

# Expertoordeel onderbouwing maximale rekenafstand bij project-specifieke berekeningen van stikstofdeposities

Arthur Petersen

9 november 2022

## Samenvatting

Bij gebruik van een model voor een bepaald (beleids)doel moet eerst worden bepaald wat het wetenschappelijke toepassingsbereik is van een model. Het toepassingsbereik geeft aan waar het model betrouwbare uitspraken kan doen (gegeven het doel waarvoor de rekenresultaten worden gebruikt). Als de resultaten te onzeker zijn (er is sprake is van 'schijnzekerheid'), dan is het model onvoldoende betrouwbaar (niet geldig) voor gebruik. Er zit altijd een begrenzing aan een model. In de context van luchtkwaliteit- en depositiemodellering van individuele bronnen is 25 km een wetenschappelijk geaccepteerde grens. Onzekerheden in berekeningen van stikstofdeposities worden groter met groter wordende afstand voorbij 25 km van de bron. Rekenresultaten op een grotere afstand dan 25 km zijn wetenschappelijk gezien onvoldoende betrouwbaar voor gebruik in besluitvorming (de modelsystematiek is dan niet doelgeschikt). Theoretische en empirische overwegingen, de overeenstemming met andere modellen en peer consensus laten geen beleidsruimte toe – vanwege schijnzekerheid – om wetenschappelijk voorbij die afstand stikstofdeposities van individuele bronnen te berekenen op een detailniveau van 1 ha.

## Inleiding

Mij is gevraagd om een onafhankelijk expertoordeel over de wijze waarop de maximale rekenafstand van 25 km bij project-specifieke berekeningen van stikstofdeposities is onderbouwd. Allereerst moet ik hierbij aangeven dat hoewel mijn brede wetenschappelijke achtergrond ook grenslaagmeteorologie, atmosferische chemie en (grootschalige) verspreidingsmodellering omvat, de gevraagde expertise van mijn zijde hier vooral wetenschapsmethodologisch en wetenschapsfilosofisch van aard is.<sup>1</sup> Uiteraard helpt mijn natuurwetenschappelijke achtergrond wel bij de inhoudelijke beoordeling van de discussie.

Wat mij is opgevallen in de stukkenwisseling in het kader van de beroepsprocedure bij de Raad van State inzake het Tracébesluit ViA15, is dat appellanten en ook de STAB niet bereid zijn de grote onzekerheden te onderkennen in modelberekeningen van stikstofdepositie op een ruimtelijk detailniveau van 1 ha verder dan 25 km van een individuele bron. *Voor experts op dit onderwerp is het overduidelijk dat die onzekerheid groot is en toeneemt met de afstand.*<sup>2</sup> Ik zie geen enkele reden om op dit punt aan het oordeel van de betrokken experts<sup>3</sup> te twijfelen en ik kan ook, gezien mijn eigen natuurwetenschappelijke expertise,

---

<sup>1</sup> Ik heb geen bemoeienis gehad in mijn loopbaan met de ontwikkeling van de hier ter discussie staande modellen (vooral omdat deze modellen niet bij het Planbureau voor de Leefomgeving in beheer zijn).

<sup>2</sup> Dit expertoordeel heeft overigens een geschiedenis van verschillende decennia en betreft dus niet zo zeer *nieuwe* kennis.

<sup>3</sup> In de verschillende stukken zijn de experts afkomstig van zowel RIVM als TNO. Ook de onafhankelijke experts die in de Commissie Hordijk zaten, delen dit oordeel.

volgen waar dit expertoordeel op gebaseerd is. Wat zich echter wreekt – en dat ben ik in mijn evaluatie van het vierde assessmentrapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ook tegengekomen (zie Meyer en Petersen 2010) – is dat expertoordelen die een belangrijke rol spelen op de interface tussen wetenschap en besluitvorming, vaak lastig te volgen (onvoldoende transparant)<sup>4</sup> zijn voor besluitvormers en andere betrokkenen (waaronder rechters) of zelfs voor wetenschappers in aanpalende vakgebieden. Dat verklaart de herhaaldelijke verzuchtingen van de zijde van de STAB dat ze niet kunnen volgen hoe de experts tot hun oordeel zijn gekomen en de geprikkelde reacties daarop van TNO dat de STAB hen niet goed heeft begrepen en niet begrijpt hoe wetenschap werkt. Ik hoop dat mijn expertoordeel bijdraagt aan een duidelijker inzicht in wat er verantwoord gevraagd kan worden van wetenschappelijke modellen.

