

Notitie M10342 TNO VERTROUWELIJK

Aan  
Ministerie van LNV  
T.a.v. [REDACTED]  
Bezuidenhoutseweg 73  
2594 AC Den Haag

Van  
[REDACTED]

Onderwerp  
Afbakening in de modellering van depositiebijdragen van individuele  
projectbijdragen (Fase 2) Versie 3

**Circular Economy &  
Environment**

Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T +31 88 866 42 56  
F +31 88 866 44 75

**Datum**

26 april 2022

**Onze referentie**  
100342643

**E-mail**  
[REDACTED]**Doorkiesnummer**  
[REDACTED]

## Samenvatting

De Wet Natuurbescherming in Nederland heeft tot doel door middel van toestemmingsverlening (voortoetsen en toestemmingsbesluiten) te voorkomen dat plannen en projecten de natuurlijke kenmerken van Natura 2000-gebieden aantasten. Om te onderzoeken of een plan of project doorgang kan vinden wordt de stikstofdepositie van projecten waarbij stikstofverbindingen naar lucht worden uitgestoten berekend met het instrument AERIUS Calculator. Dit is het verplichte rekeninstrument voor de berekening van de door projecten veroorzaakte stikstofdepositie op daarvoor gevoelige habitats van Natura 2000-gebieden. AERIUS Calculator bevat daartoe modellen waarmee de verspreiding van de uitgestoten stikstofverbindingen door de lucht en de depositie op natuurgebieden kan worden berekend. De berekende depositie wordt ecologisch beoordeeld, waarbij onder andere rekening wordt gehouden met het gegeven of al sprake is van een (naderende) overschrijding van de Kritische Depositie Waarde<sup>1</sup> (KDW) die voor elk type natuur is afgeleid. Als niet kan worden uitgesloten dat een project – al dan niet in cumulatie met andere plannen en projecten – significante gevolgen kan hebben voor een Natura 2000-gebied zijn mitigerende maatregelen noodzakelijk. Bij het toetsen van plan- en projectbijdragen wordt dus altijd onderzocht of de som van de huidige achtergronddepositie, de plan- en/of projectbijdrage en de depositie van andere vergunde, maar nog niet (geheel) gerealiseerde projecten, de KDW overschrijdt of nadert<sup>2</sup>.

In fase 1 van dit onderzoek is ingegaan op de modellen die in AERIUS worden gebruikt voor berekening van de depositie van stikstofverbindingen op natuurgebieden. Belangrijk is de maximale afstand tot de emissiebron, waarbinnen deze modellen betrouwbaar kunnen worden

<sup>1</sup> De grens waarboven het risico bestaat dat de kwaliteit van het habitat significant wordt aangetast door de verzurende en/of vermestende invloed van atmosferische stikstofdepositie (Van Dobben & Van Hinsberg, 2008).

<sup>2</sup> Bij de bepaling van een nadere overschrijding van de KDW wordt een marge van 70 mol/ha/jaar ( $\approx 1$  kg N/ha/jaar) aangehouden. Indien de totale depositie hoger is dan de KDW minus deze marge, is sprake van een naderende overschrijding (bij een KDW van bijvoorbeeld 700 mol/ha/jaar is bij waarden hoger dan 630 mol/ha/jaar sprake van een naderende overschrijding).

TNO VERTROUWELIJK

gebruikt voor de berekening van door projecten veroorzaakte stikstofdepositie<sup>3</sup>; het zogenaamde toepassingsbereik. Op basis van de uitgevoerde analyses in fase 1 is geconcludeerd dat er voldoende technisch-modelmatige argumenten zijn om het toepassingsbereik van deze modellen voor de berekening van de depositie als gevolg van de emissies door individuele projecten te beperken tot 25 km. Belangrijke argumenten daarbij zijn dat validatie van de AERIUS-modellen voor individuele projecten niet is uitgevoerd tot op grotere afstanden dan 20 km en dat de onzekerheid sterk toeneemt met de afstand. Binnen deze afstand kunnen met OPS dus voldoende betrouwbare uitspraken worden gedaan. Het ontbreken van validatie voor berekening van de bijdragen van individuele bronnen op grotere afstanden betekent de uitkomsten een onduidelijke betekenis hebben. Er is bijvoorbeeld niet aangetoond of de berekende depositie nog te onderscheiden is van nul. De onzekerheid is onbekend, mede omdat de omstandigheden op grotere afstanden anders zijn en andere processen, onder deze omstandigheden, een andere rol kunnen gaan spelen. Deze overwegingen hebben ook een rol gespeeld bij de vaststelling van het toepassingsbereik van het in Nederland ontwikkelde Nieuw Nationaal Model (NNM, het in Nederland in veel gevallen<sup>4</sup> voorgeschreven, *consensus*-model) dat een grote overeenkomst heeft met het OPS-model. Voor het NNM geldt een toepassingsbereik van 25 km. Daarbuiten worden geen resultaten berekend. Berekeningen van de depositie van een enkel project met AERIUS zouden ook niet moeten worden uitgevoerd op afstanden groter dan 25 km van de bron. Het kabinet heeft op basis van de argumenten die in de RIVM- en TNO-studies over dit onderwerp zijn aangedragen de maximale rekenafstand van 25 km ingevoerd bij berekeningen met AERIUS Calculator in het kader van de toestemmingsverlening.

In fase 2 van dit onderzoek wordt nader ingegaan op de kwantificering van de onzekerheden in de modellering van de verspreiding en de relatie met de afstand tot de bron, en is bovendien gekeken naar de onderbouwing van de waarde van de *rekenkundige ondergrens*. Deze onderwerpen sluiten ook aan bij de bevindingen en aanbevelingen van de commissie Hordijk met betrekking tot de gevraagde nauwkeurigheid en de onzekerheden in de uitkomsten van berekeningen met AERIUS Calculator.

#### *Onzekerheid in de berekende depositie*

De onzekerheid van de berekende depositie ten gevolge van een enkele bron en het verloop daarvan met de afstand tot de bron kan eigenlijk alleen bepaald worden door vergelijking met gemeten depositie (validatie). Bij het ontbreken van metingen van de depositie wordt validatie vaak gedaan aan de hand van metingen van de concentratie in lucht en neerslag<sup>5</sup>. Maar ook metingen van de concentratie als gevolg van de emissie van een enkele bron, op grotere afstanden, zijn zeer schaars. De onzekerheid in de berekende depositie is in fase 2 daarom onderzocht aan de hand van een

<sup>3</sup> Bijvoorbeeld in het kader van toestemmingverlening en milieueffectrapportages

<sup>4</sup> Zoals de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007

<sup>5</sup> Metingen van depositie ten behoeve van validatie ontbreken doorgaans. Omdat de onzekerheid in de depositie voor een belangrijk gedeelte wordt gevormd door die in de concentratie is dit de beste optie.

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643Blad  
2/33

TNO VERTROUWELIJK

beperkte **gevoeligheidsanalyse** van het model. Daarbij worden parameters die de uitkomsten van modelberekeningen (zoals de depositiesnelheid, ruwheid van het oppervlak enzovoort) bepalen, gevarieerd. Elke variatie leidt tot andere berekende deposities. De spreiding<sup>6</sup> in de berekende depositie is een maat voor de onzekerheid in deze depositie, voor zover deze samenhangt met de parameters die zijn betrokken in de gevoeligheidsanalyse. Mede omdat lang niet alle parameters kunnen worden gevarieerd is de berekende variatiecoëfficiënt een onderschatting van de werkelijke onzekerheid. Uit de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse blijkt het volgende:

- De variatiecoëfficiënt in de berekende depositie van ammoniak en stikstofdioxiden van een enkele bron neemt sterk toe met de afstand. Voor ammoniak is deze op een afstand van 25 tot 50 km zo'n 40% om te stijgen tot bijna 120% op een afstand van 200 km. Voor stikstofdioxiden neemt de variatiecoëfficiënt met de afstand toe van zo'n 40 % op 10 km naar 120 % vanaf 50 km.
- Verder blijkt uit het fase 2 onderzoek dat de onzekerheid in de depositie door emissies van één enkele bron aanzienlijk groter is dan de onzekerheid in de gecumuleerde depositie ten gevolge van de emissies van een groter aantal bronnen. Dit is onderzocht voor een groep van 15 verschillende bronnen op verschillende locaties. De variatie- coëfficiënt van de depositie berekend uit de emissie van deze bronnen is vergeleken met die berekend uit de emissie van één bron. De onzekerheid in de schatting van de depositie voor 15 bronnen is een factor 2 tot 3 kleiner dan die in schatting voor één bron

In fase 1 is aangegeven dat het, op grond van statistische en modelmatige overwegingen, aannemelijk is dat de onzekerheid in stikstofdepositieberekeningen voor individuele inrichtingen op afstanden van meer dan 25 km van de bron, groter is dan een factor 2. De bovengenoemde percentages die uit de gevoeligheidsanalyse naar voren komen hebben betrekking op de gevoeligheid van de uitkomsten voor de onzekerheden in de beschouwde parameters. De gevoeligheidsanalyse betreft dus niet alle onzekerheden en is niet bedoeld als onderbouwing van die factor 2, De omvang van de onzekerheden en het verloop over de afstand sluiten evenwel nauw aan bij de in fase 1, op basis van literatuur en *expert judgement* uitgevoerde analyse en conclusies daaruit. De onzekerheid van de berekende depositie speelt verder in het berekenen van de bijdrage van projecten geen rol. Het is belangrijk in te zien dat de uitgevoerde analyse beperkt is en daarmee slechts een eerste (orde) schatting. Niet alle parameters konden worden gevarieerd en het model bevat niet alle processen die van belang (kunnen) zijn. Wel is ten behoeve van deze studie het NNM (tijdelijk) uitgebreid met de beschrijving van de omzetting van NOx in andere stoffen. Dit ook in overeenstemming met de beschrijving van deze processen in het OPS. Dit proces speelt op grotere afstanden een rol.

Belangrijkste argument voor de keuze van een maximale rekenafstand, gehanteerd in fase 1 van dit onderzoek, blijft dat modellen, in alle redelijkheid, gevalideerd behoren te zijn binnen het toepassingsbereik. Zoals in fase 1 gemeld, worden de AERIUS-modellen uitgebreid gevalideerd aan de hand van de meetnetten in Nederland zoals het Landelijk meetnet Luchtkwaliteit (LML) en het Meetnet Ammoniak Natuurgebieden

<sup>6</sup> Hier uitgedrukt in de variatiecoëfficiënt als  $\sigma(\text{depositie})/(\text{gemiddelde depositie})$  op 1  $\sigma$  niveau.

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643Blad  
3/33

TNO VERTROUWELIJK

(MAN). Het betreft hier echter validatie van de berekende depositiebijdrage van alle bronnen. De validatie op de *totale* depositie toont wel de geschiktheid van deze modellen voor deze toepassing, ook op grotere afstanden.

#### *De rekenkundige ondergrens*

De rekenkundige ondergrens voor de berekende depositiebijdrage die AERIUS Calculator hanteert is 0,005 mol/ha/jaar. De bijdrage van een project op een natuurgebied, waar de Kritische Depositie Waarde (KDW) wordt overschreden of benaderd, wordt berekend *tot* deze rekenkundige ondergrens. Bijdragen onder deze grens worden niet beoordeeld. De ondergrens van 0,005 mol/ha/jaar is niet onderbouwd met wetenschappelijke argumenten. Deze keuze is in 2019 door RIVM gemaakt om systeemtechnische redenen (voorkomen van het vastlopen of ernstig vertragen van het computersysteem)<sup>7</sup>. Onderzocht is in hoeverre een realistische ondergrens vanuit argumenten uit de fysica (natuurwetenschappen) kan worden afgeleid.

De beoordeling van een depositiebijdrage van een project vindt plaats op locaties waarvoor geldt:

**Huidige (totale) achtergrond-depositie + bijdrage van het individueel project > KDW**

De verschillende onderdelen van deze vergelijking komen uit verschillende bronnen:

- De totale (achtergrond)depositie in AERIUS Calculator is door RIVM bepaald met AERIUS Monitor<sup>8</sup>
- De depositiebijdrage van een project wordt berekend met AERIUS Calculator op basis van de ingevoerde bronkenmerken, en op basis van generieke gegevens die in AERIUS Calculator zijn opgenomen (zoals meteorologische gegevens, ruwheid, emissiefactoren).
- De waarden voor de KDW zijn generiek vastgesteld<sup>9</sup>

Om te beoordelen wat een rekenkundige ondergrens, gebaseerd op fysica, kan zijn, is ingegaan op het ruisniveau in de verschillende onderdelen van deze vergelijking. Ruis in de betekenis van: willekeurige veranderingen (fluctuaties) in de depositie die niet worden verklaard uit fysisch-chemische processen<sup>10</sup>. Berekende deposities die binnen dit ruisniveau vallen, kunnen dan niet onderscheiden worden van de omvang van deze willekeurige veranderingen en zijn daarom niet betekenisvol. Elk van de onderdelen in bovenstaande vergelijking heeft een ruisniveau dat maakt dat aan berekende waarden

<sup>7</sup> [https://www.aerius.nl/files/media/release\\_notes\\_aerius\\_calculator\\_2019\\_def.pdf](https://www.aerius.nl/files/media/release_notes_aerius_calculator_2019_def.pdf)

<sup>8</sup> [Achtergronddepositie Natura 2000-gebieden | AERIUS](#)

<sup>9</sup> <https://edepot.wur.nl/45419>

<sup>10</sup> Ruis in modelresultaten kan gedefinieerd worden als: willekeurige variabiliteit in modeluitkomsten door invloeden van arbitraire, aselekt gekozen of opgelegde modelsysteem-onderdelen. Modeluitkomsten die kleiner zijn dan deze ruis zijn, zijn niet te onderscheiden van deze willekeurige, arbitraire invloeden en daarom niet betekenisvol en niet significant. De variabiliteit veroorzaakt door de onzekerheid in de fysische parameters in het model is bepaald in de gevoeligheidsanalyse en blijft hier buiten beschouwing.

