

Toelichting Depositieberekeningen AERIUS

RIVM, 23-9-2011

Opgesteld door: Guus Velders, Margreet van Zanten, Jan Aben, Wilco de Vries, Hans van Jaarsveld, Rob Maas, Addo van Pul

Kader

In het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) wordt een analyse van de grootte van de stikstofdepositie en de herkomst uitgevoerd. Dit wordt gedaan met het rekeninstrument AERIUS 1.3. Het doel is om op basis van deze berekeningen afspraken te maken tussen Rijk en Provincies over de te bereiken doelen met betrekking tot de Natura 2000-gebieden (zogenaamde Fase IV van de PAS).

Vanuit het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) is de vraag gesteld aan RIVM en TNO om aan te geven of AERIUS 1.3 geschikt is voor dit doel. Door EL&I is aangegeven dat deze geschiktheidsstoets, ook wel validatie genoemd, uiteenvalt in:

- a) vaststellen van de toepasbaarheid voor het bestuurlijk traject;
- b) onderzoek naar doelmatigheid;
- c) is het OPS-model correct geïmplementeerd.

In overleg met EL&I is gekozen om RIVM invulling te laten geven op enkele onderwerpen die spelen bij de vragen a en b.

Dat zijn:

1. Wat is het toepassingsbereik van AERIUS 1.3: binnen welke bandbreedte kunnen de uitkomsten van AERIUS 1.3 worden toegepast in het bestuurlijk traject?
2. Wat is de (wetenschappelijke) onderbouwing van de recente aanpassingen van de depositieberekeningen?
3. Wat zijn de onzekerheden in berekende deposities op lokale schaal?

Hieronder gaan wij op deze vragen in.

1 Toepassingsbereik van AERIUS 1.3

- De onzekerheden in berekende stikstofdeposities op 1x1 km² in GDN hebben een onzekerheid van ca. 70% (1 sigma). De onzekerheid in de berekende deposities op 100x100 m² in AERIUS is niet *a priori* in te schatten maar is ongeveer van dezelfde orde van grootte.
- Ook in het geval dat veel detailinformatie over bronnen nabij een natuurgebied beschikbaar is, zal de onzekerheid nog altijd enkele tientallen procenten bedragen en dus minimaal in de orde van honderden molen per hectare per jaar zijn.
- Deze onzekerheden spelen een grote rol indien met AERIUS deposities met absolute getallen vergeleken worden, zoals met kritische depositieniveaus.

- De onzekerheid in de *relatieve* bijdrage van doelgroepen en individuele bronnen aan de depositie op een specifieke locatie is aanzienlijk kleiner dan de onzekerheid in de absolute depositie zelf en wordt grotendeels bepaald door de onzekerheden in broneigenschappen en in mindere mate door de wijze van verspreiding- en depositieberekening. Dit betekent dat er vrijwel altijd betrouwbaarheidswinst te halen is door het beschikbaar krijgen van betere broninformatie.
- Trends in de depositie en uitspraken over de te verwachte toekomstige vermindering van de stikstofdepositie bij een bepaald beleidscenario kunnen aanzienlijk nauwkeuriger vastgesteld worden dan de absolute depositie, mits rekening gehouden wordt met de variatie in meteorologische verschillen van jaar tot jaar en gecorrigeerd wordt voor tussentijdse modelaanpassingen.
- Wat betreft het detailniveau van de depositie zijn er parallellen tussen het gebruik van AERIUS en van de Monitoringstool van het NSL. Het verdient aanbeveling om bij het gebruik van AERIUS de lessen die zijn geleerd bij het NSL mee te nemen.

AERIUS 1.3 is een systeem dat is opgebouwd uit verschillende stappen. Op onderdelen kan iets over de toepasbaarheid gezegd worden. Door het ontbreken van een complete functionele beschrijving van AERIUS 1.3 kon geen analyse van de algehele toepasbaarheid gemaakt worden.

Ruwweg kan de methodiek om voor iedere willekeurige locatie in Nederland de depositie te berekenen worden onderverdeeld in vier stappen:

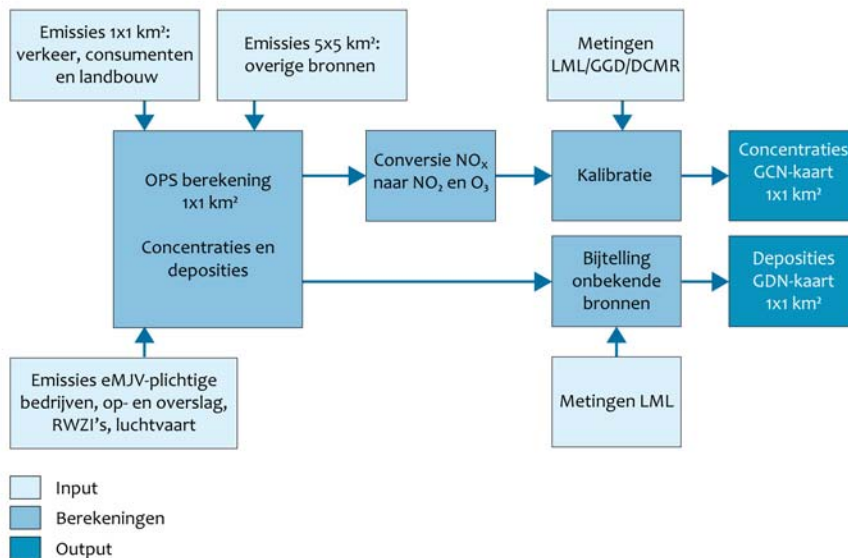
- + berekening grootschalige depositie met het OPS-model op een schaal van 1x1 km²;
- + kalibratie van de berekeningen met behulp van metingen uit het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit;
- + gedetailleerde berekening van de bijdrage van lokale bronnen met een daarvoor geschikt verspreidingsmodel;
- + Dubbeltellingscorrectie.

