



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Advies regionaal **meten en berekenen van stikstof** (emissie, concentratie, en depositie) in de lucht

**Advies regionaal meten en berekenen van
stikstof (emissie, concentratie, en depositie) in
de lucht**

RIVM-briefrapport 2025-0024

Colofon

© RIVM 2025

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2025-0024

T.J.H.M. Van Bergen (auteur), RIVM)
E.W. Meijer (auteur), TNO
A. Bleeker (auteur), RIVM
D.J.J. Heederik (auteur), UU
M. Schaap (auteur), TNO
J. Vonk (auteur), WUR
R.A. Suèr (auteur), OnePlanet
A. Hensen (auteur), TNO
G. Migchels (auteur), WUR
F.B. Çelikkol (auteur), OnePlanet

Contact:
Albert Bleeker
Centrum Milieukwaliteit van RIVM
albert.bleeker@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie LNVN in het kader van het nationaal kennisprogramma stikstof (NKS)



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*



Universiteit
Utrecht



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Advies regionaal meten en berekenen van stikstof (emissie, concentratie en depositie) in de lucht

Volgens de wet moet er in Nederland minder stikstof op kwetsbare natuurgebieden neerkomen (Wet stikstofreductie en natuurverbetering). De provincies zijn verantwoordelijk om hiervoor regionaal beleid te maken en uit te voeren. Om voor deze ingewikkelde taak goede keuzes te kunnen maken, hebben provincies behoefte aan wetenschappelijke kennis, vooral op basis van regionale metingen.

Het ministerie van LNV heeft een adviescommissie gevraagd om voor deze kennisbehoeften een onderzoeksprogramma te maken. De adviescommissie doet daar nu aanbevelingen voor.

De provincies hebben drie belangrijke vragen. De eerste is hoe metingen kunnen helpen om stikstof regionaal te monitoren: hoeveel stikstof wordt uitgestoten door een bron, hoe stikstof in de lucht verspreidt en hoeveel op de bodem neerkomt. De tweede vraag is inzicht krijgen welke stoffen nog meer invloed hebben op de natuur, en ook in water en bodem. De derde is meer inzicht krijgen in het effect van maatregelen om de uitstoot van stikstof te verlagen. Dat maakt duidelijk welke maatregelen het beste werken.

De commissie adviseert de vragen in twee stappen aan te pakken. Met deze aanpak kunnen de provincies hun taak zo snel mogelijk uitvoeren en is er toch genoeg tijd om nieuwe kennis te ontwikkelen. De eerste stap is de bestaande kennis van landelijke rekenmodellen en meetmethoden verder te ontwikkelen, zodat ze regionaal kunnen worden gebruikt. Ook is het belangrijk om door te gaan met de projecten die er al zijn om stikstof regionaal te meten en te berekenen. Bijvoorbeeld met sensoren. De tweede stap is de methoden en technieken in deze projecten te testen en aan te vullen met nieuwe technieken, zoals drones en satellieten.

De adviescommissie bestaat uit het RIVM, TNO, Universiteit Utrecht (IRAS), WUR en het innovatiecentrum OnePlanet.

Kernwoorden: stikstof, rekenen, meten, regionaal, provincies

Synopsis

Advice on regional measuring and modelling of nitrogen (emission, concentration and deposition) in the air

The Dutch Nitrogen Reduction and Nature Improvement Act stipulates that less nitrogen must end up in vulnerable nature conservation areas in the Netherlands. The provinces are responsible for regional policies contributing to achieve the Act's objectives. In order to be able to make the right decisions for this complicated task, provinces need scientific knowledge – particularly knowledge derived from regional measurements.

An advisory committee set up by the Ministry of Agriculture, Fisheries, Food Security and Nature was charged with drawing up a research programme to address provincial knowledge gaps. The advisory committee has now published its recommendations for the programme.

The provinces have knowledge gaps in three key areas. The first is how measurements can help monitor nitrogen at the regional level: how much nitrogen does a particular source emit, how does nitrogen spread through the air and how much of it ends up on the soil surface? The second knowledge gap is about how to gain insight into which other substances affect nature, both in air, in water and in the soil. The third relates to gaining insight into the effect of measures to reduce nitrogen emissions. This will make clear which measurements work best.

The committee recommends taking a two-stage approach to addressing these knowledge gaps. This approach is designed to allow the provinces to carry out their task as quickly as possible, yet give them sufficient time to develop new knowledge. The first stage is to develop existing knowledge about national models and measurement methods further, so that they can be adapted for regional use. At the same time, ongoing projects to measure and model nitrogen regionally (for example by using sensors) should be continued. The second stage is to test the methods and technologies in these projects and supplement them with new technologies, such as drones and satellites.

The advisory committee is made up of representatives of RIVM, the Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO), Utrecht University's Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Wageningen University & Research (WUR) and the OnePlanet Research Center.

Keywords: nitrogen, modelling, measuring, regional, provinces

Inhoudsopgave

1	Rationale landelijk kennisprogramma regionale meetinitiatieven — 9
2	Opdracht adviescommissie — 11
2.1	Uitwerking — 12
3	Aanbevelingen onderzoeksprogramma — 15
3.1	Voorgestelde strategische aanpak — 16
3.1.1	Fasering programma — 16
3.1.2	Afstemming en synergie regionale initiatieven — 17
3.2	Onderdeel 1a: Monitoring ammoniak emissiereductie(doelen) — 18
3.2.1	Probleemstelling — 18
3.2.2	Aanbevelingen — 19
3.2.3	Strategische aanpak — 21
3.3	Onderdeel 1b: Monitoring integrale milieuprocessen — 22
3.3.1	Probleemstelling — 23
3.3.2	Aanbevelingen — 23
3.3.3	Strategische aanpak — 23
3.4	Onderdeel 2a: Effectiviteit maatregelen op omgevingsconcentratie ammoniak en depositie — 24
3.4.1	Probleemstelling — 24
3.4.2	Aanbevelingen — 25
3.4.3	Strategische aanpak — 25
3.5	Onderdeel 2b: Effect habitat op depositie — 27
3.5.1	Probleemstelling — 27
3.5.2	Aanbevelingen — 27
3.5.3	Strategische aanpak — 27
3.6	Aansluiting bij regionale initiatieven — 28
3.7	Investering en impact — 29

1 Rationale landelijk kennisprogramma regionale meetinitiatieven

De Wet stikstofreductie en natuurverbetering (Wsn) heeft ambitieuze doelstellingen voor de reductie van stikstofdepositie op kwetsbare natuur geformuleerd die voor een belangrijk deel **via regionaal en lokaal beleid gerealiseerd dienen te worden**. Gezien de grote opgave, de uiteenlopende maatschappelijke belangen en de beoogde verschuiving naar emissiebeleid is het **cruciaal dat (emissie)reductiemaatregelen effectief, kostenefficiënt en wetenschappelijk onderbouwd zijn**.

Ook voor de operationalisering van de gewenste doelsturing (**vergunningverlening op basis van bedrijfsspecifieke emissiereductiedoelen of emissieplafonds**) is het van belang om de realisatie van **ammoniakreducties** adequaat te kunnen monitoren en de bijdrage van emissie reducerende maatregelen aan emissiereductiedoelen te meten.

Daarnaast zijn er tegelijkertijd **meerdere drukfactoren** die een negatief effect op de natuur hebben (**bijvoorbeeld stikstofdepositie, klimaatverandering, verzuring**). Een helder beeld van de bijdrage van **verschillende drukfactoren op effecten in de natuur ontbreekt tot op heden (op basis van metingen)**.

De **inzet van metingen** voor het onderbouwen van maatregelen zijn **daarom onontbeerlijk**. Het huidige meet- en modelinstrumentarium is gericht op het verkrijgen van een nationaal beeld van de depositie in natuurgebieden, om effecten op de natuur te monitoren (in het kader van de Wsn). Daardoor vinden er heel weinig metingen in veehouderij intensieve gebieden plaats. **Doordat het huidige meet- en modelinstrumentarium nationaal gericht is, is de onzekerheid in gemodelleerde resultaten regionaal groter dan nationaal**. Innovatie is dus nodig om lokale situaties gedetailleerder in kaart te brengen, zodat regionale monitoring en het bepalen van de effectiviteit van maatregelen lokaal verbeterd kan worden. **De bijdrage van regionale meetinitiatieven is hiervoor van belang**. Niet voor niets ontplooiën verschillende provincies initiatieven om lokaal te gaan meten. Momenteel lopen er drie regionale meetcampagnes, namelijk Liefstinghsbroek, RegioDeal Foodvalley en sinds begin dit jaar de Nieuwkoopse Plassen.

