



Niet uit de **lucht** gegrepen

Eerste rapport van het
Adviescollege Meten
en Berekenen Stikstof

5 maart 2020

Inhoud

Samenvatting

4

1 Aanleiding en opdracht

1.1	Aanleiding	7
1.2	Formulering opdracht	8
1.3	Leeswijzer	8

2 Interpretatie opdracht en doelbeschrijving

2.1	Interpretatie opdracht	11
2.2	Doelbeschrijving	11
2.3	Beschrijving aanpak	12

3 Bevindingen en verbetervoorstellen

3.1	Algemene bevindingen	15
3.2	Beleidsonderbouwing	16
3.3	Emissieregistratie (ER)	16
3.4	Metingen	17
3.4.1	Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML)	17
3.5	Het Operationele Prioritaire Stoffenmodel (OPS)	19
3.6	AERIUS	20
3.7	Onzekerheden	21
3.8	Onzekerheid in sectorbijdragen	21
3.9	Bezuinigingen	22
3.10	Wetenschappelijke publicaties	22
3.11	Buitenland	22

4 Conclusies

4.1	Wetenschappelijke onderbouwing van het stikstofbeleid van rijksoverheid en provincies	25
4.2	Bepaling van de stikstofdepositie op Natura-2000 gebieden	26
4.3	Meet- en modelinstrumentarium in Denemarken, Duitsland en Vlaanderen	27
4.4	Vervolgstappen	27

Annex 1	Afkortingen	29
----------------	-------------	----

Annex 2	Beschrijving meet- en rekenmethodiek	30
2.1	Metingen van de stikstofconcentratie en -depositie	31
2.2	Emissies	33
2.3	Modelleersysteem (OPS)	35
2.4	Opvolging review Sutton et al.	37

Annex 3	Governance	40
3.1	Afspraken en verantwoordelijkheid	40
3.2	Organisatiestructuur en betrokken actoren	40
3.3	Werkwijze doorontwikkeling AERIUS	42
3.4	AERIUS Expertgroepen	42
3.5	Rapportage en bekendmaking	44

Annex 4	Stikstof meet- en modelinstrumentarium in het buitenland	45
4.1	Denemarken	45
4.2	Duitsland	47
4.3	Vlaanderen	49

Annex 5	Mogelijke bijdrage satellietmetingen	52
5.1	De verschillende satellietmetingen	52
5.2	De bijdrage van satellieten	52
5.3	De beperking van satellieten	54
5.4	Het nuttig gebruik van satellietmetingen	54

Annex 6	Ensemble van modellen en modelvergelijkingen	55
----------------	--	----

Annex 7	Literatuurlijst	57
----------------	-----------------	----

Samenvatting

Het Adviescollege Meten en Berekenen

Stikstof is in december 2019 begonnen aan de eerste fase van zijn opdracht om advies te geven over de wetenschappelijke kwaliteit van de Nederlandse systematiek voor het meten van en rekenen aan stikstofverbindingen ter onderbouwing van het (toekomstig) beleid van de Rijksoverheid en provincies.

Het uitgangspunt was de vraag: zijn de data, methoden en modellen die worden ingezet van voldoende wetenschappelijke kwaliteit en daarmee doelgeschikt?

Het instrumentarium dat bij het meten en berekenen van stikstof wordt ingezet omvat een aantal onderdelen:

- het **schatten** en meten van de uitstoot van stikstofverbindingen in Nederland volgens de emissieregistratie;
- het **meten** van de concentratie van die verbindingen en de depositie daarvan op de natuur in Nederland;
- het met behulp van het OPS-model berekenen van de stikstofconcentratie en -depositie op gevoelige natuurgebieden in Nederland, waarbij ook bronnen buiten Nederland worden meegenomen;
- het met behulp van modellen schatten van de **bijdrage van sectoren aan de stikstofdepositie op Nederland en op de (stikstofgevoelige) natuur**;
- het met behulp van modellen bepalen van het **effect van maatregelen op de stikstofconcentratie en -depositie**;
- het valideren en verifiëren van de gebruikte modellen en het **bepalen van onzekerheden in de modeluitkomsten**.

Het Nederlandse meet- en modelinstrumentarium zoals dat ingezet wordt voor de beleidsadvisering, vergunningverlening en internationale rapportageverplichtingen bestaat uit drie onderdelen:

1. de landelijke meetnetten voor stikstofconcentratie en -depositie;
2. de emissieregistratie;
3. het modelinstrumentarium OPS/AERIUS.

Naast doelgeschiktheid van deze onderdelen is ook gekeken naar de **governance van, en communicatie over deze onderdelen**.

Het adviescollege heeft de modellen niet zelf toegepast, geen berekeningen uitgevoerd, noch de programmatuur geanalyseerd, maar aan de hand van documentatie en interactie met specialisten de kwaliteit van de modellen beoordeeld en deze vergeleken met andere methoden. Het adviescollege heeft ook niet naar de bepaling van de gevoeligheid van de natuur (uitgedrukt in de kritische depositiewaarden) gekeken. Dit is in lijn met de opdrachtformulering en de wetenschappelijke standaard bij modelbeoordelingen. **Er was verder onvoldoende tijd om alle gebruikte onderdelen grondig te toetsen.** In de tweede fase van zijn werkzaamheden zal het adviescollege zich specifiek verdiepen in het schatten van de uitstoot van ammoniak met het NEMA-model en het AERIUS-instrumentarium dat gebruikt wordt voor de vergunningverlening.

Op basis van de beoordeling heeft het adviescollege het volgende geconcludeerd:

Het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof komt tot de eindconclusie dat de wetenschappelijke kwaliteit van het werk van de betrokken onderzoekers voldoende is. **De data, methoden en modellen die worden ingezet zijn, ook in internationaal perspectief, van voldoende tot goede kwaliteit en daarmee geschikt voor het meten en berekenen van de concentratie en depositie van stikstofverbindingen.**

De werkwijze en modellen zijn doelgeschikt, maar er zijn wel verbeteringen nodig om de onzekerheden verder te verkleinen. De kwaliteit van het AERIUS-systeem wordt nader onderzocht. De Emissie-registratie (ER) biedt een goed overzicht van de maatschappelijke activiteiten die emissies veroorzaken. De emissies worden op landelijke en regionale schaal met voldoende kwaliteit bepaald. De gevolgde methode voldoet aan internationale eisen en wordt ook internationaal getoetst. Echter, recente analyses van metsamenstelling en ammoniakemissies uit het veld laten zien dat er verbeteringen mogelijk zijn. Hoewel op lokale schaal het detailniveau hoog is, brengt deze detaillering ook extra onzekerheid met zich mee. Het college beveelt aan om voor de verificatie van emissies en emissiefactoren meer metingen in te zetten.

Het meetnet heeft een goede ruimtelijke representatie, vooral voor ammoniak in natuurgebieden. Voor een reductie van modelonzekerheid zal het meetnet uitgebreid moeten worden met meer stations in landbouwgebieden, met metingen van meerdere stikstofverbindingen en metingen van de droge depositie in verschillende natuurgebieden. Verder raadt het adviescollege aan om ook satellietgegevens te gaan gebruiken als ondersteuning van de grondwaarnemingen.

Het Operationele Prioritaire Stoffenmodel (OPS) van het RIVM wordt gebruikt voor het berekenen van concentraties en deposities van stikstofverbindingen in Nederland. Het OPS-model is geschikt om de stikstofverspreiding op lokale schaal te modelleren. Op regionale en nationale schaal neemt de invloed van andere processen (chemische omzetting, lange-afstandstransport, meteorologie) toe en daarmee ook de onzekerheid.

Het verschil tussen metingen en modeluitkomsten wordt op dit moment gebruikt om voor deze onzekerheid in OPS te corrigeren. Daarbij blijft onduidelijk wat de onderliggende oorzaken zijn van de waargenomen verschillen.

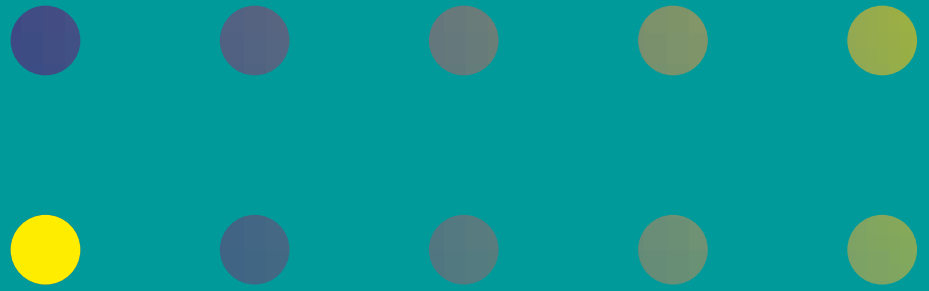
Het adviescollege beoordeelt ook dat de relatieve verdeling van de landelijke Nederlandse sectorbijdragen aan de depositie voldoende onderbouwd is, maar de grootte van de buitenlandse bijdragen vraagt nadere studie.

Het adviescollege constateert daarom dat het model-instrumentarium een nieuwe impuls nodig heeft. Het adviescollege adviseert om met een ensemble van modellen te gaan werken en nader onderzoek te doen naar de oorzaken van systematische verschillen tussen modelresultaten en metingen en daar ook satellietwaarnemingen bij te betrekken.

Denemarken, Duitsland en Vlaanderen gebruiken vergelijkbare methoden als Nederland om de stikstofconcentratie en -depositie te berekenen, maar er zijn wel verschillen in de toepassing. Zo wordt er in het buitenland op veel minder locaties de ammoniakconcentratie in natuurgebieden gemeten dan in Nederland. Maar in sommige landen is de dekking voor de andere stikstofverbindingen daarentegen beter dan in Nederland. Daarnaast is het beleid in niet alle landen gelijk en worden bijvoorbeeld andere grenswaarden gehanteerd voor vergunningverlening.

Ten slotte adviseert het adviescollege dat de transparantie, het (wetenschappelijk) draagvlak en de governancestructuur rond het instrumentarium verbeterd moeten worden. Er moet namelijk een governancestructuur worden gebruikt voor de Emissieregistratie, voor AERIUS en voor de modellering/metingen waarbij opdrachtgeverschap en uitvoering losgekoppeld zijn.

1



Aanleiding en opdracht

1.1 Aanleiding

Het Nederlandse natuurbeleid wordt voornamelijk beïnvloed door twee wetgevende kaders: de Europese Habitatrichtlijn uit 1992 en de Vogelrichtlijn, die voor het laatst werd vernieuwd in 2009. De Vogelrichtlijn die al sinds 1979 bestaat, focust op de bescherming van alle vogelsoorten en hun habitats. De Habitatrichtlijn heeft tot doel om een grote hoeveelheid soorten wilde dieren en planten te beschermen, evenals 231 habitattypes.

De Europese lidstaten hebben op basis van deze richtlijnen gebieden aangemerkt als speciale beschermde natuurgebieden. Deze gebieden zijn onderdeel van het Europese Natura 2000-netwerk. De EU-lidstaten hebben tot taak om deze gebieden te beschermen en een goede instandhouding van de natuur te bewerkstelligen. De landen vullen dit in op basis van eigen nationale wetgeving. Het pakket aan maatregelen kan bestaan uit conserveringsmaatregelen, herstelmaatregelen en specifieke wetgeving om (verdere) schade te voorkomen.

Een van de oorzaken van schade aan de natuur is de overmatige depositie van reactieve stikstofverbindingen (stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3)).¹

Dit zijn vormen van stikstofmoleculen die bestaan uit stikstofdeeltjes en deeltjes van andere stoffen, in dit geval zuurstof en waterstof. Om overmatige depositie daarvan te verminderen en daarnaast ruimte te maken voor economische activiteiten startte Nederland op 1 juli 2015 met de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). De PAS werd ondersteund met het AERIUS-model dat door de RIVM wordt beheerd.

Op 29 mei 2019 heeft de afdeling bestuursrecht-spraak van de Raad van State geoordeeld dat de vergunningverlening van stikstof uitstotende activiteiten

op basis van de PAS in strijd is met de Habitatrichtlijn. De reden hiervoor is dat deze vergunningverlening gebeurde vooruitlopend op toekomstige positieve gevolgen van maatregelen voor de Natura 2000-gebieden. Deze maatregelen gaven geen garantie voor herstel en een goede instandhouding van de natuur.

De Raad van State kwam tot dit oordeel na interpretatie van het arrest van het Europese Hof van Justitie. Vanaf dat moment werd voor de vergunningverlening een nul-toename van stikstof aangehouden. Er werden geen nieuwe vergunningen meer verleend voor projecten waarbij extra stikstof vrijkomt. De sectoren die hier het meeste de nadelige effecten van ondervinden zijn de bouw- en agrosector. Maar ook in de sectoren logistiek, verkeer en vervoer, industrie en luchtvaart vinden activiteiten plaats waarbij stikstof vrijkomt en die door de uitspraak van de RvS worden geraakt.

Met het stopzetten van de PAS en het tot stilstand komen van de vergunningverlening is er grote maatschappelijke onrust ontstaan over de balans tussen economie en ecologie. De discussie in de samenleving heeft uiteindelijk ook geleid tot grote protesten van onder andere de agro- en bouwsector. Hierbij bleek dat er twijfel is ontstaan rond meet- en rekenmethode die wordt toegepast om overschrijdingen van de kritische depositiewaarden voor stikstof in Nederland te bepalen.² Op verzoek van de Tweede Kamer heeft minister Schouten van LNV besloten om een commissie in te stellen om nog eens goed te laten kijken naar de wetenschappelijke onderbouwing van de gebruikte methodes voor het bepalen van de depositie die ten grondslag liggen aan de PAS. Minister Schouten van LNV zegde op 1 november 2019 aan de Tweede Kamer toe om een adviescollege in te stellen dat hiernaar gaat kijken.³

1. In het vervolg wordt "stikstof" gebruikt om gereduceerde (NH_x) en geoxideerde (NO_x) stikstofverbindingen aan te geven.
2. De kritische depositiewaarde (KDW) is de grens waarboven het risico bestaat dat de kwaliteit van het habitat significant wordt aangetast door de verzurende en/of vermestende invloed van atmosferische stikstofdepositie.
3. Kamerbrief Stand van zaken stikstofproblematiek (1 november 2019) en Kamerbrief Instelling en samenstelling van het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof (2 december 2019).

1.2 Formulering opdracht

Het ingestelde Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof bestaat uit experts op het gebied van metingen en modellering. Voor de samenstelling van een dergelijk adviescollege zijn personen nodig met zeer specifieke kennis, aanwezig bij verschillende kennisinstellingen. Het gaat om kennis op het gebied van meetnetten, emissies, atmosferische processen, satellietmetingen, statistiek en stikstofmodellen. Op 24 december 2019 is de 'Instellingsregeling Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof' gepubliceerd in de Staatscourant en deze is per 25 december 2019 in werking getreden. Deze regeling beschrijft in artikel 2 sub 2 dat het adviescollege tot taak heeft de minister te adviseren over:

- a. de bestaande meet- en rekenmethodiek voor de relatie tussen de stikstofuitstoot en de stikstofdepositie en of die voldoende wetenschappelijke onderbouwing biedt voor het stikstofbeleid van rijksoverheid en provincies;
- b. de meet- en rekenmethodiek in andere landen voor de relatie tussen de stikstofuitstoot en de stikstofdepositie in die landen (waaronder in ieder geval de Deense, Duitse en Vlaamse methodiek), en de mogelijkheid elementen daarvan over te nemen in Nederland;
- c. de mate waarin de onder a. genoemde meet- en rekenmethodiek kan bijdragen aan het vaststellen van de lokale stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden en gebruikt kan worden voor het stikstofbeleid;
- d. de vraag of en hoe de bestaande meetnetten voor de stikstofconcentraties in de lucht en voor de droge en natte stikstofdepositie uitgebreid en verbeterd moeten worden;
- e. de opvolging van de aanbevelingen uit voorgaande reviews van de rekenmodellen voor de relatie tussen de stikstofuitstoot en stikstofdepositie zoals gebruikt in Nederland.

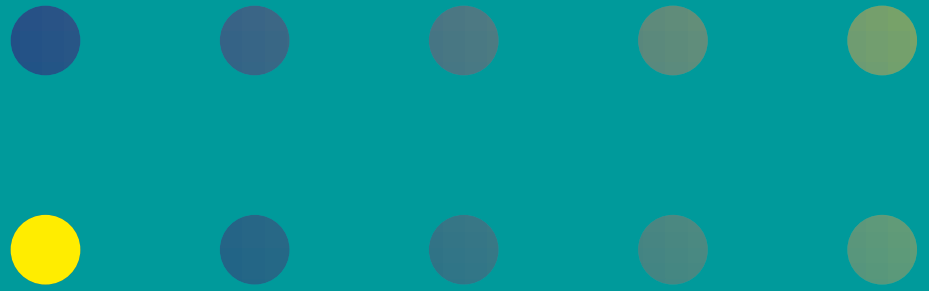
Het Adviescollege voert zijn werk in twee fasen uit:

- a. In de eerste fase geeft het een wetenschappelijk advies over de huidige meet- en rekenmethode inclusief een vergelijking met het buitenland. Deze fase is afgerond in februari 2020 en in dit rapport wordt daar verslag van gedaan. In deze fase is AERIUS, waarmee de lokale stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden wordt berekend in het kader van vergunningsbeleid, nog niet beoordeeld.
- b. In de tweede fase wordt AERIUS beoordeeld en werkt het adviescollege eventuele verbetermogelijkheden uit, gebaseerd op de inventarisatie in fase 1. Deze fase wordt medio juni 2020 afgerond.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 van dit rapport bevat een omschrijving van de opdracht aan het adviescollege en de wijze waarop het adviescollege deze heeft geïnterpreteerd en uitgevoerd. Een belangrijk oriëntatiepunt voor het adviescollege is daarbij de doelgeschiktheid (fit for purpose) van het instrumentarium. De bevindingen van het adviescollege zijn weergegeven in hoofdstuk 3. Deze bevindingen zijn gerubriceerd volgens de verschillende schakels van de stikstofmeet- en rekenmethodiek: emissie, transport, conversie, concentratie en depositie. Eveneens is de governance van de gehele meet- en rekenmethodiek beschreven alsook de mogelijkheden die het gebruik van satellietdata bieden en de wijze waarop (delen van) buurlanden (Denemarken, Duitsland en Vlaanderen) hun meet- en rekenmethodiek vormgeven. In een Annex is de meer gedetailleerde informatie te vinden die hebben geleid tot de bevindingen beschreven in hoofdstuk 3. Het Adviescollege komt op grond van zijn bevindingen tot zo specifiek mogelijk geformuleerde conclusies in hoofdstuk 4. Deze conclusies bepalen de richting voor de werkzaamheden van het adviescollege in de tweede fase van zijn werkzaamheden.

2



Interpretatie opdracht en doelbeschrijving

2.1 Interpretatie opdracht

Op basis van de opdrachtformulering (zie par. 1.2) heeft het adviescollege een wetenschappelijke beoordeling gegeven van het meet- en modelinstrumentarium van de stikstofconcentratie en -depositie, van de schatting van de emissies die hiervoor als invoer gebruikt worden, en van het meetnet in Nederland. Er is gekeken naar de doeltreffendheid hiervan. Allereerst worden daarom de beleidsdoelen (*purpose*) beschreven waaraan het instrumentarium moet worden getoetst (par. 2.2). Vervolgens bracht het adviescollege het modelsysteem goed in beeld (par. 2.3). Op grond van deze analyse vormde het adviescollege zich een oordeel over dit modelsysteem, over de wijze waarop stikstofverbindingen in Nederland worden gemeten en over de governance. Ook is gekeken naar het meet- en modelinstrumentarium in Denemarken, Duitsland en Vlaanderen. Verder is de mogelijke bijdrage van stikstofbeelden en -metingen op basis van satellietdata onderzocht. Daarbij bekeek het adviescollege ook naar de mogelijke combinatie van verschillende databronnen en modellen.

2.2 Doelbeschrijving

De beleidsdoelen die verband houden met het Nederlandse systeem komen voort uit de eerder beschreven Vogel- en Habitatrichtlijn en de verplichting om een goede instandhouding te realiseren van de Natura 2000-gebieden. Deze verplichting bepaalt impliciet dat een overschrijding van de KDW moet worden voorkomen. De reden hiervoor is dat de verzurende en vermestende werking van stikstof op de bodem in natuurgebieden bijdraagt aan een ongunstige staat van instandhouding. Om een gunstige staat van instandhouding te bereiken moet in beeld worden gebracht wat de mate van stikstofdepositie in de Nederlandse natuurgebieden is en wat hiervan de bronnen zijn.

Een meet- en modelinstrumentarium voor stikstof-emissie en -depositie heeft een drietal doelen:

1. het bepalen van emissies, concentraties, transport en depositie van reactieve stikstofverbindingen op verschillende ruimtelijke schalen en het identificeren van trends daarin in de tijd;
2. het identificeren van de bronbijdrage aan de concentratie en depositie van stikstof en het schatten van de effecten van (toekomstige) veranderingen in emissies;
3. het vergroten van ons begrip van chemische en fysische processen die leiden tot negatieve effecten van stikstofverbindingen op eco-systemen ter bevordering van de ontwikkeling van kosteneffectieve strategieën om de effecten te verminderen.

Het Nederlandse meet- en modelinstrumentarium zoals dat ingezet wordt voor de beleidsadvisering, vergunningverlening en internationale rapportageverplichtingen bestaat uit drie onderdelen:

- het landelijk meetnet luchtkwaliteit (LML);
- de emissieregistratie;
- het modelinstrumentarium OPS/AERIUS.

Met OPS worden op basis van emissies de concentraties en deposities van stikstofverbindingen berekend. Het vormt daarmee het belangrijkste model binnen AERIUS. Een uitgebreide beschrijving van het OPS-model is te vinden in de Annex 2.3.

