Ministerie van Landbouw, Visserij,
Voedselzekerheid en Natuur

Voortgang Nationaal Kennisprogramma Stikstof 2025

Voorwoord

Nederland staat voor grote opgaven op het gebied van natuur, landbouw en stikstof. Om te komen tot verantwoorde keuzes voor beleid, is een sterke en betrouwbare kennisbasis onmisbaar.

Dit kabinet zet in op maatregelen die de stikstofdruk op de natuur daadwerkelijk verlagen én ruimte bieden voor toekomstbestendig ondernemerschap. Om die balans te bereiken, moeten we weten wat het effect is van ons beleid. Dat vraagt om nauwkeurige metingen en robuuste modellen die elkaar versterken. Meten alleen is niet voldoende; modellen maken het mogelijk om een landelijk dekkend beeld te krijgen en vooruit te kijken naar de effecten van keuzes die we vandaag maken.

Het Nationaal Kennisprogramma Stikstof werkt aan het continu verbeteren van stikstofmetingen en -berekeningen. Verschillende kennisinstellingen werken samen aan het optimaliseren van de data over de uitstoot, verspreiding en het neerslaan van stikstof.

De afgelopen jaren heeft het Kennisprogramma geïnvesteerd in het verbeteren van meetnetten, het uitbreiden van dataverzameling en het doorontwikkelen van modellen. De resultaten van 2025 laten zien dat deze aanpak werkt. Meetnetten zijn uitgebreid, nieuwe technieken – zoals satellietmetingen – worden verkend en modellen worden verder verfijnd. Tegelijkertijd zijn we er nog niet. Verdere verbetering en innovatie blijven noodzakelijk.

Het Kennisprogramma bouwt continu aan een kennisbasis die recht doet aan de complexiteit van het stikstofvraagstuk. Alleen met die solide basis kunnen we verantwoorde keuzes maken voor natuurherstel, vergunningverlening en een toekomstbestendige landbouw.

Jaimi van Essen

Minister van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur



Beeld: Martijn Beekman

Inhoud

Voorwoord 2

Leeswijzer 4

1 Verbeteren kwaliteit landelijke meetnet en rekenmodellen 5
Voortgang 2025 5
Wetenschap in de praktijk: RIVM werkt hard aan uitbreiding depositiemeetnet 9

2 Onderzoek naar en verbetering van inputdata 11
Voortgang 2025 11
Wetenschap in de praktijk: Het belang van goede excretiecijfers 16

3 Onderzoek naar vernieuwing landelijk meetnet en rekenmodellen 17
Voortgang 2025 17
Wetenschap in de praktijk: Ensemble modellering op nationale schaal verdiept kennis voor beleidsvorming 20

4 Regionale monitoring stikstof 22
Voortgang 2025 22
Wetenschap in de praktijk: Meten met licht! 26

5 Bedrijfsspecifiek meten van stallen 29
Voortgang 2025 29
Wetenschap in de praktijk: Doelvoorschriften onder de loep 31

Leeswijzer

Het Nationaal Kennisprogramma Stikstof bestaat uit vijf programmalijnen met elk een andere inhoudelijke focus, namelijk:
1. Verbeteren kwaliteit landelijk meetnet en rekenmodellen
2. Onderzoek naar en verbetering van inputdata
3. Onderzoek naar vernieuwing landelijk meetnet en rekenmodellen
4. Regionale monitoring stikstof
5. Bedrijfsspecifiek meten van stallen

In hoofdstuk 1 t/m 5 leest u per programmalijn waar die programmalijn op gericht is en wat de behaalde resultaten waren in 2025. Daarnaast vindt u in ieder hoofdstuk een praktisch voorbeeld van de meerwaarde van dat type onderzoek in de specials “Wetenschap in de praktijk”.

1 Verbeteren kwaliteit landelijke meetnet en rekenmodellen

Het stikstofbeleid richt zich op het terugdringen van de uitstoot en depositie van stikstofhoudende verbindingen, voornamelijk ammoniak en stikstofoxiden. Het doel hiervan is verslechtering van beschermde habitats en soorten te voorkomen en dat een gunstige staat van instandhouding wordt gerealiseerd. In de wet stikstofreductie en natuurverbetering zijn omgevingswaarden voor stikstof opgenomen. Dit zijn resultaatsverplichtingen om daarmee te sturen op het doel.

Voor de realisatie van de doelen is de monitoring van de voortgang en de onderbouwing van het beleid met metingen en modellen onmisbaar. Met modellen is het mogelijk om een ruimtelijk beeld te geven van de effecten van beleid en in te schatten wat het effect is van toekomstige maatregelen. Metingen geven dan weer een goed beeld van de situatie op een bepaalde plek op een bepaald moment. Metingen worden ook gebruikt om modelresultaten te valideren en de modelbeschrijving te verfijnen.

In 2019 heeft het adviescollege Meten en Berekenen een aantal adviezen gegeven om de kwaliteit de van Nederlandse systematiek voor het meten en rekenen (modellen) aan stikstofverbindingen te verbeteren. Het adviescollege constateerde bijvoorbeeld dat de onzekerheid in de gebruikte modellen kan worden verminderd door het aantal metingen en meetpunten uit te breiden en door het model te verbeteren onder andere door gebruik te maken van rastermodellen en door modelverbeteringen te onderzoeken en toe te passen. Binnen de programmalijn ‘Verbeteren kwaliteit landelijke meetnet en rekenmodellen’ werkt het RIVM aan uitbreiding van metingen en verbetering van modellen die het RIVM toepast in onder andere de ondersteuning van beleidsmakers.

Voortgang 2025

Stikstofmeetnetten verder uitgebreid

Het RIVM heeft verschillende meetnetten over heel Nederland om te bepalen hoeveel er van relevante stikstofhoudende verbindingen in de lucht zit en hoeveel er in de natuur terecht komt. Conform de aanbevelingen van het adviescollege Meten en Berekenen zijn de verschillende meetnetten uitgebreid met meetlocaties en nieuwe metingen.

- Het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden startte in 2005 om beter in beeld te krijgen wat de ammoniak-concentratie in natuurgebieden is. Sinds 2021 hangen er ook buisjes buiten natuurgebieden, zoals in steden en landbouwgebieden, om concentraties ammoniak buiten natuurgebieden beter in beeld krijgen. Ook in regionale en lokale projecten worden steeds vaker MAN-buisjes gebruikt om metingen te doen. Provincies, maar ook lokale burgerinitiatieven, willen graag weten of lokaal de uitstoot van ammoniak verandert. Het voordeel van de ammoniakbuisjes is dat ze goedkoop en makkelijk in gebruik zijn. Daarom hangen er nu steeds meer buisjes in het landelijk gebied. Door de wisselwerking tussen uitstoot, verspreiding, chemische reacties, en depositie is het moeilijk om de hoeveelheid ammoniak in de lucht direct te koppelen aan de uitstoot van een bron. Daarom is het belangrijk om bij de interpretatie van de meetgegevens ook modelberekeningen te gebruiken. In programmalijn 4 ‘Regionale monitoring stikstof’ (zie blz 24) wordt hier verder onderzoek naar gedaan.
- Omdat de buisjes niet alleen meer in natuurgebieden hangen, heeft het RIVM de naam van het meetnet veranderd: vanaf 2026 heet het MAN officieel Meetnet Ammoniak Nederland.

- Het MAN meet eind 2025 maandgemiddelde ammoniakconcentraties op 357 meetlocaties, zowel in opdracht van provincies (71 locaties) als het Rijk (286 locaties). Het gaat om metingen in 86 natuurgebieden en 30 locaties buiten natuurgebieden. In 2025 is het meetnet gegroeid met 2 nieuwe natuurgebieden en uitgebreid in 3 natuurgebieden waar al gemeten werd. Op 32 locaties wordt naast ammoniak ook stikstofdioxide gemeten.
- De droge depositie van ammoniak wordt gemeten met het COTAG (Conditional Time Averaged Gradient) -meetsysteem. Er draaiden eind 2025 zeven systemen op zes locaties, waarvan twee voor onderzoeksdoeleinden en vijf voor monitoring. Het doel is om uiteindelijk in tien gebieden op verschillende soorten natuur operationeel te meten. De uitbreiding volgt op een aanbeveling van adviescollege Meten en Berekenen. Wanneer dit doel gehaald kan worden is niet goed te zeggen omdat het realiseren van een enkele meetlocatie veel moeite kost. Het meetsysteem stelt specifieke eisen aan de locatie en omgeving en het realiseren vraagt medewerking van terreineigenaren. Vergunningentrajecten kunnen lang duren en soms is het wachten om op het stroomnet aangesloten te kunnen worden. Dit maakt het realiseren van nieuwe locaties een tijdsintensief proces. In 2025 zijn er hierom geen extra locaties gerealiseerd. In 2026 wordt verdere voortgang verwacht. Meetlocaties boven bos zijn daarvoor inmiddels niet meer in beeld: vastgesteld is dat de huidige COTAG-meetmethode voor die omstandigheden niet geschikt is.
- Voor depositiemetingen zijn proeven uitgevoerd met een eenvoudige techniek, de zogenaamde bulkvangers. Daarmee kan inzicht verkregen worden in de natte depositie in combinatie met een deel van de droge depositie op een locatie. In 2024 zijn metingen met bulkmeters uitgevoerd op enkele meetlocaties waar het RIVM ook natte depositie meet. In 2025 is onderzocht in hoeverre de meetgegevens kunnen helpen bij het verkrijgen van meer inzicht in de depositie en of het meerwaarde heeft om het meetnet uit te breiden met bulkdepositiemetingen. In de eerste helft van 2026 wordt dit onderzoek gepubliceerd.
- In 2025 zijn de uurgemiddelde metingen van ammoniumzouten (stikstofverbindingen in fijnstof) om beter begrip te krijgen van de chemische omzettingen die van invloed zijn op stikstofdepositie. Dat kan gebruikt worden bij het valideren of verbeteren van de rekenmodellen. Dit vergt specialistisch onderzoek, dat (nog) niet geprogrammeerd is. Gezien de hoge kosten van het uitvoeren van de metingen is besloten om in 2026 de metingen op één van de locaties vooralsnog te stoppen. De metingen op locatie Cabauw gaan door en zorgen zo voor continuïteit.

De meetgegevens worden gebruikt voor het kalibreren en valideren van de stikstofberekeningen en bieden inzicht in meerjarige trends. Ook dienen ze als referentie voor metingen met andere methoden, bijvoorbeeld in regionale meetinitiatieven (hierover leest u meer in hoofdstuk 4).

Kwaliteit van metingen beter geborgd

In het NKS wordt ingezet op de onderbouwing, standaardisering en automatisering van dataverwerking en analyse van de metingen. Door vergelijkende studies tussen meetnetten en referentiemetingen wordt de betrouwbaarheid en precisie van de data vastgelegd en continu verbeterd.

- Om de schaalbaarheid en kwaliteit van stikstofmetingen te verbeteren, heeft het RIVM in 2025 doorgewerkt aan nieuwe databases voor de meetnetten MAN en COTAG en een gekoppelde veldapplicatie voor het MAN. Dit werk wordt in 2026 gecontinueerd.
- Het vergelijkende onderzoek van de COTAG-depositiemetingen van ammoniak met apparatuur die depositie op een hoge tijdsresolutie kan meten (miniDOAS) heeft belangrijke leerpunten opgeleverd over locatie en setup van de apparatuur. Vastgesteld is dat voor een goede COTAG-meting de locatie niet te veel belast mag worden door ammoniak uit bronnen in het omliggende gebied. Om dit vooraf beter in te kunnen schatten is een tool ontwikkeld. Voor de miniDOAS depositiesetup is de les dat er voldoende momenten nodig zijn met een lage ammoniakconcentratie (0-2 µg/m^3) in combinatie met een dagelijkse kruismeting voor tussentijdse ijking. Deze lessen worden in andere meetcampagnes toegepast (zie programmalijn 2 ‘Onderzoek naar en verbetering van inputdata ‘). In 2026 wordt verkend of en hoe een nieuw onderzoek ter validatie van de COTAG-methode kan worden opgezet.

