



Meer meten, robuuster rekenen.

Eindrapport van het
Adviescollege Meten
en Berekenen Stikstof

15 juni 2020

Inhoud

Samenvatting.....	4
Hoofdstuk: 1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding.....	6
1.2 Taak en werkwijze adviescollege.....	6
1.3 Inhoudelijke focus Fase 2	6
1.4 Criterium van doelgeschiktheid.....	7
1.5 Rectificatie	8
1.6 Leeswijzer	8
Hoofdstuk: 2 Conclusies	9
Hoofdstuk: 3 Bevindingen en verbetervoorstellen	12
3.1 NEMA.....	12
3.1.1 Landelijke emissieberekeningen met NEMA.....	12
3.1.2 Lokale emissieberekeningen met NEMA-INITIATOR.....	13
3.2 AERIUS.....	13
3.2.1 Evaluatie van criteria	14
3.2.2 Verbeterde rekenbasis voor vergunningverlening.....	16
3.3 Verbetering meet- en rekenmethodiek	17
3.3.1 Verbetering meetnetten	17
3.3.2 Modelverbetering.....	18
3.3.3 Gebruik van satellietwaarnemingen	19
3.3.4 Verbetering emissie-invoer voor modellen.....	22
3.4 Governance	24
3.5 Onderzoeksprogramma.....	25
Annex 1: Afkortingenlijst	26
Annex 2: Opdrachtformulering	28
Annex 3: Beschrijving NEMA-systematiek en kartering met INITIATOR	29
3.1 NEMA-beschrijving	29
3.2 Herkomst invoergegevens.....	30
3.3 Metingen en schattingen achter bestaande ammoniakemissiefactoren	31
3.3.1 Stalemissies	31
3.3.2 Mesttoediening -en beweidingemissies.....	33
3.4 Evaluatie en aanbevelingen.....	33
3.4.1 Metingen in het kader van nationale emissierapportages	33
3.4.2 Metingen in het kader van regionale en lokale emissieschattingen.....	34
3.5 Onzekerheidsschattingen	34

Annex 4: Beschrijving AERIUS-systematiek en invoergegevens.....	36
4.1 Overzicht AERIUS-systematiek	36
4.1.1 Berekenen projectbijdragen aan stikstofdepositie door gebruikers.....	36
4.1.2 Tonen van huidige en verwachte toekomstige stikstofdepositie	36
4.1.3 Bijhouden depositieruimte.....	37
4.2 Technische werking AERIUS	37
4.2.1 Vorbewerking emissies.....	37
4.2.2 Resolutie gegevens over landgebruik en terreinruwheid	37
4.2.3 Depositieberekening rondom wegen.....	37
4.2.4 Meteorologische gegevens	38
4.3 Achtergronddepositie.....	38
4.4 Precisie AERIUS-berekening	38
Annex 5: Verdieping meten en modelleren	39
5.1 Modelleerinstrumentarium stikstofconcentratie en -depositie	39
5.1.1 Modeltypen	39
5.1.2 Uitdagingen in het modelleren van reactief stikstof.....	40
5.1.3 Depositie en processtudies	41
5.1.4 Emissiemodellering	41
5.1.5 Inzet van metingen voor modelverbetering.....	42
5.2 Gebruik van een modelensemble	44
5.3 Meetinstrumentarium stikstofconcentratie en -depositie	44
5.4 Satellietmetingen	46
Annex 6: Literatuurlijst.....	48

Samenvatting

Na publicatie van zijn eerste adviesrapport op 5 maart 2020 brengt het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof nu zijn eindrapport naar buiten. Taak van het adviescollege was om te beoordelen of de huidige meet- en rekensystematiek voor stikstofemissie en -depositie voldoende wetenschappelijke onderbouwing biedt voor het stikstofbeleid. In de eerste fase keek het adviescollege naar de algemene inrichting van de meet- en rekensystematiek. In de tweede fase werkte het adviescollege, waar nodig, de eerste bevindingen verder uit en besteedde daarnaast bijzondere aandacht aan NEMA (voor de bepaling van de landbouwemissies) en AERIUS Calculator als toetsingsinstrument bij vergunningverlening.

Het adviescollege stelt vast dat het Nederlandse meet- en modelinstrumentarium voor de doorrekening op nationale schaal van voldoende tot goede kwaliteit, en daarmee: doelgeschikt is. Wel stelde het adviescollege al eerder vast dat verbeteringen aan het gehele systeem nodig zijn. In dit eindrapport geeft het adviescollege aan dat het rekeninstrument AERIUS Calculator niet doelgeschikt is. Daarvoor zijn twee redenen: 1. de onbalans tussen het detail dat het beleid vraagt en de mate van wetenschappelijke onzekerheid in het berekenen van de depositie op een klein oppervlak en 2. de ongelijke behandeling van verschillende sectoren door het gebruik van verschillende modellen (SRM-2, OPS) bij de vergunningverlening. Daarbij komt nog dat er voor wegen wel een afkappgrens van 5 km geldt, die voor bijvoorbeeld stallen niet bestaat.

Het adviescollege beveelt daarom aan de gelijkwaardigheid, transparantie en robuustheid van AERIUS te vergroten door voor verkeer en landbouw hetzelfde model te gebruiken en een bron-receptormatrix te hanteren die eenvoud, efficiëntie en transparantie garandeert. Verder beveelt het adviescollege aan de depositie niet op een hexagoon, maar op een cluster van hexagonalen, ingedeeld naar habitatype, te berekenen. Hierbij is het wel van belang dat een afstandscriterium in acht wordt genomen.

Naast deze verbeteringen die op korte termijn gerealiseerd kunnen worden, beveelt het adviescollege aan de modellen te verbeteren. Modellen blijven nodig en de resultaten zullen gekenmerkt blijven door een bepaalde mate van onzekerheid. Het adviescollege beveelt wel aan de onzekerheden waar dat kan te reduceren. Dat kan door gebruik te maken van een modelensemble en door modellen beter met metingen te valideren.

Uitbreiding van metingen is dus nodig. Het adviescollege beveelt daarom vooral de vernieuwing met behulp van satellietmetingen aan. Satellietmetingen dragen bij aan het evalueren en valideren van modellen. Verder kunnen zij ruimtelijke patronen in de concentratie van stikstofdioxide en ammoniak in kaart brengen en is het mogelijk om ze te gebruiken voor emissieschattingen. De satellietmetingen zijn aanvullend op grondmetingen. Wat die grondmetingen betreft, het landelijk meetnet is ruimtelijk al goed gerepresenteerd in het geval van het MAN. Voor het terugdringen van modelonzekerheid door uitbreiding van het meetnet doet het adviescollege verschillende concrete suggesties.

Het adviescollege stelt vast dat de Emissieregistratie een goed overzicht biedt van maatschappelijke activiteiten die emissies veroorzaken. Er zijn wel verbeteringen mogelijk in het bepalen van de emissiefactoren voor onder andere landbouw. Daarvoor zijn meer metingen nodig, ook in de praktijk. Ook moeten meer variabelen als neerslag, temperatuur en grondtypen worden meegenomen en zijn emissiefactoren nodig voor nieuwe staltypen en mestaanwendingstechnieken.

Het adviescollege constateert dat er verbeteringen mogelijk zijn in de governance van het meet- en rekensysteem. Belangrijk is een duidelijke scheiding van verantwoordelijkheden tussen opdrachtgever en opdrachtnemer. Eenduidige sturing, waarborging van wetenschappelijke onafhankelijkheid en een systeem van kwaliteitsborging zijn belangrijke aspecten.

Het adviescollege constateert dat er een achterstand is in de wetenschappelijke vernieuwing van het meet- en modelinstrumentarium. Aanbeveling is om een nationaal onderzoeksprogramma in te richten waar alle relevante kennisinstellingen in vertegenwoordigd zijn en dat internationaal goed ingebed is.

Het adviescollege stelt vast dat andere landen eenzelfde meet- en rekenmethodiek hanteren. Soms doet Nederland meer (meting ammoniak in natuurgebieden), soms loopt het buitenland voorop (meting salpeterzuur, PAN). Het beleid is wel verschillend. Zo hanteren België en Duitsland voorsnog een ruimere drempelwaarde voor vergunningverlening.

Hoofdstuk: 1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Dit eindrapport is een vervolg op het eerste adviesrapport *Niet uit de lucht gegrepen* van het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof. In dat eerste rapport dat op 5 maart jl. verscheen, is uitgebreid beschreven wat de aanleiding tot de instelling van het adviescollege was (hoofdstuk 1) en hoe het adviescollege de opdracht heeft geïnterpreteerd (hoofdstuk 2). Deze introductie tot het eindrapport herhaalt deze informatie in beknopte vorm. Verder komt de wijze van voortzetting van de werkzaamheden in deze tweede fase aan de orde.

De uitspraak van de Raad van State op 29 mei 2019 die de achtergrond van de werkzaamheden van het adviescollege vormt, geeft aan dat de vergunningverlening voor activiteiten die stikstof uitstoten, op basis van de PAS (Programmatische Aanpak Stikstof) in strijd is met de Habitatrichtlijn. Dit zorgde voor grote maatschappelijke onrust bij de sectoren die economisch geraakt werden door deze uitspraak. Met deze uitspraak kwam de spanning tussen ecologie en economie in ons dichtbevolkte land weer nadrukkelijk op tafel.

Vooraf de agrarische sector en de bouwsector protesteerden tegen het stopzetten van de vergunningverlening. Organisaties uit de agrarische sector benadrukten de al langer aanwezige vragen over de transparantie en deugdelijkheid van de meet- en berekeningssystematiek van stikstofemissie en -depositie. De Tweede Kamer verzocht uiteindelijk de regering 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.¹ Minister Schouten van LNV zegde op 1 november aan de Tweede Kamer toe om een adviescollege in te stellen dat hiernaar gaat kijken.²

1.2 Taak en werkwijze adviescollege

Het ingestelde Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof bestaat uit experts op het gebied van metingen en modellering van stikstofconcentraties en -deposities. Zijn taak is om te beoordelen of de huidige meet- en rekensystematiek voor stikstofemissie en -depositie voldoende wetenschappelijke onderbouwing biedt voor het stikstofbeleid, zoals de bepaling van de hoeveelheid stikstof die op een Natura 2000-gebied neerkomt vanuit een stikstof emitterende bron. Het college kijkt ook of het stikstofmeetnet uitbreiding behoeft, wat de rol van satellietmetingen kan zijn en of er te leren valt van het buitenland. Zie voor de volledige omschrijving van de opdracht Annex 2.

In deze fase van zijn werkzaamheden heeft het adviescollege voor AERIUS en NEMA vragenlijsten opgesteld en uitgezet bij de experts en belanghebbenden. Voor AERIUS zijn deze vragen beantwoord door het RIVM, de ministeries van LNV en I&W en IPO/BIJ12. Experts van WUR, CBS, RIVM en LNV beantwoordden de vragen over NEMA. Na conference calls van het adviescollege met de experts, heeft het adviescollege in een fysieke bijeenkomst het totale meet- en rekensysteem tegen het licht gehouden om tot de in dit rapport beschreven eindconclusies te komen met daarbij passend advies.

De klankbordgroep voor het adviescollege bestond uit vertegenwoordigers van Bouwend Nederland, Groene11, Landbouw Collectief, Mobilisation for the Environment, Transport en Logistiek Nederland en VNO-NCW en (na 8 mei) LTO-Nederland. De klankbordgroep kwam, in deze fase, bijeen op 4 mei en op 4 juni. De klankbordgroep stond onder leiding van een onafhankelijk voorzitter, drs. P.B.L.A. van Geel.

1.3 Inhoudelijke focus Fase 2

De eerste algemene beoordeling en vergelijking met het buitenland is in fase 1 afgerond met het rapport *Niet uit de lucht gegrepen*. In vervolg op het eerste adviesrapport biedt dit tweede

¹ Moties van de leden Lodders en Geurts en Geurts en Lodders (Kamerstuk 35 300 XIV, nrs. 20 en 22).

² Kamerbrief Stand van zaken stikstofproblematiek (1 november 2019 en Kamerbrief Instelling en samenstelling van het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof (2 december 2019).

adviesrapport een verdieping van de voorgaande adviezen en bevat het de uiteindelijke lijst met aanbevelingen.

Naast deze verdieping werd er ook specifiek aandacht geschonken worden aan het AERIUS-systeem en NEMA (National Emission Model for Agriculture). Het is mede te danken aan de inbreng van de klankbordgroep dat er op een meer gedetailleerde manier is gekeken naar AERIUS. De leden van de klankbordgroep maakten duidelijk dat er vooral over de toepassing en details in de uitkomsten van AERIUS veel vragen leven bij de gebruikers.

Naast AERIUS werd er ook extra aandacht besteed aan NEMA als onderdeel van het Emissieregistratiesysteem (ER). In Nederland wordt NEMA gebruikt om de emissies van ammoniak en stikstofoxiden vanuit de landbouw te berekenen en via de ER worden deze gegevens gebruikt in de modellering van stikstofconcentraties en -deposities (o.a. in de berekeningen van de GCN/GDN). Mede door de gespecialiseerde werkwijze en de grote mate van detail binnen NEMA was hiervoor extra aandacht geboden. Deze aandacht past ook bij de vragen vanuit de maatschappij over het aandeel van de landbouw in de totale stikstofuitstoot.

1.4 Criterium van doelgeschiktheid

In zijn beoordeling van de meet- en rekensystematiek voor stikstofemissie en -depositie liet het adviescollege zich leiden door de vraag of die doelgeschikt is voor het beleid. De doelen zijn de beleidsdoelen, zoals het realiseren van een goede instandhouding van de Natura 2000-gebieden. De mate van instandhouding wordt onder andere door de stikstofdepositie beïnvloed. Om te bepalen wanneer er sprake is van 'teveel stikstof', wordt er gebruik gemaakt van een zogeheten Kritische Depositiewaarde (KDW). De kans op effecten voor de natuur wordt groter naarmate de duur en mate van overschrijding van de KDW toenemen. Om effectief beleid te voeren is het noodzakelijk om nauwkeurig te kunnen bepalen hoeveel stikstof op Natura 2000-gebieden neerslaat.

In het licht van het beschreven beleidsdoel dient een meet- en modelinstrumentarium voor stikstofemissie en -depositie een drietal doelen:

1. Het verschaffen van gemeten en gemodelleerde data over de emissies, de concentraties, transport en chemische omzetting in de lucht en de depositie van reactieve stikstofverbindingen en het kwantificeren van trends in de tijd daarin.
2. Het identificeren van de bronnen van de concentraties en depositie van stikstofverbindingen en het schatten van de effecten van (toekomstige) veranderingen in emissies.
3. Het vergroten van het begrip van chemische en fysische processen in de atmosfeer die leiden tot depositie van stikstofverbindingen op ecosystemen, ter bevordering van de ontwikkeling van kosteneffectieve reductiestrategieën.

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 en COTAG) en het Meetnet Ammoniak Natuurgebieden (MAN);
- De Emissieregistratie (ER), waarvan het onderdeel NEMA de landbouwemissies beschrijft;
- Het modelinstrumentarium (OPS, AERIUS), dat de emissies van activiteiten in binnen- en buitenland aan de hand van fysisch-chemische rekenregels vertaalt in depositie op gevoelige natuur.

Een belangrijk onderdeel van de uitvoering van het Nederlandse stikstofbeleid is het verlenen van vergunningen aan activiteiten die stikstof uitstoten op een wijze die ook de natuurwaarden beschermt. Bij het beoordelen van de aangevraagde vergunningen speelt het AERIUS-systeem een belangrijke rol. Een uitgebreide beschrijving van het AERIUS-systeem is te vinden in Annex 4 van dit rapport.

Het NEMA-systeem, heeft tot doel om de emissies van ammoniak en stikstofoxiden vanuit de Nederlandse landbouw zo accuraat mogelijk in beeld te brengen voor de Emissieregistratie. Het dient daarmee onder andere als invoer voor het OPS-model. Het NEMA-model wordt gedetailleerd

beschreven in Annex 3 van dit rapport. Zie voor de beschrijving van het gehele meet- en rekeninstrumentarium het eerste rapport *Niet uit de lucht gegrepen*.

1.5 Rectificatie

Het RIVM maakte het adviescollege na publicatie van zijn eerste adviesrapport erop attent dat de cijfers voor de onzekerheid van de emissietotalen voor ammoniak en stikstofoxide niet de actuele cijfers waren. Graag corrigeert het adviescollege deze cijfers. Dit betekent dat in par. 3.7 van het eerste adviesrapport de getallen 17% voor ammoniak en 15% voor stikstofoxiden gewijzigd moeten worden in resp. 31% en 17% (emissiereeks 1990 – 2018).

1.6 Leeswijzer

Het tweede hoofdstuk van dit rapport bevat de eindconclusies van het adviescollege. De conclusies vormen een nadere uitwerking van de conclusies in fase 1. Ze zijn uitgebreid met de bevindingen van het adviescollege over NEMA en AERIUS. Vanwege de extra aandacht die het adviescollege in de laatste fase van zijn werkzaamheden besteedde aan NEMA en AERIUS start hoofdstuk 3 met de bevindingen en verbetervoorstellen voor deze twee systemen. Daarna volgt de verdieping van eerdere conclusies over meten en berekenen (LML, MAN, gebruik satellietdata, modelverbeteringen door gebruik van meer metingen en een modelensemble, de governance en een nieuw onderzoeksprogramma). Waar passend wordt een vergelijking met het buitenland opgenomen.

De feitelijke beschrijving van de wijze waarop NEMA en AERIUS werken is te vinden in de Annexen 3 en 4. In Annex 5 wordt dieper ingegaan op de onderwerpen meten en modelleren als basis voor de bevindingen en verbetervoorstellen in hoofdstuk 3. Toegevoegd zijn ook de Annexen met gebruikte afkortingen (Annex 1), de opdrachtomschrijving (Annex 2) alsmede een referentielijst in Annex 6.

Hoofdstuk: 2 Conclusies

Het adviescollege heeft eerder het Nederlandse meet- en modelinstrumentarium dat wordt gebruikt voor de doorrekening van stikstofverbindingen op nationale schaal beoordeeld. Hierbij is gekeken naar de Emissieregistratie, het OPS-model en de landelijke meetnetten (LML, MAN en COTAG). Ook is gekeken naar de manier waarop in het buitenland wordt gemeten en wat de bijdrage van satellietmetingen zou kunnen zijn. Zie voor de gedetailleerde omschrijving van deze onderdelen het adviesrapport *Niet uit de lucht gegrepen*. De conclusies uit het eerste adviesrapport worden nu uitgebreid met de conclusies die het adviescollege in de tweede fase van zijn werkzaamheden heeft getrokken. In die tweede fase is in het bijzonder gekeken naar AERIUS en NEMA.

1. Algemeen oordeel: de meeste onderdelen zijn doelgeschikt

Het adviescollege heeft in zijn eerste rapport aangegeven dat het Nederlandse meet- en rekensysteem voor stikstof vanuit wetenschappelijk oogpunt voldoende doelgeschikt is, hoewel verbeteringen nodig zijn. In zijn eindconclusie kan het adviescollege dit niet voor alle onderdelen herhalen. De beleidsvragen over bronbijdragen, depositieniveaus op Natura 2000-gebieden en herkomst van de depositie kunnen met het huidige meet- en rekensysteem voldoende nauwkeurig worden vastgesteld. Het is een systematiek die doet waarvoor zij in leven is geroepen en die een internationale vergelijking goed kan doorstaan.

Het adviescollege constateert echter dat AERIUS, voor zover dat gebruikt wordt voor vergunningverlening, in zijn huidige vorm, niet doelgeschikt is.

Het adviescollege beveelt aan om het vergunningenbeleid op een robuustere manier te ondersteunen, zodat de kloof tussen wetenschappelijke onzekerheid en het beleidsmatig gewenste detail kleiner wordt. Dit betekent dat er meer balans komt tussen de mate van onzekerheid van de wetenschappelijke meet- en rekensystematiek in AERIUS enerzijds en de mate van detail die het beleid vraagt anderzijds. Het adviescollege doet hiervoor twee aanbevelingen. Op korte termijn aanpassen van het AERIUS-rekensysteem (Calculator) door een andere manier van berekenen te gaan hanteren. En voor de langere termijn door de wetenschappelijke meet- en rekenmethodiek structureel te verbeteren, zodat met de best beschikbare wetenschappelijke kennis de onzekerheid zo klein mogelijk wordt gemaakt.

2. AERIUS: niet doelgeschikt voor vergunningverlening

In het oordeel over AERIUS-berekeningen voor vergunningverlening spelen twee overwegingen een rol. In de eerste plaats is de betrouwbaarheid van de voorspelling door het hanteren van een zeer lage beoordelingsdrempel onvoldoende en leidt deze aanpak tot schijnzekerheid. AERIUS Calculator (hierna kortweg AERIUS) berekent op basis van emissies van een project kleine bijdragen aan concentraties en depositie. De onzekerheid van die extra depositie op Natura 2000-gebieden is bij de gehanteerde ruimtelijke schaal (hexagonen ter grootte van een hectare) vele malen hoger dan de beoordelingsdrempel. De wetenschap kan hier niet bieden wat het beleid vraagt.