De eerste twee stappen leveren samen de Grootschalige Depositiekaarten Nederland (kortweg GDN-kaarten) op die jaarlijks door het RIVM worden uitgebracht. Tot 2010 werden deze kaarten vervaardigd door het PBL. Deze kaarten vormen het uitgangspunt voor de berekening van de depositie op lokale schaal in AERIUS met behulp van verspreidingsmodellen en toepassing van meer gedetailleerde informatie over lokale bronnen en landgebruik. In AERIUS worden lokale bijdragen ook berekend met het OPS-model. De correcte implementatie van het OPS-model voor de berekening van lokale bijdragen in AERIUS en eventuele dubbeltellingscorrecties is niet onderzocht vanwege het ontbreken van de functionele beschrijving.

Methode van berekenen grootschalige depositiekaarten (GDN)

Het RIVM maakt jaarlijks de grootschalige concentratie en depositiekaarten (GCN, resp. GDN, zie Velders et al., 2011). Bij de berekening met het OPS-model worden bronbijdragen uit heel Europa meegenomen.

Berekening grootschalige concentratie- en depositiekaarten



Figuur 1 geeft een overzicht van de verschillende stappen en invoergegevens die nodig zijn om de grootschalige depositie te berekenen. Nadere uitleg over deze figuur is te vinden in 'Grootschalige stikstofdepositie in Nederland' (Velders et al., 2011).

Als invoer voor het model zijn onder andere gegevens nodig over emissies, zoals sterkte, uitworphoogte en ruimtelijke en temporele verdeling van de bronnen, zowel voor Nederland als voor de andere Europese landen. Voor de Nederlandse emissies wordt gebruik gemaakt van data uit de Emissieregistratie. Van de grote industriële bronnen, die eMJV-plichtig zijn, is de locatie bekend. De emissies van de kleine industriële bronnen worden bijgeschat (landelijk totaal – individueel geregistreerd). De bijstelling wordt per bedrijfspgroep verdeeld over de overige bedrijven in Nederland naar rato van het aantal werknemers en vervolgens geaggregeerd naar oppervlaktebronnen van 5 x 5 km². De emissies van verkeer, landbouw en consumenten, die een substantiële bijdrage leveren aan depositie van stikstof, worden verdeeld over een grid met een resolutie van 1 x 1 km². Daarbij wordt gebruik gemaakt van algemene statistische gegevens die op deze schaal of fijner beschikbaar zijn, zoals voertuigkilometers, dieraantallen, landgebruik en inwoneraantal. De emissies van de overige sectoren (kleine industriële installaties, bouw en dienstensector) zijn verdeeld over een grid met een resolutie van 5 x 5 km². De buitenlandse emissies zijn eveneens beschikbaar op een resolutie van ongeveer 5x5 km² voor de buurlanden van Nederland en op een resolutie van ongeveer 30 x 30 km² voor de andere Europese landen. De zeescheepvaartemissies voor de Noordzee zijn ook beschikbaar op een resolutie van 5 x 5 km², maar die van schepen in de Nederlandse havens en binnengaats varende op een resolutie van 1x1 vierkante kilometer. De bijdragen van alle bronnen wordt sinds GCN/GDN 2011 met een resolutie van 1 x 1 km² doorgerekend.

Op de stikstofdepositie berekend met het OPS-model vinden bijstellingen plaats om te corrigeren voor het verschil tussen gemeten en berekende ammoniakconcentratie in de lucht en natte depositie van ammoniak. Hiermee wordt impliciet de bijdrage van niet-gemodelleerde bronnen in rekening gebracht, maar ook effecten van onvolkomenheden in emissies, depositiesnelheden en het OPS-model. Het toepassen van een correctie heeft tevens als voordeel dat de totale berekende depositie minder gevoelig wordt voor toekomstige veranderingen in het OPS-model. Ook vinden bijstellingen plaats voor niet-gemodelleerde bronnen van geoxideerd stikstof (NO_y) op basis van Buisman (2008).

De bijtelling voor de totale stikstofdepositie is een ruimtelijk variërende kaart over Nederland. Deze kaart wordt zowel voor het actuele jaar als voor de ramingen (2010-2030) toegepast.