TNO VERTROUWELIJK

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643Blad  
4/33

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643Blad  
5/33

die lager zijn dat dit niveau geen reële betekenis kan worden toegekend. De ruis in de drie onderdelen van de bovenstaande vergelijking zijn alle afzonderlijk onderzocht:

- Wat is het ruisniveau in de berekende *totale achtergronddepositie* en hoe hangt die af van de onderstaande basisgegevens?
  - o Meteorologische grootheden
    - Deze worden bij afspraak over een willekeurige periode van 10 jaar gemiddeld. De berekende depositie als gevolg van alle bronnen verschilt, bij het gebruik van verschillende perioden, zo'n 10 mol/ha/jaar.
    - Gebruik van meteorologische gegevens in verschillende gebieden in Nederland. Bij berekeningen van de depositie worden windsnelheden lager dan een bepaalde waarde op een speciale wijze meegenomen<sup>11</sup>. Het aantal uren in een jaar met dergelijke lage windsnelheden verschilt over het land. In hoeverre dit lager is geweest dan deze ondergrens is in de uitkomst verloren gegaan. Dit leidt over het land tot willekeurige verschillen in de berekende totale achtergronddepositie. De verschillen in deze totale depositie lopen op tot 18 mol/ha/jaar voor ammoniak en 1.4 mol/ha/jaar voor NOx.
  - o Landgebruik

Het gebruik van andere gegevens over het landgebruik (zogenaamde LGN-kaarten<sup>12</sup>) leidt tot andere uitkomsten. Ook deze zijn willekeurig. De verschillen in de totale depositie bij het gebruik van verschillende versies zijn gemiddeld ongeveer 1 mol/ha/jaar (de verschillen variëren tussen plus of min 13 mol/ha/jaar).

Het gebruik van verschillende basisgegevens met betrekking tot meteorologische gegevens en gegevens over landgebruik leidt daarmee tot ruis in de berekende huidige depositie, die ligt tussen 1 en 10 mol/ha/jaar.

- Wat is het ruisniveau in de berekende bijdrage van een *enkele bron*?

Vergelijkingen tussen de berekende en gemeten concentratie van stoffen in een validatie experiment (voor een *enkele bron*) laten een component zien die overeenkomt met een ruis in de berekende depositie van 6-12 mol/ha/jaar.
- o Wat is het ruisniveau in de *KDW-waarde*?

KDW zijn gegeven in getalswaarden 0,1 kg/ha/jaar. Omrekening naar mol/ha/jaar wordt uit pragmatisch oogpunt gedaan zodat deze dezelfde eenheid heeft als (bijvoorbeeld door RIVM) gerapporteerde

<sup>11</sup> Voor perioden met een windsnelheid lager dan een grenswaarde (bijv. 1 m/s) wordt de grenswaarde gekozen. Dit is van belang omdat bij lage windsnelheid juist de hoogste depositie kan optreden.

<sup>12</sup> Landelijk Grondgebruik Nederland

depositiewaarden. Depositiewaarden kleiner dan deze 0,1 kg of wel 7 mol/ha/jaar zijn willekeurig en kunnen beschouwd worden als ruis.

**Datum**

26 april 2022

**Onze referentie**

100342643

Vergelijkingen tussen de berekende depositie; dat wil zeggen de achtergronddepositie plus de bijdrage van de individuele bron maar ook de KDW vertonen dus willekeurige fluctuaties (ruis) in de individuele termen. De uitkomst van de vergelijking geeft dus ook deze ruis! Gesteld wordt nu dat berekende individuele projectbijdragen kleiner dan de ruiswaarden in de verschillende termen niet betekenisvol zijn en dus niet gebruikt zouden moeten worden bij een vergelijking met de KDW.

**Blad**

6/33

*Samengevat:* Een op overwegingen vanuit de fysica gekozen rekenkundige ondergrens komt uit op waarden tussen 1 en 10 mol/ha/jaar. Met deze waarden is de ruis in de berekende individuele bijdrage van dezelfde grootteorde als de ruis in de vergelijking. Deze uit de ruis afgeleide rekenkundige ondergrens is veel hoger dan de thans gehanteerde van 0,005 mol/ha/jaar. Het voorzorgsprincipe kan uiteraard argument zijn voor de keuze van een lagere waarde.

In enkele ons omringende landen worden ook hogere rekengrenzen gehanteerd. Zo wordt in Duitsland op basis van dezelfde redeneringen een grens van 21 mol/ha/jaar gehanteerd.

#### *Impact*

Een andere keuze voor een rekenkundige ondergrens leidt tot een andere behandeling van aanvragen voor vergunningen. Bij een hogere rekenkundige ondergrens wordt het aantal projecten, waarvoor een natuurvergunning en mogelijk mitigatie noodzakelijk is, lager. Het is niet uitgesloten dat depositiebijdragen onder deze rekenkundige ondergrens, gezamenlijk tot verslechtingen kunnen leiden

Het is de verantwoordelijkheid van rijk en provincies om verslechtingen als gevolg van totale deposities, inclusief projectbijdragen onder de rekenkundige ondergrens, te voorkomen. In de huidige regelgeving is het echter zo dat veel van de projecten al te maken hebben met een mitigatieopgave vanwege depositie op andere natuurgebieden (binnen 25 km). De effecten van mitigerende maatregelen zullen ook doorwerken op plekken waar de projectbijdrage kleiner is dan de rekenkundige ondergrens. In deze studie was het niet mogelijk rekening te houden met de doorwerking van mitigerende maatregelen. Ook is niet in beeld gebracht hoe de gevolgen van een hogere rekenkundige ondergrens zich verhouden tot de effecten van de generieke en gebiedsgerichte bron- en natuurmaatregelen die worden getroffen in het kader van de structurele aanpak stikstof. Aanbevolen wordt ten behoeve van een eventuele keuze van een andere waarde van de rekenkundige ondergrens dit in beeld te brengen.

	Datum
<b>Inhoud</b>	
Samenvatting.....	26 april 2022 Onze referentie 100342643
1. Inleiding.....	1 <b>Blad</b> 7/33
1.1 Vervolg op fase 1.....	8
1.2 Onzekerheid.....	8
1.3 Ruisniveau.....	9
2. Validatie en onzekerheid en maximale rekenafstand.....	10
2.1 Validatie van OPS op grote afstanden van de bron.....	12
2.2 Literatuur (internationaal).....	13
2.3 Onzekerheidsanalyses m.b.v. het STACKS-model.....	15
2.3.1 Gebruikte methode.....	15
2.3.2 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse: De onzekerheid als functie van de afstand.....	18
2.3.3 De onzekerheid in de depositie als gevolg van emissies door meerdere bronnen.....	21
2.4 Conclusie.....	22
3. Onderste rapportagegrens.....	23
3.1 Inleiding.....	23
3.2 De onzekerheid in de berekening van de bijdrage van een enkele bron.....	24
3.2.1 Op basis van vergelijking met metingen:.....	24
3.2.2 Op basis van onzekerheid in modelberekeningen:.....	25
3.4 De onzekerheid in de KDW.....	26
3.5 De onzekerheid in de achtergrond depositie.....	27
3.6 Conclusies.....	28
4. Internationale visies op afbakening depositieberekeningen.....	28
5. Gevolgen van een aanpassing van de rekenkundige ondergrens.....	29
6. Conclusies.....	30
6.1 Maximale rekenafstand.....	30
6.2 Rekenkundige ondergrens.....	30
7. Ondertekening.....	31
Bijlage 1. Precisie en juistheid.....	32
Bijlage 2. Invloed van verschillende parameters op de onzekerheid in de schatting van de depositie.....	33

## 1. Inleiding

### 1.1 Vervolg op fase 1

Met de Wet Natuurbescherming wordt in Nederland door middel van toestemmingsverlening (*voortoetsen* en toestemmingsbesluiten) voorkomen dat plannen en projecten de natuurlijke kenmerken van Natura 2000-gebieden aantasten. Om te onderzoeken of een plan of project doorgang kan vinden wordt de invloed van projecten waarbij stikstofverbindingen naar lucht worden uitgestoten berekend met het instrument AERIUS Calculator. Dit is het verplichte rekeninstrument voor de berekening van de door projecten veroorzaakte stikstofdepositie op daarvoor gevoelige habitats van Natura 2000-gebieden. AERIUS Calculator bevat daartoe modellen waarmee de verspreiding van de uitgestoten stoffen door de lucht en de depositie op natuurgebieden kan worden berekend. De berekende depositie kan worden vergeleken met de Kritische Depositie Waarde<sup>13</sup> (KDW) die voor elk type natuur is afgeleid. Als niet kan worden uitgesloten dat een project – al dan niet in cumulatie met andere plannen en projecten – leidt tot aantasting van de natuurlijke kenmerken, zijn mitigerende maatregelen noodzakelijk. Bij het toetsen van plan- en projectbijdragen wordt dus altijd onderzocht of de huidige depositie met de plan- en/of projectbijdrage en de depositie van andere vergunde, maar nog niet (geheel) gerealiseerde projecten, de KDW overschrijdt of nadert<sup>14</sup>.

In fase 1 van dit onderzoek is ingegaan op de modellen die in AERIUS worden gebruikt voor berekening van de depositie van stikstofverbindingen op natuurgebieden. Belangrijk is de maximale afstand<sup>15</sup>, waarop deze modellen betrouwbaar<sup>16</sup>; zouden kunnen worden gebruikt; het zogenaamde toepassingsbereik. Op basis van de uitgevoerde analyse werd geconcludeerd dat er voldoende argumenten zijn om het toepassingsbereik van deze modellen voor de berekening van de depositie als gevolg van de emissies door individuele projecten te beperken tot 25 km. Belangrijke argumenten daarbij zijn dat validatie van de AERIUS-modellen voor individuele projecten niet is uitgevoerd tot op grotere afstanden dan 20 km en dat de onzekerheid sterk toeneemt met de afstand. Binnen deze afstand kunnen met OPS dus voldoende betrouwbare uitspraken worden gedaan. Het ontbreken van validatie voor berekening van de bijdragen van *individuele* bronnen op grotere afstanden betekent de uitkomsten een onduidelijke betekenis hebben. Er is bijvoorbeeld niet aangetoond of de berekende depositie nog te onderscheiden is van nul. Deze overwegingen hebben ook een rol gespeeld bij de vaststelling van het toepassingsbereik van het in Nederland ontwikkelde Nieuw Nationaal Model (NNM, het in Nederland in veel gevallen<sup>17</sup> voorgeschreven, *consensus*-model) dat een grote overeenkomst heeft met het OPS-

<sup>13</sup> De grens waarboven het risico bestaat dat de kwaliteit van het habitat significant wordt aangetast door de verzurende en/of vermestende invloed van atmosferische stikstofdepositie (Van Dobben & Van Hinsberg, 2008).

<sup>14</sup> Daartoe wordt een marge van 70 mol/ha/jaar aangehouden.

<sup>15</sup> Ook eerder afstandsgrens genoemd.

<sup>16</sup> Bijvoorbeeld in het kader van toestemmingsverlening en milieueffectrapportages

<sup>17</sup> Zoals de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007



model. Voor het NNM geldt een toepassingsbereik van 25 km. Daarbuiten worden geen resultaten berekend. Berekeningen van de depositie van een enkel project met AERIUS zouden ook niet moeten worden uitgevoerd op afstanden groter dan 25 km van de bron. Het kabinet heeft op basis van de argumenten die in de RIVM- en TNO-studies over dit onderwerp zijn aangedragen de maximale rekenafstand van 25 km ingevoerd bij berekeningen met AERIUS Calculator in het kader van de toestemmingsverlening.