Een tweede overweging is dat het niet verdedigbaar is dat in AERIUS bij vergunningverlening voor de aanleg van een weg een ander rekensysteem (SRM-2) wordt gehanteerd dan voor de aanleg van een stal (OPS), waarbij ook de depositie van stikstofoxiden verder dan vijf km van de bron niet wordt meegerekend.

Het adviescollege beveelt aan de gelijkwaardigheid, transparantie en robuustheid van AERIUS te vergroten door voor de depositieberekening van emissies van verkeer hetzelfde model te gebruiken als voor de depositieberekening van de andere sectoren, zoals landbouw en industrie. Dit wordt ook bereikt door een bron-receptormatrix te gaan hanteren die een vereenvoudigde, efficiënte en transparante berekeningswijze garandeert. Een bron-receptormatrix maakt geen verschil tussen de bronnen. Een grotere mate van robuustheid wordt verder verkregen door de bijdragen aan de depositie niet te evalueren op het niveau van individuele hexagonen, maar op dat van een cluster van hexagonen met hetzelfde habitatype.

Het voorzorgsprincipe vraagt vooralsnog om een strikte grenswaarde bij vergunningverlening. Een ambitieus bronbeleid met vastgelegde nationale doelstellingen heeft als voordeel dat de grenswaarden bij de vergunningverlening verhoogd zouden kunnen worden zodat de onzekerheden in de berekeningen voor de vergunningen minder kritisch worden en schijnzekerheid minder prominent wordt.

3. Modellen: doelgeschikt, maar substantiële verbeteringen zijn mogelijk

Het adviescollege concludeert dat modellen gebruikt blijven worden voor beleidsonderbouwing en evaluatie van beleid en dat deze niet vervangen kunnen worden door metingen alleen. Goede evaluatie en validatie met metingen is daarbij cruciaal. Het Operationele Prioritaire Stoffenmodel (OPS) is in Nederland de basis voor het berekenen van concentratie en depositie van stikstofverbindingen. Het OPS-model is geschikt om de verspreiding op lokale schaal te modelleren. Op regionale en nationale schaal neemt de invloed van andere processen toe en is de berekening onzekerder. Het OPS-model onderbouwt verder de relatieve verdeling van de sectorbijdragen aan de depositie op natuurgebieden voldoende. OPS laat een kleinere bijdrage zien van buitenlandse emissies aan de Nederlandse deposities dan andere modellen. Samenvattend: Het OPS-model wordt beoordeeld als voldoende, maar het modelinstrumentarium heeft wel een nieuwe impuls nodig.

Het adviescollege heeft een aantal adviezen om het modelinstrumentarium te verbeteren. De belangrijkste zijn het gebruik van een modelensemble (de resultaten van meerdere modellen combineren om de uitkomsten robuuster te maken) en een systematisch inspanning om de tekortkomingen van de modellering te begrijpen en op te lossen aan de hand van moderne rekentechnieken. De uitbreiding van de meetnetten en aanvullend gebruik van satellietmetingen dragen daartoe bij.

4. Meetnetten: zijn minimaal en moeten uitgebreid worden

Het landelijk meetnet heeft een goede ruimtelijke representatie, met name van ammoniakconcentraties in natuurgebieden door middel van het MAN. Voor een reductie van modelonzekerheid zal het meetnet uitgebreid moeten worden met meer stations in landbouwgebieden die gedetailleerder meten, met metingen van meer stikstofverbindingen (salpeterzuur en de samenstelling van fijnstof), met metingen van de concentratie van stikstofoxiden in natuurgebieden en van de droge depositie van stikstofverbindingen. Ook wordt het gebruik van satellietgegevens als ondersteuning van de grondwaarnemingen geadviseerd.

5. Satellietmetingen: zijn een essentiële aanvullingen op grondwaarnemingen

Satellietmetingen van ammoniak en stikstofdioxiden zijn beschikbaar maar worden momenteel nog niet gebruikt. Satellietgegevens kunnen naast grondwaarnemingen een bijdrage leveren aan de wetenschappelijke onderbouwing van het beleid. Het adviescollege beveelt aan om deze metingen te gebruiken bij het evalueren en verbeteren van het modelinstrumentarium. Daarnaast brengen satellieten de ruimtelijke patronen en trends in de concentratie van stikstofdioxide en ammoniak op regionale schaal in kaart en kunnen satellietmetingen worden gebruikt voor emissieschattingen. Ook andere waarnemingen met satellieten kunnen gebruikt worden voor de bepaling van de hoeveelheid fijnstof, karakteristieken van landgebruik en meteorologische gegevens.

6. Emissieregistratie: meer metingen van emissies nodig

Het adviescollege oordeelt dat de Emissieregistratie (ER) een goed overzicht geeft 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. Het adviescollege beveelt aan voor de verificatie van emissies en emissiefactoren meer metingen in te zetten voor landbouw (zie hieronder), verkeer en transport, zeescheepvaart, landgebruik en kleinere industriële emissies. Bij voertuigen betekent dat bijvoorbeeld meer meten in de praktijk, letten op gedrag van verouderde voertuigen en kijken naar weersafhankelijkheid van emissies.

Het landbouwdeel van de ER is het National Emission Model for Agriculture (NEMA). Het is een goede benadering om op basis van de stikstofstromen de landelijke ammoniakemissie te bepalen. Het is derhalve geschikt voor internationale rapportages over nationale jaarlijkse emissietotalen van ammoniak. Echter, recente analyses van mestsamenvesting 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. Er zijn verbeteringen mogelijk zoals een gevoeligheidsanalyse voor fouten, het meenemen van variabelen als neerslag, temperatuur en bodemtype, een uitbreiding naar nieuwe staltypen en mestaanwendingstechnieken. Waar het de ruimtelijke toedeling naar de emissies per hectare betreft (via model INITIATOR), vraagt het adviescollege aandacht voor de onzekerheden die daarmee gepaard gaan, omdat bij de verdeling van de nationale en regionale emissies naar lokale schaal geen rekening wordt gehouden met een aantal ruimtelijk variabele parameters.

7. Governance: scheiding van verantwoordelijkheden nodig

Het adviescollege concludeerde eerder dat de governance van het meet – en rekensysteem beter kan. De nodige stappen worden inmiddels gezet, zoals de governance van de Emissieregistratie en van de datastromen bij NEMA. Enkele uitgangspunten voor een goede governance zijn de waarborging van de wetenschappelijke onafhankelijkheid en integriteit, een structuur voor de kwaliteitsborging en een duidelijke scheiding van verantwoordelijkheden tussen opdrachtgever en opdrachtnemer, waarbij de opdrachtgever zorgt voor een goed gecoördineerde aansturing en de opdrachtnemer voor een transparante werkstructuur voor betrokken instellingen.

8. Onderzoeksprogramma: wetenschappelijke borging van de stikstofproblematiek

Het adviescollege concludeert dat er meer aan stikstofonderzoek gedaan moet worden en stelt voor een nationaal onderzoeksprogramma in te richten, waarbij alle relevante wetenschappelijke kennis in Nederland wordt ingezet en er een goede internationale inbedding is. Het gehele meet- en modelleerinstrumentarium kan hierdoor een nieuwe impuls krijgen. Om te zorgen voor voldoende maatschappelijk draagvlak beveelt het adviescollege aan bij de opzet en begeleiding van het programma belanghebbende partijen uit de samenleving te betrekken.

9. Buitenland

In het buitenland vindt het meten en berekenen van stikstofemissies, -verspreiding en depositie en van de kritische depositiewaarde (KDW) op een vergelijkbare manier plaats als in Nederland. Nederland doet het wel beter als het gaat om het meten van ammoniak in natuurgebieden. Daarentegen meet Nederland sommige stoffen niet, die bijvoorbeeld in Denemarken wel worden gemeten (salpeterzuur, peroxyacetylnittraat (PAN)). Waar de meet- en rekenmethodiek sterke gelijkenis vertoont, zijn er op het punt van beleid duidelijke verschillen. Zo gebruikt Denemarken een eenvoudige afstandstabel voor de vergunningverlening en hanteren Duitsland en België vooralsnog veel ruimere drempelwaarden voor vergunningverlening.

Hoofdstuk: 3 Bevindingen en verbetervoorstellen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste bevindingen en verbetervoorstellen nader toegelicht. Er is voor gekozen als eerste te kijken naar NEMA en AERIUS, omdat deze onderdelen in de voorgaande rapportage en beoordeling niet aan bod zijn gekomen. Daarna wordt dieper ingegaan op de modellen en metingen, de Emissieregistratie, de governance en een nationaal onderzoeksprogramma.

3.1 NEMA

Het National Emission Model for Agriculture (NEMA) is een rekenmethodiek die een onderdeel vormt van de Emissieregistratie. Met dit model worden onder andere de landbouwemissies van ammoniak (NH_3) en stikstofoxiden (NO_x) berekend uit stallen en mestopslagen, bij beweiding en bij toediening van dierlijke mest, kunstmest, compost en zuiveringsslib aan de bodem. Verder worden ammoniakemissies door mestbewerking en uit gewasresten meegenomen. Het principe van de methodiek is in de basis vergelijkbaar met de andere broncategorieën die in de emissieregistratie worden gebruikt, namelijk het vermenigvuldigen van activiteitgegevens met emissiefactoren³ die informatie geven over de hoeveelheid uitstoot per activiteit.

3.1.1 Landelijke emissieberekeningen met NEMA

Met NEMA worden stikstofstromen in de landbouw berekend op basis van kwantitatieve informatie over activiteiten die tot stikstoftoevoer leiden (de gebruikte activiteitgegevens). Dit betreft dieraantallen die worden vermenigvuldigd met stikstofexcreties per dier en hoeveelheden aangewende kunstmest, compost en zuiveringsslib die worden vermenigvuldigd met de stikstofgehalten in de toegediende stoffen. De NH_3 -emissies uit verschillende bronnen worden vervolgens berekend met emissiefactoren die voor dierlijke mest gerelateerd zijn aan het gehalte totaal ammoniakaal stikstof: TAN). Dit sluit aan bij internationaal gebruikte methodieken voor NH_3 -emissieberekeningen. Wijzigingen in het TAN-gehalte leiden dus tot andere emissies. Op vergelijkbare wijze worden NO_x -emissies berekend, maar daar is de NO_x -emissiefactor gebaseerd op totaal N. NEMA werkt met activiteiten en emissiefactoren per diersoort, staltype en/of aanwendingstechniek die zoveel mogelijk gebaseerd zijn op metingen (Tier 2- of 3-methodiek). Wat betreft diersoorten wordt uitgegaan van de diercategorieën in de Landbouwtelling⁴ zoals gerapporteerd door het CBS. Met het NEMA-model worden jaarlijks emissieberekeningen uitgevoerd en op basis hiervan worden de landelijke emissies van NH_3 en NO_x uit de landbouw gerapporteerd aan de Europese Commissie en aan de Europese Economische Commissie van de Verenigde Naties (UNECE). Dit om te kunnen toetsen of Nederland voldoet aan respectievelijk de NEC-richtlijn (nationale emissieplafonds) en het Gothenburg Protocol. Details van de NEMA-berekening en de gebruikte data zijn gegeven in Annex 3.

Het adviescollege constateert dat:

- a. NEMA een goede benadering is om op basis van de stikstofstromen en via TAN de landelijke ammoniakemissie te bepalen.
- b. De onzekerheid in emissie op landelijke schaal in beeld is gebracht op basis van een analyse van de voortplanting van fouten in invoergegevens. Daarbij is de grondslag van de onzekerheid in de invoergegevens veelal een *expert judgment*. Daarmee is de waarde van de gepresenteerde onzekerheden beperkt.

Ook zijn er verbeteringen mogelijk op het gebied van de emissiefactoren, het adviescollege komt tot een aantal aanbevelingen in hoofdstuk 3.3.4.

³ Een emissiefactor is de emissie per activiteitseenheid.

⁴ Beschrijving van de structuur van de Nederlandse agrarische sector (gegevens over bedrijven, veestapel, gewassen en speciale onderwerpen). De gegevens worden gebruikt voor onderzoek en door de politiek (nationaal en internationaal).

3.1.2 Lokale emissieberekeningen met NEMA-INITIATOR

Om regionale schattingen te maken van de NH₃- (en NO_x-)depositie met het OPS-model worden de landelijke NEMA-emissieberekeningen ruimtelijk verdeeld. Voor de verdeling van stalemissies wordt gebruik gemaakt van GIAB-plus, een database met informatie over de locatie, de dieraantallen (voor de verschillende diercategorieën in de Landbouwtelling) en het staltype van elke stal in Nederland. De ruimtelijke verdeling van ammoniakemissies door toediening van mest, kunstmest en beweiding wordt door het model INITIATOR per hectare berekend. Echter, in de ruimtelijke toedeling wordt geen rekening gehouden met een aantal ruimtelijk variabele parameters die de emissiefractie voor ammoniak mede bepalen, zoals bodemtype en klimaatgegevens. Details van de INITIATOR-berekening en de gebruikte data zijn gegeven in Annex 3.

Het adviescollege constateert dat:

- De berekeningswijze van INITIATOR om ammoniakemissies ruimtelijk te verdelen conform de internationaal gangbare praktijk is, waarbij de mate van detail in bronbeschrijving en de activiteitendata zeer groot is. De mate van detail moet wel afgewogen worden tegen de daarmee gegeven onzekerheid, waarvan een kwantificering ontbreekt. Die onzekerheid is namelijk groot. Want ook al is de ruimtelijke informatiedichtheid hoog, het ontbreken van de bedrijfsspecifieke en bodem-specifieke emissiefactoren (en het temporele verloop daarin) kan tot gevolg hebben dat belangrijke variaties in regionale emissiepatronen nu niet verdisconteerd worden.
- Het NEMA-INITIATOR-instrumentarium doelgeschikt is om op provinciale en gemeentelijke schaal een beeld te geven van de emissies, maar dat de emissieberekeningen op de lokale schaal grote onzekerheden kennen, die de nauwkeurigheid van de emissieschattingen beperken.⁵
- Er geen aandacht is voor de validatie van NEMA-INITIATOR in combinatie met OPS op regionale schaal (bijv. met satellietmetingen), met name waar het gaat om ruimtelijke patronen, terwijl dit essentieel is om er gevoel voor te krijgen of de ruimtelijke verdeling in emissieberekeningen overeenkomt met de praktijk.

Het adviescollege komt verder tot de volgende aanbevelingen in het kader van verbeteringen en validatie van het model (zie ook 3.3.4):

- Bij het bepalen van de emissies wordt geen rekening gehouden met de ruimtelijke en tijdsvariatie als gevolg van temperatuur en neerslag, die met name bij mestaanwending en beweiding een rol speelt. De NEMA-emissiefactoren hebben betrekking op een gemiddelde situatie. Effecten van weersinvloeden zijn in principe uit bestaande meetgegevens te halen. Dit is van belang voor het model OPS dat op dag-basis of nog gedetailleerder rekent.
- Het effect van ruimtelijke differentiatie in bodemtype (met name het verschil in kalkrijke en kalkloze gronden) wordt niet meegenomen. Het meenemen hiervan op basis van nieuw uit te voeren metingen is van belang om het emissiepatroon op regionale en lokale schaal te verbeteren.
- Emissies uit NEMA moeten met onafhankelijke metingen en methoden worden gevalideerd. Een voorbeeld is validatie met satellietmetingen van de combinatie van NEMA-INITIATOR-emissies met een model(ensemble), met name waar het gaat om concentratiepatronen in ruimte en tijd. Tevens kunnen regionale toepassingen van NEMA gevalideerd worden aan de hand van meetcampagnes met 'smart' sensoren en verspreidingsberekeningen.

3.2 AERIUS

Het doel van AERIUS Calculator is om de omvang van stikstofdepositie op de gevoelige Natura 2000-gebieden op uniforme wijze en zo nauwkeurig mogelijk in beeld te brengen. AERIUS wordt gebruikt

⁵De resultaten van INITIATOR worden niet direct binnen een AERIUS berekening gebruikt, maar vormen de input voor de GCN/GDN-kaarten. Daarmee zijn de resultaten van de emissieverspreiding input voor de berekening van de achtergronddepositie. Deze wordt bij een vergunning aanvraag opgeteld bij de extra depositie uit een AERIUS Calculator berekening en vergeleken met de depositieruimte per hexagoon.

in vergunningverlening en beleidsondersteuning. Zowel voor als na de uitspraak van de Raad van State over de PAS op 29 mei 2019 dient AERIUS Calculator een voldoende representatieve en betrouwbare berekening te kunnen maken van de (extra) bijdrage aan stikstofdepositie van een project. Deze moet als input dienen voor de ecologische beoordeling in hoeverre een project binnen de toegestane ruimte van het beleid blijft.

Het AERIUS-systeem heeft tot taak om voor het Nederlandse stikstofbeleid:

1. Op habitatniveau in Natura 2000-gebieden te bepalen wat de stikstofdepositie is van (nieuwe) stikstof emitterende projecten en deze te vergelijken met de KDW door middel van AERIUS Calculator;
2. in beeld te brengen wat de totale depositie is in Nederland door middel van AERIUS Monitor;
3. in kaart te brengen wat de trend is van de stikstofdepositie en de beschikbare depositieruimte door middel van AERIUS Register;
4. de bijdrage van verschillende broncategorieën aan de depositie op Natura 2000-gebieden te bepalen door middel van AERIUS Register;
5. de effecten van maatregelen en scenario's door te rekenen door middel van AERIUS Scenario.

AERIUS Calculator is een geavanceerd systeem dat ruimtelijk tot op het detailniveau van een hexagoon, ter grootte van een hectare, de depositie berekent die is veroorzaakt door de emissies die de gebruiker/ vergunningaanvrager heeft ingevoerd. De kern van de verspreidingsberekeningen binnen AERIUS Calculator bestaat uit het OPS-model en het Standaard Rekenmethode-2 (SRM2) model (zie de omschrijving in Annex 4.5), dat voor verspreiding van verkeeremissies gebruikt wordt. Voor deze modellen is gekozen omdat ze in beheer van de overheid waren en al binnen aanpalende luchtkwaliteitsdossiers (bijv. de Europese luchtkwaliteitsrichtlijn) werden gebruikt.

In de berekenketen tussen emissie en depositie bestaat een aantal onzekerheden: in de beleidstoepassing van AERIUS Calculator worden kleine verschillen in concentraties en depositie berekend op basis van emissies van projecten. Daarbij wordt een zeer lage drempelwaarde gebruikt om vast te stellen of een project significant bijdraagt aan de depositie. Dit is een dusdanig lage waarde dat die meet-technisch niet aan te tonen is op enige afstand van een project. Dit levert schijnnaauwkeurigheid op, omdat er onvoldoende informatie is om op de gevraagde ruimtelijke schaal de berekening met voldoende nauwkeurigheid uit te voeren. De onzekerheid in de berekening is veel hoger dan de gestelde drempelwaarde. Voor een beleidstoepassing is deze praktijk desondanks nodig, om te voorkomen dat veel kleine extra emissies bij elkaar opgeteld tot een grote stijging van de depositie leiden. Een beoordelingsdrempel gebaseerd op de modelonzekerheden op lokale schaal is voor beleidstoepassingen niet werkbaar. Het is uiteindelijk aan de eigenaar van het systeem of de mate van onzekerheid vanuit beleidsperspectief opweegt tegen bijvoorbeeld het voorzorgsprincipe. Dat kan een reden zijn om het systeem met bijbehorende onzekerheden alsnog voor beleidstoepassingen in te zetten.

Om toch aan de wens te voldoen dat er een beleidsinstrument voorhanden is, heeft het adviescollege het AERIUS-systeem gewogen aan de hand van de volgende criteria:

- Is er een risico dat door toepassing van AERIUS de stikstofdepositie op bepaalde Natura 2000-gebieden toeneemt, waardoor de instandhoudingsdoelen in gevaar komen?
- Is er een vergelijkbare berekenwijze in de toepassing van AERIUS voor verschillende gebruikers?
- Is de uitkomst van de berekening voldoende robuust om een toets te kunnen doen?