De meetgegevens worden toegankelijk gemaakt en voorzien van duiding via diverse communicatiekanalen, zoals het Compendium van de Leefomgeving[1], (monitorings)rapportages en de stikstofwebsite van het RIVM[2].

Stikstofmodellen up-to-date

Ook het onderhouden van de modellen is onderdeel van het NKS. Het RIVM zorgt voor de operationele uitvoering van de modellen OPS-LT (lange termijn: jaargemiddeld), OPS-ST (korte termijn: uurgemiddeld) en EMEP4NL, inclusief updates, technisch beheer en jaarlijkse actualisaties. Onderhoud van de modellen is cruciaal om de betrouwbaarheid en actualiteit van de modelresultaten te waarborgen.

Daarnaast wordt onderzoek gedaan naar verbeteringen voor het modelsysteem. Eens in de twee jaar worden verbeteringen die volgen uit onderzoek verwerkt in het operationele OPS-LT model. De verbeteringen die in 2025 zijn doorgevoerd in OPS-LT komen onder andere uit de volgende onderzoeken:

- Nader onderzoek naar de verschillen in gemeten en berekende concentraties van ammoniak in de kustprovincies heeft drie verbeterpunten opgeleverd die een deel van het verschil verkleinen. De verbeterpunten hebben te maken met de gegevens waarmee het rekenmodel werkt en niet zozeer met het model zelf[3]. Vervolgonderzoek richt zich o.a. op het effect op de berekende concentraties in Nederland van meer detail in tijd en ruimte in de emissies van ammoniak. In september 2025 is hiervoor het ARTEMIS project gestart door TNO en RIVM, met input van WUR en CBS. De hypothese is dat beter meenemen van de weersinvloeden op de emissies van ammoniak het verschil tussen gemeten en berekende ammoniakconcentraties in Nederland verkleint. Het project duurt tot en met 2027. Daarnaast voert het RIVM een meetcampagne uit naar droge depositie in natuurgebied Solleveld aan de kust (zie onder programmalijn 2 ‘Onderzoek naar en verbetering van inputdata). De hypothese die daarmee onderzocht wordt is dat het model de lokale depositie overschat. Dat zou een deel van het verschil in concentratie kunnen verklaren. Ook dit project duurt tot en met 2027.
- De methode voor kalibratie van de berekeningen van de droge depositie aan de concentratiemetingen van ammoniak uit het MAN-meetnet is verbeterd. Het zorgt voor een stabielere kalibratie van berekeningen langs de kust en verder landinwaarts. Ook geeft het inzicht in de ruimtelijke verdeling van de onzekerheid van de gekalibreerde berekeningen.[4] De methode voor beoordeling van de geschiktheid van de MAN-meetlocaties voor de kalibratie is verbeterd.[5]
- De invloed van klimaatverandering op de berekeningen voor toekomstige jaren wordt nu (beter) meegenomen.[6]

Voor het berekenen van wegverkeer met OPS-LT is in 2025 onderzoek uitgevoerd, zodat de rekenresultaten beter overeenkomen met metingen. In 2026 worden de resultaten van dit onderzoek gepubliceerd.

Onzekerheden stikstofmodellen in beeld

Onderzoek naar onzekerheden in de berekeningen op nationaal, lokaal en bron-specifiek niveau geeft richting aan modelverbeteringen. Door de belangrijkste bronnen van onzekerheid te identificeren en verbeteronderzoek te agenderen en uit te voeren, blijven de modellen actueel en robuust. Inspanningen die hieronder beschreven worden zijn vaak in samenhang met of aanvullend aan activiteiten in programmalijn 3 ‘Onderzoek naar vernieuwing landelijk meetnet en rekenmodellen’ uitgevoerd.

---

1 Home | Compendium voor de Leefomgeving
2 In kaart: gemeten stikstofconcentraties en –depositie in Nederland | RIVM.
3 Eindrapport Ammoniak van Zee. Samenvatting van het onderzoek naar de onderschatting van de ammoniakconcentraties langs de kust | RIVM.
4 Methodewijziging voor kalibratie van NH3 droge depositieberekeningen aan concentratiemetingen | RIVM.
5 Geschiktheid van MAN-meetlocaties voor de kalibratie van concentratie- en depositiekaarten | RIVM
6 Prognoseberekeningen van luchtkwaliteit en stikstofdepositie voor 2030-2040 onder invloed van klimaatverandering | RIVM.

In deze rapportage wordt onder programmalijn 3 nader ingegaan op het reduceren van onzekerheden en vergelijking tussen modellen.

Eerder is onderzoek gedaan naar de onzekerheden in de berekende depositie op lokale en nationale schaal[7]. Onderzoek naar de onzekerheid in de berekende depositiebijdrage van een individuele bron is moeilijk omdat er onvoldoende kwalitatief goede depositiemetingen op verschillende afstanden van een individuele bron beschikbaar zijn. Daarom zijn andere benaderingen, zoals een gevoeligheidsanalyse en vergelijking met andere modellen, toegepast die bijdragen aan inzicht in de onzekerheid. In 2025 is onderzoek gepubliceerd naar de gevoeligheden in de berekende depositiebijdrage van een individuele bron voor veranderingen in de modelparameters[8], in samenhang met een studie uit programmalijn 3 waarin verschillende lokale modellen met elkaar zijn vergeleken[9]. De resultaten, en wat dit betekent voor het gebruik van het OPS-model in beleid, zijn samengevat in een kennisnotitie[10].

Om onzekerheden systematisch te onderzoeken, is binnen het NKS in 2024 de ontwikkeling gestart van een Uncertainty Analysis Tool (UAT) als wetenschappelijke instrument om de oorzaak van onzekerheden beter te identificeren. Dit onderzoek is in 2025 voortgezet. De UAT is aan het OPS-model gekoppeld. Hiermee wordt onderzoek gedaan naar het verkleinen van de onzekerheden in modelparameters en emissiegegevens die als invoer worden gebruikt door middel van de techniek ‘inverse modellering’. Daarbij wordt met een rekenmodel teruggerekend welke waarden voor emissie of invoerparameters de beste match geven met gemeten concentraties, rekening houdend met onzekerheid. Dit geeft richting aan verdiepend onderzoek naar modelaanpassingen. De techniek van inverse modellering wordt ook in programmalijn 4 verkend voor gebruik in de monitoring van emissiereductie.

Onderzoek naar state-of-the-art modellen

Binnen het NKS wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van state-of-the-art modellen, technieken en data, waarbij de voorwaarde is dat de functionaliteiten behouden blijven die gevraagd worden voor beleidsondersteuning, monitoring en vergunningverlening. Het gebruik van meerdere modellen biedt een referentiekader; modelvergelijkingen zijn essentieel om de kwaliteit en betrouwbaarheid te waarborgen.

Binnen deze programmalijn wordt onderzoek gedaan naar de toepassing van twee typen state-of-the-art modellen: gridmodellen (ook wel rastermodellen genoemd) en Large Eddy Simulation (LES):

- In 2025 is een project gestart waarin berekeningen van de landelijke luchtkwaliteitsmonitoring worden gedaan met een combinatie van EMEP4NL (state-of-the-art gridmodel) en SHERPA. Deze worden vergeleken met de resultaten in het operationele proces met OPS als rekenmodel. Op die manier wordt verkend welke veranderingen en kansen gepaard gaan met het toepassen van een gridmodel. De publicatie hierover wordt eind 2026 verwacht.
- LES biedt modellering op hoge ruimtelijke resolutie, momenteel geschikt voor zowel referentieonderzoek als specifieke lokale toepassingen. Afstemming en samenwerking met andere kennisinstellingen helpt daarbij om kennis te delen en onderzoek te versterken. Het RIVM heeft in 2025 verder ervaring opgedaan met het gebruik van de modellen DALES en microHH. Daardoor kunnen in 2026 specifieke casestudies worden gedaan, o.a. voor de omgeving rond een stal.

7 Uncertainty in the determined nitrogen deposition in the Netherlands. Status report 2023 | RIVM
8 Uncertainty in calculated nitrogen deposition from individual sources | RIVM
9 Differences in calculations of concentration and deposition of ammonia and nitrogen oxides at local scale. A comparison of eight atmospheric transport models | RIVM
10 Nieuw onderzoek naar onzekerheden in stikstofberekeningen: betekenis voor beleid | RIVM

Wetenschap in de praktijk: RIVM werkt hard aan uitbreiding depositiemeetnet

Een reflectie van RIVM op uitdagingen in het meten van depositie in de praktijk

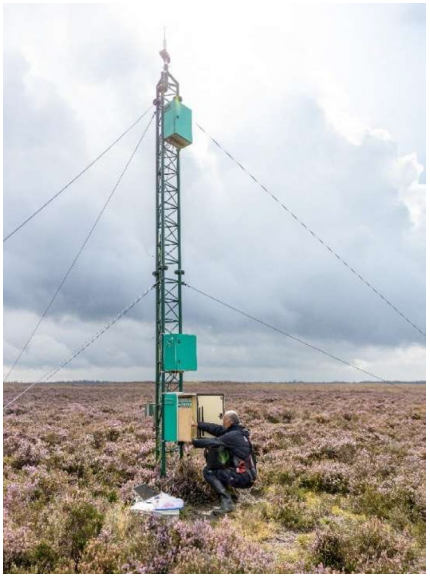
Het COTAG-meetnet volgt de droge depositie van ammoniak in een aantal natuurgebieden in de tijd. COTAG staat voor 'Conditional Time Averaged Gradient'. Op twee hoogtes wordt de concentratie van ammoniak in de lucht gemeten. Een windmeter meet de turbulentie. Met deze gegevens kan de depositie van ammoniak berekend worden. Het RIVM beheert het COTAG-meetnet. Maandelijks gaan RIVM-medewerkers het veld in om data en veldmonsters op te halen.

Voorbereiding op nieuwe meetmasten

Het ministerie van LVVN wil uiteindelijk op tien locaties met verschillende soorten natuur de depositie kunnen volgen met metingen. Naast twee masten op onderzoekslocatie 'De Veenkampen', zijn er op dit moment vijf locaties met een COTAG-meetmast.

Voordat een nieuwe meetmast geplaatst kan worden, moet er veel geregeld en afgesproken worden. Een intensief traject dat bij elkaar een aantal jaren duurt. Op dit moment is dat traject voor drie nieuwe locaties al in een vergevorderd stadium. Voor twee locaties staan we aan het begin.

Ondanks het vele voorbereidende werk is er daardoor in 2025 geen nieuwe meetmast geplaatst. In 2026 verwachten we nieuwe meetmasten te kunnen plaatsen.



Locatie, locatie, locatie

Het begint met het vinden van een geschikte locatie, die aan meerdere eisen moet voldoen. Zo moet de meetmast op een open plek staan met een straal van 350 meter. Ook mag er in de buurt geen grote uitstoot van ammoniak plaatsvinden en moet er stroom beschikbaar zijn.

Onderzoekers van het RIVM zoeken eerst met satellietbeelden naar mogelijk geschikte locaties in natuurgebieden. Daarna gaan ze in gesprek met terreineigenaren om de mogelijkheden te bespreken en toestemming te vragen. Het kan voorkomen dat de plek die geschikt leek op de satellietbeelden, dat in praktijk toch niet is. Bijvoorbeeld omdat de plek drassig is, of een broedgebied voor vogels. In dat geval zoekt het RIVM samen met de terreineigenaar naar een andere plek in de buurt.