Dergelijke regionale **meetinitiatieven hebben een hoog ambitieniveau** en kennen hoge verwachtingen, door de bijdrage die ze leveren aan gebiedsprocessen. **Het uiteindelijke doel van initiatiefnemers is het leveren van robuuste onderbouwing van de effectiviteit van het stikstofbeleid op lokale schaal**, terwijl de meetmethoden en modellen om dat te kunnen doen nog in ontwikkeling zijn. Regionale initiatieven hebben daarom een lerend karakter, waarbij onderzoek zich richt op de ontwikkeling van methoden, de samenwerking tussen de verschillende stakeholders en het beantwoorden van wetenschappelijke en beleid onderbouwende vragen die deze meetinitiatieven met zich meebrengen.

De wetenschappelijke vragen betreffen het *iteratief* in kaart brengen van de lokale situatie *in hoge mate van detail in ruimte en/of tijd*, inclusief *de bepaling van het effect van maatregelen*:

- *Iteratief* vanuit de gedachte dat er urgentie is zodat met de nu beschikbare methoden aan de slag gegaan moet worden. Welk beeld geeft het huidige instrumentarium? Hoe bepalen we wat de belangrijkste verbeterstappen zijn? Denk daarbij aan **het in kaart brengen van lokale emissies die in tijd en ruimte variëren tegenover statische generieke emissiekaarten**, het steeds verfijnder meten van concentraties en deposities en het verkennen van de optimale strategie om ook gebruik te maken van nieuwe technologieën.
- *In hoge mate van detail in ruimte en tijd* meten wordt al snel beperkt door kosten en mogelijkheden. Hoe is een hoog detailniveau kosteneffectief te bereiken? Denk aan slimme inzet van sensoren (veel betaalbare meetpunten van relatief lage kwaliteit), **high-end apparatuur (enkele posities van hoge kwaliteit)**, het maken van **gedetailleerde snapshots met mobiele metingen met een meetwagens**, vliegtuigen of drones en het benutten van satellietgegevens die meetwaarden over een oppervlakte geven in aanvulling op puntmetingen. **Detailtering in ruimte en tijd en de analyse van nieuwe metingen vereisen ook investeringen in de (modelmatige) interpretatie om regio-specifiek emissies te kunnen monitoren en de effectiviteit van maatregelen in te schatten.**
- ***De bepaling van effecten*** is waar het uiteindelijk om draait. De bepaling van relatief kleine effecten tegenover een grote achtergrond is complex. Zeker in een gebied waar geleefd en gewerkt wordt, met als gevolg continu veranderende omstandigheden. **In de praktijk zullen in één gebied verschillende soorten maatregelen door elkaar genomen worden die elk een effect hebben.** Dergelijke effectbepalingen in de praktijk zijn nog volop in ontwikkeling, maar zou mogelijk routinematig moeten worden als gekozen gaat worden voor emissiesturing.

De maatschappelijke urgentie van de stikstofproblematiek in combinatie met (ammoniak) emissiereductiedoelen vragen om een evaluatie van veranderingen in emissie. Als genoemd heeft de voorgestelde ontwikkeling van fijnmazige regionale netwerken noodzakelijkerwijs een lerend karakter. Dit mag het uiteindelijke doel van onderbouwing van beleid niet in de weg staan. Versterking vanuit wetenschappelijk onderzoek van lopende en toekomstige regionale initiatieven is daarom nodig. Dit eerste advies legt de basis voor een wetenschappelijk onderzoeksprogramma dat voorziet in een wetenschappelijke onderbouwing van regionaal beleid. Naast versterking en ondersteuning van de nu al lopende initiatieven borgt een centraal kennisprogramma de synergie en complementariteit van de regionale meetinitiatieven. Enerzijds door kennisuitwisseling tussen opdrachtgevers en experts en anderzijds doordat experts van verschillende kennisinstellingen efficiënt en kosteneffectief onderzoek in samenwerking onderzoek doen naar de belangrijkste onderzoeksvragen, waardoor de capaciteit maximaal benut wordt.

2 Opdracht adviescommissie

Vanuit het Kennisnetwerk Regionale Omgevingsmetingen Stikstof (hierna **KROS**) hebben provincies en LVVN de behoefte uitgesproken om, naast de kennisdeling via KROS, ook in te zetten op gezamenlijke kennisontwikkeling rondom regionale meetinitiatieven stikstof. Door de **gewenste kennisontwikkeling centraal te organiseren kunnen bestaande (meet)initiatieven versterkt worden en kan tegelijkertijd de beperkte capaciteit van de relevante kennisinstellingen optimaal worden benut**. Het is van belang om de onderzoeken van verschillende regionale meetinitiatieven zo goed mogelijk op elkaar af te stemmen, dat wil zeggen dat de **kwaliteit en vergelijkbaarheid van de metingen en analyses zo goed mogelijk gewaarborgd moeten worden**. Op deze manier kunnen **verschillende regionale meetpilots elkaar aanvullen en met elkaar vergeleken worden**.

Provincies en LVVN hebben een commissie van wetenschappers om een advies gevraagd voor de concrete invulling van een gezamenlijk onderzoeksprogramma met een looptijd van 2025 tot 2030. Dit gezamenlijke onderzoeksprogramma wordt ondergebracht onder spoor 4, Regionale Omgevingsmetingen, van het Nationaal Kennisprogramma Stikstof. Het advies dient daarbij gebaseerd te worden op basis van de, bij de provincies, geïnventariseerde behoefte (ontvangen op 02-09-2024).

De commissie wordt gevraagd de kennisbehoefte, opgehaald door LVVN en BIJ12, van (regionale) overheden (zoals opgenomen in de adviesaanvraag, "Ontwikkeling programma 'Regionale Omgevingsmetingen Stikstof'") te vertalen naar een onderzoeksprogramma.

De kennisbehoefte van de overheden bestaat uit:

- 1) Het **kosteneffectief monitoren** van **ammoniakemissiereductie**(doelen) en integrale milieumonitoring (gelijktijdige metingen in meerdere compartimenten op dezelfde locatie, alsook effecten op de natuur) op regionaal (provinciaal)/gebiedsniveau. Regionale meetinitiatieven kunnen gebruikt worden om de optimale strategie te bepalen voor verschillende praktijkomstandigheden in Nederland.
- 2) Het op gang krijgen en/of faciliteren van gebiedsprocessen met behulp van regionale meetinitiatieven. Gebiedsprocessen hebben betrekking op het monitoren van de effectiviteit van genomen lokale maatregelen (rekening houdend met habitattypen, weersomstandigheden, landschapselementen), inclusief de link emissie-concentratie-depositie op gebiedsniveau en de **wijze waarop meetinitiatieven bijdragen aan draagvlak en communicatie**.

De specifieke vragen van (regionale) overheden binnen deze kennisbehoefte rondom monitoring en gebiedsprocessen betreffen zowel de ontwikkeling van nieuwe methoden, inzet van methoden, meetstrategie, alsook wetenschappelijke onderbouwing voor beleid en synergie met andere vraagstukken (zoals de bijdrage van regionale meetnetwerken aan landelijke monitoring en de verbetering van beschikbare modellen).

Meer in het bijzonder gaan de onderzoeksvragen over de volgende onderwerpen:

1. Monitoring
 - a. Monitoring ammoniak emissiereductie(doelen)
 - Meetstrategie regionale monitoring
 - (Door)ontwikkeling meet-/modelmethodiek
 - b. Integrale monitoring milieu en natuur
 - Gelijktijdig monitoren water, bodem, lucht en natuur
2. Faciliteren van gebiedsprocessen
 - a. Effectiviteit emissie reducerende maatregelen op de concentratie en depositie
 - b. Invloed van habitatype op droge depositie
 - c. Invloed van landschapselementen
 - d. Afwenteleffecten

Tijdens het KROS overleg van 01-11-2024 is er door LVVN en de daar aanwezige provincies een verdere prioritering aangebracht in de bovengenoemde onderwerpen. Zo is er een lagere prioriteit toegekend aan het onderzoeken van de afwenteleffecten en de invloed van landschapselementen dan aan de overige onderwerpen uit de oorspronkelijke opdracht. Het belang van onderzoek naar de invloed van het habitatype werd weliswaar breed onderkend, maar dit spitste zich toen toe op de vraag in hoeverre dit past bij een kennisprogramma voor regionale meetinitiatieven.

2.1 Uitwerking

Op basis van deze prioritering is er in onze aanbevelingen voor gekozen deze in eerste instantie alleen te doen voor de eerste vier onderwerpen (1a. monitoring van ammoniak emissiereductie(doelen), 1b. integrale monitoring milieu en natuur, 2a. effectiviteit emissiereducerende maatregelen op concentratie en depositie, 2b. invloed van habitatype op droge depositie) met de kanttekening dat de aanbevelingen voor 2b. invloed van habitatype op droge depositie mogelijk in een ander onderzoeksprogramma kunnen landen. Voor de overige onderdelen (2c. invloed van landschapselementen en 2d. afwenteleffecten) wordt in het advies aangegeven waar koppelkansen liggen.