3.2.1 Evaluatie van criteria

Voorkomen toename stikstofdepositie

Het adviescollege concludeert dat het gebruik van een beoordelingsdrempel van 0,005 mol/ha per jaar in een AERIUS-berekening suggereert dat alle bronnen die leiden tot die depositie goed in kaart

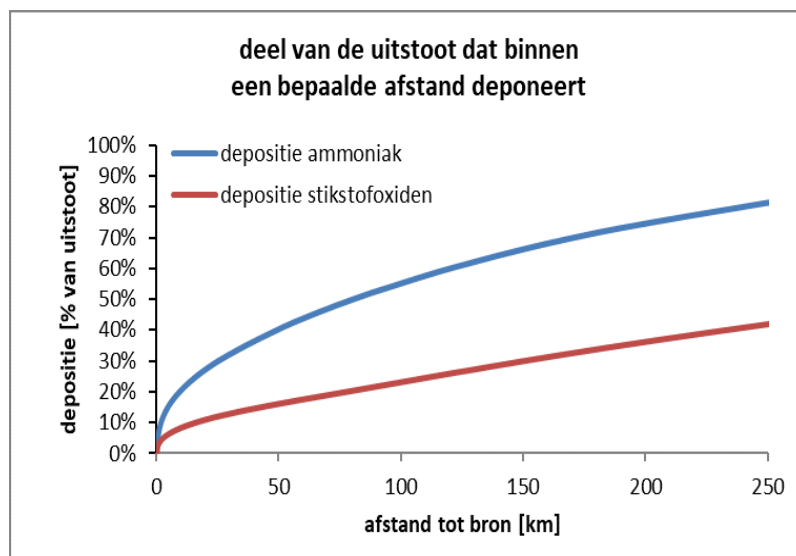
zijn gebracht. Hiermee is de kans op een onverhoopte toename van de stikstofdepositie beperkt. Op dit aspect beoordeelt het adviescollege daarom dat de toepassing van de AERIUS-systematiek geen risico heeft op toename van de stikstofdepositie.

Vergelijkbaarheid berekenwijze

Binnen AERIUS vindt een OPS-modelberekening plaats, waarbij het effect op de stikstofdepositie op stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden van een specifieke bron wordt doorgerekend. Dit geldt voor alle broncategorieën, behalve voor verkeeremissies, waarvoor binnen AERIUS het SRM-2-model wordt gebruikt. De reden hiervoor is dat SRM-2 de concentraties (en daarmee de luchtkwaliteit) rondom wegen goed in kaart kan brengen. In de huidige opzet van het systeem wordt deze concentratiebijdrage tot op 5 km afstand van wegen berekend. Door menging met schonere lucht worden concentraties snel lager met de afstand van de bron. Wat betreft de rol van depositie: op 20 km van de bron is grofweg slechts 30% van de uitgestoten ammoniak neergeslagen. Voor stikstofoxiden is dit zo'n 10%. Op een afstand van 250 kilometer is zo'n 80% van de ammoniak gedeponeed en zo'n 40% van de stikstofoxiden (zie figuur 1). Met deze gegevens in het achterhoofd, is een afkap op 5 km voor verkeeremissies niet verdedigbaar, omdat het grootste gedeelte van de NH₃- en NO_x-depositie op grotere afstanden plaatsvindt.

De SRM-2-methode voor verkeer verschilt daarmee van de doorrekening van andere broncategorieën, die met het OPS-model worden berekend tot op grotere afstanden. Hierdoor ontstaat er een niet-verdedigbaar verschil in de beoordeling van verkeersactiviteiten tegenover andere bronnen.⁶

Op basis van deze ongelijke behandeling van broncategorieën beoordeelt het adviescollege het gebruik van SRM-2 binnen AERIUS als niet doelgeschikt, omdat het leidt tot verschil in beoordeling van sectoren.



Figuur 1: De hoeveelheid depositie uitgedrukt als percentage van de hoeveelheid emissie van NH₃ en NO_x, als functie van de afstand tot de emissiebron (Bron: RIVM).

Robuustheid resultaten AERIUS-berekening

De mate van detail in AERIUS-berekeningen is volgens het adviescollege niet in balans met de grote onzekerheden die het gevolg zijn van onze beperkte kennis van de fysisch-chemische processen die alleen sterk versimpeld kunnen worden meegenomen. Processen als uitstoot, verspreiding en depositie zijn bij de modellering altijd een versimpeling van de werkelijkheid. Als voorbeeld rekent AERIUS de verdunning en depositie tussen de bron en het ontvangende hexagoon uit afhankelijk van

⁶ Dit onderscheid tussen het gebruik van OPS voor de meeste broncategorieën en SRM-2 voor verkeeremissies speelt alleen een rol bij de vergunningverlening binnen AERIUS, niet bij het produceren van de GCN-/GDN-kaarten.

een beperkte steekproef van het tussenliggende landgebruik, hetgeen veel detail impliceert. Daarentegen is de onzekerheid in de depositieberekeningen zelf zeer groot. Verder wordt er gerekend met een beperkt aantal landgebruiksklassen, hetgeen de werkelijkheid niet kan benaderen. Deze manier van berekenen levert daardoor een schijnzekerheid op. Hier lopen wetenschap en beleid te sterk door elkaar: omdat het technisch gezien mogelijk is in groot detail te rekenen, wordt dit in het beleidsinstrument toegepast zonder een goede afweging of de berekening de werkelijkheid weergeeft en het bijdraagt aan de totale kwaliteit van de berekening. Daarnaast komt een dergelijke methode de transparantie van het AERIUS-systeem niet ten goede, wat leidt tot veel vragen bij de gebruikers.

Het adviescollege beoordeelt dat de huidige rekenmethodiek die wordt toegepast binnen AERIUS leidt tot schijnzekerheid en onvoldoende robuust is.

Conclusie doelgeschiktheid AERIUS

Het adviescollege concludeert samenvattend dat de huidige rekenmethodiek die wordt toegepast binnen AERIUS op dit moment niet doelgeschikt is. De mate van detaillering in de berekening van de depositie is niet in balans met de onzekerheid van de verschillende factoren die de depositie bepalen en er is ongelijkheid in de beoordeling van verkeersbijdrage ten opzichte van andere bronnen.

3.2.2 Verbeterde rekenbasis voor vergunningverlening

Het college realiseert zich terdege dat het beleid een instrument nodig heeft voor de vergunningverlening en beleidsonderbouwing. Het AERIUS-systeem (bron-receptorcalculator, register en monitoring) is daar in principe voor geschikt, mits de door het adviescollege geconstateerde tekortkomingen in het rekenhart van het huidige systeem worden verbeterd. Het adviescollege komt met enkele aanbevelingen om de gelijkwaardigheid, transparantie, robuustheid en daarmee dus de doelgeschiktheid van AERIUS-berekeningen te verbeteren. In de kern gaat het erom om de mate van detail in de berekening meer in overeenstemming te brengen met de algehele stand van de wetenschap en er meer gelijkheid in te brengen voor alle gebruikers. Het voorzorgsbeginsel van het instrumentarium kan gerespecteerd blijven door de uitkomsten te koppelen aan de mate van overschrijding van de depositie.

Getrapte detaillering in het rekensysteem

Het adviescollege is niet in staat om een uitspraak te doen over het aantal cijfers achter de komma waarmee de depositieberekening wetenschappelijk nog verantwoord is. Dat vereist uitgebreider onderzoek naar de onzekerheden in de AERIUS-berekeningen. Het college adviseert vanuit het voorzorgsbeginsel om de toepassing van AERIUS in de beoordeling te koppelen aan het generieke stikstofbeleid dat als doel heeft om tot depositieverlaging te komen. Een grote verlaging van depositie door generiek beleid beschermt immers de natuur en verkleint de behoefte om de extra depositie, veroorzaakt door nieuwe projecten, met grote nauwkeurigheid in kaart te brengen. In de context van de uitspraak van de Raad van State is het advies om nu de grens van 0,005 mol/ha per jaar te blijven hanteren en die grens te verhogen afhankelijk van de mate van reductie van de overschrijding van de kritische depositiewaarde (KDW) als gevolg van (gezekerd) generiek beleid. Als bijvoorbeeld de overschrijding van de KDW in een Natura 2000-gebied gehalveerd wordt door generiek beleid, dan kan de grens van 0,005 mol/ha per jaar verruimd worden naar een hogere waarde en kan daarmee een project eerder vergund worden.

Hieronder worden drie punten gepresenteerd die op korte termijn helpen bij een gelijkwaardigere, transparantere en robuustere opzet van het rekenhart binnen het AERIUS-systeem, om daarmee het systeem meer doelgeschikt te maken.

Aggregatie naar habitatype (incl. afstandscriteria)

Het adviescollege beveelt aan om de mate van detail in de evaluatie van depositie op natuurgebieden te verlagen om daarmee de robuustheid van depositieberekeningen te vergroten. Dit kan worden gerealiseerd door bij het berekenen van de depositie ruimtelijk te aggregeren door binnen een Natura 2000-gebied het gemiddelde te nemen van alle hexagonen per habitatype, in plaats van een

gedetailleerde evaluatie te doen per hexagoon op de hectareschaal. De bovenstaande getrapte detaillering zal dan van toepassing zijn op deze nieuwe schaal. Daarbij moet in de toepassing van de aggregatie een afstandscriterium worden gehanteerd voor de grotere Natura 2000-gebieden, omdat daar de stikstofdepositie grotere ruimtelijke variatie kent.

Bron-receptormatrix

Het adviescollege beveelt aan om de verspreidingsberekeningen in AERIUS in het vervolg uit te voeren met behulp van bron-receptormatrices (BRM's). Een BRM geeft een relatie weer tussen de receptor (in dit geval depositie op een natuurgebied) en de bron (emissie van reactieve stikstofverbindingen). Daardoor kan op een efficiënte en generieke manier het effect van een bepaalde bron op de depositie in een bepaald gebied inzichtelijk worden gemaakt. De BRM is per type bron hetzelfde en kan per component en bronhoogteklasse worden vastgesteld. Deze methode leidt tot een vereenvoudiging van de rekenmethodiek binnen het AERIUS-systeem en zorgt voor een gelijke beoordeling van verschillende broncategorieën.

Een BRM kan worden bepaald op basis van berekeningen uit een luchtkwaliteitsmodel (bijv. OPS, EMEP en LOTOS-EUROS, of een combinatie daarvan). De bron wordt op een vergelijkbare manier als nu ingevoerd. De receptor is een cluster van hexagonen per habitatype, zoals hierboven gedefinieerd. Hier adviseert het adviescollege ook dat allerlei gedetailleerde elementen (bijv. het effect van geluidschermen langs wegen of meer detail anders dan het gemiddelde landgebruik tussen bron en receptor) niet meer worden meegenomen bij iedere afzonderlijke berekening maar verwerkt zijn in de BRM. Deze BRM's worden in eerste instantie berekend met OPS met langjarig gemiddelde meteorologische gegevens. In overeenstemming met de eerdere aanbevelingen adviseert het adviescollege ten sterkste de BRM op langere termijn door een gevalideerd ensemble van modellen te berekenen, waarin zowel grond-, als satellietmetingen worden meegenomen. Dit leidt tot een stapsgewijze reductie van de onzekerheden in de verspreidingsberekeningen.

SRM-2/ OPS (5 KM)

Het adviescollege adviseert om de berekening van NO_x- en NH₃-concentraties ten gevolge van verkeeremissies met SRM-2 te laten vallen en te vervangen door gebruik te maken van een op OPS gebaseerde bron-receptormatrix. Hierdoor vervalt impliciet ook de afkappingsafstand van 5 km voor verkeeremissies.

Conclusie vergunningverlening middels AERIUS

Samengevat zal de gecombineerde implementatie van deze drie aanbevelingen (gebruik BRM's, afschaffen afstandscriterium, aggregatie habitatypen) leiden tot vereenvoudiging en minder gedetailleerde berekeningen. Het adviescollege concludeert dat het AERIUS-systeem daardoor op korte termijn eerlijker, transparanter, robuuster en daarmee doelgeschikter wordt. Om het systeem robuuster te maken, zijn verdere verbeteringen in de meet- en modelstrategie nodig, onder andere door te gaan werken met een modelensemble. De volgende paragraaf biedt daarover uitgebreidere informatie.

3.3 Verbetering meet- en rekenmethodiek

3.3.1 Verbetering meetnetten

In vervolg op het eerste adviesrapport, beveelt het adviescollege aan de netwerken voor metingen van concentraties en depositie van reactieve stikstofverbindingen uit te breiden en deze uitbreiding te koppelen aan de vernieuwde meet- en modelleerstrategie. Afhankelijk van de meetstrategie beveelt het adviescollege aan dat het bestaande netwerk uitgebreid of geïntensiveerd zou moeten worden door een getrapte strategie toe te passen, waarin:

- op meerdere plekken simultaan en met hoge tijdsresolutie een compleet beeld gegenereerd wordt van concentraties en depositie;
- op een groter aantal punten low-cost-technieken toegepast worden met een lagere tijdsresolutie (bijv. in het MAN-netwerk).

Het adviescollege beveelt in ieder geval de volgende uitbreidingen aan, met de opmerking daarbij dat met een gedegen meetstrategie tot een andere constellatie gekomen kan worden:

- Het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) uitbreiden met:
 - a. Uurlijkse ammoniakmetingen (met de mini-DOAS-metmethode) zodat op minimaal acht meetpunten met verschillende emissieniveaus (hoge en lage emissie en een middenklasse) gemeten wordt;
 - b. Verbetering en uitbreiding van de metingen van de chemische samenstelling van fijnstof op de acht meetpunten waar ammoniak gemeten wordt;
 - c. Vier meetpunten, verdeeld over Nederland, waar met hoge tijdsresolutie de concentraties van andere stikstofcomponenten (zoals salpeterzuur, salpeterigzuur, peroxyacetylnitraat (PAN) en amines) gemeten worden;
- De netwerken met grondmetingen aanvullen met satellietmetingen van ammoniak en stikstofdioxide, en het structureel gebruiken van deze metingen (zie hoofdstuk 3.3.3);
- Uitbreiding van de depositiemetingen, ten behoeve van de monitoring van stikstofdepositie en het onderzoek naar (de parameterisatie van) het depositieproces. Dit geldt voor ammoniak en stikstofoxiden, maar ook voor andere stikstofcomponenten (bijv. salpeterzuur). Specifieke aandacht is ook nodig voor de meting van de depositie van aerosolen (ammoniumnitraat en -sulfaat).

Daarnaast is de formulering van een meetstrategie nodig die in kaart brengt waar welke stoffen en depositie gemeten moeten worden, om het modelensemble voor de berekening van de depositie te kunnen valideren. Dit biedt ook de mogelijkheid om vast te stellen met welke nauwkeurigheid de trends in de depositie op Natura 2000-gebieden te volgen zijn.

3.3.2 Modelverbetering

Het adviescollege beveelt in het algemeen aan de onzekerheid die het gebruik van het OPS-model met zich meebrengt te verminderen. In de eerste plaats kan dit door gebruik te maken van rastermodellen die rekenen op basis van uurlijkse meteorologische gegevens. Met dat type modellen kunnen de complexe interacties tussen weer, atmosferische chemie en depositie, die essentieel zijn voor een juiste berekening van de stikstofdepositie, goed meegenomen worden. In het Verenigd Koninkrijk is deze ontwikkeling ook ingezet waarbij meerdere modellen (OPS-achtig, rastermodel) worden ingezet en vergeleken voor de berekening van de achtergronddepositie.

In de tweede plaats kan het modelinstrumentarium verbeterd worden door, zoals hiervoor benoemd, gebruik te maken van een ensemble van meerdere modellen, omdat is aangetoond dat de onzekerheid in modeluitkomsten kan worden gereduceerd door de uitkomsten van meerdere modellen te combineren. Een goed voorbeeld van een dergelijke modelaanpak is het door de Europese Unie opgezette Copernicus Atmospheric Monitoring System (CAMS), waarmee de luchtkwaliteit berekend wordt aan de hand van verschillende modellen (o.a. LOTOS-EUROS en EMEP).⁷ Ook in de weersvoorspelling is het gebruik de verwachtingen te baseren op een ensemble van modellen tegenwoordig gemeengoed.

In de derde plaats wordt ter verbetering van de modeluitkomsten aanbevolen om meer gebruik te maken van assimilatie- en optimalisatietechnieken. Hierbij worden door middel van wiskundige technieken modellen en metingen gecombineerd om tot een optimale schattingen te komen van emissies, concentraties en depositie (assimilatie). Dergelijke technieken kunnen ook helpen bij het identificeren van onzekere modelparameters zoals depositieparameters en de emissies (optimalisatie) en geven de mogelijkheid om zowel grondmetingen als satellietwaarnemingen tegelijk mee te nemen.

In de vierde plaats kunnen modellen verbeterd worden door de parameterisaties die gebruikt worden van emissie, verspreiding en depositieprocessen te verbeteren aan de hand van metingen uit het

⁷<https://atmosphere.copernicus.eu>

uitgebreide meetnet, zoals hierboven voorgesteld. Door de aanbevolen uitbreiding van de metingen, inclusief satellietmetingen (zie hoofdstuk 3.3.3) komt hiervoor meer informatie beschikbaar. Er is echter ook gericht procesonderzoek noodzakelijk om deze verbetering te realiseren (zie hoofdstuk 3.5).

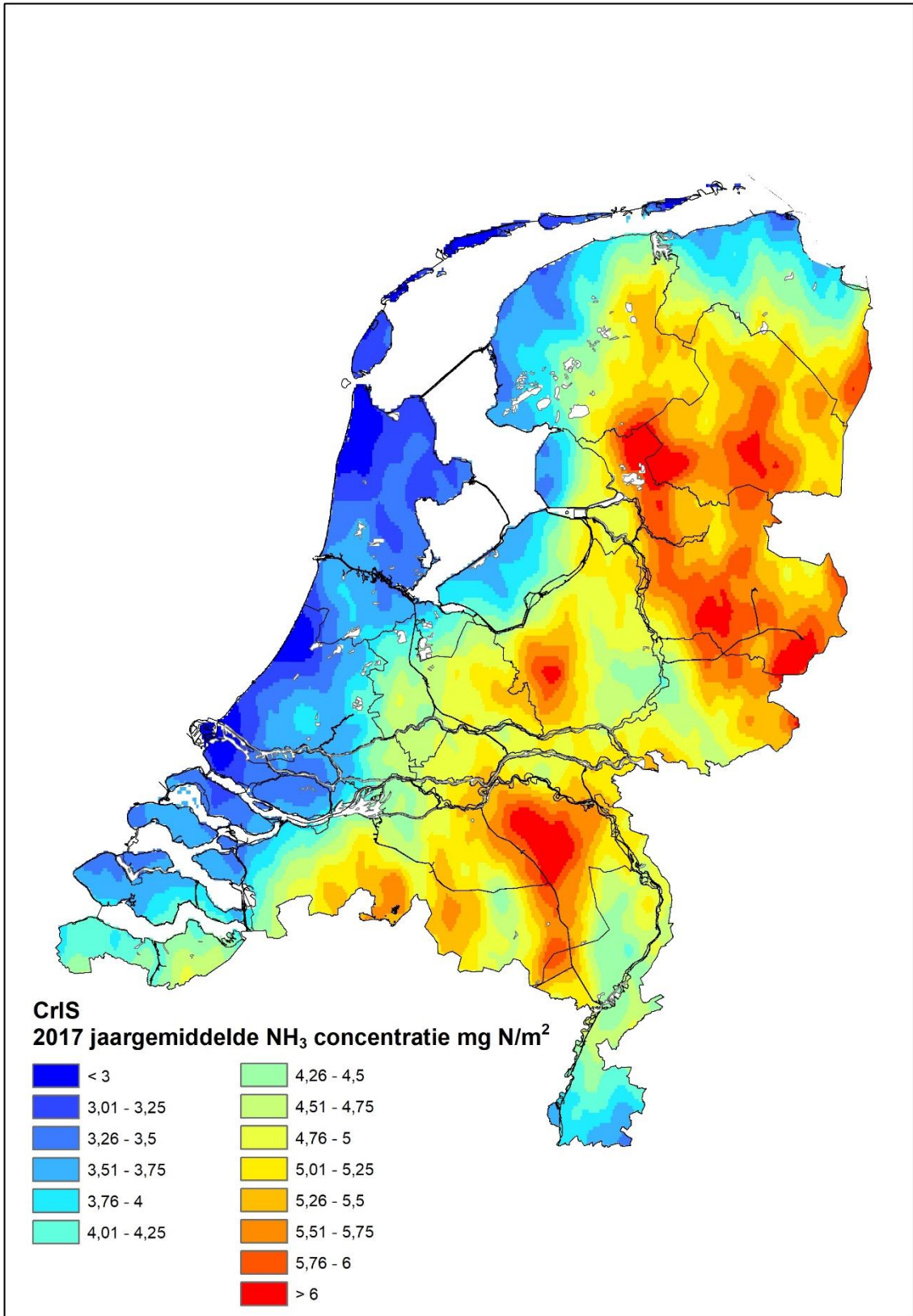
De modevaluatie en -verbetering is een continu proces, dat kan worden gestimuleerd door binnen Nederland in een multidisciplinair verband samen te werken met alle kennisinstellingen op dit dossier, ingebed in de (inter)nationale wetenschappelijke gemeenschap.