Uitgangspunt in de voortoets is vooralsnog dat iedere toename aan stikstofdepositie ten gevolge van een plan of project van meer dan 0,005 mol ha/jaar (de rekenkundige ondergrens) op een habitat met een (naderende) KDW-overschrijding tot significant negatieve effecten kan leiden, tenzij (ecologisch of anderszins) onderbouwd kan worden dat significant negatieve effecten op voorhand zijn uitgesloten. Dat betekent dat in die gevallen in beginsel een toestemmingsbesluit met passende beoordeling nodig is. In een passende beoordeling wordt op basis van een uitgebreid ecologisch onderzoek, waarin onder meer de gebiedsspecifieke situatie wordt betrokken, beoordeeld of een berekende depositiebijdrage boven de KDW kan leiden tot aantasting van de natuurlijke kenmerken, al dan niet in cumulatie met effecten van andere plannen en projecten. In Nederland is al geruime tijd sprake van een grote overbelasting door stikstofdepositie. De kwaliteit van stikstofgevoelige habitats in Natura 2000-gebieden heeft daar door vermisting en verzuring zwaar onder te leiden. Dat leidt er in Nederland toe dat ook voor relatief kleine berekende depositiebijdragen van projecten aantasting van de natuurlijke kenmerken in veel gevallen niet kan worden uitgesloten en mitigerende maatregelen nodig zijn om een project doorgang te kunnen laten vinden. De rekenkundige ondergrens is daarom zeer belangrijk. In fase 2 van dit onderzoek wordt nader ingegaan op de maximale rekenafstand en is bovendien gekeken naar de waarde van de *rekenkundige ondergrens*.

In fase 2 wordt ingegaan op de volgende vraagstellingen:

1. Hoe verloopt de onzekerheid in de berekening van de depositiebijdrage van een enkel project met de afstand en welke parameters zijn daarbij belangrijk? Tegelijkertijd wordt onderzocht hoe de onzekerheid voor een enkele bron zich verhoudt tot de onzekerheid voor alle (meerdere) NO<sub>x</sub>- of NH<sub>3</sub> bronnen tezamen. Deze vraagstelling sluit aan bij de conclusies van fase 1 van dit onderzoek.
2. Is aan de hand van fysische- of model-technische overwegingen een rekenkundige ondergrens af te leiden?

Deze items worden nader uitgewerkt in deze notitie, onder andere, door een verdiepingsslag bij de onzekerheidsanalyses.

## 1.2 Onzekerheid

De onzekerheid in modeluitkomsten kan eigenlijk alleen goed in kaart gebracht worden door vergelijking met uitkomsten van metingen. Dit geeft een goed inzicht in de **juistheid**<sup>18</sup> van de uitkomsten. Meetgegevens die gebruikt kunnen worden voor

<sup>18</sup> Op de begrippen *juistheid* en precisie wordt in de bijlage ingegaan. Daarbij geeft juistheid aan in hoeverre een meting of berekening dicht bij de werkelijke waarde zit en de precisie geeft aan in hoeverre herhaalde waarnemingen van dezelfde grootte uit elkaar liggen.

**Datum**26 april 2022  
**Onze referentie**  
100342643**Blad**  
9/33

**Datum**26 april 2022  
**Onze referentie**  
100342643**Blad**  
10/33

validatie zijn echter schaars. Dit geldt vooral op grotere afstand van een bron. Op grotere afstand van de bron zal de bijdrage van een bron aan de concentratie of depositie steeds kleiner worden. Op een gegeven moment zelfs "onmeetbaar" klein. Hiermee wordt bedoeld dat de concentratie<sup>19</sup> niet meer onderscheiden kan worden van het ruisniveau. Met andere woorden: een kwantitatieve bepaling van de bronbijdrage is niet meer mogelijk en deze is dus ook niet te onderscheiden van nul<sup>20</sup>.

Aan de hand van een gevoeligheid- of onzekerheidsanalyse is de onzekerheid in modeluitkomsten onderzocht. De, met het model berekende, concentraties of deposities zijn, net als gemeten concentraties, niet zonder onzekerheid. Deze is alleen minder eenvoudig in te zien. Een berekening met het model geeft bij het gebruik van gelijke gegevens steeds hetzelfde antwoord. Dat zou suggereren dat de onzekerheid nul is. De formulering van het model en de waarde van invoerparameters die gebruikt worden in het model kennen echter altijd een bepaalde onzekerheid. Met andere woorden de werkelijke waarde ligt binnen zekere grenzen maar is niet exact bekend. Er is een waarde gekozen voor alle parameters, maar binnen de onzekerheidsgrenzen zijn andere waarden ook realistisch. Een berekening met andere waarden van deze parameters geeft echter andere uitkomsten. Dit gegeven is de basis voor de werkwijze die gevolgd wordt bij een (model-)gevoeligheidsanalyse (ook wel onzekerheidsanalyse). Er worden meerdere berekeningen gedaan. Voor elke berekening wordt, binnen een reële range, een willekeurige waarde rondom een gemiddelde gekozen voor de depositie snelheid, de hoogte van de menglaag, de washout ratio enzovoort. Het gemiddelde van de berekende deposities is dan gelijk aan de berekende depositie in een standaard berekening en kan vergeleken worden met gemeten waarden. Validatie geeft dan informatie over de juistheid van de uitkomsten van de berekening en de vergelijking tussen berekende deposities geeft informatie over de onzekerheid. Bij het ontbreken van validatie geeft de spreiding in de (met de verschillende waarden voor parameters) berekende deposities ook inzicht in de onzekerheid van de berekende depositie. Immers alle berekeningen zijn uitgevoerd met realistische waarden van de parameters en toch verschillen de uitkomsten. De onzekerheid wordt dus bepaald door de gemotiveerde spreiding rond de beste keus in parameterwaarden, De zo berekende onzekerheid is gezien de modelformulering min of meer voorspelbaar.

### 1.3 Ruisniveau

Naast onzekerheid die bepaald wordt door de onzekerheid in fysische parameters (zoals de depositiesnelheid) en die in kaart gebracht wordt door de bovengenoemde gevoeligheidsanalyse, is er nog een andere bijdrage aan de onzekerheid in de uitkomsten. Deze, meer willekeurige veranderingen (fluctuaties), in de berekende depositie noemen we hier ruis (vergelijkbaar met de ruis in meetresultaten).

<sup>19</sup> Door het ontbreken van metingen van de depositie wordt validatie in de praktijk doorgaans uitgevoerd aan concentraties en niet aan deposities. Validatie van modelberekeningen van de depositie aan de gemeten concentratie is de beste beschikbare optie.

<sup>20</sup> Dit is een belangrijk onderscheid: Er wordt dus niet gesteld dat de bijdrage nul is, maar dat deze er niet meer van te onderscheiden is.

Bij het ruisniveau bestaat geen 'beste' (gemiddelde) waarde: het ruisniveau wordt geheel bepaald door volstrekt willekeurige keuzen voor de modelberekeningen. Dit ruisniveau is veel kleiner dan de onzekerheid en hebben wij hier gedefinieerd als de fluctuaties die veroorzaakt worden door parameter-instellingen, waarvan *à priori* is aangenomen dat deze geen significant effect hebben. Voorbeelden hiervan: de willekeurige keuze voor een periode waarin de gegevens over de meteorologische condities zijn verkregen en de willekeurige keuze van classificatie van meteo- en depositieparameters in een model zoals OPS. De spreiding in de uitkomsten van een serie modelberekeningen met verschillende keuzen (die immers willekeurig waren) voor deze parameter-instellingen geeft daarom inzicht in het ruisniveau van de modeluitkomsten.

Bij metingen van lage concentraties (of deposities) geeft het ruisniveau aan wanneer een meetresultaat niet significant van nul afwijkt. Een model berekent echter altijd depositiewaarden groter dan nul, ook bij lage emissies of op heel grote afstanden. Daarbij kunnen gemakkelijk waarden berekend worden, die nog weer decaden kleiner zijn dan op dit moment gehanteerd rekengrenzen van 0,005 mol mol/ha/jaar, en veel kleiner zijn dan de ruis zoals hierboven gedefinieerd. De berekening is *schijnbaar* nauwkeurig omdat er geen ondergrens aan de berekeningen zit. Het computerprogramma kan doorrekenen tot bijzonder kleine getallen. Dat is niet echt realistisch. Op dit moment geldt een rekenkundige ondergrens van 0,005 mol/ha/jaar tot waar gerekend wordt. De keuze van deze waarde is gebaseerd op praktische computer technische overwegingen. Er liggen geen wetenschappelijke of model technische redenen aan ten grondslag.

Hier trachten we een op fysica gebaseerde, **ondergrens** voor de berekende depositie af te leiden. Boven deze waarde, kan het model nog betekenisvolle antwoorden geven. Lagere waarden bevinden zich binnen het ruisniveau en zijn dus (net als bij meetgegevens) **niet onderscheidbaar** van nul en daarmee niet betekenisvol. In de context van AERIUS betekent niet-betekenisvol dat een individueel project op basis van deze berekende depositie niet beoordeeld kan worden op zijn, niet-significante<sup>21</sup>, bijdrage aan het depositieniveau ter plaatse van een stikstofgevoelig natuurgebied, omdat deze bijdrage niet onderscheidbaar is van nul.

Het aangeven van een (absolute) ondergrens (een rekenkundige ondergrens) in modeluitkomsten is dus van belang en mogelijk. Het bepaalt samen met de KDW of een project beoordeeld moet worden of niet. In dit onderzoek hebben we getracht een absolute ondergrens/rekenkundige ondergrens op basis van fysica vast te stellen. We hebben verschillende benaderingen gebruikt om inzicht te verkrijgen in mogelijke waarden voor een ondergrens aan de uitkomsten van berekeningen van projectgebonden depositie, met andere woorden: wanneer is de berekende depositie groter dan het ruisniveau of wel de rekenkundige ondergrens en daarmee significant groter dan nul en dus betekenisvol.

**Datum**

26 april 2022  
**Onze referentie**  
100342643

**Blad**

11/33

<sup>21</sup> Significant wordt hier bedoeld in de 'wetenschappelijke' betekenis van het woord. In de statistiek is het gebruikelijk te spreken over *significante* en *niet-significante* verschillen tussen metingen; berekeningen enzovoort. Hier wordt dus niet bedoeld *significant* in de betekenis van *aanzienlijk*.

## Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643Blad  
12/33*Geschiedenis*

Het zoeken naar een rekengrens voor AERIUS is niet nieuw. In vroegere overleggen binnen het Bestuurlijk Overleg van LNV met de provincies en VNG (zoals op 16 november 2006) zijn afspraken gemaakt die de basis vormen voor het toetsingskader. Als richtinggevend drempelwaarde is wel eens 5% van de meest kritische depositiewaarde afgesproken. Deze waarde is zo hoog dat cumulatie van vergunningen al vrij snel tot significante toenames van de depositie zou leiden. Ook is wel een drempelwaarde van 15 mol/ha/jaar overwogen<sup>22</sup>. Het thans geldende uitgangspunt is dat **elke** toename als significant beschouwd moet worden. De vraag is of zo'n uitgangspunt gezien vanuit technisch-wetenschappelijke perspectief houdbaar is. Alle atmosferische modellen zijn begrensd in hun toepassingsgebied: in afstand, maar ook in andere opzichten. En er is ook een 'toepassingshorizon' die vooral bepaald wordt door het bovengenoemde ruisniveau: Onder een bepaalde waarde is het niet meer mogelijk om de bijdrage van een bron kwantitatief te bepalen. De bijdrage kan dan wel berekend worden maar is dermate klein dat deze binnen het ruisniveau valt.

## 2. Validatie en onzekerheid en maximale rekenafstand

### 2.1 Validatie van OPS op grote afstanden van de bron

Zoals in de eerste fase van dit onderzoek al genoemd werd, zijn het OPS-model en het SRM2 model uitvoerig gevalideerd. De, door het RIVM regelmatig uitgevoerde, validatie betreft echter berekeningen van de (met name concentratie) bijdragen van alle Nederlandse en buitenlandse bronnen samen. Voor de depositie ten gevolge van activiteiten op een natuurgebied domineert<sup>23</sup> doorgaans echter de bijdrage van dichtbijgelegen bronnen dus nog los van de bijdrage van de achtergrond. Zo is voor Nederlandse natuurgebieden een groot deel van de depositie door projecten (dus afgezien van de achtergrond) afkomstig van projecten die binnen een afstand van zo'n 25 km liggen (zie figuur 1). De validatie van OPS door RIVM is dan ook vooral betekenisvol voor het vaststellen van de **juistheid** van de berekende totale somdepositie (door alle bronnen). Deze som depositie wordt vooral bepaald door de bijdragen van alle dichtbijgelegen bronnen (afgezien van de bijdrage van de achtergrond). Deze validatie zegt dus minder over de juistheid van de depositie berekend uit de emissie van individuele bronnen op grotere afstanden (met een relatief kleine bijdrage aan de depositie).

Validatie van berekeningen van individuele bronnen op grotere afstanden is veel lastiger en in Nederland vrijwel onuitvoerbaar. Ook in andere landen heeft validatie van modelberekeningen van de bijdrage van individuele bronnen slechts zeer beperkt plaatsgevonden. Van Jaarsveld<sup>24</sup> (2004) laat in zijn uitgebreide bespreking van het OPS-model het resultaat van twee validatie-experimenten zien. Bij deze experimenten

<sup>22</sup> Gies, T.J.A., H. van Dobben en A.Bleeker (2006) Onderbouwing significant effect depositie op natuurgebieden Alterrapport 1490.