Doorontwikkelingen voor veiligheid en duurzaamheid

Volgens wetenschappelijk medewerker Myrthe Brouwer is de eerste reactie van terreineigenaren vaak voorzichtig: 'Terreineigenaren zien wel dat metingen bijdragen aan natuurbehoud, maar zijn in eerste instantie vaak wat terughoudend om een zeven meter hoge mast in een natuurgebied te plaatsen.
En dat is best begrijpelijk. Daarom heeft de mast een groene kleur die minder opvalt in het landschap.
Om te voorkomen dat de mast een uitkijkpunt wordt voor roofvogels, installeren we standaard vogelpinnen.
Dit soort maatregelen helpen om terreineigenaren mee te krijgen.'

Daarnaast zijn er ook andere doorontwikkelingen legt Myrthe uit, 'Een nieuwe technische ontwikkeling is dat de masten uitgerust worden met een lift, waarmee de bovenste meetkast naar beneden wordt gehaald. Dit voorkomt dat de veldploeg op een ladder omhoog moet klimmen en dat maakt het werk veiliger. Ook hebben we kunststof meetkasten gemaakt, die minder last hebben van de weersomstandigheden dan metalen kasten.'

"Soms is het frustrerend als processen langzaam gaan. Maar als het lukt om weer een nieuwe mast te plaatsen dan geeft me dat veel voldoening." *Myrthe Brouwer, onderzoeker RIVM*

Afstemming met veel partijen kost veel tijd

Bij de bouw van de mast komt nog veel meer kijken. Zo moet er een stroomkabel aangelegd worden om de mast aan te sluiten op het elektriciteitsnet. Het graafwerk voor het aanleggen van de stroomkabel heeft de meeste impact op de natuur en is vaak de grootste hobbel in het proces.

Dat komt omdat de werkzaamheden soms met meerdere terreineigenaren afgestemd moeten worden. Daarnaast moet er ruimte zijn op het stroomnet. Daardoor is er soms een lange wachttijd om de mast te kunnen aansluiten. Ook is er een omgevingsvergunning nodig om in een natuurgebied te mogen bouwen.

Afspraken voor jaren

Voor de metingen is het belangrijk dat de mast op die locatie jarenlang kan meten. Daarom sluit het RIVM contracten af om dit vast te leggen. Toch kan het voorkomen dat de situatie verandert en een terreineigenaar om welke reden dan ook de mast wil verplaatsen. En dan begint de zoektocht naar een locatie weer opnieuw.

Kortom: het meten van droge stikstofdepositie in natuurgebieden is belangrijk, vraagt om afstemming én samenwerking met veel verschillende partijen. En dat kost tijd.

Regelmatig krijgt het RIVM de vraag waarom de berekeningen van de droge depositie niet worden aangepast aan de metingen. Dat komt omdat de droge depositie van ammoniak sterk afhankelijk is van lokale omstandigheden. Dat zou betekenen dat het dan nodig is om in vrijwel alle natuurgebieden in Nederland te meten. Deze bijdrage over de uitbreiding van het COTAG-meetnet illustreert dat dit zowel praktisch als financieel niet realistisch is. De COTAG-metingen worden wel gebruikt om te onderzoeken hoe goed het model de droge depositie van ammoniak berekent en om langjarige trends (naast met het model) ook met metingen te kunnen bepalen.

Welke COTAG-masten zijn er nu:
Bargerveen (2012)
Oostelijke Vechtplassen (2015)
Veluwe sinds (2017)
Noord-Hollands Duinreservaat (2021)
Haaksbergerveen (2023)

2 Onderzoek naar en verbetering van inputdata

Bij de aanpak voor de integrale opgave op het vlak van natuur, klimaat en water zet de overheid in op landelijke en lokale maatregelen bij het halen van doelen. Een aantal maatregelen is specifiek bedoeld om de stikstofuitstoot te verminderen om daarmee de stikstofbelasting voor natuur te verminderen. Of deze maatregelen effect hebben wordt ingeschat aan de hand van berekeningen. In de berekening van de uiteindelijke depositie van stikstof wordt een aantal fases onderscheiden.

Afhankelijk van de maatregel treedt een bepaalde emissie van stikstof op, vervolgens verspreidt deze stikstof zich en dit leidt tot concentraties van stikstofverbindingen, waaronder ammoniak en stikstofoxiden, in de atmosfeer. Gedurende de verspreiding slaan deze stikstofverbindingen neer op de bodem of worden opgenomen door de vegetatie (depositie). Emissies uit landbouwkundige activiteiten, waaronder gasvormige emissies van ammoniak, worden berekend met het National Emission Model for Agriculture (NEMA). De verspreiding en depositie van stikstof wordt in het model OPS berekend. Dit model vormt de basis voor AERIUS.

In 2019 heeft het adviescollege Meten en Berekenen gekeken naar verbeteringen in het meten en berekenen die mogelijk zijn in deze keten om daarmee de data voor de modellen beter te onderbouwen en onzekerheden in de modelberekeningen te verminderen. De adviescommissie concludeerde dat er verbeteringen mogelijk zijn in emissiefactoren en in de beschrijving van het depositieproces (op basis van depositiemetingen). In deze programmalijn 2 ‘onderzoek naar en verbetering van inputdata’ wordt gewerkt aan verschillende aspecten rond de berekening van stikstofemissies en de bepaling van depositiesnelheden in verschillende natuurdoeltypen.

Voortgang 2025

Berekening excretie landbouwhuisdieren

De berekening van de stikstof- (N), fosfaat- (P) en totaal ammoniakaal stikstof (TAN, de stikstoffractie die kan vervluchtigen) -excretie volgens de WUM (Werkgroep Uniformering berekening Mest- en mineralencijfers) methodiek vormt de basis voor alle vervolgstappen bij de berekening van de ammoniak-emissies uit de veehouderij. Er wordt voortdurend gewerkt aan het verbeteren van de berekening excretie van landbouwhuisdieren in de WUM-methodiek en aan de onderbouwing van de gebruikte gegevens, transparantie van de gegevens en de kwantificering van de nauwkeurigheid van de methodiek.

Er is een uitgebreide literatuuranalyse gedaan naar de stikstof- en fosfaatgehalten van vleesvarkens, deze getallen zijn al toegepast in de excretie cijfers van 2024[11]. Verder is in 2025 gewerkt aan de beschrijving van het volledige WUM-model, de schatting van de voeropname bij melkvee en de lichaamssamenstelling van vleeskuikens. De resultaten zullen in 2026 worden gepubliceerd.

[11] Nitrogen and phosphorous content in the body of growing pigs in the Netherlands.

De WUM-berekeningen zijn samen met vertegenwoordigers uit de veehouderijsectoren geëvalueerd. Doel hiervan is om de aansluiting met de praktijk te verbeteren, zodat de invoergegevens maximaal op de praktijk zijn afgestemd. Beter afgestemde invoergegevens zullen leiden tot nauwkeurigere excretieberekeningen.

In 2026 zal het onderzoek naar het beter vaststellen van de grondstofsamenstelling van voeders afgerond worden en zal een brede literatuurscan worden uitgevoerd om de representativiteit en actualiteit van de stikstof- en fosfaatresultaten van vleeskuikens en leghennen te kunnen waarborgen.

Inzicht in onzekerheden INITIATOR

Het model INITIATOR speelt een centrale rol in de ruimtelijke verdeling van messtoediening en ammoniakemissie. Deze verdeling van de emissie vormt de input voor AERIUS. Daarnaast maakt INITIATOR het mogelijk om gebiedsgerichte maatregelen te monitoren. Met het project “onzekerheids-analyse INITIATOR” wordt beter onderbouwd waar de grootste onzekerheden zijn in de berekening van emissies op laag ruimtelijk schaalniveau. In 2025 is gewerkt aan de onzekerheidsanalyse voor de modellen INITIATOR-LWKM en INITIATOR-OPS. In 2026 zal de onzekerheidsanalyse INITIATOR-LWKM worden afgerond.

Er is in 2025 een aantal statistische analyses uitgevoerd. Hierbij zijn de ingeschatte onzekerheden in het model INITIATOR gebruikt om te verkennen wat deze onzekerheden betekenen voor interpretatie van resultaten uit gerelateerde modellen voor emissie naar lucht (OPS-model) en water (LWKM-model). Ook is gewerkt aan een statistische analyse waarin de gemeten ammoniakconcentratie uit het MAN-netwerk gebruikt zijn in combinatie met de aangenomen onzekerheden in het model INITIATOR om tot een inschatting te komen over welke emissiefactoren mogelijk aangepast zouden moeten worden.

In 2026 wordt deze analyse afgemaakt. De resultaten hiervan kunnen aanleiding zijn om bestaande emissiefactoren te gaan heronderzoeken. Uit eerste resultaten komen aanwijzingen dat de emissiefactor voor kunstmest op bouwland hoger is dan nu wordt aangenomen.

Onderzoek mestfracties uit mestverwerking

Mestverwerking en bewerking wordt gezien als een maatregel om emissie van ammoniak en broeikas-gassen te verminderen. Verwacht wordt dat de komende jaren op grote schaal verschillende producten uit mestwerking zullen worden gebruikt, bijvoorbeeld voor de productie van Renure. De samenstelling van deze producten kan sterk afwijken van die van reguliere mest en daardoor ook invloed hebben op de emissies van ammoniak en broeikasgassen, zowel in positieve als negatieve zin. Het is daarom belangrijk om emissiefactoren af te leiden voor deze producten voor NEMA. Ook zullen er nieuwe toedieningstechnieken worden toegepast met mogelijk een andere emissie.

Voor een aantal mestproducten is een grote serie metingen naar ammoniakemissie uitgevoerd waarbij ook mestgiften (volume/ha) en messtoedieningswijzen zijn meegenomen die een interactie hebben met uiteindelijke ammoniakemissie. De volgende mestproducten zijn onderzocht: digestaat, dunne en dikke fractie, ammoniumsulfaat stripper, effluent stripper, mineralenconcentraat, en plasmabewerking. Een totaalanalyse hiervan wordt momenteel uitgevoerd en zal gepubliceerd worden in 2026.

Verzameling van veldemissiedata voor messtoedieningsmethoden in de praktijk

In 2025 is er verder gewerkt aan een databank waarin gegevens zijn verzameld over de Nederlandse veldemissiedata en messtoedieningsmethoden. Ook zijn in 2025 verdere analyses uitgevoerd op de verzamelde Nederlandse veldemissiedata voor messtoediening voor het afleiden van emissiefactoren en voor verschillen tussen verschillende messtoedieningsmethoden (en sommige bewerkte mestproducten).

Deze data zullen in 2026 in een publiekelijk toegankelijke databank gedeeld gaan worden waarbij ook de berekeningswijzen en beschrijving van de achtergrond die gebruikt is in dit onderzoek beschikbaar komt. Updates van de emissiefactoren grasland en bouwland, per toedieningsmethode, kunnen straks in NEMA toegepast worden.

In samenwerking met NVWA zijn data verzameld over de praktijk van mesttoediening (implementatie van toedieningsmethoden in de praktijk). Deze data zijn gebaseerd op gegevens 2014-2025. In 2026 worden de bevindingen in samenwerking met de NVWA gerapporteerd.

Actualisatie emissiefactoren beweiding

De emissiefactor voor beweiding in NEMA is gebaseerd op één onderzoek uit begin jaren '90. De eerste resultaten van onderzoek in het NKS lieten hogere emissiefactoren zien bij beweiding dan de huidige. In 2025 zijn de beweidingsemissies verder onderzocht bij verschillende samenstellingen van de urine op zandgrond en kleigrond (herhaling van de metingen uit 2024). De uitkomst van de proeven in 2025 wijzen eveneens uit dat de beweidingsemissies hoger zijn dan tot nu toe werd aangenomen.

De eerste analyses zijn op een internationaal congres gepresenteerd en gerapporteerd en kunnen straks in NEMA toegepast worden. In 2026 volgt een totaalanalyse. De uitgevoerde metingen gaan deel uitmaken van een verdiepend PhD-traject, waarin o.a. gekeken wordt naar de combinatie stalemissie en beweidingsemissie.