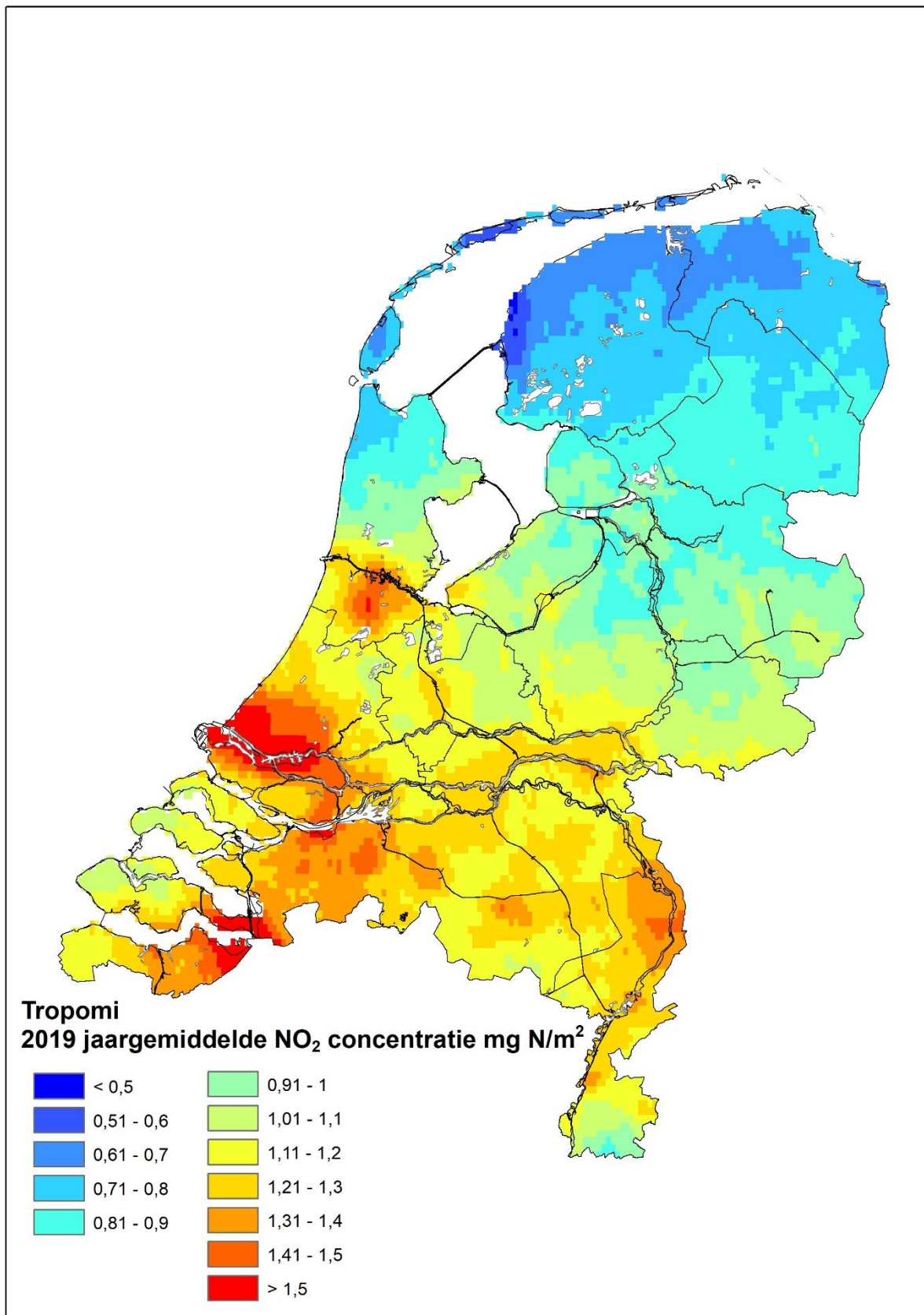
3.3.3 Gebruik van satellietwaarnemingen

Het adviescollege beveelt aan om de netwerken met grondmetingen aan te vullen met satellietmetingen van ammoniak en stikstofdioxide, en structureel gebruik te maken van deze metingen. Satellietwaarnemingen zouden meer geïntegreerd moeten worden in het instrumentarium voor beleidsonderbouwing en ingezet moeten worden om de onzekerheden in de modellen te bestuderen en emissies af te schatten en te kwantificeren.

De twee belangrijke componenten van stikstof, NO₂ en NH₃, worden beide waargenomen vanuit de ruimte. Satellieten geven dagelijkse informatie voor heel Nederland met een ruimtelijke resolutie van ongeveer 5 km tot 10 km (zie figuur 2). De komende decennia zijn deze metingen gegarandeerd en de gegevens zijn alle kosteloos en zonder beperkingen toegankelijk.⁸ Momenteel worden deze metingen echter niet gebruikt voor Nederlandse beleidstoepassingen.

⁸ <https://www.copernicus.eu/nl>





(Figuur 2: TROPOMI NO₂-jaargemiddelde; CrIS NH₃-meerjaarsgemiddelde boven West-Europa). Bron: TROPOMI NO₂ (KNMI, ESA) en CrIS NH₃ (TNO, Environment and Climate Change Canada)

De optimale manier om satellietgegevens te benutten is om deze metingen te combineren met rastermodellen (zoals EMEP of LOTOS-EUROS) die op uurlijkse basis de horizontale en verticale verdeling van reactief stikstof modelleren, en die daarbij gebruik maken van nauwkeurige actuele meteorologische informatie (wind, temperatuur, vocht, etc.). Het combineren van zowel de grond- en satellietmetingen met de modelresultaten (assimilatie) leidt tot een zo optimaal mogelijke beschrijving van de NO₂- en NH₃-concentraties en pluimen in de atmosfeer, om zo een verbeterde berekening van de stikstofdepositie te kunnen doen. Ook neemt een dergelijk systeem direct de onzekerheden mee die in alle processen en metingen een rol spelen. Met standaard OPS is een direct gebruik van satellietmetingen niet goed mogelijk, omdat dit model jaargemiddelde grondconcentraties modelleert op basis van representatieve meteorologische gegevens. Modellen zoals LOTOS-EUROS en EMEP zijn hiervoor wel geschikt. Met behulp van satellietwaarnemingen is de kennis over het transport van stikstof over de landsgrenzen heen te verbeteren. Satellietwaarnemingen leveren hierin een unieke bijdrage. Verder is het mogelijk om op basis van satellietwaarnemingen de ruimtelijke verdeling van emissies en de veranderingen van die emissies in de tijd te kwantificeren, als onafhankelijke toets van de Emissieregistratie.

Tot slot zijn er veel satellietwaarnemingen die op onderdelen informatie leveren die kan bijdragen aan verbetering van de modellering van stikstofdepositie. Het gaat bijvoorbeeld om meteorologische gegevens en relevante parameters voor landgebruik, vegetatie en ruwheid.

3.3.4 Verbetering emissie-invoer voor modellen

Het adviescollege beveelt aan om de modelinvoer te versterken door parameterisaties (emissiefactoren en ruimtelijke verdeling) te verbeteren gebaseerd op aanvullende emissiemetingen in praktijksituaties.

Emissiefactoren landbouw

De landbouwsector is een van de belangrijkste bronnen van NH₃-emissies en emitteert daarnaast ook in mindere mate NO_x. Dit onderstreept het belang van correcte emissieschattingen.

Bij het schatten van stalemissies, beweidingsemisies en bemestingsemisies wordt gebruik gemaakt van emissiefactoren voor NH₃. Deze worden geacht representatief te zijn voor de verschillende stalsystemen en aanwendingstechnieken. In principe zijn stalemissies gebaseerd op metingen (hoewel vaak van 25 tot 15 jaar geleden) waarbij emissiefactoren zijn genormaliseerd naar een gemiddelde waarde voor factoren die de emissie beïnvloeden, met name melkureum, buitentemperatuur en met mest besmeurd loopoppervlak van het dier (met name melkvee). Voor beweiding- en bemesting zijn ook alle emissiefactoren gebaseerd op metingen, waarbij geen onderscheid is gemaakt in grondsoort.

Het adviescollege komt daarom tot de volgende aanbevelingen (zie ook Annex 2.3.2 voor details):

- a. NEMA berekent thans een jaarlijkse emissie zonder informatie over de temporele variatie en variatie binnen het jaar als gevolg van meteorologische verschillen. Voor de modellering van depositie is die noodzakelijk en daarvoor worden nu veelal eenvoudige benaderingen gebruikt. Die informatie zou te verbeteren zijn op basis van de bestaande meetgegevens, aangezien metingen aan die emissies veelal over langere perioden plaatsvinden. Hieruit zouden effecten van weersinvloeden te halen moeten zijn.
- b. De NEMA-emissiefactoren voor stalsystemen zijn gebaseerd op emissiemetingen van 20 tot 15 jaar geleden. Verbetering ervan kan door concentratiemetingen bij stalsystemen in de praktijk uit te voeren. Daarnaast is aanvullend onderzoek nodig naar gasvormige stikstofverliezen uit emissiearme stallen, gelijktijdig met berekeningen van de gasvormige stikstofverliezen volgens een de massabalansmethode.
- c. Het is van belang om emissiemetingen te verrichten aan (i) nieuwe toedieningstechnieken zoals het met water verdunnen van mest die met een zodenbemester wordt toegediend en (ii) nieuwe mestproducten door mestbewerking en mestverwerking zoals digestaat uit mestvergisting en mineralenconcentraten.

- d. De NEMA-emissiefactoren kunnen worden verbeterd voor regionale en lokale toepassingen door factoren mee te nemen waarover regionaal informatie bekend is, zoals temperatuur en grondsoort, om zo tot een betere regionale spreiding van emissies te komen. Dit vereist nieuwe metingen.
- e. Door een combinatie van 'smart sensing' en verspreidingsmodellering zal gezocht moeten worden naar methoden die de stikstofstromen en de verliezen voor het hele bedrijfssysteem kunnen vaststellen om zo de integrale verliezen van NEMA te kunnen valideren.
- f. De emissies van NO_x uit landbouwbodems worden enkel door middel van de Tier 1-methode meegenomen en zijn erg onzeker. Een op metingen gebaseerde Tier 2-methode wordt aanbevolen.
- g. De informatie voor stalemissies is met name te vinden in rapporten, die deels niet up to date zijn. Er is een beperkt aantal wetenschappelijke publicaties beschikbaar. Het is daarom van belang om hier meer aandacht aan te besteden in het kader van internationale afstemming en toetsing.

Emissiefactoren voertuigen en kleine industriële bronnen

Ervaring in het verleden heeft geleerd dat de NO_x-emissies van nieuwe voertuigen vaak rooskleuriger ingeschat werden dan later in de praktijk bleek. Het is dus noodzakelijk de uitstoot van voertuigen te monitoren. Door praktijkmetingen en het vaststellen van daarop gebaseerde emissiefactoren kunnen mee- en tegenvallers vroegtijdig worden gesignaleerd. Een betrouwbare set van emissiefactoren voor voertuigtypes en -technologieën legt het fundament voor de vaststelling van de huidige emissies, de effectiviteit van gevoerd beleid, de prognoses van toekomstige emissies en de evaluatie van mogelijke maatregelen. Nederland heeft een grote reputatie op het gebied van het monitoren en in kaart brengen van voertuigemissies. Het adviescollege raadt aan deze rol te bestendigen en waar mogelijk uit te breiden met programma's gericht op mobiele werktuigen en vaartuigen.

Kleine industriële bronnen worden nu ingeschat op energieverbruik. Het adviescollege beveelt aan om hier ook een meetstelsel voor op te zetten zodat deze bronbijdrage voldoende kan worden geschat op basis van metingen.

Gewenste ontwikkelingen zijn, volgens het adviescollege:

- a. methoden te ontwikkelen om het aantal reguliere voertuigen waarvan de emissie in de praktijk gemeten wordt, sterk te verhogen;
- b. methoden te ontwikkelen om manipulatie en veroudering van voertuigen die leiden tot hogere emissies (bijv. afschakeling van AdBlue-dosering bij vrachtwagens of verwijdering van roetfilters) op te sporen;
- c. bepaling van de manier waarop de emissies zich gedragen als functie van weersomstandigheden.

Ruimtelijke verdeling emissies

De Emissieregistratie levert gegevens over de jaarlijkse emissietotalen uit verschillende sectoren in Nederland. Om deze gegevens in te zetten in de modellering (in een modelensemble) moeten de nationale totalen ruimtelijk worden toebedeeld aan een specifieke locatie (kartering). Dit gebeurt voor de landbouwemissies door middel van INITIATOR (zoals bij 3.1.2 beschreven). Voor de overige broncategorieën wordt gebruik gemaakt van relevante ruimtelijke indicatoren, zoals de verkeersintensiteiten op het hoofdwegennet voor verkeeremissies. Een groot deel van de emissies wordt echter ruimtelijk verdeeld met simpele factoren. Daardoor introduceren deze rekenkundige processen extra onzekerheden, bovenop de al beschreven onzekerheden in de nationale emissietotalen.

Het adviescollege beveelt aan de methoden te evalueren (bijv. aan de hand van vergelijkingen met meetgegevens van de meetnetten en satellieten) en waar mogelijk te verkennen of er methoden te ontwikkelen (bijv. door middel van satellietmetingen) zijn om de verdeling van de emissies beter in kaart te brengen.

3.4 Governance

De wetenschappelijke instrumenten die gebruikt worden in het Nederlandse stikstofbeleid zijn voor een deel in de loop van tientallen jaren gebouwd. Zij hadden als doel om een aantal nationale en internationale verplichtingen op het gebied van stikstof (vaak in combinatie met andere stoffen) te analyseren en te volgen. Te denken valt aan transportbeleid; nationaal, Europees en internationaal beleid voor luchtkwaliteit; klimaatbeleid en nationaal stikstofbeleid. Mede door de lange periode van opbouw en gebruik en door de betrokkenheid van verschillende delen van de nationale en regionale overheid, is de governance van de wetenschappelijke instrumenten onhelder geworden. Het adviescollege constateerde in zijn eerste adviesrapport al een onduidelijke afbakening tussen de taken van opdrachtgever en opdrachtnemer.

Inmiddels is gebleken dat de governance van de Emissieregistratie (inclusief het NEMA-deel) opnieuw wordt opgezet. Hierbij worden ook de bijbehorende datastromen in ogenschouw genomen. Het adviescollege geeft hierbij de volgende aandachtspunten, die ook van toepassing zijn op de governance van andere delen van het wetenschappelijk instrumentarium voor het stikstofbeleid, zoals AERIUS.

- De governance moet er op gericht zijn de onafhankelijkheid en wetenschappelijke integriteit van de deelnemende wetenschappelijke instellingen te waarborgen.
- De governance dient ervoor te zorgen dat de wetenschappelijke kennis en expertise in Nederland effectief wordt ingezet en er voldoende internationale kennisuitwisseling plaatsvindt.
- De governance-structuur dient helder en transparant opgezet te worden, waarbij onderlinge afhankelijkheden tussen instanties en instituten direct zichtbaar zijn.
- Naast een scheiding van taken en verantwoordelijkheden van opdrachtgever en opdrachtnemer is het ook van belang de onderscheiden taken en verantwoordelijkheden aan de wetenschappelijke kant duidelijk te beschrijven. Bij veel wetenschappelijke instrumenten in het stikstofbeleid spelen RIVM en onderdelen van Wageningen Research een grote rol. Taken van deze instellingen en die van andere deelnemers dienen duidelijk omschreven te zijn. De werkgroepleden van NEMA zijn bijvoorbeeld vrijwel allemaal verbonden aan de WUR, naast enkele leden die verbonden zijn aan het RIVM en het CBS. Een bredere wetenschappelijke borging met een vertegenwoordiging van alle Nederlandse kennisinstellingen die werken aan dit dossier en betere afstemming van procedures en integratie met de Emissieregistratie is gewenst.
- De governance dient ook een duidelijke structuur van kwaliteitsborging te bevatten. Onderdeel daarvan is een periodieke internationale wetenschappelijke review van de instrumenten door een commissie die van samenstelling verandert.
- Een stuurgroep (vanuit de opdrachtgevers en met betrokkenheid van andere relevante stakeholders) zal volgens het adviescollege moeten sturen op de keuze van onderzoeksvragen, de financiering van het onderzoek, de planning van het onderzoek met het oog op de beleidsvragen en de organisatie van internationale reviews.
- Een stuurgroep houdt zich niet bezig met de inhoudelijke, technische en methodologische aspecten van het onderzoek.
- Er wordt een transparante werkstructuur voor het onderzoek opgezet waarin alle betrokken instellingen participeren. Deze werkstructuur is flexibel en stimuleert multidisciplinaire samenwerking, uitwisseling van data en modellen, en kritische reflectie.
- De governance biedt mogelijkheden om samenwerking buiten de kring van direct betrokken instellingen aan te gaan.
- De governance is gericht op het bewaken van de kwaliteit van de data(stromen) en habitatkaarten.

3.5 Onderzoeksprogramma

Het adviescollege beveelt aan een nationaal stikstofonderzoeksprogramma in te richten met als doel de grote onzekerheid in de berekening van emissie, verspreiding, en depositie van reactief stikstof te verkleinen.

In een stikstofprogramma kunnen wetenschappelijke vragen rond het stikstofbeleid in samenhang en over een langere periode systematisch aan de orde komen. In samenhang met dit programma kan het gehele meet- en modelleerinstrumentarium een nieuwe doelgerichte impuls krijgen na een jarenlange praktijk van incrementele wijzigingen. Bij het programma worden alle relevante kennisinstellingen in Nederland betrokken.

In ieder geval zou in een dergelijk programma aandacht moeten zijn voor de volgende onderwerpen:

- a. het ontwikkelen van een vernieuwd en efficiënt modelleringsstelsel;
- b. het ontwikkelen van nieuwe meetmethodes om het netwerk te optimaliseren;
- c. het ontwikkelen van technieken (assimilatie, inverse modellering) om optimaal gebruik te maken van grond- en satellietmetingen;
- d. het bestuderen en verbeteren van procesbeschrijvingen met behulp van metingen (o.a. droge depositie);
- e. de kwantificering van de onzekerheden in de keten van emissies tot depositie;
- f. een verkenning van de haalbaarheid van een programma gericht op een nieuw satellietinstrumentarium dat gebiedsgericht I_3 en NO_2 kan meten op hoge resolutie ($\sim 1 \times 1 \text{ km}^2$).
- g. uitgebreider onderzoek naar de effecten van stikstof met behulp van ecologische metingen (dit valt buiten de opdracht van het adviescollege, maar is desondanks van belang).

Voor een breed gedragen lange termijnoplossingsrichting voor de stikstofproblematiek is het essentieel om de noodzakelijke wetenschappelijke basis te versterken en het benodigde wetenschappelijke en praktijkgerichte onderzoek op een gecoördineerde manier uit te voeren. Het adviescollege heeft aangegeven dat een bredere samenwerking nodig is om het stikstofbeleid met voldoende wetenschappelijke kwaliteit te onderbouwen, te monitoren en van de nieuwste inzichten te voorzien. Er is meer samenwerking nodig tussen RIVM en Wageningen Research enerzijds en de andere kennisinstellingen en universitaire groepen anderzijds.

Het onderzoeksprogramma verdient een governance die voldoende maatschappelijk draagvlak garandeert. Het is immers van groot belang dat er in de toekomst voldoende maatschappelijk draagvlak is voor de wetenschappelijke onderbouwing van maatregelen en hun effecten. Daarbij is wel een belangrijk uitgangspunt dat de belangen van stakeholders gescheiden worden van het wetenschappelijk onderzoek dat onafhankelijk en over lange tijd moet plaats vinden. Het adviescollege stelt daarom voor de opzet en uitvoering van het programma het volgende voor:

- Stel een adviserende stakeholdergroep in met alle belanghebbenden zoals interdepartementale vertegenwoordiging, boerenorganisaties, agropketen, industrie, energiesector, NGO's en andere stakeholders. De rol van de stakeholdergroep is om de kennisvragen en kaders te formuleren voor het onderzoek en de daaruit voortvloeiende, door de praktijk gedragen, oplossingen.
- Zorg voor een onafhankelijke programmaleiding met een programmabureau dat de ontwikkeling zal coördineren en aansturen vanuit de geformuleerde kaders.
- Laat het onderzoeksprogramma uitvoeren door samenwerking van een groot aantal Nederlandse kennisinstellingen, universiteiten, rijksonderzoeksinstituten, planbureaus en private onderzoeksinstituten. Dit onder leiding van het programmabureau.
- Samen met het PBL uitwerken en uitvoeren van scenarioanalyses.