Wat belangrijk is om te begrijpen in dit dossier, is dat meteorologen en luchtkwaliteitsmodelleurs vaak de grens leggen tussen resultaten die net wel en resultaten die net niet betrouwbaar zijn om conclusies aan te verbinden bij een relatieve onzekerheid van een factor twee (dus dat de gemodelleerde waarde tussen –50% en +100% van de werkelijke waarde ligt).<sup>5</sup> Dit blijkt uit de stukken van zowel RIVM als TNO, uit documenten van experts van het Verenigd Koninkrijk (Derwent et al. 2010) en de Europese Unie (Denby et al. 2011) en uit het feit dat in wetenschappelijke literatuur over luchtkwaliteit regelmatig een zogenaamde ‘FAC2’ indicator (het percentage van berekeningen die binnen een factor twee van de waarnemingen liggen) wordt gehanteerd om de betrouwbaarheid van resultaten te kunnen beoordelen. Een relevante anekdote uit mijn eerste promotieonderzoek – waarop ik vanuit de wetenschapsfilosofie heb gereflecteerd in mijn tweede promotieonderzoek – bevestigt de waarde die in bepaalde wetenschapspraktijken aan een nauwkeurigheid van een factor twee wordt gehecht. Het betreft de openbare verdediging van mijn proefschrift (Petersen 2006, 2–3; 2012, 2–3):

On June 7, 1999, I publicly defended my doctoral dissertation “Convection and Chemistry in the Atmospheric Boundary Layer.” In this dissertation, the main body of which consisted of three journal articles based on computer simulation, I argued that one of the uncertainties in regional and global computer models of air quality was significantly smaller than was previously thought. Formerly, it was not known whether the influence of turbulence on chemical reactions in the atmospheric boundary layer could be neglected. I, together with my colleagues from the Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU), using a hierarchy of computer models, had shown that this neglect was allowable. One of the opponents, Professor Frans Nieuwstadt of Delft University of Technology, sternly questioned me about the reliability of my research results until he was satisfied with my final answer that I was confident about my research results only within a factor of two. \* His main problem with the work was that only simulation models of different complexity had been compared with each other, and no comparison had been made with experimental or observational

---

<sup>4</sup> In de PBL-evaluatie van het betreffende IPCC-rapport definieerden we een expertbeoordeling als onvoldoende transparant ‘als we de redenering achter een conclusie [in de samenvatting] niet konden traceren in de achterliggende hoofdstukken of geciteerde literatuur’ (Meyer en Petersen 2010, 15). Het is in die evaluatie toen overigens gelukt om, met hulp van de oorspronkelijke IPCC-auteurs, alsnog voor alle expertoordelen die in eerst instantie onvoldoende transparant bevonden waren, een voldoende transparante onderbouwing te geven.

<sup>5</sup> Dit kan nog preciezer worden geformuleerd. Derwent et al. (2010, 15) stellen bijvoorbeeld dat als op een bepaalde afstand de meerderheid van resultaten meer dan een factor twee afwijken van de werkelijkheid het model voorbij die afstand niet meer geldig is.

data. My contention was that the most complex simulations that I had done using the national supercomputer of the Netherlands were more reliable for answering my research questions than were any of the sparse experimental or observational results reported in the literature. This was judged by Professor Nieuwstadt to be a 'medieval position'. I disagreed since the large-eddy simulation (LES) model that I had used had been rigorously compared with experimental and observational data.<sup>†</sup> The only thing I had done, I claimed, was to apply this model to a somewhat different problem, which was extremely difficult to approach experimentally or observationally. After this minor public controversy, the episode ended well since the doctorate was awarded by the committee without any objections.<sup>‡</sup>

\* This accuracy was high enough for drawing the conclusions that I wanted to draw.

† On this, Professor Nieuwstadt had to agree. Although I did not bring this into the discussion, I knew that Nieuwstadt was well aware of this fact since the LES model was his.

‡ For those unfamiliar with the Dutch university system, as in many other countries, PhD students are admitted to defend their dissertation only after an assessment committee has approved it. Nieuwstadt, who was an external member of this committee, had already approved it.

Pas toen ik aangaf dat mijn resultaten binnen een factor twee betrouwbaar waren, werd het wetenschappelijk gezien als 'betrouwbaar genoeg' voor het onderhavige onderzoeksdoel.

In mijn expertoordeel over de onderbouwing van de maximale rekenafstand bij project-specifieke berekeningen van stikstofdeposities zal ik op zo transparant mogelijke wijze:

1. Reflecteren op het belang van het afbakenen van het toepassingsbereik van wetenschappelijke modellen, in het bijzonder wanneer die worden ingezet in de besluitvorming. Ik plaats dit in de context van het verantwoord omgaan met onzekerheden zoals dat is gecodificeerd in de Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden.
2. Oordelen over de onderbouwing van het hanteren van een maximale rekenafstand van 25 km bij project-specifieke berekeningen van stikstofdeposities.
3. (Beknopt) reageren op de hoofdpunten die door de STAB zijn ingebracht, in het licht van 1 en 2.