Voor de geprioriteerde onderwerpen zijn allereerst kennisleemtes geïdentificeerd. Op basis daarvan is aangegeven welke activiteiten nodig zijn om deze kennisleemtes te vullen. Vervolgens is inzichtelijk gemaakt op welke manier deze activiteiten eventueel ingepast kunnen worden in lopende/aanstaande (regionale) meetnetwerken.

Dit document omschrijft op verzoek van LVVN een strategie voor een onderzoeksprogramma om de gezamenlijke kennisbehoefte te vervullen.

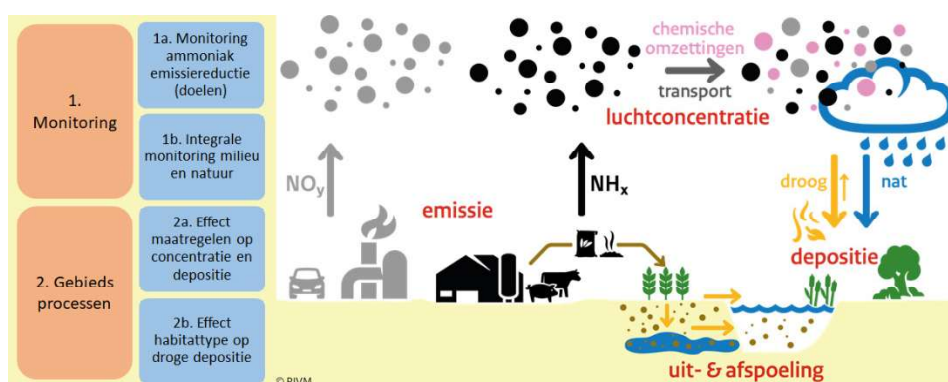
Dit wordt aangevuld met een advies over bestaande initiatieven en welke onderdelen daar ingebracht kunnen worden, alsmede een kostenindicatie (kleine-grote investering) en impact (klein-groot) per onderdeel.

In de uitwerking van het advies is er verder rekening mee gehouden dat toekomstig beleid gericht zal zijn op de ontwikkeling van doelsturing: vergunningverlening op basis van bedrijfsspecifieke emissiereductiedoelen of emissieplafonds. Naar verwachting zullen lokale en bedrijfsspecifieke metingen daarbij een prominentere rol gaan spelen. Niet alleen ter verificatie, maar ook bij monitoring voor beleidsontwikkeling en bijsturing. De bedrijfsspecifieke emissiedoelen zullen mogelijk afhankelijk zijn van de regionale reductiedoelen, die immers bereikt gaat worden door alle individuele reducties (bedrijfsspecifiek en generiek) tezamen.

3 Aanbevelingen onderzoeksprogramma

Op basis van de kennisbehoeften van overheden, rekening houdend met geconstateerde kennishiaten op basis van de (wetenschappelijke) literatuur en expertkennis van de commissieleden, geeft de adviescommissie aanbevelingen voor een onderzoeksstrategie met betrekking tot het regionaal meten en rekenen aan stikstofverbindingen (emissie, concentratie, en depositie) in de buitenlucht. Enerzijds doet de adviescommissie aanbevelingen voor het toekomstbestendig maken van monitoring die aansluit bij beleidsontwikkelingen. Dat wil zeggen dat er aanbevelingen worden gedaan om tot een vernieuwde methodiek (combinatie van metingen en modellen) te komen waarmee de emissiereductie van ammoniak en integrale milieueffecten op de natuur gemonitord kunnen worden. Anderzijds richt de adviescommissie zich op aanbevelingen voor het onderzoeken van effecten op depositie die bijdragen aan kennis en draagvlak voor gebiedsprocessen. Voor monitoring betekent dit dat er advies wordt gegeven voor het monitoren van gerealiseerde ammoniak emissiereducties in relatie tot gestelde doelen, en voor gebiedsprocessen betekent dit dat er advies wordt gegeven over de verbetering van de onderbouwing van het effect van diverse maatregelen en invloeden op de depositie van stikstof (Figuur 1). De commissie beperkt zich daarbij tot de rol die regionale meetnetwerken kunnen spelen om de kennishiaten om de gestelde doelen te behalen in te vullen.

Figuur 1 Vertaling van de opdracht aan de adviescommissie naar onderdelen van een onderzoeksprogramma (oranje en blauwe vakken links). Deze onderdelen grijpen aan op verschillende onderdelen van de emissie-concentratie-depositie keten van stikstof (afbeelding rechts).



De vier onderdelen van het onderzoeksprogramma (Figuur 1: 1a. ammoniak emissiereductie(doelen), 1b. integrale monitoring milieu en natuur, 2a. effectiviteit van maatregelen op de omgevingsconcentratie ammoniak en depositie, 2b. effect van habitat op droge depositie) grijpen aan op verschillende delen van de emissie-concentratie-depositie keten van stikstof (Figuur 1, afbeelding rechts). Programmaonderdeel 1a. ammoniak emissiereductie(doelen) heeft betrekking op emissies uit bronnen, en de verspreiding van deze emissie door de lucht, wat leidt tot verschillende concentraties in de lucht. Bij het programmaonderdeel 1b. integrale monitoring milieu en natuur is vooral het effect van droge

en natte depositie op de natuur van belang, in samenhang met andere milieucompartimenten (water, bodem, lucht) evenals andere stressoren voor de natuur (verdroging, verzuring, vermesting, broeikasgassen). Programmaonderdeel 2a. *effectiviteit maatregelen op concentratie en depositie* gaat in op de relatie tussen de reductie in emissies (zowel stal- als veldemissies) en de uiteindelijke depositie in natuurgebieden. Het laatste programmaonderdeel 2b. *effect habitatype op droge depositie* gaat over hoeveel ammoniak omgezet wordt van een concentratie in de lucht naar droge depositie op een gebied, en de invloed van vegetatie daarop.

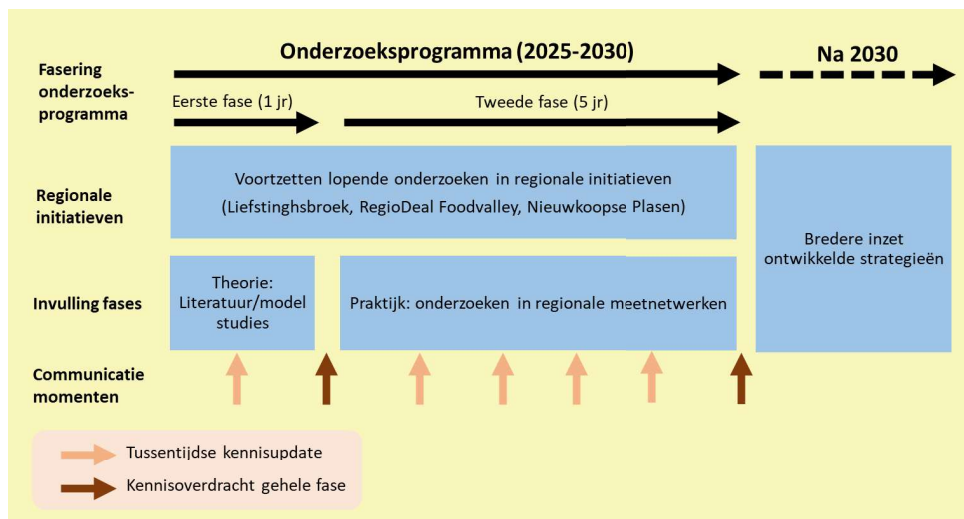
In programmaonderdeel 2a. *effectiviteit maatregelen op concentratie en depositie* ziet de adviescommissie een meekoppelkans om afwenteleffecten en landschapselementen ook te onderzoeken - de onderdelen die door provincies als minder belangrijk geprioriteerd zijn - omdat deze erg aansluiten het onderzoeken van de effectiviteit van maatregelen. De adviescommissie beveelt met name aan mogelijke *afwenteleffecten te onderzoeken*, omdat het van belang is te voorkomen dat stikstofstromen simpelweg verplaatsen (van emissie vanuit bodem naar water, in plaats van naar lucht bijvoorbeeld), waardoor je een lastenverplaatsing in het milieu krijgt. Wanneer provincies landschapselementen als maatregel in willen voeren, dan adviseert de commissie om dit ook te onderzoeken, omdat de effectiviteit van dergelijke maatregelen nog onvoldoende onderzocht is.

