

Notitie

Aan
Ministerie van LNV
Bezuidenhoutseweg 73
2594 AC Den Haag

Van
Jan Duyzer (TNO, CEE) en Hans Erbrink (Erbrink Stacks Consult)
Data-analyse AERIUS met medewerking van Mark Wilmot (Wing)

Onderwerp

Notitie:
**Afbakening in de modellering van
depositiebijdragen van individuele projectbijdragen
(Fase 1)**

**Circular, Economy &
Environment**

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

Datum
6 juli 2021

Onze referentie
100340309

Samenvatting

Het kabinet heeft mede n.a.v. de bevindingen van het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof toegezegd een onderzoek te starten naar de mogelijkheden van afbakening van project-specifieke berekeningen. Het eerste, door RIVM uitgevoerde, onderzoek gaf geen duidelijke modelmatige overgang waaruit een mogelijke afbakening zou volgen. RIVM wijst er in zijn rapport onder meer op dat zowel de uitgebreide modelanalyse als de data-analyses geen reden geven om een projectbijdrage na een bepaalde afstand vanaf de bron niet meer aan het project te relateren, maar geeft wel aanknopingspunten voor verder onderzoek. In het hier gepresenteerde onderzoek door TNO zijn die aanknopingspunten verder uitgewerkt en geduid. Op basis hiervan kan de opdrachtgever (het Ministerie van LNV) een beleidsafweging maken.

Het onderzoek omvat twee fasen. De hier beschreven eerste fase omvat een eerste onderzoek op basis van beschikbare kennis en inzichten over de werking van de rekenmodellen. In de tweede fase worden ook kwantitatieve analyses uitgevoerd. Deze fase kan worden gezien als een verdieping van de eerste fase.

Voor het berekenen van de stikstofdepositie ten gevolge van een individuele bron wordt gebruik gemaakt van Gaussische pluimmodellen. Dit is internationaal gezien de meest gebruikte modelvorm. Het toepassingsbereik – de situaties (bijvoorbeeld de afstand) waarvoor de modelbeschrijvingen passend zijn en het model dus toepasbaar is – hangt samen met het uitgangspunt dat het Gaussische pluimmodel constante meteorologische omstandigheden veronderstelt.

In het algemeen geldt deze aanname over een tijdsspanne van een uur, hetgeen voor typische Nederlands windsnelheden, grofweg, overeenkomt met een bereik tussen 10 en 25 km. Op basis van expert-judgement is 25 km dan ook het vastgestelde toepassingsbereik van het Nieuw Nationaal Model (NNM), het wettelijk voorgeschreven Gaussische pluimmodel voor de bepaling van de luchtkwaliteit.

Het is gebruikelijk en behorend bij een wetenschappelijke verantwoorde praktijk om de theoretische modelbeschrijvingen te toetsen aan metingen voor typische praktijksituaties. Dit proces van validatie wordt ook beschouwd bij het vaststellen van het toepassingsbereik. Dergelijke validatie van de modellen voor de berekende stikstofdeposities ten gevolge van een individuele bron zijn niet voorhanden omdat die in de praktijk niet uitvoerbaar zijn. Dit hangt samen met de complexiteit van metingen van de droge depositie waarvoor ook kostbare apparatuur nodig is. Er is echter wel een beperkt aantal validatiestudies op de berekende concentraties ten gevolge van de verspreiding vanuit een individuele bron. De depositie is rechtstreeks gerelateerd aan de concentratie dus geven deze studies ook een goede indruk van het toepassingsbereik voor depositie. Voor de berekende concentraties ten gevolge van een individuele bron hebben de validatiestudies voor de AERIUS-modellen (SRM-2 en OPS) tot op ongeveer 1 km van de bron plaatsgevonden en in een enkel geval tot 20 km. Uit vergelijking met concentratiemetingen blijkt dat de onzekerheid in de berekende verspreiding vanuit een individuele bron ongeveer 25-35% bedraagt. De onzekerheid van de, uit deze concentratie berekende depositie, bedraagt naar schatting een factor 2. De representativiteit van deze validatiestudies is beperkt omdat deze zijn uitgevoerd in ideale omstandigheden met weinig verstorende bronnen en een uniforme omgeving. In Nederland is typisch sprake van een sterk gevarieerde omgeving met veel bronnen. Validatiestudies onder typisch Nederlandse omstandigheden zijn daarom praktisch gezien niet haalbaar. Zeker op grotere afstand van de bron (groter dan enkele km's) is het vrijwel onmogelijk de bijdrage van een individuele bron uit de metingen te destilleren. Geconcludeerd wordt dat de Gaussische pluimmodellering voor berekenen van de depositie staande praktijk is, maar dat de onzekerheden groot kunnen zijn.

Ook het OPS-model hanteert het Gaussische pluimmodel, maar daar is, voor de grotere afstanden, een trajectoriën aanpak aan toegevoegd. Dit wordt gedaan om rekening te kunnen houden met de veranderingen in de windrichting. Dat maakt het mogelijk om de concentratie van stikstofverbindingen en deposities op grotere afstanden, dan het standaard toepassingsbereik van Gaussische modellen, te berekenen. Dit past bij het beoogde gebruik van OPS waarmee onder andere de totale depositie van alle bronnen land dekkend bepaald en gemonitord kan worden. Daarbij worden de berekende uitkomsten gekalibreerd met de metingen van het LML en MAN.

Het gebruik van trajectoriën in het OPS stelt het model in staat om over grotere afstanden dan 25 km de projectbijdragen te berekenen. Voor het bepalen van de totale stikstofdepositie (de cumulatieve bijdrage van alle bronnen) heeft het OPS-model bewezen goede resultaten te geven. Bij het optellen van de bijdrage van alle bronnen valt namelijk een groot deel van de fouten in de berekende bijdragen tegen elkaar weg.

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

2/21

Datum
6 juli 2021

Onze referentie
100340309

Blad
3/21

De jaarlijkse kalibratie aan metingen geeft, indirect, ook inzicht in de nauwkeurigheid van de berekende totale deposities. Het is echter niet bekend wat de nauwkeurigheid van die berekende resultaten voor *individuele* bronnen is. Deze nauwkeurigheid is naar verwachting lager dan die in de totale depositie. Gezien de formulering van de gebruikte modellen is het duidelijk dat de onzekerheid in de berekende depositie toeneemt met de afstand van de bron.