## **1. Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden: Toepassingsbereik van wetenschappelijke modellen**

Een goed startpunt voor de discussie over hoe om te gaan met onzekerheid op de interface tussen wetenschap en besluitvorming (in het kader van beleid of vergunningverlening – en met een focus op het toepassingsbereik van wetenschappelijke modellen) kan worden gevonden in de oorspronkelijk in 2003 gepubliceerde *Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden* (Petersen et al. 2003; Janssen et al. 2003; Petersen et al. 2013/2014) en in het rapport *Omgaan met Onzekerheid in Beleid* (Mathijssen et al. 2007). Deze documenten representeren de state-of-the-art op het gebied van omgaan met onzekerheden in wetenschap en beleid. De Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden is ontwikkeld voor gebruik door wetenschappers in het milieudomein,<sup>6</sup> in Nederland en daarbuiten.<sup>7</sup> De Group

---

<sup>6</sup> De Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden is breder toepasbaar dan alleen in het milieudomein.

<sup>7</sup> De eerste fase van ontwikkeling vond plaats in het RIVM en doorontwikkeling vond later plaats in het PBL.

of Chief Scientific Advisors van het Scientific Advice Mechanism van de Europese Commissie heeft de aanpak van de Leidraad expliciet aanbevolen voor breed gebruik in besluitvorming gebaseerd op wetenschappelijke input (Europese Commissie 2019, 46–49).

In de op wetenschappers gerichte Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden wordt in het bijzonder aandacht besteed aan de volgende zes belangrijke punten:

1. Hoe geef je je probleem weer en hoe bakken je het af (probleemframing)?
2. Wie betrek je bij de studie van het probleem, en in welke vorm en mate?
3. Wat zijn de centrale aspecten van het te bestuderen probleem?
4. Zijn de beschikbare kennis en methoden toereikend voor een goede analyse?
5. Wat zijn de onzekerheden die er toe doen?
6. Hoe communiceer je over deze onzekerheden?

Al deze punten zijn van belang voor de wetenschappers die in de context van beleid of vergunningverlening modellen ontwikkelen en berekeningen doen met hun modellen, om op basis van deze modellen betrouwbare uitspraken te kunnen bereiken.<sup>8</sup> Voor beleidsmakers en andere besluitvormers is er geen algemene ‘leidraad’ beschikbaar, terwijl daar wel behoefte aan is:

Beleidsmakers worden geconfronteerd met een dilemma: enerzijds wordt van hen verlangd dat zij beslissingen baseren op duidelijke, meetbare feiten, terwijl zij anderzijds worden geconfronteerd met ontwikkelingen die door variabele en onvoorspelbare processen onzekerheid met zich meebrengen. (Mathijssen et al. 2007, 9)

De verwachting was dat de uitwisseling van ervaringen en best practices [in de conferentie ‘Omgaan met Onzekerheid in Beleid’ van 16 en 17 mei 2006] een soort leidraad zou opleveren voor het omgaan met onzekerheid in beleid. Dat bleek te hoog gegrepen, door de complexiteit van het vraagstuk en door de grote diversiteit in beleidsomgeving, beleidsvragen, typen onzekerheden en ervaringen. (Don 2007, 5)

Uiteraard ontslaat de complexiteit van besluitvorming besluitvormers en andere betrokkenen niet van de plicht zich goed te vergewissen van in het bijzonder het toepassingsbereik van gebruikte modellen. Zij zouden moeten stimuleren dat wetenschappers verantwoord omgaan met onzekerheid in de context van besluitvorming. Een van die verantwoordelijkheden is het niet (laten) baseren van besluiten op resultaten die volgens de betrokken wetenschappers té onzeker zijn (waar die grens ligt, daar gaat de discussie nu precies over, zie de volgende paragraaf).

Er zijn verschillende voorbeelden te noemen van wetenschappers en adviseurs die hebben bijgedragen aan onverantwoord omgaan met onzekerheden, door bijvoorbeeld quasi-zekerheden (‘schijnzekerheden’) te bieden, niet-kwantificeerbare onzekerheden te kwantificeren, puntschattingen te geven in plaats van bandbreedtes, te geloven in de eigen modellen en analyses en kennis zomaar toe te passen buiten het gevalideerde toepassings-

---

<sup>8</sup> ‘Betrouwbaarheid’ heeft drie dimensies: (1) statistische betrouwbaarheid (‘betrouwsbaarheidsintervallen’), (2) methodologische betrouwbaarheid en (3) publieke betrouwbaarheid (Smith en Petersen 2014, 142–47). Elk van deze drie dimensies speelt een rol in publieke discussies over ‘de’ betrouwbaarheid van modellen voor beleid of vergunningverlening. Ik ga onder nader in op de methodologische betrouwbaarheid.

bereik (Petersen en Van Asselt 2007, 67). Vanuit wetenschappelijk oogpunt dient hierin verandering te komen.