3.1 Voorgestelde strategische aanpak

3.1.1 Fasering programma

De adviescommissie stelt voor om het hierboven benoemde programma (Figuur 1) in te richten in twee fases (Figuur 2), waarbij de eerste fase uit theoretisch onderzoek en de tweede fase uit praktijkonderzoek bestaat. Deze fases lopen parallel aan de *huidige regionale initiatieven*. Dat zijn op dit moment drie initiatieven (waarvan één in oprichting): *Liefstinghsbroek, RegioDeal Foodvalley en de Nieuwkoopse Plassen*. In de eerste fase van het onderzoeksprogramma kan in meer detail *onderzocht worden welke kennis al beschikbaar is*, in zowel regionale initiatieven binnen Nederland als in de *internationale literatuur*, wat de beste strategie voor het onderzoek in de praktijkfase is, en of (en op welke manier) dit in de huidige regionale initiatieven kan landen. Tevens worden in de eerste fase onderbouwde hypothesen geformuleerd op basis van literatuur en in sommige gevallen modelberekeningen, die in de tweede fase getoetst kunnen worden. Middels de voorgestelde fasering kan een wetenschappelijke onderbouwing voor beleid in een zo vroeg mogelijk stadium naar provincies gecommuniceerd worden.

Figuur 2 Voorgestelde strategische aanpak met theoretische en praktijkfase, ter aanvulling op al lopende onderzoeken in regionale initiatieven.



3.1.2

Afstemming en synergie regionale initiatieven

In verschillende provincies leven dezelfde kennisbehoeften, daarom is het belangrijk dat regionale meetinitiatieven - die plaatsvinden in verschillende provincies - waar mogelijk op elkaar afgestemd worden. Een randvoorwaarde voor dit onderzoeksprogramma is dat alle activiteiten op elkaar afgestemd zijn en dat (onderzoek naar) de kwaliteit gewaarborgd is. Dat wil zeggen dat er één gezamenlijke onderzoeksstrategie is die ervoor zorgt dat de beperkte capaciteit van experts zo ingezet wordt dat er een maximale kennisopbrengst is. Kennisopbouw kan dan beter afgestemd worden in de verschillende initiatieven en opgedane kennis kan worden gedeeld, zodat er geen dubbele onderzoeken plaatsvinden. Daarnaast kan kennis slim gecombineerd worden, waardoor kosteneffectief innovatie plaats kan vinden die nieuwe beleidsontwikkelingen ondersteunt.

Het is onder andere belangrijk dat er consensus is tussen experts over de toe te passen meetstrategieën ter kwaliteitsborging en dat deze afgestemd zijn op de onderzoeksdoelen. De wetenschappelijke kwaliteit behoort gewaarborgd te worden, waarbij experts een rol hebben. Dit zou bijvoorbeeld vormgegeven kunnen worden in een wetenschappelijke klankbordgroep of stuurgroep voor regionale initiatieven. Het is van belang dat dit zo snel mogelijk geïmplementeerd wordt bij de regionale initiatieven die al lopen (Liefstingsbroek, RegioDeal Foodvalley en de Nieuwkoopse Plassen). Daarnaast is het van belang dat metingen onderling vergelijkbaar zijn. Bij het ontwikkelen van nieuwe methodieken is het belangrijk om te weten hoe die zich verhouden tot de al gebruikte - momenteel geaccepteerde - (referentie)methoden. Op deze manier kunnen metingen ook vergeleken worden met langdurige landelijke meetreeksen (zoals bijvoorbeeld die uit het MAN - Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden). Het is belangrijk dat er (meer) mogelijkheden gecreëerd worden om dergelijke validaties van nieuwe methodieken uit te voeren.

3.2 **Onderdeel 1a: Monitoring ammoniak emissiereductie(doelen)**

Via de Wet stikstofreductie en natuurverbetering (Wsn) richt het huidige beleid zich met name op de depositie van stikstof en de overschrijding van kritische depositiewaarden (KDW) voor stikstofgevoelige natuur. In de Wsn zijn landelijke doelen opgenomen ten aanzien van het minimale areaal stikstofgevoelige natuur in Natura 2000-gebieden zonder overschrijding van de KDW. Voor het monitoren van de voortgang ten aanzien van deze Wsn doelen is een landelijk monitoringssysteem beschikbaar (Marra et al., 2024).

Het is intussen duidelijk dat doelsturing op basis van emissiedoelen een belangrijkere rol gaat spelen in beleid. Daarbij blijft inzicht in de uiteindelijke stikstofdepositie van belang voor het vaststellen van ammoniak emissiereductiedoelen waarmee een verslechtering van de staat van de natuur wordt voorkomen. Vanuit de natuuropgave en Europese regelgeving is het dan ook onwaarschijnlijk dat het belang van depositiemonitoring in het geheel zal komen te vervallen. Hoe het ook zij, om emissiereductiedoelen lokaal (gebiedsniveau) of regionaal (provincieniveau) te verifiëren, is een aanvulling op het huidige monitoringssysteem nodig.

3.2.1 *Probleemstelling*

Het huidige monitoringssysteem is gericht op het verkrijgen van een landelijk beeld van ammoniakconcentratie en -depositie in natuurgebieden, en is daarmee onvoldoende gericht op de ontwikkelingen in lokale en regionale emissies te bepalen. Met name in gebieden met emissiebronnen worden nauwelijks metingen gedaan. Daarnaast is het bepalen van veranderingen in lokale of regionale emissies complex. Het volstaat niet om de regionale trend in concentraties te monitoren, deze moeten ook gerelateerd worden aan verkregen lokale emissiereducties. Het meten van concentraties (hoeveelheid van een stof) in de lucht zegt niet direct iets over emissies (de uitgestoten hoeveelheid). De vaststelling van emissies is met name in de buitenlucht lastig, waardoor vaak modellen nodig zullen zijn om resultaten te interpreteren.

De meest directe manier om emissiereductie te monitoren is door het meten van stalemissies, maar lang niet alle bedrijfsemissies zijn zo direct te bemeten. Daarnaast komt ongeveer de helft van de ammoniakemissies voort uit landbouwbodems (veldemissies zoals (kunst-)mestaanwending, beweiding, gewasafrijping/-resten). Het meten van veldemissies is beduidend complexer en hiervoor zijn nog geen systemen beschikbaar om op grote schaal in te zetten. Bovendien is er ook bij het meten van stalemissies het probleem van opschaling. Dit kan hypothetisch ondervangen worden door de ontwikkeling van voldoende, betaalbare sensoren. Alleen de termijn waarop deze ontwikkeling mogelijk is, is vanwege het ontbreken van duidelijk beleid en een daarop afgestemde businesscase nog niet duidelijk.

Zelfs al zou opschaling in het geval van stalmetingen gerealiseerd kunnen worden, blijft het noodzakelijk om de emissiereducties in het veld te bepalen ter verificatie en om onverwachte of niet meegenomen bronnen e.d. in beeld te krijgen. Dit vraagt om een andere meetstrategie van veldmetingen, inclusief mobiele metingen en remote

sensing. Aangezien de veldmetingen zich richten op concentraties is de inzet van betrouwbare modellen onontbeerlijk om deze te vertalen naar emissiereducties. Voor de melkveehouderij is al een ver ontwikkelde en breed toegepaste rekentool beschikbaar (Kringloopwijzer). **Het verdient aanbeveling dergelijke tools verder door te ontwikkelen bijvoorbeeld aan de hand van beschikbare continue metingen, en te onderzoeken hoe informatie ontsloten kan worden voor gebruik in bottom-up emissiemodellen op regionale en landelijke schaal zoals INITIATOR.**

De aanbevelingen zullen zich dan ook richten op de ontwikkeling van instrumenten (emissiemetingen en nieuwe vormen van veldmetingen) en een adequate meetstrategie.