<sup>23</sup> Het gaat om de bijdrage van projecten. Met de achtergronddepositie is geen rekening gehouden.

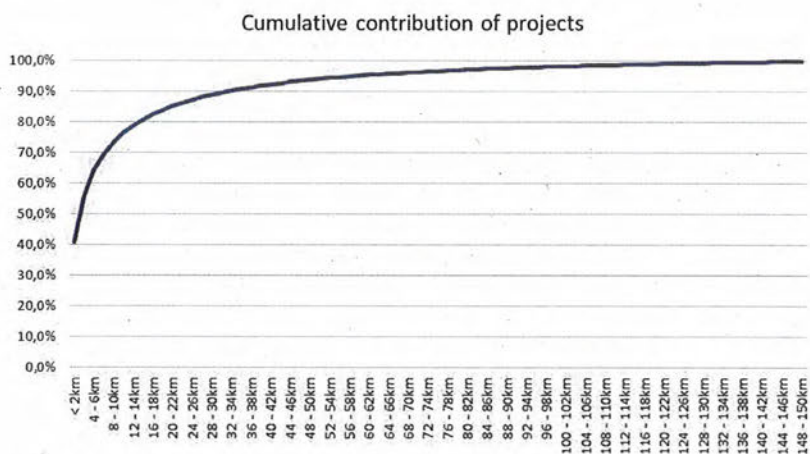
<sup>24</sup> Van Jaarsveld (2004) RIVM report 500045001/2004, Description and validation of OPS-Pro 4.1

is de emissie goed bekend. De validatie is beperkt tot concentraties (niet depositie) op afstanden van maximaal 20 km. De verschillen tussen berekende en gemeten zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) concentraties (de metingen en berekeningen zijn over enkele dagen gemiddeld en uitgevoerd tot op afstanden van 20 km) zijn klein tot aanzienlijk en liggen tussen 10-tallen procenten en een factor 2. Ook werden de uitkomsten van berekeningen met enkele verschillende modellen met elkaar vergeleken. Dit gebeurde voor berekende waarden tot afstanden van 25 km van de bron. De, met de verschillende modellen, berekende concentraties van NO<sub>x</sub> lagen op 25 km 20-50% uit elkaar.

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643

Blad  
13/33



Figuur 1 Indicatieve berekening van cumulatieve bijdrage van projecten op verschillende afstanden van natuurgebieden aan de depositie op natuurgebieden. Er is geen rekening gehouden met depositie veroorzaakt door de grootschalige achtergrond bijdragen zoals het buitenland.

## 2.2 Literatuur (internationaal)

### Validatie

Validatie van Gaussische pluimmodellen heeft zich meestal beperkt tot vergelijking tussen de gemeten en berekende concentratie van zwavel- en stikstofoxiden en naar de bijdrage van meerdere bronnen. Vrijwel nooit is validatie aan de hand van depositiemetingen uitgevoerd. Er is zelfs geen validatie van de bijdrage van individuele bronnen aan de concentratie bekend op afstanden groter dan 20 km. Dit hangt samen met de internationaal beperkte belangstelling voor berekening van concentraties en deposities op dergelijke grote afstanden. Wel lijkt duidelijk dat de onzekerheid in een pluimberekening na 25 km duidelijk toeneemt met de afstand.

Een meer uitgebreide scan van de internationale literatuur is in deze fase 2 uitgevoerd. Daarbij is opnieuw gekeken naar validatie van modellen voor de berekening van de concentratie. In de geraadpleegde literatuur wordt echter ook over validatie van berekende individuele bijdragen aan de jaargemiddelde concentratie weinig gerapporteerd. Dit hangt, onder andere, samen met de regelgeving in de Verenigde Staten. Deze is vooral gericht op de bijdrage van individuele bronnen aan de overschrijding van de grenswaarde voor 24- of 1- uursgemiddelde concentraties in lucht (Freeman *et al.*, 1986, Langner en Klemm, 2011, Dresser en Huizer 2011). Er is in de VS ook minder aandacht voor depositie (van stikstof-verbindingen). Een

TNO VERTROUWELIJK

bijkomend probleem is dat de validatie van de bronbijdrage van individuele bronnen op grotere afstand buiten een beperkt aantal km zeer lastig uitvoerbaar is. De bronbijdrage is, zoals gemeld, op grotere afstanden niet meer onderscheidbaar van nul (niet meetbaar) en kleiner dan de ruis in de concentratiemetingen. Ondanks een uitgebreide scan zijn slechts enkele voor deze discussie nuttige publicaties aangetroffen. Voor de volledigheid worden hierna enige bevindingen gerapporteerd. Omdat het in eerste instantie gaat om een maximale rekenafstand is gezocht naar de onzekerheid in de berekende depositie als functie van de afstand tot de bron. In het rapport behorende bij het RAINS-model (de Europese standaard voor de Commissie om maatregelen te evalueren<sup>25</sup>) wordt niets gezegd over onzekerheid als functie van afstand. Een aantal publicaties is te vinden over de verspreiding van radioactieve verbindingen, soms in relatie tot de bekende ongevallen (Fukushima en Tsjernobyl). Dit betreft echter steeds de onzekerheid in korte-termijn concentraties (uren tot enkele dagen) (zie bijvoorbeeld Weber *et al.*<sup>26</sup>, 1982, Miller en Hively<sup>27</sup>, 1987) Een IAEA-studie geeft een toename van de onzekerheid met een factor 2 in berekende concentraties (nog geen deposities) van 10 km (een factor 2 onzekerheid) naar 100 km (een factor 4 onzekerheid). In een uitgebreide onzekerheidsanalyse uitgevoerd in het Verenigd Koninkrijk is uit enkele figuren op te maken dat de onzekerheid in depositie tamelijk groot is (figuur 4.9 en 4.10): een factor 5 (als 4sigma, sigma=125%) op 150-250 km afstand (Abbot *et al.*, 2003<sup>28</sup>) In een rapport over de onzekerheid in Cosyma berekeningen<sup>29</sup> is uit de betrouwbaarheidsintervallen (per stabiliteitsklasse) op te maken dat de onzekerheid toeneemt met een factor 2 naar 3 à 5 op een traject van 5 naar 100 km.

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643Blad  
14/33

#### *Onzekerheidsanalyse/gevoeligheidsanalyse*

De onzekerheid in depositieberekeningen kan, zoals genoemd, het best (eigenlijk alleen) worden vastgesteld aan de hand van validatie door vergelijking van berekende en gemeten waarden (dit geeft inzicht in de *juistheid* van de uitkomsten). Bij het ontbreken daarvan wordt soms een uitgebreide, hierboven beschreven, onzekerheidsanalyse/ gevoeligheidsanalyse) gedaan. Daarbij wordt de waarde die de verschillende parameters in het model hebben, gevarieerd.

Er wordt een (groot) aantal berekeningen (modelruns) gedaan waarbij telkens een willekeurige, andere, waarde voor belangrijke parameters zoals depositiesnelheid, hoogte van de menglaag of de zogenaamde *washout* ratio (die de natte depositie beschrijft) wordt gekozen. De waarde van deze parameters wordt dan steeds gevarieerd tussen realistische grenzen bijvoorbeeld voor de depositiesnelheid tussen 0,005 en 0,01 m/s. Deze grenzen zijn gebaseerd op, in de literatuur gegeven, waarden *en/of expert judgement*. De uitkomsten van elke berekening (de concentratie in lucht of

<sup>25</sup> Het RAINS-model is ook niet echt bedoeld voor evaluatie op korte afstand van de bron

<sup>26</sup> Weber, A.H. M.R. Buckner and J.H. Weber (1982), Statistical performance of several mesoscale atmospheric dispersion models, *Journal of Applied Meteorology*, 21, 1633-1644

<sup>27</sup> Miller, C.W. and L.M. Hively (1987), A review of validation studies for the Gaussian plume dispersion model, *Nuclear Safety*, 28, no. 4, 522-531

<sup>28</sup> Abbott *et al.* (2003), Uncertainty in acid deposition modelling and critical load assessments R&D Technical Report P4-083(5)/1 AEA Technology Harwell

<sup>29</sup> Probabilistic Accident Consequence, Uncertainty Assessment Using COSYMA, EUR-18824, 2001.

TNO VERTROUWELIJK

de depositie op een receptor) zijn dan elke keer weer anders. De gemiddelde depositie berekend uit al deze berekeningen is, binnen deze analyse, de beste schatting van de depositie omdat daarvoor de "beste" parameter-waarden zijn gebruikt. De gedachte achter deze werkwijze is dat de spreiding in de verschillende uitkomsten van verschillende berekeningen samen een schatting geven van de onzekerheid in de berekende, gemiddelde, depositie. NB. De spreiding geeft inzicht in de onzekerheid in de berekende deposities met *het onderzochte model*. De invloed van de onzekerheid in processen die **niet** in het model zijn opgenomen wordt op deze manier **niet** meegenomen.

In Abbot *et al* (2003)<sup>30</sup> wordt een uitgebreide studie op basis van een dergelijke gevoeligheidsanalyse beschreven. Hoewel het een ander type model betreft zijn de uitkomsten interessant. Voor stikstofdepositie ligt het 95% percentiel van de depositie een factor anderhalf tot twee boven het gemiddelde en is het gemiddelde, ruwweg, twee keer het 5% percentiel, met andere woorden: de onzekerheid (berekend als 2  $\sigma$ -grenzen) is een factor twee naar boven en naar beneden).

**Datum**26 april 2022  
**Onze referentie**  
100342643**Blad**

15/33

## 2.3 Onzekerheidsanalyses m.b.v. het STACKS-model<sup>31</sup>

### 2.3.1 Gebruikte methode

Er zijn verschillende methoden om een onzekerheidsanalyse uit te voeren. Sommige vereisen een aanzienlijke inspanning: Bijvoorbeeld een complete Monte Carlo analyse vergt soms 1000-den simulaties. Dergelijk grote activiteiten vallen buiten het bestek van dit onderzoek. Gekozen is voor een relatief eenvoudige "eerste orde" aanpak. Op basis van *expert judgement* en rekening houdend met de grootte van de inspanning zijn de belangrijkste parameters gevarieerd over een realistische range (Zie Tabel).

---

<sup>30</sup> Abbott *et al.* (2003), Uncertainty in acid deposition modelling and critical load assessments R&D Technical Report P4-083(5)/1 AEA Technology Harwell

<sup>31</sup> Het Stacks model is door de Rijksoverheid goedgekeurd voor het berekenen van luchtkwaliteit volgens de Standaard Reken Methodes (SRM1, SRM2, SRM3) zie [Achtergrond NNM - Kenniscentrum InfoMil](#)

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643

Blad  
16/33

Parameter	Range (1 sigma)	Gevoeligheid	Opmerking
Depositiesnelheid (vd) lokaal	+/- 55%	+++	
Depositiesnelheid (vd) Over hele traject	+/- 30%	++	
Wash-outratio	50%	+	
Menglaaghoogte (H)	+/-20%	+/-	Stabiele situaties: grotere variatie 50%
Trajectoriën: Afbuigend effect op de transportrichting	30 graden	+	Toegepast op frequentie van het voorkomen van een WR-sector
Trajectorie (effect op transport-afstand)	+20%		De afstand tussen bron en receptor wordt groter doordat rechte lijn-> kromme
$\sigma_y$ en $\sigma_z$	Geen	Lineair	Niet gevarieerd
Omzettingssnelheid van NOx en NH3	0 – 10 % /uur	+/-	Niet gevarieerd
Achtergrondconcentratie (GCN van NH3)	25%	Beperkt	
Oppervlakteruwheid	15%		
Source depletion			Via verliesterm
Vorming en depositie van reactie-producten) zoals nitraten			Gevarieerd voor omzetting van NOx in nitraat

Het volgende is van belang:

- De berekeningen werden uitgevoerd met het model STACKS (een implementatie van het NNM) in plaats van het OPS-model. Oriënterende berekeningen voor ammoniak (de belangrijkste component bij de stikstofdepositie) laten zien dat de verschillen tussen de uitkomst van berekeningen met deze beide modellen klein zijn<sup>32</sup>. Op basis van deze vergelijkingen wordt aangenomen dat de uitkomsten, van de met Stacks<sup>33</sup> uitgevoerde, analyse ook op hoofdlijnen gelden voor het OPS-model. Figuur 2 geeft een voorbeeld van de berekening van de depositie met de twee modellen. De verschillen tussen de uitkomsten voor de berekening van de depositie als gevolg van emissies van een veehouderij zijn relatief klein. Ook voor andere brontypen zijn de verschillen klein. Vooralnog wordt daarom aangenomen

<sup>32</sup> Dit geldt voor berekeningen van de concentratie en depositie t.g.v. stalemissies en tot op grote afstanden van de bron (0-350 km)

<sup>33</sup> Het NNM wordt hier overigens buiten het toepassingsbereik gebruikt. Voor de analyse speelt dat geen rol.