ONZEKERHEIDSMATRIX		Onzekerheidsgraad <i>(van zeker weten, via waarschijnlijk en mogelijk naar niet-weten)</i>			Onzekerheidsaard		Kwalificatie kennisbasis (onderbouwing)			Waarden- geladenheid van keuzes		
		Statistische onzekerheid (range+kans)	Scenario-onzekerheid (range als 'what-if' optie)	Erkende onwetend- heid	Kennis- gerelateerde onzekerheid	Variabiliteit- gerelateerde onzekerheid	Zwak -	Redelijk 0	Sterk +	Gering -	Midden 0	Groot +
Locatie ↓												
Context	Ecologische, Technologische, economische, sociale en politieke representatie											
Expert- beschouwing	Narratives; storylines; adviezen											
M o d e l	Model- structuur	Relaties										
	Technisch model	Software & hardware- implementatie										
	Model- parameters											
	Model inputs	Input data; driving forces; input scenarios										
Data (in algem. zin)	Metingen; monitoring data; survey data											
Outputs	Indicatoren; uitspraken											

**Tabel 1.** Onzekerheidsmatrix (Janssen et al. 2003, 18; Petersen 2007, 17; Petersen et al. 2014, 27). Zie Petersen et al. (2014, 29–32) voor een beknopte uitleg van alle dimensies in de onzekerheidsmatrix en Petersen ([2006] 2012) voor een filosofische uitdieping.

De Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden is bedoeld als ‘tegengif’ voor deze neiging van veel wetenschappers (waar zij overigens vooral aan toegeven onder druk van besluitvormers)<sup>9</sup> en vormt daarmee de basis om zorgvuldig met onzekerheden om te gaan in besluitvormingsgericht wetenschappelijk onderzoek (Petersen et al. 2014, 6). Het is niet alleen voor het wetenschappelijk onderzoek zelf van belang om te weten waar onzekerheden zijn gelokaliseerd (bij modelstudies bijvoorbeeld in de ‘modelstructuur’, de ‘modelparameters’, de ‘model inputs’ of het ‘technische model’, zie tabel 1). Op de interface tussen wetenschap en besluitvorming gaat het vervolgens vooral om de beoordeling van de impact van onzekerheden op specifieke modelresultaten en daarop gebaseerde conclusies (inclusief over het toepassingsbereik van de modellen in de specifieke besluitvormingscontext). En daarom is het van belang om een beeld te hebben van de betrouwbaarheid van een model voor een bepaald doel (zie ook Smith en Petersen 2014, 137). En daaraan nog voorafgaand: ‘Bij het bouwen van het model is het van belang de wensen van het beleid en de omstandigheden van het specifieke beleidsprobleem mee te nemen in de keuze van de modelcomponenten’ (Hordijk 2007, 55).

De beoordeling van de methodologische betrouwbaarheid van een wetenschappelijk model betreft in Leidraad-terminologie het geven van een ‘kwalificatie van de kennisbasis

<sup>9</sup> Angst om ergens voor verantwoordelijk te worden gehouden kan ook een rol spelen. Wetenschappers hebben echter een maatschappelijke verantwoordelijkheid om te volgen wat er met hun resultaten wordt gedaan, om daarover te adviseren en om te waarschuwen voor verkeerd gebruik.

(onderbouwing)' (zie tabel 1). Hierbij gaat het om 'de mate waarin gegeven resultaten/ uitspraken onderbouwd zijn' (Petersen et al. 2014, 32). Als de kwalitatieve classificatie 'zwak' wordt gegeven, dan is dat een aanwijzing 'dat de betreffende uitspraak met veel (kennis)-onzekerheid omgeven is, en nadere aandacht verdient' (Petersen et al. 2014, 32).<sup>10</sup> Voor het bepalen van de kwalificatie van de kennisbasis 'kunnen bijv. criteria als empirische, theoretische en methodische onderbouwing en/of acceptatie en draagvlak binnen/buiten de peer community gebruikt worden' (Petersen et al. 2014, 32). Hierbij kan een zogenaamde 'pedigree-analyse' worden gebruikt:

Pedigree-analyse is een analyse die de 'sterkte' of wetenschappelijke status van een getal evalueert. Letterlijk betekent pedigree 'stamboom', 'herkomst' of 'komaf': wat is de herkomst van dit getal, is het van goede komaf? Daarbij wordt gekeken naar twee aspecten: hoe komt een getal (in een conclusie) tot stand en wat is de wetenschappelijke status van het getal, op welke wijze is het onderbouwd?