Annex 1: Afkortingenlijst

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

AERIUS - Rekeninstrument voor de leefomgeving

BIJ12 – Uitvoeringsorganisatie voor de IPO

BIN - Bedrijveninformatienet

BRM – Bron-receptormatrix

CAB – Change Advisory Board

CAMS - Copernicus Atmospheric Monitoring System

CBS – Centraal Bureau voor de Statistiek

CDB – Change Decision Board

CDM – Commissie Deskundigen Meststoffenwet

COTAG - COnditional Time-Averaged Gradient

CrIS – Cross Tracked Infrared Sounder

DAMOS – Danish Ammonia Modelling System

DEHM – Danish Eulerian Hemispheric Model

DOAS - Differentiële Optische Absorptiespectrometrie

EMAV – Emissiemodel Ammoniak Vlaanderen

EMEP- Europees dispersiemodel

ER – Emissieregistratie

ESA – European Space Agency

GCN – Grootschalige Concentratiekaarten Nederland

GDN – Grootschalige Depositiekaarten Nederland

GIAB - Gemeentelijk Informatiesysteem Agrarische Bedrijven

I&W – Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

IASI - Infrared Atmospheric Sounding Interferometer

INITIATOR – Downscaling-tool voor het National Emission Model for Agriculture

IPO – Interprovinciaal Overleg

KDW – Kritische Depositiewaarde

KNMI – Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

KWIN - Kwantitatieve Informatie Veehouderij

LML – Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit

LNV – Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

MAN – Meetnet Ammoniak Natuurgebieden

MJV – Milieu Jaarverslag

NEMA - National Emission Model for Agriculture

NH₃ – Ammoniak

NEVIDI - De Nederlandse Vereniging Diervoederindustrie

NIR - National Inventory Report

NOVANA - National Monitoring and Assessment Programme for the Aquatic and Terrestrial Environment

NO_x – Stikstofoxiden

MARGA - Monitor voor aërosolen en gassen in lucht

LOTOS-EUROS – Dispersiemodel

OMI - Ozone Monitoring Instrument

OPNV - Overleggroep Producenten Natte Veevoeders

OPS– Operationele Prioritaire Stoffenmodel

PAN - Peroxyacetylnitraat

PAS – Programmatische Aanpak Stikstof

PBL – Planbureau voor de Leefomgeving

PM10 – Particulate Matter van 10 micrometer (type fijnstof)

PRTR - Pollutant Release and Transfer Register

RIVM – Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

RVO – Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

RWS-WVL – Rijkswaterstaat (Water, Verkeer en Leefomgeving)

SLA – Service Level Agreement

SSRS – Stikstof Registratiesysteem

TAN – Totaal Ammoniakaal Stikstof

TNO - Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek

TROPOMI - TROPOspheric Monitoring Instrument

UNECE - Europese economische commissie van de Verenigde Naties

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change

VHR – Vogel- en Habitatrichtlijn

VLOPS – Vlaams Operationeel Prioritaire Stoffenmodel

VMM – Vlaamse Milieumaatschappij

WEER – Wageningen Economic Research

WEnR – Wageningen Environmental Research

WUM - Werkgroep Uniformering Mestcijfers

Annex 2: Opdrachtformulering

Het ingestelde Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof bestaat uit experts op het gebied van metingen en modellering van stikstofconcentraties en -deposities. 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. De wijze waarop het Adviescollege is samengesteld, garandeert de aanwezigheid van deze kennis. Op 24 december 2019 is de 'Instellingsregeling Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof' gepubliceerd in de Staatscourant en 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 heeft zijn werk in twee fasen uitgevoerd:

- a. In de eerste fase werd een wetenschappelijk advies over de huidige meet- en rekenmethode inclusief een vergelijking met het buitenland gegeven. Deze fase is afgerond op 5 maart 2020 middelen de presentatie van het adviesrapport 'Niet uit de lucht gegrepen'.
- b. In de tweede fase werden AERIUS en het Nederlands Emissiemodel voor Ammoniak (NEMA) beoordeeld, werkte het adviescollege de verbetermogelijkheden verder uit, gebaseerd op de inventarisatie in fase 1, en werd het uiteindelijke advies opgesteld. Deze fase wordt met voorliggende rapportage afgerond.

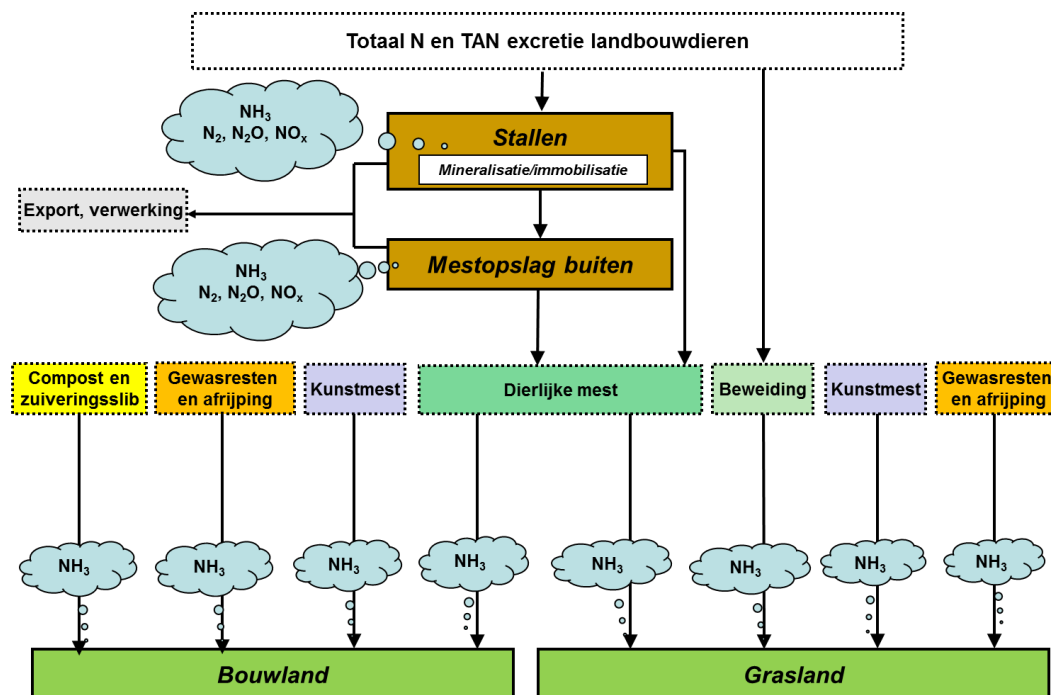
Annex 3: Beschrijving NEMA-systematiek en kartering met INITIATOR

3.1 NEMA-beschrijving

Landelijke emissieschatting met NEMA

Voor de bepaling van de emissies uit de landbouw wordt gebruik gemaakt van het National Emission Model for Agriculture (NEMA). De berekeningen vinden plaats op basis van de uitgangspunten die zijn vastgesteld door de werkgroep NEMA van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM). De werkgroep NEMA bestaat uit WUR, CBS, PBL en RIVM. De emissies van ammoniak (NH_3) worden gerapporteerd aan enkele internationale organisaties waaronder de Europese Commissie (via de NEC-richtlijn) en de UNECE (in het Gothenburg-protocol).

Emissies van NH_3 worden berekend met NEMA-model, waarin stikstofstromen in de landbouw zijn opgenomen.⁹ Het NEMA-model berekent de emissies uit stallen, mestopslag, mesttoediening en beweiding op jaarbasis. Daarnaast worden ook de emissies door toediening van kunstmest, compost en zuiveringslib en uit gewasresten berekend (zie Figuur A3.1).



Figuur A3.1 De meegenomen bronnen in de schatting emissies van ammoniak (NH_3) en stikstofoxiden (NO_x) met NEMA (Bron: NEMA-werkgroep).

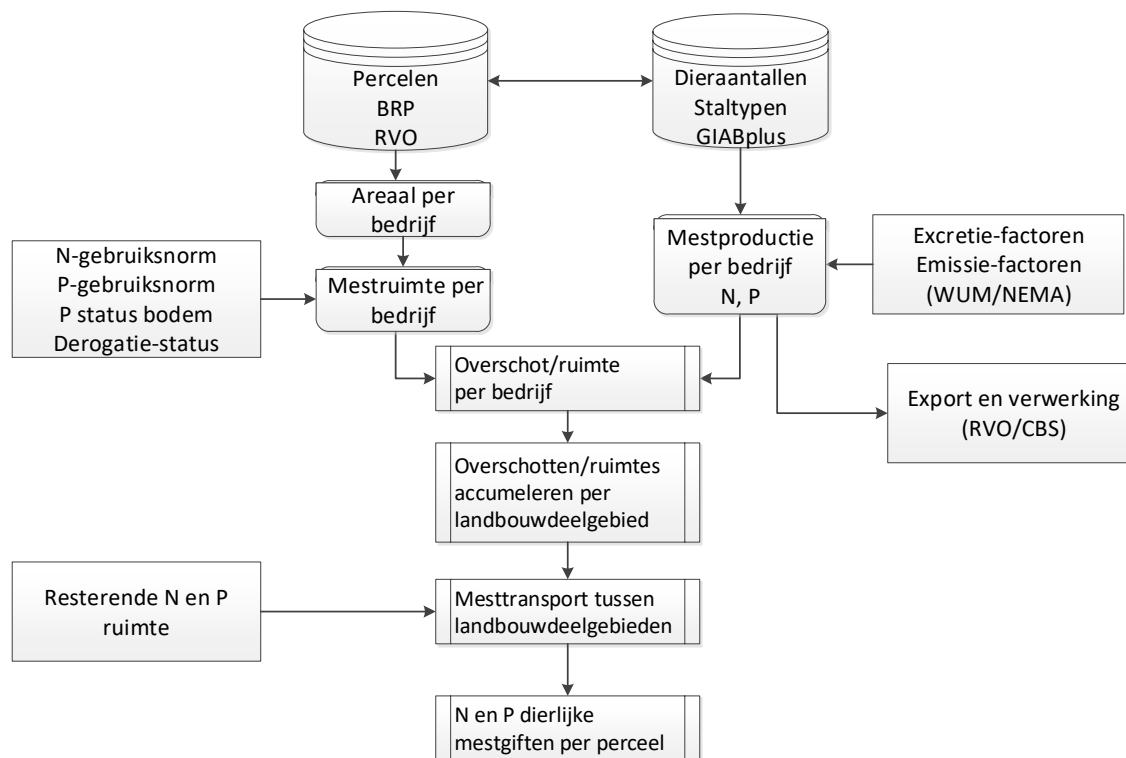
In de berekening wordt een methodiek gevolgd die gebruikelijk is in het bepalen van emissies. Activiteitsgegevens (kwantitatieve informatie over activiteiten die tot stikstofemissies leiden, bijv. aantal dieren of de hoeveelheid toegediende kunstmest) worden vermenigvuldigd met emissiefactoren (informatie over de hoeveelheid uitstoot per activiteitseenheid, bijv. kg ammoniakemissie per kg toegediende stikstof). Meer specifiek worden de ammoniakemissies uit mest gerelateerd aan de hoeveelheid toegediende ammoniakale stikstof (TAN), het deel van de stikstof in mest waaruit ammoniak vervluchtigt omdat gebleken is dat dit een goede maat is voor de

⁹ Van Bruggen et al. (2019)

hoeveelheid NH₃-emissie uit mest. Dit sluit aan bij internationaal geaccepteerde methodieken voor NH₃-emissieberekeningen (bijv. uit het Emission Inventory Guidebook van EEA/EMEP).

Lokale emissieschatting met de combinatie NEMA-INITIATOR

Om regionale schattingen te maken van de NH₃- (en NO_x-)depositie met het OPS-model worden de landelijke NEMA-emissieschattingen ruimtelijk expliciet gedifferentieerd. Voor het ruimtelijk verdelen van stalemissies wordt gebruik gemaakt van GIAB-plus-bestand, met jaarlijkse informatie over de locatie, de dieraantallen (voor de verschillende diercategorieën in de Landbouwtelling) en het staltype van elke stal in Nederland. De ruimtelijke verdeling van stikstoftoediening via dierlijke mest, kunstmest en beweiding, en op basis daarvan de ammoniakemissies, worden door het model INITIATOR per hectare berekend.¹⁰ INITIATOR berekent per bedrijf de verdeling van weidemest, dierlijke mest, compost en kunstmest over de percelen, uitgaande van mestproductie, stalemissies, beweiding, mest aan- en afvoer en de beschikbare percelen met bijbehorende gebruiksnorm (zie Figuur A3.2). De berekende stikstoftoevoer wordt vermenigvuldigd met de NEMA-emissiefactoren en op basis hiervan worden NH₃-emissies per hectare berekend. Hierbij wordt gecontroleerd dat het totaal van de ruimtelijke verdeelde ammoniakemissies zoals berekend met het INITIATOR model gelijk is aan het landelijk totaal in NEMA.



Figuur A3.2: Procedure voor verdeling en transport van dierlijke mest (Bron: Kros et al, 2019).

3.2 Herkomst invoergegevens

Activiteitsgegevens

In het NEMA-model worden verschillende typen invoergegevens gebruikt, die afkomstig zijn van derde partijen. Dit zijn de activiteitsgegevens die ten grondslag liggen aan de emissieberekeningen. Hiervan wordt een overzicht gegeven in tabel A3.1.

¹⁰ Kros et al. (2019)

Tabel A3.1: Herkomst van invoergegeven om de stikstofstromen met NEMA te berekenen.

Type gegevens	Leverancier
Dieraantallen	Landbouwtelling (RVO/CBS)
Stallen	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)/ Geografisch Informatiesysteem Agrarische Bedrijven (GIAB)
Kengetallen dieren	Kwantitatieve Informatie Veehouderij (KWIN; WLR), Agrovision, Wageningen Economic Research (WECR), RVO
Rantsoengegevens	Eurofins, CVB, NEVEDI, Agrovision, WECR, Kringloopwijzer (CDKLW), WECR, CBS, Overleggroep Producenten Natte Veevoerders (OPNV)
Kunstmestgebruik	Bedrijveninformatienet (BIN) van Wageningen Economic Research (WECR)
Vervoersbewijzen mest	RVO
Vervoersbewijzen zuiveringsslib en compost	RVO
Mestproductie (modelberekening)	Werkgroep Uniformering Mestcijfers (WUM) en CBS
Methode van mesttoediening	CBS, Landbouwtelling

Emissiefactoren

Emissiefactoren voor ammoniak worden gebruikt voor het schatten van emissies van stallen, bij beweiding en bij bemesting. In tegenstelling tot de meeste andere landen zijn veel emissiefactoren die in NEMA worden gehanteerd, gebaseerd op metingen. Dat geldt voor veruit de meeste bestaande stalsystemen en aanwendingstechnieken.

In NEMA wordt gewerkt met gemiddelde emissiefactoren per stalsysteem. Stalemissiefactoren variëren onder andere als gevolg van verschillen in melkureum, buitentemperatuur en met mest besmeurd loopoppervlak van het dier, met name bij melkvee.¹¹ Bij de landelijke emissieberekeningen wordt uitgegaan van een representatieve stal wat betreft bovengenoemde factoren.

De emissiefactoren voor beweiding en bemesting zijn afhankelijk van mestsamstelling en gewastype. Bij mestsamstelling geldt dit omdat de emissiefactoren voor bemesting en beweiding zijn gebaseerd op het berekende TAN-gehalte in de mest. Het TAN-gehalte in mest is afhankelijk van het rantsoen van het dier. Wat gewas betreft wordt er onderscheid gemaakt tussen grasland en bouwland. Bij bouwland wordt mest bijna altijd toegediend als er geen gewas staat en maakt het gewastype dus niet veel uit aangezien ammoniakemissie optreedt tijdens de eerste drie dagen na bemesting.

3.3 Metingen en schattingen achter bestaande ammoniakemissiefactoren

De metingen en schattingen die zijn gebruikt bij het vaststellen van emissiefactoren voor ammoniak voor het schatten van stalemissies, aanwending van dierlijke mest en kunstmest en beweiding zijn hieronder samengevat op basis van beschikbare rapporten.

3.3.1 Stalemissies

Rundvee

Een overzicht van de totstandkoming van emissiefactoren voor rundvee staat weergegeven in het rapport *Actualisering ammoniak emissiefactoren rundvee*.¹² De onderbouwing van de huidige emissiefactoren is ofwel gebaseerd op emissiemetingen die veelal 25 tot 15 jaar geleden zijn

¹¹ Ogink et al. (2014)

¹² Ogink et al. (2014)

uitgevoerd, op emissiemodelberekeningen of op afleidingen op basis van stikstofexcretieverhoudingen. Uit mondeling verkregen informatie blijkt dat de laatste jaren ook veel metingen zijn verricht in het kader van de Klimaatvelop (samen met metingen van methaanemissie), met name aan de zogenaamde A1.100 stallen (reguliere overige huisvesting). Daarnaast zijn metingen verricht om van voorlopige emissiecijfers definitieve cijfers te maken.

Emissiefactoren per stalsysteem zijn met name gegeven voor melkkoeien, die qua emissie-impact ook veruit de belangrijkste categorie is. Bij die categorie is onderscheid gemaakt in 35 stalsystemen, met name verschillende soorten loopstallen, grupstal en ligboxenstallen en reguliere (overige) huisvesting.¹³ De onderbouwing van de emissiefactoren voor melkkoeien is deels gebaseerd op metingen en deels op modelberekeningen.¹⁴ Van de overige diercategorieën zijn de geadviseerde emissiefactoren gegeven in kg NH₃/jaar per dierplaats, ongeacht het stalsysteem, waarbij beperkt gebruik is gemaakt van metingen.¹⁵

De belangrijkste omgevingsfactoren die emissies beïnvloeden zijn melkureum, buitentemperatuur en het met mest besmeurd loopoppervlak per dier. De gebruikte emissiefactoren zijn verkregen door deze omgevingsfactoren te standaardiseren naar voor de huidige praktijk representatieve waarden. Op basis van opgestelde vergelijkingen tussen ammoniakemissies en genoemde omgevingsfactoren is er een geschatte toename in ammoniakemissie van (i) 1,5% per graad Celsius in buitentemperatuur (standaard is 10,5 °C), (ii) 2,6% per 1 mg melkureum per 100 ml melk (standaard is 23 mg/100 ml) en (iii) 1% per 0.1 m² mest besmeurd loopoppervlak per dier (standaard is 3.6 m²).

Varkens

Een overzicht van stalemissiefactoren voor varkens staat in het rapport *Actualisering ammoniakemissiefactoren vleesvarkens en biggen*.¹⁶ Net als bij rundvee is de onderbouwing van de huidige emissiefactoren voornamelijk gebaseerd op emissiemetingen die veelal 25 tot 15 jaar geleden zijn uitgevoerd en op afleidingen op basis van verhoudingen in de stikstof-excretie.

Bij vleesvarkens wordt gerekend met één emissiefactor per huisvestingssysteem met een emissiefactor die is afgeleid van metingen en berekeningen op basis van een gemiddeld oppervlak van 0,9 m² per dierplaats. Voor biggen geldt hetzelfde uitgaande van een hokoppervlak van maximaal 0,35 m² per big. Afhankelijk van het huisvestingssysteem (met name hokoppervlak) varieert de geadviseerde emissiefactor voor emissiearme systemen voor vleesvarkens.

Pluimvee

Een overzicht van stalemissiefactoren voor pluimvee staat in het rapport *Actualisering ammoniak emissiefactoren pluimvee*.¹⁷ Net als bij rundvee is de onderbouwing van de huidige emissiefactoren voornamelijk gebaseerd op emissiemetingen die veelal 25 tot 15 jaar geleden zijn uitgevoerd en op afleidingen op basis van verhoudingen in de stikstof-excretie.

In de meest omvangrijke categorieën van de leghennen, vleeskuikenouderdieren en vleeskuikens, zijn veel van de huidige emissiefactoren gebaseerd op uitgebreide metingen aan telkens één bedrijfslocatie.¹⁸ In 2008 is een meetreeks uitgevoerd op vier locaties met gelijke huisvestingssystemen.¹⁹ Deze meetreeks is als basis genomen voor de actualisering van de emissiefactor voor de categorie overige huisvestingssystemen. Door Ellen et al. (2017) wordt verder geconcludeerd dat voor de volièresystemen de huidige emissiefactoren en voor de "Additionele

¹³ <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/emissiearme-stalsystemen/emissiefactoren-per/map-staltypen/hoofdcategorie/>

¹⁴ Ogink et al. (2014)

¹⁵ Zie Ogink et al. (2014)

¹⁶ Groenestein et al. (2014b)

¹⁷ Ellen et al. (2017)

¹⁸ Ellen et al. (2017)

¹⁹ Ogink et al. (2010)

technieken voor mestbewerking en mestopslag” de emissiefactoren niet meer representatief zijn voor de huidige praktijk.