Dit instrumentarium heeft tot doel om voor het Nederlandse stikstofbeleid:

1. op habitatniveau te bepalen wat de lokale stikstofdepositie is en deze te vergelijken met de KDW;
2. te bepalen wat de lokale effecten zijn van (nieuwe) stikstof emitterende projecten;
3. in beeld te brengen wat de totale achtergronddepositie is in Nederland;
4. in kaart te brengen wat de trend is van de stikstofdepositie en de beschikbare depositieruimte;
5. de bijdrage van verschillende broncategorieën aan de depositie op natuurgebieden te bepalen;

6. de effecten van maatregelen en scenario's door te rekenen;
7. wetenschappelijk onderzoek te doen naar de relatie tussen emissies, verspreiding en depositie.

Op basis van deze gegevens kan ook worden bepaald of Nederland voldoet aan het Europese beleid en daarmee de verplichte NEC-plafonds (National Emission Ceiling Directive), de EU-Nitraatrichtlijn en de EU-Kaderrichtlijn Water die binnen de EU zijn vastgesteld om de uitstoot van verzurende en luchtverontreinigende stoffen (waaronder stikstof) te beperken. Deze richtlijnen zijn belangrijke meetlatten voor de luchtverontreinigingsdoelstellingen, maar niet een specifiek onderdeel van de huidige Nederlandse discussie over stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden.

2.3 Beschrijving aanpak

Het adviescollege is zich terdege bewust van de maatschappelijke impact van de uitkomsten van de modellen en de metingen. Een goede wetenschappelijke beoordeling is daarom essentieel om de doelgeschiktheid te toetsen. Daarom heeft het adviescollege ook uitgebreid onderzoek gedaan naar welke modellen en metingen gebruikt worden, hoe de onzekerheden bepaald worden en wat er met eerdere reviews is gedaan.

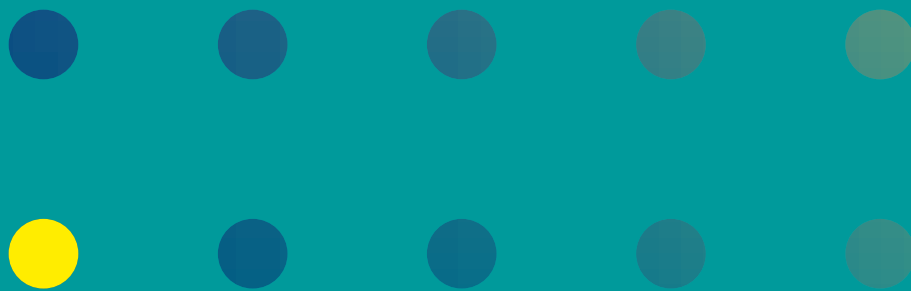
De werkwijze die het adviescollege heeft gehanteerd om in het korte tijdsbestek tussen de instelling en de eerste rapportage genoeg informatie te verkrijgen is het opstellen van gedetailleerde vragenlijsten voor de relevante organisaties. De schriftelijke antwoorden op de gestelde vragen zijn vervolgens besproken met de betreffende organisatie. Deze vragenlijsten zijn samengesteld op basis van een eerste analyse van het Nederlandse meet- en modelinstrumentarium door de collegeleden.

Er zijn voor de eerste rapportage in totaal vier vragenlijsten opgesteld. Dit waren drie lijsten voor het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en een voor de Emissieregistratie (ER). Na beantwoording van de eerste lijst met vragen door het RIVM is het Adviescollege in gesprek gegaan met een aantal experts van het RIVM en heeft het op basis van de verkregen antwoorden en het gesprek nog tweemaal een lijst met specifiekere vragen voorgelegd.

Verder zijn er ook buiten deze lijsten om door leden van het adviescollege nadere vragen gesteld aan de experts van het RIVM om verheldering te krijgen op een aantal punten. Ook met de ER heeft er, na de schriftelijke beantwoording van de vragen, een gesprek plaatsgevonden. Alle verkregen informatie, inclusief die uit wetenschappelijke studies en overheidsdocumenten, is uiteindelijk gebruikt om een zodanig goed beeld te vormen van de meet- en modelleringsmethodiek dat deze beoordeeld kon worden. Naast doelgeschiktheid van de methodiek is ook gekeken naar de governance ervan en communicatie erover.

Ook is er een vragenlijst opgesteld die gebruikt is om op basis van overheidsdocumenten, wetenschappelijke studies, gesprekken en aanwezige kennis in het adviescollege een beeld te vormen van de meet- en rekenmethodiek in Denemarken, Duitsland en Vlaanderen. Tot slot boog het adviescollege zich over de mogelijkheden van satellietmetingen en gecombineerde databronnen. Deze onderdelen zijn gebaseerd op de aanwezige expertise in het adviescollege en het onderzoek dat zij verrichten.

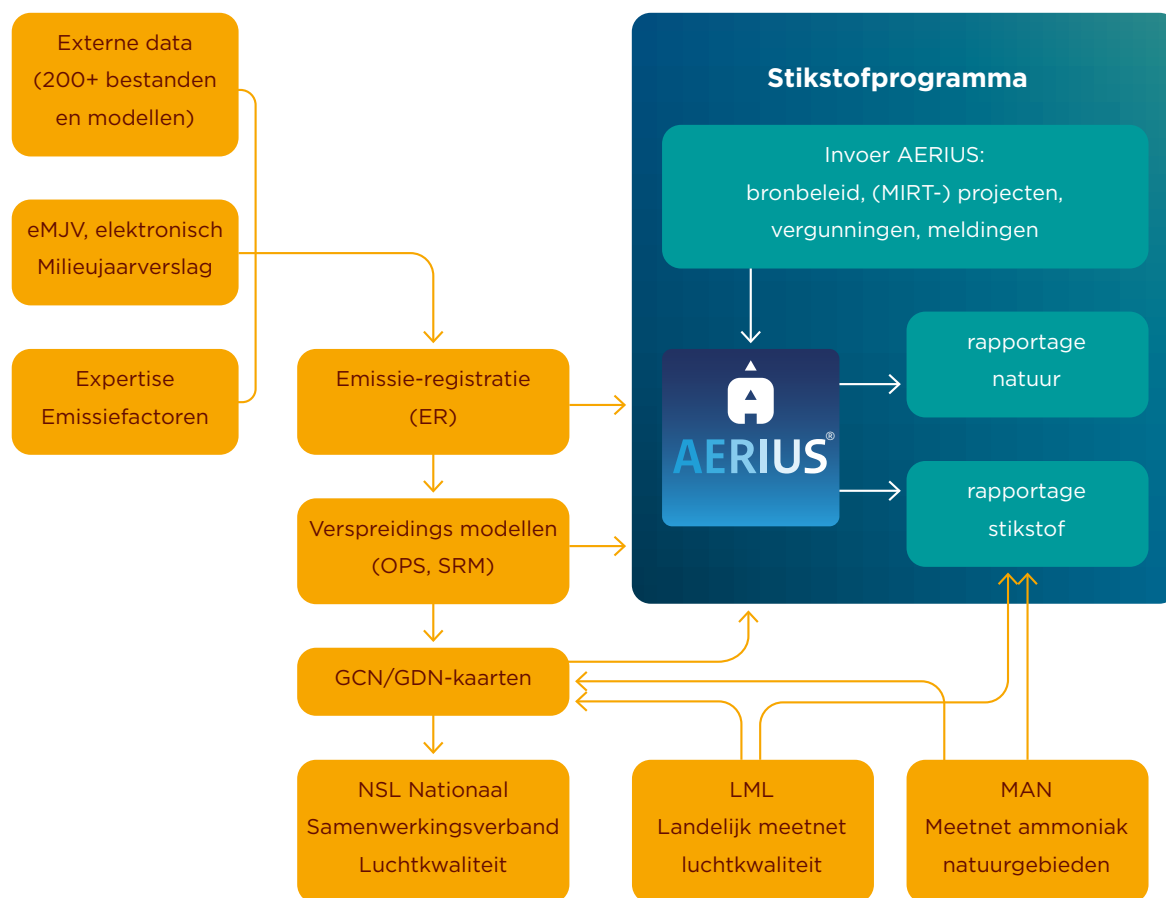
3



Bevindingen en verbetervoorstellen

In dit hoofdstuk komen de bevindingen van het adviescollege aan de orde. Eerst wordt een overzicht gegeven van het totale instrumentarium dat wordt gebruikt voor het stikstofbeleid. Vervolgens worden de algemene bevindingen toegelicht. De bevindingen zijn opgedeeld in een beschouwing over de emissieregistratie, de metingen en de modellen.

De manier waarop de meetnetten en modellen zich tot elkaar verhouden in het Nederlandse instrumentarium is te zien in Figuur 1. Er wordt in dit adviesrapport ingegaan op de emissiedata, het OPS-model en de meetnetten (delen in oranje). In fase 2 zal AERIUS als geheel verder aan bod komen.



Figuur 1:
Omgeving AERIUS/Stikstof-Programma (Bron: RIVM)

3.1 Algemene bevindingen

Het heeft het adviescollege enige moeite gekost om een samenhangend overzicht te krijgen van welke wetenschappelijke data, metingen en modellen precies waarvoor gebruikt worden en waar één en ander is vastgelegd. Die informatie is wel beschikbaar, maar moeilijk in een overzicht te vatten. Dit is duidelijk een punt van aandacht, omdat het niet helpt in de onderbouwing van de resultaten (en de communicatie daarvan) en het maakt de processen en procedures (ongewild) minder transparant. Goed op een rij zetten waar de verantwoordelijkheden liggen, welke instrumenten voor welke toepassing gebruikt worden en hoe de kwaliteit daarvan geborgd wordt en dat duidelijk en eenvoudig communiceren bijvoorbeeld via de website, is essentieel.

In de governance van de Emissieregistratie, van AERIUS en van de modellering en metingen is de rolverdeling niet altijd helder. Binnen verschillende gremia zijn soms dezelfde organisaties gerepresenteerd die zowel aansturende als uitvoerende taken kunnen hebben. Hierdoor zijn de taken van het ontwikkelen van het instrumentarium en de aansturing niet heel scherp belegd. Hierdoor bestaat het gevaar dat opdrachtgeverschap en uitvoering door elkaar lopen en daarmee de uitvoering niet meer geheel onafhankelijk gebeurt.

Het adviescollege vindt dat de ministeries een meer afstandelijke opdrachtgeversrol zouden moeten aannemen en het RIVM en de andere deelnemende partijen een meer onafhankelijke kennis- en adviseringsrol zouden moeten krijgen. Hierbij is het van belang dat ook

de financieringsrol duidelijk belegd is. **Regelmatische externe toetsing blijft daarbij nodig om het wetenschappelijke niveau te borgen.**

3.2 Beleidsonderbouwing

De overheid wil graag uiteenlopende vragen beantwoord zien die betrekking hebben op nationaal en internationaal beleid. Voor de beantwoording van deze vragen wordt het meet- en modelinstrumentarium ingezet. Het instrumentarium kan in drie delen onderscheiden worden: de Emissieregistratie (ER), het LML- en MAN-meetnetwerk, en het OPS-model. **Het AERIUS-systeem en het daarop gebaseerde beleidsadvies komen in de tweede fase van de werkzaamheden van het adviescollege aan de orde.**

3.3 Emissieregistratie (ER)

De regie en aansturing van de Emissieregistratie (ER) is ondergebracht bij het RIVM. De ER is onderverdeeld in verschillende taakgroepen bestaande uit experts van de bij de ER betrokken instituten (RIVM, PBL, TNO, CBS, RVO, RWS-WVL, Deltares, WEcR, WEnR). **Voor de bepaling van de emissies is een complexe structuur opgebouwd met taakgroepen en deelname van verschillende instanties en ministeries.** Het RIVM is inmiddels begonnen om de governance te verhelderen qua opdrachtgeverschap, verantwoordelijkheden en onafhankelijke uitvoering. Dat heeft tot doel de onafhankelijke rol van het RIVM en de andere samenwerkende organisaties te versterken. **Het adviescollege ziet dit als een positieve ontwikkeling.**

De ER heeft een goed overzicht van de belangrijkste activiteiten die bijdragen aan de totale emissies.

De mate van detail in bronbeschrijving en de ruimtelijke verdeling is zeer groot. Die mate van detail moet wel afgewogen worden tegen de extra onzekerheid die deze detaillering met zich meebrengt. Het instrumentarium is gebouwd om op landelijke en regionale schaal een beeld te geven van de emissies. **Het is niet bedoeld om gedetailleerd op lokale schaal de emissies te rapporteren en met een bepaalde nauwkeurigheid vast te stellen.** Een uitzondering hierop vormt de NO_x-uitstoot uit de industrie: in Europese context is

afgesproken om via een rapportagedrempel 85-90% van de totale NO_x- en NH₃-uitstoot uit de industriële sector in beeld te brengen via directe emissiemetingen in fabrieksschoorstenen. **Alleen de grote bedrijven hebben dus de verplichting om emissies te meten en te rapporteren en dat levert een vrij nauwkeurig beeld van de industriële emissies.** De resterende emissies zijn met schattingen (activiteitsdata als energieverbruik gecombineerd met emissiefactoren) in kaart gebracht.

Er zijn drie niveaus voor het vaststellen van emissies: Tier 1, 2 en 3. Het laatste niveau is het meest gedetailleerd. Deze drie verschillende niveaus van rapportage zijn internationaal verplicht en ieder land vult de rapportage zelf in. Er is echter een groot verschil tussen de landen als het gaat om het gebruik van de rapportageniveaus. Nederland en de landen om ons heen gebruiken voor de meeste categorieën Tier-3-methoden die gebaseerd zijn op detailinformatie over activiteiten en emissiefactoren.

De landbouwemissies worden apart door Wageningen Research berekend met het NEMA-model. **Het NEMA-model is een model dat de stikstofstromen binnen de landbouw en verliezen door emissies naar bodem, water en lucht berekent.** Het werkt met emissiefactoren per diersoort, staltype en/of aanwendingstechniek die gebaseerd zijn op metingen. Het adviescollege constateert dat er voor **sommige emissies** gerekend wordt met emissiefactoren die verbeterd dienen te worden. Het ammoniakgat-onderzoek van het RIVM geeft aan dat de emissies en de daarmee berekende concentraties nog niet goed genoeg overeenkomen met de metingen.⁴ Er zijn ook andere signalen dat de emissies nadere studie behoeven. **Zo blijkt uit een recent onderzoek van het CBS en een daaraan gerelateerde analyse van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM) dat de stalemissies door de sector landbouw mogelijk worden onderschat met ca. 15%.^{5,6}** Verder is recent geconcludeerd dat de emissies bij bemesten van grasland mogelijk met 10% worden overschat.⁷ Dit zijn voorbeelden van substantiële afwijkingen die nadere analyse vergen.

Daarnaast is het van belang om emissiefactoren en het tijdsverloop daarin te bepalen voor alle stalsystemen, aanwendingstechnieken en mest-verwerkingstechnieken. Het NEMA-model wordt in meer detail besproken in fase 2 van het werk van het adviescollege.

Door de ER wordt veel aandacht besteed aan de onzekerheden via Monte Carlo-analyses en door middel van een jaarlijkse internationale review.

De onzekerheden zijn voor de totale emissie op regionale en landelijke schaal redelijk in beeld, maar niet op lokale schaal.

Het is volgens het adviescollege raadzaam om de emissiefactoren via metingen beter te kwantificeren of te verifiëren, vooral als het gaat om emissies van landbouw, bodem, zee, verkeer, scheepvaart en kleinere industriële NO_x-emissies. Dit laatste is van belang voor de discussie over het ontbreken van formele rapportages voor kleine bronnen (bronnen kleiner dan 10.000 kg per jaar, volgens internationale afspraak). Overigens schat de ER deze ontbrekende kleine bronnen (nu 13% van de totale NO_x-emissies uit de sectoren industrie- en energie per sector op basis van het energiegebruik. Uit de toetsing van het OPS-model met metingen van het LML volgt dat er geen reden is om aan te nemen dat de NO_x-emissies

systematisch worden onder- of overschat. Verder zijn satellietmetingen te gebruiken om de jaarlijkse emissietotalen van de ER en de ruimtelijke verdeling daarvan te toetsen middels het gebruik van inverse modelleertechnieken.

3.4 Metingen

3.4.1 Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML)

Het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) is qua aantal meetstations voor NO_x, NH₃ en natte depositie sinds de jaren 1990 achteruitgegaan. Sutton heeft daar in zijn review kritische opmerkingen over gemaakt.⁸ De apparatuur voor de concentratiemetingen van NH₃ is twee jaar geleden vervangen en nu wordt de DOAS-methode gebruikt. Het meetnet moet op het gebied van NO_x voldoen aan internationale eisen voor wat betreft het soort metingen en het aantal hiervan.

Daarnaast staat het meetnet ten dienste van de onderbouwing van het nationale beleid. Er is veel aandacht voor de ammoniakmetingen. Het adviescollege vindt dat er daarnaast goed gekeken moet worden naar de representativiteit en de geschiktheid voor modelvalidatie van metingen van de NO_x- en NH₃-concentratie, andere stikstofcomponenten in de lucht en droge depositie.

In het verleden is een meetstrategie ontwikkeld voor het evalueren van het OPS-model. Voor zowel NH₃ als NO_x is dat van belang, omdat LML-metingen op zich

4. Het ammoniakgat is het verschil tussen de gemeten ammoniakconcentraties en de berekende ammoniakconcentraties met het OPS-model, wat suggereert dat er een onderschatting is van de ammoniakemissies in het model.
5. Van Bruggen, C. en Geertjes, K., 2019. Stikstofverlies uit opgeslagen mest: Stikstofverlies berekend uit het verschil in verhouding tussen stikstof en fosfaat bij excretie en bij mestafvoer. Haag (NL): Centraal Bureau voor de Statistiek. Retrieved from: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2019/44/stikstofverlies-uit-opgeslagen-mest>.
6. Van Bruggen, C., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Van der Kolk, J.W.H., Lagerwerf, L.A., Luesing, H.H., Van der Sluis, S.M., & Velthof, G.L. (2018). Analyse van de ammoniakemissie uit de landbouw in de periode 2005-2016. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2018/12/03/analyse-van-de-ammoniakemissie-uit-de-landbouw-in-de-periode-2005-2016>
7. Goedhart, P.W., Mosquera, J., Huijsmans, J.F.M. (2019). Estimating ammonia emission after field application of manure by the integrated horizontal flux method: a comparison of concentration and wind speed profiles. *Soil Use and Management*, 00, p. 1-13, <https://doi.org/10.1111/sum.12564>.
8. Sutton, M.A., Dragosits, U., Geels, C., Gyldenkerne, S., Misselbrook, T.H. (2015). Review on the scientific underpinning of calculation of ammonia emission and deposition in the Netherlands <https://edepot.wur.nl/357694>

Tabel 1 geeft een overzicht van de metingen die uitgevoerd worden voor reactieve stikstofverbindingen.

	tijdsresolutie	Ammoniak (NH ₃)	Stikstofoxiden (NO _x)
Concentratie	Uurlijks	6 (LML)	44 ^a
	Maandelijks	283 (MAN)	29 ^b (MAN)
Droge depositie	Uurlijks	1 (DOAS)	-
	Maandelijks	3 (COTAG)	-
Natte depositie	Tweewekelijks	8 (chemische samenstelling regenwater)	
Samenstelling aerosolen	Dagelijks	4 (PM10)	
	Dagelijks	1 (PM2.5)	

^a NO_x wordt ook in andere (regionale) meetnetwerken gemeten, waardoor het totale aantal metingen 73 is (zie Annex 2.1.1).

^b Sinds 2019.

zelf geen landelijk dekkend beeld geven. De reden hiervoor is dat de concentraties erg variabel zijn. De gekozen meetstrategie was erop geënt om naast de NH₃- en NH₄⁺-concentratie ook de droge depositie van NH₃ en NH₄⁺ te meten, en de natte depositie van NH₃ en NH₄⁺.⁹ Op deze manier kan de kwaliteit van het model en/of van de invoergegevens (emissies) geëvalueerd worden. De LML-meetstations voor NH₃ moesten daarom voldoende tijdsresolutie hebben en verdeeld zijn tussen hoge, gemiddelde en lage emissiegebieden. Deze strategie heeft in het verleden het ammoniakgat blootgelegd.

De meetstrategie is sindsdien veranderd. NH₃-metingen van het LML- en het MAN-netwerk (par. 3.3.2) worden momenteel gebruikt om de concentraties en deposities zoals berekend met het OPS-model (par. 3.4) te schalen. Het adviescollege vindt het onvol-

doende om het beleid alleen met NH₃-concentraties te volgen. In 2000 zijn droge depositiemetingen gestopt, en in 2015 zijn twee LML-stations weggeval- len als gevolg van de lokale invloeden (stikstofbron- nen). Het adviescollege beveelt aan om het LML uit te breiden naar minimaal acht meetstations voor NH₃. Op deze stations zouden dan ook andere componen- ten gemeten moeten worden die relevant zijn voor stikstof, zoals natte depositie, fijnstofsamenstelling, NO_x en salpeterzuur. Droge depositiemetingen van NO_x, NH₃ en NH₄NO₃ op minstens twee supersites, zoals voorgesteld door EMEP, zouden daarnaast een essentieel onderdeel moeten zijn van een nationaal meetnet.¹⁰ Verder acht het adviescollege het waarde- vol om ook in meer natuurgebieden de NO_x-concen- tratie te meten. Deze metingen kunnen worden ingezet om de prestaties van het model-instrumenta- rium te evalueren.