Datum

26 april 2022

Onze referentie

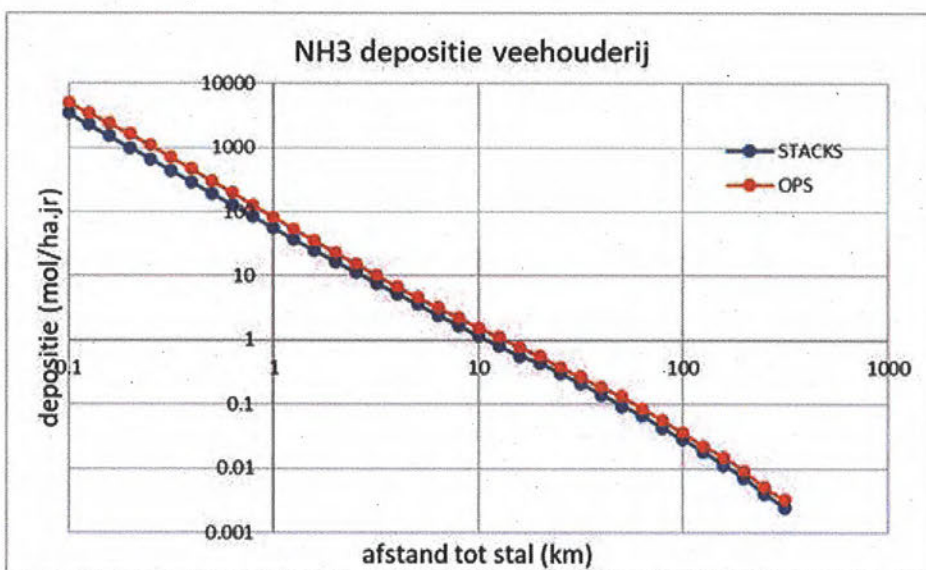
100342643

Blad

17/33

dat de uitkomsten van de berekeningen met STACKS ook inzicht geven in de onzekerheden in de uitkomsten van berekeningen met het OPS-model<sup>34</sup>.

- Ten behoeve van deze fase 2 studie is het NNM uitgebreid met processen die de omzetting van NOx in andere stoffen beschrijven. Dit is gedaan in analogie met de wijze waarop deze processen in het OPS-model zijn opgenomen. Deze aanpassing blijkt van grote invloed op de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse.



Figuur 2 De met OPS en Stacks berekende depositie van ammoniak op verschillende afstanden van de bron (een veehouderij)

- De waarden van de verschillende parameters zijn binnen realistische grenzen gevarieerd. Tussen de waarden van de gekozen parameters kunnen echter correlaties bestaan. In dit onderzoek is daar geen rekening mee gehouden. Vooral nog is aangenomen dat dit niet leidt tot grote fouten in de uitkomsten van de analyse. Op dit moment was het niet mogelijk deze onafhankelijk van elkaar te variëren. Dat vereist een grotere ingreep in het model. De onzekerheidsanalyse laat wel zien dat de onzekerheid in de depositiesnelheid het meeste bijdraagt aan de totale onzekerheid in de berekende depositie (Bijlage 2).
- Er werden in deze studie 50 modelruns uitgevoerd. Dat is relatief weinig, al geven de resultaten geen aanleiding te veronderstellen dat deze beperking leidt tot onjuiste resultaten.

<sup>34</sup> De overschakeling op het trajectoriënmodel in OPS op afstanden groter dan (bv) 100 km maakt vooral dat de menghoogte (naar boven toe) bijgesteld moet worden (van Jaarsveld 2004, pp 13). Dat beïnvloedt het niveau van concentraties, maar het karakter van de onzekerheidsanalyse verandert daardoor niet.

- Parameters die niet zijn gevarieerd zijn de verspreidingsparameters  $\sigma_z$  (voor de verticale verspreiding) een  $\sigma_y$  voor de horizontale de richting loodrecht op de pluimas. Daarbij speelt  $\sigma_z$  alleen maar een rol in de eerste kilometers vanaf de bron. De onzekerheid in bronparameters (zoals stof- en warmte-emissie) zijn evenmin gevarieerd.
- De, bij de AERIUS-berekening gebruikte, emissie schatting is ook sterk bepalend voor de uitkomst van de berekening. Voor onze onzekerheidsanalyse is de emissie echter niet gevarieerd. Uitgangspunt is dat de emissie in een ander wetenschappelijk/bestuurlijk proces is vastgesteld dan de AERIUS-berekening. Deze berekening wordt dan ook uitgevoerd voor deze, gegeven, emissie. De uitkomsten van de berekening gelden ook simpelweg voor deze emissie zonder rekening te houden met onzekerheden.
- Tot slot moet bedacht worden dat bij de opzet van het model diverse processen zijn versimpeld of genegeerd/verwaarloosd. De invloed van deze processen kan dan met deze onzekerheidsanalyse uiteraard niet worden beoordeeld. De depositie, als gevolg van de emissie van een enkele bron, berekend met een ander model (zoals het in Nederland bekende LOTOS-EUROS model, of het Amerikaanse Cal-Puff) waar processen wellicht anders worden beschreven zal ongetwijfeld een ander resultaat geven.

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643Blad  
18/33

Gezien bovenstaande moeten de resultaten van de huidige analyse worden gezien als een eerste (orde) schatting. In Abott *et al.* 2003 (zie <sup>4)</sup>) wordt aangegeven dat met de onzekerheidsanalyse 10-30% van de variantie in de deposities niet kan worden verklaard door variatie van de verschillende parameters. Het betreft hier weliswaar een ander model en een veel omvangrijker studie (waarbij meer parameters werden gevarieerd) maar dit resultaat geeft enig inzicht. Geconcludeerd wordt dat de hier gegeven onzekerheidsanalyse een onderschatting geeft van de werkelijke variantie en daardoor van de onzekerheid, maar dat de trend een eerste indicatie geeft van het gedrag met toenemende afstand.

### 2.3.2 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse: De onzekerheid als functie van de afstand

Figuur 3 laat de uitkomsten van de gevoeligheids/onzekerheidsanalyse zien. De berekende depositie voor ammoniak, uitgaande van de emissie van ammoniak van een enkele stal, gaat van enige tientallen mol/ha/jaar naar een honderdste (0,01) mol/ha/jaar op 50 km. Figuur 4 geeft de spreiding (uitgedrukt als de variatiecoëfficiënt<sup>35</sup>  $=\sigma/\mu$ <sup>36</sup>) in de berekeningsuitkomsten weer als functie van de afstand. Deze fluctueert rondom 40 % tot een afstand van 50 km van de bron. Vanaf 50 km neemt de spreiding

<sup>35</sup> Gekozen is rapportage van de waarde van  $1\sigma$  (sigma). Voor het berekenen van het betrouwbaarheidsinterval wordt vaak een waarde van  $2\sigma$  gebruikt. De onzekerheid wordt dan uiteraard een factor 2 groter (het zogenaamde 95% kan daaruit worden afgeleid)

<sup>36</sup> Waarbij  $\mu$  de gemiddelde depositie aangeeft

TNO VERTROUWELIJK

sterk toe met de afstand. De eerdere conclusie dat de spreiding op grotere afstanden sterk zal kunnen toenemen wordt hiermee ondersteund.

Figuur 5 geeft de variatiecoëfficiënt in de depositie als functie van de afstand voor de emissie van NO<sub>x</sub>. Zoals hierboven vermeld is, ten behoeve van deze studie, het NNM uitgebreid met een beschrijving van de omzetting van gasvormige stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) in andere producten zoals salpeterzuur en nitraten. Deze laatste stoffen hechten zich aan deeltjes. In Figuur 5 is te zien dat de spreiding snel toeneemt met de afstand van zo'n 40 % op 10 km naar 120 % vanaf 50 km. Het resultaat van de berekeningen voor ammoniak en stikstofoxiden sluit nauw aan op de conclusies uit fase 1 van deze studie. Daarbij moeten deze conclusies uiteraard gezien worden in het licht van bovengenoemde beperkingen van de uitgevoerde analyse.

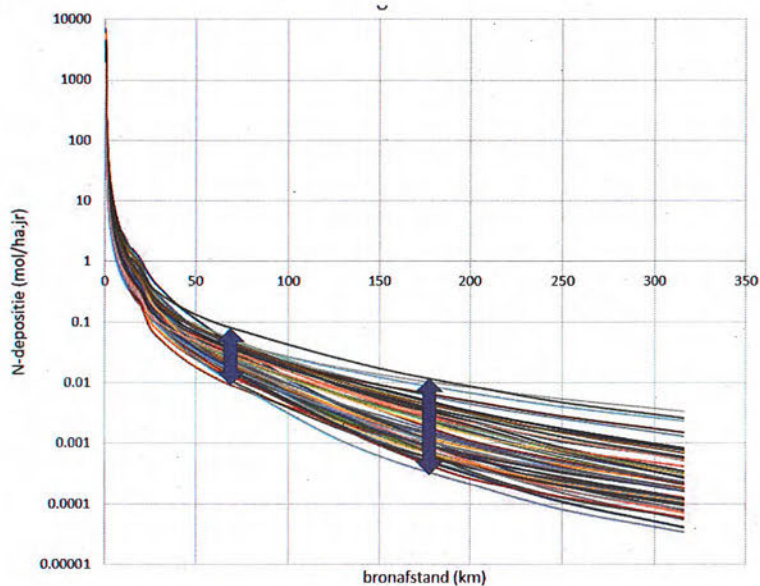
**Datum**26 april 2022  
**Onze referentie**  
100342643**Blad**  
19/33

TNO VERTROUWELIJK

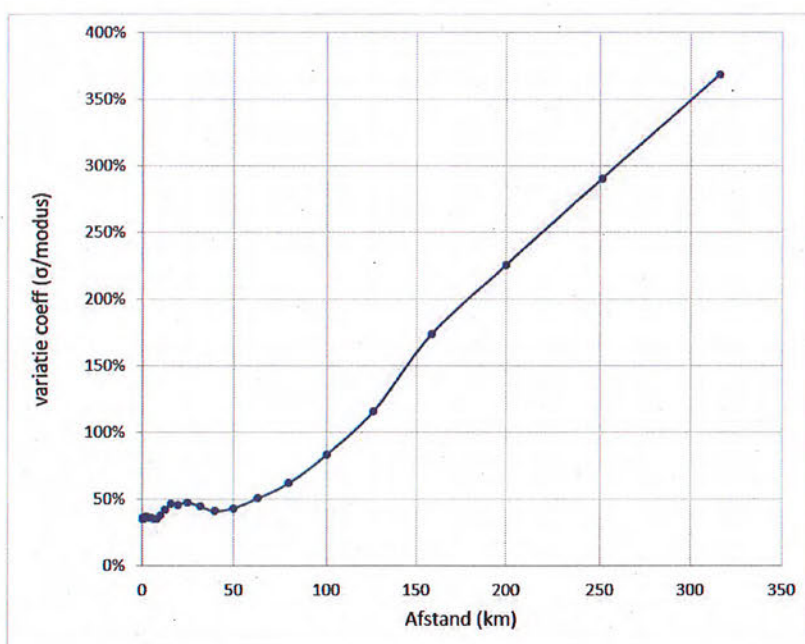
Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643

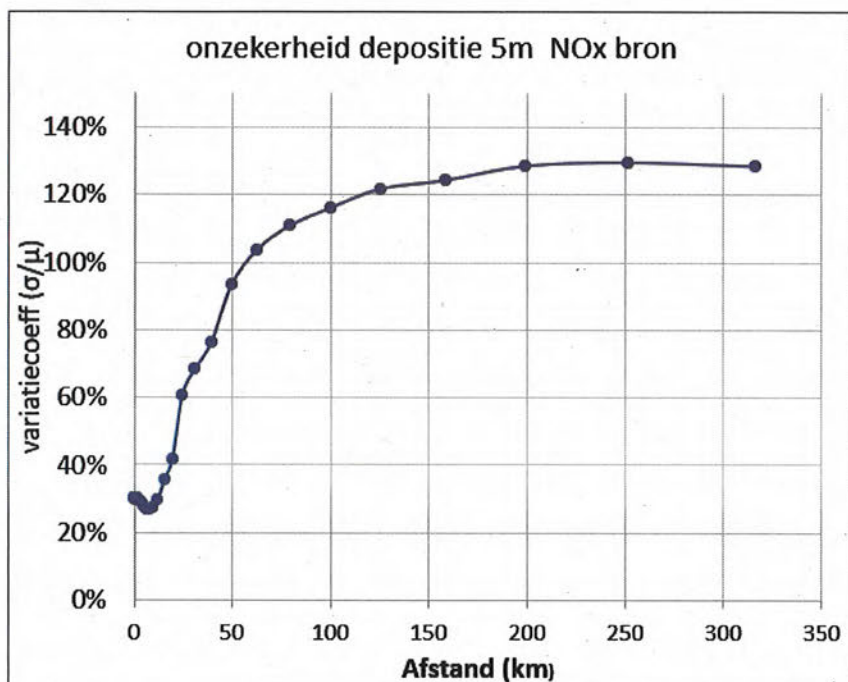
Blad  
20/33



Figuur 3 Resultaat van berekening van de depositie van ammoniak op het receptor punt een bepaalde afstand van een stal ten gevolge van de emissie vanuit die stal bij willekeurige variatie van de depositiesnelheid ( $v_d$ ), de hoogte van de menglaag, de windrichting, de oppervlakterutheid en de achtergrondconcentratie van ammoniak.