Meer differentiatie in emissiefactoren kunstmest

Binnen het onderzoek naar ammoniakemissies uit kunstmest is in 2025 vooral experimenteel onderzoek uitgevoerd naar emissies uit verschillende kunstmestsoorten aangewend onder verschillende grondsoorten (zand, klei, veen löss) voor de afleiding van emissiefactoren. Enkele opvallende resultaten zijn de lage emissies op veengronden met name voor ureum en de hoge emissies van ammoniumhoudende meststoffen op kalkrijke grond.

In 2026 worden de laatste experimenten uitgevoerd, waarbij het effect van grondsoort op emissies van verschillende kunstmestsoorten verder wordt onderzocht. Eind 2026 worden de definitieve rapporten opgeleverd met adviezen voor het aanpassen van de emissiefactoren voor kunstmest in EmissieRegistratie (NEMA).

Overige stikstofverliezen uit mestopslag onderzocht

Tijdens de opslag van mest kan ammonium (NH_4^+) aanwezig in de mest vervluchtigen als ammoniak (NH_3). Een deel van de stikstof wordt ook omgezet in andere stikstofgassen zoals lachgas (N_2O) en stikstofmonoxide (NO) die onwenselijk zijn voor respectievelijk klimaat en milieu. Op dit moment is er weinig bekend over hoeveel en waarom de omzetting van ammonium in andere stikstofgassen plaatsvindt tijdens de opslag van mest. Deze kennis is belangrijk voor het berekenen van de hoeveelheid stikstof en fosfaat in dierlijke mest[12] en stikstofemissies uit mest.

Uit het onderzoek van 2025 komt als één van de voorlopige conclusies naar voren dat de emissie van lachgas (N_2O) uit mest tijdens opslag in dezelfde orde van grootte is als in de huidige modellen wordt aangenomen en dat de verhouding tussen NO en N20 emissies niet een 1 op 1 relatie hebben zoals nu wordt aangenomen.

[12] Gebruiksnormen mest: Bereken uw mestproductie | RVO.nl

In 2026 zal een dataset worden gegenereerd van emissiemetingen met lab-proeven van NO, N_2O en N_2 uit koeienmest om tot definitieve resultaten te komen. Hieruit moet ook blijken welke opslagomstandigheden en/of mestsamenstellingen invloed hebben op deze emissies. Daarnaast wordt bepaald welke biologische omzettingen verantwoordelijk zijn voor de vorming van deze gassen, dit geeft mogelijke handvatten om stikstofemissie uit mest in de praktijk te reduceren of als onschadelijke N_2 gas te laten plaatsvinden.

Kennis vergroot over NO_x-emissies uit landbouwgronden

Landbouwgronden zijn een bron van stikstofoxiden (NO_x) en met de afname van de NO_x-emissie uit industrie en mobiliteit wordt de landbouw relatief een steeds belangrijkere emissiebron voor NO_x. De berekening van NO_x-emissie uit Nederlandse landbouwgronden is tot nu toe gebaseerd op standaard emissiefactoren uit internationale richtlijnen. Met experimenteel onderzoek binnen het NKS worden emissiefactoren om de NO_x- emissie uit landbouwgronden te kwantificeren afgeleid. Ook wordt onderzocht op welke wijze de NO_x-emissie te verminderen is. De rapportage over dit onderzoek wordt in 2027 verwacht.

In 2025 is in zowel een labstudie als in een veldstudie onderzocht hoe bemesting, bodemomstandigheden en NO_x-emissies zich tot elkaar verhouden. De emissie van NO_x uit bodems bestaat voor het overgrote deel uit stikstofmonoxide (NO). NO-emissies nemen af als de bodem erg droog of erg nat is. Toediening van ureum of ammonium houdende meststoffen aan de bodem resulteert in hoge NO-emissies, tijdens labproeven werden NO-emissies verklaard door variatie in nitrificatiesnelheid (De snelheid waarmee ammonium (NH_4^+) in nitraat wordt omgezet in de bodem). In labproeven resulteert kunstmesttoediening aan zandgronden tot aanzienlijk hogere NO-emissies dan dezelfde toediening bij klei- of veengronden.

Tijdens de veldproeven was de emissie van NO vanuit grasland vergelijkbaar met dat van bouwland met mais, alhoewel het patroon van NO-emissie over tijd verschilde. Kunstmest toegediend aan gras en mais resulteerde in hogere NO-emissies dan organische mest. Toediening van een nitrificatieremmer verlaagde de emissies bij toediening van ureum en drijfmest. In 2026 worden de onderzoeken voortgezet.

Meer inzicht in depositieproces

De bepaling van de depositie is een onzekere factor in de stikstofmonitoring, hierom zijn meer inzichten in het depositieproces op basis van metingen gewenst. De inzichten kunnen dan gebruikt worden om de rekenmodellen te verbeteren. Het meten van stikstofdepositie is echter zeer complex en niet praktisch uitvoerbaar op een groot aantal locaties. Daarom zet het RIVM in op gerichte meetcampagnes, waarbij gebruik wordt gemaakt van geavanceerde meetapparatuur.

In 2025 is state-of-the-art meetapparatuur (door)ontwikkeld om met hoge tijdsresolutie droge depositie te meten. De bepaling van de totale stikstofdepositie is vooral gevoelig voor de droge depositiesnelheid van ammoniak. Het RIVM richt zich voor ammoniak enerzijds op de inzet van de in huis ontwikkelde miniDOAS-apparatuur om depositie te meten. Daarbij wordt de depositie afgeleid uit gelijktijdig op verschillende hoogten gemeten concentraties van ammoniak, in combinatie met verschillende meteorologische variabelen. Anderzijds is nieuwe HT8700E (Healthy Photon) apparatuur getest voor toepassing in meetcampagnes. Deze meetmethodiek is een directere, maar technisch ook complexe manier om depositie af te leiden (uit een meting van de concentratie met zeer hoge tijdsresolutie). Ook TNO beschikt over deze apparatuur en samen wordt ervaring opgedaan. TNO zet het meetinstrument in, in het pilotproject Nieuwkoopse Plassen (zie programmalijn 4 'regionale monitoring stikstof'). Door deze twee verschillende technieken in te zetten en te vergelijken, kan de kwaliteit onderzocht en geborgd worden. Voor de meting van de depositie van stikstofoxiden maakt het RIVM gebruik van een door TNO ontwikkelde meet setup.

In 2025 zijn deze methodieken in verschillende meetcampagnes toegepast. De locaties zijn en worden zo gekozen om inzichten te krijgen voor een selectie van soorten natuur die representatief zijn voor natuurgebieden in Nederland.

Eén van de meetcampagnes vindt plaats in Solleveld. Het is een lopende meetcampagne in duingrasland (N2000-gebied), gestart in het eerste kwartaal van 2025. De studie volgt op een publicatie uit 2023[13] waarin eerdere metingen met andere apparatuur zijn gebruikt voor een vergelijking met modelberekeningen. Op Solleveld worden metingen van de depositie van ammoniak en stikstofoxiden uitgevoerd. De metingen van ammoniak verlopen goed; voor stikstofoxiden zijn er helaas tot nu toe vaak problemen met de apparatuur. De aanwezige vegetatie wordt gemonitord na een verkenning naar geschikte methoden hiervoor. De meetcampagne in Solleveld duurt twee jaar.

De resultaten van deze meetcampagnes vergroten het begrip van het depositieproces. Ook resultaten van andere campagnes dragen daaraan bij. Bij voldoende consistent bewijs kan de rekenmodule voor de depositiesnelheid (DepAC) worden aangepast. Het RIVM is van plan om in 2027 de tot dan toe beschikbare wetenschappelijke kennis bijeen te nemen en op basis daarvan verbeteringen van de rekenmodule te onderzoeken. Daarbij zal RIVM TNO als medegebruiker en mede-ontwikkelaar van DepAC betrekken. Mocht er voldoende consistent bewijs voor de aanpassing van DepAC gevonden worden, dan volgt er een fase waarin de wijzigingen in het operationele model (OPS) worden getoetst. Het daadwerkelijk operationeel doorvoeren komt daarna.

[13] Dry deposition of ammonia in a coastal dune area: Measurements and modeling

Wetenschap in de praktijk: Het belang van goede excretiecijfers

Column door Harmen van Laar, Wageningen Livestock Research

Excretiecijfers voor landbouwhuisdieren zijn niet alleen technische kengetallen, maar bepalen in de praktijk de ruimte waarbinnen de veehouderij en individuele bedrijven kunnen opereren en beleidsnormen juist worden toegepast. Om overbemesting en overmatige milieubelasting te voorkomen is bemesting van landbouwgrond gebonden aan maximale bemestingsnormen voor stikstof vanuit dierlijke mest. Veehouders moeten dus weten hoeveel stikstof en fosfaat hun dieren uitscheiden in dierlijke mest, de zogenaamde excretie. Om de excretie van stikstof en fosfaat in dierlijke mest te berekenen, kunnen veehouders gebruik maken van de zogenoemde *forfaitaire productienormen of excretieforfaits* in de Uitvoeringsregeling van de Meststoffenwet[14]. Deze forfaitaire excretie geeft weer hoeveel stikstof en fosfaat in mest per dier en per diercategorie op jaarbasis wordt geproduceerd.

Deze forfaits worden om de zoveel jaar uitgerekend met een model waarin de kennis is opgenomen van wat er met stikstof en fosfaat gebeurt in het proces vanaf voer tot onder de staart: het WUM-model (WUM= Werkgroep Uniformering Mest en Mineralen cijfers). Ook de bedrijfsspecifieke excretie- en emissieberekeningen zoals de BEX (Bedrijfsspecifieke excretie) en de KLW (Kringloopwijzer) maken gebruik van dezelfde rekensystematiek als de WUM. De keuzes in invoer en rekenregels binnen dit model werken daardoor direct door in nationale excretie, forfaitaire en bedrijfsspecifieke berekeningen en beleidsinstrumenten.

Voor een juiste excretieberekening is het van belang dat zowel invoercijfers als de modelparameters actueel en representatief zijn voor de Nederlandse veehouderij. De laatste jaren is in een aantal beleidsondersteunende onderzoeksprojecten gewerkt aan het actualiseren en verbeteren van de invoer en modelberekeningen. Daarnaast is aandacht besteed aan het verhogen van de transparantie van het WUM-model in de vorm van een nog te publiceren rapport waarin alle formules van het WUM-model beschreven zijn. Dit soort projecten vergt een zorgvuldige aanpak, juist omdat de resultaten directe consequenties hebben voor zowel beleid als bedrijfsvoering.

Om direct feedback te krijgen in hoeverre de modelinvoer en -berekeningen overeenkomen met de situatie in de praktijk wordt het onderzoek ter verbetering van de WUM gepresenteerd in een jaarlijkse vergadering van een groep stakeholders met vertegenwoordigers van de sector, overheid en onderzoek. In dit overleg wordt besproken welke informatie de WUM gebruikt en wordt gezocht naar mogelijke nieuwe informatiebronnen en biedt een belangrijke realiteitstoets. Het huidige project was vooral gericht op de diercategorieën met een grote excretie: melkvee, vleesvarkens en vleeskuikens. Deze focus was nodig enerzijds vanwege het beschikbare budget en anderzijds vanwege de complexiteit van de sector. Nadeel is dat diercategorieën met een lagere excretie minder aandacht kregen. Dit heeft dus uiteindelijk ook invloed op de actualiteit en representativiteit van de forfaitwaarden voor deze diercategorieën. Dit terwijl deze getallen op individueel bedrijfsniveau voor deze sectoren heel belangrijk zijn.