9. NH₄⁺: ammonium

10. NH₄NO₃: ammoniumnitraat

3.4.2 Meetnet Ammoniak Natuurgebieden (MAN)

Om de ruimtelijke verdeling van de concentraties en belasting in de Natura-2000 gebieden beter te kwantificeren is het MAN-meetnet in het leven geroepen: een meetnetwerk waarin maandelijkse waarnemingen plaats vinden met een passieve meetmethode (samplers). Dit meetnet is in de afgelopen jaren sterk uitgebreid en in 2019 zijn ook NO₂-metingen toegevoegd. Het adviescollege vindt dit een goede ontwikkeling. Belangrijk is wel om niet alleen in natuurgebieden maar juist ook in de emissiegebieden te meten. Het verschil tussen LML en MAN is de hoge meetfrequentie en nauwkeurigheid van de LML-metingen tegen de meer ruimtelijk representatieve metingen in MAN. De MAN-metingen zijn niet onafhankelijk van het LML omdat MAN-metingen worden gecorrigeerd op basis van vergelijkingsmetingen tussen de passieve samplers uit MAN en de mini-DOAS-concentraties gemeten in LML. Dit zou op voldoende plekken gedaan moeten worden om de MAN-data te kunnen valideren.

3.4.3 Satellietmetingen

Sinds enkele jaren worden satellietmetingen gebruikt door universiteiten, KNMI en TNO om de gemodelleerde NO_x- en NH₃-concentraties te toetsen. Een prominent voorbeeld zijn de metingen van het door Nederland ontwikkelde en gefinancierde TROPOMI-instrument op het Copernicus Sentinel-5p-platform, gelanceerd in oktober 2017. Satellietbeelden zijn beschikbaar voor NH₃ en voor NO₂. Satellieten geven dagelijkse informatie voor heel Nederland met een ruimtelijke resolutie van ongeveer 5 km (TROPOMI NO₂) of 14 km (CrIS NH₃). Voor NO_x en NH₃ is er de afgelopen jaren onderzoek gedaan naar de integratie van satellietwaarnemingen en verspreidingsmodellering om tot verbeterde emissie- en depositieschattingen te komen.

Satellietmetingen bevatten verschillende typen onzekerheden die gezamenlijk rond de 20-30% bedragen. Satellieten meten de totale verticale kolomhoeveelheid, wat direct gebruikt kan worden voor schattingen van de emissies op dezelfde ruimtelijke schaal als de metingen en dekkend voor heel Nederland.

Satellietmetingen zijn complementair aan het grondmeetnetwerk, wat nodig blijft om concentraties aan de grond te monitoren (in bijvoorbeeld de natuurgebieden), en om de gedetailleerde ruimtelijke variabiliteit (binnen de satellietpixel) en dagelijkse gang in NH₃ en NO₂ in kaart te brengen.

Het adviescollege vindt dat satellietwaarnemingen meer geïntegreerd zou moeten worden in het instrumentarium voor beleidsonderbouwing.

3.5 Het Operationele Prioritaire Stoffenmodel (OPS)

Het OPS-model wordt al meer dan twintig jaar gebruikt ten behoeve van de ondersteuning van beleid. OPS wordt gebruikt voor de GCN- en GDN-kaarten waarbij geaggregeerde emissies gebruikt worden op een raster van 1 km. Het voordeel van deze aanpak is dat er:

- consistentie in de werkwijze bestaat;
- dat er uitgebreide toetsing heeft plaatsgevonden in de afgelopen jaren;
- dat OPS snel kan rekenen, wat belangrijk is voor toepassing in het AERIUS-systeem.

Het adviescollege is van mening dat OPS een valide instrument is om de verspreiding en depositie op lokale schaal te beschrijven, omdat het lokale verspreiding goed modelleert. Dit omvat ook het doorrekenen van de invloed van stikstofbronnen op de depositie in nabijgelegen natuurgebieden, hetgeen belangrijk is voor beleidsondersteuning. OPS is met name geschikt voor verspreiding van stoffen op lokale schaal. Op regionale en landelijke schaal nemen de fouten toe door onzekerheden in chemie, depositie, en grootschalig transport. Daarom vindt het adviescollege dat het OPS-model een nieuwe impuls verdient.

Het adviescollege signaleert dat er nu nog te weinig wordt gedaan om tekortkomingen van het model op een fundamentele manier te begrijpen en op te lossen. OPS wordt voornamelijk geëvalueerd met jaarlijks-gemiddelde waarnemingen en vertoont een

van jaar-tot-jaar variërende systematische afwijking in gemodelleerde concentraties ten opzichte van jaargemiddelde waarnemingen uit de LML- en MAN-netwerken. Op basis van jaargemiddelde concentraties kan niet worden achterhaald wanneer in het jaar het model goed of slecht presteert, en wat de achterliggende oorzaken hiervan zijn. Voor het maken van de GCN- en GDN-kaarten worden correcties toegepast om ervoor te zorgen dat er geen significante verschillen tussen de modelberekeningen en metingen zijn. Gezien deze enting op metingen, heeft het adviescollege geen reden om te twijfelen aan de uitkomsten van OPS.

Het adviescollege merkt verder op dat met deze enting aan metingen aan het principe van de massabalans wordt getornd. Een betere werkwijze zou zijn om een goede onafhankelijke evaluatie van het model met metingen te doen, eventueel emissies en/of modelprocessen bij te stellen, om vervolgens de kaarten te berekenen met het verbeterde model.

Sutton heeft in zijn review al aangegeven dat OPS op lokale schaal goed voldoet, maar dat het beter zou zijn om op regionale en nationale schaal aanvullend gebruik te maken van een raster-model dat de emissies, het transport, de chemische omzettingen en de depositie van reactief stikstof tijdsafhankelijk simuleert. Een dergelijke modelstrategie maakt ook het gebruik van dagelijkse satellietbeelden en geavanceerde assimilatie- en optimalisatie-technieken mogelijk. Internationaal wordt steeds meer met een zogenaamd ensemble van modelresultaten gewerkt voor complexe onderwerpen.¹¹ Hierbij worden verschil-

lende onafhankelijke wetenschappelijk gepubliceerde modellen gedraaid en de uitkomsten samengevoegd tot een gemiddelde uitkomst. Het adviescollege beveelt sterk aan om naar dit soort modelontwikkelingen te kijken voor toepassing in Nederland en aan te sluiten bij de Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) voor luchtkwaliteit.

3.6 AERIUS

Het AERIUS-systeem leunt voor een belangrijk deel op het rekenmodel OPS. Het doel van de toepassing van OPS binnen AERIUS is om op hoge resolutie (een hectare) stikstofdepositie te kunnen bepalen in Natura 2000-gebieden en om de bijdrage van specifieke bronnen daaraan uit te kunnen rekenen. Het AERIUS-systeem is het belangrijkste instrument voor het beleid omdat hiermee berekeningen uitgevoerd worden voor vergunningverlening (zie later). Het verschil met de GCN/GDN-toepassing is dat OPS binnen AERIUS met lange termijn gemiddelde meteorologische gegevens rekent en alle locatie-specifieke bronnen meeneemt. Verder rekent AERIUS de depositie op hectare-schaal voor hexagonen in natuurgebieden uit.¹² Daarnaast wordt de concentratie rondom wegen in AERIUS bepaald met het model SRM-2. AERIUS is een beleidsinstrument, waaraan strengere eisen worden gesteld wat betreft reproduceerbaarheid, governance, robuustheid en gebruikersgemak. In essentie vervangt AERIUS de afstandstabel¹³ die in het verleden werd gebruikt. Door gebruik te maken van OPS, houdt AERIUS – in tegenstelling tot de reguliere afstandstabel – wel rekening met de windrichting, windsterkte, en andere meteorologische omstandigheden.

11. Marécal, V., Peuch, V.-H., Andersson, C., Andersson, S., Arteta, J., Beekmann, M., ... Ung, A., (2015). A regional air quality forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production, *Geoscientific Model Development*, 8, 2777-2813. doi: 10.5194/gmd-8-2777-2015.

12. Een hexagon is een regelmatige zeshoek.

13. Een afstandstabel berekent depositie op basis van slechts twee kenmerken: de bronsterkte en de afstand tot een natuurgebied

14. Bron: <http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/content/explanation.nl.aspx#kwaliteit>

Het adviescollege heeft in fase 1 van zijn werkzaamheden onvoldoende tijd gehad om tot een beoordeling te komen van AERIUS als beleidsinstrument, en heeft zich beperkt tot een beoordeling van het rekenhart van het AERIUS-systeem: het OPS-model. In fase 2 volgt een meer gedetailleerde evaluatie van AERIUS.

3.7 Onzekerheden

In het berekenen van de depositie in Nederland bestaan meerdere onzekerheden. Allereerst is er de bepaling van de onzekerheden in nationale emissie-totalen. Dit gebeurt voornamelijk op basis van schattingen van experts. De geschatte onzekerheid hierbij bedraagt 17% voor NH₃-emissies en 15% voor NO_x-emissies.¹⁴ Daarnaast is het meten van de NH₃-concentratie en -depositie omgeven met onzekerheden. Ten derde zijn niet alle processen die leiden tot de depositie van stikstof en de vorming van fijnstof even goed bekend, hetgeen onzekerheden in het modelleren van de stikstofconcentraties en -deposities introduceert.

Het adviescollege constateert dat er te weinig structureel onderzoek gedaan wordt naar onzekerheden.

De gerapporteerde onzekerheden zijn afhankelijk van de schaal waarop gekeken wordt. Op lokale schaal is de onzekerheid het grootst. Dit komt door onzekerheden in de lokale verdeling van emissies, variabiliteit in depositie en concentraties op dit schaalniveau.

Het is ondoenlijk om op lokale schaal overal te meten en daarom zal er altijd een model nodig zijn. Deze schaalafhankelijkheid van de onzekerheid in het model wordt momenteel niet gekwantificeerd.

Het adviescollege is van mening dat door vergelijking met grondmetingen, satellietwaarnemingen en andere modellen de onzekerheid in de totale gemodelleerde depositie op nationale en regionale schaal wellicht lager zou kunnen zijn dan het RIVM op basis van eigen gegevens schat.

3.8 Onzekerheid in sectorbijdragen

De vraag is of belangrijke uitspraken en berekeningen door het RIVM voldoende zeker en onderbouwd zijn om te gebruiken in het beleid. Door sectorbijdragen, berekend met OPS, te vergelijken met andere modellen krijgen we meer inzicht in de onzekerheden.

Zo wordt de buitenlandse import en export door het EMEP-model hoger geschat dan door OPS, waardoor de bijdrage uit Nederlandse bronnen door EMEP lager wordt berekend (zie Annex 5.4).¹⁵ TNO komt op basis van haar LOTOS EUROS-model meer overeen met EMEP.¹⁶ Dit heeft invloed op de verdeling tussen de buitenlandse en Nederlandse bronbijdrage aan de depositie die anders zou kunnen zijn. De verdeling van de Nederlandse uitstoot die in Nederland neerslaat over de verschillende emissiesectoren komt wel goed overeen in OPS en EMEP. Het vergelijken van meerdere modellen, en het meenemen van satellietmetingen ziet het adviescollege als een aanpak om de grootschalige verspreiding en transport van/naar het buitenland beter te kwantificeren.

Ook de emissies zijn bepalend voor onzekerheden in sectorbijdragen. Als emissies verkeerd worden geschat werkt dat direct door in de berekende depositie.

Het adviescollege heeft geen grote systematische

15. Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L.D. Fagerli, H., ... Wind, P. (2012).

The EMEP MSW-W chemical transport model – technical description, Atmospheric Chemistry and Physics, 12, p. 7825-7865. doi: 10.5194/acp-12-7825-2012.

16. Schaap, M., Timmermans, R.M.A., Roemer, M., Boersen, G.A.C., Builtjes, P.J.H., Sauter, F.J., Velders, G.J.M., Beck, J.P. (2008). The LOTOS-EUROS model: description, validation and latest developments, International Journal of Environment and Pollution, 32(2), p. 270-290. doi: 10.1504/IJEP.2008.017106.

afwijkingen in de emissies gezien: de gemeten concentraties zijn gemiddeld in redelijke overeenstemming met de geschatte emissies, en de gemodelleerde regionale verdelingen van concentraties komen goed overeen met satellietwaarnemingen. **Uitzonderingen zijn systematische afwijkingen in de emissies, behalve bij de landbouw voor NH₃.** Het adviescollege beoordeelt de relatieve verdeling van de Nederlandse sectorbijdragen aan de depositie als wetenschappelijk voldoende onderbouwd, **maar de verhouding tussen de binnenlandse en buitenlandse bijdrage vraagt nadere studie.**

3.9 Bezuinigingen

Het instrumentarium behoeft volgens het adviescollege enige verbetering, als het gaat om de actualiteit van de emissieregistratie, de uitgebreidheid van het meetnet en de modelontwikkeling. Het adviescollege is van mening dat deze situatie het resultaat is van keuzes uit het verleden. In de periode tussen 1980 en 2000 is er veel onderzoek gedaan naar verzuring van de natuur door zwavel- en stikstofverbindingen. Nederland was hierin leidend op wereldniveau. Om verschillende redenen is er sinds 2000 steeds meer bezuinigd op dit onderzoek en is de aandacht ervoor sterk verminderd. Het was duidelijk dat de emissies van zwaveldioxide (SO₂) en van reactief stikstof (NO_x, NH₃) daalden. Bovendien werd de wetenschap bekend verondersteld en veel geld voor onderzoek vond men niet meer nodig.

De genoemde bezuinigingen leidden tot een verkleining van het meetnet en tot minder aandacht voor (proces)onderzoek. De nadruk lag op het consolideren van modellen waaraan alleen het meest noodzakelijke onderhoud werd gepleegd. Financiering voor vernieuwing kwam alleen na ontwikkelingen in het publieke debat of naar aanleiding van vragen uit de Tweede Kamer. Voorbeelden zijn **1.** de regelmatige terugkerende discussie over het ammoniakgat waardoor onder andere het MAN-meetnet (Meetnet Ammoniak Natuurgebieden) in het leven is geroepen in 2005, **2.** de fijnstofdiscussie in 2007, en **3.** reviews van Sutton in 2013 en 2015.

3.10 Wetenschappelijke publicaties

Het adviescollege acht het van belang dat het instrumentarium kwalitatief voldoende wetenschappelijk is geborgd en dat de kwaliteit ook wordt getoetst door regelmatig te publiceren. Het laatste is geen hoofdtaak van de organisaties die verantwoordelijk zijn voor het instrumentarium maar wel van groot belang om de kwaliteit van het meet- en modelleerinstrumentarium te waarborgen. Op het gebied van stikstof wordt er wel regelmatig gepubliceerd. **Punt van aandacht is vooral het beperkte aantal publicaties rondom de emissies en de emissieregistratie.** De publicaties op het gebied van OPS betreffen met name het ammoniakgat, **maar veel minder het gehele systeem,** de onzekerheden, de vergelijking met andere modellen en satellietgegevens.

3.11 Buitenland

3.11.1 Meetnetwerken

De dekking van metingen van stikstofoxiden lijkt zeer vergelijkbaar tussen Denemarken, Duitsland en Vlaanderen, wat een resultaat is van de Europese meetverplichtingen op dit vlak. In Nederland wordt ammoniak op een uurlijkse tijdschaal op een vergelijkbaar of groter aantal locaties gemeten vergeleken met de omringende landen. Daarnaast kent Nederland via het MAN-netwerk een groter aantal metingen op maandelijkse tijdschaal dan de omringende landen. **Hiermee wordt in Nederland intensiever ammoniak gemeten in natuurgebieden dan in genoemde landen.**

In de vergelijking tussen de meetnetwerken in de verschillende landen valt verder een aantal specifieke zaken op. Zo is het aantal natte depositiemetingen in Duitsland veel hoger dan in de andere landen. Daarnaast worden in Denemarken op acht meetstations alle stikstofcomponenten in de lucht (concentratie, alsmede de natte depositie) dagelijks gemeten. Dit is een belangrijk verschil met de Nederlandse meetstrategie, waarbij de focus meer ligt op de concentraties van NH₃ en NO_x.

3.11.2 Modelleren voor nationale depositiekaart

In alle omringende landen die zijn bestudeerd wordt de totale depositie op natuurgebieden berekend met modellen. In Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de modellen die daarbij ingezet worden en de ruimtelijke resolutie van die modellen. De rekenmethode in Vlaanderen is vrijwel gelijk aan de Nederlandse methode, aangezien in Vlaanderen een versie van OPS is geïmplementeerd. In Duitsland vindt de modellering van de nationale verdeling plaats met

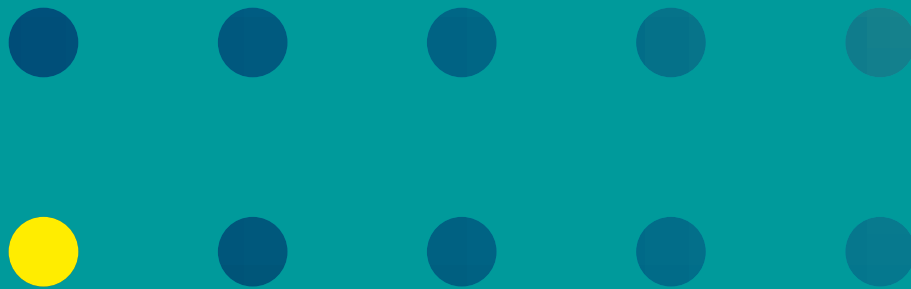
een rastermodel (LOTOS-EUROS) en wordt de natte depositie ruimtelijk berekend door interpolatie van metingen (i.c.m. een neerslagkaart). In Denemarken wordt ook een rastermodel gebruikt (DEHM), waarbij in enkele brongebieden met een dispersiemodel op een hoge resolutie gerekend wordt. In alle bestudeerde landen behalve Duitsland worden deze achtergrondkaarten gebruikt in de vergunningverlening en worden verspreidingsmodellen ingezet om in meer ruimtelijk detail berekeningen te doen.

Tabel 2

Overzicht buitenlandse modellen, inclusief ruimtelijke resolutie

Land/regio	Interpolatie metingen	Modellering nationale schaal		Modellering regionale schaal
Modeltype	Empirisch	Lagrangiaans	Euleriaans	Dispersiemodel
Denemarken	-	-	DEHM (6x6 km ²)	OML-DEP (400x400 m ²)
Duitsland	Natte depositie (1x1 km ²)	-	LOTOS-EUROS (7x7 km ²)	-
Nederland	-	OPS (1x1 km ²)	-	OPS/SRM2 (100x100 m ²)
Vlaanderen	-	VL-OPS (1x1 km ²)	-	IFMS (100x100 m ²)

4



Conclusies

Het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof komt tot de eindconclusie dat de wetenschappelijke kwaliteit van het werk van de betrokken onderzoekers voldoende is. De data, methoden en modellen die worden ingezet zijn, ook in internationaal perspectief, van voldoende tot goede kwaliteit en daarmee geschikt voor het meten en berekenen van de concentratie en depositie van stikstofverbindingen.

De werkwijze en modellen zijn doelgeschikt, maar er zijn wel verbeteringen nodig om de onzekerheden verder te verkleinen. De kwaliteit van het AERIUS-systeem wordt nader onderzocht.

De opdracht aan het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof was om het bestaande meet- en modelleringsinstrumentarium voor de relatie tussen de stikstofuitstoot en de stikstofdepositie te beoordelen, met name of deze voldoende wetenschappelijke onderbouwing biedt voor het stikstofbeleid van rijksoverheid en provincies. Ook is het adviescollege gevraagd of de methodiek kan bijdragen aan het vaststellen van stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden en of op basis daarvan beleid gevoerd kan worden. Het Adviescollege onderzocht verder hoe met deze materie wordt omgegaan in Denemarken, Duitsland en Vlaanderen, of bestaande meetnetten uitgebreid dienen te worden en of aanbevelingen van eerdere externe wetenschappelijke beoordelingen (reviews) zijn opgevolgd.

Een goede wetenschappelijke beoordeling is essentieel om de doelgeschiktheid van het instrumentarium te toetsen. Daarom heeft het adviescollege ook uitgebreid onderzoek gedaan naar wat er precies gebeurt, welke modellen en metingen gebruikt worden en hoe de onzekerheden bepaald worden.

Het adviescollege heeft de modellen niet nagerekend, noch toegepast, noch de programmatuur bestudeerd, maar – conform de opdracht – een wetenschappelijke beoordeling gegeven op basis van de documentatie en interacties met specialisten.

De opdracht van de adviescommissie omvatte, zoals hierboven beschreven een vijftal vragen. Die worden hieronder in drie onderdelen behandeld en beantwoord als deelconclusies:

4.1 Wetenschappelijke onderbouwing van het stikstofbeleid van rijksoverheid en provincies

Deze wetenschappelijke onderbouwing is belegd bij het RIVM en de Emissieregistratie. Het adviescollege concludeert dat:

- de onderzoekers van het RIVM die verantwoordelijk zijn voor de ontwikkeling en het beheer van het model- en meet-instrumentarium de wetenschappelijke ontwikkelingen goed volgen, open staan voor vragen en suggesties vanuit het adviescollege, en hun (wettelijke) taak onafhankelijk uitvoeren;
- de Emissieregistratie een goed overzicht bevat van de maatschappelijke activiteiten die emissies veroorzaken. De emissies op landelijke en regionale schaal zijn voldoende nauwkeurig;
- emissiefactoren voor de meeste onderscheiden bronnen (zoals stalsystemen, mestaanwendings-technieken, verkeerscategorieën e.d.) op metingen zijn gebaseerd, maar dat dit niet voor alle categorieën geldt;
- er binnen de ER veel aandacht wordt besteed aan de onzekerheden via Monte Carlo-analyses en door middel van een jaarlijkse review. De onzekerheden zijn voor de totale emissie op regionale en landelijke schaal redelijk in beeld;
- er een vermenging zichtbaar is van opdrachtgeverschap en de rol van opdrachtnemer in de governance van de Emissieregistratie, AERIUS en de modellering/metingen;
- bezuinigingen hebben de afgelopen jaren geleid tot een verkleining van het meetnet en tot minder aandacht voor (proces)onderzoek. De nadruk lag op het consolideren van modellen waaraan alleen het meest noodzakelijke onderhoud werd gepleegd;
- Nederland met het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN) een goed beeld heeft van de concentraties van ammoniak in de atmosfeer boven stikstofgevoelige natuurgebieden. Voor het beperken van modelonzekerheid is wel uitbreiding van het meetnet nodig;
- het OPS-model een goed instrument is om de verspreiding van de uitstoot te simuleren, met name op lokale schaal;

- het enige moeite kost om scherp te krijgen welke wetenschappelijke data, metingen en modellen precies waarvoor gebruikt worden, hoe en wanneer besluiten genomen worden voor verbetering en waar één en ander is vastgelegd. Deze informatie was uiteindelijk wel allemaal beschikbaar;
- de reviews van Sutton geleid hebben tot verbetering van het instrumentarium, maar dat bepaalde zaken die het adviescollege hier rapporteert ook al door Sutton werden opgemerkt.