3.2.2 *Aanbevelingen*

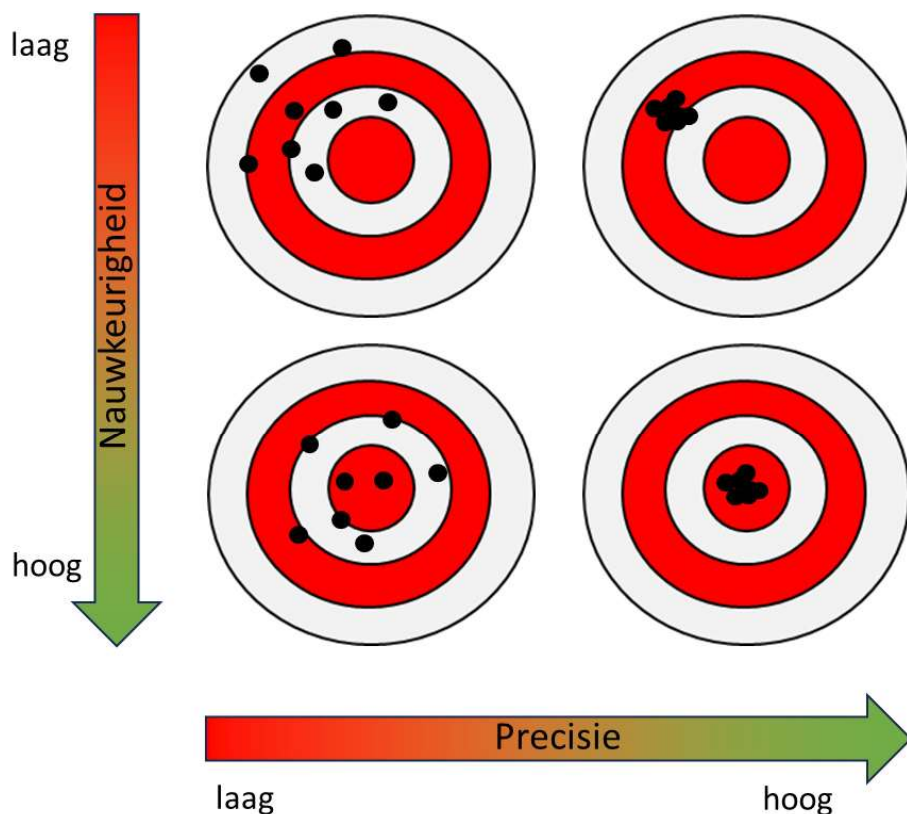
Om de voortgang in emissiereductie regionaal per provincie of lokaal per gebied te kunnen monitoren, is een verdere ontwikkeling van het huidige monitoringssysteem nodig. Hierbij is het allereerst van belang om een optimale meetstrategie voor het monitoren van ammoniak emissiereducties te ontwikkelen op basis van bestaande technieken, gericht op het meten en modelleren van emissies en concentraties in een gebied/regio (breder dan enkel natuurgebieden). Daarnaast dient ook de ontwikkeling van nieuwe methoden ter hand genomen te worden, waarmee een verdere optimalisatie van de meetstrategie mogelijk gemaakt wordt.

Optimale meetstrategie

Het huidige systeem om depositie en overschrijding van de KDW te monitoren is gebaseerd op een combinatie van concentratie- en depositiemetingen en modelberekeningen. Beide onderdelen van het systeem heb je nodig voor een goed landelijk beeld. **Ook voor het monitoren van emissiereducties is een combinatie van metingen en modelberekeningen noodzakelijk.** Modellen hebben een belangrijke rol om de link te leggen tussen emissies en gemeten concentraties in het veld. Daarnaast kunnen processen die een rol spelen in monitoring van emissiereducties met een uitgebreid meetnetwerk gevalideerd worden.

Alle meettechnieken hebben hun voor- en nadelen, die een effect hebben op de meetonzekerheid (een combinatie van nauwkeurigheid en precisie, figuur 3) waarmee gemeten kan worden. De precisie van een meettechniek bepaalt mede het verschil in concentratie ten gevolge van een emissiereductie die nog gemeten kan worden. Dit heeft ook een relatie met de tijds- en ruimteschaal waarop de metingen uitgevoerd kunnen worden. **Voor het opzetten van een (kosten)efficiënt meetnet is het mogelijk dat meettechnieken op een optimale manier gecombineerd gaan worden, rekening houdend met een balans in nauwkeurigheid, precisie en de kosten** (zie ook Figuur 3). Methoden met een hogere nauwkeurigheid en precisie gaan samen met hogere meetkosten. De balans tussen nauwkeurigheid, precisie en kosten leidt tot de hoofdvraag met welke meetstrategie van vaste en mobiele, low-cost en high-end metingen in combinatie met modellering, de emissiereductie in een gebied zo optimaal mogelijk kan worden vastgesteld.

Figuur 3 Methoden verschillen in nauwkeurigheid en precisie. Bij een hogere nauwkeurigheid wordt de daadwerkelijke waarde van een meting beter benaderd. Bij een hogere precisie zit er minder spreiding in de metingen bij het meten van dezelfde waarde. Methoden met een hogere nauwkeurigheid en/of precisie gaan samen met hogere meetkosten.



Ontwikkeling nieuwe methoden

Bij de verdere ontwikkeling van nieuwe (meet)methoden kan gedacht worden aan sensoren, mobiele metingen, remote sensing (met vliegtuigen en satellieten) en biomonitoring. Op zich zijn dit meetmethoden die beschikbaar zijn, maar op dit moment nog niet zonder meer bruikbaar voor het type monitoring waar naar gezocht wordt. Zo is de uitdaging voor de inzet van betaalbare sensoren het kunnen meten van relatief lage atmosferische concentraties. Op dit moment kunnen ammoniakconcentraties in de buitenlucht vanaf ongeveer 30 ppb gemeten worden met de sensoren van OnePlanet. Om deze zinvol in te kunnen zetten voor monitoring is het nodig dat lagere concentraties meetbaar zijn (in het geval van ammoniak <5 ppb). Hiervoor is verdere doorontwikkeling van de sensoren vereist. Een ontwikkeling die hierbij kan helpen is die van optische sensoren, met name die van fotonische sensoren. Veel van de huidige referentieapparatuur is optisch, gebaseerd op licht. Echter is deze referentieapparatuur momenteel nog te kostbaar om op grote schaal in te zetten. De technologie erachter is wel bewezen. De huidige ontwikkelingen in fotonica gaan zo snel dat het naar verwachting mogelijk wordt om deze technologie te miniaturiseren met behoud van kwaliteit en op schaal betaalbaar te produceren. Een bijkomend voordeel is dat deze technologie de mogelijkheid biedt om meerdere componenten (zoals

bijvoorbeeld ook de broeikasgassen CO₂, methaan en lachgas) tegelijk te kunnen meten, waardoor deze sensoren breder ingezet kunnen worden bij zowel veld- als stalmetingen. De ontwikkeling van sensoren biedt ook de mogelijkheid om de bredere ontwikkeling van remote sensing technieken te versnellen en kan een bijdrage leveren aan monitoring op lokaal gebiedsniveau.

Ten aanzien van een zinvolle inzet van satellieten op een lokale schaal, is de grootste uitdaging het verhogen van de ruimtelijke resolutie. De huidige ruimtelijke resolutie voor bijvoorbeeld ammoniak is circa 7 x 14 km, wat betekent dat je per oppervlak (7 x 14 km) één concentratie meet. Met behulp van toekomstige satellieten is naar verwachting een hogere ruimtelijke resolutie haalbaar. Ook kan er aan gedacht worden om het meetinstrument onder een vliegtuig te hangen. Hier zijn al verschillende experimenten mee gedaan.

Een andere techniek die ingezet zou kunnen worden, is biomonitoring. Biomonitoring gaat uit van biologisch materiaal, met behulp waarvan iets gezegd kan worden over bepaalde abiotische factoren (stoffen in het milieu, meteorologische omstandigheden). Zo kan op basis van de verhouding tussen stikstofminnende en stikstofmijdende korstmossen op bomen iets gezegd worden over de verdeling van bijvoorbeeld ammoniakconcentraties in de lucht. De uitdaging bij dergelijke metingen is dat daarbij eigenlijk alleen iets gezegd kan worden over relatieve verdelingen. Om iets te kunnen zeggen over absolute niveaus van concentraties of depositie is ijking met reguliere meetmethoden noodzakelijk.

Voor het monitoren van de emissieverandering kan gewerkt worden met omgevingsmetingen in combinatie met inverse modellering. Hierbij kunnen gemeten concentraties terug vertaald worden naar emissies en kan op die manier geverifieerd worden of beoogde emissiereducties op gebieds- maar ook bedrijfsniveau daadwerkelijk gerealiseerd worden. Metingen op hoge tijdsresolutie bevatten de meeste informatie over bronnen in een gebied. Om deze metingen te kunnen interpreteren is het noodzakelijk dat de modellen ook op deze resolutie werken. Dit is met name van belang voor bronnen die onder bepaalde condities veel ammoniak emitteren, zoals door bemesting van velden. Gezien de huidige focus van landelijke modellering op jaarlijkse resolutie is een stap nodig om de aannames in de modellering naar een hogere tijdsresolutie te brengen. Daarnaast vereist de focus op gebieden dat de regionalisatie toegespitst moet worden op de applicatie. In de praktijk betekent dit dat allerhande aanpakken die werken op nationale schaal op jaarbasis gedetailleerd moeten worden voor een gebiedsgerichte aanpak. Inverse technieken moeten worden getest in combinatie met de verschillende metingen en experimenten met verschillende netwerken moeten worden gedaan om tot een optimale meetstrategie te komen.

3.2.3 Strategische aanpak

Om de bovengenoemde onderdelen voor dit onderwerp verder in te kunnen vullen wordt een gefaseerde aanpak voorgesteld volgens paragraaf 3.1.1, met een theoriefase (fase 1) en een praktijkfase (fase 2).