Juist daarom is het van belang om te blijven investeren in dit type beleidsondersteunend, wetenschappelijk onderbouwd onderzoek: niet als doel op zich, maar om de kwaliteit en toepasbaarheid van mestbeleid te borgen.

[14] https://wetten.overheid.nl/BWBR0018989/2026-03-19

3 Onderzoek naar vernieuwing landelijk meetnet en rekenmodellen

De afgelopen jaren was er veel maatschappelijke en politieke discussie over de wijze van het meten en berekenen aan de verspreiding en depositie van stikstofverbindingen. Voor de onderbouwing van het beleid is het daarom belangrijk te kijken waar kwaliteitsverbetering en eventuele vernieuwing mogelijk is. Het adviescollege Meten en berekenen Stikstof heeft in 2019 geadviseerd om te onderzoeken of vernieuwing mogelijk is door gebruik te maken van meerdere modellen (een zogenaamd 'model-ensemble') en de monitoring uit te breiden met satellietwaarnemingen.

Binnen deze programmalijn voert een consortium van partijen, het RIVM, TNO, WUR, KNMI en CML, het SAGEN-project uit. Hierin vond onderzoek plaats naar de mogelijkheden van het gebruik van satellietwaarnemingen en het toepassen van ensemblemodellering en hoe deze kunnen bijdragen aan de verbeteringen aan het systeem van meten en berekenen. Daarnaast werden in het SAGEN-project verschillende rekenmodellen voor stikstofverbindingen onderling vergeleken en de onzekerheid in de berekende depositie onderzocht.

Voortgang 2025

Modelvergelijkingen voor robuustere berekeningen

Er zijn modelvergelijkingen (benchmarks) uitgevoerd van modellen op regionale schaal en op lokale schaal. Van beide modelvergelijkingen zijn rapportages gereed. De rapportage over de modelvergelijking op regionale/nationale schaal is 6 maart 2026 gepubliceerd en de rapportage over de vergelijking op lokale schaal wordt gelijktijdig met de voorliggende voortgangsrapportage gepubliceerd.

Vergelijking regionale modellen

Een eerste grootschalige vergelijking van drie Nederlandse stikstofmodellen (OPS, LOTOS-EUROS, EMEP4NL) en twee internationale systemen (MATCH, SILAM) biedt een niet eerder gepubliceerd gedetailleerd beeld van de betrouwbaarheid, verschillen en onzekerheden in modellering van stikstof-depositie in Nederland. Door die bredere vergelijking in het rapport National Scale Modelling of Nitrogen Deposition in the Netherlands – Benchmark of Policy Support Models (NKS)[15], komen overeenkomsten en verschillen tussen modellen scherper in beeld dan in eerdere studies en biedt daarmee een verdieping in de kennis over stikstofdepositie. Dit is cruciaal voor monitoring en beleidsvorming.

De belangrijkste bevindingen van de benchmark zijn:

- Combinatie van modellen verbetert betrouwbaarheid
- Modellen zijn onderling consistent, spreiding kleiner dan vaak gedacht
- OPS presteert binnen de bandbreedte van andere plausibele uitkomsten
- Vier van de vijf modellen laten een vergelijkbaar patroon van systematische verschillen zien met een overschatting van gemeten ammoniakconcentraties (in natuurgebieden) in het oosten van het land, en een onderschatting in de kustprovincies.

[15] National scale modelling of nitrogen deposition in the Netherlands

Eén van de doelen van dit onderzoek was het stimuleren van modelverbetering die relevant is voor beleidsvorming. Het rapport adviseert op basis van de analyse en conclusies

- In 2028 de benchmark en gecombineerde vergelijking van de modellen te herhalen, aangevuld met data over 2025, als nieuwe standaard voor kwaliteitsborging. Zo kunnen de effecten van toekomstige aanpassingen van het model en in invoergegevens transparant in kaart gebracht worden;
- Om in te zetten op het efficiënt meten van droge depositie op natuurlijke en agrarische ecosystemen met het oogpunt de procesbeschrijving van de droge depositie te verbeteren
- De modellering van ammoniakuitwisseling met landbouwbodems te verfijnen;
- De beschrijving van regionale en seizoensvariatie in ammoniakemissies te verbeteren.

Een uitgebreidere beschrijving van dit onderzoek kunt u in dit hoofdstuk vinden onder de paragraaf Wetenschap in de praktijk.

De vierde aanbeveling is al overgenomen in een vervolgproject (ARTEMIS) dat in september 2025 is gestart. Dit project heeft als doel het verbeteren van de ruimtelijke en temporele verdeling van ammoniakemissies in het rekenmodel OPS, met het oog op een betere aansluiting tussen gemeten en berekende ammoniakconcentraties en -deposities in Nederland. ARTEMIS is een gezamenlijk project van TNO en RIVM met input van WUR en CBS.

Vergelijking lokale modellen

Binnen NKS is ook een lokale benchmark uitgevoerd. De rapportage van dit onderzoek is als bijlage van de voortgangsrapportage aan de Tweede Kamer gestuurd.

Voor dit onderzoek zijn acht wetenschappelijke modellen gebruikt. Deze worden nationaal of internationaal gebruikt om de concentratie en depositie tot 5 km van de bron te berekenen. Verder zijn meetgegevens uit drie beschikbare meetcampagnes gebruikt: één met concentratie- en depositie-metingen in de buurt van twee kippenstallen, één met concentratiemetingen bij een autosnelweg en één met concentratiemetingen in de buurt van industrie. De meeste meetlocaties lagen dicht bij de bron; de grootste afstand was 570 meter.

De vergelijking laat zien dat berekende luchtconcentraties beter overeenkomen met metingen dan berekende deposities. Dit heeft twee oorzaken. Ten eerste is de berekening van concentraties eenvoudiger dan die van depositie. Ten tweede waren de beschikbare concentratiemetingen nauwkeuriger dan de beschikbare depositiemetingen. Combinaties van modellen (ensembles) kwamen niet altijd beter overeen met metingen dan individuele rekenmodellen. Ensemblemodellering geeft wel meer inzicht in de onzekerheden in uitkomsten en kunnen helpen identificeren op welke onderdelen de modellen verbeterd kunnen worden.

Satellietmetingen waardevolle aanvulling op meetnetten

Het NKS SAGEN-project heeft in maart 2026 een rapport uitgebracht over satellietmetingen[16]. Stikstofdioxide- en ammoniakconcentraties in de lucht kunnen worden gemeten met satelliet-instrumenten. Toepassingen van satellietmetingen zijn (i) het evalueren en schatten van de emissies, (ii) het verbeteren van de ruimtelijke dekking van de metingen, (iii) het toetsen en verbeteren van modellen en (iv) het in kaart brengen van onzekerheden van modellen.

[16] KNMI Research - Using Satellite Observations for Assessing the Spatial and Temporal Variation of Nitrogen Emissions and Deposition in the Netherlands

Satellietwaarnemingen zijn een toevoeging op het huidige instrumentarium van metingen aan de grond. Ze meten de totale hoeveelheid (de kolom) stikstofdioxide en ammoniak en zijn daarmee complementair aan metingen op neushoogte en voor het kwantificeren van de concentratie en (indirect) de depositie in natuurgebieden. Met kolommetingen van satellieten kunnen onafhankelijke schattingen van emissietotalen gemaakt worden die vergeleken kunnen worden met de door de Emissieregistratie gerapporteerde emissies. Daarnaast brengen satellieten de belangrijkste en eventueel ontbrekende bronnen/brongebieden van stikstofverbindingen (ammoniak en stikstofdioxide) in kaart.

Ammoniak- en stikstofdioxidemetingen van satellietinstrumenten zijn vergeleken met lokale metingen en met modelberekeningen. Het onderzoek in het SAGEN-project wijst uit dat satellieten naast de bestaande netwerken duidelijk bewijs leveren dat regionale modellen en gebruikte emissies realistisch zijn. Met name voor stikstofdioxide komen satellietgegevens goed overeen, zelfs op de schaal van individuele bronnen. Satellieten leveren daarmee onafhankelijke informatie over de verdeling van emissies in ruimte en tijd en kunnen gebruikt worden om emissietrends te monitoren.

Op korte termijn zijn er twee duidelijke voordelen van het gebruik van satellietdata:

- Satellietgegevens van ammoniak en stikstofdioxide kunnen worden gebruikt om emissies te detecteren, kwantificeren en monitoren en deze kunnen direct vergeleken worden met de gerapporteerde emissies op regionale schaal;
- Satellietgegeven bieden een onafhankelijke bron van informatie, aanvullend op in-situ meetnetwerken, om modellen mee te evalueren. Wel is het noodzakelijk om te blijven werken aan een wetenschappelijk robuuste interpretatie van satellietgegevens.

Op lange termijn zijn er meerdere opties voor een significante verbetering van de satellietmonitoring-capaciteiten en beter begrip van stikstof, met als belangrijkste ontwikkeling een nieuw satelliet-instrument voor ammoniak met een fijnere spatiele resolutie (500-2000m). Zo wordt de belangrijkste limitatie van de operationele en geplande instrumenten naar verwachting opgelost en monitoring van kleinere individuele en clusters van bronnen mogelijk. Eerdere studies zoals zijn uitgevoerd binnen de ESA – NITROSAT en NSO – EarthInspect projecten kunnen hiervoor een basis zijn[17].

[17] ESA. (2023). Report for assessment: Earth explorer 11 candidate mission nitrosat (ESA-EOPSMNITR- RP-4373). European SpceAgency, Noordwijk, The Netherlands

Wetenschap in de praktijk: Ensemble modellering op nationale schaal verdiept kennis voor beleidsvorming

Toelichting op het onderzoek door Martijn Schaap, TNO

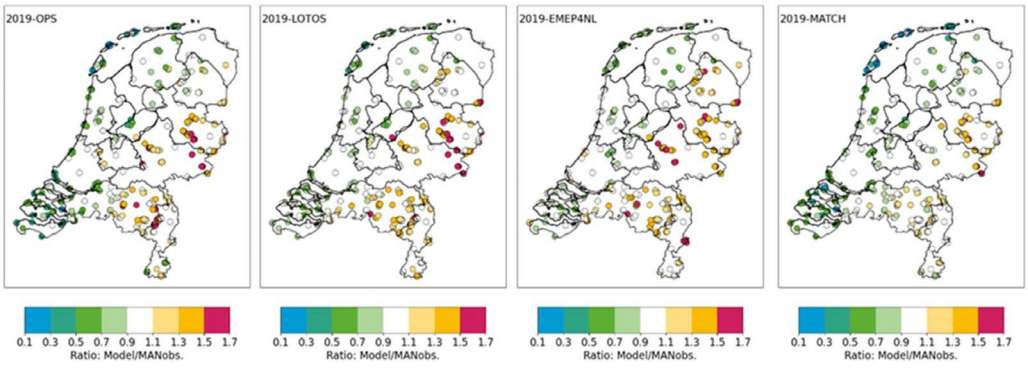
Binnen het NKS-SAGEN project heeft een eerste grootschalige vergelijking van drie Nederlandse modellen voor stikstofdepositie (OPS, LOTOSEUROS, EMEP4NL) en twee internationale systemen (MATCH, SILAM) plaatsgevonden. De belangrijkste bevindingen worden hieronder samengevat.

Combinatie van modellen verbetert betrouwbaarheid

Door de verschillende rekenmodellen te combineren in een zogenoemd ensemble bleek de uitkomst van dat ensemblegemiddelde vaak betrouwbaarder dan individuele modellen: minder extreme waarden, beter passend bij metingen.