Het adviescollege adviseert derhalve om:

- de governancestructuur en documentatie van het gebruikte model- en meetinstrumentarium te verbeteren;
- aanvullende metingen te doen voor de monitoring van de belangrijkste en meest onzekere emissie-factoren voor de sectoren als landbouw, verkeer en transport, zee, landgebruik en kleinere industriële NO_x-emissies, met name voor categorieën die nu niet op metingen zijn gebaseerd;
- het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) uit te breiden voor ammoniakmetingen, met onder andere meer stations die meer gedetailleerd meten. Daarnaast moet er ook gemeten worden aan andere stikstofcomponenten, zoals de fijnstofsamenstelling en salpeterzuur. Verder kunnen satelliet metingen gebruikt worden om naast de modelvalidatie met grondmetingen, een beter beeld te krijgen van de ruimtelijke patronen in de atmosferische concentraties en de bronnen van stikstof. Tot slot is het van belang dat in natuurgebieden het meetnet dat wordt gebruikt om de atmosferische NO_x-concentratie te meten verder uit te breiden;
- nader onderzoek te doen naar de oorzaken van systematische verschillen tussen modelresultaten en metingen. En daar ook andere type metingen, zoals satellietwaarnemingen, bij te betrekken. Satellietmetingen brengen de ruimtelijke patronen in de totale concentratie van NO₂ en NH₃ op regionale schaal in kaart en kunnen worden gebruikt voor emissieschattingen;

- de modelkalibratie van OPS met metingen te herzien door gebruik te maken van meer geavanceerde vormen van integratie van modellen en metingen;
- naast het huidige model ook gebruik te maken van andere modellen, zodat satellietwaarnemingen kunnen worden geïntegreerd en dezelfde berekeningen met verschillende modellen kunnen worden gedaan (modelensemble). Daarmee kunnen de onzekerheden beter in kaart worden gebracht en zijn er minder modelcorrecties benodigd;
- meer samenwerking te zoeken met andere wetenschappelijke instituten en experts.

4.2 Bepaling van de stikstofdepositie op Natura-2000 gebieden

Het adviescollege heeft gekeken naar de manier waarop de stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden wordt gemodelleerd. Het adviescollege concludeert dat:

- OPS een valide instrument is om de verspreiding en depositie op lokale schaal te beschrijven, omdat het lokale verspreiding goed modelleert;
- de relatieve verdeling van de Nederlandse sectorbijdragen aan de depositie op natuurgebieden, zoals berekend met OPS, maar ook ondersteund door andere modellen, voldoende is onderbouwd;
- OPS een kleinere bijdrage simuleert van buitenlandse emissies aan de Nederlandse deposities, dan twee andere, onafhankelijke modellen (LOTOS-EUROS, EMEP).

Het adviescollege zal in fase 2 van zijn werkzaamheden onderzoek doen naar de werking van AERIUS, omdat dit een belangrijk instrumentarium is voor de bepaling van de stikstofdepositie in de Natura 2000-gebieden.

4.3 Meet- en modelinstrumentarium in Denemarken, Duitsland en Vlaanderen

Een belangrijk onderdeel van de vraagstelling aan het adviescollege was om te kijken naar het meet- en modelinstrumentarium in (delen van) ons omringende landen. Het adviescollege heeft gekeken naar Denemarken, Duitsland en Vlaanderen en concludeert dat:

- er in Denemarken, Duitsland en Vlaanderen vergelijkbare methoden gebruikt worden om de stikstofemissie vast te stellen en de concentratie en depositie te berekenen met modellen;
- vergelijkbare methodieken als in Nederland worden gebruikt om de kritische depositiewaarden te bepalen;
- de ammoniakconcentratie in de Nederlandse natuurgebieden intensiever wordt gemeten vergeleken met het buitenland. In sommige landen is daarentegen de dekking voor de meting van andere stikstofverbindingen, zoals fijnstofsamenstellingen, beter;
- er vrijheid is in het bepalen van de grenswaarden voor vergunningverlening en dat het beleid niet in alle landen exact gelijk is.

4.4 Vervolgstappen

In de tweede fase van het onderzoek van het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof zal een verdere uitwerking worden gegeven op de bevindingen en conclusies vanuit de eerste fase. Hierbij zal in detail worden gekeken naar de modellen AERIUS en NEMA.



Annexen

Annex 1

Afkortingen

Ter ondersteuning van de leesbaarheid van dit adviesrapport is er een lijst met afkortingen bijgevoegd. Zie onderstaande tabel:

AERIUS	Rekeninstrument voor de leefomgeving	MAN	Meetnet Ammoniak Natuurgebieden
BIJ12	Uitvoeringsorganisatie voor de IPO	MJV	Milieu Jaarverslag
CAB	Change Advisory Board	NEC	National Emission Ceiling
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek	NEMA	National Emission Model for Agriculture
CDB	Change Decision Board	NH₃	Ammoniak
CDM	Commissie Deskundigen Meststoffenwet	NOVANA	National Monitoring and Assessment Programme for the Aquatic and Terrestrial Environment
COTAG	Conditional Time-Averaged Gradient	NO_x	Stikstofoxiden
DAMOS	Danish Ammonia Modelling System	NSL	Nationaal Samenwerkingsverband Luchtkwaliteit
DEHM	Danish Eulerian Hemispheric Model	OPS	Operationele Prioritaire Stoffenmodel
Deltares	Onafhankelijk instituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond.	PAS	Programmatische Aanpak Stikstof
DOAS	Differentiële Optische Absorptiespectrometrie	PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
EMAV	Emissiemodel Ammoniak Vlaanderen	PM	Particulate Matter (fijn stof)
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme	RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
ER	Emissieregistratie	RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
GCN	Grootschalige Concentratiekaarten Nederland	RWS-WVL	Rijkswaterstaat (Water, Verkeer en Leefomgeving)
GDN	Grootschalige Depositiekaarten Nederland	SO₂	Zwaveldioxide
I&W	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat	SLA	Service Level Agreement
IPO	Interprovinciaal Overleg	SRM	Standaard Rekenmethode (voor luchtkwaliteitsberekeningen)
KDW	Kritische Depositiewaarde	TNO	Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut	VHR	Vogel- en Habitatrichtlijn
LML	Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit	VLOPS	Vlaams Operationeel Prioritaire Stoffenmodel
LNV	Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit	VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
LOTOS-	Long Term Ozone Simulation -	WEcR	Wageningen Economic Research
EUROS	European Operational Smog Model	WEnR	Wageningen Environmental Research

Annex 2

Beschrijving meet- en rekenmethodiek

Het RIVM beheert een meet- en rekensysteem om de stikstofconcentratie en -depositie in Nederland in kaart te brengen. Stikstofverbindingen komen in een aantal vormen voor in de (Nederlandse) atmosfeer.

Het RIVM beheert de meetnetwerken om de concentratie en depositie van deze stoffen te bepalen.

De concentratie en depositie van stikstofverbindingen zijn van een aantal variabelen afhankelijk: de emissie-sterkte van bronnen in binnen- en buitenland, de afstand tot de bron, de weersomstandigheden die de atmosferische verspreiding en het depositieproces beïnvloeden, de chemische omzettingen in de atmosfeer en het landgebruik dat van invloed is op de neerslag (depositie) van stikstof. Hierdoor zijn de concentratie en depositie niet gelijkmatig over Nederland verdeeld.

Gezien de grote ruimtelijke variabiliteit in de emissie, concentratie en depositie van stikstof, kan met alleen metingen geen landelijk dekkend beeld gevormd worden. Daarom wordt een model (OPS) gebruikt, dat deze concentratie en depositie in heel Nederland kan uitrekenen met een representatie van de processen die de concentratie bepalen: emissie, verspreiding, chemische omzetting en depositie. Om dit model te gebruiken is het nodig daarin gedetailleerde informatie in te voeren over de uitstoot van stikstofverbindingen (emissies), alsmede informatie over het weer en het landgebruik. Voor de bepaling van de jaargemiddelde depositie wordt het model vervolgens geijkt met metingen om een zo accuraat mogelijk beeld van de daadwerkelijke concentratie en depositie van reactieve stikstofverbindingen op te leveren.

Tabel 1 Overzicht van het aantal meetpunten in de verschillende RIVM-meetnetwerken voor reactieve stikstofverbindingen (bron: RIVM)

	tijdsresolutie	Ammoniak (NH ₃)	Stikstofoxiden (NO _x)
Concentratie	Uurlijks	6 (LML)	44 ^a
	Maandelijks	283 (MAN)	29 ^b (MAN)
Droge depositie	Uurlijks	1 (DOAS)	-
	Maandelijks	3 (COTAG)	-
Natte depositie	Tweewekelijks	8 (chemische samenstelling regenwater)	
Samenstelling aerosolen	Dagelijks	4 (PM ₁₀)	
	Dagelijks	1 (PM _{2.5})	

^a NO_x wordt ook in andere (regionale) meetnetwerken gemeten, waardoor het totale aantal metingen 73 is (zie Annex 2.1.1).

^b Sinds 2019.

In deze Annex worden eerst de door het RIVM beheerde meetnetwerken besproken om de stikstofconcentratie en -depositie te meten. Daarna volgt een beschrijving van de emissiegegevens die als modelinvoer dienen. Hierna wordt het OPS-modelsysteem beschreven, hoe de kalibratie van het model werkt, en hoe het wordt toegepast binnen AERIUS.

2.1 Metingen van de stikstofconcentratie en -depositie

Het RIVM beheert meerdere meetnetwerken waarbinnen de concentraties en depositie van reactieve stikstofverbindingen gemeten worden met verschillende meetmethoden. Deze meetnetwerken worden hieronder besproken, en in Tabel 1. weergegeven. Hoe de verkregen metingen worden gebruikt in de evaluatie en kalibratie van modellen, wordt uitgelegd in par. 2.3.4.

2.1.1 Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML)

Binnen het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) worden de atmosferische concentraties van verschillende stikstofverbindingen gemeten. De meetinspanning voor de concentraties van NO₂, NO, NH₃ en de stikstofgehalten in fijnstof verschillen afhankelijk van wettelijke verplichtingen, afspraken binnen internationale conventies, de aard en kosten van de metingen en de doelstelling van de metingen. Daarnaast wordt de natte depositie gemeten. Met het LML is gestart in de jaren '70. De ammoniakmetingen zijn gestart in 1993.

De concentratie van stikstofoxiden werd in 2018 op 73 locaties gemeten. In het LML werd op 44 locaties NO_x (stikstofdioxide en stikstofmonoxide) gemeten, de resterende metingen vinden plaats in andere, regionale meetnetwerken (bijvoorbeeld die van de GGD Amsterdam en de Dienst Centraal Milieubeheer Rijnmond). De concentratie van NH₃ wordt sinds 2015 op zes locaties gemeten met een mini-DOAS-systeem, dat gebruik maakt van het differentiële optische

absorptiespectrometrie-met principe (DOAS). Voor 2014 werd gemeten op acht locaties. Deze metingen vinden plaats op een uurlijkse tijdschaal.

Daarnaast worden op acht locaties binnen het LML metingen verricht aan de natte depositie van geoxideerde en gereduceerde stikstofverbindingen. Dit gebeurt met zogenaamde 'wet-only vangers', waarmee de chemische samenstelling van regenwater eenmaal per twee weken wordt gemeten.

Op vier locaties binnen het LML wordt de samenstelling van PM₁₀-aerosol gemeten, voor onder andere geoxideerde en gereduceerde stikstofverbindingen (nitraat en ammoniumaerosolen oftewel SIA: Secondary Inorganic Aerosol). Ditzelfde gebeurt op één locatie voor PM_{2,5}-aerosol. In beide gevallen gaat het om daggemiddelden.

2.1.2 Meetnetwerk Ammoniak Natuurgebieden (MAN)

Binnen het MAN-netwerk worden de concentraties van NH₃ en sinds 2019 ook van NO₂ gemeten met passieve samplers (met Gradko-samplers voor NH₃ en met Palmes-buisjes voor NO₂). Dit levert metingen op van de maandgemiddelde NH₃-concentratie in de lucht. Het meetnetwerk is operationeel sinds 2005, toen is gestart met metingen in 22 natuurgebieden. In 2019 is dit opgelopen tot metingen in 84 natuurgebieden, waarin momenteel 283 meetpunten in gebruik zijn. Op 29 van deze meetpunten worden ook NO₂-metingen gedaan. Een kaart met de meetlocaties in het MAN-netwerk is gepresenteerd in Figuur 1. De metingen uit het MAN-netwerk worden maandelijks geijkt met metingen uit het LML-netwerk om te corrigeren voor de weersinvloeden. Deze correctiefactor varieert gedurende het jaar en is typisch hoger in de winter dan in de zomer.

2.1.3 Droge depositie

Tot en met 2010 is met onderbrekingen boven het Speulderbos de droge depositie van NH_3 gemeten met de zogenaamde gradiëntmethode. Daarnaast is er in 2004-2006 op het meteorologische waarnemingsveld de Haarweg (WUR) en in 2014 en 2015 in het Duingebied Solleveld op vergelijkbare wijze droge depositie van NH_3 gemeten. Met een gradiëntmethode wordt de flux (depositie of emissie) van een stof bepaald uit het verschil van de gemeten concentraties op verschillende hoogten en de mate van menging (ofwel turbulentie).

Naast concentratiemetingen werkt het RIVM met de methode Conditional Time-Averaged Gradient (COTAG) voor metingen van droge depositie. Deze vinden plaats in drie natuurgebieden in Nederland. Het meetprincipe dat ten grondslag ligt aan COTAG-metingen is ook gebaseerd op de gradiëntmethode, alleen worden de gradiënten gemiddeld in perioden met verschillende mate van menging van de atmosfeer (bepaald met een sonische anemometer). Daarbij worden onstabiele en neutrale mengingscondities separaat gemeten. COTAG-metingen worden verricht op een maandelijkse tijdsresolutie. Aangezien deze methode niet onder alle mengingscondities meet is het hierbij alleen mogelijk een bandbreedte voor de droge depositie te bepalen.

Daarnaast beschikt het RIVM over een meetsysteem dat met behulp van de DOAS-techniek NH_3 -uitwisseling meet. Deze techniek werkt op basis van een uitgezonden lichtbundel met een golflengte waarbinnen NH_3 straling absorbeert. De uitdoving van het licht is een maat voor de hoeveelheid NH_3 in de lucht. Door op twee verschillende hoogten boven



Figuur 1

Overzicht van de meetlocaties binnen het MAN-netwerk (bron: RIVM).

het oppervlak te meten, kan de uitwisseling worden bepaald. Dit systeem stond voorheen op het meteorologisch onderzoeksveld van Wageningen University, maar is daar recent weggehaald en wordt momenteel voorbereid voor plaatsing op het meteorologisch onderzoeksveld in Cabauw in het kader van het Ruisdael-project.¹⁷

2.1.4 Meetonzekerheden

Het RIVM rapporteert de volgende meetonzekerheden voor zijn metingen:

17. <https://ruisdael-observatory.nl>

18. Lolkema, D.E., Noordijk, H., Stolk, A.P., Hoogerbrugge, R., Van Zanten, M.C., Van Pul, W.A.J. (2015). The Measuring Ammonia in Nature (MAN) network in the Netherlands. *Biogeosciences*, 12, p. 5133-5142. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5133-2015>

Tabel 2

Specificatie meetonzekerheden zoals opgegeven door het RIVM.

Meting	Onzekerheid	Toelichting	Bron
Chemische samenstelling PM-aerosolen	10,4% (nitraat)	Etmaalgemiddelde	RIVM
	16,2% (ammonium)	Etmaalgemiddelde	RIVM
Stikstofdioxideconcentratie (chemoluminescentie)	12,6%	Jaargemiddelde	RIVM
	10,6%	Uurgemiddelde	RIVM
Ammoniakconcentratie (mini-DOAS)	0,25 µg/m ³	Standaarddeviatie	RIVM
	0,25 µg/m ³	Detectielimiet	RIVM
Ammoniakconcentratie (MAN; Gradko-samplers)	22%	Individuele meting (1 maand) ¹	Lolkema et al. (2015) ¹⁸
	13%	Mediane jaargemiddelde. ^a	RIVM
Droge depositie ammoniak (COTAG)	n.n.b. ^b		RIVM

a Dit geldt voor de mediaanconcentratie van 4,1 µg/m³ (de meetonzekerheid is deels afhankelijk van de concentratie).

b De meetonzekerheid op COTAG-metingen wordt momenteel in kaart gebracht.

2.2 Emissies

De Emissieregistratie (ER) is belast met de wettelijke taak om een database samen te stellen met jaarlijkse overzichten van de uitstoot van voor het milieubeleid relevante stoffen, naar bodem, water en lucht. De ER wordt uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) voor luchtverontreinigende stoffen en het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat voor broeikasgassen; de regievoering en aansturing is in handen van het RIVM. Met de gegevens van de ER wordt voldaan aan nationale en internationale verplichtingen op het gebied van emissierapportage.

2.2.1 Werkwijze Emissieregistratie

De ER is onderverdeeld in verschillende taakgroepen bestaande uit experts van de bij de ER betrokken instituten (RIVM, PBL, TNO, CBS, RWS-WVL, Deltares, WEcR, WEnR). De jaarlijkse emissietotalen worden ruimtelijk verdeeld over Nederland en opgeslagen in de database van het RIVM.

Binnen de ER worden emissies op verschillende manieren bepaald. Zo vinden er in het geval van NO_x-uitstoot van industrie directe uitstootmetingen plaats. Deze methode is geschikt wanneer de precieze locatie van de emissie vaststaat, bijvoorbeeld in het geval van een fabrieksschoorsteen.

Voor veruit de meeste bronnen is de precieze locatie en emissiesterkte echter niet vast te stellen op basis van emissiemetingen. Hiervoor moeten de emissies dus worden geschat op basis van zogenaamde activiteitsgegevens. Dit zijn geen feitelijke schattingen van de emissie, maar van activiteiten die tot emissie leiden en wel in detail zijn vastgesteld. Gegevens over activiteiten die emissies veroorzaken zijn voornamelijk gebaseerd op landelijke statistieken.

Een geschat emissiegetal wordt vervolgens berekend door activiteitsdata te vermenigvuldigen met een emissiefactor (uitstoot per eenheid activiteit). Emissiefactoren hangen sterk af van de gebruikte technologie die de emissie van een activiteit bepaalt (bijv. gebruik van luchtwassers) en worden vastgesteld op basis van (een combinatie van) metingen, modelberekeningen of literatuuronderzoek.

Er zijn verschillende methoden om tot emissieschattingen te komen, de zogenaamde tiers. Deze methoden zijn in internationale verdragen vastgelegd en variëren in complexiteit. De standaardmethode is Tier 1, die gebruik maakt van internationale aanbevelingen over het gebruik van activiteitsdata en emissiefactoren. Tier 2 hanteert dezelfde berekeningsmethode als Tier 1, maar maakt gebruik van land specifieke informatie (zoals emissiefactoren) voor accuratere emissieschattingen. In de Tier 3-methode wordt gebruik gemaakt van een meer complexe methode waarbij aanvullende gegevens nodig zijn (bijv. een emissiemodel).

De uitstoot van reactief stikstof naar de atmosfeer vindt plaats in verschillende sectoren; voor de uitstoot van stikstofverbindingen zijn de volgende sectoren van belang: Energie, Industrie en Afvalverwijdering (ENINA), Verkeer en Vervoer, Landbouw en Landgebruik, en Huishoudens. Het proces om tot emissieschattingen te komen wordt hieronder per sector gedetailleerd beschreven.

Emissies uit de sector Energie, Industrie en Afvalverwijdering (ENINA) bestaan hoofdzakelijk uit

puntbronnen. De nationale emissietotalen uit de ENINA-sectoren worden gecompileerd op basis van elektronische Milieujaarverslagen (e-MJV's) die moeten worden ingediend door de bedrijven die de uitstoot veroorzaken, op basis van directe emissiemetingen. Hiervoor is een rapportagedrempel van 10.000 kg NO_x of NH₃ per jaar van toepassing. Bij overschrijding zijn bedrijven verplicht om uitstoot te rapporteren via milieujaarverslagen. Ongeveer 87% van de uitstoot in de sector ENINA wordt gerapporteerd via e-MJV's (dit getal gold voor 2017, per jaar kunnen er kleine verschillen zijn). Er vindt schatting plaats van de resterende 13% van de emissies op basis van activiteitsdata en emissiefactoren om de resterende uitstoot van bedrijven onder de rapportagedrempel te schatten. De activiteitsgegevens die in dit geval worden gebruikt zijn de hoeveelheid verstookte brandstof en het energieverbruik.

De sector verkeer en vervoer is een van de grootste bronnen van stikstofoxiden. De activiteitsdata die worden gebruikt zijn gebaseerd op nationale statistieken van brandstofgebruik, wagenpark en kilometrages op verschillende wegtypen, terwijl voor de emissiefactoren landspecifieke waarden worden gehanteerd. Ook bijdragen van niet-wegverkeer zoals die van de binnenvaart zijn in deze sector relevant.