Fase 1 (theorie)

In deze fase raadt de commissie aan om een whitepaper op te stellen, waarin de volgende vragen beantwoord worden:

- 1) Wat zijn de grenzen aan de huidige methoden?
 - a. Welke concentraties kunnen gemeten worden in de buitenlucht?
 - b. Wat is de meetonzekerheid van verschillende methoden en welke emissiereducties kunnen hierbij gemeten worden?
- 2) Wat is er nodig voor het operationaliseren van doelsturing (o.b.v. emissies) en hoe kunnen verschillende meetstrategieën en methoden (inclusief modellering op bedrijf en gebied/regioniveau) ingezet worden in een meetnetwerk?
- 3) Welke belemmeringen spelen een rol bij monitoring van ammoniak emissiereductie(doelen) en op welke manier kunnen deze belemmeringen weggenomen worden?
- 4) Wat is de mogelijke bijdrage die een (door)ontwikkeling van methoden kan hebben (zoals sensoren, satellieten en biomonitoring) en op welke wijze kan deze ontwikkeling versneld worden?

Bij het beantwoorden van deze vragen is het relevant om daarbij informatie te betrekken over de ruimtelijke en tijdsresolutie, het concentratiebereik en meetonzekerheid (de nauwkeurigheid en precisie) van verschillende methoden. Vervolgens kan conceptueel uitgedacht worden op welke wijze methoden ingezet kunnen worden in een meetnetwerk (dekkingsgraad etc.), waardoor metingen van emissies, concentratiemetingen in het veld, remote sensing, mobiele metingen en inverse modellering elkaar kunnen aanvullen. Daarnaast kan een eerste analyse gedaan worden aan de hand van resultaten uit de huidige regionale initiatieven (Liefstinghsbroek, RegioDeal Foodvalley en Nieuwkoopse Plassen).

Fase 2 (praktijk)

De tweede fase betreft het opzetten en/of uitbreiden van de verschillende bestaande meetnetwerken, op basis van bevindingen uit fase 1. Hierbij kan een optimale meet- en modellenstrategie en de verdere ontwikkeling van (meet)methoden in de praktijk onderzocht worden. Hierbij moet aandacht zijn voor alle stikstofcomponenten (niet alleen ammoniak), dus ook geoxideerde stikstofverbindingen (NO_x), aangezien het uiteindelijk gaat over de totale stikstofdepositie (in relatie tot de duurzame staat van instandhouding van de natuur). In de praktijkfase zien wij ook meekoppelkansen voor andere stoffen in het milieu (bijvoorbeeld broeikasgassen, fijnstof).

3.3**Onderdeel 1b: Monitoring integrale milieuprocessen**

Om integrale milieuprocessen te monitoren is het van belang om gelijktijdig gerelateerde stofstromen (zoals stikstof, broeikasgassen) in verschillende milieucompartimenten te meten (lucht, bodem, water). Daarnaast is het van belang om abiotische condities (concentratie en verspreiding van stoffen in het milieu) te koppelen aan de biotische condities (bijv. biodiversiteit) van een ecosysteem. Dit is van belang voor het monitoren van de duurzame staat van instandhouding van de natuur (vastgelegd in de vogel- en habitatrichtlijn), aangezien dit gaat

over een complex samenspel van een groot aantal aspecten. Zo speelt in dit kader niet alleen stikstof een rol, maar gaat het meer in het algemeen om **vermesting, verzuring, verdroging en klimaatverandering**. Deze stressoren hebben ook interacties met elkaar. Integrale monitoring geeft inzicht in de verhouding tussen en de bijdrage van deze verschillende stressoren aan de duurzame staat van instandhouding van de natuur. **Het is dus de bedoeling dat een integraal monitoringsnetwerk in staat is om meerdere milieuaspecten gelijktijdig te monitoren**. Op deze wijze draagt een integraal meetnetwerk bij aan de monitoring van meerdere stoffen (bijvoorbeeld ook met betrekking tot de Kaderrichtlijn Water en Nitraatrichtlijn).

3.3.1 *Probleemstelling*

Op dit moment vindt er in Nederland geen integrale milieumonitoring plaats, waarbij gelijktijdig metingen in meerdere compartimenten (bodem, water, lucht) uitgevoerd worden op dezelfde locatie, en ook effecten op de natuur (biotische aspecten) gemeten worden. Er zijn wel monitoringsnetwerken die alleen de biodiversiteit monitoren (zoals het NEM – Netwerk Ecologische Monitoring), of monitoringsnetwerken waarbij alleen integrale milieumetingen in natuurgebieden uitgevoerd worden (IMN – Integrale Milieumonitoring in Natuur, RIVM).

De benodigde kennis is er vooral per milieucompartment (water, bodem, lucht). **De kennis van het systeem als geheel is minder goed ontwikkeld**. Daarbij speelt dat met name de biotische processen veel trager verlopen dan de processen die de stressoren opleveren zoals stikstofbelasting. **Dat houdt in dat integrale monitoring tientallen jaren dient plaats te vinden**.

3.3.2 *Aanbevelingen*

De adviescommissie adviseert om aan te sluiten bij al lopende, bovengenoemde meetnetwerken, zoals het IMN, en dit uit te breiden zodat er kosteneffectief gemonitord kan worden. **De aanbeveling is dan om zowel vegetatieopnames als metingen in lucht, water en bodem uit te voeren**. Daarbij zal voorsnag de nadruk liggen op stikstofmetingen, maar is een uitbreiding naar gerelateerde aspecten zeer wenselijk. Zoals gezegd, is het belangrijk om te beseffen dat de biotiek vaak langzaam reageert op abiotische omstandigheden. Om integrale milieuprocessen en biotische/abiotische relaties te kunnen monitoren, is het nodig om langdurig te meten. Dit betekent dat het nodig is om tientallen jaren langer te meten dan de typische duur van een onderzoeksprogramma.

3.3.3 *Strategische aanpak*

Om de bovengenoemde onderdelen voor dit onderwerp verder in te kunnen vullen wordt een gefaseerde aanpak voorgesteld volgens paragraaf 3.1.1, met een theoriefase (fase 1) en een praktijkfase (fase 2).

Om hier genoemde onderdelen voor dit onderwerp verder in te kunnen vullen wordt, in afwijking van wat in paragraaf 3.1.1 beschreven is, een praktijkaanpak voorgesteld (en de theoretische fase overgeslagen). De theoretische fase wordt al uitgedacht in het kader van het IMN meetnetwerk (RIVM).

Theoriefase

De uitbreiding van het lopende meetnetwerk IMN om de integrale monitoring van milieu en natuur te verbeteren wordt op dit moment al uitgedacht (IMN, RIVM). Aanvullend daarop kan in de theoriefase wel worden uitgedacht welke parameters het meest van belang zijn voor het monitoren van integrale effecten op de natuur.

Daarnaast wordt aanbevolen om een whitepaper te schrijven waarin uitgezocht wordt wat er in de (inter)nationale literatuur al bekend is over integrale monitoring met behulp van metingen en modellen, welke (kwalitatieve) processen van belang zijn, welke processen al kwantitatief gemodelleerd kunnen worden en welke kennisvragen nog beantwoord moeten worden om modellen verder te ontwikkelen.

Praktijkfase

Er zijn twee onderdelen waarop de commissie adviseert in te zetten:

- 1) Uitbreiding van lopende meetnetwerken, waarbij de scope van de metingen zodanig wordt uitgebreid dat abiotische en biotische aspecten rond de duurzame staat van instandhouding van natuur gemonitord kunnen worden. Tevens is het van belang dat de metingen ook aansluiten bij benodigde modelontwikkelingen (geïdentificeerd in de theoriefase).
- 2) Verdere ontwikkeling van modellen waarmee de interactie ten aanzien van het doelbereik voor verschillende thema's onderzocht kan worden. Te denken valt daarbij aan de rol van bodemprocessen als link tussen lucht en water.

3.4 **Onderdeel 2a: Effectiviteit maatregelen op omgevingsconcentratie ammoniak en depositie**

Om de beoogde emissiereductiedoelen te bereiken, is inzicht nodig in de effectiviteit van individuele maatregelen. Ongeacht de beleidsontwikkeling (van depositie- naar emissiebeleid) zal de effectiviteit niet alleen betrekking hebben op emissies, maar ook op concentraties en uiteindelijk de depositie in Natura 2000-gebieden. De huidige gebiedsgerichte aanpak is gericht op het behalen van de Wsndoelen, waarbij er een directe relatie verwacht mag worden tussen emissie- en depositiereducties (en de mate van Wsn doelbereik). **Echter, bij een mogelijke toekomstige doel- (of emissie-)sturing zullen de emissiereductiedoelen naar verwachting afgeleid zijn van een uiteindelijke natuuropgave, waarbij het in principe vaak om een depositiereductie gaat.** In dat geval is de relatie tussen emissie en depositie meer indirect.