Toekomstprojecties

Voor Europa zijn door het International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) nationale emissieschattingen gemaakt die lopen tot 2030 (Amann M, et al, (2010)). Officiële opgaven van landen lopen niet verder dan 2020. In de emissieberekeningen van IIASA is uitgegaan van een economische groei van gemiddeld 2% per jaar. Individuele landen gaan soms uit van optimistische veronderstellingen. De toekomstige NO_x-emissie wordt mede beïnvloed door de doorwerking van het klimaatbeleid. Neemt het gebruik van kolen, olie en gas in de verschillende landen echt zo ver af als in het huidige klimaatbeleid wordt verwacht? Er is nog weinig bekend over de uitwerking van het Europese systeem van CO₂-emissiehandel en ook rond de uitwerking van het beleid gericht op duurzame energie bestaan nog vraagtekens. Voor wat betreft de toekomstige ammoniakemissie is de herziening van het gemeenschappelijke landbouwbeleid en het loslaten van het systeem van productierechten in de veehouderij een onzeker element. Voor zowel NO_x als NH₃ bestaat er tot slot onzekerheid over de uitvoering van het Europese luchtbeleid zelf: worden de afgesproken nationale emissieplafonds echt gerealiseerd? Werken de Euronormen voor voertuigen net zo efficiënt in de praktijk als in testsituaties? Alles bij elkaar is er voldoende reden om te stellen dat er in Europa in de toekomst weliswaar een verdere vermindering van de NO_x-emissies zal optreden, maar dat de inschattingen daarvoor eerder aan de optimistische dan aan pessimistische kant zijn. Voor ammoniak wordt in Europa geen drastische emissievermindering verwacht, maar dat zou kunnen meevallen, omdat daarbij nog geen rekening is gehouden met mogelijke doorwerking van het nitraatbeleid, het beleid om het gebruik van stikstofkunstmest te beperken (mede vanwege de N₂O-uitstoot) en het algemene streven om via veevoeraanpassing in de landbouw efficiënter met mineralen om te gaan.

De buitenlandse emissieprojecties zijn dus onzeker. Daarbij dringt zich de vraag op, wie (juridisch) verantwoordelijk is voor het opvangen van deze onzekerheid. In de scenarioveronderstellingen voor de PAS (en AERIUS) wordt voor de buitenlandse emissies er van uitgegaan dat rond de te beschermen gebieden er voldoende maatregelen moeten worden genomen om een duurzame bescherming te bereiken ook al zouden Europese emissies in het geheel niet dalen. Deze aanpak wijkt af van de benadering die in de NSL wordt gehanteerd. Daar wordt het voorgenomen nationale én Europese beleid meegenomen in de berekening van de achtergrondconcentratie, waardoor lokale overheden er van kunnen uitgaan dat Rijk en Europese Commissie voor een bepaalde luchtkwaliteit garant staan.

Het verschil in opvatting over de juridische verantwoordelijkheid voor onzekerheden in Europese emissieramingen verhindert dat berekeningen voor NSL en PAS vergelijkbaar zijn en leidt tot hogere berekenings- en rapportagekosten.

Onzekerheid in depositiekaarten

De onzekerheid in de gemiddelde stikstofdepositie op Nederland wordt geschat op circa 30% (1 sigma). De onzekerheid in de lokale stikstofdepositie op 1x1 km² van de GDN-kaarten bedraagt ongeveer 70% (1 sigma).

De onzekerheid in de depositieberekeningen kan ruwweg gesplitst worden in vier oorzaken namelijk tengevolge van onzekerheden in de emissies, het landgebruik, de verspreidingsberekening en in de depositieberekening. Daarbij kan globaal gesteld worden dat voor het beschrijven van de concentratie op een bepaald punt de onzekerheden in de emissies en de verspreiding een belangrijke rol spelen en voor de beschrijving van de depositie op een locatie de onzekerheden in het landgebruik en het droge depositieproces (depositiesnelheid).

De droge depositie wordt berekend als product van de luchtconcentratie en een depositiesnelheid. Genoemde onzekerheid van 70% betreft de onzekerheid in de

jaargemiddelde droge plus natte depositie op een willekeurige gridcel van 1x1 km² in Nederland. De onzekerheid in de droge depositiesnelheid wordt voornamelijk bepaald door de ruwheid van het oppervlak en kennis van de mate waarin vegetatie ammoniak en stikstofoxiden opneemt. De onzekerheid in dit opnameproces wordt bepaald door de beperkte (experimentele) kennis van fysisch-chemische eigenschappen van vegetatiesoorten. Deze onzekerheid in depositiesnelheden voor diverse vegetatiesoorten is vooral systematisch van aard. Een verdere ruimtelijke detaillering verbetert wel de informatie over de ruwheid van het oppervlak maar draagt maar beperkt bij in een verbeterde modellering van het opnamedeel van het depositieproces omdat slechts voor een beperkt aantal vegetatieklassen het opnameproces gemodelleerd kan worden. Afhankelijk van de kennis over dit opnameproces kan de onzekerheid verkleind worden. Maar er blijft een relatief grote systematische onzekerheid bestaan.

Luchtconcentraties zijn over het algemeen veel nauwkeuriger bekend dan depositiesnelheden. Emissies en emissie-eigenschappen bepalen voor een belangrijk deel de nauwkeurigheid waarmee luchtconcentraties bepaald kunnen worden. De afwijkingen in berekeningen ten opzichte van de werkelijkheid zijn vooral van willekeurige aard. Deze afwijkingen worden kleiner naarmate men middeling in ruimte en tijd toepast.