3.3.2 Mesttoediening -en beweidingemissies

Dierlijke mest

In Van Bruggen et al. (2019) wordt per mesttoedieningstechniek aangegeven hoeveel procent van de mesttoediening met die techniek plaatsvindt. Hierbij gaat het om het gebruik van zodenbemester, sleufkouter (niet meer toegestaan), sleepvoet en bovengronds aanwenden en in geval van bouwland ook nog het onderwerken in 1 werkgang of 2 werkgangen. In het geval van mest onderwerken op bouwland in een 2e werkgang wordt een gemiddelde emissiefactor aangehouden van de emissiefactor bij niet inwerken (gemeten) en bij direct inwerken (gemeten). Bij het in een 2e werkgang inwerken kan namelijk de tijd tussen uitrijden en inwerken sterk variëren en daarmee de uiteindelijke ammoniakemissie. De verschillende data zijn allemaal gebaseerd op metingen.²⁰

Kunstmest

De emissiefactoren voor kunstmest zijn gebaseerd op een internationale reviewstudie.²¹ Hiervoor zijn alle kunstmestsoorten die in Nederland worden toegepast (meer dan 400) in 11 categorieën onderverdeeld.

Beweiding

De emissiefactor voor beweiding is gebaseerd op onderzoek van begin jaren '90 en is afgeleid van één meting bij een stikstofgift die vergelijkbaar is met de huidige bemesting.

3.4 Evaluatie en aanbevelingen

3.4.1 Metingen in het kader van nationale emissierapportages

Stalemissies

In principe zijn stalemissies gebaseerd op metingen (hoewel vaak van 25 tot 15 jaar geleden) waarbij emissiefactoren zijn genormaliseerd naar een gemiddelde waarde voor melkureum, buitentemperatuur en met mest besmeurd loopoppervlak van het dier. Uit de massabalansmethode volgens een recente CBS-studie lijken emissiefactoren onderschat.²² Derhalve is er behoefte aan meer recente metingen aan stalemissies onder huidige praktijkomstandigheden. Het adviescollege beveelt daarbij vooral aan om aanvullend onderzoek te doen naar gasvormige stikstofverliezen uit emissiearme stallen en deze zoveel mogelijk te relateren aan de processen en het management dat plaatsvindt in de stal. Er dienen hierbij verificatie- en controlemetingen van ammoniakemissies uit deze stallen in de praktijk te worden uitgevoerd, gelijktijdig met berekeningen van de gasvormige stikstofverliezen volgens een de massabalansmethode.²³

Mestaanwending

Nieuwe toedieningstechnieken: aan alle tot nu toe gebruikte aanwendingstechnieken zijn emissiemetingen verricht. Het toedienen van verdunde mest met de zodenbemester wordt gezien als een maatregel om ammoniakemissie verder te beperken. Het is niet goed bekend hoe groot de emissiereductie van deze methode is en er zijn geen emissiefactoren beschikbaar. Er is daarom veldonderzoek nodig om het effect van mestverdunding op de emissie bij toepassing van zodenbemester te bepalen.

Nieuwe mestproducten: door mestbewerking en mestverwerking worden nieuwe producten in de landbouw toegediend zoals dunne en dikke fractie van runder- en varkensmest, digestaat uit mestvergisting en mineralenconcentraten. Om de emissieschattingen te verbeteren van producten

²⁰ De onderliggende methoden en data zijn in detail gegeven in Huijsmans en Schils (2009), Huijsmans et al. (2017), Goedhart en Huisman (2017) en Goedhart et al. (2020).

²¹ Bouwman et al. (2002)

²² Van Bruggen en Geertjes (2019)

²³ Van Bruggen en Geertjes (2019)

uit mestverwerkingen en -bewerkingen dient onderzoek plaats te vinden naar emissies uit mestopslagen, mestbewerkingsinstallaties en mesttoediening.

Kunstmest: kunstmestemissies worden uitsluitend gebaseerd op literatuuronderzoek. Hoewel de bijdrage van kunstmest aan ammoniakemissies beperkt is, is zij toch niet te verwaarlozen en het is zinvol om voor een aantal meest toegepaste kunstmestsoorten de ammoniakemissie door middel van veldproeven te meten.

Beweiding: ammoniakemissie uit beweiding is slechts op één emissiemeting in 1990 gebaseerd. Gezien de grote rol die beweiding speelt in de stikstofdiscussie (beweiding is een maatregel die tot minder ammoniakemissie leidt) is experimenteel veldonderzoek nodig om dit te verbeteren.

Bedrijfssysteem: er zijn geen metingen van de stikstofverliezen voor het hele bedrijfssysteem. Er zal door een combinatie van 'smart sensing' en verspreidingsmodellering gezocht moeten worden naar methoden die de stikstofstromen en de verliezen kunnen vaststellen om zo ook de benadering van NEMA en de integrale verliezen te kunnen valideren.

3.4.2 Metingen in het kader van regionale en lokale emissieschattingen

Hoewel het gebruik van landelijk gemiddelde emissiefactoren voor stal- en aanwendingsemisies goed te verdedigen is voor nationale emissierapportages, is meer detail van belang voor toepassing op regionale en lokale schaal.

Stal-emisies

Momenteel worden landelijk emissies gekarteerd op basis van stallocatie, maar er zijn meer gedetailleerde gegevens beschikbaar die gerelateerd zijn aan verschillen op bedrijfsniveau. Voor melkvee gebruikt Wageningen Research het bedrijfsmodel KringloopWijzer waarbij de ammoniakmodule BEA in de Kringloopwijzer dezelfde systematiek volgt als NEMA. Om lokale schattingen met OPS-AERIUS te verbeteren, is het te overwegen om hier gebruik van te maken.

Aanwendingsemisies

Ammoniakemissie bij aanwending van dierlijke mest of kunstmest en door beweiding hangt af van meteorologische factoren (neerslag en temperatuur). Metingen aan die emissies zijn veelal uitgevoerd over langere perioden. Hieruit zouden effecten van weersinvloeden te halen moeten zijn die van belang zijn voor emissieschattingen binnen een jaar. Dit is van belang in het model OPS wat op dag-basis of nog gedetailleerder rekent.

Verder neemt ammoniakemissie bij aanwending van dierlijke mest of kunstmest en door beweiding zeer waarschijnlijk toe als de pH van de grond toeneemt. Daardoor is het te verwachten dat de ammoniakemissie hoger is op kalkrijke gronden dan op kalkloze gronden. Het is dan ook sterk aan te bevelen om bovengenoemd onderzoek naar mestaanwending onder 2.3.3.1 uit te voeren op kalkrijke en kalkloze gronden. Aanwezigheid van kalk speelt met name een rol bij kunstmest en beweiding. De ammoniakemissie uit toegediende mest vindt vooral plaats uit de mest zelf (die een hoge pH heeft) en is het effect op de bodem-pH veel kleiner. Bij bestaande aanwendingstechnieken is het van minder van belang om na te gaan in hoeverre de pH een rol speelt bij emissieschattingen.

3.5 Onzekerheidsschattingen

De onzekerheidsschattingen van door NEMA berekende emissies worden jaarlijks gerapporteerd in zowel het Informative Inventory report (IIR; internationale rapportage over luchtverontreinigende stoffen zoals NH₃ en NO_x) als het National Inventory Report (NIR; internationale rapportage over broeikasgassen) van Nederland. Hierbij wordt de methode van foutenvoortplanting gehanteerd, waarbij de totale onzekerheidsschatting op een emissie wordt berekend uit de relatieve onzekerheidsschattingen op de activiteitsgegevens en de (geïmpliceerde) emissiefactoren. De onzekerheid van alle emissiebronnen wordt bepaald door het aggregeren van onzekerheidsschattingen uit de verschillende subcategorieën.

De diertotalen worden gerapporteerd door het CBS en kennen typisch een onzekerheid van 2-10%.²⁴ Voor enkele diertotalen kon een onzekerheidsschatting niet berekend worden. Hier is de waarde geschat door experts. De totale onzekerheid voor N-excretie bestaat uit gecombineerde onzekerheden voor dierhuisvesting en beweiding en bedraagt 5-15% voor rundvee, 8-11% voor varkens, 7-22% voor pluimvee en 6-21% voor andere graasdieren.²⁵ Een derde bron van onzekerheid zijn de mestmanagementsystemen. Deze wordt gerapporteerd voor de dominante mestcategorie (vaste mest of drijfmest).

Uitstoot van reactieve stikstofverbindingen uit landbouwbodems kennen een relatief hoge onzekerheid. De uitstoot van NH₃ uit landbouwbodems bedraagt 29% op het jaarlijkse totaal. De activiteitsgegevens kennen een onzekerheid van 1-26% en de emissiefactoren hebben een onzekerheid van 26-106% (beide getallen zijn afhankelijk van het type bemesting).²⁶

²⁴ Lagerwerf et al. (2019)

²⁵ De uitsplitsing per veecategorie is te vinden in Tabel 2.2 in Lagerwerf et al. (2019).

²⁶ Lagerwerf et al. (2019)

Annex 4: Beschrijving AERIUS-systematiek en invoergegevens

Het doel van AERIUS is het in beeld brengen van de stikstofdepositie op Natura 2000-gebieden door middel van modelberekeningen. Zoals omschreven in hoofdstuk 3.2, is AERIUS Calculator een geavanceerd systeem dat op een ruimtelijke schaal van een hectare depositieberekeningen doorvoert aan de hand van de emissies die de gebruiker/vergunningaanvrager invoert.

4.1 Overzicht AERIUS-systematiek

AERIUS heeft vier functies in het stikstofdossier:

- Het ondersteunen van de beoordeling van vergunningaanvragen voor stikstof emitterende projecten op basis van de berekening van de bijdrage aan stikstofdepositie.
- Het bijhouden van stikstofdepositieruimte via het Stikstofregistratiesysteem (SSRS).
- Het monitoren van de stikstofdepositie in stikstofgevoelige natuurgebieden.
- Het inzichtelijk maken van effecten van beleidskeuzes op stikstofdepositie in stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden.

Het systeem is in de kern een gebruikersomgeving waarbinnen een simulatie met het OPS-model wordt uitgevoerd om de concentratie en depositie van stikstofverbindingen in stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden uit te kunnen rekenen.²⁷ Hieronder volgt een korte beschrijving van deze vier functies.

4.1.1 Berekenen projectbijdragen aan stikstofdepositie door gebruikers

AERIUS Calculator is de applicatie die gebruikt kan worden om de bijdrage van de depositie van stikstof emitterende projecten uit te rekenen. Door het invoeren van een aantal gegevens kan een gebruiker een bijlage verkrijgen die hij nodig heeft voor een vergunningaanvraag. Voor meer geavanceerde projecten, zoals de aanleg van een nieuwe snelweg, bestaat AERIUS Connect, waarbij alle benodigde informatie door de gebruiker in bestanden moet worden aangeleverd.

4.1.2 Tonen van huidige en verwachte toekomstige stikstofdepositie

De huidige en toekomstige stikstofdepositie, en de daarvoor verantwoordelijke bronnen, wordt getoond in AERIUS Monitor. In dit kader worden net als in GCN/GDN²⁸ op landelijke schaal berekeningen gemaakt. Een verschil met GCN/GDN is dat in AERIUS Monitor voor de 250.000 ha stikstofgevoelige natuur in Nederland, onderverdeeld in hexagonen van 1 ha, berekeningen worden gemaakt op basis van emissiegegevens van de Emissieregistratie. Daarnaast worden de gegevens van de Emissieregistratie waar mogelijk op de oorspronkelijke locatie gebruikt, terwijl deze binnen GCN/GDN ruimtelijk worden geaggregeerd naar het centrum van het rekenpunt (behalve voor grote puntbronnen, waar wordt gerekend met de bronlocatie). Een ander belangrijk voordeel van AERIUS is dat het landgebruik en terreinruwheid ook situationeel bepaald wordt en niet vooraf is geaggregeerd. Dit verbetert met name de depositieresultaten daar waar grote verschillen zijn tussen land/water of bos en gras/struikachtige vegetatie.

²⁷ Voor de berekening van concentraties van stikstofverbindingen rondom wegen wordt het SRM-2-model gebruikt. Deze concentraties worden vervolgens doorgegeven aan het OPS-model voor de depositieberekening.

²⁸ Grootchalige Concentratiekaarten Nederland/Grootchalige Depositiekaarten Nederland, die een grootchalig beeld geven van de luchtkwaliteit en stikstofdepositie in Nederland (<https://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten>)

4.1.3 Bijhouden depositieruimte

AERIUS Register dient als boekhoudsysteem waarin de depositieruimte wordt bijgehouden. Hierin kon het bevoegd gezag goedgekeurde vergunningaanvragen invoeren, waarna afboeking van depositieruimte plaatsvond.

4.2 Technische werking AERIUS

Het AERIUS-systeem leunt voor de berekeningen van stikstofdepositie grotendeels op het OPS-model. Het verschil in doel en ruimtelijke schaal van de OPS-berekeningen binnen AERIUS ten opzichte van GCN/GDN zorgt ervoor dat er specifieke aanpassingen zijn gedaan van de OPS-modelopzet binnen AERIUS. Deze worden hieronder toegelicht.

4.2.1 Voorbewerking emissies

Voor gebruik in GCN/GDN wordt een gedeelte van de emissiegegevens van de Emissieregistratie geaggregeerd naar een ruimtelijke schaal van 1x1 km². Deze gegevens zijn echter op hogere resolutie beschikbaar in de Emissieregistratie en worden binnen AERIUS dan ook - afhankelijk van de bronsector - op hogere ruimtelijke resolutie toegepast. Bovendien wordt in de AERIUS-berekening van de bronbijdrage van projecten gerekend met de specifieke locatie van deze projecten, waardoor deze als punt-, lijn- of vlakbron kunnen worden doorgerekend met OPS.

4.2.2 Resolutie gegevens over landgebruik en terreinruwheid

Ten tweede maakt de hogere resolutie van OPS binnen AERIUS dat gegevens over landgebruik en terreinruwheid op groter ruimtelijk detail benodigd zijn. OPS binnen GCN/GDN maakt gebruik van landgebruiksgegevens op een schaal van 1000x1000 m². De brondata hiervoor zijn de landgebruiksdata uit de LGN7, die op 25x25 m² beschikbaar zijn. Overgangen van landgebruiktype (bijv. van grasland naar bos, of van land naar water) hebben een effect op de windstroming op grotere schalen dan de 100x100 m² waarop OPS-berekeningen uitvoert binnen AERIUS. Deze veranderende windstroming heeft implicaties voor de verticale menging van de atmosfeer²⁹ en daarom voor de depositie. De terreinruwheid wordt bepaald aan de hand van de landgebruiksgegevens voor een oppervlak op een resolutie van minimaal 250x250 m² meter rondom het punt waarvoor depositieberekeningen worden uitgevoerd. Voor alle typen landgebruik binnen dat oppervlak worden de specifieke eigenschappen meegenomen.

4.2.3 Depositieberekening rondom wegen

Ten derde maakt AERIUS gebruik van een implementatie van de Standaardrekenmethode-2 (SRM-2) om de concentratie rondom wegen te bepalen, terwijl GCN/GDN hiervoor gebruik maakt van OPS.³⁰ Dit model houdt rekening met de precieze locatie van de weg in het landschap (boven of onder de grond, effecten van geluidswallen, etc.). De concentratiebijdrage van wegverkeer wordt uitgerekend tot 5 km van de weg, omdat is aangenomen dat deze concentratiebijdrage vanaf deze afstand niet meer te onderscheiden is van de achtergrondconcentratie.

De depositie wordt vervolgens bepaald door de uit SRM-2 geschatte concentraties te vermenigvuldigen met een door met OPS berekende effectieve depositiesnelheid. Deze effectieve depositiesnelheid is bepaald voor elke mogelijk rekenlocatie in Nederland, op een resolutie van 250 m². De effectieve depositiesnelheid is voor korte transportafstanden hoger. Dit is eveneens verdisconteerd in de methode. Indien een rekenpunt zich op korte afstand van de bron bevindt (25-1000m), wordt de door OPS berekende depositiesnelheid vermenigvuldigd met een correctiefactor die afhangt van de afstand tussen het rekenpunt en het wegsegment.

²⁹ Ofwel turbulentie: kleinschalige bewegingen in de (onderste) atmosfeer die zorgen voor menging en transport van lucht naar het aardoppervlak.

³⁰ Voor een modelbeschrijving van SRM2, zie: <https://www.rivm.nl/publicaties/technische-beschrijving-van-standaardrekenmethode-2-srm-2-voor>

Een gedeelte van de geëmitteerde stoffen deponeren tussen bron en receptor ('brondepletie'). Hiervoor wordt gecorrigeerd door middel van een depletiefactor, die afhankelijk is van de afstand tussen bron en receptorpunt, de ruwheid van het terrein ter hoogte van het receptorpunt en de achtergrondconcentraties – in het geval van NH₃ – op het rekenpunt.

4.2.4 Meteorologische gegevens

Een vierde verschilpunt zijn de gebruikte meteorologische gegevens. Bij het samenstellen van de GCN/GDN-kaarten voor een historisch jaar wordt gebruik gemaakt van de meteorologische gegevens van dat jaar. Voor projectberekeningen met AERIUS wordt altijd gebruik gemaakt van een gemiddelde meteorologische dataset van 1995-2004 van het KNMI. De reden hiervoor is dat het berekende projecteffect dan onafhankelijk is van weerscondities. De aanname is dat jaar-specifieke meteorologische condities uitmiddelen over een periode van 10 jaar. De meteorologische dataset wordt ook gebruikt in zowel GDN als AERIUS om berekeningen voor de toekomst (bijv. 2030) te maken. Om een consistente vergelijking met de berekeningen voor de toekomst te maken, wordt ook het referentiejaar (in de PAS bijv. 2014) gedraaid met dezelfde gemiddelde meteorologische dataset. Tevens wordt door het gebruik van gemiddelde meteorologische data het effect van meteorologische variabiliteit op de toetsing met kritische depositiewaarden (KDW's) vermeden.

4.3 Achtergronddepositie

AERIUS Calculator en AERIUS Connect berekenen een eventuele overschrijding van KDW's door de projectbijdrage op te tellen bij een achtergronddepositiewaarde. De achtergronddepositie wordt op een vergelijkbare manier berekend als in de GDN-kaarten.³¹ De emissies komen van de Emissieregistratie, waarbij stalemissies in de landbouw en emissies van het hoofdwegenet geografisch verfijnder worden doorgerekend in AERIUS dan voor de GDN-kaarten. Emissies van buitenlandse bronnen worden geschat aan de hand van emissieprognoses.³² Op basis hiervan vindt een depositieberekening plaats in OPS. Deze wordt vervolgens gekalibreerd met metingen van het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN). Hiervoor wordt het verschil tussen wel en niet gekalibreerde GDN-kaarten gebruikt, wat resulteert in een correctie per hexagoon in mol/ha/jr. Correctie voor natte depositie wordt ruimtelijk uniform toegepast op basis van natte depositiemetingen in het LML-netwerk.

4.4 Precisie AERIUS-berekening

In de AERIUS-berekeningen die worden gebruikt voor vergunningverlening wordt de stikstofdepositie die de emissie van een nieuw project veroorzaakt (projectbijdrage) doorgerekend voor alle hexagonen die stikstofdepositie ontvangen. Hiervoor wordt een ondergrens gehanteerd. Mocht de depositie hieronder vallen, dan wordt deze hexagoon niet meegenomen in de berekening. Ten tijde van de PAS was deze ondergrens 0,05 mol/ha/jr en na de uitspraak van de Raad van State is de grens verlaagd tot 0,005 mol/ha/jr.

³¹ Bron: <https://www.aerius.nl/nl/factsheets/achtergronddepositie-natura-2000-gebieden/16-09-2019>.

³² Door de lidstaten van de EU aangeleverde emissieprognoses in het kader van de National Emission Ceilings-richtlijn.

Annex 5: Verdieping meten en modelleren

5.1 Modellerinstrumentarium stikstofconcentratie en -depositie

5.1.1 Modeltypen

Het RIVM maakt gebruik van het OPS-model voor het maken van de grootschalige concentratie- en depositiekaarten (GCN/GDN) 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 het rekenen met hoge resolutie (vooral rondom een bron) en omdat de reken capaciteit voor het rekenen op hoge resolutie met Euleriaanse modellen (zie uitleg hieronder) ontbrak.

OPS-achtige modellen (van het Lagrangiaanse type) worden in de atmosferische wetenschap nauwelijks nog verder ontwikkeld. Wetenschappelijk ligt de nadruk de laatste decennia op het ontwikkelen van Euleriaanse raster-modellen. Dit zijn modellen waarbij de atmosfeer wordt opgedeeld in boxen. Processen als emissie, depositie, en chemie worden dan per box uitgerekend, en atmosferisch transport zorgt voor uitwisseling tussen de verschillende boxen. LOTOS-EUROS (ontwikkeld door TNO in samenwerking met RIVM, KNMI e.a.) en het EMEP-model (ontwikkeld door het Meteorologisch Instituut van Noorwegen) zijn voorbeelden van Euleriaanse rastermodellen.^{33,34} Tabel 4.1 geeft de belangrijkste voor- en nadelen weer van de verschillende modeltypen. Het gebruik van OPS biedt vele voordelen wat betreft operationele toepasbaarheid. Technische vernieuwing binnen het bestaande systeem is echter lastig. Ook het gebruik van nieuwe technieken op het gebied van het combineren van modelleren en waarnemen (bijv. satellietwaarnemingen) zijn moeilijk in het bestaande systeem te integreren.