Voornoemde overwegingen leiden tot de volgende argumenten:

- Het toepassingsbereik van Gaussische pluimmodellen is in Nederland begrensd tot 25 km. Hierover bestaat wetenschappelijk consensus. Toevoeging van trajectoriën bij de berekeningen vergroot het toepassingsbereik. De nauwkeurigheid van de uitkomsten voor een individuele bron of project neemt echter met de afstand af.
- Validatie geeft inzicht in de nauwkeurigheid van modellen. Voor de som van alle bronnen in Nederland den Europa heeft de validatie van het OPS model ook op grotere afstanden met succes plaatsgevonden. Voor individuele bronnen heeft validatie op concentraties plaatsgevonden tot ongeveer 20 km. De nauwkeurigheid van de schatting van de depositie ten gevolge van individuele bronnen zal afnemen met de afstand. Omdat validatie niet heeft plaatsgevonden is de mate van de afname van de nauwkeurigheid niet bekend.
- Het is niet bekend met welke zekerheid de bijdragen van individuele bronnen en daarmee individuele projecten op grotere afstanden dan 25 km door het OPS kan worden berekend. Op grond van statistische en modelmatige overwegingen is het aannemelijk dat de onzekerheid in stikstofdepositieberekeningen voor individuele inrichtingen groter is dan een factor 2. Dit is op dit moment de wetenschappelijke *state-of-the-art*.

Op basis van deze argumenten tezamen kan de overweging zijn om ook voor het OPS-model in AERIUS bij het berekenen van de depositiebijdrage van individuele bronnen een maximale rekenafstand van 25 km te hanteren. Dit is ook in lijn met de praktijk in de ons omringende landen. De gesommeerde bijdragen van alle individuele projecten buiten de, eventueel vast te stellen *maximale* rekenafstand worden meegenomen in de monitoring van de jaarlijkse ontwikkeling in de totale depositie over Nederland.

Overigens geldt dat, met name, voor grote projecten¹ op een afstand van meer dan 25 km een depositiebijdrage wordt berekend hoger dan de thans gehanteerde rekenkundige ondergrens. De depositiebijdrage binnen de afstandsgrens zou dan, zo nodig, door de initiatiefnemer gemitigeerd moeten worden. De effecten van deze mitigatie zullen ook voorbij de afstandsgrens doorwerken. Resterende depositiebijdragen voorbij de afstandsgrens dragen bij aan de totale depositie waarvoor de overheid verantwoordelijk is.

Fase 2: Aan de hand van een data-analyse wordt in fase 2 van dit onderzoek verder in beeld gebracht welke onderdelen in de modellen bijdragen aan de toename van de onzekerheden op grotere afstanden.

¹ Bijvoorbeeld nieuwbouw van een energiecentrale of grootschalige industriële installatie

In deze fase wordt onderzocht op welke wijze de zekerheid waarmee uitspraken worden gedaan kan worden vergroot door de projectafbakening in afstand of bijdrage te laten aansluiten bij verschillen in omvang en brontype.

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

4/21

1 Inleiding

Teneinde de doelgeschiktheid van AERIUS Calculator te verbeteren heeft het kabinet aangegeven onderzoek te doen naar de mogelijkheden om te komen tot een vermindering van de onbalans tussen het gewenste detailniveau van berekenen en de onzekerheid van het rekenmodel, en een gelijkwaardige behandeling van verschillende typen emissiebronnen bij toestemmingverlening. In reactie op het advies van de Commissie Remkes (Kamerstuk 35 334, nr. 133) heeft het kabinet aangegeven te onderzoeken hoe, in het kader van toestemmingverlening, omgegaan moet worden met de berekende, zeer kleine depositiebijdragen op grote afstand van projecten en op welke wijze generiek beleid hiervoor een oplossing kan bieden.

Het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof (commissie Hordijk) stelt dat AERIUS Calculator niet doelgeschikt is voor toestemmingsverlening omdat er volgens het college sprake is van 1) een onbalans in het beleidsmatig gewenste detailniveau en wetenschappelijke onzekerheid en 2) een ongelijke behandeling van wegverkeer en andere brontypen door het gebruik van de onderliggende rekenmodellen (SRM2² voor wegverkeer met een afstandsgrens van 5 km en OPS zonder een afstandsbegrenzing voor overige bronnen). In reactie op de bevindingen van het Adviescollege heeft het kabinet onderzocht of aan de hand van eenduidige criteria een modelmatig onderbouwde en goed uitlegbare afbakening voor berekening van stikstofdepositie van verschillende emissiebronnen vast te stellen is, binnen de geldende juridische kaders.

Het RIVM is gevraagd om wetenschappelijke inzichten die relevant zijn om technisch-wetenschappelijk te kunnen onderbouwen dat depositiebijdragen voorbij een bepaalde afstand bezwaarlijk in een passende beoordeling betrokken kunnen worden. In dit onderzoek concludeert het RIVM dat vanuit de modeleigenschappen er geen eenduidige modelmatige overgang is, dat wil zeggen geen eenduidige afstand of waarde is waarbij de berekende depositie niet meer te relateren is aan een bron. RIVM wijst er in zijn rapport onder meer op dat zowel de uitgebreide modelanalyse als de data-analyses geen reden geven om een projectbijdrage na een bepaalde afstand vanaf de bron niet meer aan het project te relateren. Het RIVM-rapport biedt wel aanknopingspunten die in een beleidsmatige en juridische context gebruikt kunnen worden voor een keuze van een afstandsgrens.

Het kabinet ziet – mede om opvolging te geven aan de aanbevelingen van de commissies Hordijk en Remkes – aanleiding om te komen tot een afbakening voor project-specifieke berekeningen. LNV heeft TNO gevraagd om op basis van de aanknopingspunten uit het RIVM-onderzoek en de wetenschappelijke praktijk inzicht te bieden zodat een keuze voor afbakening gemaakt kan worden.

De juridische kaders waaraan een afbakening moet voldoen, volgen uit de meest recente jurisprudentie, waarin de Raad van State tussenuitspraak over het project

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

5/21

² Standaardrekenmethode (Infomil)

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

6/21

ViA15 (20 Januari 2021) is betrokken. Die kaders houden in dat voor een afbakening van project-specifieke berekeningen het technisch modelmatig onderbouwd (balans tussen volledigheid en precisie van stikstofberekeningen) moet zijn dat een berekende projectbijdrage voorbij een afbakening niet meer redelijkerwijs toerekenbaar is aan een project.

Verder dat binnen afbakening de initiatiefnemer van een project voor zover nodig mitigerende maatregelen treft en dat het verzekerd is dat, waar nodig, passende maatregelen getroffen worden om een verslechtering van stikstofgevoelige habitats (in Natura 2000-gebieden) als gevolg van de totale stikstofdepositie, dat wil zeggen inclusief die buiten de gehanteerde projectafbakening, te voorkomen.

1.1 Aanleiding, doel van dit onderzoek en activiteiten

Op verzoek van het ministerie van LNV heeft het RIVM een rapport opgesteld (Roest et al. 2021³) dat voorziet in de duiding van de technische werking van het OPS- model, de modelvalidatie en onzekerheden van modelberekeningen.