Het National Emission Model For Agriculture (NEMA) wordt gebruikt om de emissies van reactief stikstof uit de landbouwsector te berekenen. Dit is een zogeheten stikstofstroommodel, dat de stikstofstromen in de landbouwsector in kaart brengt en met emissiefactoren de resulterende emissies van NH₃ en NO_x (en een aantal andere stoffen) berekent. Emissies van reactief stikstof treden op in de stal, tijdens mestopslag buiten de stal en na toediening van mest (inclusief beweiding) en kunstmest aan de bodem. De gebruikte activiteitsgegevens in NEMA zijn bijvoorbeeld het aantal landbouwdieren onderverdeeld in diercategorieën.¹⁹

Emissies uit de sector Huishoudens maken gebruik van activiteitsgegevens zoals gasverbruik en bevolkingsomvang.

2.2.2 Onzekerheidsschattingen

De ER rapporteert de sectorale onzekerheden voor de totale Nederlandse emissies van NH_3 en NO_x . Deze zijn hieronder weergegeven.

Tabel 3.

Inschatting van de onzekerheid (1 sigma) op de nationale emissietotalen per sector (bron: RIVM).

(Deel)sector	NO_x	NH_3
Industrie	17%	
Raffinaderijen	40%	
Energiesector	21%	
Afvalverwerking	53%	
Wegverkeer	6%	89%
Overig verkeer	15%	
Landbouw	60%	13%
Landbouw stallen melkvee		22%
Landbouw stallen overig		15%
Landbouw droog mestaanwending		20%
Huishoudens/consumenten	22%	50%
HDO ² /Bouw	22%	
Internationale scheepvaart	16%	
Buitenland	Niet bekend	Niet bekend

Een bijkomende onzekerheid wordt veroorzaakt in de ruimtelijke verdeling van de emissies over Nederland. Voor ammoniakuitstoot uit de landbouwsector is deze ruimtelijke verdeling het resultaat van model-uitkomsten. In andere gevallen wordt gebruik gemaakt van verdeelsleutels om tot een toedeling te komen, bijvoorbeeld in het geval van NO_x -emissies uit verkeer (voor het hoofdwegennet gebaseerd op voertuigkilometrages, maximumsnelheid en dus emissies per wegsegment) en uit huishoudens (gebaseerd op bevolkingsdichtheid). Deze onzekerheid is voor zover bekend niet in kaart gebracht.

2.3 Modelleersysteem (OPS)

Het RIVM maakt gebruik van het OPS-model voor het maken van de grootschalige concentratie- en depositiekaarten (GCN/GDN)²⁰ en voor depositieberekeningen binnen AERIUS. OPS is een zogenaamd Lagrangiaans transportmodel, dat individuele bron-receptorrelaties doorrekent aan de hand van de Gaussische pluimformule. De keuze voor deze modelopzet is gemaakt tijdens de modelontwikkeling in de jaren '80 van de vorige eeuw, omdat dit type model beter geschikt is voor rekenen met hoge resolutie, (vooral rondom een bron) en omdat de reken-capaciteit voor het rekenen met hoge resolutie met Euleriaanse modellen ontbrak.

19. Velthof, G.L., Van Bruggen, C., Groenestein, C.M., De Haan, B.J., Hoogeveen, M.W., Huijsmans, J.F.M. (2012). A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands.

Atmospheric Environment, 46, p. 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.075>

20. Bedoeld om een grootschalig beeld te geven van de luchtkwaliteit en depositie in Nederland.

2.3.1 Atmosferisch transport

OPS maakt gebruik van een statistische benadering van atmosferisch transport, waarin 288 verschillende transportklassen worden onderscheiden, gebaseerd op de transportafstand (4), de windrichting (12) en de atmosferische stabiliteit (6). Meteorologische gegevens voor deze classificaties worden verkregen van KNMI-meetstations en worden in twee stappen voorbereid voor gebruik in OPS.²¹

2.3.2 Chemische conversie

OPS beschrijft chemische reacties van zwavel- en stikstofverbindingen in de atmosfeer. Hiervoor maakt het gebruik van reactiesnelheidsconstanten die worden toegepast op de concentratie van een stof om de verandering in de concentratie in de tijd te berekenen. Deze reactiesnelheidsconstante kan een vaste waarde zijn, of afhankelijk zijn van externe variabelen zoals bijvoorbeeld zoninstraling, temperatuur of de concentratie van een (andere) stof. Vanaf 2020 zullen deze reactiesnelheden gebaseerd zijn op het chemieschema van het EMEP-model.¹⁸

De in OPS meegenomen chemische stoffen (die van belang zijn in de context van het huidige rapport) zijn zwavelverbindingen, geoxideerde stikstofverbindingen (waaronder stikstofoxiden) en gereduceerde stikstofverbindingen (ammonia en ammonium). Een aantal van deze stoffen komt in de atmosfeer terecht door uitstoot, terwijl de zogenaamde secundaire chemische stoffen in de atmosfeer worden gevormd als gevolg van chemische conversie.

2.3.3 Depositie

Er zijn twee processen die zorgen voor depositie (opname van chemische stoffen zoals atmosferische NH₃ en NO_x aan het landoppervlak): 1. droge depositie, door atmosferisch transport van stikstofverbindingen naar het landoppervlak en opname in vegetatie en bodems, en 2. natte depositie, door het oplossen van stikstofverbindingen in regen- of wolkendruppels en het uitregenen daarvan.

De bepaling van droge depositie in OPS vindt plaats met de Deposition of Acidifying Compounds-module (DEPAC).^{22,23} Deze module berekent atmosferisch transport naar het landoppervlak en opnameprocessen in vegetatie en bodems. De droge depositie is afhankelijk van externe factoren zoals zoninstraling, luchtvochtigheid, bodemvocht, atmosferische menging en landgebruik. Daarnaast maakt het systeem gebruik van het modelleren van het compensatiepunt: de interne concentratie aan het eind van het depositiepad. Dit is van belang omdat het de concentratiegradiënt bepaalt over het pad waarover depositie plaatsvindt: als de concentratie in de atmosfeer en aan het eindpad van de depositie gelijk is, vindt geen uitwisseling plaats. Als de atmosferische concentratie lager is dan de concentratie aan het eindpad, vindt uitstoot plaats. Door het meenemen van het compensatiepunt is er dus sprake van bidirectionele uitwisseling in OPS.

21. Sauter, F., Van Zanten, M., Van der Swaluw, E., Aben, J., De Leeuw, F., Van Jaarsveld, H. (2018). The OPS-model: Description of OPS 4.5.2. Bilthoven (NL): RIVM. <https://www.rivm.nl/media/ops/v4.5.2/OPS-model-v4.5.2.pdf>

22. Van Zanten, M.C., Sauter, F.J., Wichink Kruit, R.J., Van Jaarsveld, J.A., Van Pul, W.A.J. (2010). Description of the DEPAC module: Dry deposition modelling with DEPAC_GCN2010. RIVM rapport 680180001. Bilthoven (NL): RIVM. <https://www.rivm.nl/publicaties/description-of-depac-module-dry-deposition-modelling-with-depacgcn2010>

23. Van Zanten, M.C., Sauter, F.J., Wichink Kruit, R.J., Van Jaarsveld, J.A., Van Pul, W.A.J. (2010). Description of the DEPAC module: Dry deposition modelling with DEPAC_GCN2010. RIVM rapport 680180001. Bilthoven (NL): RIVM. <https://www.rivm.nl/publicaties/description-of-depac-module-dry-deposition-modelling-with-depacgcn2010>

24. Hazeu, G.W., Schuiling, C., Dorland, G.J., Roerink, G.J., Naeff, H.S.D., Smidt, R.A. (2014). Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7). Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Rapport 2548, Alterra Wageningen UR, Wageningen. <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/AlterraRapporten/AlterraRapport2548.pdf>

In de DEPAC-module worden negen landgebruiksklassen onderscheiden, met bijbehorende waarden voor de terreinruwheidslengte, die de mate van atmosferische menging mede bepaalt. Deze informatie is gebaseerd op de LGN7-landgebruikskaart en is voor OPS geaggregeerd naar een resolutie van 250x250 m².^{19,24}

Natte depositie wordt in OPS statistisch benaderd op basis van de neerslagintensiteit, de ratio tussen de concentratie in de druppel en in de omringende lucht en de hoogte.

2.3.4 Modelkalibratie

OPS-simulaties worden voor elk jaar gekalibreerd op basis van een vergelijking met metingen. Hiervoor worden metingen uit het LML-netwerk en sinds 2015 ook uit het MAN-netwerk gebruikt. De metingen in het MAN-netwerk zijn zelf ook al gekalibreerd met LML-metingen. De kalibratie vindt plaats door de helling uit het spreidingsdiagram tussen modeluitkomsten en metingen toe te passen op de modelberekeningen, waardoor kan worden gecorrigeerd voor een eventuele onder- of overschatting in de modelberekeningen. Hiermee wordt impliciet een correctie op de in het model ingevoerde emissies toegepast. Deze kalibratiefactor wordt ruimtelijk uniform berekend en toegepast en varieerde in de periode 2014-2018 tussen de 0.9 en 1.3. Het RIVM experimenteert momenteel met de toepassing van een ruimtelijk geïnterpoleerde kalibratiefactor.

2.3.5 Modelonzekerheden

In de berekenketen van het OPS-model bestaan verschillende onzekerheden. Deze keten begint met onzekerheden in emissies. Vervolgens wordt het atmosferisch transport in het model benaderd, wat tot een onzekerheid leidt. Daarnaast veroorzaken de berekening van de droge en natte depositie, en het lange-afstandstransport onzekerheden. Het RIVM werkt momenteel aan een onzekerheidsanalyse, waarbij schattingen van de onzekerheid op verschillende processen in de berekenketen (emissies, verspreiding, droge depositie) systematisch worden doorgerekend.

Een vergelijking tussen verschillende modellen laat zien dat er onzekerheid bestaat in de transportafstand van reactief stikstof. Zo blijkt dat het EMEP-model een grotere buitenlandse bijdrage aan de totale Nederlandse stikstofdepositie simuleert dan het OPS-model, maar ook dat de hoeveelheid geëxporteerd stikstof vanuit Nederland hoger ligt in EMEP dan in OPS. Hierdoor is de absolute bijdrage van de verschillende Nederlandse sectoren aan de depositie in Nederland kleiner. De relatieve bijdragen van de Nederlandse sectoren aan de stikstofdepositie in Nederland is vergelijkbaar.

2.4 Opvolging review Sutton et al.

Het adviescollege is specifiek gevraagd om de opvolging van de verbeterpunten van de internationale review van Sutton et al. (2015) te evalueren.¹¹ Daarom volgt hier een korte samenvatting van de belangrijkste aandachtspunten uit deze review en de opvolging daarvan. In de internationale review van Sutton et al. (2015) werd het volgende geconcludeerd: "[o]n the whole, the methods used in the Netherlands for emission estimation, measurement and modelling of atmospheric ammonia are generally sound. However, there are concerns regarding the analysis of long-term trends, especially given that current trends are now starting to flatten out following implementation of the most effective measures."¹¹ De specifieke zorgpunten worden hieronder besproken.

2.4.1 Emissies

In de internationale review van Sutton et al. (2015) is geconstateerd dat de uitstoot van NH₃ in 1990 in de landbouwsector is overschat, als gevolg van a) een overschatte emissiefactor voor mestverspreiding, b) onzekerheden in het stikstofgehalte van rundermest en c) onzekerheden in emissies door begrazing.¹¹ Daarnaast wordt gesteld dat de suboptimale inzet van emissie-reducerende technieken leidt tot een onderschatting van de hedendaagse uitstoot. Op basis hiervan is door Sutton et al. (2015) geconcludeerd dat de stikstofemissies uit landbouw minder snel zijn gereduceerd dan de geschatte neerwaartse trend van 64-70% tussen 1990 en 2015. Sutton et al.

(2015) schat de emissiereductie in deze periode in op 40-60%. Dit heeft geleid tot een aantal aanpassingen in het NEMA-model, onder andere in de stikstofexcretie uit mest (zie bijvoorbeeld Van Bruggen et al., 2018). De meest recente schatting van de Emissieregistratie is dat de totale emissies van NH_3 in de land- en tuinbouwsector zijn gedaald met 67% in de periode 1990-2015.²⁵

2.4.2 LML-netwerk

In de internationale review van Sutton et al. (2015) wordt geconcludeerd dat het LML-netwerk niet volledig representatief is voor de Nederlandse condities en dat het sluiten van twee meetpunten negatieve gevolgen heeft voor het bepalen van de langetermijntrend in de concentratie.¹¹ Ten eerste is een aantal meetpunten dichtbij de landsgrenzen geplaatst. Daarnaast zijn meetpunten, waar de invloed van veehouderij op de gemeten concentraties groot is, niet voldoende gerepresenteerd in het huidige LML-netwerk. Sutton et al. (2015) suggereerden om het huidige LML-netwerk uit te breiden met metingen volgens de mini-DOAS-methode. Sinds de Sutton-review is het aantal mini-DOAS-metingen niet uitgebreid.

2.4.3 MAN-netwerk

In de internationale review van Sutton et al. (2015) wordt het RIVM gecompimenteerd met hoeveelheid metingen die gedaan worden in het MAN-netwerk. Er worden tegelijkertijd vraagtekens geplaatst bij de kwaliteit van deze metingen, waardoor een correctie op de metingen moet worden toegepast die vergelijkbaar is met de achtergrondconcentratie. Sutton et al. (2015) concludeerden dat deze metingen niet kunnen worden gebruikt om verschillen in de NH_3 -concentratie tussen verschillende seizoenen te bepalen. In reactie hierop stelt het RIVM dat uit onderzoek blijkt dat na het toepassen van een kalibratie deze metingen wel degelijk 'fit-for-purpose' zijn.¹⁷ Daarnaast wijst het RIVM op publicaties waaruit blijkt dat:

- de Gradko-samplers fit for purpose zijn;²⁶
- de Gradko-samplers goed presteren ten opzichte van andere samplers, op basis van een veldonderzoek waarin verschillende meetmethoden werden vergeleken;²⁷
- er een aanpassing nodig is in de meetmethode (Martin et al., 2019), welke door het bedrijf dat de sensoren levert (Gradko) is toegepast.²⁸ Het RIVM stelt dat dit de metingen in het MAN-netwerk niet beïnvloedt omdat een kalibratie aan LML-metingen (mini-DOAS) plaatsvindt.

25. Compendium voor de Leefomgeving. (2019). Ammoniakemissie door de land- en tuinbouw, 1990-2017.

<https://www.clo.nl/indicatoren/nl0101-ammoniakemissie-door-de-land--en-tuinbouw>

26. Noordijk, H., Braam, M., Stolk, A.P., Van Pul, W.A.J., Wichink Kruit, R.J. (2018).

Quality of the Gradko passive samplers in the MAN monitoring network.. RIVM Report 2018-0105.

<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0105.pdf>

27. Stephens, A., Leeson, S., Jones, M., Simmons, I., Van Dijk, N., Poskitt, J., ... & C. Tang, S. (2017). Met NH_3 whim bog intercomparison: Off-line ammonia metrology intercomparison. Edinburgh, UK: Centre for Ecology and Hydrology.

<http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/517844/13/N517844CR.pdf>

28. Martin, N.A., Ferracci, V., Cassidy, N., Hook, J., Battersby, R.M., Amico di Meane, E., ... & Seidler, E. (2019).

Validation of ammonia diffusive and pumped samplers in a controlled atmosphere test facility using traceable

Primary Standard Gas Mixtures. Atmospheric Environment, 199, p. 453-462. doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.11.038

29. Wichink Kruit, R.J., Aben, J., De Vries, W., Sauter, F., Van der Swaluw, E., Van Zanten, M.C., Van Pul, W.A.J. (2017).

Modelling trends in ammonia in the Netherlands over the period 1990-2014.

Atmospheric Environment, 154, p. 20-30. doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.01.031

30. <https://www.rivm.nl/publicaties/trend-analysis-of-air-pollution-and-nitrogen-deposition-over-netherlands-using-emep4nl>

Het RIVM stelt verder dat overstappen op een ander type sensor niet wenselijk is, omdat dit leidt tot een discontinuïteit in de metingen.

2.4.4 Chemische omzetting

In de review van Sutton et al. (2015) is geconcludeerd dat de vorming van secundaire producten te simplistisch is gerepresenteerd in OPS.¹¹ Dit bemoeilijkt de analyse van de trend in atmosferische NH_3 -concentraties, omdat interacties tussen zwavelverbindingen en gereduceerde stikstofverbindingen bijdragen aan de afvlakking van de dalende trend in NH_3 -concentraties ondanks voortgezette daling in NH_3 -emissies. Het reviewteam concludeerde ook dat 'het OPS-model als empirisch statistisch model deze invloeden onvoldoende kan modelleren omdat het niet uitgaat van massabehoud bij de interactie tussen verschillende stoffen'. Ofwel, door verandering van de chemische omzettingsparameters in het model kan je weliswaar voor NH_3 tot verbeterde concentratieschattingen komen, maar dat kan niet getoetst worden aan de stoffen die in de interactie tussen de verschillende emissies (SO_2 , NO_x en NH_3) gevormd worden. Het review panel heeft dan ook geadviseerd om andere modellen te gebruiken die de gekoppelde chemie wel meenemen.

Het RIVM werkt aan een herziening van de modellering van de vorming van secundair fijnstof als antwoord op dit punt in de Sutton-review.²⁹

De herziene reactieconstanten zijn afgeleid uit het EMEP-model, een veelgebruikt model voor studies en beleidsvorming omtrent luchtkwaliteitsvraagstukken.

Daarnaast onderzoekt het RIVM het gebruik van raster-modellen (EMEP4NL).³⁰

Annex 3 Governance

Een model is geen statisch geheel. Nieuwe ontwikkelingen in de context waarin het model werkt, maar ook nieuwe kennis vragen om een voortdurende aanpassing van een model. Om adequaat op veranderende omstandigheden te kunnen inspelen is een governance-structuur vereist die dat mogelijk maakt.

Naast het up-to-date houden van het model is de governance-structuur ook van belang voor het beleggen van verantwoordelijkheden, het monitoren van processen en het garanderen van de onafhankelijkheid.

Daarom wordt in dit rapport de governance van de stikstofmeet- en modelleringssystematiek beschreven. In het geval van dit adviesrapport wordt er gefocust op de totale governance-structuur die van belang is voor de meet- en modelleringssystematiek. Dus de beschrijving zal naast het OPS-model ingaan op het volledige AERIUS-systeem. **De verbeteringen in het OPS-Model en het AERIUS-systeem kunnen namelijk niet volledig los van elkaar worden gezien.** Deze omschrijving van de governance is zoals deze was ten tijde van de PAS. De governance wordt op dit moment al herzien en de 'Rapportages Stikstof en Natuur' zijn in de tussentijd niet ingediend. Op dit moment bevinden we ons dus in een tussenfase.

De Emissieregistratie (ER) kent ook haar eigen governance-structuur die op dit moment al beoordeeld en herzien wordt in een separaat traject, waarbij de organisatie en datastromen worden bekeken. Dit adviesrapport zal daarom geen aparte toelichting en beoordeling geven over de governance-structuur van de ER, maar wel over hoe zij werkt (zie par. 3.2).