	Euleriaans	Lagrangiaans
<i>Voordelen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Makkelijk in de tijd te integreren • Processen zoals chemie kunnen op groot detailniveau worden beschreven • Vergelijking met satellietbeelden mogelijk • Simulatie kan makkelijk gekoppeld worden aan weer-modellen • Simulatie van verschillende atmosferische componenten • Aansluiting op wetenschappelijke praktijk 	<ul style="list-style-type: none"> • Reken technisch efficiënt • Hoge ruimtelijke resolutie mogelijk • Directe relatie tussen bronnen en atmosferische concentratie
<i>Nadelen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Grote computerkracht nodig • Een groot domein en hoge ruimtelijke resolutie niet allebei mogelijk • Model-resultaten afhankelijk van model-discretisering in ruimte en tijd • Relatie tussen bronnen en atmosferische concentraties vaak gecompliceerd 	<ul style="list-style-type: none"> • Tijdsintegratie lastig • Moeilijk rekening te houden met transport over lange afstand • Verticaal transport moeilijk te implementeren • Atmosferische chemie is noodgedwongen versimpeld

³³ Voor een modelbeschrijving van het LOTOS-EUROS-model, zie Schaap et al. (2008).

³⁴ Voor een beschrijving van het EMEP-model, zie Simpson et al. (2012).

	<ul style="list-style-type: none"> • Regionale modellen hebben randvoorwaarden nodig 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergelijking met satellietmetingen gecompliceerd • Koppeling met weermodellen vaak in parametrische vorm • Regionale modellen hebben randvoorwaarden nodig
--	---	--

5.1.2 Uitdagingen in het modelleren van reactief stikstof

Het modelleren van stikstofdepositie in Nederland kent vele uitdagingen:

1. Bronnen van ammoniak zijn onzeker, en variëren sterk in ruimte en tijd.
2. NH₃ deponert, maar depositie is een gecompliceerd proces dat afhangt van temperatuur, landeigenschappen en de depositiegeschiedenis.
3. NH₃ bindt gemakkelijk aan anorganische zuren die gevormd worden bij de oxidatie van NO_x en SO₂, maar ook hier zijn complicerende factoren zoals het verdampen van ammoniumnitraat (NH₄NO₃) bij zomerse temperaturen.
4. De levensduur van NH₃ is relatief kort (< 1 dag) maar kan via opname in aerosol de (natte) depositie op grote afstand beïnvloeden. Daardoor moet er wel degelijk rekening gehouden worden met de invloed uit het buitenland, en export van Nederlands reactief stikstof.

Dezelfde factoren gelden in het algemeen ook voor NO_x. NO_x heeft een iets langere levensduur, en neemt deel aan veel atmosferische reactie-cycli, die onder andere ozon vormen.

De operationele modellering met OPS op jaarlijkse tijd-resolutie is, mede door de kalibratie aan jaarlijks gemiddelde waarnemingen, een kwalitatief voldoende instrument om depositiepatronen over Nederland te berekenen en aan de EU te rapporteren. In fase 1 hebben we desalniettemin ook een aantal tekortkomingen geconstateerd:

- De bijdrage vanuit het buitenland aan stikstofdepositie is moeilijk mee te nemen, en daardoor onzeker. Dit geldt voor NO_x (o.a. vliegverkeer) en NH_x. Omzetting van NH₃ naar ammoniumnitraat/sulfaat wordt in alleen geparparameteriseerde vorm meegenomen.
- Door te kalibreren wordt de oorzaak van verschillen tussen model en waarnemingen niet verklaard.
- Door op jaarlijkse tijdsresolutie te rekenen, kan niet goed bestudeerd worden wanneer het model wel en niet goed werkt.
- Het integreren van satellietbeelden voor het beter monitoren en begrijpen van de concentraties en emissies is niet mogelijk in het huidige OPS-systeem.

Op basis van bovenstaande uitdagingen en tekortkomingen zijn op dit vlak twee verbeterpunten te benoemen.

Modelleren op hogere tijdsresolutie

Een hogere tijdsresolutie geeft veel meer mogelijkheden modelresultaten te toetsen aan waarnemingen. Metingen binnen het LML (o.a. uurlijkse NH₃-metingen op zes stations) kunnen beter worden benut, en ook gegevens uit satellietwaarnemingen kunnen in de evaluatie van het model mee worden genomen.

Simultaan modelleren van meerdere componenten en effecten van meteorologie

NH₃ en NO_x hebben interactie met andere componenten in de atmosfeer, zoals aerosol en ozon. Deze stoffen bepalen mede de atmosferische levensduur van reactieve stikstofverbindingen. Meteorologische omstandigheden bepalen in grote mate hoe stoffen in de atmosfeer worden getransporteerd, maar bepalen ook natte en droge depositie. Het geïntegreerd modelleren van de

atmosferische samenstelling is een belangrijke wetenschappelijk ontwikkeling, onder andere binnen de Copernicus-services.³⁵

5.1.3 Depositie en processtudies

Doordat het proces van droge depositie voor stikstofverbindingen gecompliceerd en het meten ervan duur is, is de kwaliteit van de procesbeschrijvingen voor de droge depositie een van de grootste bronnen van onzekerheden in de modellering. De snelheid waarmee droge depositie plaatsvindt, hangt sterk af van de oplosbaarheid van de stof, van de meteorologische omstandigheden (atmosferische stabiliteit, lichtintensiteit, vochtigheid en evt. droogte) en van de eigenschappen van het ecosysteem (ruwheid, bladoppervlak, groeiseizoen, etc.). Het proces van droge depositie wordt sterk vereenvoudigd berekend voor een aantal vegetatieklassen: bijvoorbeeld loofbos, naaldbos, semi-natuurlijke vegetatie, grassen en water. Naast de aanbeveling het aantal klassen uit te breiden, is het raadzaam de evaluatie en ontwikkeling van de droge depositieroutine aan de hand van de resultaten van wetenschappelijke campagnes continu aandacht te geven.

Nederland zou hieraan kunnen bijdragen door de droge depositie (van NH₃, NO_x en fijnstof) campagne-gewijs na te lopen voor belangrijke vegetatietypen in Nederland. Het is belangrijk daarbij verschillende state-of-the-art instrumentatietypen in te zetten. Een belangrijke uitdaging is de modellering van het compensatiepunt van NH₃.³⁶ Daartoe zal er op gelijke vegetaties in verschillende concentratie-regimes voor NH₃ gemeten moeten worden.

Naast natuurlijke vegetatie is het belangrijk de dynamiek in de uitwisseling van agrarisch gebruikte velden te bepalen. Een fundamentele verbetering zou de gecombineerde modellering van emissie en depositie zijn door een module te ontwikkelen die de stikstofpool in bodems dynamisch berekent.

In de brontoekenning van OPS komt de term "Ammoniak uit zee" voor. Het dient aanbeveling het belang van deze bron na te gaan met een gerichte meetinspanning.

5.1.4 Emissiemodellering

De evaluatie van de gemiddelde NH₃-concentraties over Nederland laat een beeld zien dat er regio's zijn waarin systematisch te veel of te weinig NH₃ gemodelleerd wordt. Daarnaast hebben huidige modellen moeite om de seizoengang van NH₃ te representeren. Een deel van de verklaring ligt in het feit dat de emissie van NH₃ uit stallen en bodems afhangt van een aantal parameters die niet of beperkt worden meegenomen in de modellering. De emissies van NH₃ uit de landbouw zijn sterk afhankelijk van meteorologie. Door deze niet mee te nemen en voor het hele land dezelfde statische emissieprofielen te gebruiken om jaarlijkse emissies te vertalen naar uurlijkse tijdreeksen wordt veel variatie verwaarloosd.

Aangezien de verdamping van NH₃ temperatuurafhankelijk is, zullen stallen en bemeste bodems meer NH₃ uitstoten in een (voor)jaar met hoge temperaturen dan in een relatief koud jaar. Voor stallen speelt het type (gesloten/open) een belangrijke rol. Naast temperatuur wordt de fractie van de stikstof die bemeste bodems uitstoten ook beïnvloed door de aanwendingstechniek en bodemeigenschappen. Aangezien de aanwending van mest en kunstmest vaak in korte periodes plaatsvindt, is het van belang te weten wanneer dat voor welk gewas gebeurt. De variatie van de NH₃-emissies en -concentraties tussen regio's en jaren is dus ook intrinsiek afhankelijk van weersomstandigheden, gewastypes en stalsystemen. Deze afhankelijkheid wordt maar zeer beperkt meegenomen in de huidige modellering en verdient nadere aandacht. Eerste stappen laten zien dat het modelleren van de emissievariabiliteit vooruitgang brengt, maar dat het potentieel voor verdere verbetering nog groot is.^{37,38} Het adviescollege beveelt aan om deze ontwikkelingen te intensiveren en na te gaan in hoeverre de invloed van meteorologische variatie op emissiesterktes de verschillen

³⁵ <https://atmosphere.copernicus.eu>

³⁶ Het NH₃-compensatiepunt is de interne concentratie van ammoniak in de stomatale holte van de plant (de ruimte grenzend aan de huidmondjes).

³⁷ Hendriks et al. (2016)

³⁸ Ge et al. (2020)

in jaargemiddelde concentratie, seizoengang en jaar-tot-jaar variatie kunnen verklaren en welke effecten op de gemodelleerde depositie te verwachten zijn.

Het valideren van deze modellering behoeft tijdreeksen met een hogere tijdsresolutie dan maandelijkse gemiddelden. Naast grondstations zouden satellietobservaties een rol bij de validatie kunnen spelen. Door te bepalen in welke mate de modellering de variaties binnen Nederland en binnen het jaar op de gemeten variaties past, worden extra mogelijkheden geschapen om de emissiesterktes van specifieke agrarische activiteiten te evalueren.

5.1.5 Inzet van metingen voor modelverbetering

In de huidige GDN-praktijk wordt de droge depositie van NH_3 gecorrigeerd met de gemiddelde onder-/overschatting in vergelijking met gemeten waarden. Hierdoor vinden regionaal verschillende correcties van tientallen procenten plaats. De huidige kalibratie aan jaarlijkse metingen poetst veel van de tekortkomingen van het model weg. Deze praktijk geeft niet zonder meer een betere schatting van de totale depositie, omdat impliciet wordt aangenomen dat de onderliggende emissies hoofdzakelijk verantwoordelijk zijn voor de verschillen tussen meten en berekenen. De veronderstelling dat de droge depositie lineair afhangt van de NH_3 -concentratie kan ook tot fouten leiden.³⁹

Wetenschappelijk gezien, maar ook voor beleidsdoeleinden, is het dus van belang om te begrijpen wanneer en waarom een model geen goede uitkomsten geeft. Deze diagnostische evaluatie maakt vaak gebruik van wetenschappelijke data waarin parameters gemeten worden die normaal niet ter beschikking staan. Dit kan leiden tot modelverbeteringen, maar ook tot bijstelling van (onzekere) invoerparameters van het model, zoals de emissies uit de verschillende sectoren. Het adviescollege raadt aan om daarnaast ook dynamische evaluaties van het modelinstrumentarium uit te voeren. Deze laatste richten zich op de vraag of de modellen in staat zijn de variabiliteit door veranderende emissiesterktes of meteorologische variabiliteit correct af te beelden. Na identificatie van tekortkomingen behoren acties ingezet te worden om deze te verhelpen.

Het gebruik van optimalisatietechnieken

Door gebruik te maken van optimalisatietechnieken (ook wel in vers modelieren genoemd), kunnen de waarden voor onzekere parameters in een model worden geschat. Dit gebeurt door een minimalisatie van een kostenfunctie⁴⁰, waarin onder andere de verschillen tussen het model en waarnemingen worden opgeteld. Een mogelijke lijst van model-parameters ter optimalisatie:

- Emissie-totalen per sector en/of regio;
- Chemische omzettingssnelheden van reactieve stikstofverbindingen;
- Randvoorwaarden aan de rand van het domein;
- Parameters relevant voor droge en natte depositie.

Deze techniek is een veelbelovend alternatief voor de huidige kalibratie. Op deze manier worden metingen niet alleen gebruikt voor kalibratie, maar ook om te 'leren' welke procesbeschrijvingen in het model of invoergegevens verbetering behoeven, procesonderzoek mede kunnen sturen, en dus als ondersteuning kunnen dienen van procesonderzoek. Om optimaal gebruik te maken van grond- en satellietwaarnemingen is een hoge tijdsresolutie van modelieren hierbij gewenst.

Het kalibreren aan metingen heeft als voordeel dat de atmosferische concentratie die als basis dient voor de depositieberekening niet systematisch te hoog of te laag zal zijn. Het RIVM werkt nu aan Kriging-methoden die een ruimtelijke correctie kunnen uitvoeren. Daarbij zijn correcties in het Oosten van Nederland dan bijvoorbeeld groter dan in het Westen. Deze werkwijze is praktisch makkelijk uitvoerbaar, maar kent ook een aantal nadelen:

³⁹ (Schrader et al., 2018)

⁴⁰ Dit is een wiskundige vergelijking die in deze context afhangt van de modeluitkomsten en de waarnemingen, waarbij een groot verschil tussen deze twee die leidt tot een 'straf' in de vorm van een hoge uitkomst. Door minimalisatie, ofwel het zoeken naar de combinatie van parameters die tot de laagste waarde van de kostenfunctie leidt, kan de optimale set modelparameters worden gekozen.

1. Het onderliggende modelproces dat verantwoordelijk is voor de mismatch wordt niet geïdentificeerd.
2. De kalibratie vindt plaats op basis van jaarlijkse meet- en modelleergegevens, waardoor seizoensafhankelijke effecten verborgen blijven.
3. De kalibratie blijft afhankelijk van de representativiteit van het netwerk, en kan door niet-representatieve metingen worden beïnvloed.

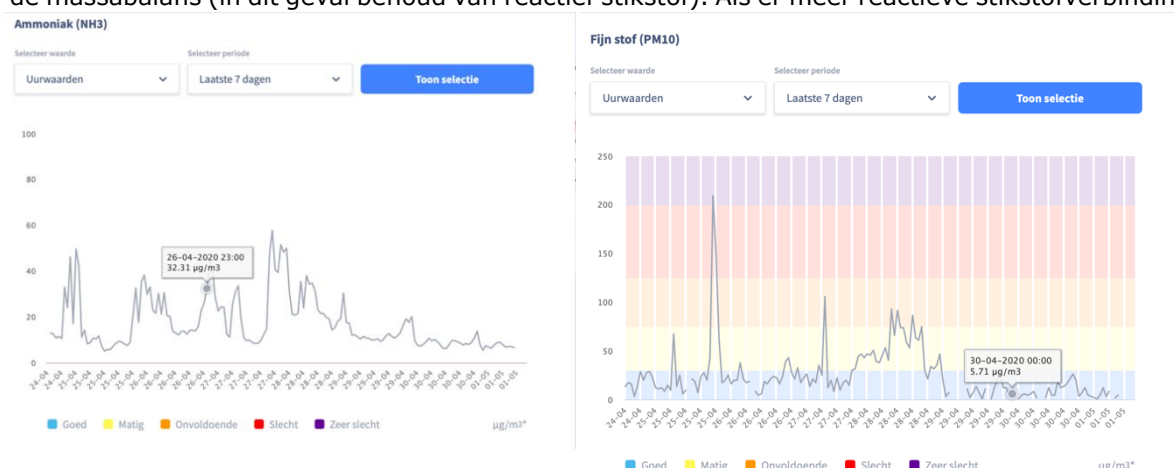
Het optimaliseren van onzekere modelprocessen (emissies, depositie, chemie) met als doel de mismatch tussen model en metingen te minimaliseren zou een logische verbeterstap zijn. Dit geeft tevens inzicht in procesbeschrijvingen die verbetering behoeven. Als bijvoorbeeld blijkt dat de modelperformance verbetert als de emissies als gevolg van mestaanwending worden opgehoogd, kan dit een reden zijn deze emissiecategorie nader onder de loep te nemen.

Het aantal meetpunten voor mini-DOAS-metingen⁴¹ voor de NH₃-concentratie is beperkt (6), maar deze metingen geven een schat aan waarnemingen, zoals Figuur 4.1 weergeeft. Daarnaast zijn er de MAN-metingen in natuurgebieden, die een lagere nauwkeurigheid en tijdsresolutie hebben, en gekalibreerd worden op LML-metingen.

Variabiliteit in de metingen wordt veroorzaakt door emissies, in combinatie met verliesprocessen en atmosferisch transport. Met name gebrek aan verticaal transport bepaalt de hoge concentraties, die vaak optreden tijdens rustige, heldere nachten. Bij meer turbulent weer (de laatste dagen in het figuur) zijn concentraties (van NH₃ en PM10) over het algemeen veel lager.

In de huidige praktijk worden deze metingen jaarlijks gemiddeld en vervolgens gebruikt om een jaarlijks-gemiddeld modelresultaat te kalibreren. De metingen worden dus niet gebruikt om modelparameters (zoals verticale menging en/of emissies) beter te beschrijven, maar alleen als kalibratie achteraf.

Het OPS-systeem wordt niet alleen gebruikt voor de verspreiding van NH₃. Het model vormt ook de basis voor de GCN-kaarten voor PM10 (zie figuur 4.1), PM2.5, en NO_x. Ook hier is het gebruikelijk kalibratie uit te voeren. Voor PM is dit logisch, omdat niet alle processen die leiden tot PM worden meegenomen. Verbeteringen in de fysica van het model (OPS in dit geval) zouden positief moeten doorwerken op alle gemodelleerde componenten. Ook hier wreekt de jaarlijkse resolutie zich, omdat momenteel weinig wordt gekeken naar periodes waarin de modellering duidelijk faalt. Zo wordt een belangrijk deel van de uitgestoten NH₃ in de atmosfeer omgezet in anorganisch aerosol, dat niet bijdraagt aan droge NH₃-depositie, maar wel via natte depositie van PM bijdraagt aan depositie van reactief stikstof (in Nederland of het buitenland). Het kalibreren van concentratiekaarten verstoort de massabalans (in dit geval behoud van reactief stikstof). Als er meer reactieve stikstofverbindingen



Figuur A5.1 Tijdsree van gemeten ammoniak (NH₃) en fijnstof (PM10) op meetlocatie Vredepeel in april 2020 (bron: www.luchtmeetnet.nl).

⁴¹ Zie Annex 2.1 van rapport 1 van het adviescollege ("Niet uit de lucht gegrepen") voor een beschrijving van mini-DOAS-metingen.

worden gemeten, kan de interne consistentie van het modelsysteem beter worden getest (vergelijk de tijdsvariaties in de NH₃- en PM10-metingen).

5.2 Gebruik van een modelensemble

Internationaal wordt steeds meer met een zogenaamd ensemble van modelresultaten gewerkt voor complexe onderwerpen. Hierbij worden verschillende onafhankelijke wetenschappelijk gepubliceerde modellen gedraaid en de uitkomsten samengevoegd tot een gemiddelde of een mediaan. Veel studies hebben in het verleden aangetoond dat de performance van het ensemble beter is dan elk van de deelnemende modellen.⁴² Het adviescollege beveelt sterk aan om naar dit soort modelontwikkelingen te kijken. Het rekenen met een ensemble van systemen biedt het voordeel dat er op een elegante wijze een onzekerheidsanalyse beschikbaar komt. Daarnaast vindt er een gebalanceerde mix van samenwerking en competitie plaats tussen de betrokken teams. Door de resultaten van de modellen open beschikbaar te maken kunnen ook andere groepen onafhankelijke analyses uitvoeren.

In Nederland zijn meerdere modelsystemen beschikbaar om een dergelijk ensemble te genereren. Op het RIVM wordt, naast OPS, met het EMEP-model gewerkt, dat ingezet wordt voor Europese beleidsondersteuning. Daarnaast is er het LOTOS-EUROS-model, ontwikkeld onder coördinatie van TNO, dat voor de Duitse kartering van stikstofdepositie ingezet wordt. Beide systemen worden door hun ontwikkelaars gebruikt in de Copernicus Atmosphere Monitoring Service en zijn uitgerust met data-assimilatietechnieken voor zowel grondmetingen als satellietdata. Als eerste stap naar een ensemble zouden beide modellen ingezet kunnen worden met de Nederland-specifieke invoergegevens. Vergelijking van de resultaten met die van beschikbare metingen en resultaten van OPS zouden de robuustheid van OPS-resultaten kunnen bevestigen en eerste verbeterstappen kunnen identificeren.