Het RIVM heeft meerdere data-analyses uitgevoerd op o.a. de database met 10.000 projecten uit de PAS-periode. Het RIVM schrijft: “Daarbij is gekeken naar de relatie tussen de ontwikkeling van een individuele projectbijdrage ten opzichte van die van de andere bronnen, zowel gedurende de verspreiding door de lucht als bij de depositie naar de bodem. Hierbij zijn geen duidelijke aanknopingspunten gevonden voor een technisch-wetenschappelijke onderbouwing van een eenduidige rekengrens”. Het RIVM concludeert wel dat hun rapportage argumenten levert voor een beleidsmatige en juridische afweging om tot een begrenzing te komen waarbuiten een berekende waarde niet meer redelijkerwijs toerekenbaar is aan een project.

Naar aanleiding van het RIVM-rapport heeft het ministerie van LNV aan TNO, Erbrink Stacks Consult en Wing⁴ gevraagd, om op basis van hun expertise op het gebied van modellen de argumenten uit het RIVM-onderzoek op het punt van het toepassingsbereik en validatie van modellen en de onzekerheid in berekeningen nader te duiden en verder uit te werken tot wetenschappelijke argumenten die het afbakenen van project-specifieke berekeningen in een passende beoordeling kunnen rechtvaardigen. Met behulp van deze argumenten kan vervolgens een beleidsmatig keuze voor een bepaalde afbakening gemotiveerd worden. Uitgangspunten voor deze notitie zijn daarbij het genoemde RIVM-rapport en de daarin gesignaleerde aanknopingspunten voor een beleidsmatige keuze voor een afstandsgrens.

Het hier gepresenteerde onderzoek richt zich op de afbakening van projectspecifieke depositieberekeningen ten behoeve van toestemmingverlening in het kader van de Wet natuurbeheer. Dit betreft de berekening van de bijdrage aan de stikstofdepositie van nieuwe activiteiten of wijziging van bestaande

³ Door TNO en Erbrink Stacks Consult is, op verzoek van het RIVM, een review uitgevoerd van dat RIVM-rapport. De bevindingen uit deze review zijn opgenomen in het betreffende RIVM-rapport.

⁴ Wing is gevraagd om assistentie bij het uitvoeren van specifieke berekeningen met het AERIUS-instrumentarium

activiteiten. Dit onderzoek doet geen uitspraken over de toepasbaarheid van AERIUS, SRM2 en OPS voor andere doeleinden.

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

7/21

Een consequentie van een dergelijke afbakening is dat de initiatiefnemer alleen binnen de afbakening verantwoordelijk is voor de ecologische beoordeling van berekende depositiebijdragen en zo nodig mitigerende maatregelen moet treffen (artikel 6, derde lid van de Habitatrichtlijn). Dit betekent dit ook dat de depositiereductie van mitigerende (bron)maatregelen alleen *binnen* de maximale rekenafstand in een passende beoordeling mogen worden betrokken. Depositiebijdragen *voorbij* de afbakening van alle nieuwe of gewijzigde initiatieven zijn onderdeel van de totale depositie, waarvoor de overheid verantwoordelijk is om maatregelen te treffen die nodig zijn voor de verwezenlijking van de instandhoudingsdoelstellingen (art 6, eerste lid, Habitatrichtlijn) en passende maatregelen (preventief) ter voorkoming van verslechtering van de kwaliteit van habitattypen en leefgebieden van soorten (artikel 6, tweede lid, van de Habitatrichtlijn).

Nu er geen 'ontwikkelingsruimte' meer is, waar cumulatieve effecten van individuele projecten in ondergebracht kunnen worden, dienen projecten zelf in mitigerende maatregelen voor het individuele projecteffect te voorzien. Dit stelt hogere eisen aan de precisie (mate van zekerheid) van de berekening van een individueel projecteffect.

Tijdens het onderzoek zal worden gezocht naar aanvullende aanknopingspunten om beleidsmatig of juridisch een keus te kunnen maken voor een project afbakening.

Aanknopingspunten daarvoor kunnen zijn:

- Het toepassingsbereik van AERIUS en onderliggende modellen;
- De validatie van OPS en SRM2 met metingen;
- Onzekerheid in de berekeningen van AERIUS Calculator;
- De uitvoeringspraktijk in de ons omringende landen en afwegingen die daar zijn gemaakt voor een afbakening van individuele projecteffecten;
- De mogelijkheden effecten van projecten te meten.

Het onderzoek omvat twee fasen. De eerste fase omvat een eerste onderzoek op basis van beschikbare kennis en inzichten over de werking van de rekenmodellen. In de tweede fase worden ook kwantitatieve analyses uitgevoerd. Deze fase kan worden gezien als een verdieping van de eerste fase. Daarbij zal, onder andere, onderzocht worden welke parameters de onzekerheid in de berekende depositie bepalen en in hoeverre een bijdrage van een project op grotere afstand van de bron nog onderscheidbaar is van de achtergrond. Dit rapport beschrijft de resultaten van de eerste fase.

In de hoofdtekst van deze notitie over fase 1 van het onderzoek worden de drie aspecten, toepassingsbereik, validatie en onzekerheid op hoofdlijnen beschreven.