Een belangrijk deel van de onzekerheden is ieder jaar min of meer hetzelfde, zoals bijvoorbeeld de onzekerheid in de verspreiding en depositieberekening en in het landgebruik. In mindere mate geldt dit ook voor de locatie en sterkte van, vooral lokale, bronnen. Het totaal van de onzekerheden is van groot belang indien absolute getallen vergeleken worden, bijvoorbeeld wanneer berekende deposities worden vergeleken met kritische depositieniveaus. Indien daarentegen verschillen tussen modelberekeningen onderling (bijvoorbeeld trends of beleidsscenario's) vergeleken worden spelen de onzekerheden in de verspreiding en depositieberekening een kleine rol. In dat geval spelen voornamelijk de onzekerheden in de emissies een rol. Dit betekent dus dat de kwaliteit van de uitspraak of de depositie verandert voor het merendeel bepaald wordt door de kwaliteit van de emissies. Dus de onzekerheid in relatieve bijdragen (doelgroepen, individuele stallen, scenario's) kan wel worden beïnvloed door bijvoorbeeld hogere ruimtelijke resoluties te kiezen. Alles hangt natuurlijk af van de beschikbaarheid van actuele en specifieke gegevens.

Bij trends moet nog wel rekening worden gehouden met meteorologische fluctuaties die op landelijke schaal variaties geven in jaargemiddelde deposities van minimaal 10%. Deze meteorologische variaties kunnen voor de doorrekening van beleidsscenario's worden verminderd door van de gemiddelde meteorologische toestand over een aantal jaren uit te gaan.

Toepassingsbereik ruimtelijke schaal GDN-kaarten

Zoals hierboven is beschreven worden de grootschalige depositiekaarten berekend op een resolutie van 1x1 km². Dit is dus ook de hoogste resolutie waarop de kaarten technisch kunnen worden gepresenteerd en gebruikt in berekeningen van natuureffecten. Naast de totale depositie berekent het RIVM ook de bijdragen van de verschillende doelgroepen aan de depositie op een resolutie van 1x1 km². De onzekerheid in de *absolute* bijdrage van een enkele sector is groter dan de hierboven genoemde onzekerheid van 70% omdat de onzekerheid in de emissieverdeling van een enkele sector groter is dan de onzekerheid in de verdeling van alle bronnen samen (de verfijning van emissiegegevens naar 1x1 km² is immers uitgevoerd op basis van algemene statistische gegevens). Daarnaast zijn de berekende bronbijdragen niet te valideren met metingen. Om schijnexactheid te voorkomen raadt het RIVM daarom aan de absolute bronbijdragen te presenteren op een resolutie van minimaal 5x5 km².

De onzekerheid in de *relatieve* bijdrage van een sector is juist kleiner dan 70% omdat de onzekerheden in de modelparameters dan tegen elkaar wegvallen.

Toepassingsbereik detail depositieberekeningen AERIUS

De onzekerheden in de berekende depositieniveaus op 1x1 km² in de GDN-kaarten worden gesteld op 70% (1 sigma), hetgeen bij de gemiddelde depositie over Nederland overeenkomt met meer dan 1000 mol/ha/jaar. Zoals aangegeven wordt deze onzekerheid bepaald door de onzekerheden in de emissies, het landgebruik, de verspreidingsberekening en in de depositieberekening.

In AERIUS wordt de depositie op een schaal van 100x100 m² berekend. Deze berekening is opgebouwd uit een combinatie van de achtergronddepositie uit de GDN-kaart op 1x1 km² plus een aantal afzonderlijke OPS-berekeningen waarbij preciezer de bronlocatie en -sterkte en het landgebruik bekend zijn. De onzekerheid in de 100x100 m² depositie is een combinatie van de onzekerheid in de depositie uit de GDN-kaart en de onzekerheid in de afzonderlijke OPS berekeningen. Bij de GDN-berekeningen wordt de lokale onzekerheid in de schatting van de depositiesnelheid voor een groot deel bepaald door de onzekerheid in het landgebruik (is er een verschil tussen het landgebruik waarmee gerekend en het werkelijke landgebruik?) en de onzekerheid in de parametrisatie van de droge depositiesnelheid. In de afzonderlijke OPS berekeningen is de onzekerheid ten gevolge van onzekerheden in landgebruik kleiner (mits er daadwerkelijk met locatie-specifiek landgebruik wordt gerekend) en wordt de onzekerheid in de depositiesnelheid meer door de onzekerheid in de parametrisatie bepaald. Wat nu de totale onzekerheid is in de 100x100 m² berekening is niet *a priori* te zeggen en hangt sterk af van hoe groot het gebied en het aantal bronnen is dat opnieuw en met verbeterde informatie wordt uitgerekend. Daarnaast is het zeer belangrijk dat de locatie-specifieke informatie van goede kwaliteit is; zo niet, dan wordt het juist het tegendeel bereikt van wat men beoogt.

Als de achtergronddepositie dominant blijft, hetgeen het geval is voor kleine gebieden en weinig bronnen, zal de onzekerheid in de 100x100 m² depositie voornamelijk door de onzekerheid in de GDN-kaart bepaald blijven. Stel echter dat voor een groot gebied, bijvoorbeeld 30x30 km², opnieuw gerekend wordt met zeer gedetailleerde lokale informatie dan zal de onzekerheid in depositie zeker verkleind worden, maar nog altijd enkele tientallen procenten bedragen (enkele honderden mol/ha/jaar).

