zie ook een eerder rapport (voetnoot 5).

DE AERIUS berekeningen ("LBAE") liggen tussen de twee berekeningen met OPS ("LBOPS" en "LB-20m") in. Dat zou kunnen duiden op een implementatieverschil. In "LB-20m" worden de punten in de 20 m zone uitgezonderd als een deel van de lijnbron binnen het hexagoon valt. Het is niet duidelijk uit de documentatie of AERIUS ook zo werkt. Het is ook mogelijk dat AERIUS die punten alleen uitsluit voor zover de puntbronnen die samen de lijnbron vormen binnen het hexagoon vallen. Een puntbron die buiten het hexagoon ligt zou dan alleen een resultaat in het centrum van het hexagoon geven, terwijl in de twee LBOPS berekeningen ook voor die puntbronnen gemiddeld wordt over alle subrekenpunten. In het laatste geval zouden de berekende resultaten inderdaad tussen volledige uitsluiting à la "LB-20m" en volledig meenemen à la "LBOPS" liggen. Bij zo'n gedeeltelijke uitsluiting zou de configuratie van subrekenpunten afhangen van de ligging van de puntbron op de lijn: voor de puntbronnen binnen het hexagoon wordt op 397 punten gerekend, voor puntbronnen buiten het hexagoon op alleen het midden van het hexagoon. Voor zover bekend echter is dat niet realiseerbaar in OPS, omdat de OPS configuratie het niet mogelijk maakt de ligging van rekenpunten te laten afhangen van de positie van de bron.

Dus als AERIUS inderdaad rekenpunten uitsluit op basis van de ligging van de puntbron op de lijnbron, dan implementeert AERIUS niet OPS. En in het andere geval implementeert AERIUS ook OPS niet, omdat er dan immers geen verschil zou mogen bestaan tussen "LBAE" en "LB-20m" in Afbeelding 12.

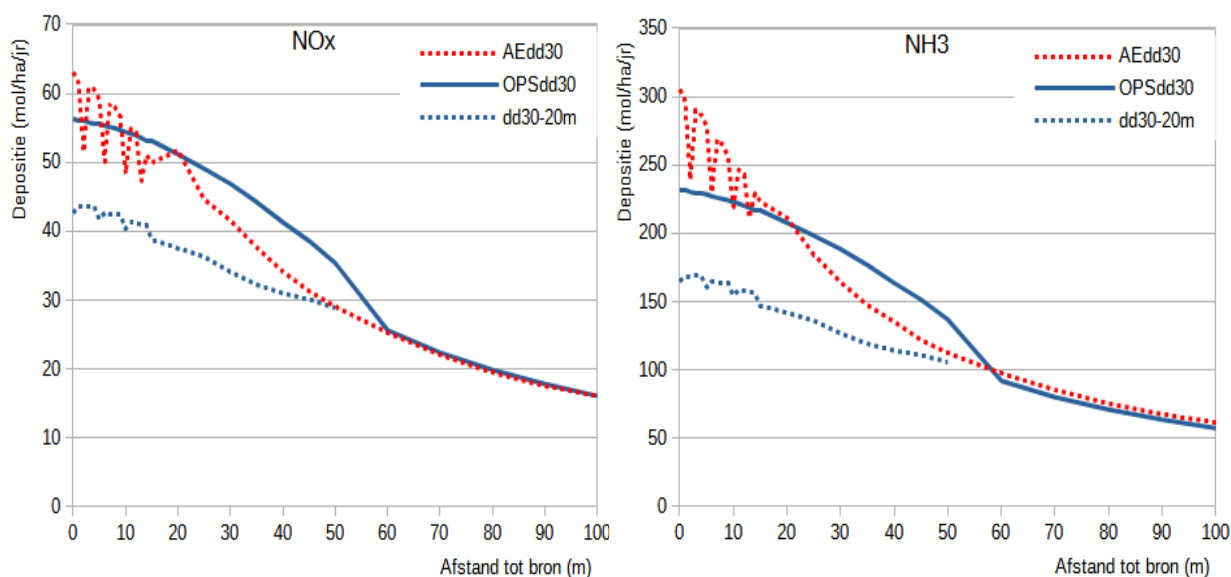
Hoewel er dus geen in het oog springende sprong op 20 m is, vertoont de met AERIUS/OPS (code "LBAE") berekende depositie tot op een afstand van 20 m nog steeds springerig gedrag.