Modellen zijn onderling consistent, spreiding kleiner dan vaak gedacht

Het modelleren van stikstofdepositie op nationale schaal is complex. Het bestuderen van de spreiding tussen resultaten van verschillende modellen is een elegante manier om de robuustheid van model-uitkomsten te beoordelen. De deelnemende modellen geven op hoofdlijnen hetzelfde beeld: de belangrijkste bronnen, de belangrijkste regio's en de trends zijn robuust. De spreiding voor de totale depositie tussen modellen bij gelijke emissies is landelijk gemiddeld 10–15%. De grootste spreiding werd gevonden voor de droge ammoniakdepositie (NH_3), goed voor bijna de helft van de totale depositie. Landelijk is daar een spreiding van 30% (voor de droge ammoniakdepositie) tussen de modellen en op de Veluwe en andere emissie-intensieve regio's tot 50% spreiding. Dit komt door verschillen in de aannames over de uitwisseling op landbouwgronden, de droge depositiebeschrijving, en de modelaanpak als geheel.



Figuur 1. Ratio tussen gemodelleeerde en gemeten jaargemiddelde concentratie van ammoniak op locaties van het MAN netwerk voor 4 modellen. Waarden groter dan 1 geven een overschatting aan, terwijl waarden kleiner dan 1 een onderschatting aangeven.

Systematisch verschillen met gemeten ammoniakconcentraties

Vier van de vijf modellen laten een vergelijkbaar patroon van systematische verschillen zien met een overschatting van gemeten ammoniakconcentraties (in natuurgebieden) in het oosten van het land, en een onderschatting in de kustprovincies. Dit fenomeen staat ook wel bekend als het “duinengat”, en is dus niet specifiek voor OPS maar generiek voor de stand der modellering. De vergelijking heeft geleid tot de formulering van drie richtingen om deze systematische verschillen te verkleinen die in samenhang aangepakt moeten worden. We adviseren:

1. Om in te zetten op het efficiënt meten van droge depositie op natuurlijke en agrarische ecosystemen met het oogpunt de procesbeschrijving van de droge depositie te verbeteren;
2. De modellering van ammoniakuitwisseling met landbouwbodems te verfijnen;
3. De regionale en seizoensvariatie in ammoniakemissies beter te beschrijven. Deze oplossingsrichting is belegd in het recent gestarte ARTEMIS project.

Herkomst van stikstofdepositie in Nederland

De uitkomsten van de drie Nederlandse modellen laten zien dat meer dan de helft (variërend van 53% tot 66%) van de gemiddelde stikstofdepositie afkomstig is van binnenlandse bronnen. Daarbij berekent OPS kortere transportafstanden, waardoor binnenlandse bronnen meer bijdragen. LOTOS-EUROS en EMEP4NL berekenen dat Nederland een grotere bijdrage van buitenlandse depositie ontvangt en meer exporteert. Dit leidt tot een lagere inschatting van de effectiviteit van nationale maatregelen en een relatief grotere impact van maatregelen in het buitenland dan aan de hand van OPS. Naast nationaal beleid is het dus belangrijk ook in internationaal verband op te trekken om emissies van ammoniak en stikstofoxiden te verkleinen.

Gezien de positieve ervaringen met het gebruik van meerdere modellen om het centrale model voor beleidstoepassingen te benchmarken wordt geadviseerd om in 2028 deze te herhalen met nieuwe meetgegevens over 2025, als nieuwe standaard voor kwaliteitsborging.

4 Regionale monitoring stikstof

Vrijwel alle provincies staan voor een forse opgave om stikstofemissies en als gevolg depositie te reduceren, al verschilt de omvang per regio. Veel provincies willen meer meten om een fijnmaziger beeld te krijgen van de emissies en de daaruit volgende concentraties ammoniak en stikstofdioxide. Dit geeft beter inzicht in de effectiviteit van maatregelen per gebied en sector. Goede regionale en lokale monitoring is essentieel voor de transitie naar emissiesturing. Het huidige systeem van meten en berekenen van stikstof is vooral ontwikkeld voor de nationale schaal en natuurgebieden en moet daarom worden doorontwikkeld voor regionale en lokale monitoring van emissiereductie. Metingen in de buitenlucht kunnen hierbij een belangrijke rol spelen. Deze monitoring kan verschillende beleidsdoelen ondersteunen:

- Onafhankelijk inzicht in regionale en lokale stikstofemissies, vooral in aandachtsgebieden.
- Beter begrip van emissie, verspreiding en depositie van stikstof, in combinatie met het effect van andere drukfactoren op de natuur.
- Ondersteuning van gebiedsprocessen door kennis te leveren die helpt om partijen te betrekken en inzicht te geven in de effecten van maatregelen. Dit biedt handelingsperspectief voor ondernemers en beleidsmakers en vergroot draagvlak.
- Verrijking van het landelijke stikstofbeeld en verbetering van de betrouwbaarheid van monitoringscijfers, mits metingen goed geharmoniseerd en vergelijkbaar zijn.

Daarom werken kennisinstellingen in opdracht van provincies en het ministerie van LVVN samen aan kennis- en methodeontwikkeling voor regionale stikstofmonitoring.

Voortgang 2025

Onderzoeksprogramma Regionale Omgevingsmetingen Stikstof

In 2025 is het Onderzoeksprogramma Regionale Omgevingsmetingen Stikstof (OROS) gestart naar aanleiding van adviezen van een commissie van experts van RIVM, TNO, WUR, Universiteit Utrecht en OnePlanet[18]. Het OROS-programma richt zich op het lokaal en regionaal meten en berekenen van stikstof. Daarbij ligt de nadruk op het monitoren van stikstofemissiereductie en de samenhang met andere drukfactoren op natuur. Op korte termijn (1 jaar) worden resultaten verwacht met bestaande instrumenten en beschikbare kennis. Tegelijkertijd wordt gewerkt aan een aanpak die innovatie stimuleert en het mogelijk maakt om nieuwe methoden en toepassingen stapsgewijs op te nemen in de regionale monitoring op middellange en lange termijn (5-10 jaar).

In juni 2026 wordt de eerste, meer theoretische, fase van het programma afgerond. Er worden door een consortium van TNO, RIVM en WUR *proof-of-concepts* en adviezen opgeleverd van hoe monitoringsmethoden er in de toekomst uit zouden kunnen zien. Daarnaast worden er adviezen opgeleverd voor toepassing en testen in de praktijk. Daarmee komt een *toolbox* van meettechnische en modelmatige instrumenten beschikbaar voor evaluatie van stikstofverbindingen op regionale schaal. Hierna start de tweede fase van het onderzoeksprogramma met meer focus op testen in de praktijk en het ontwikkelen van nieuwe instrumenten en methoden.

[18] Advies regionaal meten en berekenen van stikstof (emissie, concentratie, en depositie) in de lucht | Rapport | Rijksoverheid.nl

Het onderzoeksprogramma bestaat uit vier werkpakketten met verschillende doelen:

- **Werkpakket 1 Monitoren van emissiereducties:** het doel van dit werkpakket is verkennen hoe emissiereducties gemonitord kunnen worden met metingen en modellen. Enerzijds om emissiereductiedoelen te monitoren en anderzijds om meer inzicht te krijgen in de effectiviteit van maatregelen.
- **Werkpakket 2 Integrale monitoring natuur en milieu:** Het doel van dit werkpakket is om te verkennen hoe milieukwaliteit en effecten op de natuur integraal gemonitord kunnen worden met metingen en modellen.
- **Werkpakket 3 Afwenteleffecten:** het doel van dit werkpakket is om te verkennen op welke manier stikstofmaatregelen afwentelen op andere milieucompartimenten (bijvoorbeeld van lucht naar water) en hoe we dat het beste kunnen onderzoeken.
- **Werkpakket 4 Effect van habitat op droge depositie:** Het doel van dit werkpakket is om te verkennen in welke habitattypen droge depositiemetingen wenselijk zijn om modellen te verbeteren, en of depositie in korter durende meetcampagnes gemeten kan worden om zo sneller tot resultaten te komen.

Ontwikkeling fotonische sensoren door OnePlanet

Veel van de huidige *high-end* onderzoeksapparatuur is op licht gebaseerd, maar nu nog te groot en duur is en daarmee niet overal toepasbaar. Hierom werkt het OnePlanet Research Center (samenwerkingsverband van WUR, imec, Radboud en Radboud UMC) met subsidie vanuit de Provincie Gelderland en het Ministerie van LVVN aan het miniaturiseren van dergelijke technologie op chip met behoud van zijn kwaliteit. Deze techniek wordt afgestemd op de specifieke vereisten uit het landbouwdomein met als lange termijndoel om zelfs lage concentraties ammoniak, methaan en CO_2 in de buitenlucht te kunnen meten.

Eerste proefmetingen (in een stal) gaven zeer veelbelovende resultaten en vormden de basis voor het van Licht naar Inzicht project dat nu gefinancierd is door Provincie Gelderland en het Ministerie van LVVN gezamenlijk. Hierin wordt in een korte periode een sensorsysteem ontwikkeld, gebaseerd op fotonica en naar verwachting ongeveer 30% goedkoper dan de sensormethodieken die nu beschikbaar zijn.

Het eerste systeem dat tegelijkertijd ammoniak, methaan en CO_2 kan meten, draait nu al een aantal maanden stabiel in de sensortestlocatie De Marke. De sensor presteert vergelijkbaar met de huidige goedgekeurde methode en is in staat om veranderingen bijna direct zichtbaar te maken.

De eerste chips met geïntegreerde lasers zijn inmiddels gemaakt en in het lab getest en zien er veelbelovend uit. De verwachting is dat deze nog voor de zomer in de stal geplaatst zullen worden voor testen in de praktijk. De volgende reeks aan chips wordt in het derde kwartaal van 2026 verwacht. Tevens zijn de eerste testen met metingen buiten de stal, waar de concentraties ammoniak, methaan en CO_2 veel lager zijn en daardoor moeilijker te meten, aan de gang en ook die lopen voorspoedig. U leest meer over deze ontwikkelingen en de column “Wetenschap in de praktijk: meten met licht!” op pagina 28.

Regionale meetinitiatieven

Op verschillende plekken in het land wordt inmiddels praktijkkennis opgedaan met regionale monitoring van stikstof. In onderstaande projecten is dit een combinatie van metingen in de stal en het veld (concentratiemetingen om emissies te bepalen) en in de natuur (met concentratie- en depositiemetingen). Hieronder leest u per initiatief dat verbonden is aan het NKS wat de voortgang was in 2025 en wat de verwachte ontwikkelingen zijn.

Regionaal Meetnetwerk Liefstinghsbroek

De meetpilot 'Maatwerk met meetwerk' in Liefstinghsbroek had een looptijd van twee jaar en is hierna nog een jaar verlengd tot eind 2025. Deze pilot is gezamenlijk gefinancierd door provincie Groningen en het ministerie van LVVN. In deze periode is stikstof gemeten in en rondom het Liefstinghsbroek, een klein Natura 2000-gebied in de provincie Groningen dat wordt omringd door verschillende boerderijen. In het project worden meetmethodes gebruikt die bewezen effectief zijn (meetbuisjes, bulkmetingen, stalmetingen). Maar daarnaast worden ook experimentele meetmethoden ingezet (sensoren en bio-indicatoren). Samen geven de verschillende meetmethoden en resultaten een uitgebreid beeld van de stikstofsituatie in en rond het Liefstinghsbroek.

De provincie Groningen en het ministerie van LVVN gaan in 2026 en 2027 door met meten in en rond het Liefstinghsbroek. Daarbij wordt het meetnetwerk uitgebreid, zodat kan worden toegewerkt naar kwantitatieve uitspraken. Ook wordt de natuur in het totaalbeeld meegenomen en wordt het meet-netwerk geschikt gemaakt voor het meten van effecten. Daarnaast worden nieuwe meetmethoden ontwikkeld, zodat in situaties waarin met de huidige methoden geen metingen mogelijk zijn (denk bijvoorbeeld aan het meten van droge depositie op relatief kleine oppervlakken) alsnog gemeten kan worden. De looptijd van deze vervolgfase is voorzien tot en met eind 2027.