Criteria die in de pedigree-analyse gebruikt kunnen worden om een model te evalueren zijn 'proxy' (mate van directheid van de gebruikte indicator), 'kwaliteit en kwantiteit van onderliggende empirie', 'theoretische onderbouwing', 'representatie van de onderliggende causale mechanismen van het systeem', 'plausibiliteit' en 'mate van consensus'. (Van der Sluijs 2007, 26)

Bij de bepaling of een model 'goed genoeg' is voor een bepaald doel spelen uiteraard ook pragmatische keuzes een rol (er moet bijvoorbeeld doelmatig gebruik worden gemaakt van het budget en de tijd die beschikbaar zijn). In termen van de 'onzekerheidsmatrix' kan dit worden gezien als een van de dimensies van de waardengeladenheid van keuzes met betrekking tot het model.<sup>11</sup>

Om een voorbeeld te geven van problematisch gebruik van modellen in een ander domein dan stikstofdepositie (dit voorbeeld gaat over schijnzekerheden en het gebruik van klimaatmodellen buiten hun toepassingsbereik): in 2009 publiceerde het Verenigd Koninkrijk zeer-hoge-resolutie kansvoorspellingen van verschillende variabelen van klimaatverandering tot het eind van de 21<sup>e</sup> eeuw op postcode-niveau (de United Kingdom Climate Projections 2009–UKCP09) en werd er vervolgens in de beleidsvorming en de vergunningverlening vanuit gegaan dat actoren deze overmatig gedetailleerde en volstrekt onzekere kansvoorspellingen (ver buiten het bereik van wat klimaatmodellen betrouwbaar kunnen berekenen) zouden gaan gebruiken. Dit misbruik van modellen is door verschillende wetenschappers en wetenschapsfilosofen (waaronder ikzelf) stevig bekritiseerd (b.v. Smith en Petersen 2014; Frigg et al. 2015; Thompson et al. 2016). Waar wetenschappers die verstand hebben van de modellen, weten dat de modellen niet geldig zijn en dit ook kunnen concluderen uit het achtergrondrapport, geldt dit niet automatisch voor de gebruikers:

A scientist reading through the report will find what appears to be clear evidence that the UKCP09 probabilities should not be taken at face value as probability statements about the

---

<sup>10</sup> De Leidraad benadrukt dat de kwalificatie van de kennisbasis altijd wordt gegeven in de context van het doel van het gebruik van de kennis en dus nooit over een model los van de context.

<sup>11</sup> De volgende dimensies van 'waardengeladenheid van keuzes' kunnen worden onderscheiden: algemene epistemische waarden, discipline-gebonden epistemische waarden, socio-culturele waarden en praktische waarden (Petersen 2006, 50; 2012, 51).

real world; red flags to a scientist might not be so obvious to non-scientists. (Smith en Petersen 2014, 151)

Ook bij de modelberekeningen voor stikstofdepositie ten gevolge van individuele projecten is er al snel sprake van schijnzekerheid. In het vervolg van dit expertoordeel richt ik mijn aandacht op de hoofdvraag die voorligt, namelijk of het berekenen van hoge-resolutie stikstofdepositie voorbij een maximale rekenafstand in het kader van vergunningverlening voor individuele projecten tot schijnzekerheid leidt en niet doelgeschikt is.

## **2. Oordeel over de onderbouwing van het hanteren van een maximale rekenafstand van 25 km bij project-specifieke berekeningen van stikstofdeposities**

De Commissie Hordijk (het Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof) bracht op 5 maart 2020 een eerste rapport uit (*Niet Uit de Lucht Gegrepen*). Daarin werd geconcludeerd in de samenvatting:

Het OPS-model is geschikt om de stikstofverspreiding op lokale schaal te modelleren. Op regionale en nationale schaal neemt de invloed van andere processen (chemische omzetting, lange-afstandstransport, meteorologie) toe en daarmee ook de onzekerheid. (Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof 2020a, 5)

De onzekerheden in berekeningen met het OPS-model zijn niet eenvoudig te bepalen (kwantitatief noch kwalitatief) en waar in de context van nationaal stikstofbeleid fouten uitmiddelen en een kalibratie kan worden toegepast vanwege het verschil tussen metingen en modeluitkomsten (waardoor de onzekerheden worden verkleind) is dit niet het geval in de context van project-specifieke berekeningen. Waar precies de geschiktheid van het model ophoudt (welke afstand komt overeen met 'lokale schaal?'), is uiteraard afhankelijk van de toepassing. Op wetenschappelijke gronden staat vast dat deze afstand kleiner wordt naarmate er minder emissiebronnen worden gemodelleerd, omdat er dan minder sprake is van wegmiddeling van fouten (voor een illustratie zie TNO 2022b, 21–22). De Commissie Hordijk constateert echter dat 'er te weinig structureel onderzoek gedaan wordt naar onzekerheden' in dit dossier (Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof 2020a, 21) – dit maakt het lastig voor de betrokken experts om hun oordeel over onzekerheden meer transparant te maken (zie mijn Inleiding). Toch kunnen (en moeten!) experts wel degelijk een oordeel vellen over de mate van betrouwbaarheid van modellen in verschillende toepassingsbereiken.