2 Verschillende aspecten van modelberekeningen en hun toepassing

Datum
6 juli 2021

Onze referentie
100340309

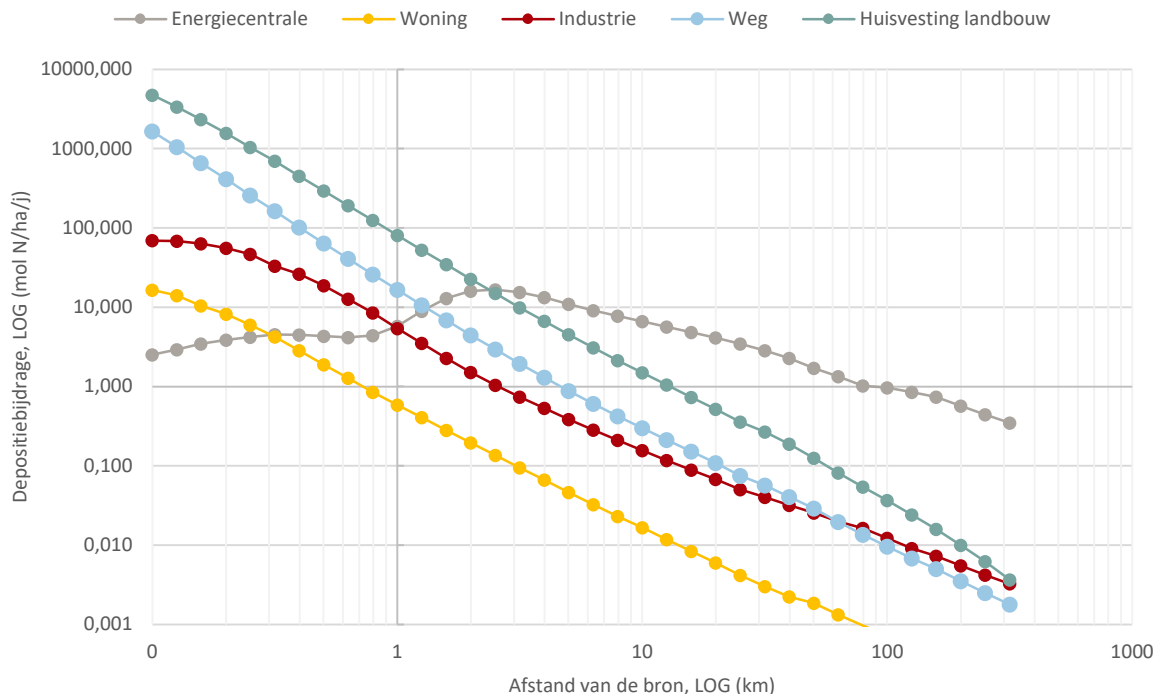
Blad
8/21

2.1 Inleiding

De stikstofdepositiebijdrage van individuele bronnen is sterk afhankelijk van factoren zoals de bronhoogte, emissiesterkte, soort stof, landgebruik en weersomstandigheden. Ter illustratie zijn in Figuur 1 voor een aantal vergunningplichtige emissieoorzaken het verloop van de depositiebijdrage (mol/hectare/jaar) bij toename van de afstand van de bron weergegeven.

De figuur laat de resultaten zien van enkele voorbeeldberekeningen met OPS van de depositie als gevolg van emissies vanuit verschillende type bronnen zoals een snelweg, een pluimveehouderij en een grote industriële installatie. Duidelijk is dat de depositie vanaf de bron relatief snel daalt; bijvoorbeeld tussen 1 km en 10 km met een factor 40.

Figuur 1 Depositiebijdrage van individuele bronnen (projecten) als functie van de afstand tot verschillende brontypen. Weergegeven zijn de berekeningen o.b.v. de volledige emissies uit tabel 1. In de praktijk gaat het vaak om projectbijdragen die het verschil aangeven tussen de huidige emissie en de toe of afname bij uitvoering van het project. De weergegeven depositie, berekend met OPS, representeert de maximale waarde over de cirkel met de gegeven afstand om de bron zoals vermeld in tabel 1.



In Tabel 1 zijn de kenmerken van de bronnen beschreven.

Datum
6 juli 2021

Onze referentie
100340309

Blad
9/21

Tabel 1 Bronsterkte en emissiekenmerken voor de bronnen uit Figuur 1

	Omschrijving
Energiecentrale	Emissie 2,02 kton NO _x , bronhoogte 175m en warmte inhoud 30MW
Huisvesting landbouw	Emissie 9,4 ton NH ₃ , Pluimveehouderij met 117.000 vleeskuikens
Industrie	Emissie 20 ton NO _x , bronhoogte 15m en warmte inhoud 0,175MW
Weg	Emissie 36,9 ton NO _x en 7,1 ton NH ₃ , lengte 10km, 40.000 voertuigen met 10% vracht en snelheid van 100 km/h (2030)
Woningen	Emissie 1,2 ton NO _x , bronhoogte 11m, ca. 500 woningen

Voor bijna alle emissieoorzaken, neemt de depositiebijdrage af wanneer de afstand van de bron toeneemt. Alleen bij hoge bronnen kent de verspreiding door de atmosfeer een ander verloop.

In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op de verschillende aspecten die spelen om te komen tot een afbakening. Daarbij wordt eerst ingaan op de mogelijkheden en de rol van metingen van de depositie. Daarna op de validatie van de toegepaste modellen (in AERIUS). Vervolgens wordt ingegaan op het toepassingsbereik van deze modellen en tenslotte wordt de onzekerheid in de berekende depositie besproken.

Toepassingsbereik

Het toepassingsbereik is een eigenschap van een model, dat wordt afgeleid van hoe een model is opgezet. Voor Gaussische modellen wordt dat onder meer afgeleid uit de afstand die in een uur door de lucht wordt afgelegd. Dit leidt tot afgelegde afstanden tussen, ruwweg, 10 en 25 km. In Nederland is hier voor het NNM als consensus een afstand van 25 km gekozen. Een sterke wetenschappelijke onderbouwing kan niet gegeven worden. Het gaat bij de modelopzet om berekeningen van significante bron-bijdragen, om aan te geven waar de grootste impact van een bron zal optreden en hoe groot deze zal zijn. Met significant wordt hier bedoeld een bronbijdrage die zich in omvang onderscheidt van bronbijdragen in de achtergrond.

2.2 Metingen

Bij metingen wordt onderscheid gemaakt tussen de droge en natte depositie (met neerslag). De droge depositie heeft vaak de belangrijkste bijdrage aan de totale depositie. Er bestaat helaas geen eenvoudige 'droge depositiemeter'; metingen voor stikstofdepositie zijn complex, plaatsgebonden, met kwetsbare apparatuur, duur en arbeidsintensief. Vergelijkingen tussen de gemeten en de berekende droge depositie zijn daarom vrijwel afwezig. Daarom wordt validatie van modellen via een omweg uitgevoerd: De depositie op een bepaald gebied is in het algemeen recht evenredig met de concentratie in de lucht. Er is echter zoveel kennis over deze relatie dat uit de concentratie de depositie verantwoord kan worden berekend, al voegt deze berekening wel onzekerheid toe. Wanneer er over vergelijking met metingen wordt gesproken in het stikstofdossier wordt er dan ook vaak over gemeten concentraties in de lucht gesproken (in samenhang met de gemeten natte depositie).

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

10/21

De concentratie stikstofoxiden (NO_x^5) of ammoniak (NH_3) in de lucht bepaalt de hoeveelheid van deze stoffen die vanuit de lucht op die locatie kan deponeren. Uit wetenschappelijke literatuur en de uitvoeringspraktijk blijkt dat de invloed van individuele bronnen tot maximaal enkele kilometers van de bron gemeten kunnen worden. Deze afstand is sterk afhankelijk van de aanwezigheid en emissiesterkte van andere bronnen als ook de natuurlijke omgeving waarin gemeten wordt. In het kader van meetcampagnes in het buitenland is incidenteel een meetcampagne uitgevoerd tot 20 km voor een industriële bron (van Velze, 2015).

De tolerantie van de meetmethoden voor de concentratie die in Nederland worden toegepast is ca. $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Berkhout et al., 2017, Teledyne, 2016). Omgerekend naar stikstofdepositie is dit zo'n 20 mol N/ha/j. De onzekerheid in een gemeten jaargemiddelde achtergrondconcentratie van NO_x en NH_3 ligt rond de 10%.

Gezien de huidige achtergrondconcentraties komt dat overeen met zo'n 1 tot 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit vertaalt zich naar stikstofdeposities van meer dan 100 mol N/ha/j.