Regionale Meetnetwerken Foodvalley

Per 1 oktober 2025 zijn ook de meetnetwerken in de Foodvalley voor ruim 2 jaar verlengd. Het project is onderdeel van Meten Luchtkwaliteit Foodvalley en bouwt voort op ervaringen uit de eerste fase waarin al ruim twee jaar gemeten is binnen de Regio Deal Foodvalley. Het project voorziet in een voortzetting van de lopende metingen en uitbreiding van emissiemetingen en modelberekeningen naar 80 stallen (bedrijvenmeetnetwerk), meer dan 70 meetpunten in de buitenlucht (omgevingsmeetnetwerk) en 25 meetpunten om de natte depositie (neerslag van emissies) te meten in natuurgebieden (depositiemeet-netwerk). Daarnaast wordt gewerkt aan ondersteuning van de vergunningverlening waarbij boeren zelf kunnen bepalen hoe zij emissiedoelen bereiken. Hiermee wordt gewerkt aan de wens om vergunningen voor agrarische bedrijven in de toekomst te gaan verlenen op basis van een emissieplafond waar een bedrijf onder moet blijven.

Het omgevingsmeetnet is een fijnmazig meetnetwerk dat op meerdere plaatsen en momenten in de tijd gegevens oplevert. Dat leidt tot inzicht in veranderingen van de luchtkwaliteit en het effect van maatregelen om uitstoot van veehouderijen te verminderen. Ook kunnen de gegevens worden gebruikt om modellen indien nodig te verfijnen en optimaliseren. Zo vormt het meetnetwerk samen met verspreidingsmodellen een belangrijk hulpmiddel in de gezamenlijke inspanning van bedrijven, kennisinstellingen en overheden in Regio Foodvalley om uitstoot terug te dringen.

Regionaal Meetnetwerk Nieuwkoopse Plassen en De Haeck

TNO en het RIVM zijn in opdracht van de provincie Zuid-Holland gestart met een uitgebreid stikstofmeetnetwerk in het Natura 2000-gebied Nieuwkoopse Plassen en De Haeck. Met lokale metingen en modelberekeningen krijgen beleidsmakers beter inzicht in de herkomst en mogelijke effecten van maatregelen op stikstofdepositie. Het meetnetwerk moet antwoord geven op vier kernvragen: hoe snel neemt de natuur in het gebied stikstof op, welke bronnen dragen het meest bij aan de depositie, wat is het effect van (lokale) emissiereducerende maatregelen en welke rol speelt vliegverkeer. De focus ligt daarbij op de stikstofgevoelige veenmosrietlanden, die een groot deel van het gebied beslaan.

Om deze vragen te beantwoorden combineren TNO en het RIVM een groot aantal langdurige metingen in het gebied met geavanceerde atmosferische modellen. Sinds maart 2025 wordt de stikstofconcentratie en -depositie continu gemonitord.

De eerste resultaten van een korte meetperiode laten zien dat de laagst gemeten ammoniak-concentraties tussen de 4 en 6 microgram per kubieke meter liggen, met incidentele pieken tot boven de 50 microgram per kubieke meter. Voorlopige modelberekeningen geven daarnaast een eerste indicatie van de herkomst van stikstof in het gebied. Zo komt ongeveer een kwart van de stikstofdepositie uit bronnen binnen vijf kilometer van het Natura 2000-gebied.

Wetenschap in de praktijk: Meten met licht!

Column door Remco Suer, OnePlanet Research Center

In dit visiestuk schetsen we een mogelijke toekomst waarin geïntegreerde fotonica sensoren een sleutelrol spelen in het realtime en gebiedsgericht monitoren van milieu- en klimaatvraagstukken.

Stelt u zich eens voor: sensoren ter grootte van een luciferdoosje, onzichtbaar verwerkt in lantaarnpalen, stadsbussen of bezorgbusjes. Ze meten uiteenlopende stoffen in onze leefomgeving. En alle gegevens, mits de eigenaar toestemming geeft, komen samen in één digitaal systeem. Door die informatie te combineren met bijvoorbeeld satellietdata, ontstaat een digitale representatie van onze fysieke wereld: een digitale tweeling.

Zo'n digitale tweeling biedt ongekende mogelijkheden. Niet alleen beleidsmakers, maar ook burgers en ondernemers kunnen real-time de status van de omgeving zien en simuleren wat de impact is van hun keuzes. Wat gebeurt er met de luchtkwaliteit wanneer braakliggende grond wordt bebouwd, of juist wordt vergroend? Wat verandert er in een nabijgelegen dorp wanneer een veehouder uitbreidt met vijftig dieren – en wat als daar emissiereducerende maatregelen tegenover staan? Het is een toekomst waarin inzicht en handelingsperspectief hand in hand gaan. Die toekomst is nog niet volledig binnen bereik, maar de vraag is allang niet meer óf zij binnen handbereik komt – slechts wanneer.

Waarom fotonica relevant is voor emissiesturing

In het stikstofdossier klinkt steeds vaker de roep om meer sturing op emissies. Dat vraagt om meet- en monitoringssystemen die emissies zoals ammoniak of broeikasgassen betaalbaar, betrouwbaar en lokaal kunnen vaststellen. De afgelopen jaren zijn grote stappen gezet in stalmetingen. Gesloten en traditionele open stallen zijn inmiddels meetbaar. De uitdaging ligt bij zeer open stallen, stallen met lage concentraties, afwijkende stalvormen en bij meten in de buitenlucht (op het erf, veld en in de natuur).

Hier kan fotonica het verschil maken. Meten met licht is stabiel, selectief, betrouwbaar én gevoelig. Het vraagt nauwelijks onderhoud en hoeft haast niet gekalibreerd te worden. Bestaande hoogwaardige onderzoeksapparatuur met deze techniek is nog te duur en te groot voor grootschalige toepassing. Miniaturisatie via geïntegreerde (op chip) fotonica brengt daar verandering in.

Van doorbraak naar toepassing

De technologische ontwikkeling op het gebied van chiptechnologie beweegt razendsnel. Waar traditionele chips werken met elektronen, zetten fotonische chips in op fotonen (licht). Dat maakt ze niet alleen sneller en energiezuiniger, maar ook robuuster en kostenefficiënter. Geïntegreerde fotonica is internationaal een strategische sleuteltechnologie, waarin Nederland tot de koplopers behoort.

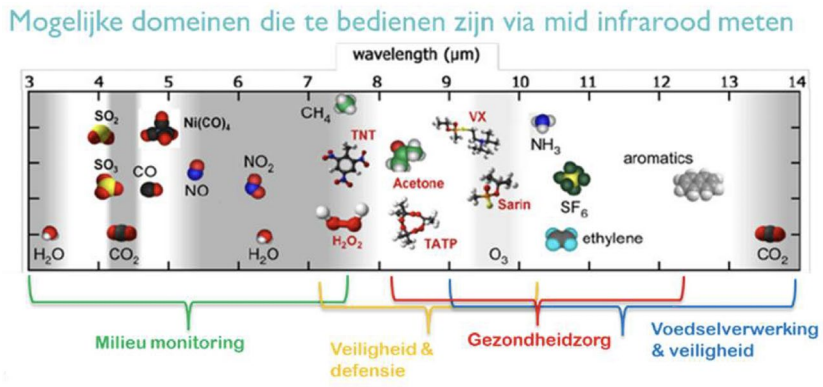
Hoe werkt dit in de praktijk?



Gasmoleculen zijn te herkennen aan de specifieke golflengtes licht die het absorbeert. Door een laser (op chip) over een reeks golflengten te laten 'tunen', kunnen meerdere stoffen met één lichtbron worden gemeten. Combineer dat met meerdere lasers op één chip en een compacte, krachtige en veelzijdige sensor ontstaat. Een huidig prototype sensor stuurt een lichtstraal van verschillende golflengtes in het begin van het infrarood gebied (SWIR) naar een spiegel aan de andere kant van een stal die het licht terugkaatst om vervolgens te kijken hoeveel licht er geabsorbeerd is door ammoniak-, methaan- en CO_2-moleculen.

De volgende stap: het middeninfrarood

De ware doorbraak dient zich echter pas aan wanneer deze technologie kan worden toegepast in het middeninfrarood gebied – de 'vingerafdrukregio' voor gasdetectie. Hier zijn de selectiviteit en signaalsterktes 100 tot 1000 keer groter dan in het nabij-infrarode gebied. Daarmee wordt het mogelijk om zelfs extreem lage concentraties, bijvoorbeeld in natuurgebieden, betrouwbaar te meten. De ontwikkeling naar het midden-infrarood, in combinatie met meerdere lasers op één chip, maakt een betaalbaar en schaalbaar meetsysteem mogelijk dat meerdere gassen tegelijk kan detecteren.

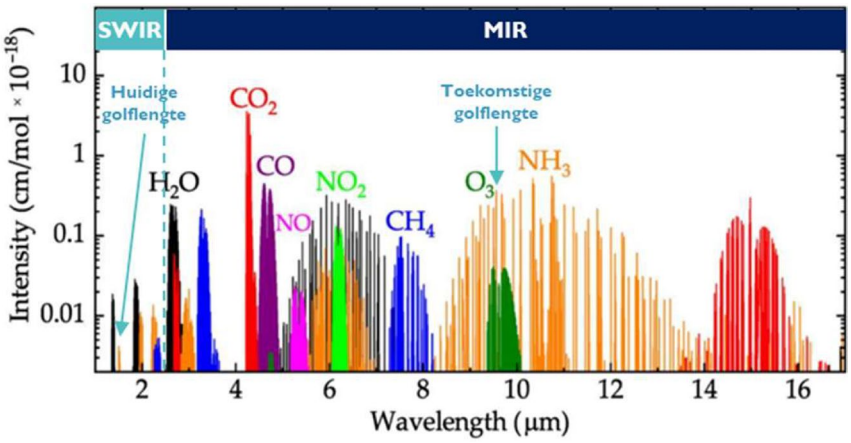


Naast gassen moeten uiteindelijk ook complexe gasmengsels, zoals geur, meetbaar kunnen worden. En de mogelijkheden reiken verder dan luchtkwaliteit: ook stoffen in water zoals nitraat, fosfaat en PFAS kunnen in principe via geïntegreerde fotonica worden gedetecteerd. Bovendien kan dezelfde hardware worden ingezet in uiteenlopende domeinen naast milieu: van non-invasieve glucosemeting in de zorg en eiwitmeting in melk tot detectie van explosieven of zenuwgassen voor defensie. Dit vergroot de potentiële markt en maakt kostenverlaging door grotere productievolumes haalbaar.

De rol van onderzoeksinstituten: de kipei-paradox doorbreken

Voor bedrijven liggen er kansen, maar opschaling wordt geremd door een kipeiparadox: er is nog geen duidelijke markt zolang beleid in ontwikkeling is, terwijl beleid moeilijk vorm krijgt zonder beschikbare en bewezen technologie. Doorbraken ontstaan juist wanneer bedrijven, kennisinstellingen en overheden gezamenlijk optrekken. Onderzoeksinstituten zoals OnePlanet Research Center spelen hierin een verbindende rol door technologische risico's te verlagen en toepassingen dichter bij de praktijk te brengen. Samen met onder meer TNO, RIVM en Wageningen University & Research wordt verkend waar onze technologie al inzetbaar is binnen actuele beleidsopgaven. Dit stelt bedrijven in staat vroeg aan te haken, mee te ontwikkelen en inzicht te krijgen in toekomstige markten en vereisten voor brede implementatie.

Met iedere ontwikkelstap komt deze toekomstvisie dichterbij: licht dat vandaag nog uit een sensor ter grootte van een flinke beamer komt, komt morgen uit een luciferdoosje. En met die kleine doosjes kunnen we samen grote maatschappelijke vraagstukken aanpakken – wetenschappelijk onderbouwd, juridisch houdbaar en praktisch toepasbaar.