Als de effectiviteit van een maatregel op de concentratie en/of depositie bekend is, geeft dit betrokken initiatiefnemers bij gebiedsprocessen concrete handvatten om te sturen op bepaalde reducties. Voor beleid geldt hetzelfde, waarbij dan op gebiedsniveau maatregelen opgeschaald kunnen worden om de benodigde reducties te behalen. Als maatregelen goed onderbouwd zijn, helpt dit voor het vergroten van het draagvlak voor een gezamenlijke aanpak in de gebiedsprocessen.

3.4.1 *Probleemstelling*

Het effect van een maatregel op de concentratie en/of depositie is moeilijk experimenteel vast te stellen. Die is nog complexer in

vergelijking met de toch al grote opgave om regionale emissiereducties te bepalen. Idealiter vindt het bepalen van de effectiviteit van een maatregel in een gecontroleerd experiment plaats. Dat is echter kostbaar en tijdrovend, waardoor zulke metingen bijna niet beschikbaar zijn. Het is dus aan te bevelen om het effect van maatregelen op concentratie en depositie in een gebied in de praktijk te onderzoeken, op minder gecontroleerde wijze. Daarbij komt het er op neer dat maatregelen op eigen initiatief worden genomen, met als resultaat dat in één gebied een veelheid van verschillende maatregelen genomen gaan worden op verschillende momenten in de tijd. In aanvulling daarop hebben meerdere bronnen tegelijk een effect op de concentratie en depositie.

3.4.2 Aanbevelingen

Meetmethoden en strategieën zullen met bovenbeschreven praktijk rekening moeten houden waarin er weinig coördinatie op de uitvoering van maatregelen mogelijk is. Dat zal betekenen dat lokale modellering waarin alle beschikbare data bij elkaar gebracht wordt om daar vervolgens analysetools uit te maken, een noodzakelijk ingrediënt zal vormen. In de uitwerking zal de aanpak voor het bepalen van emissiereducties en de effectiviteit van maatregelen samenkomen. In het onderzoek is het de aanbeveling om deze als aparte lijn vast te houden.

Het effect van stalmaatregelen op emissies wordt onderzocht in een andere programmalijn van het NKS (*spoor 5 Bedrijfsspecifiek meten van stallen*), echter valt het effect van veldmaatregelen op emissies hier niet onder. De commissie adviseert om binnen dit spoor ook onderzoek te doen naar aanwendingsemissies en de invloed van omgevingsfactoren en zodoende de onzekerheid in deze te verkleinen.

De bevindingen uit dit spoor dragen bij aan het verkleinen van de onzekerheid van (emissie-, maar uiteindelijk ook verspreidings- en depositie)modellen, wanneer zij lokaal toegepast worden. Dit betekent dat de resultaten uit dit programmaonderdeel uiteindelijk ook bij zullen dragen aan een verbetering van de monitoring van lokale emissiereductie(doelen).

Verder raadt de adviescommissie aan dat als LVVN en provincies besluiten om wel onderzoek te doen naar afwenteleffecten (verplaatsing van stoffen zodat er een belasting ontstaat op een andere plek in het milieu, zoals waterkwaliteit) en/of landschapselementen, om deze onderdelen dan onder te brengen in dit programmaonderdeel. Een meetnetwerk zou dan gecombineerd gebruikt kunnen worden voor onderzoek naar de effectiviteit van maatregelen en afwenteleffecten en/of landschapselementen.

3.4.3 Strategische aanpak

Er wordt een aanpak voorgesteld volgens paragraaf 3.1.1 met een theoretische en praktijkfase.

Fase 1 (theorie)

In deze fase adviseert de commissie om een literatuurstudie uit te voeren naar effectbepalingen van maatregelen op concentratie en

depositie, die niet alleen op metingen maar ook op modelberekeningen berust. Een eerste (modelmatige) impactanalyse waarbij het effect van een mogelijke emissiereductie in termen van een concentratie-/depositieverandering in globale termen wordt ingeschat, kan daarbij bijdragen aan de verdere uitwerking van een monitoringsstrategie op basis van een combinatie van metingen en modellen. Daarnaast kan in deze fase ook onderzoek gedaan naar de onzekerheid in verschillende onderdelen in de modellering. Op basis daarvan kan een hypothese gevormd worden over wat de onzekerheid van de modellen lokaal verkleind en kunnen onderzoeksvragen voor de praktijkfase geformuleerd worden. Bovendien kan naar de resultaten van (beperkt beschikbare) validatiestudies gekeken worden, waarbij metingen en berekeningen van de verspreiding van ammoniak tot een afstand van ca. 25 km tot een emissiebron vergeleken worden.

In deze fase zou ook het effect van landschapselementen onderzocht kunnen worden. Landschapselementen zijn effectbeperkende maatregelen die invloed hebben op de verspreiding van stikstof in een gebied – en dus op de concentratie- en depositieverdeling binnen het gebied. Voorbeelden hiervan zijn windsingels of bufferzones. Hiervoor raden wij aan om 1) een overzicht uit de wetenschappelijke literatuur te verkrijgen en 2) een impactanalyse uit te voeren. Indien de impactanalyse laat zien dat landschapselementen significant bijdragen aan een reductie van concentratie en depositie, kan dit in de praktijkfase gemeten worden in een meetnetwerk.

Afwenteleffecten kunnen ook in deze fase onderzocht worden. Hierbij is het van belang om een overzicht te creëren van alle in wetenschappelijke literatuur bekende processen die gekoppeld zijn aan specifieke maatregelen.

Fase twee (praktijk)

De resultaten uit de theoriefase moeten leiden tot een plan van aanpak voor het combineren van een meetnetwerk en modellering ten behoeve van de effectiviteit van maatregelen op concentratie en depositie.

Daarnaast kan geëxperimenteerd worden met het verfijnen van de modellering aan de hand van inputdata, het valideren van modellen (controle) met metingen en het doorontwikkelen van modellen.

Afwenteleffecten kunnen gelijktijdig gemeten worden, zodat het effect van maatregelen op verspreiding van stoffen breed onderzocht kan worden. Dat wil zeggen, niet enkel de verspreiding in de lucht, maar ook naar bodem en water (inclusief mogelijke omzetting naar andere stoffen). Hiervoor kan de meetstrategie uit integrale milieumonitoring aangepast worden, om een gerichte processtudie uit te voeren. Een kritische kanttekening hierbij is wel dat de verspreiding van stoffen in de bodem (en naar water) vele malen langzamer verlopen dan verspreiding van stoffen in de lucht. Hierdoor zullen bepaalde type metingen wel uitgevoerd kunnen worden binnen regionale initiatieven (nutriënten in porievocht in de bovenste bodemlaag en het effect van afspoeling bijvoorbeeld), terwijl andere metingen vanwege het langzame verloop van processen onhaalbaar zijn (nitraat in grondwater bijvoorbeeld). Mogelijk kunnen metingen uit een ander meetnetwerk (naar bodem en/of waterkwaliteit) gecombineerd worden met de metingen die ten behoeve van dit programma onderdeel uitmaken van de metingen. De

invloed van omgevingsvariabelen (wind, TAN – Totaal Ammoniakaal Stikstof, instraling en grashoogte) op aanwendingsemissies kan in meetcampagnes onderzocht worden. Het is hierbij van belang om metingen te doen aan zowel aanwendingsemissies afkomstig uit de veehouderij als ook de akkerbouw. Hierbij is een van de grotere onzekerheden hoe landbouwareaal (gras/akkers) zich gedraagt gedurende een heel seizoen, daarom is het van belang om langdurige metingen uit te voeren. Hierbij is het interessant om naast omgevingsmetingen ook de omstandigheden van uitrijden te monitoren (bijvoorbeeld met een drone, in samenwerking met boeren).

3.5 Onderdeel 2b: Effect habitat op depositie

Het sluitstuk op elk stikstofbeleid is de depositiebepaling. Of het nu om Wsn doelen gaat of toekomstige doelsturing, uiteindelijk zal natuurherstel vragen om reductie van de stikstofbelasting op gevoelige natuur.

3.5.1 Probleemstelling

Het meten van stikstofdepositie is specialistisch, complex en duur en het is niet te verwachten dat technologische ontwikkelingen daar de komende jaren verandering in zullen brengen. De huidige strategie bestaat uit beperkte depositiemetingen, aangevuld met concentratiemetingen om een ruimtelijk dekkend beeld te krijgen. Om de concentratiemetingen naar depositie te vertalen is een rekenmodel nodig dat gevalideerd en gevoed wordt met de depositiemetingen. De depositiemetingen worden representatief geacht voor gebieden met vergelijkbare vegetaties, zodat de rekenmodellen voor vergelijkbare situaties toegepast kunnen worden.