Daarmee is het ook duidelijk dat het inzetten van metingen om individuele projectbijdragen vast te stellen zeer beperkt is. Alleen met meerjarige meetreeksen, waarbij omliggende bronnen, terrein en meteorologische omstandigheden niet wijzigen, zou een verandering van een individuele bron zichtbaar kunnen zijn in de metingen. Een praktijksituatie die in Nederland onwaarschijnlijk is. Het meten van de bijdrage van individuele projecten aan de totale depositie op grotere afstanden dan op enkele kilometers van het project is daarmee praktisch uitgesloten.

Kalibratie of validatie?

Bij *kalibratie* (eigenlijk is het woord *scaling* passender) wordt het resultaat van het rekenmodel vergeleken met een gemeten waarde. In het geval van dit onderzoek zijn dat vaak concentratie-metingen. Als de berekende waarde afwijkt van de gemeten waarde, kan besloten worden de berekende waarden te schalen naar de gemeten waarde. Dit proces gebeurt jaarlijks voor AERIUS, waarbij de berekende achtergrond waarden worden geschaald naar de gemeten waarden.

Tijdens een *validatie* proces wordt gekeken of het rekenmodel aan de gestelde specificaties of eisen voldoet. Daarmee wordt de werking van het rekenmodel zelf getest, gedocumenteerd en indien nodig aangepast. In het validatie proces worden ook vaak metingen gebruikt. Dit kunnen incidentele meetcampagnes zijn waarin een zo gecontroleerd mogelijke omgeving specifiek gedrag van de verspreiding van stoffen door de lucht gemeten kan worden of langdurige meetcampagnes waarbij meer de nadruk ligt op het vaststellen van een trend in de achtergrondconcentratie. Bijvoorbeeld het Meetnet Ammoniak en Natuur (MAN).

⁵ Inclusief nitraten in aerosol en andere gasvormige stikstofverbindingen zoals salpeterzuur (HNO_3)

Datum
6 juli 2021

Onze referentie
100340309

Blad
11/21

2.3 Validatie van de rekenmodellen

Modellen, zoals in AERIUS gebruikt, zijn gebaseerd op lang bekende relaties tussen de emissie van stoffen, de verspreiding van stoffen door de atmosfeer en de depositie. Het gebruik van deze theoretische relaties leidt tot onzekerheid in de uitkomsten. Vergelijking tussen berekende en gemeten concentraties en deposities zijn daarom nodig om inzicht te krijgen in de kwaliteit van de modellen (ofwel de onzekerheid). Het is daarom wetenschappelijk gebruik om de uitkomsten van de berekeningen met modellen te toetsen aan metingen als onderdeel van het validatieproces. De resultaten van de berekeningen van de concentratie en depositie met het OPS-model zijn door het RIVM uitvoerig gevalideerd aan de hand van metingen in het Landelijke Meetnet Luchtkwaliteit (LML) en het Meetnet Ammoniak en Natuur (MAN). Deze uitvoerige validatie op concentratiemetingen (in neerslag en lucht) vindt echter plaats op de cumulatieve bijdrage van alle bronnen in binnen- en buitenland. Deze validatie geeft aan dat de modellen in AERIUS goed voldoen om de totale depositie door geheel Nederland vast te stellen. Deze validatie is echter minder geschikt om de modellen te beoordelen op hun kwaliteit om de bijdrage van individuele bronnen aan de depositie op een bepaalde plek te bepalen. De concentratie berekend uit de emissie van bronnen kent *diverse* foutenbronnen, die voor een deel afhangen van de soort bron en de plaats van de bron. De depositie ten gevolge van de bijdrage van alle bronnen op een bepaalde locatie wordt berekend door de bijdrage van alle individuele bronnen op te tellen. De fouten in elk van de berekende, individuele bijdragen van het grote aantal bronnen vallen dan deels tegen elkaar weg (ze zijn even vaak te hoog als te laag). Daardoor is de fout in de berekende *totale* concentraties kleiner dan die de concentratie berekend op basis van de emissie van een individuele bron. Validatiestudies (vergelijking met metingen of andere modellen) voor individuele bronnen zijn schaars en beperken zich tot een afstand van maximaal 20 km van de bron.

OPS is twee keer gevalideerd voor individuele lage bronnen en één keer voor een hoge bron (Tabel 2), (van Velze, 2014), (van Velze, 2015).

Tabel 2 Uitgevoerde validatiestudies voor OPS in relatie tot berekening voor een individuele bron

Experiment	Bronhoogte (m)	Bereik (km)	Stof	Uitgevoerd
Prairiegras	0,46	0,05 – 800	Zwavel dioxide (SO ₂)	1956
Kincaid	187	0 – 20	Zwavelhexafluoride (SF ₆)	1981
Falster	6,4	0 – 0,3	Ammoniak (NH ₃)	2006

Voor het in AERIUS aanwezig SRM2 model voor verkeerswegen geldt dat validatie zich om praktische redenen beperkt heeft tot de dispersie op kortere afstanden afstand van een weg (1 km). RIVM geeft daarboven aan dat er nog systeem-kalibraties (tot 4 km) hebben plaatsgevonden op een groot aantal punten. Voor grotere afstanden is geen validatie op basis van meetcampagnes voorhanden. Door het SRM2 model te kalibreren aan SRM3 (NNM⁶) is het SRM2 model toepasbaar gemaakt tot grotere afstanden.

⁶ Nieuw Nationaal Model

Samenvattend: de in AERIUS opgenomen modellen voor het berekenen van de bijdrage van individuele bronnen aan de concentratie zijn gevalideerd over afstanden tot 20 km van de bron. Validatie van de bijdrage aan de depositie zijn niet uitgevoerd.

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

12/21

2.4 Toepassingsbereik rekenmodellen in AERIUS

Voor het berekenen van de lokale bijdrage van stikstofdepositie ten gevolge van een individuele bron wordt gebruik gemaakt van Gaussische pluimmodellen. In de ons omringende landen (Engeland, België, Scandinavië) worden ook voornamelijk Gaussische modellen gebruikt voor 'regulatory' doeleinden. De Amerikaanse modellen (AERMOD, CALPUFF), die wereldwijd veel gebruikt worden, berusten eveneens op de Gaussische pluimvorm. Het toepassingsbereik van een model is gedefinieerd als: de afstand waarvoor de modelbeschrijvingen correct zijn en voldoen en het model dus toepasbaar is. Een Gaussisch pluimmodel gaat uit van constante meteorologische omstandigheden. Het is redelijk er van uit te gaan dat de meteorologische condities inderdaad voor een periode van een uur constant zijn. Daarna is er grote kans dat de omstandigheden zullen veranderen. Een luchtpakket heeft, voor typische Nederlands windsnelheden dan 10 tot 25 km afgelegd. Op basis van *expert-judgement* is dit ook het vastgestelde toepassingsbereik van het Nieuw Nationaal Model (NNM), het wettelijk voorgeschreven Gaussische pluimmodel voor de bepaling van impact van lokale bronnen op de luchtkwaliteit. Voor wegen wordt het SRM2 model toegepast. Het SRM2 is ook gebaseerd op het Gaussische pluimmodel en hiervoor geldt dus, in beginsel, eenzelfde toepassingsbereik van 25 km.