3.1 Afspraken en verantwoordelijkheid

Eigenaar van en systeemverantwoordelijke voor het AERIUS-systeem is het ministerie van LNV. Opdrachtgever voor doorontwikkeling is het collectief van drie opdrachtgevers: Min LNV, Min I&W en het IPO (namens de provincies). De werkzaamheden met betrekking tot het beheer en onderhoud van de rekenmethode AERIUS, waaronder OPS, zijn

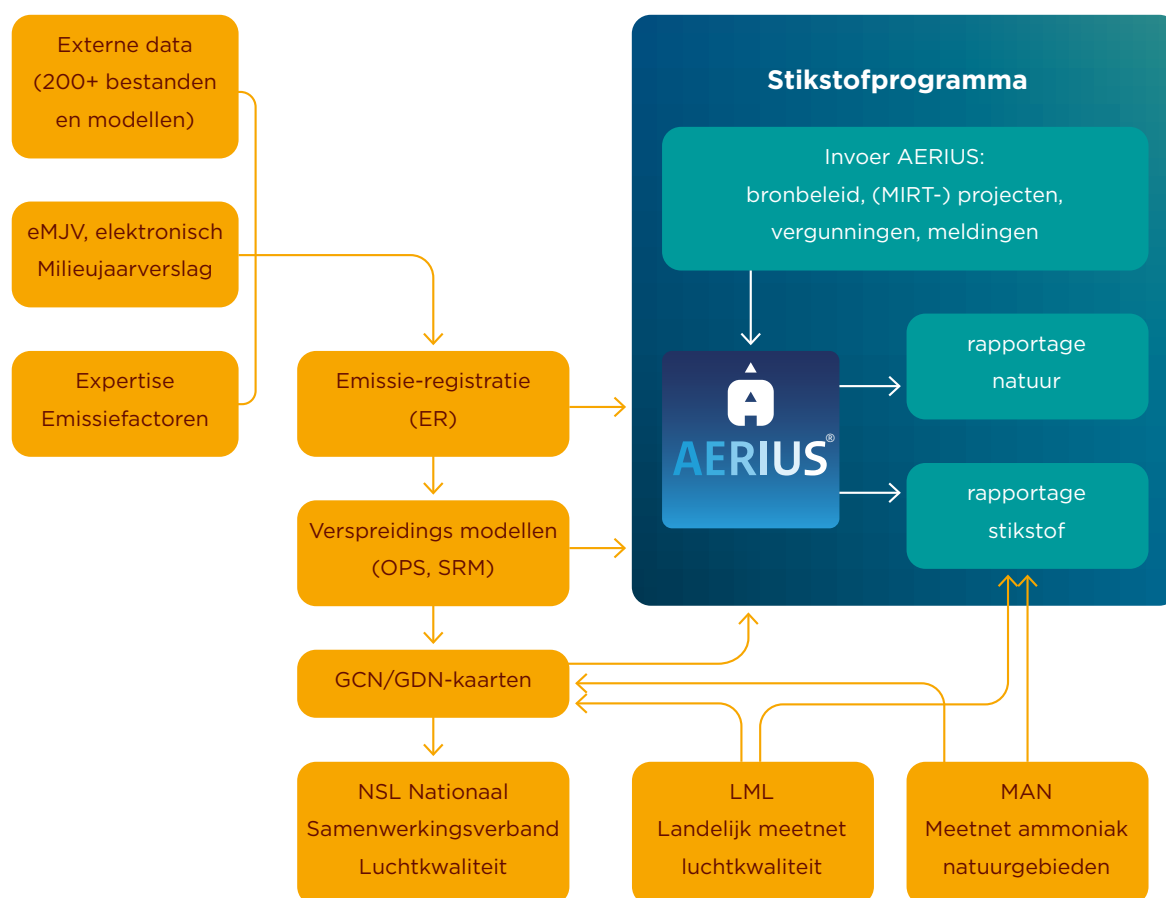
opgenomen in de Service Level Agreement (SLA) tussen het ministerie van LNV, het ministerie van I&W, IPO, BIJ12 en RIVM. **Deze is voor het laatst in september 2018 aangepast en ondertekend.**

Deze SLA blijft geldig totdat er een nieuwe wordt afgesloten. Het RIVM is naast verschillende andere partijen een belangrijke toeleverancier voor de AERIUS-systematiek. Het RIVM beheert namelijk het Emissieregistratiesysteem, ontwikkelt en valideert de verspreidingsmodellen, maakt de GCN/GDN-kaarten en evalueert de modelresultaten met metingen. **In de praktijk worden deze tools ook voor beleidsadvisering gebruikt. Dit kan in de vorm van een berekening van bronbijdragen aan de luchtkwaliteit of deposities zijn, maar ook voor scenarioberekeningen, assessments en wetenschappelijke onderbouwing van het beleid en natuuropgaven.**

3.2 Organisatiestructuur en betrokken actoren

Bij de governance van het AERIUS-systeem is een grote groep experts, zowel binnen als buiten het RIVM betrokken. De structuur van het AERIUS-model bestaat uit weliswaar samenhangende, maar aparte projecten. De verschillende functionaliteiten van het model worden dan ook los, maar niet onafhankelijk van elkaar aangestuurd. Naast medewerkers van het RIVM zijn er vele externe deskundigen betrokken bij scenario's, emissies, modellen en metingen, zoals onder andere Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Centraal Plan Bureau (CPB), Rijkswaterstaat (RWS), TNO, Centraal Bureau voor de statistiek (CBS), Wageningen University & Research (WUR), Deltares en Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Zoals in Figuur 2 aangegeven is AERIUS afhankelijk van veel verschillende datastromen die samenkomen in het model. AERIUS levert vervolgens een 'Rapportage Natuur' en een 'Rapportage Stikstof' op. De databronnen die de input leveren worden beheerd door verschillende organisaties. Het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) en het Meetnet Ammoniak Natuurgebieden (MAN) worden gebruikt om stikstofconcentraties in Nederland te meten. Deze

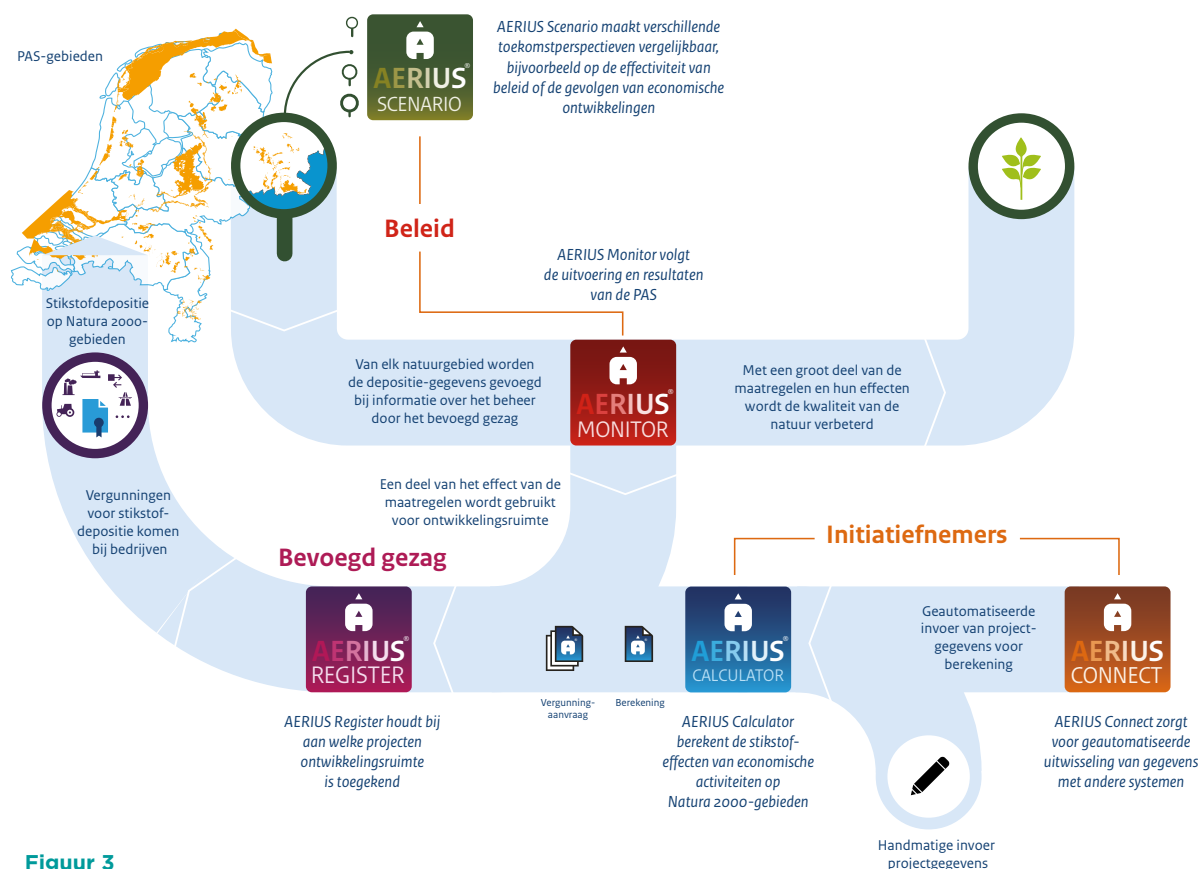


Figuur 2
Omgeving AERIUS/Stikstof-Programma (Bron: RIVM)

data komt terecht in de GCN/GDN-kaarten. Het RIVM heeft het beheer over deze twee meetnetten op basis van de wettelijke taken voor de (Europese) milieu-indicatoren. Naast de data uit deze meetnetten wordt er in AERIUS ook gebruik gemaakt van de vele databronnen uit de Emissieregistratie (ER) en de verspreidingsmodellen OPS en SRM-2 (t.b.v. wegverkeer) om uiteindelijk de stikstofdeposities te berekenen en vergunningen te kunnen verlenen. Maar ook de invulling van rapportages van de luchtkwaliteit (NSL) behoort tot de taken van het RIVM.

AERIUS vormt dus een hub tussen het natuurbesluit, de vergunningverlening en het meten en berekenen van de stikstofdeposities. Daarom dragen veel partijen een verantwoordelijkheid binnen het systeem.

In Figuur 3 is dit terug te zien. De organisaties die verantwoordelijk zijn voor het overheidsbeleid zijn het ministerie van LNV, het ministerie van I&W en de twaalf provincies. De bevoegde gezagen zijn de organisaties die verantwoordelijk zijn voor de vergunningverlening aan projecten waaraan ontwikkelingsruimte is toegekend. De verlening van vergunning door de bevoegde gezagen gebeurt op basis van de berekeningen uit AERIUS. BIJ12 levert hier de gebruikersondersteuning voor, maar is geen plaatsvervangend bevoegd gezag. De laatste belangrijke partij rond AERIUS zijn de initiatiefnemers van projecten die mogelijk stikstofemissies veroorzaken. Figuur 4 laat zien hoe de verschillende datastromen en de verspreidingsmodellen op elkaar inwerken. Een gedetailleerde toelichting is in voorgaande onderdelen van de annex beschreven.



Figuur 3

Verantwoordelijkheden AERIUS

3.3 Werkwijze doorontwikkeling AERIUS

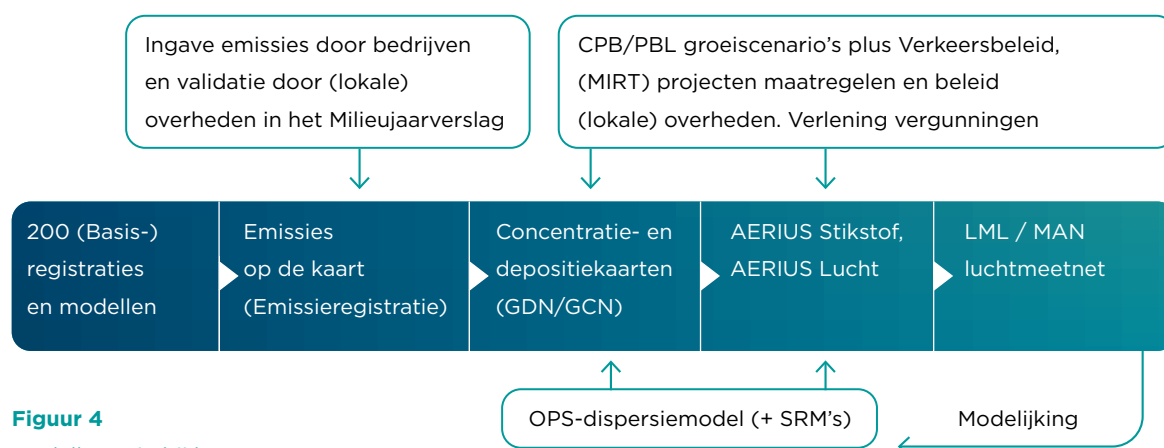
Besluiten over doorontwikkeling van AERIUS ten behoeve van het stikstofbeleid worden genomen door de Change Decision Board (CDB) en een Change Advisory Board (CAB). De doorontwikkeling is benodigd om recente wetenschappelijke kennis op te nemen met als doel om de onzekerheden in de berekeningen te reduceren. De CDB gaat over strategische beslissingen en staat onder voorzitterschap van het ministerie van LNV. Ten tijde van de PAS was dit de Regiegroep Natura2000 (niveau directeuren/MT). Na de uitspraak van de Raad van State van 21 mei 2019 werd dit het interdepartementale directeurenoverleg Stikstof. De CAB valt daaronder en wordt bemenst op projectleidersniveau.

De CAB beslist niet over het al of niet uitvoeren van de werkzaamheden aan AERIUS. Wel kan de CAB adviezen meegeven aan de CDB bijvoorbeeld over de prioritering van deze werkzaamheden. In beide groepen zijn de ministeries van LNV, I&W en Defensie, de twaalf provincies, het RIVM en BIJ12 vertegenwoordigd.

3.4 AERIUS Expertgroepen

De CAB en CDB worden ondersteund door drie AERIUS Expertgroepen. Deze AERIUS Expertgroepen zijn de Expertgroep Register, de Expertgroep Monitor en de Expertgroep Rekenmethoden. Daarnaast is er een interne RIVM-werkgroep die gaat over wijzigingen in het OPS-model en EMEP.³¹

31. RIVM. (2017, June 20). Wat doen de AERIUS-Expertgroepen? <https://www.aerius.nl/nl/nieuws/wat-doen-de-aerius-expertgroepen>



Figuur 4
Modelltrein bij het RIVM

3.4.1 Expertgroep AERIUS Register

De Expertgroep Register staat onder voorzitterschap van het RIVM, het Ministerie van LNV is opdrachtgever. Deze groep gaat over het AERIUS Register dat bijhoudt welke projecten ontwikkelingsruimte (ruimte om stikstof emitterende activiteiten uit te voeren) hebben. Aan deze groep nemen de twaalf provincies, het Ministerie van LNV, het Interprovinciaal Overleg (IPO), Rijkswaterstaat (RWS), de Omgevingsdiensten (regionale uitvoeringsdiensten) en het RIVM deel.

De Expertgroep Register werkt, samen met de functioneel beheerders van AERIUS, technisch inhoudelijke zaken uit en toetst onderling hoe deze zich verhouden tot het AERIUS Register. Daarmee vervult de Expertgroep drie rollen. Ten eerste adviseert de Expertgroep zowel de CAB als de CDB. In deze rol kan de Expertgroep benut worden om vraagstukken over de ontwikkeling van Register en aanverwante producten uit te werken **en ter besluitvorming voor te leggen aan deze twee groepen**. Ten tweede fungeert de Expertgroep als adviseur/klankbord van de functioneel beheerder van AERIUS bij het ontwikkelen van nieuwe functionaliteit. Ten derde is de Expertgroep verantwoordelijk voor de formele acceptatie van nieuw ontwikkelde functionaliteit. De Expertgroep kan indien nodig vragen om bij de acceptatie meer gebruikers te betrekken.

De Expertgroep Register adviseert vanuit gebruikersperspectief over de inhoud en prioriteit van de functionele ontwikkelingen voor AERIUS Register. Zij adviseert zowel de CAB als de Product Owner (PO), die eindverantwoordelijk is voor AERIUS.

3.4.2 Expertgroep AERIUS Monitor

Net als bij de Expert Groep Register vervult het RIVM bij de Expertgroep Monitor de voorzittersrol en het ministerie van LNV de opdrachtgeversrol. Het ministerie van LNV, het ministerie van I&W, RWS, IPO, PBL en het RIVM zijn vertegenwoordigd in deze expertgroep.

De deskundigen in de Expertgroep Monitor voorzien de Product Owner (PO) van input over hoe AERIUS Monitor (overzicht waarbij de depositiewaarden en herstelmaatregelen worden bijgehouden) de uitvoering van werkzaamheden voor het stikstofbeleid optimaal kan ondersteunen. De deskundigen doen dat vanuit hun eigen achtergrond en/of voor hun eigen werkveld. De Expertgroep helpt de PO om prioriteiten en wensen van een duiding te voorzien.

Voor de AERIUS (Monitor) is de ontwikkeling en beslissingsbevoegdheid belegd bij de gedelegeerde opdrachtgever en de projectleider. Zij kunnen binnen de kaders en randvoorwaarden van de opdracht

gezamenlijk beslissingen nemen. De Expertgroep speelt een cruciale rol in die besluitvorming. De leden van de expertgroep hebben als taak de ontwikkeling van Monitor vanuit het gebruikersperspectief (overheden en ondernemers) in te vullen. Zij zullen dus veel voorstellen voor besluitvorming aandragen, dan wel reflecteren op voorliggende keuzes. Op het moment dat (ongeacht de oorzaak) het resultaat van het project in gevaar komt (impediment) wordt dit aan de Regiegroep gemeld. Reguliere voortgang wordt door de projectleider besproken met de gedelegeerde opdrachtgever. Die kan zo nodig de Regiegroep hierover informeren.

3.4.3 Expertgroep Rekenmethoden AERIUS

De derde Expertgroep gaat over de Rekenmethoden van AERIUS. Deze groep heeft eveneens het RIVM als voorzitter en het Ministerie van LNV als opdrachtgever. Deelnemers aan deze expertgroep zijn het ministerie van LNV, het ministerie van I&W, IPO en RWS.

De Expertgroep rekenmethoden AERIUS doet voorstellen voor aanpassingen in de rekenmodellen en gerelateerde methodieken die worden toegepast in AERIUS. Daarmee borgt de Expertgroep dat de berekeningen voldoende betrouwbaar zijn en blijven (juridisch voldoende robuust). De Expertgroep werkt daarbij als een klankbord voor inhoudelijke discussie. In de Expertgroep wordt de onderzoeksagenda besproken en geprioriteerd. Deze wordt vervolgens voor besluitvorming voorgelegd aan de CDB. De besluitvorming gaat niet over de wetenschappelijke inhoudelijke items van de onderzoeksagenda. Voor de laatste is RIVM verantwoordelijk. Om werkzaamheden te prioriteren en uit te voeren zijn zowel de partnerorganisaties als (onafhankelijke) experts onderdeel van de werkgroep.

3.4.4 Interne werkgroep modellering OPS en EMEP

Binnen het RIVM is er de werkgroep modellering OPS en EMEP waarin de inhoudelijke aspecten van model-aanpassingen besproken worden. Hierin wordt ook de prioritering van de inhoudelijke items besproken. De lijst wordt ter informatie (dus niet ter besluitvorming) aan de CBD gestuurd en meegenomen in het GCN-overleg.

3.5 Rapportage en bekendmaking

De wijzigingen in AERIUS en het onderliggende OPS-model worden op verschillende manieren bekendgemaakt. De belangrijkste verbeteringen van het OPS-model staan jaarlijks vermeld in de GCN/GDN-rapportages.³² Van elke wijziging wordt een **testrapportje** gemaakt om vast te leggen wat de effecten van de verbetering is, het RIVM zorgt voor de interne documentatie hiervan. De verbeteringen liggen ook vast in de documentatie van het model, deze is publiek beschikbaar.³³

Voor een overzicht van alle wijzigingen in het OPS-model wordt een apart document bijgehouden dat publiek beschikbaar is via de website van het RIVM. Bij AERIUS worden methoden en verbeteringen gedocumenteerd via de website door middel van actuele factsheets. **Dit geldt ook voor de reviews die gedaan zijn van het model.**

32. RIVM. (2019, July 11). Depositiekaarten. <https://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten/depositiekaarten>

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

34. Nielsen et al. (2019): Annual Danish informative inventory report to UNECE. <https://dce2.au.dk/pub/SR313.pdf>

Annex 4

Stikstof meet- en modelinstrumentarium in het buitenland

In het politieke debat over het Nederlandse stikstofbeleid wordt nogal eens verwezen naar de ons omringende landen. Het is altijd relevant om methodieken te vergelijken en zo voor de beste optie te kiezen. Welke optie het beste is, is uiteindelijk afhankelijk van het beleidsdoel. Deze Annex bevat een schets van de manier waarop Denemarken, Duitsland en Vlaanderen hun stikstofmeet- en modelinstrumentarium hebben vormgegeven.

De kern van de vergelijking betreft de implementatie van de Europese Habitatrichtlijn. Die regelt de bescherming (= een goede staat van instandhouding) van natuurgebieden die onderdeel uitmaken van het Europese Natura 2000-netwerk. Stikstof vormt een bedreiging van de natuurgebieden. Lidstaten mogen zelf beslissen hoe zij de impact van stikdeposities meten.

De vergelijking tussen landen laat zien hoe verschillend zij hun meet- en modelinstrumentarium vormgegeven. Daarbij moet in acht worden genomen dat niet is vastgesteld of de gebruikte modellen in Denemarken, Duitsland en Vlaanderen verenigbaar zijn met de Vogel- en Habitat Richtlijn.

4.1 Denemarken

4.1.1 Registratie van emissies

In Denemarken levert de landbouwsector de grootste bijdrage aan de totale Deense NH₃-uitstoot.³⁴ De huidige NH₃-emissieregistratie voor Denemarken is gebaseerd op informatie over activiteiten op bedrijfsniveau (het niveau van een enkele boerderij). Daarnaast houdt zij rekening met lokale agroactiviteiten die een significante rol kunnen spelen in tijdsgebonden variaties in emissies. Deze variaties zijn onderverdeeld in vijftien typen agroactiviteiten en een zestiende functie die rekening houdt met verkeer en vervoer.

De Deense Emissieregistratie is gebaseerd op activiteitsgegevens op basis van statistieken uit nationale databases. Een gestandaardiseerde NH₃-emissie voor elk veehouderijbedrijf en bijbehorende gronden wordt vastgesteld op basis van informatie over het type en aantal dieren en het type gewas. De registratie genereert de totale jaarlijkse NH₃-emissie van geïdentificeerde puntbronnen in Denemarken. Daarnaast worden ook meegenomen de emissies van gebieden, zoals de emissies die landbouwgronden produceren door de groei van gewassen en bemesting. Deze gebieden zijn verdeeld in een raster van 100m x 100m.

De Deense NO_x-emissies uit verkeer worden berekend op basis van emissiefactoren en gegevens over de voertuigvloot. Een andere grote bron vormt de energie-industrie. Grote NO_x-puntbronnen worden geregistreerd op basis van metingen en specifieke emissiefactoren. De resterende bronnen zijn in kaart gebracht op basis van brandstofverbruik en sector-specifieke emissiefactoren.

4.1.2 Overzicht van het concentratie- en depositiemeetnet

In Denemarken wordt de nationale luchtverontreiniging en de stikstofconcentratie gemeten door middel van een meetnet bestaande uit acht primaire meetstations die op uurlijkse tijdschaal meten. Onder andere worden met deze meetstations de natte stikstofdepositie (ammonium en nitraat) en droge stikstofconcentraties gemeten. Naast deze acht meetstations wordt er ook gebruik gemaakt van een groter aantal kleinere meetstations die op basis van maandelijkse gemiddelden NH₃ en ammonium meten in de buurt van stikstofgevoelige gebieden. Het totale meetnet in Denemarken is weergegeven op onderstaande kaart (figuur 5).

De totale stikstofdepositie wordt gemonitord in de vorm van natte depositie en droge depositie. De natte depositie wordt gemeten met bulk samplers. Droge depositie wordt berekend door de concentraties in de lucht te meten en deze te vermenigvuldigen met de depositiesnelheid. De depositiesnelheid is



Figuur 5.