In het eindrapport van de Commissie Hordijk (*Meer Meten, Robuuster Rekenen*, 15 juni 2020) wordt in de samenvatting nader ingegaan op de betrouwbaarheid van depositie-modellering op hoge resolutie en geeft de commissie aan

dat het rekeninstrument AERIUS Calculator niet doelgeschikt is. Daarvoor zijn twee redenen: 1. de onbalans tussen het detail dat het beleid vraagt en de mate van wetenschappelijke onzekerheid in het berekenen van de depositie op een klein oppervlak en 2. de ongelijke behandeling van verschillende sectoren door het gebruik van verschillende modellen (SRM-2, OPS) bij de vergunningverlening. (Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof 2020b, 4)

In de conclusies van het rapport wordt dit verder gespecificeerd:

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

Een tweede overweging is dat het niet verdedigbaar is dat in AERIUS bij vergunningverlening voor de aanleg van een weg een ander rekensysteem (SRM-2) wordt gehanteerd dan voor de aanleg van een stal (OPS), waarbij ook de depositie van stikstofoxiden verder dan vijf km van de bron niet wordt meegerekend. (Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof 2020b, 9)

Aangezien de wetenschappelijke onzekerheid in het berekenen van de depositie toeneemt met de afstand tot de bron, is het probleem van het weergeven van resultaten op het niveau van hexagonen ter grootte van een hectare des te klemmender op grotere afstand van de bron. Een manier die de Commissie Hordijk adviseerde om de modellen meer doelgeschikt te maken voor de vergunningverlening, namelijk de depositie niet op een hexagoon maar op een cluster van hexagonen, ingedeeld naar habitatype, te berekenen – wat de schijnzekerheid in depositieberekeningen op grote afstand van de bron zou verminderen –, is door de overheid niet gevolgd. Wel is door de overheid een andere manier gekozen in 2021 – het hanteren van een uniforme maximale rekenafstand (van 25 km, dus vijfmaal groter dan de 5 km die daarvoor voor wegverkeer werd gehanteerd) – om de modellen meer doelgeschikt te maken door onbetrouwbare berekeningen op hexagonniveau voorbij die rekenafstand te voorkomen.<sup>12</sup> Het hanteren van een maximale rekenafstand, terwijl binnen de 25 km nog steeds op hexagonniveau wordt gerekend, lost een deel van het probleem rond schijnzekerheid op. In hoeverre andere verbeteringen in de systematiek nodig zijn om het instrumentarium nog meer doelgeschikt te maken, heb ik niet apart beoordeeld – die vraag valt buiten het bestek van dit expertoordeel. Wetenschappelijk staat echter buiten kijf dat het hanteren van een maximale rekenafstand de betrouwbaarheid van de modelresultaten verhoogt. Verder zie ik op basis van de voorliggende stukken geen aanleiding om te concluderen dat de huidige systematiek niet *fit for purpose* is.

Ik zal onder nader ingaan op de onderbouwing die door TNO is gegeven voor het afbakenen van het toepassingsbereik van het model dat wordt gebruikt voor project-specifieke berekeningen (in het licht van wat over methodologische betrouwbaarheid wordt gezegd in de wetenschap en wat daarover is gekristalliseerd in de Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden). Maar eerst moet nog het mogelijk bewuste gebruik van schijnzekerheid in het kader van het voorzorgsprincipe onder ogen worden gezien, wat wetenschappelijk gezien onwenselijk is. De Commissie Hordijk belicht dit issue voor de keuze van de beoordelingsdrempel ('grenswaarde') van 0,005 mol/ha/jr.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> Beide manieren om de modellen meer doelgeschikt te maken, sluiten elkaar niet uit en zijn te combineren (d.w.z. rekenen met clusters van hexagonen binnen de afstandsgrens).

<sup>13</sup> Dit betreft een door experts gemaakte keuze voor een rekenkundige ondergrens.



Het voorzorgsprincipe vraagt vooralsnog om een strikte grenswaarde bij vergunningverlening. Een ambitieus bronbeleid met vastgelegde nationale doelstellingen heeft als voordeel dat de grenswaarden bij de vergunningverlening verhoogd zouden kunnen worden zodat de onzekerheden in de berekeningen voor de vergunningen minder kritisch worden en schijnzekerheid minder prominent wordt. (Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof 2020b, 10)

Een spanning in het bovenstaand citaat is dat het begrenzen van schijnzekerheden – in het door de Commissie Hordijk genoemde voorbeeld door het verhogen van de grenswaarde, maar dit geldt ook voor het hanteren van een maximale rekenafstand – wetenschappelijk gezien veruit de voorkeur heeft. Dat dit wetenschappelijk gezien noodzakelijke begrenzen toch niet altijd gebeurt (en er toch met schijnzekerheden wordt gerekend), heeft onder andere te maken met de waardengeladenheid van keuzes die door de experts worden gemaakt.<sup>14</sup> Modellers kunnen ervoor kiezen om schijnzekerheden te accepteren vanuit een veronderstelling (die overigens niet altijd feitelijk terecht is in termen van het effect)<sup>15</sup> dat dit nodig is vanwege een ‘voorzorgsprincipe’. Hier vermengen zich echter epistemische en niet-epistemische waarden op een niet transparante wijze in de modelsystematiek en vanuit wetenschappelijk oogpunt verdient het de voorkeur om epistemische waarden te laten prevaleren in de beoordeling van doelgeschiktheid van modellen.