In de vergelijking van de bijdragen van doelgroepen of individuele bronnen aan de depositie op een 100x100 m² grid wordt de onzekerheid voornamelijk bepaald door de onzekerheden in de emissies en in de verspreidingsberekening maar niet in depositieberekening. Daarmee is een grote bron van onzekerheid niet aanwezig. Dit maakt dat een vergelijking van de bijdragen van de verschillende doelgroepen of individuele bronnen aanzienlijk zekerder is dan bijvoorbeeld het vergelijken van de totale depositie met de kritische depositiewaarden. Dit geldt met name voor dezelfde type bronnen die niet ver uit elkaar liggen (bijvoorbeeld vergelijking van stalbijdragen). In die gevallen is de vergelijking van de bijdragen van twee bronnen enkel een gevolg van de onzekerheden in de emissies (bronhoogte, -locatie, -sterkte). Hoe groot echter de onzekerheden in de emissies zelf zijn kan niet op voorhand gezegd worden.

Ook bij het vergelijken van emissiescenario's spelen de onzekerheden met betrekking tot de verspreiding en depositiemodellering in OPS een veel kleinere rol. De verschillen tussen de scenario's zijn dan voornamelijk het gevolg van veranderende emissies of emissiekaracteristieken.

Wat betreft het detailniveau van de depositie zijn er parallellen tussen het gebruik van AERIUS en van de Monitoringstool van het NSL. Het verdient aanbeveling om bij het gebruik van AERIUS de lessen die zijn geleerd bij het NSL mee te nemen. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het gebruik van een 'niet in betekende mate' bijdrage van een lokale bron aan de depositie.

2 Recente veranderingen in de (depositie)modellering

- Recente veranderingen in het OPS-model, en met name in de beschrijving van het droge depositieproces, hebben geleid tot een daling in de gemiddelde stikstofdepositie in Nederland. De veranderingen in de droge depositiebeschrijving komen voort uit nieuw onderzoek in Nederland waarmee vastgesteld is dat de depositiesnelheid boven gras aanzienlijk lager is dan eerder aangenomen.
- Jaarlijks vinden verbeteringen plaats in de rekenmethodiek die kleine of grotere gevolgen voor de GDN-kaarten inhouden. Dit betreffen niet alleen aanpassingen in het OPS-model, maar ook scenariowijzigingen en/of wijzigingen in de bronkarakteristieken.
- Raadzaam is om na te gaan hoe omgegaan kan worden met deze veranderingen in AERIUS.
- Het is belangrijk dat zo spoedig mogelijk wordt vastgelegd met welke frequentie de grootschalige achtergrondkaarten en de voor de dubbeltellingscorrectie benodigde emissiebestanden en emissieprojecties voor AERIUS, moeten worden geactualiseerd.
- Het is aan te bevelen dat EL&I zich aansluit bij het proces van verbetering van de inzichten in emissies en verspreidingsberekeningen waarvan de timing en verantwoordelijkheden zijn vastgelegd in het GCN/GDN-protocol (afspraak tussen RIVM, PBL en ministerie van I&M).

Vóór 2009 waren de gemeten ammoniakconcentraties in de lucht gemiddeld circa 40% hoger dan de berekende concentraties, het zogenaamde ammoniakgat. In de jaren daarvoor is er daarom door het RIVM, PBL, ECN en Wageningen Universiteit gezocht naar een verklaring voor dit systematische verschil. Een verschil tussen berekende en gemeten concentraties kan namelijk zowel een gevolg zijn van te laag ingeschatte emissies als van een te hoog ingeschatte verwijdering uit de atmosfeer door middel van het (droge) depositieproces. Metingen wezen uit dat het grootste deel van het concentratieverschil tussen berekeningen en metingen toe te schrijven was aan een te snelle verwijdering van ammoniak uit de lucht (Van Pul et al., 2008).

Veranderingen in de depositieberekening

De meeste (van de spaarzame) metingen aan de droge depositie van ammoniak zijn in het verleden uitgevoerd in natuurgebieden. Daar spelen immers de problemen met betrekking tot de ammoniakbelasting vanuit de atmosfeer. De depositiebeschrijving in het OPS-model (DEPAC genaamd) is gebaseerd op dit soort metingen. Hoe groot de depositie op landbouwgebied is, werd in het verleden zeer beperkt onderzocht (droge depositiemetingen zijn technisch lastig en relatief duur), terwijl landbouwareaal meer dan de helft van het Nederlandse landoppervlak uitmaakt. Daarom zijn tussen 2004 en 2006 in het kader van het ammoniakgatonderzoek depositiemetingen uitgevoerd door RIVM en WUR op agrarisch gebied; namelijk onbemest grasland. Uit deze metingen bleek dat de snelheid waarmee ammoniak uit de atmosfeer verdwijnt lager is dan eerder werd verondersteld. Planten blijken onder bepaalde meteorologische omstandigheden niet alleen ammoniak op te nemen maar ook uit te kunnen stoten. Het proces is reeds langer bekend (o.a. Sutton et al., 1998, Nemitz et al., 2001, Wichink Kruit et al., 2007, Fowler et al., 2009) maar het effect is pas recentelijk gekwantificeerd zodanig dat het in modellen ingebouwd kan worden. Naar aanleiding van deze inzichten en op basis van de verrichte metingen boven grasland in Nederland (Wichink Kruit et al., 2010 en Wichink Kruit, 2010) zijn in de DEPAC-module zogenaamde

compensatiepunten ingebouwd waarmee het effect van ammoniakuitstotende vegetatie berekend wordt. Hiernaast zijn ook nog enkele andere wijzigingen in de DEPAC-module doorgevoerd. Een korte toelichting op alle wijzigingen in de DEPAC-module is te vinden in Velders et al. (2010), terwijl voor een volledig en zeer gedetailleerd overzicht van Zanten et al. (2010) geraadpleegd kan worden.