Figuur 4 De variatiecoëfficiënt in de depositie van ammoniak zoals berekend in Figuur 3. (Weergegeven is de standaarddeviatie ( $\sigma$ ) gedeeld door de depositie) als functie van de afstand tot die stal bij willekeurige variatie van de depositiesnelheid ( $v_d$ ), de hoogte van de menglaag, de windrichting, de oppervlakterutheid en de achtergrondconcentratie van ammoniak.



Datum

26 april 2022

Onze referentie

100342643

Blad

21/33

Figuur 5 De variatiecoëfficiënt in de depositie van NO<sub>x</sub> zoals berekend in Figuur 3. Weergegeven is de standaarddeviatie ( $\sigma$ ) gedeeld door de depositie) als functie van de afstand tot die stal bij willekeurige variatie van de depositiesnelheid ( $v_d$ ), de hoogte van de menlaag de windrichting, de oppervlakteruwheid.

### 2.3.3 De onzekerheid in de depositie als gevolg van emissies door meerdere bronnen

In fase 1 is aangegeven dat bij het berekenen van de depositie door emissies van *meerdere* bronnen de onzekerheid kleiner is dan die in een *individuele* bron. Figuur 6 laat de onzekerheid in de depositie zien berekend voor een enkele bron vergeleken met de onzekerheid in de depositie door de (NH<sub>3</sub>) emissie van een groep van 15 bronnen verspreid in een vlak van 50 x 50 km maar met gelijke bronsterkten. Duidelijk is dat de variatiecoëfficiënt (onzekerheid) in de depositie door de meerdere bronnen veel lager is. De willekeurige fouten in de berekende depositie van individuele bronnen vallen dan tegen elkaar weg<sup>37,38</sup> Validatie van modelberekeningen met OPS zoals regelmatig uitgevoerd aan de hand van metingen op locaties die worden belast vanuit *meerdere* bronnen geven dus weinig inzicht in de onzekerheid van de berekening van de depositie vanuit een *enkele* bron.

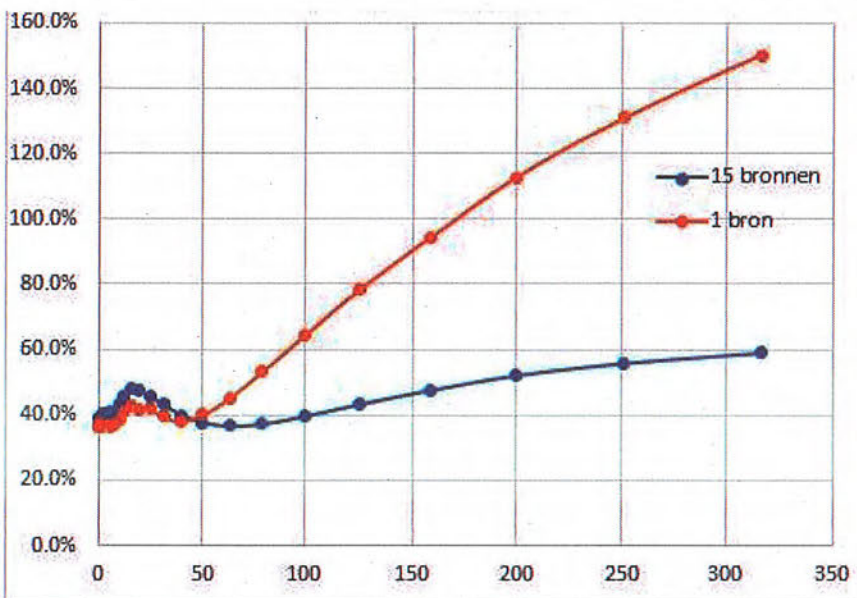
<sup>37</sup> Het is een bekend statistisch gegeven dat naar mate er meer waarnemingen worden gebruikt de onzekerheden in een schatting van het gemiddelde kleiner worden dan onzekerheden in de individuele waarneming.

<sup>38</sup> Dit geldt voor onafhankelijke (los van elkaar gelegen) bronnen en niet voor een groep bij elkaar gelegen bronnen die tot één complex behoren. In deze studie is aangenomen dat dit geldt voor de belangrijkste parameters als eerste orde aanname.

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643

Blad  
22/33



Figuur 6 De variatiecoëfficiënt in de berekende depositie als functie van de afstand tot een enkele bron vergeleken met de onzekerheid berekend uit de depositie van 15 verschillende bronnen.

## 2.4 Conclusie

In deze fase twee is, aansluitend op fase één, gezocht naar de onzekerheid in de depositie als functie van de afstand. In de uitgebreide scan in de literatuur werd weinig aanvullende informatie gevonden. Bevestigd wordt dat experimentele validatie van pluimmodellen voor individuele bronnen op grotere afstanden dan 20 km ontbreekt. De, regelmatig uitgevoerde, validatie aan metingen van het LML is uiteraard zeer belangrijk voor verificatie van de berekende (achtergrond)depositie maar geeft hier geen inzicht. De validatie zegt vooral iets over de juistheid van de depositie berekend voor de bijdrage van *alle* bronnen d.w.z. de grootschalige achtergrond en bronnen op diverse afstanden. Dit sluit aan bij de resultaten van de onzekerheidsanalyse waarbij aangetoond kon worden dat de onzekerheid in de berekende depositie van een individuele bron groter is dan die in de bijdrage van alle bronnen samen.

Verder bleek de berekende depositie het sterkst af te hangen van de waarde van de depositiesnelheid ter plaatse van de receptor (het natuurgebied). Uit deze analyse blijkt dat voor ammoniak de variatiecoëfficiënt sterk toeneemt met de afstand van 40 % binnen 50 km, tot bijna 80% op 100 km en 140% op 250 km.

Het verloop van de variatiecoëfficiënt voor stikstofoxiden geeft een vergelijkbaar verloop te zien met de afstand. Vanaf 10 km van de bron neemt de variatiecoëfficiënt snel toe van 30-40% tot 100% en groter dan 100 % vanaf 50 km. De depositiesnelheid van NOx is veel kleiner dan bij NH<sub>3</sub>. Daardoor is depositie bij NOx niet het belangrijkste verliesproces en worden, niet in het NNM opgenomen, processen belangrijker. Om de beschrijving te verbeteren is het NNM (overeenkomstig het OPS) voor deze studie uitgebreid met deze processen.

De, uit deze analyse afgeleide, onzekerheden is, zoals eerder genoemd, door allerlei oorzaken nog een onderschatting van de werkelijke onzekerheid.

### 3. Onderste rapportagegrens

#### 3.1 Inleiding

De eerste vraag bij een beoordeling is of het project leidt tot overschrijden van de kritische depositie waarde in een natuurgebied. Deze vraag kan beschreven worden met de volgende vergelijking:

*Huidige (totale achtergrond depositie) + bijdrage van het individuele project > KDW*

Het is wetenschappelijk gebruikelijk bij dit soort vergelijkingen de onzekerheid in de individuele onderdelen in overweging te nemen. Hier richten we ons vooral op de ruis d.w.z.: willekeurige fluctuaties (de ruis) in de verschillende termen. Het gaat dus om de willekeurige fluctuaties enerzijds: de totale achtergrond depositie plus de bijdrage van de bron enerzijds en de KDW anderzijds.

In de huidige regelgeving en werkwijze bij toestemmingverlening spelen eerdergenoemde onzekerheden echter geen beslissende rol. De KDW ligt vast terwijl de huidige depositie wordt afgeleid uit de vastgelegde GDN<sup>39</sup> kaarten. De onzekerheid daarin speelt ook geen rol in de vergelijking terwijl de wijze waarop de bijdrage van een project wordt berekend ook vastligt<sup>40</sup>. De berekende bijdrage van een project aan de totale stikstofdepositie op natuurgebieden wordt beoordeeld als de projectbijdrage hoger is dan de rekenkundige ondergrens van 0,005 mol/ha/j en de totale (of cumulatieve) stikstofdepositie groter is dan de KDW. Wanneer de KDW wordt overschreden of benaderd en significant negatieve effecten kunnen niet op voorhand worden uitgesloten, is een passende beoordeling van het project noodzakelijk. Zowel de KDW als de rekenkundige ondergrens zijn daarmee belangrijke grootheden. Gies *et al.* (2006)<sup>13</sup> hebben beargumenteerd dat de belasting voor veel habitats boven de kritische waarde uitkomt en dat iedere verhoging van de depositie op deze gebieden dus een extra overschrijding van de kritische belasting oplevert. Zij stellen: hoe gering deze belasting ook is, toch zal deze als een 'significant effect' moeten worden beschouwd. Eén van de argumenten is dat de bijdrages van duizend van deze kleine bronnen, samen, kunnen leiden tot een grote overschrijding van de KDW. Dit effect wordt cumulatie genoemd. Het is de vraag of dit een rol speelt. De bijdragen van alle projecten aan de depositie beneden de rekengrens worden toegevoegd aan de achtergrond. Hun bijdrage wordt dus niet onttrokken aan de schatting maar wordt meegenomen in de achtergrond. Daarbij heeft het niveau van de totale achtergrond depositie een betrouwbare significante waarde, de significantie van de bijdrage van één bron wordt niet beoordeeld. De vraag is dan nu of het door hen gehanteerde begrip "significant" inderdaad ingevuld moet worden als "alles groter dan nul (of de rekenkundige ondergrens)". Vanuit wetenschappelijk oogpunt is dat ongebruikelijk. De nauwkeurigheid van grootheden in fysica/biologie of chemie dient altijd in de overwegingen te worden betrokken.

<sup>39</sup> GDN = Grootchalige Depositie in Nederland (GCN & GDN kaarten | RIVM)

<sup>40</sup> De onzekerheid in de *huidige depositie* op een natuurgebied is volgens van Jaarsveld (van Jaarsveld, 2004) bijna 100%. In termen van de bovenstaande vergelijking geldt dit voor de achtergrond depositie. Op de onzekerheid in deze term wordt hier verder niet ingegaan.

## Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643Blad  
24/33

De huidige *rekenkundige ondergrens* (van 0,005 mol/ha/jaar) is dus een 'arbitraire' keuze, gebaseerd op computer technische overwegingen, met daarnaast de gedachte dat deze bijdrage klein genoeg zal zijn om cumulatief een nieuwe KDW-overschrijding (door het gezamenlijk effect van een aantal kleine bijdrage) te vermijden. Er is, zoals gezegd, geen technisch wetenschappelijke argumentatie opgesteld voor deze keuze. Een meer inhoudelijk antwoord op de vraag of deze rekenkundige ondergrens nog betekenisvol is, met andere woorden: nog als significant kan worden beschouwd, wordt niet gegeven. In deze fase 2 van onze studie is die vraag expliciet geadresseerd door te proberen het ruisniveau (willekeurige fluctuaties) in de uitkomsten van berekeningen vast te stellen.

Zoals gemeld liggen de wijze, waarop de achtergronddepositie en de KDW en ook de bijdrage van het project worden vastgesteld, vast. Elk van deze grootheden kent een kwantitatieve begrenzing die door willekeurige keuzen is bepaald: het ruisniveau. Deze geeft een realistische ondergrens van de nauwkeurigheid van deze vergelijking. Hieronder wordt ingegaan op de nauwkeurigheid van de verschillende onderdelen van bovenstaande vergelijking en de invloed daarvan op de keuze van een rekenkundige ondergrens. Allereerst wordt ingegaan op de ondergrens zoals die kan worden afgeleid uit de vergelijking met metingen.

Het gaat daarbij om de ruis in de berekeningen van de bijdrage van één bron. De ruis wordt geschat door vergelijking van berekende en gemeten concentraties. Daarna volgen overwegingen op basis van modelberekeningen van de achtergrond depositie.