Overzicht van het Deense meetnetwerk voor ammoniak. Bron: Reinds et al. (2019)³⁵.

bepaald aan de hand van meteodata verkregen door middel van het MM5-model als onderdeel van het Deense THOR-systeem.

De depositiewaarden op water zijn gebaseerd op de gemiddelde waarden van de monitoringsstations op de Deense eilanden, waarbij wordt aangenomen dat deze waarden representatief zijn voor mariene condities. De depositie op land wordt berekend op basis van de gemiddelde waarden van de monitoringsstations op land.

4.1.3 Modevaluatie en -kalibratiemethode

In het Deense stikstofprogramma wordt de verspreiding en depositie gemodelleerd met behulp van verschillende modellen voor de verschillende schalen. Op nationaal niveau gebeurt dit met het langeafstandstransportmodel DEHM (Danish Eulerian Hemispheric Model). Op lokaal niveau is dit het lokale dispersiemodel OML-DEP (Operationeel Meteorologisch Luchtkwaliteitsmodel). Het DEHM is te

gebruiken voor verschillende resoluties variërend van nationaal tot Europees en zelfs op het niveau van het noordelijk halfrond. DEHM is gevalideerd met de EMEP-data op Europees niveau en vergeleken met lokale modellen en geeft hierbij goede resultaten. De nationale achtergrondconcentratie en depositie worden op de resolutie van 5.6 x 5.6 km berekend. De droge depositie van NH₃ wordt berekend met het Danish Ammonia Modelling System (DAMOS). Deze berekening wordt routinematig toegepast op 129 natuurgebieden verspreid over het land en vergeleken met de resultaten van meetacties (Campaign Measurements). Het DAMOS-model combineert DEHM en het lokale OML-DEP zodat er een lokale schaal van 400 x 400 m gebruikt kan worden in een aantal gebieden (van 16 x 16 km) waar gedetailleerde emissiegegevens benodigd zijn. In het OML-DEP wordt rekening gehouden met verschillende niveaus van omgevingsruwheid van de natuurgebieden en verschillende windrichtingen. Dit is benodigd om de effecten van specifieke bronnen door te rekenen.³⁵

³⁵.Reinds et al. (2019). Ammonia regulations in northern Europe. <https://dce2.au.dk/pub/SR321.pdf>

³⁶.Convention on Long-range Transboundary Air Pollution onder de Economische Commissie voor Europa van de Verenigde Naties (UN-ECE).

4.2 Duitsland

4.2.1 Registratie emissies

In Duitsland coördineert Umweltbundesamt (UBA) de emissieregistratie waarbij een groot aantal experts van andere instellingen op de verschillende deelsectoren betrokken zijn.

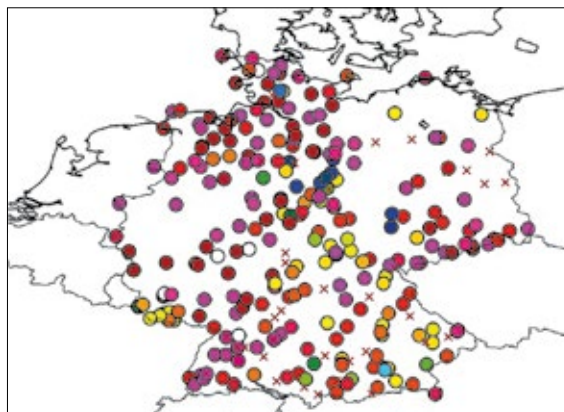
De landbouwemissies en dus ook die van NH_3 worden berekend aan de hand van het GAS-EM-model (Rosemann et al., 2019) van het Von Thünen Instituut. In dit model worden op basis van dieraantallen per district de emissies berekend. Deze emissies worden aan de hand van landgebruik verder verdeeld. Dierenaantallen of emissies per bedrijf zijn niet beschikbaar.

4.2.2 Overzicht van het concentratie- en depositiemeetnet

In Duitsland zijn de deelstaten verantwoordelijk voor de monitoring van luchtkwaliteit en depositie naar natuur. Daarnaast monitort het UBA de luchtkwaliteit op een aantal (afgelegen) achtergrondlocaties om aan verplichtingen voor internationale conventies te voldoen, zoals bijvoorbeeld CLRTAP-EMEP.³⁶ Het werkt met continu bemande meetstations (7) en een beperkt aantal (13) aanvullende onbemande stations. UBA verzamelt alle gegevens van de meetnetwerken in de deelstaten in een consistente database.

In Duitsland wordt op 412 locaties NO_x met automatische monitoren gemeten. Het overgrote deel van deze stations bevindt zich in stedelijk gebied en ongeveer een derde van de stations is een straatstation.

NH_3 wordt voornamelijk met passieve monsterneming gemeten. Er zijn 73 locaties opgenomen in de UBA-databank. De metingen vinden plaats met verschillende resolutie variërend tussen één, twee of vier weken. Op een beperkt aantal locaties vinden actieve



Figuur 6.

Locaties in Duitsland waar natte depositie gemeten wordt.

metingen of andere referentiemetingen plaats, voornamelijk op stations die door een wetenschappelijk instituut worden beheerd.

Afhankelijk van de deelstaat zijn er relatief veel meetpunten voor natte depositie beschikbaar in Duitsland (zie figuur 6). De meetdichtheid verschilt per deelstaat zoals blijkt uit de vergelijking van het aantal stations tussen Noordrijn-Westfalen en Nedersaksen. Dit komt met name omdat er in de meeste deelstaten meerdere netwerken operationeel zijn (met focus op luchtkwaliteit, natuur, bosbouw, en waterkwaliteit). Al met al worden er gedurende recente jaren voor ongeveer 230 stations meetreeksen gerapporteerd. Enkele tientallen punten worden met wet-only samplers bemeten, de rest met bulksamplers.

Een groot aantal stations (94) voor natte depositie in bosgebieden is gecombineerd met doorvalmetingen, waarbij regenwater dat door het bladerdek naar de bodem valt opgevangen wordt. Hieruit worden schattingen voor de totale depositie afgeleid aan de hand van aannames over stofuitwisseling.

Metingen van stikstofverbindingen in fijnstof zijn op zes UBA-stations en voor stations in een aantal steden beschikbaar. Wetenschappelijke studies naar droge depositie van stikstof vinden plaats op basis van meetcampagnes door het Von Thünen Institut.³⁷

4.2.3 Achtergronddepositiekaarten

Depositie van stikstofverbindingen vindt plaats via drie paden: droge, natte en occulte (verwijdering van verzurende componenten uit de lucht via nevel of mist) depositie. In de kartering van de achtergrond-depositie voor Duitsland worden de depositiefluxen voor deze drie manieren aan de hand van een combinatie van modellering en empirische methoden bepaald op een rooster van 1x1 km. In dit proces worden vier stappen gezet:

1. Berekening van de depositie- en concentratievelden op basis van gegevens over emissies en meteorologie met behulp van een chemisch transportmodel (resultaat: droge depositie per landgebruikstype). Droge depositie wordt momenteel alleen experimenteel bepaald in wetenschappelijke projecten; er bestaat daarvoor geen meetnetwerk. De berekening van de droge depositie wordt daarom uitgevoerd met behulp van het luchtkwaliteitsmodel LOTOS-EUROS. LOTOS-EUROS is een raster (een model dat een gebied opdeelt in vierkante zones) dat uur voor uur de concentraties en depositie van stikstofcomponenten berekent voor elke zone, rekening houdend met transport, chemie, en depositieprocessen. Het model gebruikt dezelfde module (DEPAC) voor de droge depositie als OPS welke rekening houdt met een compensatiepunt voor ammoniak. Het model wordt voor Duitsland met een raster van ongeveer 7 x 7 km toegepast. De belangrijkste input voor het model vormen meteorologische gegevens, en gegevens over landgebruik en emissies van officiële Duitse rapportage. De ruimtelijke verdeling van de emissies is afkomstig van de UBA gridding tool voor emissies (GRETA). De meteorologische gegevens komen van het European Centre of Medium Range Weather Forecasting (ECMWF).

2. Berekening van de natte depositievelden op basis van een geo-statistische interpolatie van meetgegevens (resultaat: natte depositie). Voor het in kaart brengen van de natte depositie worden de gemeten concentraties in regenwater over Duitsland geïnterpoleerd met een geo-statistische methode (residual kriging) waarbij ook de informatie over deze ruimtelijke verdeling uit het chemietransportmodel wordt gebruikt. Het verkregen veld wordt vermenigvuldigd met een hoge resolutie neerslagkaart (1x1 km) van de Deutsche Wetterdienst om tot een kaart van de natte depositieflux te komen.
3. Om de occulte depositie te bepalen wordt allereerst de depositie van wolkenwater (concentratie in wolkendeeltjes) naar de vegetatie berekend aan de hand van weersgegevens. De concentratie van stikstof in het wolkenwater wordt geschat aan de hand van empirische verhoudingen tussen de concentraties in regen en wolkenwater. Deze twee worden met elkaar vermenigvuldigd om tot de occulte flux te komen. Deze soort depositie is alleen belangrijk in de Duitse midden- en hooggebergtes.
4. Transformatie van de resultaten naar het officiële Duitse 1 x 1 km-rooster en optelling van alle deelfluxen tot de totale depositie met een ruimtelijke resolutie van 1 x 1 km (resultaat: totale depositie per landgebruikstype).

4.2.4 Kalibratie

In principe wordt de natte depositie, berekend door LOTOS-EUROS, vervangen door de geïnterpoleerde metingen. Aangezien de gemodelleerde regenwaterconcentraties een rol spelen, zou het ook geïnterpreteerd kunnen worden alsof deze gekalibreerd worden aan de hand van metingen, waarna ook de hoge resolutie gradiënten in neerslag toegevoegd wordt. De droge depositie wordt niet gekalibreerd met concentratiemetingen.

Gedurende de laatste jaren is er veel aandacht uitgegaan naar de consistentie tussen de modellering van LOTOS-EUROS en metingen. Het is van belang dat

het model de bijdragen van de verschillende paden zo goed mogelijk weergeeft, omdat aan massa-behoud niet voldaan wordt door de vervanging van de natte depositiekaart. Over de jaren zijn hier steeds verbeterstappen gemaakt waardoor de performance in vergelijking tot de natte depositie en concentratiemetingen verbeterd is.

LOTOS-EUROS wordt vergeleken met alle beschikbare monitoringsdata, doet mee aan internationale vergelijkingsstudies, en gebruik van satellietdata voor validatie wordt verkend.³⁸

4.2.5 Beoordeling van projecten

De achtergronddepositiekaart wordt door UBA ter beschikking gesteld aan de deelstaten en de vergunningverlening.

Voor de vergunningverlening wordt door ingenieursbureaus met gecertificeerde transportmodellen de concentratieverdeling van nieuwe bronnen berekend. Aan de hand van in tabellen opgemaakte droge depositiesnelheden (VDI) per landgebruiksklasse wordt de extra droge depositie van een project bepaald.

Er vindt geen dubbeltellingscorrectie plaats aan gezien gevoeligheidsruns hebben aangetoond dat de bijdrage van de emissie van een enkele bron binnen de 7 km x 7 km vlakken van LOTOS-EUROS verwaarloosbaar klein was.

4.3 Vlaanderen

4.3.1 Registratie emissies

De manier waarop de NO_x-emissies in Vlaanderen voor de land- en tuinbouw worden geschat is op basis van de methodiek zoals beschreven in het EMEP/EEA Guidebook 2016.³⁹ Het EMEP/EEA Guidebook vormt

ook de leidraad voor de vaststelling van de emissies vanuit de transport- en verkeerssector. In de energie-sector worden de NO_x-emissies continu gemeten, er vindt hier een kleine bijschatting plaats op basis van emissiefactoren voor de missende metingen.

Het Emissiemodel Ammoniak Vlaanderen (EMAV) wordt gebruikt voor het berekenen van de NH₃-emissie. Dit model omvat de verschillende emissiestadia voor de veeteelt: de stal, de mestopslag, mestverspreiding en het beweiden. Ook worden de NH₃-emissies van het kunstmestgebruik en mestverwerkingen hierin meegenomen. De belangrijkste leverancier van data voor het EMAV-model is de mestbank, ofwel VLM (Vlaamse Landmaatschappij).⁴⁰

Sinds 2017 is het EMAV-model voor de berekening van de NH₃-emissie uit de land- en tuinbouwsector geactualiseerd. Er kunnen nu invoergegevens gebruikt worden met meer detaillering, zoals de lijst 'meest actuele ammoniakemissiearme stalsystemen'. Dit betekent dat onder andere de geografische toekenning van de emissies door het uitrijden van dierlijke mest en kunstmest zijn uitgebreid en dat het beeld van de NH₃-emissie bij mestverwerking aangepast is. Ook zijn er een prognosetool en een bedrijfstoel toegevoegd, die boeren helpen om zelf de NH₃-emissie te berekenen en te rapporteren.

In EMAV wordt gebruik gemaakt van de data met het meeste detail. Belangrijke inputdata zijn bijvoorbeeld de mestverwerkingstechnieken, emissiecoëfficiënten en hun geografische ligging. Hierdoor wordt er een beeld gegeven van de NH₃-emissie die vrijkomt bij de mestverwerking in Vlaanderen. Daardoor is het EMAV-model in staat om nieuwe maatregelen door te rekenen. Het EMAV-model heeft zijn eigen stuurgroep

37. Schaap, M., Wichink Kruit, R., Hendriks, C., Kranenburg, R., Segers, A., Bultjes, P., & Banzhaf, S. (2017). Modelling and assessment of acidifying and eutrophying atmospheric deposition to terrestrial ecosystems (PINETI2) (Report No. (UBA-FB) 002525/1,ENG). Umweltbundesamt website: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

38. Umweltbundesamt. (n.d.). German Informative Inventory Report. <https://iir-de.wikidot.com>

39. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/download>

40. Vlaamse Milieu Maatschappij. (n.d.). Ammoniak. <https://www.vmm.be/lucht/verzuring-en-vermesting/ammoniak>

**Figuur 7.**

Meetnet verzurende en vermestende depositie Vlaanderen

die verantwoordelijk is voor de aanpassingen die nodig zijn in het model. Het gaat hier over beleidsmaatregelen, maar ook over nieuwe wetenschappelijke inzichten. Deze stuurgroep bestaat uit zowel inhoudelijke experts als gebruikers en verantwoordelijken.⁴¹

4.3.2 Overzicht van het concentratie- en depositiemeetnet

De Vlaams Milieumaatschappij (VMM) meet NO_x zowel met automatische monitoren als met passieve samplers. In 2017 gebruikte de VMM zestien industriële, drie stedelijke, negen voorstedelijke, negen landelijke en drie verkeersgerichte automatische meetstations voor de NO_x -berekening van het virtueel gemiddelde. Er waren acht meetplaatsen met automatische monitoren die de zones benaderen waarop het kritieke niveau van toepassing is en negen meetplaatsen met passieve samplers. De NO_2 -metingen met passieve samplers worden omgezet naar NO_x -concentraties met omzettingfactoren op basis van de automatische monitoren.

Metingen van NH_3 -concentraties worden gedaan door middel van passieve samplers en monitoren op **achtien** plaatsen in Vlaanderen. Op negen plaatsen wordt gebruik gemaakt van metingen van natte

stikstofdepositie door middel van een natte depositievanger en een pluviometer in het zogenaamde meetnet verzurende en vermestende depositie. Op dezelfde locaties worden ook de concentraties van NH_3 , SO_2 en NO_2 in de lucht gemeten met passieve samplers. Deze metingen worden gebruikt om de gemodelleerde deposities in Vlaanderen te kalibreren. Daarnaast zijn er nog negen extra meetpunten.⁴²

De VMM rapporteert ook de resultaten voor NH_3 op vijf meetplaatsen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), deze worden niet gebruikt voor de kalibratie. Zie figuur 2 voor het meetnet Ammoniak. Er zijn twee plekken in Vlaanderen waar de NH_3 met automatische monitoren in meetstations wordt gemeten. Het type monitor is mini-DOAS en genereert elk half uur een resultaat. **Gedurende één jaar (voorjaar 2015-voorjaar-2016) is er in Vlaanderen op 106 locaties NH_3 gemeten in natuurgebieden.**⁴³

4.3.3 Modevaluatie en -kalibratiemethode

Op basis van de data gegenereerd door de meetnetten met automatische monitoren en passieve samplers wordt het Vlaamse stikstofmodel gekalibreerd. De berekeningen ten behoeve van de vergunningen worden gedaan door het VLOPS-model (Vlaams Operationeel Prioritaire Stoffenmodel). Het VMM

41. De Pue, D. (2019). Insights into the spatially differentiated control of ammonia emissions from livestock farming in Flanders (Doctoral dissertation, Gent University, Gent, Belgium).

42. Vlaamse Milieu Maatschappij. (n.d.). Depositie. <https://www.vmm.be/lucht/verzuring-en-vermesting/depositie#section-0>

43. Vlaamse Milieu Maatschappij. (2018). Monitoringsplan VMM: jaarlijkse rapportering van emissies, concentraties en modelresultaten voor NO_x en NH_3 – editie 2018.



Figuur 8.

Meetnet Ammoniak Vlaanderen

beheert dit model evenals de achtergronddepositie-kaarten in de Impactscore-tool en het EMAV-model (Emissiemodel Ammoniak Vlaanderen) voor de NH_3 -emissieberekeningen. Deze modellen worden doorlopend verbeterd en uitgebreid. Samenvattend wordt er in Vlaanderen gebruik gemaakt van:

- het EMAV-model voor de NH_3 -emissieberekeningen;
- het VLOPS-model voor de berekeningen van de jaargemiddelde verzurende en vermestende deposities in Vlaanderen;
- de koppeling VLOPS-IFDM als rekenhart voor de Impactscore-tool.

4.3.3.1 Het Vlaams Operationeel Prioritaire Stoffenmodel (VLOPS)

Het Vlaams Operationeel Prioritaire Stoffenmodel (VLOPS) is een atmosferisch transportmodel dat gebaseerd is op het OPS-model en ook op dezelfde wijze werkt. Net als OPS gebruikt VLOPS een resolutie van 1×1 km. Het model gebruikt emissiedata, meteorologische gegevens en gegevens over het landgebruik om de concentratie en depositie van stikstof te berekenen. De gegevens over de emissie komen uit het hierboven omschreven EMAV-model en de Emissie Inventaris Lucht, die beheerd worden door het VMM.

Het EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) en het E-PTR (The European Pollutant Release and Transfer Register) worden gebruikt voor de emissiegegevens voor bronnen vanuit het buitenland.

Net zoals in Nederland wordt voor de VLOPS-kaarten elk jaar de volledige tijdreeks met de nieuwste versie van het model en de data uitgerekend. Hierdoor wordt het mogelijk om wijzigingen te toetsen en de effecten van nieuwe onderdelen mee te nemen.⁴⁴

4.3.3.2 VLOPS-IFDM

Op basis van een studie naar de mogelijkheden van VLOPS is het VLOPS-IFDM ontwikkeld. Dit model vormt nu de basis voor de Impact score-tool. Het doel van deze ontwikkeling was om de depositiesnelheden op basis van de verschillende vegetatietypes mee te nemen en ook een gedetailleerde en meer lokale modellering toe te passen. De resultaten van de grootschalige VLOPS-kaarten en de lokale IFDM-berekeningen worden gecombineerd. Door deze combinatie kan worden bepaald of er sprake is van overschrijding van de Kritische Depositie Waarden in een habitat.⁴⁵

44. De Pue, D. (2019). Insights into the spatially differentiated control of ammonia emissions from livestock farming in Flanders (Doctoral dissertation, Gent University, Gent, Belgium).

45. Vlaamse Milieu Maatschappij. (2017, June). Berekening ammoniakemissie in de landbouw verijnd. <https://www.vmm.be/nieuwsbrief/juni-2017/berekening-ammoniakemissie-in-de-landbouw-verijnd>

Annex 5

Mogelijke bijdrage satellietmetingen

Het aantal meetpunten met nauwkeurige metingen van NH_3 en NO_2 aan de grond in Nederland is beperkt. Deze metingen kunnen verder beïnvloed worden door lokale bronnen, en vanwege de sterke mate van variabiliteit in de concentraties is het lastig de data van het meetnet te vertalen naar totale budgetten (totale emissies en depositie) van reactief stikstof. Daarom is het van belang om te kijken of satellietmetingen bij kunnen dragen aan het verbeteren van – en kwantificeren van de onzekerheden in – de modellen, met name voor betere schattingen van de emissie en depositie.

Satellietmetingen zijn in hoge mate complementair aan de grondmetingen, maar kunnen grondmetingen niet vervangen. Satellieten meten niet direct concentraties aan de grond en hebben momenteel een beperkt ruimtelijk oplossend vermogen. Het meetnet (LML + MAN) blijft essentieel om deze ruimtelijke informatie te verschaffen. Satellietmetingen zijn vrij beschikbaar, en kunnen daarom zonder grote extra kosten meegenomen worden in de berekeningen. Satellietmetingen zijn relatief nieuw, en mede daarom is er (wetenschappelijk) onderzoek nodig om de informatie in de satellietmetingen optimaal te benutten. Voor het optimaal benutten van satellietmetingen is het nodig om modellen zoals LOTOS-EUROS of EMEP te gebruiken die per uur de actuele verdeling van reactief stikstof modelleren. Het OPS-model dat met jaarlijks gemiddelden werkt, is hier niet geschikt voor.

5.1 De verschillende satellietmetingen

De twee grote emittenten in het stikstofdebat – NH_3 en NO_2 – worden beide waargenomen vanuit de ruimte door meerdere satellietinstrumenten. NH_3 is te bepalen met behulp van metingen in het infrarood, NO_2 met metingen in het blauwe deel van het zichtbare spectrum. Daarom zijn er verschillende satellietinstrumenten nodig om beide componenten te meten.