Simulaties van de concentraties en deposities van reactief stikstof met een ensemble vergen veel rekenkracht. Dit bemoeilijkt de toepassing van een dergelijk modelensemble voor beleidsondersteuning. Een oplossing zou zijn om met elk van de deelnemende modellen een bron-receptormatrix uit te rekenen. Hiermee kan worden bepaald in welke mate de toevoeging van een bron op een bepaalde locatie bijdraagt aan de depositie op andere locaties, bijvoorbeeld natuurgebieden. Door voor elk model een dergelijke matrix door te rekenen, kan hiervan een gemiddelde worden bepaald dat de beste wetenschappelijke kennis van dit systeem (met bijbehorende onzekerheden) representeert. Mocht er nieuwe kennis beschikbaar komen die van belang is voor het modelleren van concentraties en depositie, kan die in de individuele modellen worden verwerkt om vervolgens een geüpdatete bron-receptormatrix te bepalen. Deze methode combineert aansluiting bij de nieuwste wetenschappelijke inzichten (via het gebruik van state-of-the-art Euleriaanse modellen) met rekenkundige efficiëntie.

5.3 Meetinstrumentarium stikstofconcentratie en -depositie

De Nederlandse meetnetwerken vormen samen met de Emissieregistratie en het modelinstrumentarium het nationale instrumentarium dat ingezet wordt voor de beleidsadvisering, vergunningverlening en internationale rapportageverplichtingen. De meetnetwerken worden ingezet voor:

- de onafhankelijke toetsing van de beleidsvoortgang op een vooraf vastgesteld niveau (ruimtelijk en in tijd);
- de onafhankelijke toetsing van de modelinstrumentarium;
- wetenschappelijk onderzoek naar mechanismen en trends.

De waarde van het meetnet voor beleidsmonitoring en -onderbouwing neemt toe naarmate de meetstrategie beter afgestemd is op de behoeften van de modellering die nodig is voor de verdere interpretatie en generalisatie.

⁴² Zie bijvoorbeeld Solazzo et al. (2012).

Nederland kent een aantal meetnetten waarin de concentraties en depositie van stikstofverbindingen in kaart wordt gebracht (LML, MAN en COTAG). Voor een beschrijving van de meetnetten verwijzen we naar de Annex 2.1 van het rapport *Niet uit de lucht gegrepen* over de werkzaamheden van het adviescollege in fase 1. In fase 1 heeft het adviescollege geconcludeerd dat het meetnet een goede ruimtelijke representatie heeft, vooral voor NH₃ in natuurgebieden. Echter, voor een reductie van modelonzekerheid werd sterk aangeraden het meetnet uit te breiden en satellietgegevens te gaan gebruiken als ondersteuning van de grondwaarnemingen. Hier gaan we concreter in op de vraag hoe deze intensivering van de meetnetwerken vormgegeven zou kunnen worden.

Het optimaliseren van een monitoringnetwerk voor bovenstaande doeleinden is een uitdagende taak. Idealiter zou een netwerk zeker moeten stellen dat er kwalitatief goede informatie is met:

- adequate ruimtelijke dekking van de concentratie en depositie van alle relevante stoffen;
- voldoende langetermijnmonitoring van concentraties en depositiefluxen om (veranderingen in) de blootstelling van ecosystemen te kunnen vaststellen;
- voldoende tijdsresolutie om processtudies mogelijk te maken en ontwikkeling en evaluatie van het modelinstrumentarium te faciliteren;
- voldoende aantal simultane metingen van alle relevante stoffen en fluxen;
- gestandaardiseerde methoden en adequate kwaliteitsprocedures;
- een gebalanceerde en kosteneffectieve aanpak waarbij naast standaardmethoden ook nieuwe en in ontwikkeling zijnde technieken getest worden.

De vraag wat adequaat en voldoende is, hangt samen met het doel (purpose) en de maximale onzekerheid waarmee uitspraken gedaan moeten worden. Daaruit volgt de benodigde kwaliteit en onzekerheid die getolereerd wordt in de meetstrategie en in de modellering. Hieruit volgt dat de meetinspanning afhangt van de variatie in concentratie en depositie, de rol van een component in het totale budget en belang voor het reduceren van onzekerheden in de modellering.

Het adviescollege beveelt aan om de meetstrategie te heroverwegen en via modelonderzoek te bepalen wat de optimale strategie is in de context van bovenstaande doelen. Daarbij zou ook de beschikbaarheid van satellietdata meegenomen moeten worden. De centrale vraag daarbij zou moeten zijn hoeveel metingen van welke componenten waar nodig zijn om met een bepaalde zekerheid te kunnen zeggen of het modelinstrumentarium doelgeschikt is.

Het is niet mogelijk om overal te meten. Vooral voor primaire stoffen die kort leven in de atmosfeer, zoals NH₃ en NO_x, zijn de ruimtelijke verschillen in concentraties en depositie groot. Het is niet mogelijk een landsdekkend beeld te geven op basis van metingen alleen. Van een adequate dekking is sprake als de metingen voor elke component de belangrijkste bron en receptorgebieden dekken, het liefst met een aantal punten daartussen. Voor stoffen met een grote ruimtelijke variatie met een groot aantal verschillende bronnen (zoals NH₃ en NO_x) zijn meer meetpunten nodig dan voor een meer homogeen verdeelde stof (zoals nitraatgehalte in fijnstof).

Op dit moment wordt er op 6 locaties met hoge tijdsresolutie NH₃ gemeten in het LML. Daarnaast levert het MAN voor de meeste Nederlandse natuurgebieden op een aantal locaties tijdreeksen van maandgemiddelde NH₃-concentraties. Hiermee wordt in Nederland intensiever NH₃ gemeten in natuurgebieden dan waar ook ter wereld. De dekking van de receptorgebieden is daarmee voor NH₃ zeer adequaat. Echter het aantal meetpunten voor NH₃ in de brongebieden in Nederland is zeer beperkt. Het verdient aanbeveling de MAN-metstrategie ook toe te passen op relevante brongebieden om meer directe informatie over de trends en variaties in de emissies van NH₃ te genereren. Daarbij zouden regio's gedomineerd door intensieve en extensieve veehouderij (runderen, varkens en pluimvee) alsmede verschillende akkerbouwgebieden afgedekt moeten worden. Aanvullend zou in proeftuinen verkend kunnen worden of ontwikkelingen rond sensoren een aanvulling kunnen zijn. Het adviescollege beveelt aan om het LML uit te breiden naar minimaal acht meetstations voor NH₃. De additionele stations zouden ingezet kunnen worden in natuurgebieden met enige omvang en bij belangrijke habitattypen waarmee ook modevaluatie van rastermodellen ondersteund wordt en complementair gemeten wordt.

In vergelijking met netwerken in het buitenland valt met name de Deense praktijk op waarin op een achttal plaatsen met minimaal een dagelijkse dekking de meest relevante componenten simultaan worden gemeten, inclusief metingen voor natte depositie, fijnstof en salpeterzuur welke in het LML niet of met een lagere frequentie gemeten worden. De vorming van fijnstof is belangrijk om goed te modelleren aangezien deze omzetting voor een groot deel het transport van stikstofverbindingen over lange afstanden bepaalt. Salpeterzuur levert na NH_3 de op een na hoogste bijdrage aan de totale stikstofdepositie in Nederland. Voor deze in de atmosfeer gevormde componenten is met name de tijdsresolutie van belang om modelvalidatie te faciliteren. Het adviescollege adviseert dan ook om de meetstrategie voor modelvalidatie zodanig te herzien dat ook binnen het LML op een aantal locaties deze informatie beschikbaar komt. Hiervoor komen stations in aanmerking die in een landbouwgebied (hoog NH_3), een in een redelijk groot natuurgebied (laag NH_3) en nabij de kust liggen. Er zijn verschillende technieken die in aanmerking komen zoals denuder-filter-packs (dagelijks) of nat-chemische methodes (uurlijks) als de MARGA. Met deze technieken is het ook mogelijk metingen van stikstofverbindingen als HNO_2 , PAN en organisch stikstof te doen. Net als voor NH_3 zijn er low-cost-technieken, zoals de inzet van de Delta-techniek in Groot-Brittannië, om met maandelijks resolutie aanvullende dekking voor deze componenten te behalen.

Een adequate dekking voor het meten van droge depositie is technisch en financieel onhaalbaar. Het adviescollege waardeert de inspanning van het RIVM om metingen van droge depositie te integreren in het LML aan de hand van nieuw ontwikkelde apparatuur en bestaande, wat eenvoudiger metingen, zeer. Het adviescollege ziet deze droge depositiemetingen van NH_3 en NO_x als een essentieel onderdeel van een meetnet waarbij op een beperkt aantal supersites (in natuur- en landbouwgebieden) langdurig gemeten wordt. Op diezelfde stations zouden ook de natte depositie en de concentraties van stikstofcomponenten gemeten moeten worden. Tot slot attendeert het adviescollege op de noodzaak om met een aantal extra meetsystemen de procesbeschrijvingen voor droge depositie campagne-gewijs na te lopen voor de belangrijkste landgebruik- en habitattypen. Dit ter validatie en verbetering van de modellering.

5.4 Satellietmetingen

Twee belangrijke componenten van stikstof, NO_2 en NH_3 , worden beide waargenomen vanuit de ruimte. Satellieten geven dagelijkse informatie voor heel Nederland met een ruimtelijke resolutie van ongeveer 5 km (NO_2 -metingen van TROPOMI op de Europese Sentinel-5P satelliet) of 14 km (NH_3 -metingen van CrIS op de NOAA Suomi NPP-satelliet van de VS en NH_3 -metingen van IASI op de EUMETSAT METOP-satelliet van Europa). Momenteel worden deze metingen niet gebruikt voor Nederlandse beleidstoepassingen.

De gegevens van de huidige generatie satellieten (TROPOMI, OMI, CrIS, IASI) en de geplande toekomstige missies zijn alle kosteloos en zonder beperkingen toegankelijk. Wel is er onderzoek en kennis nodig om de satellietdata in de modellen te integreren en om het gebruik te optimaliseren voor de Nederlandse toepassingen. Hier kan gebruik gemaakt worden van bestaande software en expertise in Nederland en internationaal. Verder garanderen de bestaande satellietprogramma's zoals EU Copernicus de operationele beschikbaarheid van NO_2 - en NH_3 -metingen voor de komende 20 tot 30 jaar, met een door de EU vereiste gegarandeerde kwaliteit. De TROPOMI Sentinel-5P-metingen worden voortgezet door de geplande Sentinel-5 instrumenten. Het EU Copernicus Sentinel-programma voorziet verder ook in geostationaire satellieten (Sentinel-4 vanaf 2023), waarbij de metingen uurlijks beschikbaar komen, in plaats van dagelijks zoals bij TROPOMI en CrIS.⁴³ Voor NH_3 -metingen met IASI, zal er opvolging plaatsvinden met IASI-NG op de EUMETSAT Polar System, Second Generation. Ook het CrIS-satellietinstrument aan VS-kant zal onderdeel uitmaken van een operationele lijn. Het gebruik van satellietmetingen is dan ook zeer kostenefficiënt, daar de metingen de komende decennia kosteloos en gegarandeerd toegankelijk zijn.

Satellietgegevens van luchtvervuiling zijn relatief nieuw, maar hebben zich inmiddels bewezen door middel van een aanzienlijk aantal publicaties in de internationale wetenschappelijke literatuur. Een recent voorbeeld is de waarneming van de NO_2 -afname in een groot deel van de wereld door alle

⁴³ Zie <https://www.copernicus.eu/nl>

Covid-19 lockdown-maatregelen, gekwantificeerd door het TROPOMI-instrument. Satellietdata, onder andere van NO₂, wordt operationeel gebruikt (ge-assimileerd) door de Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) voor het verbeteren van analyses en dagelijkse verwachtingen van luchtvervuiling. Het Nederlandse luchtkwaliteitsmodel LOTOS-EUROS wordt gevoed door het CAMS-ensemble, en assimileert ook zelf satellietgegevens, om zo de verwachting voor Nederland zo goed mogelijk te maken. Satellieten meten een totale kolom, in tegenstelling tot de metingen van concentraties aan de grond van bijvoorbeeld het LML, maar meerdere nationale en internationale onderzoeken hebben aangetoond dat er sterke correlaties zijn tussen de tijdreeksen van satelliet- en grondmetingen. Er zijn hierover verschillende publicaties verschenen in de peer-reviewed literatuur. Satellietmetingen zijn aanvullend aan het grondmeetnetwerk, wat nodig blijft om concentraties aan de grond te monitoren (in bijv. de natuurgebieden), en om de gedetailleerde ruimtelijke variabiliteit (binnen de satellietpixel) en dagelijks verloop van de concentraties van NH₃ en NO₂ in kaart te brengen. Satellieten meten boven heel Nederland, en kunnen het gebrek aan informatie in de 'gaten' tussen de grondmetingen aanvullen. De onzekerheden van individuele satellietmetingen zijn momenteel in de orde van 30%, maar de metingen zijn nog volop in ontwikkeling en verbeteringen worden verwacht. Dit wijkt overigens niet ver af van de nauwkeurigheid van grondmetingen, daar die ook fouten bevatten van vaak 20-30%, afhankelijk van de gebruikte meettechniek.

Inmiddels zijn er ook meerdere voorstellen gedaan voor mogelijke toekomstige (Europese ESA) satellietmissies, zoals NITROSAT of SCOUT. Nederlandse onderzoekers zijn hier actief bij betrokken. Deze voorstellen gaan alle uit van een verdere sterke toename van het ruimtelijk oplossend vermogen tot ongeveer 500 meter (de schaal van een boerderij). Het NITROSAT-satellietconcept is specifiek ontworpen om reactief stikstof, NO₂ en NH₃, met een dergelijk detail te monitoren. Voor Nederland - maar ook voor Europa en de rest van de wereld - zouden dergelijke satellietmissies zeer waardevol zijn. Dergelijke toekomstige NO₂- en NH₃-metingen vanuit de ruimte met boerderij-resolutie zouden, in combinatie met het Nederlandse grondmeetnetwerk en een verdere ontwikkeling in modellering zoals aangegeven in dit rapport, een ongekende database leveren voor verbeterde kennis van de stikstofcyclus in Nederland.

De optimale manier om satellietgegevens te benutten is om deze metingen te combineren met modellen zoals EMEP of LOTOS-EUROS 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.). Het combineren van zowel de grond- en satellietmetingen met de modelresultaten (assimilatie) leidt tot een zo optimaal mogelijke beschrijving van de NO₂- en NH₃-concentraties in de atmosfeer, ten einde een verbeterde stikstofdepositieberekening te kunnen doen. Met standaard OPS is een directe vergelijking met - en gebruik van - satellietmetingen niet goed mogelijk, omdat dit model met name grondconcentraties modelleert op basis van representatieve jaargemiddelde meteorologische gegevens. De LOTOS-EUROS- en EMEP-modellen worden gebruikt in CAMS, waardoor er ook internationale inbedding is.

De dagelijkse satellietmetingen bevatten gedetailleerde informatie over de verplaatsing ('pluimen') en verblijftijd van reactief stikstof in de atmosfeer. Het vergelijken van het model en de satellietmetingen levert informatie over de onzekerheden in de modelprocessen, zoals de emissies, de beschrijving van het transport in de atmosfeer, de meteorologie, de chemische omzetting in de atmosfeer, en uiteindelijk de depositie. Een voorbeeld is het verbeteren van onze kennis over het transport van stikstof over de landsgrens met behulp van satellietwaarnemingen. Satellietmetingen leveren hierin een unieke bijdrage.

Satellieten meten een totale kolomhoeveelheid. Daarom is deze meting sterk gerelateerd aan de emissies (uitstoot) en ook de verwijdering van reactief stikstof (chemische omzetting en depositie). Gecombineerd met kennis van de wind, of met een model, is het mogelijk om schattingen van de ruimtelijke verdeling van emissies en de veranderingen van die emissies in de tijd te maken. Dit biedt mogelijkheden om de schattingen van de Emissieregistratie geheel onafhankelijk te toetsen en de variabiliteit van jaar tot jaar te schatten.

Annex 6: Literatuurlijst

Bouwman A.F., Boumans, L.J.M., Batjes, N.H. 2002. Estimation of global NH₃ volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(2), 1024. doi: 10.1029/2000GB001389.

Ellen, H.H., Groenestein, C.M., Ogink, N.W.M. 2017. Actualisering ammoniak emissiefactoren pluimvee; Advies voor aanpassing van ammoniak emissiefactoren van pluimvee in de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav). Wageningen Livestock Research, Rapport 1015.

Ge, X., Schaap, M., Kranenburg, R., Segers, A., Reinds, G.J., Kros, H., De Vries, W. 2020. Modeling atmospheric ammonia using agricultural emissions with improved spatial variability and temporal dynamics. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, in review. doi: 10.5194/acp-2019-979.

Goedhart, P. W., Mosquera, J. & Huijsmans, J. F. M. 2020. 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*, 36, p. 338-350. doi: 10.1111/sum.12564.

Goedhart, P. W., Huijsmans, J. F. M. 2017. Accounting for uncertainties in ammonia emission from manure applied to grassland. *Soil Use and Management*, 33(4), p. 595-602.

Groenestein, C.M., Bokma, S., Ogink, N.W.M. 2014a. Actualisering ammoniakemissiefactoren vleeskalveren tot circa 8 maanden; Advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Wageningen Livestock Research Rapport 778.

Groenestein, C.M., Aarnink, A.J.A., Ogink, N.W.M. 2014b. Actualisering ammoniakemissiefactoren vleesvarkens en biggen; Advies herberekening op basis van welzijnseisen. Wageningen Livestock Research Rapport 786.

Hendriks, C., Kranenburg, R., Kuenen, J.J.P., Van den Bril, B., Verguts, V., Schaap, M., 2016. Ammonia emission time profiles based on manure transport data improve ammonia modelling across north western Europe. *Atmospheric Environment*, 131, p. 83-96. doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.01.043.

Hordijk, L., Erisman, J.W., Eskes, H., Hanekamp, J.C., Krol, M.C., Levelt, P.F., Schaap, M., De Vries, W., Visser, A. (2020). Niet uit de lucht gegrepen: Eerste rapport van het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/03/05/bijlage-niet-uit-de-lucht-gegrepen>.

Huijsmans, J. F. M., Vermeulen, G. D., Hol, J. M. G., & Goedhart, P. W. 2018. A model for estimating seasonal trends of ammonia emission from cattle manure applied to grassland in the Netherlands. *Atmospheric Environment*, 173, 231-238.

Kros, J., Os, J. van, Voogd, J.C., Groenendijk, P., Bruggen, C. van, Molder, R. te, Ros, G.H. 2019. Ruimtelijke allocatie van mesttoediening en ammoniakemissie; Beschrijving mestverdelingsmodule INITIATOR versie 5. Wageningen Environmental Research Rapport 2929.

Lagerwerf, L.A., Bannink, A., Bruggen, C. van, Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Kolk, J.W.H. van der, Luesink, H.H., Sluis, S.M. van der, Velthof, G.L., Vonk, J. 2019. Methodology for estimating emissions from agriculture in the Netherlands. Calculations of CH₄, NH₃, N₂O, NO_x, NMVOC, PM₁₀, PM_{2.5} and CO₂ with the National Emission Model for Agriculture (NEMA) – update 2019. Wageningen. WOT-technical report 148.

Ogink, N.W.M., Groenestein, C.M., Mosquera, J. 2014. Actualisering ammoniakemissiefactoren rundvee: advies voor aanpassing in de Regeling ammoniak en veehouderij. Wageningen Research Rapport 778.

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.

Schröder, F., Schaap, M., Zöll, U., Kranenburg, R., Brümmer, C. (2018). The hidden cost of using low-resolution concentration data in the estimation of NH₃ dry deposition fluxes. *Scientific reports*, 8, 969. doi: 10.1038/s41598-017-18021-6.

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.

Solazzo, E., Bianconi, R., Vautard, R., Wyatt Appel, K., Moran, M.D., Hogrefe, C., ... Galmarini, S., 2012. Model evaluation and ensemble modelling of surface-level ozone in Europe and North America in the context of AQMEII. *Atmospheric Environment*, 53, p. 60-74. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.01.003.

Van Bruggen, C., Bannink, A., Groenestein, C.M., Huijsmans, J.F.M., Lagerwerf, L.A., Luesink, H.H., Sluis, S.M. van der, Velthof, G.L., Vonk, J. 2019. Emissies naar lucht uit de landbouw in 2017. Berekeningen met het model NEMA. Wageningen, WOT Natuur & Milieu, WOT-technical report 147.

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. CBS paper 2019.

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.J. Visser MSc

Ambtelijk Secretariaat

De heer dr. H.F. Massink

De heer J. Stronks MSc

Datum

15 juni 2020