Veranderingen in het OPS-model

Tegelijkertijd met de aanpassing van de DEPAC-module zijn er veranderingen in het OPS-model zelf aangebracht. Deze betreffen de verdere verbetering van de beschrijving van concentratie en depositie binnen een oppervlaktebron en de beschrijving van de brondepletie (afname van emissie door depositie en omzetting) tussen bron en receptor met behulp de gemiddelde ruwheid en het dominant landgebruik langs het trajectorie. De eerste verandering heeft vooral effect voor zeer lage bronnen, zoals de ammoniakverdamping na het uitrijden van mest. Voor het bepalen van de brondepletie werd voorheen gebruikgemaakt van de gebiedsgemiddelde ruwheid.

Gevolgen van de veranderingen in OPS en DEPAC

Als de gemodelleerde snelheid waarmee ammoniak uit de atmosfeer verwijderd wordt afneemt wordt de hoeveelheid ammoniak die netto op de grond en vegetatie terecht komt ook lager dan eerder berekend en als gevolg stijgt de berekende concentratie. Vergelijking van de nieuwe berekeningen met metingen laat zien dat meting en model beter overeenkomen (Velders et al., 2010).

Voor een specifieke locatie is het uiteindelijke effect afhankelijk van de toegepaste landgebruikklasse maar voor de in Nederland veelvoorkomende landgebruikklasse gras is het netto effect een verlaging van de depositiesnelheid met een factor twee. Aangezien de depositie berekend wordt door de concentratie te vermenigvuldigen met de depositiesnelheid levert dit vooral in gebieden waar de ammoniakconcentratie hoog is fors lagere depositiegetallen op. Deze verschillen vallen binnen de lokale onzekerheidsmarge van 70%.

De invloed van de aanpassingen in OPS en van de nieuwe modellering van de depositiesnelheid van ammoniak zijn afzonderlijk bepaald ten opzichte van de tot dan gebruikte OPS- en DEPAC-versies. Dit is gebeurd met dezelfde emissies, meteorologie en landgebruik als toegepast in de GCN2009 (zie ook Tabel 1).

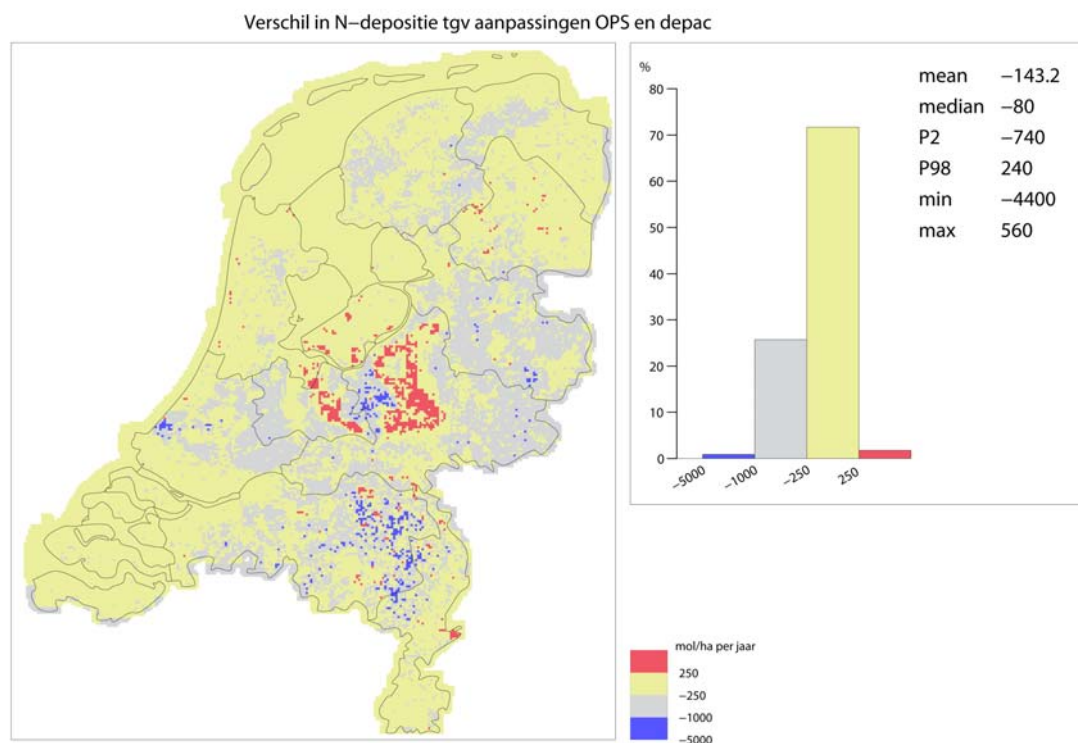
Tabel 1 Relatieve verandering in de ammoniakconcentratie en –depositie ten gevolge van veranderingen in OPS en de droge depositiebeschrijving in OPS (met DEPAC), gemiddeld voor Nederland en op lokaal niveau. De range van de verandering op lokaal niveau is aangegeven met het 2-percentiel en het 98-percentiel. Voor de beschrijving van de veranderingen wordt verwezen naar de tekst.