4.4.2 Springerig gedrag op afstanden onder 20 m

Er werden twee mogelijke oorzaken van dat springerig gedrag onderkend. De eerste is dat AERIUS rekening houdt met de terreinomstandigheden tussen bron en receptor. Bij het schuiven van de lijnbron komt de lijn steeds over een iets andere selectie van hexagonen te liggen. De overgang van het ene hexagoon naar het andere zou een sprong kunnen veroorzaken. De tweede is dat met het schuiven er steeds een iets andere selectie van punten binnen de 20 m zone valt, en dus wordt uitgezonderd van het middelingsproces.

Om deze twee mogelijke oorzaken te onderscheiden werd een berekening gedaan waarbij de lijnbronnen werden gedraaid, zodanig dat ze parallel aan de zuidoostelijke rand van het hexagoon kwamen te liggen. Deze lijnen liggen tot op 55 m steeds in dezelfde hexagonen, en dus zou de sprongen op de eerste twintig meter moeten verdwijnen als de oorzaak ligt in de veranderende selectie van hexagonen. Maar als de oorzaak ligt in de veranderende selectie van punten binnen de 20 m zone, dan zou het effect juist veel sterker moeten worden, omdat bij deze oriëntatie van de lijnbronnen hele rijen van subrekenpunten tegelijk worden in- dan wel uitgeschakeld bij het schuiven van de lijnen.

Afbeelding 13 toont de resultaten. Duidelijk is dat het springerig gedrag van AERIUS onder de 20 m veel sterker is dan in Afbeelding 12. De "dd30-20m" berekeningen vertonen een lichte variatie. De sprongen zijn dus eenduidig terug te voeren op het uitzonderen van punten dicht dan 20 m bij de bron.



Afbeelding 13: Als Afbeelding 12, voor een andere oriëntatie van de lijnbron.

De "OPSdd30" berekeningen laten wederom zien dat er geen goede reden is om die punten uit te zonderen. Die berekeningen tonen een mooi vloeiend gedrag. Ook is de daarmee berekende depositie gemiddeld niet eens echt veel anders dan de AERIUS resultaten. Gegeven de nauwkeurigheid van de modellen (niet beter dan tot op enkele tientallen procenten¹⁷) zijn de verschillen tussen de AERIUS berekeningen (met de uitsluiting van punten dicht bij de bron) en de lokale OPS berekeningen zonder die

17 <https://www.aanpakstikstof.nl/achtergrond/vragen-en-antwoorden/over-aerius>

willekeurige ingreep in de data niet significant. En dan moet toch de voorkeur gegeven worden aan de vloeiende krommen die zonder die willekeurige ingreep ontstaan, oftewel, gewoon OPS.

4.4.3 Effect van verhoogde ligging van de weg

Nu alles erop wijst dat OPS in het algemeen te verkiezen valt boven AERIUS, blijft nog één argument dat het RIVM gebruikt om SRM2 te prefereren boven OPS over, te weten dat SRM2 beter in staat zou zijn om het effect van verhoogde en verdiepte wegligging en van geluidsschermen te beschrijven (zie voetnoot 6).

SRM2 verwerkt die effecten door het verhogen van de initiële verticale spreiding, $\sigma_{z,0}$. (zie voetnoot 4). Als de weg bijvoorbeeld op een steile dijk ligt, dan wordt $\sigma_{z,0}$ opgehoogd met de helft van de hoogte van de dijk.