### 3.2 De onzekerheid in de berekening van de bijdrage van een enkele bron

#### 3.2.1 Op basis van vergelijking met metingen:

Bij validatie experimenten wordt de berekende depositie of concentratie vergeleken met gemeten waarde. Bij grafische weergave van deze vergelijking ontstaat dan een puntenwolk waarbij de punten in het ideale geval alle op de 1:1 lijn liggen. Het model voorspelt echter niet perfect; er zijn afwijkingen zichtbaar t.o.v. de 1:1 lijn. Dit geeft inzicht in de juistheid van de uitkomsten van modelberekeningen en de precisie. Er kunnen verschillende oorzaken van deze afwijkingen zijn. De mate van afwijken van de lijn kan, hoe dan ook, geïnterpreteerd worden als het 'ruis' niveau van het model: vergeleken met metingen is het model niet in staat nauwkeuriger resultaten te geven. Afwijkingen van de lijn die kleiner zijn dan de ruis zijn namelijk willekeurig, niet te duiden en dus niet significant. Dit geldt ook bij een hele lage depositie. Op dat moment geeft het ruisniveau ook aan, wanneer de berekende depositie niet meer significant afwijkt van nul. De vergelijking met metingen die hiervoor gebruikt kunnen worden, is de dataset van Falster (Theobald et al., 2010 <sup>41</sup>. Erbrink (2013)<sup>42</sup>). In

<sup>41</sup> Theobald, M., R. P. Lofstrom, H. V. Andersen, P. Pedersen, J. Walker, A. Vallejo, M. A. Sutton (2010), An intercomparison of models used to simulate the atmospheric dispersion of agricultural ammonia emissions, Proceedings Harmo13, June 2010 Paris

<sup>42</sup> Erbrink, J. J. (2013), OPS-NNM een vergelijking op concentraties en deposities, KEMA-rapport 74101249-CES/ECS-00013



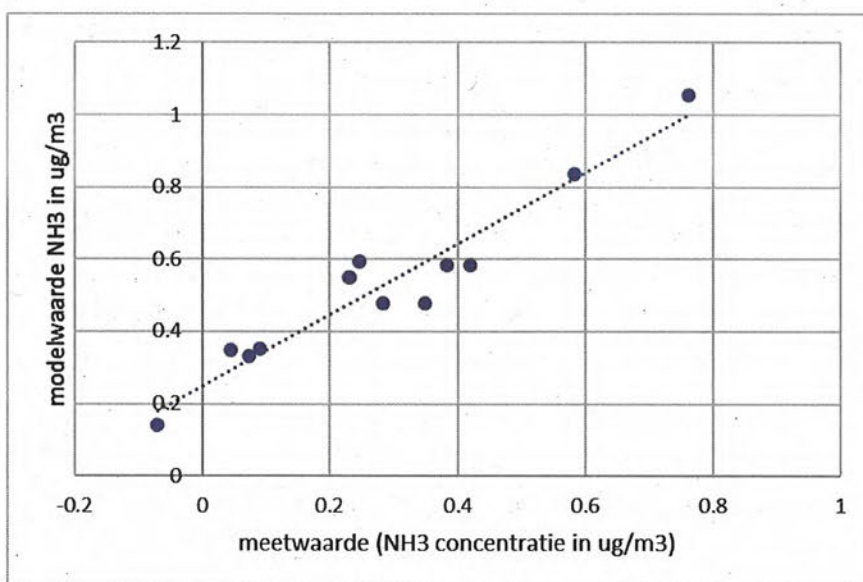
Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643

Blad  
25/33

Figuur 7 is de berekende concentratie van ammoniak uitgezet tegen de gemeten concentratie.

NB door het corrigeren van de gemeten concentratie voor de 'achtergrond gaat dit om een meting en berekening van de bijdrage van één enkele bron. Als we de lage waarden in deze dataset beschouwen, dan is de variantie (de verschillen tussen de gemeten en berekende concentratie) van de orde grootte van  $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>43</sup>. De concentratie is dan  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dit geldt voor ammoniak als onmeetbaar klein. Validatie kan op dat dus niet met een hogere nauwkeurigheid plaatsvinden.



Figuur 7 Berekende versus gemeten concentratie van ammoniak in het Falster experiment<sup>18,19</sup> (de gemeten concentratie is gecorrigeerd voor de achtergrond en kan dus ook kleiner dan nul worden door ruis in de meetresultaten).

De gemeten concentratie en de spreiding daarin kunnen worden gebruikt voor een eerste schatting van de depositie en de spreiding daarin. Dit kan (grofweg) gebeuren met behulp van de depositiesnelheid. De effectieve (jaargemiddelde) depositiesnelheid voor ammoniak is ongeveer  $0,01 \text{ m/s}$ . Combineren we deze met de genoemde variantie in de concentraties dan is de variatie in de depositie ( $D=Vd \cdot C$ ) gelijk aan  $6 \text{ mol/ha/jaar}$ . Met andere woorden, op grond van vergelijking met metingen, volgt een *onderwaarde* voor de depositie die met het model significant (d.w.z. als afwijkend van nul) kan worden vastgesteld voor  $\text{NH}_3$  depositie van  $6 \text{ mol/ha/jaar}$ , één  $\sigma$ ).

### 3.2.2 Op basis van onzekerheid in modelberekeningen:

De aard van een Gaussisch pluimmodel is dat in geen enkel geval een depositie kleiner dan nul wordt berekend. Deze eigenschap maakt het lastig aan te geven

<sup>43</sup> Als één sigma ( $\sigma$ ) waarde

## Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643Blad  
26/33

wanneer een depositie niet significant<sup>44</sup> van nul afwijkt. Wel is het belangrijk om te onderzoeken welke waarde van de berekende depositie nog *realistisch* als ongelijk nul kan worden beschouwd. De hierboven gepresenteerde onzekerheidsanalyse geeft wel een eerste inzicht. Uitgangspunt is dat deze analyse de onzekerheid in de berekende depositie weergeeft. Dit is zoals gemeld, uiteraard een berekening met beperkingen maar vooralsnog wordt de spreiding<sup>45</sup> in de berekende deposities gezien als een indicatie van de onzekerheid. Uitgangspunt is een berekening van de depositie op een bepaalde afstand. Deze geeft een verdeling (veroorzaakt door de uitkomsten van de berekeningen met andere parameterwaarden) rondom de gemiddelde waarde. Onderzocht kan worden wanneer een gedeelte van deze berekende deposities kleiner dan nul is. De spreiding in de, op een bepaalde afstand berekende depositie vertoont een redelijk normale verdeling<sup>46</sup>. Wanneer gekeken wordt naar een 95% betrouwbaarheidsinterval ( $2\sigma$ ) zou een depositie kleiner dan nul binnen dit interval liggen na een afstand van iets meer dan 50 km. Het is wellicht interessanter om een vergelijking te maken met de rekenkundige ondergrens van 0,005 mol/ha/jaar. Figuur 3 laat zien dat pas op ongeveer 150 km de helft van de berekende depositie onder deze grens uitkomt. Deze redenering levert dus niet echt overtuigende argumenten op voor het op afleiden van een andere rekenkundige ondergrens of maximale rekenafstand. Er zijn echter andere argumenten, die hierna worden besproken.

### 3.4 De onzekerheid in de KDW.

Vergelijken we de berekende depositiewaarde (de huidige depositie plus de bijdrage van de te beoordelen bron) met de KDW, dan beoordelen we **het verschil tussen deze twee**. Bij een KDW van 500 mol/ha/jaar is het evident, dat er geen verschil is vast te stellen tussen een effect van een individueel project, dat leidt tot 500,01 of en een project dat leidt tot een bijdrage van 499,99 mol/ha/jaar. Eerst dient men af te ronden tot *hetzelfde aantal* cijfers als waarin de KDW is weergegeven, alvorens een uitspraak te doen<sup>47</sup>.

De onzekerheid in de *kritische depositiewaarde* is volgens Abbot *et al.* (2007) 20%. Van Dobben *et al.* (2012)<sup>48</sup> ronden de KDW- waarde expliciet af op 1 mol/ha/jaar is. De nauwkeurigheid volgens van Dobben *et al.* (2012) is hoogstens enkele kg/ha/jaar terwijl de KDW-precisie in de gegeven getalswaarden 0,1 kg N/ha/jaar is. Dat maakt

<sup>44</sup> Zoals eerder genoemd wordt met significante afwijken van nul hier het statische begrip significant bedoeld. Dat wil zeggen: de berekende depositie wijkt op basis van statistische regels *werkelijk* van elkaar af. Hier wordt dus niet het begrip significant in de betekenis van 'aanzienlijk'.

<sup>45</sup> Hier nogal eens uitgedrukt als de variatiecoëfficiënt. Deze waarde wordt berekend als de standaarddeviatie in de berekende waarden gedeeld door de gemiddelde waarde.

<sup>46</sup> Het gegeven dat de depositie nooit kleiner dan nul wordt geeft de verdeling een lognormaal karakter. Voor de discussie hier is dit verschil niet echt belangrijk.

<sup>47</sup> Dit is geheel in lijn met basisregels van de meetstatistiek: er mogen niet meer cijfers gerapporteerd gegeven worden dan de aflezing van een meetapparaat aangeeft: een gewicht van 15 kg op een weegschaal met een onderverdeling van 0,1 kg wordt niet worden weergegeven als 15,000 kg; 15,0 is dan correct.

<sup>49</sup> Landelijk Grondgebruik Nederland

dat depositiewaarden kleiner dan deze 0,1 kg niet als significant zijn te beschouwen. Dit zou overeenkomen met een rekengrens van minder dan 7 mol/ha/jaar.

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643

### 3.5 De onzekerheid in de achtergrond depositie

Bij het berekenen van de depositie met een model worden allerlei parameters gebruikt die nodig zijn om de processen in het model te beschrijven. De invloed van de keuze van deze parameters is hierboven al besproken. Uit bovenstaande analyse kan een onzekerheid in de berekende depositie worden afgeleid. Daarnaast worden basisgegevens gebruikt die medebepalend zijn voor de uitkomst. Een andere keuze van deze basisgegevens leidt tot andere uitkomsten. Deze keuze van deze basisgegevens is vaak willekeurig en vooral gebaseerd op praktische afspraken. De impliciete veronderstelling is wel dat een andere keuze van de basisgegevens niet tot significant andere resultaten zou moeten leiden. Het effect van de variatie in deze basisgegevens kan gezien worden als *ruis* in de berekende depositie.

Blad

27/33

Het gaat om onder andere:

- **Landgebruik:** Gegevens over het landgebruik: de zogenaamde LGN<sup>49</sup> kaarten. Elke zoveel jaar wordt de LGN-kaart onderhouden en bijgewerkt. Het gebruik van een andere kaart voor de depositieberekeningen leidt tot het berekenen van andere depositie. Dit heeft vooral ook te maken met de depositieprocessen tijdens het transport. Door andere ondergronden in de LGN kaart worden deze groter of kleiner. De overgang van LGN6 (gebaseerd op gegevens uit de periode 2007-2008) naar LGN7 (gebaseerd op gegevens uit 2012) leidde tot verschillen in de berekende depositie (GDN-waarden) van 6 mol/ha/jaar (als 1  $\sigma$  op een willekeurig km-vlak (gemiddeld over alle km<sup>2</sup> vakken: 1 mol/ha/jaar). Dit suggereert dat de precisie (ruisniveau) van de berekende depositie met het huidige model instrumentarium ook (grootteorde) 6 mol/ha/jaar is.
- **Meteorologische gegevens.** Ook het gebruik van verschillende gegevens over meteorologische condities kan leiden tot verschillend uitkomsten. Het gaat om:
  - o *Meteorologische gegevens uit verschillende jaren* Het gebruik van verschillende jaren voor het verkrijgen gegevens over de meteorologische condities (windsnelheid, windrichting, neerslag enz.). Op dit moment wordt gewerkt met gegevens die zijn gemiddeld over een periode van 10 jaar. Wanneer andere meteobestanden (gemiddeld over 10 andere jaren) worden gebruikt voor de berekeningen dan varieert de depositie (bij een depositiewaarde van 500 mol/ha/jaar) met zo'n 2 tot 3% ofwel ongeveer 10 mol/ha/jaar. Ook dit suggereert dat de precisie (ruisniveau) van berekeningen minstens gelijk zou zijn aan 10 mol/ha/jaar.
  - o *Het gebruik van een ondergrens voor de windsnelheid.* De concentratie en daarmee de depositie is het hoogst bij lage windsnelheden. In de praktijk worden in de modelberekeningen situaties beneden 1 m/s meegenomen als zijnde een windsnelheid van

<sup>49</sup> Landelijk Grondgebruik Nederland

1 m/s. Door het verloop van de windsnelheid over het land worden op verschillende posities in het land daardoor verschillende deposities berekend. In hoeverre dit lager is geweest dan deze ondergrens, is in de berekeningen verloren gegaan. Dit leidt over het land tot willekeurige verschillen in de berekende depositie Dit leidt tot verschillen in de depositie (het ruisniveau) die op kunnen lopen tot 18 mol/ha/jaar voor ammoniak en 1.4 mol/ha/jaar voor NOx.