De belangrijkste instrumenten voor het meten van NH_3 :

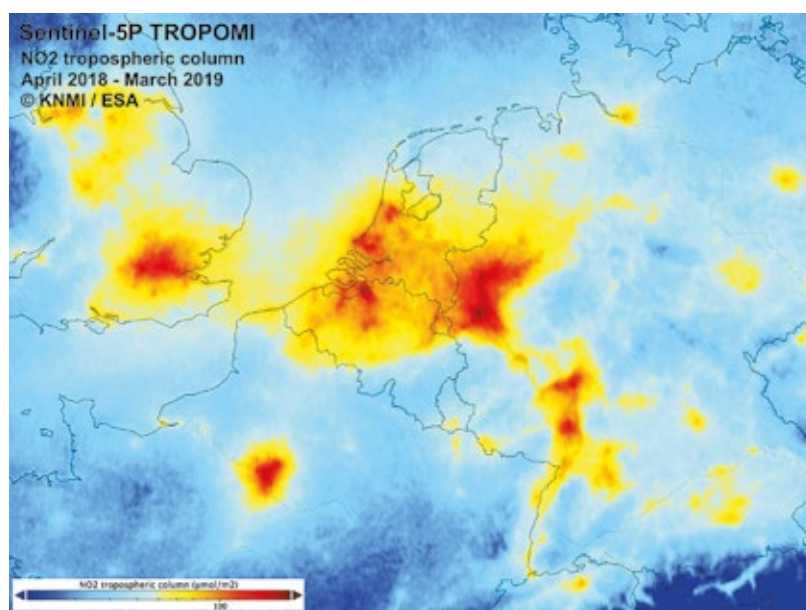
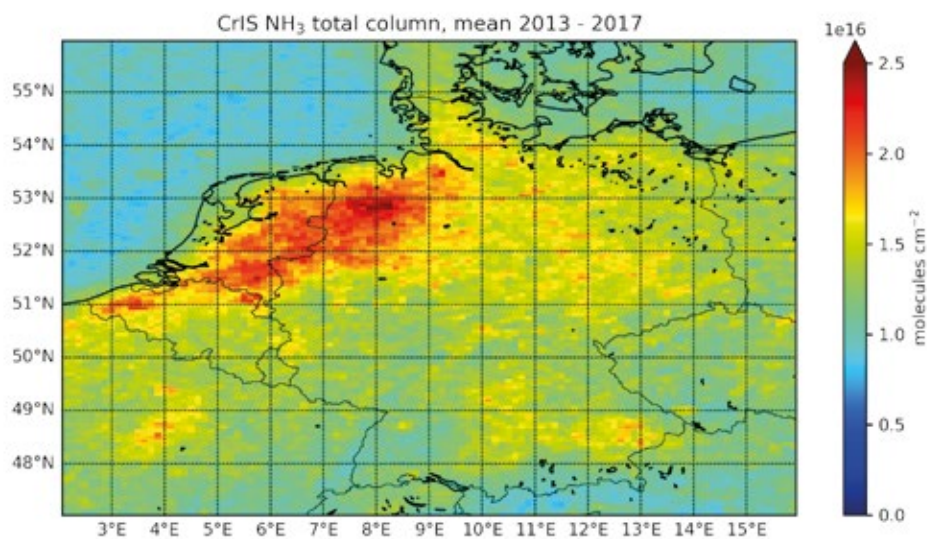
- het CrIS-infrarood-instrument op de JPSS-satelliet van NOAA (USA). Dit instrument geeft momenteel NH_3 -metingen met de kleinste onzekerheid. Figuur 9 geeft een voorbeeld van de CrIS-metingen;
- het IASI-instrument op de METOP-satellieten van EUMETSAT (Europa). Een voordeel van deze metingen is dat deze operationeel zijn. Een ander voordeel is de lange tijdreeks die beschikbaar is – vanaf 2007 – en verder beschikbaar zal komen. Er zijn drie METOP-satellieten na elkaar gelanceerd die een periode van 20 jaar bestrijken.

De belangrijkste instrumenten voor het meten van NO_2 :

- het (wereldwijd) meest geavanceerde instrument voor NO_2 is momenteel TROPOMI op de EU Copernicus satelliet Sentinel-5P. TROPOMI is in Nederland ontworpen en gebouwd. TROPOMI is gelanceerd in oktober 2017, en sinds april 2018 is continue dagelijkse data beschikbaar;
- het Nederlands-Finse OMI instrument op de NASA satelliet EOS-Aura meet NO_2 vanaf eind 2004 tot heden.

5.2 De bijdrage van satellieten

- Satellieten meten in essentie de totale kolomhoeveelheid NO_2 of NH_3 boven een bepaald gebied, de som van concentraties aan de grond en in hogere luchtlagen. Deze totale kolom is sterk gerelateerd aan de uitstoot. Door deze metingen te combineren met kennis van de wind zijn direct schattingen te maken van de totale uitstoot. Satellietmetingen zijn daarmee te gebruiken om de totalen van de emissieregistratie en van de ruimtelijke verdeling te toetsen.
- Satellieten meten boven heel Nederland, en kunnen het gebrek aan informatie in de “gaten” tussen de grondmetingen aanvullen.
- De tijdreeksen van bijv. IASI en OMI zijn te gebruiken om de berekende meerjaarlijkse trends in concentraties en emissies te bepalen.



Figuur 9.

De totale kolomhoeveelheid NH₃ (boven) en NO₂ (onder) in Nederland en omliggende landen. De NH₃-metingen van CrIS zijn gemiddeld over vijf jaar, de TROPOMI metingen over één jaar. Duidelijk is te zien dat de verdelingen van NH₃ en NO₂ sterk verschillen. De grootste bron van NH₃ is de landbouw in Brabant, Gelderse vallei en het Oosten van Nederland. De grootste bronnen van NO₂ zijn verkeer, scheepvaart

en de industrie, voornamelijk rond Rotterdam, Amsterdam, Schiphol en de Randstad als geheel. Verder zijn grote bronnen in het buitenland zichtbaar: Noordwest-Duitsland voor NH₃; Antwerpen, Vlaanderen, het Roergebied, Parijs en Londen voor NO₂. (bron CrIS: afbeelding Shelley van der Graaf, data Environment Canada; TROPOMI: afbeelding Henk Eskes, data EU/ESA/KNMI).

- De dagelijkse satellietmetingen bevatten gedetailleerde informatie over de verplaatsing (“pluimen”) en verblijftijd van reactief stikstof in de atmosfeer.

5.3 De beperking van satellieten

- Satellieten meten niet direct concentraties aan de grond.
- Satellieten hebben een vaste tijd waarop ze overkomen. Voor TROPOMI is dit ongeveer rond 1 uur in de middag. Ze meten dus niet de dagelijkse gang van de concentraties.
- Satellietmetingen hebben een beperkt ruimtelijk oplossend vermogen, van ongeveer 5 bij 5 km voor TROPOMI, 10 bij 10 km voor NH₃-metingen, en 20 bij 20 km voor OMI NO₂. Voor gedetailleerde verdelingen van stikstofconcentraties aan de grond en depositie is een netwerk van grondmetingen nodig.

Het berekenen van de concentraties reactief stikstof uit de satellietmetingen is complex, en de individuele metingen hebben onzekerheden uiteenlopend van 20% tot 50%. Dit komt vooral omdat de gevoeligheid van de meting varieert met de hoogte in de atmosfeer.

5.4 Het nuttig gebruik van satellietmetingen

De optimale manier om satellietgegevens te benutten is om deze metingen te combineren met modellen die op uurlijkse basis de horizontale en verticale verdeling van reactief stikstof modelleren, en die gebruik maken van nauwkeurige actuele meteorologische informatie (wind, temperatuur, vocht etc.). Modellen zoals EMEP en LOTOS-EUROS kunnen direct vergeleken worden met de satellietdata op dagelijkse basis. Met OPS is een directe vergelijking niet mogelijk, omdat dit model met name grondconcentraties modelleert op basis van representatieve jaargemiddelde meteorologische gegevens.

Een overzicht van de toepassingen:

1. **Emissieschattingen en de identificatie van bronnen** van NH₃ en NO_x. Dit kan door de metingen te combineren met windinformatie en ze te vergelijken met de emissiekaarten. Een meer geavanceerde methode is via zogenaamde “inverse modellering” waarbij de metingen gecombineerd worden met een model, en de emissies aangepast worden tot er overeenstemming is met de metingen. Onzekere factoren in de emissieschattingen – zoals bijvoorbeeld bodememissies of het transport van mest – kunnen hierbij bestudeerd worden.
2. **Meerjarige trendstudies:** nemen de concentraties wel even snel af als verwacht? Bijvoorbeeld: we gaan ervan uit dat het effect van de snelheidsverlaging naar 100 km waarneembaar is met TROPOMI.
3. **Verbeteren van het model via data-assimilatie.** Met deze techniek worden de meetgegevens op een optimale manier verwerkt om het model te verbeteren.
4. **Processtudies:** Het vergelijken van het model en de satellietmetingen levert informatie over de onzekerheden in de processen, zoals het transport in de atmosfeer, de meteorologie, chemische omzetting, emissies, en uiteindelijk de depositie. Dit kan op dagelijkse basis door te kijken hoe de waargenomen pluimen worden beschreven door het model. Zo krijgen we meer informatie over de onzekerheden in het model en in het stikstofbudget. Een voorbeeld is het transport van stikstof over de landsgrens.

Bij TNO, KNMI en de universiteiten is de kennis aanwezig om deze toepassingen verder te ontwikkelen, en eerste resultaten zijn beschikbaar en gedocumenteerd in de vakliteratuur. LOTOS-EUROS en EMEP zijn al geschikt gemaakt om satellietgegevens te gebruiken. Verder wordt er in Europa sterk samengewerkt binnen de Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) op het gebied van luchtkwaliteitsverwachtingen en heranalyses, mede op basis van satellietgegevens.

Daarnaast bestaan er eerste verkenningen om het ruimtelijk oplossend vermogen van metingen vanuit de ruimte of vanuit de atmosfeer nog verder te verbeteren. Zo is het momenteel al mogelijk om met vliegtuigmetingen op hoge resolutie (10m x 10m) NO₂-emissies bij hotspots in kaart te brengen, en wordt gewerkt aan ontwerpen voor satellietinstrumenten die in de toekomst kunnen gaan meten met een ruimtelijk oplossend vermogen van 1 km x 1 km of beter.

Annex 6

Ensemble van modellen en modelvergelijkingen

In Europa heeft een groot aantal landen eigen modellen ontwikkeld voor het beschrijven van luchtvervuiling en depositie. Het bij elkaar brengen van de resultaten van deze modellen, en de groepen onderzoekers die deze modellen ontwikkelen, heeft een grote meerwaarde. In het verleden zijn er verschillende modelvergelijkingen gedaan in Europees verband en zijn gegevens van meerdere modellen gebruikt voor evaluaties van de concentraties vervuilende stoffen, bijv. EURODELTA en FAIRMODE. Dagelijkse verwachtingen van de luchtkwaliteit worden gemaakt als onderdeel van de Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS). In CAMS wordt een zogenaamde ensemble-verwachting geconstrueerd op basis van verwachtingen geproduceerd door de individuele modellen.¹² In totaal doen er nu elf modellen mee aan CAMS, uit Denemarken, Duitsland, Finland, Frankrijk, Italië, Nederland, Noorwegen, Polen, Spanje en Zweden. De eerdergenoemde modellen LOTOS-EUROS en EMEP doen beide mee aan CAMS. De modellen worden verder gecombineerd met beschikbare metingen, metingen van concentraties aan de grond en ook satellietmetingen, om ze nog beter de werkelijkheid te laten reproduceren. Dit proces heet “data-assimilatie”.

De ensemble aanpak heeft meerdere voordelen:

- de internationale interactie tussen de groepen leidt tot kennisuitwisseling;
- het gezamenlijk evalueren van de modellen en vergelijken met metingen levert nieuwe informatie over de processen in het model en leidt tot innovatie;
- het vergelijken van de prestaties van het eigen model met die van het ensemble is een belangrijke benchmarktest voor het eigen model;
- in de praktijk blijkt het ensemble geconstrueerd uit de individuele modeluitkomsten vaak nauwkeuriger te zijn dan het best presterende individuele model (in vergelijking met metingen).

informatie over de onzekerheden in de processen, zoals het transport in de atmosfeer, de meteorologie, chemische omzetting, emissies, en uiteindelijk de depositie. Dit kan op dagelijkse basis door te kijken hoe de waargenomen pluimen worden beschreven door het model. Zo krijgen we meer informatie over de onzekerheden in het model en in het stikstof-budget. Een voorbeeld is het transport van stikstof over de landsgrens.

Bij TNO, KNMI en de universiteiten is de kennis aanwezig om deze toepassingen verder te ontwikkelen, en eerste resultaten zijn beschikbaar en gedocumenteerd in de vakliteratuur. LOTOS-EUROS en EMEP zijn al geschikt gemaakt om satellietgegevens te gebruiken. Verder wordt er in Europa sterk samengewerkt binnen de Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) op het gebied van luchtkwaliteitsverwachtingen en heranalyses, mede op basis van satellietgegevens.

Daarnaast bestaan er eerste verkenningen om het ruimtelijk oplossend vermogen van metingen vanuit de ruimte of vanuit de atmosfeer nog verder te verbeteren. Zo is het momenteel al mogelijk om met vliegtuigmetingen op hoge resolutie (10m x 10m) NO₂-emissies bij hotspots in kaart te brengen, en wordt gewerkt aan ontwerpen voor satellietinstrumenten die in de toekomst kunnen gaan meten met een ruimtelijk oplossend vermogen van 1 x 1 km of beter.

Annex 7

Literatuurlijst

- Compendium voor de Leefomgeving. (2019). Ammoniakemissie door de land- en tuinbouw, 1990-2017. <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0101-ammoniakemissie-door-de-land--en-tuinbouw>
- Dalgaard, T., Hansen, B., Hertel, O., Hutchings, N. J., Jacobsen, B. H., Jensen, L. S., ... Vejre, H. (2014). Policies for agricultural nitrogen management—trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. *Environmental Research Letters*, (9). doi:10.1088/1748-9326/9/11/115002
- De Pue, D. (2019). Insights into the spatially differentiated control of ammonia emissions from livestock farming in Flanders (Doctoral dissertation, Gent University, Gent, Belgium).
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. (2016). <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/download>
- Goedhart, P.W., Mosquera, J., Huijsmans, J.F.M. (2019). Estimating ammonia emission after field application of manure by the integrated horizontal flux method: a comparison of concentration and wind speed profiles. *Soil Use and Management*, p. 1-13. doi: 10.1111/sum.12564.
- Hazeu, G.W., Schuiling, C., Dorland, G.J., Roerink, G.J., Naeff, H.S.D., Smidt, R.A. (2014). Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7). Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Rapport 2548, Alterra Wageningen UR, Wageningen. <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/AlterraRapporten/AlterraRapport2548.pdf>
- Lolkema, D.E., Noordijk, H., Stolk, A.P., Hoogerbrugge, R., Van Zanten, M.C., Van Pul, W.A.J. (2015). The Measuring Ammonia in Nature (MAN) network in the Netherlands. *Biogeosciences*, 12, p. 5133-5142. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5133-2015>.
- Marécal, V., Peuch, V.-H., Andersson, C., Andersson, S., Arteta, J., Beekmann, M., ... Ung, A., (2015). A regional air quality forecasting system over Europe: the MACC-II daily ensemble production, *Geoscientific Model Development*, 8, 2777-2813. doi: 10.5194/gmd-8-2777-2015.
- Martin, N.A., Ferracci, V., Cassidy, N., Hook, J., Battersby, R.M., Amico di Meane, E., ... & Seitler, E. (2019). Validation of ammonia diffusive and pumped samplers in a controlled atmosphere test facility using traceable Primary Standard Gas Mixtures. *Atmospheric Environment*, 199, p. 453-462. doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.11.038
- Noordijk, H., Braam, M., Stolk, A.P., Van Pul, W.A.J., Wichink Kruit, R.J. (2018). Quality of the Gradko passive samplers in the MAN monitoring network.. RIVM Report 2018-0105. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2018-0105.pdf>
- Reinds, G. J., Bak, J., Rouil, L., Scheuschner, T., Schaap, M., Hendriks, C., ... Wamelijk, W. (2019). Ammonia Regulations in Northern Europe. Summary of policies and practises in France, Germany, the United Kingdom, the Netherlands and Denmark. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 321. Retrieved from <http://dce2.au.dk/pub/SR321.pdf>
- RIVM. (2017, June 20). Wat doen de AERIUS-Expertgroepen? <https://www.aerius.nl/nl/nieuws/wat-doen-de-aerius-expertgroepen>
- RIVM. (2019, July 11). Depositiekaarten. <https://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten/depositiekaarten>
- Sauter, F., Van Zanten, M., Van der Swaluw, E., Aben, J., De Leeuw, F., Van Jaarsveld, H. (2018). The OPS-model: Description of OPS 4.5.2. Bilthoven (NL): RIVM. <https://www.rivm.nl/media/ops/v4.5.2/OPS-model-v4.5.2.pdf>
- Schaap, M., Timmermans, R.M.A., Roemer, M., Boersen, G.A.C., Bultjes, P.J.H., Sauter, F.J., Velders, G.J.M., Beck, J.P. (2008). The LOTOS-EUROS model: description, validation and latest developments, *International Journal of Environment and Pollution*, 32(2), p. 270-290. doi: 10.1504/IJEP.2008.017106.
- Schaap, M., Wichink Kruit, R., Hendriks, C., Kranenburg, R., Segers, A., Bultjes, P., & Banzhaf, S. (2017). Modelling and assessment of acidifying and eutrophying atmospheric deposition to ter-

- restrial ecosystems (PINET12) (Report No. (UBA-FB) 002525/1,ENG). Umweltbundesamt website: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>
- Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L.D., Fagerli, H., ... Wind, P. (2012). The EMEP MSW-W chemical transport model – technical description, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, p. 7825-7865. doi: 10.5194/acp-12-7825-2012.
- Stephens, A., Leeson, S., Jones, M., Simmons, I., Van Dijk, N., Poskitt, J., ... & C. Tang, S. (2017). MetNH₃ whim bog intercomparison: Off-line ammonia metrology intercomparison. Edinburgh, UK: Centre for Ecology and Hydrology. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/517844/13/N517844CR.pdf>
- Sutton, M.A., Dragosits, U., Geels, C., Gyldenkerne, S., Misselbrook, T.H. (2015). Review on the scientific underpinning of calculation of ammonia emission and deposition in the Netherlands. <https://edepot.wur.nl/357694>
- Umweltbundesamt. (n.d.). German Informative Inventory Report. <https://iir-de.wikidot.com/>
- Van Bruggen, C., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Van der Kolk, J.W.H., Lagerwerf, L.A., Luesink, H.H., Van der Sluis, S.M., & Velthof, G.L. (2018). Analyse van de ammoniakemissie uit de landbouw in de periode 2005-2016. <https://www.rijks-overheid.nl/documenten/rapporten/2018/12/03/analyse-van-de-ammoniakemissie-uit-de-landbouw-in-de-periode-2005-2016>.
- Van Bruggen, C., & Geertjes, K. (2019). Stikstofverlies uit opgeslagen mest: Stikstofverlies berekend uit het verschil in verhouding tussen stikstof en fosfaat bij excretie en bij mestafvoer. Den Haag (NL): Centraal Bureau voor de Statistiek. Retrieved from: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2019/44/stikstofverlies-uit-opgeslagen-mest>.
- Van Zanten, M.C., Sauter, F.J., Wichink Kruit, R.J., Van Jaarsveld, J.A., Van Pul, W.A.J. (2010). Description of the DEPAC module: Dry deposition modelling with DEPAC_GCN2010. RIVM rapport 680180001. Bilthoven (NL): RIVM. <https://www.rivm.nl/publicaties/>
- description-of-depac-module-dry-deposition-modelling-with-depacgc2010
- Velthof, G.L., Van Bruggen, C., Groenestein, C.M., De Haan, B.J., Hoogeveen, M.W., Huijsmans, J.F.M. (2012). A model for inventory of ammonia emissions from agriculture in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, 46, p. 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.075>.
- Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM). (n.d.). Resultaten verzuring en vermisting. <https://www.vmm.be/data/verzuring-en-vermisting>
- Vlaamse Milieu Maatschappij. (2017, June). Berekening ammoniakemissie in de landbouw verfijnd. <https://www.vmm.be/nieuwsbrief/juni-2017/berekening-ammoniakemissie-in-de-landbouw-verfijnd>
- Vlaamse Milieu Maatschappij. (2018). Monitoringsplan VMM: jaarlijkse rapportering van emissies, concentraties en modelresultaten voor NO_x en NH₃ – editie 2018.
- Vlaamse Milieu Maatschappij. (n.d.). Ammoniak. <https://www.vmm.be/lucht/verzuring-en-vermisting/ammoniak>
- Vlaamse Milieu Maatschappij. (n.d.). Depositie. <https://www.vmm.be/lucht/verzuring-en-vermisting/depositie#section-0>
- Wichink Kruit, R.J., Aben, J., De Vries, W., Sauter, F., Van der Swaluw, E., Van Zanten, M.C., Van Pul, W.A.J. (2017). Modelling trends in ammonia in the Netherlands over the period 1990-2014. *Atmospheric Environment*, 154, p. 20-30. doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.01.031

Colofon

Opdrachtgever

Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Opdrachtnemer

Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof

Samenstelling

De heer prof. dr. L. Hordijk, voorzitter

De heer prof. dr. ing. J.W. Erisman

De heer dr. H. Eskes

De heer dr. J.C. Hanekamp

De heer prof. dr. M.C. Krol

Mevrouw prof. dr. P.F. Levelt

De heer prof. dr. M. Schaap

De heer prof. dr. ir. W. de Vries

Wetenschappelijk Secretariaat

De heer A. Visser MSc

Datum

5 maart 2020