Verandering	Ammoniakconcentratie		Ammoniakdepositie (droog en nat samen)	
	Gemiddeld over Nederland (*)	Op lokaal niveau (1x1 km ²),	Gemiddeld over Nederland (*)	Op lokaal niveau (1x1 km ²)
OPS	-1%	-13% tot +9%	+4%	-4% tot +165%
OPS en DEPAC	+29%	+5% tot +60%	-13%	-47% tot +63%

*) incl. IJsselmeer en Waddenzee

De aanpassingen aan het OPS-model hebben ook invloed op depositie van geoxideerd stikstof (NO_y). Gemiddeld neemt de depositie toe met 10%, op lokaal niveau variërend van +4% tot +15%.

In Figuur 2 is het verschil in berekende N-depositie per 1x1 km² gridcel weergegeven. In de landbouwgebieden neemt de depositie af. In de bosgebieden Veluwe en Utrechtse heuvelrug neemt de depositie toe. In de overige delen van Nederland is de verandering gemiddeld minder dan 250 mol per hectare per jaar.



Figuur 2 Verschil in berekende depositie tengevolge van aanpassingen aan OPS en de droge depositiemodule DEPAC.

Verhoging van de resolutie van de buitenlandse emissies

Tot en met GCN 2010 werd de bijdrage van het buitenland berekend met een resolutie van 5x5 km². Voor de concentratie van NO_x is deze resolutie afdoende. In het rapport Grootschalige stikstofdepositie in Nederland (Velders et al., 2010) is aangetoond dat deze resolutie voor de berekening van de bijdrage van het buitenland en de Noordzee aan de N-depositie niet voldoende is omdat de oppervlaktekarakteristieken bij land/zee overgangen dan niet goed worden beschreven. In dit rapport (Figuur 5.4 in bovengenoemd rapport) laat zien dat de stikstofdepositie op het merendeel van de Natura 2000-gebieden toeneemt als ook de bijdrage van het buitenland met een resolutie van 1x1 km² wordt berekend. Met name voor de duingebieden is de verhoging significant. Daarom is deze resolutie vanaf 2011 voor alle bronnen toegepast.

Overgang van LGN3 naar LGN6

In de GCN/GDN ronde van 2011 zijn de ruwheidskaart en de kaart met dominant landgebruik die als invoer dienen voor het OPS-model geactualiseerd. Beide kaarten zijn afgeleid van Landgebruik Nederland (LGN). De overstap van versie 3 naar versie 6 was noodzakelijk omdat LGN3 de situatie van midden jaren '90 beschrijft en dus verre van actueel is. Gemiddeld voor Nederland heeft deze aanpassing weinig invloed op de N-depositie (+5 mol/ha per jaar), maar op lokaal niveau (1x1 km² gridcel) kunnen de verschillen zeer groot zijn. Over het domein van de GCN/GDN-berekeningen variëren de verschillen tussen -300 (2-

percentiel) en +440 (98-percentiel) mol/ha per jaar (zie ook figuur 6.2 in Velders et al., 2011). Deels zijn deze verschillen reëel en het gevolg van werkelijk veranderd landgebruik, deels zijn de verschillen artificieel en reflecteren ze verschillen in classificatiemethodieken of classificatiefouten. In dat geval illustreren de verschillen de onzekerheid in de N-depositie op lokale schaal.

Toekomstige veranderingen in de modellering en actualisatie van gegevens

Omdat het RIVM de stand van de wetenschap volgt vinden elk jaar verbeteringen plaats in de rekenmethodiek die kleine of grotere gevolgen voor de GDN-kaarten inhouden. Dit betreffen niet alleen aanpassingen in het OPS-model, maar ook scenariowijzigingen en/of wijzigingen hoe de emissiecijfers gespecificeerd worden. Vraag is hoe het beste omgegaan kan worden met deze verbeteringen. Deels wordt het effect van deze veranderingen gedempt omdat in de berekeningen een bijtelling plaatsvindt voor onverklaarde depositie. Als door een verbeterde procesbeschrijving of verbeterde emissiecijfers meer depositie verklaard wordt, daalt de bijtelling voor het onverklaarde deel.

Het is belangrijk dat zo spoedig mogelijk wordt vastgelegd met welke frequentie de grootschalige achtergrondkaarten en de voor de dubbeltellingscorrectie benodigde emissiebestanden en emissieprojecties voor AERIUS moeten worden geactualiseerd. Al eerder is gewezen op de synergiewinst die gehaald kan worden bij het harmoniseren van de veronderstelde buitenlandse emissieontwikkelingen. Tevens is het verstandig dat EL&I aansluiting zoekt bij het proces van verbetering van de inzichten in emissies en verspreidingsberekeningen waarvan de timing en verantwoordelijkheden zijn vastgelegd in het GCN-protocol.