De rekenmodellen zijn dus noodzakelijk en zullen dit in de toekomst ook blijven. Het aantal relevante situaties op basis van vegetatiekenmerken is groot en lang niet voor al die situaties zijn representatieve depositiemetingen beschikbaar om een rekenmodel op te baseren. In die schaarste van meetgegevens ontbreekt het ook aan verificatie- en validatiemogelijkheden, waarbij vastgesteld kan worden dat het rekenmodel daadwerkelijk representatief is voor de bemeten situatie. Het gevolg is dat de onzekerheid in de rekenstap van concentratie naar depositie relatief groot is op lokale schaal.

3.5.2 Aanbevelingen

Regionale meetinitiatieven zullen ongeacht de beleidsontwikkeling gebruik maken van depositieberekeningen, zelfs als er lokale depositiemetingen uitgevoerd worden. Vanuit dit programma bezien is het noodzakelijk om de onzekerheid in de modellering te verkleinen door de depositiemetingen voor verschillende vegetatiekenmerken uit te breiden, of dat nu in dit programma belegd wordt of elders. Coördinatie is nodig om onnodige dubbelingen te voorkomen, inclusief richtlijnen en prioritering van de te bemeten gebieden.

3.5.3 Strategische aanpak

Ook voor dit onderdeel wordt een aanpak volgens paragraaf 3.1.1 voorgesteld, met een theoretisch en praktijkdeel.

Fase 1 (theorie)

In deze fase wordt het schrijven van een whitepaper aangeraden met verdiepte probleemstelling en inventarisatie van beschikbare (internationale en nationale) gegevens, criteria van geschikte vegetatiekenmerken (relevante kenmerken zijn hierbij een lage KDW in combinatie met groot areaal op nationale schaal) en op basis daarvan een vlekkenkaart met (in potentie) geschikte meetlocaties. In deze fase kan ook uitgezocht worden of het noodzakelijk is om depositie stikstofverbindingen anders dan ammoniak te meten (geoxideerd).

Fase 2 (praktijk)

Het daadwerkelijk uitvoeren van meetcampagnes op basis van de vlekkenkaart en prioritering die opgesteld is in fase 1. Hierbij heeft het de voorkeur aan te sluiten bij lopende meetinitiatieven en/of gebiedsprocessen om die direct van dienst te zijn met de depositiemetingen. Onderzocht wordt of en hoe de campagneduur verkort kan worden om voor de verschillende vegetatiekenmerken en seizoenen te ontwikkelen.

3.6 Aansluiting bij regionale initiatieven

Het is van belang dat het onderzoeksprogramma aansluit bij de huidige regionale initiatieven die er al zijn (Liefstingsbroek, RegioDeal Foodvalley en de Nieuwkoopse Plassen) en zorgen voor een synergie tussen de verschillende initiatieven, waardoor efficiëntere en effectievere kennisontwikkeling plaats kan vinden. In de onderstaande tabel wordt per programmaonderdeel omschreven of dit onderdeel in één van de drie initiatieven zou kunnen landen (Tabel 1).

Tabel 1 Een overzicht van programmaonderdelen en of deze aan zouden kunnen sluiten in de huidige regionale initiatieven. Hierbij zijn ook de minder geprioriteerde onderdelen uit de opdracht (afwenteleffecten en landschapselementen) meegenomen.

Programmaonderdeel	Aansluiting bij regionale initiatieven
1a. Monitoring ammoniak-emissiereductie(doelen)	Ja
1b. Monitoring integrale milieu	Nee, aansluiting bij ander meetinitiatief (IMN)
2a. Effectiviteit maatregelen op omgevingsconcentratie ammoniak en depositie	Ja deels, afhankelijk van maatregelen; veldemissies kunnen in campagnes onderzocht worden
(2a.) Afwenteleffecten	Ja deels, afhankelijk van programmaonderdeel effect maatregelen en duur metingen
(2a.) Landschapselementen	Ja deels, afhankelijk van aanwezige landschapselementen en resultaten uit fase 1; bij afwezigheid kan er ook een aparte meetcampagne uitgevoerd worden
2b. Effect habitatype op depositie	Nee, er zijn nieuwe habitatypes nodig; dit kan in meetcampagnes onderzocht worden

Een groot aantal onderdelen kan (ten minste deels) landen binnen huidige initiatieven. Voor een aantal onderzoeksvragen zijn aanvullende meetcampagnes/regionale initiatieven nodig. Dat is ook afhankelijk van de prioritering en investering in dit programma. Bij een stop van de huidige regionale initiatieven geldt dat voor het opstarten van nieuwe regionale initiatieven een hogere investering nodig is, mede doordat er tijd nodig is om een nulmeting te doen (voor de aanvang maatregelen bijvoorbeeld), en omdat een meetnetwerk opnieuw opgezet moet worden.

3.7 Investing en impact

De impact van het onderzoeksprogramma is afhankelijk van de investering, waarbij een hogere investering tot een hogere impact leidt. Alle bovenstaande adviezen zijn omgezet naar niveaus van investering (laag, middel, hoog), met een aanduiding van de fase (eerste fase theorie, tweede fase praktijk) (Figuur 4). Daarnaast is per investeringsniveau aangegeven wat de verwachte impact van het onderzoeksprogramma is. De theoriefase (lage investering) maakt snelle communicatie van resultaten mogelijk (na één jaar). In aanvulling op de theoriefase maakt de praktijkfase (middel/hoge investering) innovatie en aanpassing van monitoring en methoden aan beleid mogelijk. Indien voor een hoge investering wordt gekozen, behoort ook de theoriefase (lage investering) uitgevoerd te worden ter voorbereiding op de praktijkfase.

Figuur 4 Per programmaonderdeel is omschreven wat voor type werk bij een lage, middel of hoge investering uitgevoerd kan worden, dit is per fase weergegeven (theorie, fase 1; of praktijk, fase 2). Daarnaast is de impact per investeringsniveau omschreven.

		Investering	Impact
Monitoring	Ammoniak emissie reductie (doelen)	<ul style="list-style-type: none"> Theorie (laag): review huidige kennis Praktijk (middel): slim combineren huidige toolbox & meetstrategie praktijk Praktijk (hoog): ontwikkeling methoden 	<ul style="list-style-type: none"> Kennisoverdracht bestaande kennis en plan van aanpak praktijk Kosten-efficiënte & effectieve monitoring Kwalitatieve verbetering monitoringsnetwerk (mogelijk kostenreducerend lange termijn) & aanpassing monitoring aan beleid meer gericht op emissies
	Integrale milieu en natuur	<ul style="list-style-type: none"> Praktijk (laag): berekende stikstofdepositie + integraal water/bodem/lucht + biodiversiteit Praktijk (middel/hoog): depositiemeting + integraal water/bodem/lucht + biodiversiteit; 	<ul style="list-style-type: none"> Bestaand monitoringsnetwerk linken aan impact op de natuur Beter inzicht in verhouding problematiek en monitoring van lokale stikstofdepositie en biodiversiteit; ontwikkeling van modellen voor monitoring en processtudies
Gebieds processen	Effectiviteit maatregelen	<ul style="list-style-type: none"> Theorie (laag): review huidige literatuur Praktijk (middel/hoog): Meetnetwerk in bestaande regionale initiatieven 	<ul style="list-style-type: none"> Kennisoverdracht bestaande kennis en plan van aanpak praktijk Nieuwe kennis rondom lokale effecten, verkleinen onzekerheid verspreiding stikstof en veldemissies lokaal
	Habitatype	<ul style="list-style-type: none"> Theorie (laag): review huidige literatuur + plan van aanpak praktijk Praktijk (middel/hoog): Meetcampagnes in verschillende habitattypen (modelvalidatie) 	<ul style="list-style-type: none"> Kennisoverdracht bestaande kennis en plan van aanpak praktijk Verkleinen onzekerheid depositiemodellen (landelijk/regional/lokaal)
	Afwentel effecten	<ul style="list-style-type: none"> Theorie (laag): review huidige literatuur Praktijk (middel): meten in bestaande regionale initiatieven, mogelijk i.c.m. een ander bestaand meetnetwerk m.b.t. waterkwaliteit/bodem 	<ul style="list-style-type: none"> Kennisoverdracht lastenverschuiving Inzicht in lastenverplaatsing stikstof in verschillende milieucompartimenten en het integrale effect van een maatregel
	Landschaps elementen	<ul style="list-style-type: none"> Theorie (laag): Review/impact analyse met modellen Praktijk (middel): Meten in regionaal initiatief of meetcampagne 	<ul style="list-style-type: none"> Kennisoverdracht bestaande kennis en berekende impact concentratie-depositie Effectiviteit inzet landschapselementen als effectbeperkende maatregel

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

februari 2025

De zorg voor morgen
begint vandaag