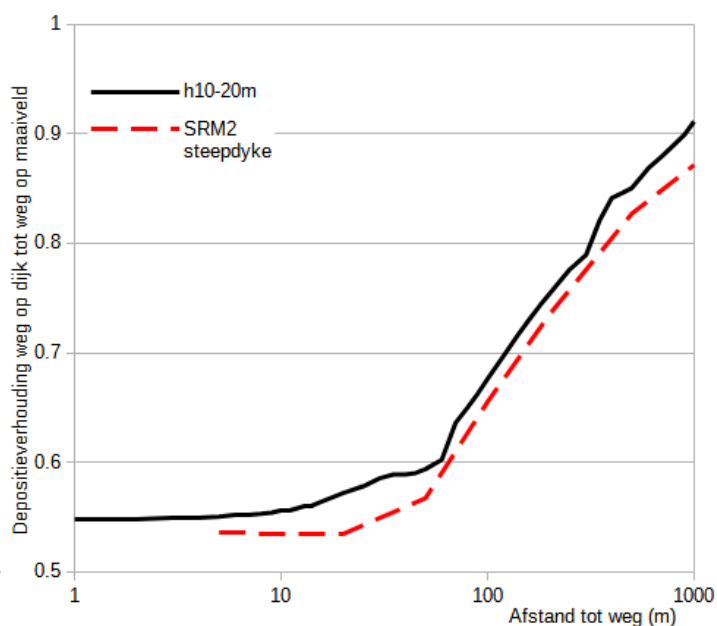
In OPS is het ook mogelijk de spreiding vanuit een bron op te geven. Dat gebeurt via de parameter “s” (zie Tabel 1). Volgens de documentatie wordt die grootte als volgt gebruikt (citaat uit Fortran bestand ops_reken.f90):

```
spread in source height to represent different sources in a area source;
also used for initial sigma_z (vertical dispersion) of emission (e.g.
traffic, building influence) [m]
```

Dit suggereert dat OPS voorbereid is op het gebruik van $\sigma_{z,0}$ voor verkeer. Het blijkt echter dat dit niet is geïmplementeerd in de actieve Fortran code ¹⁸.

Om te onderzoeken of OPS ook het effect van verhoogde of verdiepte ligging, of de aanwezigheid van geluidsschermen kan simuleren werd in subroutine par_puntbr de bij de puntbron opgegeven spreiding s opgeteld bij de verticale spreidingsparameter, zoals die standaard wordt berekend (conform het schema van Pasquill, zie Sectie 3.3.2 in de documentatie genoemd in voetnoot 13).

Eerder al was onderzocht hoe SRM2 de depositie verandert als een weg op een steile dijk van 10 m hoogte ligt (zie Figuur 2 in voetnoot 2). Bij deze ligging van de weg verhoogt SRM2 $\sigma_{z,0}$ met 5 m. De berekeningen werden nu herhaald met OPS, waarbij de spreiding van de bron initieel met 5 m werd opgehoogd. Omdat SRM2 geacht wordt de punten binnen 20 m van de bron niet mee te nemen in de middeling werden de berekeningen gedaan met de versie “-20m”. Afbeelding 14 toont het effect van die verhoogde $\sigma_{z,0}$, naast het effect berekend met SRM2. De twee ontlopen elkaar maximaal 6%. Daarmee is aannemelijk gemaakt dat



Afbeelding 14: De totale depositie die optreedt als een weg op een steile dijk met een hoogte van 10 m ligt, relatief ten opzichte van de depositie van een weg op maaiveld. Getoond wordt het effect van SRM2 en het effect van het opheffen van $\sigma_{z,0}$ in OPS met 5 m (voor code, zie Tabel 2).

¹⁸ Hoewel de documentatie suggereert dat deze parameter ook gebruikt kan worden voor de beschrijving van gebouwinvloed, wordt die ook daarvoor niet gebruikt, OPS berekent de gebouwinvloed op een andere manier.

OPS eenvoudig geschikt gemaakt kan worden om de wegeigenschappen die SRM2 kan verwerken ook te verwerken.