3 Conclusie toepasbaarheid AERIUS

De onzekerheden in depositieberekeningen op $1 \times 1 \text{ km}^2$ in de GDN-kaarten hebben een onzekerheid van ca. 70% (1 sigma). De onzekerheid in de berekende deposities op $100 \times 100 \text{ m}^2$ in AERIUS is niet *a priori* in te schatten maar ongeveer van dezelfde orde van grootte. De onzekerheid hangt sterk af het aantal bronnen om het natuurgebied waarvoor opnieuw in AERIUS de depositie uitgerekend wordt. Als een relatief groot gebied, bijvoorbeeld $30 \times 30 \text{ km}^2$, beschouwd wordt, dan kan de onzekerheid aanzienlijk kleiner worden mits gedetailleerde bron- en landgebruiksinformatie wordt toegepast. Maar ook in dat geval zal de onzekerheid nog altijd enkele tientallen procenten bedragen en dus minimaal in de orde van honderden molen per hectare per jaar zijn.

Deze onzekerheden spelen een grote rol indien met AERIUS deposities met absolute getallen vergeleken worden, zoals met kritische depositieniveaus.

De onzekerheid in de *relatieve* bijdrage van doelgroepen en individuele bronnen aan de depositie op een specifieke locatie is aanzienlijk kleiner dan de onzekerheid in de absolute depositie zelf en wordt grotendeels bepaald door de onzekerheden in broneigenschappen en in mindere mate door de wijze van verspreiding- en depositieberekening. Dit betekent dat er vrijwel altijd betrouwbaarheidswinst te halen is door het beschikbaar krijgen van betere broninformatie.

Trends in de depositie en uitspraken over de te verwachte toekomstige vermindering van de stikstofdepositie bij een bepaald beleidscenario kunnen aanzienlijk nauwkeuriger vastgesteld worden dan de absolute depositie, mits rekening gehouden wordt met de variatie in meteorologische verschillen van jaar tot jaar en gecorrigeerd wordt voor tussentijdse modelaanpassingen.

Referenties

Amann M, et al , (2010), Cost-effective emission reductions to improve air quality in Europe in 2020. CIAM-report 1/2010, IIASA, Austria

Buijsman, E. (2008) De bijdrage van niet-gemodelleerde bronnen aan de verzurende en vermestende depositie. PBL-rapport 550039001, Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.

Fowler, D. en 56 co-auteurs (2009) Atmospheric composition change: ecosystems-atmosphere interactions. *Atmospheric Environment* 43: 5193-5267.

Nemitz, E., C. Milford C. and M.A. Sutton (2001) A two-layer canopy compensation point model for describing bi-directional biosphere-atmosphere exchange of ammonia. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 127: 815-833.

Pul, W.A.J. van, M.M.P. van den Broek, H. Volten, A. van der Meulen, A.J.C. Berkhout, K.W. van der Hoek, R.J. Wichink Kruit, J.F.M. Huijsmans, J.A. van Jaarsveld, B.J. de Haan en R.B.A. Koelemeijer (2008) Het ammoniakgat: onderzoek en duiding. Report 680150002. RIVM, Bilthoven.

Sutton, M. A., J.K. Burkhardt, D.Guerin, E. Nemitz and D. Fowler (1998) Development of resistance models to describe measurements of bi-directional ammonia surface-atmosphere exchange, *Atmospheric Environment* 32: 473-480.

Velders, G.J.M., J.M.M. Aben, J.A. van Jaarsveld, W.A.J. van Pul, W.J. de Vries, M.C. van Zanten (2010) Grootschalige stikstofdepositie in Nederland. Analyse bronbijdragen op provinciaal niveau. Report 500088007. RIVM, Bilthoven.

Velders, G.J.M., J.M.M. Aben, B.A. Jimmink, E. van der Swaluw en W.J. de Vries. (2011). Grootschalige concentratie en depositiekaarten Nederland. Rapportage 2011. RIVM 680362001.

Wichink Kruit, R.J., W.A.J. van Pul, R.P. Otjes, P. Hofschreuder, A.F.G. Jacobs and A.A.M. Holtslag (2007) Ammonia fluxes and derived canopy compensation points over non-fertilized agricultural grassland in The Netherlands using the new gradient ammonia - high accuracy - monitor (GRAHAM). *Atmospheric Environment* 41: 1275-1287.

Wichink Kruit, R.J., W.A.J. van Pul, F.J. Sauter, M. van den Broek, E. Nemitz, M.A. Sutton, M. Krol and A.A.M. Holtslag (2010) Modeling the surface-atmosphere exchange of ammonia. *Atmospheric Environment*, Vol. 44, 7: 877-1004.

Wichink Kruit, R.J. Surface-atmosphere exchange of ammonia. Measurements and modeling over non-fertilized grassland in the Netherlands. PhD thesis, Wageningen University, 175 pages

van Zanten, M.C., F.J. Sauter, R.J. Wichink Kruit, J.A. van Jaarsveld, W.A.J. van Pul (2010) Description of the DEPAC module. Dry deposition modeling with DEPAC_GCN2010. Report 680180001, RIVM, Bilthoven