**Datum**

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643

**Blad**  
28/33

### 3.6 Conclusies

Verschuillende aspecten die van belang zouden kunnen zijn bij het komen tot een op fysica gebaseerde *rekenkundige ondergrens* zijn onderzocht. Daaruit kan het volgende worden geconcludeerd:

- Een belangrijke validatiestudie waarbij berekende concentraties, als gevolg van de emissies van een enkele bron, vergeleken worden met gemeten waarden laat zien dat een depositie tussen 6 en 12 mol/ha/jaar niet meetbaar is. Deze lage waarden zijn daarom als ruis aan te merken en berekende kleinere verschillen zijn dus niet meer significant (niet onderscheidbaar van nul).
- De precisie (ruis) in de uitkomst van modelberekeningen hangt ook samen met de gebruikte basisgegevens zoals de gegevens over de meteorologische condities, gegevens over het landgebruik enzovoort. De willekeurigheid in het gebruik van deze gegevens wijst naar een ruisniveau in de berekende *huidige* depositie. De ondergrens voor de precisie ligt, gezien deze argumenten, tussen 1 en 10 mol/ha/jaar.
- De nauwkeurigheid waarmee de KDW is gegeven bedraagt 7 mol/ha/jaar.

Opvallend is de betrekkelijk kleine verschillen tussen de geschatte ondergrenzen. Bij het beoordelen van een project geldt momenteel een rekenkundige ondergrens van 0,005 mol/ha/jaar. De hier, op verschillende gronden, geschatte, precisie (ook wel ruis) levert argumenten om te kiezen voor een rekenkundige ondergrens voor de depositie, tussen 1 en 10 mol/ha/jaar. Deze waarden zijn het resultaat van wetenschappelijke overwegingen. Uiteraard kan het voorzorgsprincipe aanleiding vormen voor een beleidsmatige keuze voor een lagere waarde.

De commissie Hordijk geeft aan, zonder aanvullend onderzoek, niet in staat te zijn een uitspraak te doen over het aantal cijfers achter de komma dat wetenschappelijk verantwoord kan worden gegeven bij de uitkomsten van de berekening van de depositie. Onze overwegingen kunnen gezien worden als een eerste invulling van het onderzoek.

## 4. Internationale visies op afbakening depositieberekening

De regelgeving en werkwijzen in de ons omringende landen is ook aan veranderingen onderhevig. Daardoor is het lastig een compleet overzicht te geven. De tekst hieronder is dan ook bedoeld als ruwe schets. De informatie uit het Verenigd Koninkrijk, Denemarken en Vlaanderen is verkregen via persoonlijke contacten met onderzoekers uit die landen sinds het uitbrengen van het rapport over fase 1.

**Datum**26 april 2022  
**Onze referentie**  
100342643**Blad**  
29/33

- Navraag bij onderzoekers uit het Verenigd Koninkrijk levert op dat de grenswaarden (maximale afstand van 5 km voor landbouwprojecten en een grenswaarde van 1% van de kritische depositie) zijn gekozen door de instellingen belast met het beheer van de natuurgebieden. Informeel wordt gemeld dat de 5 km grens samenhangt met het feit dat op grotere afstanden voor agrarische bedrijven de invloed niet merkbaar is. De grens gebaseerd op 1% van de kritische depositie zou neerkomen op een rekenkundige ondergrens van 5 mol/ha/jaar (uitgaande van bijvoorbeeld een KDW van 500 mol/ha/jaar)
- In Vlaanderen werd ook een rekenkundige ondergrens gehanteerd al is deze op dit moment aan verandering onderhevig. Tot kortgeleden moest beoordeling plaats vinden wanneer de berekende depositie meer is dan 0,3 kg/ha/jaar (of wel 21 mol/ha/jaar). Dit is 5% van de KDW voor sommige gebieden. In de meest recente publicaties wordt gesproken over een verplichting tot beoordeling bij een berekende NO<sub>x</sub> depositie groter dan 0,06 kg/ha/jaar, dit is ongeveer 5 mol/ha. Voor ammoniak moeten voorlopig alle aanvragen worden beoordeeld.
- In Denemarken worden berekeningen met het nationale OML-model toegepast tot 20 km van de bron. Voor stallen worden een verdere afbakening gehanteerd van 4 km. Depositieberekeningen worden bij de rapportage afgerond op eenzelfde aantal cijfers als de KDW (in kg N/ha/jaar).
- In Duitsland wordt een absolute ondergrens voor te rapporteren N-depositie hoeveelheden genoemd van 0,5 kg N/ha/jaar als de som van NO<sub>x</sub> en NH<sub>3</sub>. Deze is afgeleid van de overweging dat de kleinste meetbare hoeveelheid NO<sub>x</sub> en NH<sub>3</sub> respectievelijk 0,4 en 0,1 µg/m<sup>3</sup> bedraagt. Vermenigvuldiging met de droge depositiesnelheid uit de VDI-richtlijn 3782 volgens huidige stand van de techniek, geeft een orde grootte van 0,5 kg N (=35 mol/ha).

## 5. Gevolgen van een aanpassing van de rekenkundige ondergrens

In de eerste fase van dit onderzoek is ingegaan op het hanteren van een maximale rekenafstand. De conclusie was dat er argumenten zijn om maximale rekenafstand voor berekeningen van de individuele bijdrage te hanteren. Hierboven is in aansluiting op deze maximale rekenafstand ingegaan op het hanteren van een rekenkundige ondergrens. Op basis van een analyse aan de hand van modelberekeningen en vergelijkingen tussen de uitkomsten van modelberekeningen en metingen wordt geconcludeerd dat er wetenschappelijke argumenten zijn om een rekenkundige ondergrens te hanteren tussen 1 en 10 mol/ha/jaar in plaats van de huidige (willekeurige, niet wetenschappelijk onderbouwde) rekengrens van 0,005 mol/ha/jaar. Deze grote range hangt samen met de uiteenlopende wijzen waarop een rekenkundige ondergrens zou kunnen worden vastgesteld.

Een andere keuze voor een rekenkundige ondergrens leidt tot een andere behandeling van aanvragen voor vergunningen. Bij een hogere rekenkundige ondergrens kan, het aantal projecten waarvoor mitigatie noodzakelijk is, lager worden. Zonder aanvullende generieke maatregelen zou dit kunnen leiden tot een hogere depositie op natuurgebieden wat kan leiden tot een grotere opgave voor de overheid.

**Datum**26 april 2022  
**Onze referentie**  
100342643**Blad**  
30/33

In de huidige regelgeving is het echter zo dat veel van de projecten al te maken hebben met een mitigatie-eis vanwege depositie op andere natuurgebieden. In deze studie was het niet mogelijk rekening te houden met de effecten van deze mitigatie-eis. Ook is niet in beeld gebracht hoe de gevolgen van een hogere rekenkundige ondergrens zich verhouden tot de effecten van de generieke en gebiedsgerichte bron- en natuurmaatregelen die worden getroffen in het kader van de structurele aanpak stikstof. Aanbevolen wordt ten behoeve van een eventuele keuze van een andere waarde van de rekenkundige ondergrens dit onderzoek uit te voeren.

## 6. Conclusies

### 6.1 Maximale rekenafstand

Uit beschouwingen met STACKS (een deels vergelijkbaar rekenmodel als OPS) blijkt dat de onzekerheid in de berekende depositie, na enkele tientallen km, sterk toeneemt. Dit geldt voor zowel ammoniak als voor stikstofoxiden. Ook blijkt de onzekerheid in depositieberekening ten gevolge van een enkele bron duidelijk groter te zijn dan die voor de som van meerdere bronnen. Dit laatste volgt al uit kwalitatieve, statistische, overwegingen maar kan kwantitatief aangetoond worden. Dit maakt dat depositieberekeningen voor een enkele bron niet tot op grote afstanden met een redelijke nauwkeurigheid uitgevoerd kunnen worden. Waar de afbakening in afstand behoort te liggen is niet eenvoudig uit onzekerheidsbeschouwingen af te leiden. Belangrijkste argument, gehanteerd in fase 1 van dit onderzoek, is dat modellen, in alle redelijkheid, gevalideerd behoren te zijn binnen het toepassingsbereik. Dit is gebeurd tot afstanden kleiner dan 20 km. Aansluiting van AERIUS op met het toepassingsbereik van het Nederlandse consensusmodel het NNM, dat sterk verwant is aan OPS, leidt tot een maximale rekenafstand van 25 km.

### 6.2 Rekenkundige ondergrens

Bij het beoordelen van een project geldt momenteel een rekenkundige ondergrens van 0,005 mol/ha/jaar. Dit is veel lager dan de precisie in de berekende depositie als gevolg van emissies van een enkele bron. De berekende depositie vertoont willekeurige fluctuaties (de zogenaamde "ruis") die ertoe leiden dat een berekende lage depositie niet meer te onderscheiden is van nul. Argumenten zijn geïnventariseerd die een, meer vanuit overwegingen uit de fysica, onderbouwde schatting voor de precisie van depositieberekeningen opleveren. Op verschillende gronden is de precisie (ook wel ruis) geschat. Deze analyse reikt mogelijke argumenten aan om te kiezen voor een rekenkundige ondergrens voor de depositie, tussen 1 en 10 mol/ha/jaar. Op dit moment is niet onderzocht welke invloed het hanteren van een hogere rekenkundige ondergrens dan de huidige zal hebben op de vergunningverlening of de depositie. Aanbevolen wordt een dergelijk onderzoek uit te voeren. De resultaten daarvan samen met het voorzorgprincipe kan uiteraard leiden tot lagere keuzen.

In de ons omringende landen worden ook rekengrenzen gehanteerd die aanzienlijk hoger zijn dan de huidige Nederlandse van 0,005 mol/ha/jaar. Uitzondering is Vlaanderen waar de regeling aan het veranderen is en een rekenkundige ondergrens van 5 mol/ha/jaar wordt gehanteerd voor NOx en alle aanvragen met betrekking tot emissies van ammoniak beoordeeld moeten worden.

TNO VERTROUWELIJK

## 7. Ondertekening



Managing Director  
Circular Economy & Environment

**Datum**

26 april 2022  
**Onze referentie**  
100342643

**Blad**

31/33

TNO VERTROUWELIJK

Datum

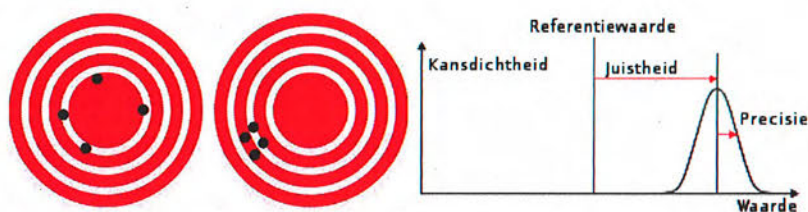
26 april 2022

Onze referentie  
100342643

Blad  
32/33

## Bijlage 1. Precisie en juistheid

Twee andere begrippen zijn belangrijk: **precisie en juistheid**. **Precisie** is de mate van spreiding die men verkrijgt met herhaalde toepassing van het model; **juistheid** geeft aan wat de afwijking is tussen de berekende depositie en de werkelijke waarde. Onzekerheid is de combinatie van beide. Het verschil is in deze context belangrijk. De berekende depositie zou overeen moeten komen met de werkelijke depositie (hoge juistheid). Bij een lage precisie (veel spreiding/ruis in de berekende waarden) kan niet worden vastgesteld of de berekende depositie juist is.



*Figuur 8 Illustratie van de begrippen juistheid en precisie aan de hand van een roos bovenste figuur. De meest linkse figuur illustreert een gemiddeld juist resultaat maar een lage precisie. De middelste figuur illustreert een hoge precisie maar een onjuist resultaat. De meest rechtse figuur laat de in meer wetenschappelijke context de verschillen zien.*



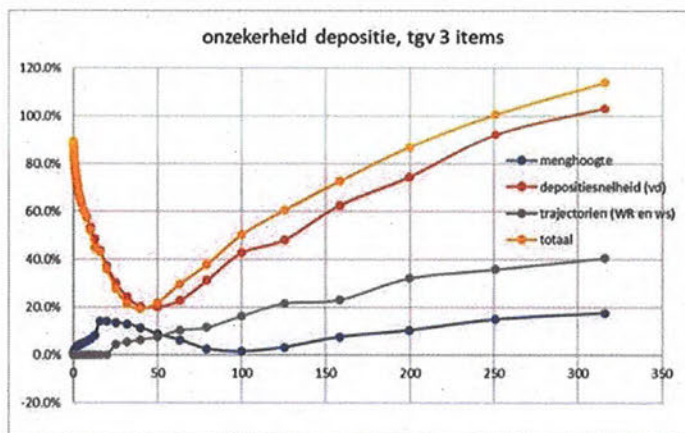
## Bijlage 2. Invloed van verschillende parameters op de onzekerheid in de schatting van de depositie

Datum

26 april 2022  
Onze referentie  
100342643

Blad  
33/33

In een beperkt onderzoek is nog nagegaan welke parameters daar de grootste bijdrage leveren aan de onzekerheid. De onzekerheid in de depositiesnelheid levert de grootste bijdrage.



Figuur 9 Variantie coëfficiënt van de berekende depositie op verschillende afstanden van de bron bij variatie van de verschillend parameters: depositie snelheid, windrichting en menghoogte (hoogte van de menglaag).