Met de veranderende meteorologische omstandigheden na een uur is in het OPS-model dat in AERIUS is toegepast rekening gehouden. Het Gaussisch pluimmodel, is uitgebreid met een representatieve set van trajectoriën om rekening te houden met de veranderingen in de weersomstandigheden na een bepaalde afstand (zie kader). Deze trajectoriën geven bijvoorbeeld de verandering van de windrichting aan op grotere afstand van de bron en worden gebruikt wanneer de bronbijdrage over grotere afstanden wordt berekend. Deze combinatie van een Gaussisch model en trajectoriën waarin relevante parameters zijn geclusterd, maakt het model ook geschikt voor het berekenen van regionale patronen op afstanden buiten het toepassingsbereik. Het OPS-model is oorspronkelijk bedoeld om land dekkend voor een breed scala aan stoffen de concentraties en deposities van alle bronnen in Europa en op het Nederlands grondgebied te kunnen berekenen. Daarbij werd het gebruikt ten behoeve van grootschalige scenario-studies. Het toepassingsbereik van OPS voor het bepalen van land dekkende (totale) concentraties en deposities is daardoor groter dan dat van standaard Gaussische modellen. Zoals aangegeven, beperkt het toepassingsbereik van Gaussische pluimmodellen (zoals NNM) zich voor individuele bronnen tot de afstand van 25 km. Het toepassingsbereik van OPS voor concentratie- en depositieberekeningen is dus breder dan van het NNM. De belangrijke kanttekening is, dat bij toepassing op grotere afstand de onzekerheid toeneemt en dat de onzekerheid voor individuele bronnen ook groter wordt. Fouten in de berekening van individuele bronbijdragen vallen (deels) tegen elkaar weg wanneer een zeer groot aantal bijdragen tezamen wordt berekend.

Validatie van de berekening van de bijdrage van individuele bronnen voor deze trajectoriën-benadering is alleen mogelijk met grote inspanningen en kosten en heeft vooral daarom niet plaatsgevonden.

Datum
6 juli 2021

Onze referentie
100340309

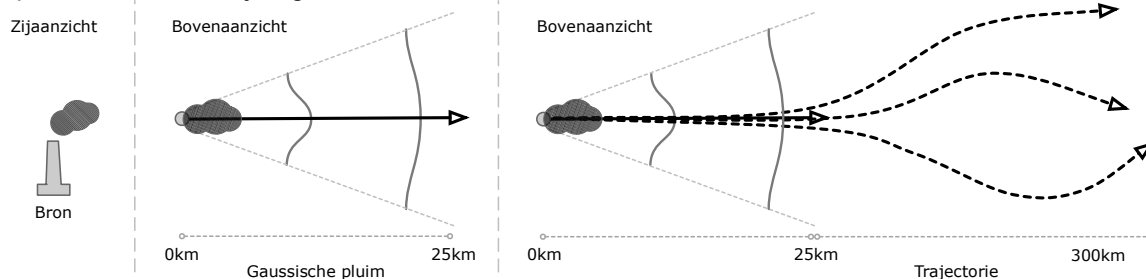
Blad
13/21

Samenvattend: Vergelijking tussen berekeningen en metingen van de concentratie in het LML laten steeds zien dat de aanpak met trajectoriën in OPS, ook op grotere afstanden goed werkt, als het gaat om de bijdrage van alle bronnen in Nederland en daarbuiten. De toepassing in AERIUS voor individuele bronnen maakt gebruik van dezelfde aanpak met geclusterde en gemiddelde parameterwaarden. Dit leidt tot toenemende onzekerheid voor berekeningen van de depositie van individuele bronnen projecten bij afstanden groter dan 20 km.

2.5 Onzekerheid

Gaussische pluimen en trajectoriën?

In een Gaussisch pluimmodel wordt de verspreiding en eventuele chemische reacties van een stof door de atmosfeer wiskundig beschreven als 'pluim' die door de wind in alle richtingen wordt verspreid. Daarbij wordt aangenomen dat de gedurende een uur waarbij de emissie de bron verlaat de richting van de wind gelijk blijft. In het volgende uur zal het weer dan veranderd zijn en de pluim vanuit de bron een andere windrichting op waaien. Mede daarom is het toepassingsbereik van het Gaussisch pluimmodel afgebakend op 25 km. Door dit proces voor alle jaren in een uur te herhalen, kan in alle windrichtingen vanuit de bron een jaarbijdrage berekend worden. Doordat in AERIUS met het OPS-model afgeleide trajectoriën zijn toegevoegd, kan de pluim ook na 25 km de 'pluim' gevolgd worden, doordat rekening wordt gehouden met de verandering van het weer over de looptijd. Het berekende resultaat met trajectoriën is gevalideerd op de cumulatieve bijdrage van alle bronnen in binnen- en buitenland.



In de beleidsmatige en/of juridische discussie gaat het er om met welke mate van zekerheid de berekende depositie daadwerkelijk op een locatie plaatsvindt en ook aan de specifieke bron kan worden toegeschreven⁷. Met andere woorden: welke mate van onzekerheid wordt aanvaardbaar geacht om de berekende stikstofdepositiebijdrage toe te kennen aan een individueel project/bron en op welke wijze is aannemelijk gemaakt dat deze mate van onzekerheid niet wordt overschreden.

⁷; Mondelinge consultatie juridische adviseurs ministeries LNV en IenW 23-06-2021

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

14/21

De technisch-wetenschappelijke zienswijze (criterium is: *state-of-the-art*) en de beleidsmatige implicaties (welke onzekerheid is nog aanvaardbaar?) worden daar tegen elkaar afgewogen, zodat een balans ontstaat tussen volledigheid en precisie.

Onzekerheid wordt in wetenschappelijke kringen aangeduid met diverse indicatoren zoals spreiding (de standaardafwijking), correlatie (samenhang berekende en gemeten waarden), index of agreement, aantal-binnen-een factor-2 en dergelijke. Als er veel samenhang met metingen is (weinig spreiding, hoge correlatie) wordt een model als goed bruikbaar gezien. Er is geen scherpe maat waarbij dan gesteld wordt dat een model te onnauwkeurig is. Wel is er sprake van *state-of-the-art*: de 'performance' van een model dat als 'goed' wordt beschouwd. Internationaal is een factor 2 in berekende concentraties en deposities *state-of-the-art*⁸. Een duidelijk grotere onzekerheid wordt dan gezien als een afwijking van het criterium *state-of-the-art* met als aanbeveling dat naar de redenen hiervan en naar verdere verbetering gezocht dient te worden. De onzekerheden voor berekeningen tot 25 km met het OPS voor concentraties is ruwweg 25 à 35% voor jaargemiddelden en voor een enkele bron. Dit volgt uit de vergelijking met de Kincaid-data (en uit de onderlinge vergelijking van Gaussische dispersie modellen⁹).