5 Bedrijfsspecifiek meten van stallen

De veehouderij staat voor de opgave om emissies te reduceren en integraal te verduurzamen. De ontwikkeling en toepassing van innovatieve technologieën en managementmaatregelen om emissies te verminderen zijn daarbij essentieel. Het effect van technologieën en maatregelen hangt daarbij nauw samen met het vakmanschap van de veehouder. Waar mogelijk kan het continu meten van stalemissies verschillende doelen (of een combinatie) daarvan dienen:

1. Veehouders krijgen inzicht in wat emissies in hun stal veroorzaakt, zodat ze het kunnen verminderen;
2. Een (financiële) beloning geven aan veehouders met een lage emissie;
3. Het continu bemeten van een (nieuwe) emissiearme staltechniek of managementmaatregel om de emissiereductie daarvan vast te stellen in een emissiefactor en;
4. Doelvoorschriftenvergunning; emissieplafond in de vergunning.

Onder het NKS en het Regieorgaan 'Versnellen innovatie emissiereductie duurzame veehouderij' is de Taakgroep sensoren- en datasystemen opgericht waarin de aanpak van het continu wordt afgestemd tussen o.a. het Rijk, provincies, VNG en sectorpartijen hier wordt gefocust op doel 1, 2 en 4.

Het meten om het effect van een emissiearme staltechniek of managementmaatregel op te nemen in bijlage V en VI van de Omgevingsregeling (Voorheen Rav) is een traject wat al langer loopt via het ministerie van IenW. Hiervoor worden momenteel de kaders herzien in het programma Vernieuwing Stalbeoordeling.

Aanpak onder Taakgroep sensoren- en datasystemen

De landelijke aanpak is voor programmalijn 5, Bedrijfsspecifiek meten van stallen, beschreven in de Kamerbrief 'Toekomst bevorderen innovatie van emissiearme stalsystemen' van 25 november 2022. De taakgroep sensoren- en datasystemen die alle partijen op dat vraagstuk samenbrengt, valt ook onder het Regieorgaan 'Versnellen innovatie emissiereductie duurzame veehouderij'. In dit hoofdstuk zullen we ingaan op de behaalde resultaten van 2025. Er wordt gewerkt aan drie aspecten om bedrijfsspecifiek meten mogelijk te gaan maken:

- De ontwikkeling van stalmeetmethoden;
- Datagebruik en – uitwisseling;
- En de juridische aspecten van bedrijfsspecifiek meten.

Voor elk van deze trajecten is een coördinator aangesteld, die als taak heeft om op basis van lopende trajecten en ervaringen uit de praktijk tot landelijke richtlijnen, handreikingen en protocollen te komen.

Voortgang 2025

De ontwikkeling van stalmeetmethoden

Hoe en of emissiemetingen uit stallen plaats kunnen vinden staat omschreven in het rapport 'Richtlijnen voor het bepalen van emissies uit veestallen'. Op 23 april 2026 is versie 3 van deze meetrichtlijn aangeboden aan minister Van Essen en het ministerie van IenW. Deze versie is een doorontwikkeling van eerdere versies en de Vlaamse richtlijn voor het bepalen van de reducerende werking van nageschakelde technieken (o.a. luchtwassers) die in november 2025 is uitgekomen. Deze richtlijn is geschreven door onderzoekers van WUR, ILVO, TNO en VITO. De beleidsmatige reactie hierop komt in Voortgang Kamerbrief 'Toekomst bevorderen innovatie van emissiearme stalsystemen'.

Om de emissie uit een stal te kunnen bepalen is het belangrijk dat je de concentratie van de uitgaande lucht goed kan bepalen. Het liefste continu, wat kan via een sensor. In 2025 zijn, na de opening van de sensortestlocatie voor melkvee op de Marke, ook de sensortestlocatie voor varkens en pluimvee bij respectievelijk De Hoeve en Van Beek van start gegaan. Doel van de sensortestlocatie is om ammoniak-methaan- of fijnstofsensoren te testen, feedback te geven aan de fabrikant en als de sensoren goed genoeg zijn te beginnen met het proces van een officiële erkenning. Dit hele traject wordt uitgevoerd door WUR.

In december van 2025 heeft de A500 (DOL51) ammoniaksensor van Dräger als eerste de validatie-procedure succesvol doorlopen, volgens het 'Ontwikkel- en validatieprotocol meetinstrumenten voor gasconcentraties in bedrijfsmonitoring van NH_3 en CH_4 uit veehouderijen' (Vonk et al., 2021). Eerder was al de methaansensor van Axetris succesvol gevalideerd volgens dit protocol.

Verder is in 2025 de kennisagenda 'Continue emissiemonitoring veehouderij' vastgesteld. In deze kennisagenda is aangegeven welke thema's rondom stalemissiemetingen het Rijk, provincies, sectoren en maatschappelijke prioriteit willen geven, aangezien er te weinig capaciteit is om alle thema's op te pakken.

TNO en WUR zijn eind 2025 aan de slag gegaan met de prioritaire projecten gekoppeld aan deze kennisagenda. Deze projecten worden gefinancierd door het ministerie van LVVN en het ministerie van IenW. Voorbeelden hiervan zijn interpolatieregels voor beweiding bij melkvee en het ontwikkelen van meettechnieken voor pluimvee uitlopen.

Datagebruik en -uitwisseling

Door TNO is in 2024 het rapport 'Richtlijnen voor data-aanlevering emissiemonitoring veehouderij' opgeleverd. In dit rapport heeft TNO omschreven; hoe data aangeleverd dienen te worden bij het bevoegd gezag indien er continue emissiemetingen met sensoren plaatsvinden vanuit de vergunning. Momenteel werkt TNO aan een vernieuwde versie van deze richtlijn waarin ook meer aandacht voor cyber security is meegenomen.

Juridische aspecten van bedrijfsspecifiek meten

Vanuit het programma van Taakgroep sensoren- en datasystemen ondersteunen we provincies en gemeentes die omgevingsvergunningen voor respectievelijk Natura 2000 activiteiten of milieubelastende activiteiten willen afgeven op basis van continu meten. Dit doen we door technische expertise beschikbaar te stellen, maar ook door mee te denken over de vergunningen zelf. Dit doen we zowel voordat de vergunningen worden afgegeven maar ook als er bezwaar wordt aangetekend. In de special hieronder wordt dit verder toegelicht.

Om de geleerde lessen die uit deze nieuwe manier van vergunningverlening naar voren komen breed beschikbaar te stellen, is ook gewerkt aan een 'Wegwijzer doelvoorschriftenvergunningen stallen' waarin dit voor vergunningverleners, toezichthouders en aanvragers overzichtelijk wordt toegelicht.

Wetenschap in de praktijk: Doelvoorschriften onder de loep

Gelderse rechtbank toetst nieuwe route voor vergunningverlening

Op woensdag 25 maart 2026 heeft de rechtbank in Arnhem zich gebogen over twee natuurvergunningen voor varkensbedrijven in Gelderland, die zijn verleend op basis van doelvoorschriften; het continu meten van stal-emissies met sensoren. De zaak geldt als een belangrijke juridische toets. Houdt een vergunning stand die niet gebaseerd is op een stalsysteem, maar op een bedrijfsemissieplafond?

De zitting trok brede belangstelling vanuit de sector, kennisinstellingen en overheid. Dit omdat er een mogelijke nieuwe route voor vergunningverlening voor nieuwbouw van stallen wordt verkend. De uitkomst is daarmee van belang voor de ontwikkeling van de jurisprudentie op dit gebied.

Van middel naar doel

De kern van de twee Gelderse vergunningen is een andere manier van sturen. Daarin staat niet langer een specifieke techniek centraal (zoals een luchtwasser met een vaste emissiefactor), maar een emissieplafond op bedrijfsniveau. De vergunning gaat uit van een ondernemer die ruimte krijgt om zelf maatregelen te kiezen en ervoor zorgt dat de uitstoot onder het vastgestelde plafond blijft, wat via metingen kan worden aangetoond. Die benadering biedt in theorie meer ruimte voor stalinnovatie en nieuwbouw van stallen. Maar het stelt wel nieuwe eisen aan monitoring, borging en handhaafbaarheid. Hierover is in de rechtszaal dan ook verder gediscussieerd met betrokken overheden en de bezwaarmakers.

Wat lag er voor bij de rechtbank?

Tijdens de zitting kwam een aantal centrale vragen aan de orde:

1. Houdt doelsturing juridisch stand?

De kernvraag is of doelsturing via metingen en bijsturing voldoende zekerheid biedt binnen het natuurrecht. Daarbij speelt het voorzorgsbeginsel een belangrijke rol: kan met deze aanpak worden gegarandeerd dat emissies niet hoger uitvallen dan toegestaan? Bezwaarmakers benadrukken dat helder moet zijn hoe wordt omgegaan met meetonzekerheden: hoe verhoudt een foutmarge zich tot een hard emissieplafond? De provincie stelde daar tegenover dat overschrijding niet is toegestaan en dat door continue metingen de meetfout verwaarloosbaar klein wordt.

2. Zijn metingen voldoende betrouwbaar?

Omdat monitoring en metingen een belangrijke factor vormen in de garantie dat emissies niet hoger uitvallen dan toegestaan, ging een groot deel van de discussie over sensoren en meetmethoden. Bezwaarmakers plaatsten vraagtekens bij de nauwkeurigheid van metingen, de frequentie van de ijking en de omgang met meetonzekerheden. Zo vragen zij zich af of het vocht dat zich afzet op sensoren achter luchtwassers geen negatieve invloed heeft op de werking van die sensoren.

Tegenover die zorgen staat het argument van de provincie dat de boer juist door continue metingen en bijsturing overschrijdingen kan voorkomen en het bewijs dat kennisinstellingen zoals Wageningen University & Research leveren voor de betrouwbaarheid van de metingen.

3. Is er een voldoende 'vangnet'?

Een belangrijk onderdeel van de vergunning is het pakket aan aanvullende maatregelen dat ingezet kan worden als emissies boven het emissieplafond uit dreigen te gaan. Denk aan aanpassingen in het voer, wijzigingen in de bezetting van stallen (dierplaatsen en dieren gescheiden opleggen) en extra managementmaatregelen zoals het sproeien van vloeren en mest extra schuiven. De vraag die bij de rechtbank voorligt is of dit pakket voldoende zekerheid biedt om binnen de vergunde emissieruimte te blijven.

4. Additionaliteitsvraagstuk en zoeken naar balans

Niet alleen de details rondom het continu meten stonden centraal, maar ook het additionaliteitvraagstuk kwam in de zitting naar voren. De rechtbank benoemde expliciet de spanning die ontstaat bij het additionaliteitvraagstuk: aan de ene kant noodzaak om natuur te beschermen en aan de andere kant de vraag hoe bedrijven nog kunnen verduurzamen als vergunningverlening nauwelijks mogelijk is. In de woorden van de voorzitter: er lijkt sprake van een situatie waarin "we elkaar in de greep houden" en verouderde stallen met een relatief hoge uitstoot niet vervangen worden.

Opvolging

Alle bovenstaande genoemde punten worden door de rechtbank nu verder bekeken. De uitspraak volgt 6 tot 12 weken na de zitting.

Dit rapportage is een uitgave van het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur (LVVN). Deze uitgave is tot stand gekomen met input van RIVM, TNO, WUR, KNMI, CML, Universiteit Utrecht en OnePlanet.

Refereren aan de rapportage Voortgang Nationaal Kennisprogramma Stikstof 2025 kan als volgt: LVVN (2025), Voortgang Nationaal Kennisprogramma Stikstof 2025

MINISTERIE VAN LANDBOUW, VISSERIJ, VOEDSELZEKERHEID EN NATUUR
Bezuidenhoutseweg 73
2594 AC Den Haag
070 379 8911
www.rijksoverheid.nl/lvvn

Den Haag, mei 2026