SRM2 is niet een goed model. Het is dan ook twijfelachtig of het wel in staat zou zijn om een verhoogde wegligging door te rekenen. Maar voor zover dat als argument ten faveure van SRM2 ten opzichte van OPS aangevoerd zou kunnen worden, is nu dus aangetoond dat OPS dat ook prima kan.

Hoewel bovenstaande alleen gebaseerd is op een vergelijking van een weg met verhoogde ligging, wordt er wellicht ten overvloede op gewezen dat deze uitspraken even hard gelden voor de effecten van verdiepte ligging of van geluidsschermen, omdat immers die effecten alle via dezelfde parameter, $\sigma_{z,0}$, worden verwerkt, zowel in SRM2 als in de nieuwe versie van OPS.

En daarmee vervalt het laatste argument om SRM2 te handhaven naast OPS.

5 Discussie en Conclusies

Dicht bij een bron is de stikstofdepositie ten gevolge van die bron groot. Dat motiveert onderzoek naar de berekende depositie dicht bij een bron. Dit verslag is over zo'n onderzoek. Voor het onderzoek is gerekend met de depositiemodellen AERIUS en OPS. AERIUS gebruikt in het algemeen OPS maar in dit onderzoek is gebleken dat de resultaten van AERIUS sterk afwijken van die van OPS. Dit duidt op een verkeerde implementatie van OPS in AERIUS. Voor een weg gebruikt AERIUS SRM2 en dat geeft nog veel grotere fouten.

Bij eenvoudige berekeningen aan een puntbron bleek dat AERIUS een grote sprong in depositie suggereert op 20 m afstand van de bron (Sectie 3.2, 5). De spronggrootte was een factor 3. Dat was aanleiding om een ingewikkelder serie berekeningen uit te voeren, om precies de manier waarop AERIUS de depositie berekent te kunnen reproduceren en zodanig toe te passen dat een nauwkeurig beeld verkregen kon worden hoe volgens AERIUS de depositie afhangt van de afstand tot de bron. Ook bij die ingewikkelder berekeningen werd een sprong op 20 m afstand van de bron gevonden, weliswaar kleiner maar toch altijd nog 50% voor ammoniak en 100% voor stikstofoxiden (Sectie 4.3 11).

Dergelijk gedrag is ongewenst. Het zou bijvoorbeeld het volgende scenario kunnen veroorzaken. Veronderstel dat de verkeersminister een weg wil aanleggen, en dat zij daarvoor "stikstofruimte" wil verkrijgen door een boer een stal te laten sluiten. Als dat niet voldoende "ruimte" oplevert kan zij de boer vragen eerst een kleine verbouwing te doen, zodanig dat de uitlaat van de stalventilatie een meter *verder* (!) van het voorgenomen tracé van de weg komt. Dankzij de sprong in AERIUS levert haar dat zomaar 50% *meer* (!) *berekende* "stikstofruimte" op. Uiteraard is het uitgesloten dat de minister dit scenario niet zou gebruiken (sic). Daarom moeten dergelijke sprongen vermeden worden, zelfs al zouden ze binnen de nauwkeurigheids grenzen van de modellen vallen.

Gelukkig is ook aangetoond dat dergelijke absurditeiten eenvoudig te vermijden zijn. Het is gebleken dat de berekeningen door OPS op korte afstanden zo sterk van de afstand tussen bron en rekenpunt afhangen dat de berekende depositie in het midden van een hectare (cirkel of hexagoon) niet representatief voor de hele hectare is. Maar door te rekenen in deelgebiedjes wordt dat probleem volledig overgenomen (Sectie 3.2, 7). AERIUS gebruikt 397 deelgebiedjes voor een hexagoon, zolang de bron binnen het hexagoon ligt. Als de bron verder weg ligt wordt de in het centrum van het hexagoon berekende depositie als representatief voor het hexagoon beschouwd. Op deze manier toegepast, berekent OPS een depositie die vrijwel vrij van sprongen is (de enige sprong is op het moment dat de bron op de rand van het hexagoon ligt). Wel is daarbij vereist dat alle punten in de deelgebiedjes worden meegenomen.