De onzekerheid in de met OPS berekende concentraties ten gevolge van veel bronnen is uiteraard beter en wel rond de 20%¹⁰; voor depositieberekeningen is de onzekerheid ten gevolge van alle bronnen ruwweg een factor 2¹¹;

De gegeven onzekerheden zijn afgeleid uit de schaarse vergelijkingen tussen gemeten en berekende concentraties en natte depositiemetingen en niet op droge deposities. De relatie tussen de concentratie en de droge depositie is wel uit de literatuur bekend maar op een specifieke locatie ook onzeker. Daardoor wordt bij de afleiding van depositie uit de concentratie weer extra onzekerheid toegevoegd. De berekende depositie kent dus een grotere onzekerheid dan de concentratie. De validatie tot 20 km weliswaar voor concentraties (éénmaal) uitgevoerd (zie paragraaf 2.3); voor depositie zijn er dus argumenten om voorzichtiger te zijn. Hoe dan ook neemt de onzekerheid in de geschatte concentratie en depositie in het algemeen geleidelijk toe met de afstand. Maar er is geen afstand aan te wijzen van waarbij de onzekerheid opeens snel groter wordt. Dat zou de keuze voor een afbakening hebben kunnen vereenvoudigen.

⁸ Citaat: "It is typically accepted that accompanied by good input data, dispersion modelling may be used to predict concentrations within a factor of two." In: Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling, juni, 2004, Nieuw Zeeland, ISBN: 0-478-18941-9 ME number: 522.

Tweede citaat: "Based on expert judgement the group agreed that uncertainties in deposition estimates of regulatory models lay in the range of ± 50 -100 per cent"(In: Nitrogen Deposition and Natura 2000, Science and Practice in Determining Environmental Impacts (COST, W.K. Hicks, C.P. Whitfield, W.J. Bealey and M.A. Sutton).

Zie ook A, Bleeker, "Quantification of nitrogen deposition and its uncertainty with respect to critical load exceedances", 2018, PhD, chapter 8, pp 172.

⁹ Modelling the long-term atmospheric behaviour of pollutants on various spatial scales, J.A. van Jaarsveld, PhD 1995, p 149

¹⁰ Zie OPS-rapport, 2004, p 100, tabel 8.3

¹¹ Zie OPS-rapport (2004), tabel 8.5 voor een ecosysteem van 5x5 km; voor hexagonen (1 ha) zal de onzekerheid groter zijn.

Het is echter aannemelijk dat de onzekerheid in de berekende bijdrage aan de N-depositie van individuele bronnen meer dan een factor 2 is *buiten de 20 km*. Dat is als volgt te beargumenteren:

Bij een trajectoriën model wordt een sequentie van uurstappen doorgerekend. De onzekerheid na het ene uur wordt meegenomen naar het volgende uur; in elke volgende rekenstap wordt onzekerheid (in pluimhoogte, transportsnelheid, verliestermen zoals depositie) toegevoegd, met andere woorden de onzekerheid neemt toe met de afstand door de gehanteerde model-aanpak. Hoe groot de overall onzekerheid is, is moeilijk te kwantificeren; er weinig over te vinden in de literatuur; een IAEA-studie¹² geeft een toename van de onzekerheid met een factor 2 in berekende concentraties (nog geen deposities) van 10 km (een factor 2 onzekerheid) naar 100 km (een factor 4 onzekerheid). In AERIUS worden niet de trajectoriën zelf, maar afgeleide parameters bij de berekeningen gehanteerd. De onzekerheid in de berekende concentratie neemt tenslotte eveneens toe door de onzekerheid in de depositiesnelheid vanwege de berekende verliesterm die een exponentiele afname kent. De onzekerheid in de depositiesnelheid is één van de belangrijkste onzekerheidsbronnen. De onzekerheid neemt dus zeker toe met de afstand tot de bron maar het is niet bekend hoe groot de afname van die nauwkeurigheid is.

Van de berekende deposities ten gevolge van *alle bronnen* kan de onzekerheid worden geschat uit concentratiemetingen van het LML (door vermenigvuldiging met een depositiesnelheid); deze blijft dan ruwweg binnen een factor 2¹³.

Samenvattend: De onzekerheid in depositieberekeningen is groter dan in concentratieberekeningen. Voor individuele bronnen is de state-of-art in de wetenschap een onzekerheid van ruwweg een factor 2. Met OPS voor berekeningen van de totale depositie ten gevolge van alle bronnen wordt deze kwaliteit zeker gehaald. Voor de bijdrage van individuele bronnen is dit is aantoonbaar binnen het toepassingsbereik van Gaussische modellen; daarbuiten neemt de onzekerheid toe met toenemende afstand en is gezien bovenstaande overwegingen groter dan een factor 2.

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

15/21

¹² IAEA-TECDOC-379.

¹³ Zoals in het OPS-rapport, 2004 (tabel 8.5) is aangegeven.

3 De praktijk in de ons omringende landen

In het buitenland worden modellen ook gebruikt in formele procedures zoals vergunningverlening. Voor de context geven we hier een beknopt beeld van de praktijk in die landen.

Modellen worden in eerste instantie gebruikt voor de berekening van concentraties van verontreinigende stoffen in lucht. Daar de depositie in eerste orde evenredig is met de concentratie in de lucht zijn de berekende concentraties ook geschikt om daarmee de depositie te benaderen.

Een toepassingsbereik voor de concentratie in lucht geeft zo ook inzicht in een toepassingsbereik voor depositie. In de ons omringende landen worden verspreidingsmodellen voor individuele bronnen niet verder toegepast dan 50 km, vaak minder. De noodzaak om een strikte afbakening in afstand te maken is nauwelijks aanwezig, aangezien de meeste interesse bij de modellen uitgaat naar die afstanden waarop nog een invloed van een bron merkbaar is¹⁴.

Dit is zeker niet het geval op een afstand van meer dan enige tientallen km van de bron (zie hiervoor ook Figuur 1). Voor het toonaangevende AERMOD-model uit de VS wordt gesteld dat het toegepast mag worden op de kleinste waarde van de afstand waarop de bron nog een betekenisvolle bijdrage (*significant contribution*) levert of op een afstand van 50 km. De stikstof problematiek speelt in de VS echter in mindere mate en het model speelt daarbij zover bekend op dit moment geen belangrijke rol.

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

16/21

Tabel 3 Overzicht van toepassingsbereik in enkele landen, afgeleid uit RIVM-rapport (Roest et al., 2021)

Land	Toepassing bij toestemming verlening	Model	Afbakening toepassingsbereik (km)
Vlaanderen (België)	Ja	IFDM	20 ¹⁵
Denemarken	Ja	OML	20
Verenigd Koninkrijk	Ja	ADMS/AERMOD	15
Verenigde Staten	Nee	AERMOD	50
Duitsland	Ja (zie ook tekst)	AUSTAL	100 x de bron hoogte ¹⁶
Nieuw-Zeeland	Ja	AERMOD	10

De genoemde modellen zijn alle Gaussische pluimmodellen, vergelijkbaar op deze afstanden met OPS en SRM2 in Nederland. Het daarvoor geldende toepassingsbereik in het buitenland geeft een aanwijzing dat ook in Nederland een beperking van de afstand te overwegen is. Het toepassingsbereik van de verschillende modellen ligt tussen 10 en 20 km. In een aantal landen wordt naast het toepassingsbereik als afstand, voor toestemmingverlening ook een depositiegrenswaarde gebruikt. Deze liggen doorgaans hoger dan de in Nederland gehanteerde rekenkundige ondergrens van 0,005 mol/ha/jaar. Zo wordt

¹⁴ In Amerikaanse teksten wordt gesproken van *significant*: aanzienlijk, betekenisvol

¹⁵ Wordt op dit moment aangepast

¹⁶ In de documentatie van AUSTAL wordt als voorbeeld gegeven 25 km d.w.z. voor een schoorsteen van 250 m

in Duitsland een afbakening van 21 mol/ha/jaar voor Natura 2000 gebieden genoemd (Roest et al.,2021). De tabel geeft enkele eigenschappen van het Duitse AUSTAL.

Onderzoek naar een afbakening aan de hand van een depositiegrenswaard kan onderdeel zijn van het vervolgonderzoek in fase 2.

Samenvattend: In het ons omringende buitenland geldt voor het toepassingsbereik van de gebruikte modellen meestal een afstand kleiner dan 20 km.

Nergens wordt, voor zover duidelijk, ten behoeve van vergunningverlening de afzonderlijke bijdrage van een individuele bron met een rekenmodel bepaald op afstanden groter dan 20 km.

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

17/21

4 Synthese

Deze notitie doet verslag van de resultaten van fase 1 van dit onderzoek. Argumenten met betrekking tot het toepassingsbereik van Gaussische verspreidingsmodellen, onzekerheid in en de validatie van deze modellen zijn besproken. De drie belangrijkste aspecten (toepassingsbereik, onzekerheid in en de validatie van deze modellen) in samenhang overziend:

- Het toepassingsbereik van Gaussische modellen overeenkomstig het NNM voor het berekenen van de bijdrage van individuele bronnen aan concentratie en depositie is beperkt tot 25 km. Het OPS-model is voor individuele bronnen gevalideerd met grotendeels dezelfde experimentele datasets als het NNM waarbij de grootste afstand tot de bron ongeveer 20 km is.
- Het toepassingsbereik van OPS met trajectoriën voor concentratie- en depositieberekeningen voor afstanden groter dan 25 km is gevalideerd voor de cumulatief berekende bijdrage van alle bronnen samen. Voor individuele bronbijdragen is een validatie niet uitgevoerd.
- Het is niet bekend met welke zekerheid de bijdragen van individuele bronnen op grotere afstanden dan 25 km door het OPS kunnen worden berekend. Op grond van statistische en modelmatige overwegingen is het zeer waarschijnlijk dat de onzekerheid groter is dan een factor 2. Dit geldt op dit moment als de wetenschappelijke state-of-the-art.

Op basis van deze argumenten tezamen kan de overweging zijn om ook voor het OPS-model in AERIUS bij het berekenen van de depositiebijdrage van individuele bronnen een maximale rekenafstand van 25 km te hanteren. Dit is ook in lijn met de praktijk in de ons omringende landen. De bijdragen van individuele projecten buiten, de eventueel vast te stellen, maximale rekenafstand worden meegenomen in berekening van de jaarlijkse totale depositie.

Overigens geldt dat, met name, voor grote projecten¹⁷ op een afstand van meer dan 25 km een depositiebijdrage wordt berekend hoger dan de thans gehanteerde rekenkundige ondergrens. De depositiebijdrage binnen de afstandsgrens zou dan, zo nodig, door de initiatiefnemer gemitigeerd moeten worden. De effecten van deze mitigatie zullen ook voorbij de afstandsgrens doorwerken. Resterende depositiebijdragen voorbij de afstandsgrens dragen bij aan de totale depositie waarvoor de overheid verantwoordelijk is.

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

18/21

¹⁷ Bijvoorbeeld nieuwbouw van een energiecentrale of grootschalige industriële installatie

5 Vervolg in Fase 2

Aan de hand van een data-analyse wordt in fase 2 verder in beeld gebracht welke onderdelen in de modellen bijdragen aan de toename van de onzekerheden op grotere afstanden. In deze fase wordt onderzocht op welke wijze de zekerheid waarmee uitspraken worden gedaan kan worden vergroot door de projectafbakening in afstand of bijdrage te laten aansluiten bij verschillen in omvang en brontype. Fase 2 van het onderzoek kan leiden tot het overwegen van een inperking van de maximale rekenafstand van 25 km afhankelijk van het type bron (emissiehoogte of de emissiesterkte) of een ondergrens in berekende depositiebijdrage waaronder het - gelet op de onzekerheid van de berekende depositiebijdrage - niet verantwoord is om uitspraken te doen over de depositiebijdrage van een project.

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

19/21

6 Literatuur

- Berkhout, A. J., Swart, D. P., Volten, H., Gast, L. F., Haaima, M., Verboom, H., ... & Hoogerbrugge, R. (2017). Replacing the AMOR with the miniDOAS in the ammonia monitoring network in the Netherlands. *Atmospheric Measurement Techniques*, 10(11), 4099-4120
- Roest, G. et al. (2021) Verkenning afstandsgrens project-specifieke depositieberekeningen, DOI 10.21945/RIVM-2021- 0115
- Teledyne (2016). Reference and Equivalent Methods Used to Measure National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) Criteria Air Pollutants - Volume I
- van Velze, K., Sauter, F. (2014). Comparing results of the OPS model with measurements around two pig farms in Falster and North Carolina. Intern rapport RIVM, 2014-12
- van Velze, K., Sauter, F. (2015). The Kincaid case: comparing results of the OPS model with measurements around a high source. Intern rapport RIVM, 2015-05-27

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

20/21

7 Ondertekening

Datum

6 juli 2021

Onze referentie

100340309

Blad

21/21

Researchmanager
Climate, Air & Sustainability