Het geeft geen pas om (naar tamelijke willekeur) een zone van 20 m rondom de bron uit te sluiten van de berekeningen. AERIUS doet dat, maar het is onnodig en ongewenst.

Vervolgens werd nagegaan hoe bij een lijnbron de berekende depositie afhangt van de afstand van het rekenpunt tot de lijnbron (Sectie 4.4). Allereerst werd bevestigd wat ook al eerder was gevonden, te weten dat het model voor wegverkeer, SRM2, de depositie in sterke mate onderschat, ook dicht bij de bron (12). SRM2 is onbruikbaar. Weer werden merkwaardige sprongen in de door AERIUS met OPS berekende depositie gevonden, tot op een afstand van 20 m. Deze sprongen zijn weliswaar klein, maar bij bepaalde oriëntaties van de lijnbron toch altijd nog 20%. En wederom werd geconstateerd dat deze sprongen gemakkelijk vermeden kunnen worden, en wel omdat ze het gevolg zijn van het uitsluiten van rekenpunten binnen 20 m afstand tot de bron. Neem alle rekenpunten mee en het probleem is weg (13).

Steeds weer werd geconstateerd dat OPS niet goed in AERIUS lijkt te zijn geïmplementeerd (Afbeelding 12, en, voor NO_x ook op kleine afstand, Afbeelding 11).

SRM2 is ontwikkeld voor de berekening van luchtvervuiling. Er zijn enkele eenvoudige voorschriften in aangebracht om de effecten van verhoogde of verdiepte wegligging of van geluidsschermen op luchtvervuiling te verdisconteren. Die voorschriften behelzen steeds een ophoging van de verticale spreidingsparameter bij de bron, $\sigma_{z,0}$. Zo wijkt de berekening aan een weg op een dijk met steil talud af van die van een weg op maaiveld doordat $\sigma_{z,0}$ met de halve dijkhoogte wordt opgehoogd. Merkwaardig is dat het RIVM denkt dat het bestaan van deze voorschriften SRM2 meer geschikt maakt voor de berekening van depositie langs een weg dan OPS. Maar door eenvoudigweg dezelfde voorschriften te implementeren in OPS wordt hetzelfde effect bereikt als met SRM2 (Sectie 4.4.3, 14).

Dit mag overigens niet gelezen worden als indicatie dat SRM2 goed zou zijn. De conclusie is louter dat *indien* SRM2 een trucje kent, datzelfde trucje ook in OPS ingebouwd kan worden. Dat SRM2 een afwijkende weghoogte of de aanwezigheid van geluidsschermen dicht bij de bron zou kunnen verwerken is niet een argument in het voordeel van SRM2 ten opzichte van OPS. OPS kan het immers even goed.

De uiteindelijke conclusie is dat er geen enkele aanleiding is om depositieberekeningen uit te voeren met iets anders dan OPS; op alle afstanden van de bron. Er is geen aanwijzing dat OPS niet zou voldoen. Om een voor een hectare (cirkel of hexagoon) representatieve depositie te verkrijgen moet wel gemiddeld worden over een aantal deelgebiedjes als de bron binnen die hectare ligt. Daarbij moeten alle deelgebiedjes worden meegenomen; ook die gebiedjes die dicht bij de bron liggen.

Aan het herzien van een model voor de berekening van stikstofdepositie worden momenteel in Nederland politieke gevolgen verbonden. Daarom hechten wij eraan te vermelden dat dergelijke herzieningen altijd twee kanten op werken. Door het vervangen van SRM2 door OPS wordt het lastiger een vergunning te krijgen voor een wegenproject. Maar aan de andere kant wordt het berekende effect van de generieke snelheidsmaatregel (maximaal 100 km/u) groter. Daarmee wordt het gemakkelijker een vergunning voor een woningbouwproject te krijgen.

Dankbetuiging

Dank aan Seward Nijhuis voor belangrijk commentaar op een eerdere versie.