In het RIVM-rapport uit 2021 wordt het probleem van schijnzekerheden mijns inziens te weinig geproblematiseerd. In de samenvatting komt duidelijk naar voren dat de onzekerheid in de berekening van lokale depositie vanuit een bron ‘een factor 2’ is en ‘dat onzekerheden verder weg van de bron groter zijn dan een factor 2’ (RIVM 2021, 9). Het RIVM laat de keuze over hoe groot de onzekerheid (of schijnzekerheid) mag zijn om depositieberekeningen voor individuele projecten uit te voeren in het midden en gaat niet verder dan het aanbieden van wetenschappelijke aanknopingspunten om een afstandsgrens te kiezen. De suggestie is hiermee ten onrechte gewekt dat het bepalen van de grens tussen (wetenschappelijk voldoende) zekerheid en schijnzekerheid een beleidsmatige keuze is. Gezien het hierboven staande laat de wetenschap echter geen ruimte voor een eventuele beleidsmatige keuze om bewust door te rekenen met schijnzekerheid, omdat schijnzekerheid zoveel mogelijk dient te worden beperkt. Om de schijnzekerheid systematisch te beperken is een schatting nodig van de afstand waarbinnen de resultaten van modelberekeningen nog betrouwbaar zijn.

TNO geeft die schatting, mede op basis van het RIVM-rapport: 25 km. In TNO (2021) wordt terecht gesteld dat ook al wordt het OPS-model gebruikt op afstanden groter dan 25 km voor het berekenen van *totale* depositie de daarbij bepaalde nauwkeurigheid geen maatstaf is voor de nauwkeurigheid van de berekende bijdragen van *individuele* bronnen: ‘Deze nauwkeurigheid is naar verwachting aanzienlijk lager’ (TNO 2021, 2), d.w.z.: de onzekerheid is groter dan een factor twee (zoals ook het RIVM stelt). In TNO (2022a) wordt ingegaan op de stelling in een in de procedure ingebracht Apollon-rapport dat ‘niet afdoende is onderbouwd dat de onzekerheid in berekende depositiebijdrage van een individuele bron toeneemt met de afstand en buiten een afstand van 25 km groter is dan een factor 2’ (TNO 2022a, 4). Het blijkt echter voor de betrokken experts lastig te zijn (zoals vermeld in mijn

---

<sup>14</sup> Zie de onzekerheidsmatrix (in tabel 1) en voetnoot 11.

<sup>15</sup> Besluiten die op basis van schijnzekerheden worden genomen, hoeven niet het (negatieve of positieve) effect te hebben dat wordt gemodelleerd.

Inleiding) om voor een breed publiek uit te leggen waar dat oordeel op is gebaseerd, hoe waar het ook is (het is niet slechts een ‘aanname’). Dit vraagt om nadere analyse in termen van de Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden.

In de wetenschapspraktijk zijn er normen voor het bepalen van de betrouwbaarheid van kennis. In de Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden zijn die normen gekristalliseerd in de verschillende dimensies die (parallel) van belang zijn bij het bepalen van de kwalificatie van de kennisbasis (zie de vorige paragraaf). De dimensies van methodologische betrouwbaarheid zijn als volgt te groeperen: (i) de theoretische basis, (ii) de empirische basis, (iii) de overeenstemming tussen verschillende modellen en (iv) peer consensus (Petersen 2006, 57–62; 2012, 58–62). De door TNO gegeven onderbouwing van de grens van 25 km (TNO 2021; 2022a; 2022b; 2022c) valt kort samen te vatten langs deze vier dimensies:

- *Theoretische basis:* De theorie achter het OPS-model voor individuele bronberekeningen is die van het ‘Gaussisch pluimmodel’.<sup>16</sup> Die theorie is geldig zolang de meteorologie (alle parameters, inclusief grenslaaghoogte en windrichting) constant mag worden geacht. Een vuistregel voor Nederland is dat dit neerkomt op ongeveer 25 km. Ook leiden atmosferisch chemische reacties tot groter wordende verschillen tussen model en werkelijkheid verder van de bron. Op wiskundige en natuurwetenschappelijke gronden kan worden beredeneerd dat onzekerheden van het OPS-model voorbij 25 km altijd groter worden naarmate de afstand tot de bron toeneemt (en niet gelijk blijven of kleiner worden). Ook kan theoretisch worden beredeneerd dat de onzekerheid in de middeling van de depositie van meerdere bronnen altijd kleiner is dan de onzekerheid van de depositie van één bron.
- *Empirische basis:* De AERIUS-modellen zijn niet gevalideerd voor individuele bronnen tot op grotere afstanden dan 20 km. Er is dus geen empirische onderbouwing voor dit gebruik van de modellen buiten dit bereik. Voor zover er *binnen* dit validatiedomein naar onzekerheden is gekeken (en dat is maar mondjesmaat gedaan) komt naar voren dat de resultaten over het algemeen nauwkeurig zijn tot op een factor twee.
- *Overeenstemming tussen verschillende modellen:* Ook het toepassingsbereik van het Nieuw Nationaal Model (NNM) voor luchtkwaliteit is op wetenschappelijke gronden vastgesteld op 25 km. Buitenlandse modellen kennen een vergelijkbare afstandsgrens voor de vergunningverlening (zie o.a. TNO 2021).
- *Peer consensus:* De afstandsgrens voor het NNM is het resultaat van consensus van wetenschappers van onder meer TNO, KEMA, KNMI en RIVM. Ook buitenlandse experts delen het oordeel over de noodzaak van een afstandsgrens en dat deze ongeveer 25 km bedraagt (zie o.a. TNO 2021; 2022b).

Gegeven de beperkte informatie die beschikbaar is over onzekerheden in depositiemodelering acht ik de onderbouwing van de 25 km grens door TNO voldoende. Het

---

<sup>16</sup> De hele discussie in de stukken over de overgang van OPS naar een grof soort trajectoriemodel is niet relevant voor de beantwoording van de vraag of de onzekerheden voorbij 25 km groter zijn dan een factor twee (dit wordt ook door het RIVM beaamd). De onzekerheden nemen daardoor voorbij 25 km iets minder snel toe dan wanneer met alleen het Gaussisch pluimmodel zou worden doorgerekend (dit is al *a priori* duidelijk ondanks dat het trajectoriemodel niet is gevalideerd – die laatste onbetrouwbaarheid valt onder de dimensie ‘empirische basis’, zie het volgende punt).

modelinstrumentarium is met gebruik van die maximale rekgrens mijns inziens *fit for purpose*.

### 3. Reactie op STAB-verslag van 8 juli 2022 inzake het Tracébesluit ViA15

In het licht van bovenstaande geef ik hier een beknopte reactie op de meest relevante punten uit het STAB-verslag (STAB 2022).

- *STAB*: Er zijn geen nieuwe milieukundige inzichten die een begrenzing noodzaken.

*Reactie*: Behalve voor de korte periode 2015–2019 (en dan alleen voor andere emissies dan die van wegen) is er altijd een grensafstand voor project-specifieke berekeningen van stikstofdeposities gebruikt.<sup>17</sup> Het hanteren van een grensafstand van 25 km heeft wetenschappelijke gronden (zie vorige paragraaf). Dit expertoordeel heeft een geschiedenis van verschillende decennia. Er is dus geen nieuw milieukundig inzicht nodig om de noodzaak van een begrenzing te beargumenteren.

- *STAB*: Niet is gebleken dat met afstand veranderende meteorologische omstandigheden, waarvan met name de menglaaghoogte van belang wordt geacht, aanleiding geven voor begrenzing op 25 km (omdat de menglaaghoogte na 25 km niet wezenlijk verandert).

*Reactie*: De algemene stelling dat de grenslaaghoogte (menglaaghoogte) na 25 km *niet* wezenlijk verandert, is wetenschappelijk onjuist. De in de vorige paragraaf onder ‘theorie’ gegeven vuistregel dat in Nederland voor Gaussische pluimmodellen de meteorologie (d.w.z. de combinatie van alle relevante parameters) constant mag worden geacht over ongeveer 25 km, is een expertoordeel, waarbij het echter lastig blijkt om dit in het kader van onderhavige procedure transparant uit te leggen.

- *STAB*: De validatiestudies op basis van berekende concentraties zijn te beperkt (in aantal en representativiteit) om aanleiding te geven tot begrenzing.

*Reactie*: Ik stem volmondig in met de reactie van TNO op dit punt: ‘Dat is de wereld op zijn kop. Zonder validatie is geen enkele toets gedaan of een model in staat is om maar enigszins de werkelijkheid te beschrijven. Validatie is essentieel. Maar omdat validatie op modelresultaten bijzonder complex, kostbaar en nogal eens onmogelijk is, is elke mate van validatie al bijzonder waardevol. Het NNM en OPS zijn voor individuele bronbijdragen tot 20 km gevalideerd op concentratieniveau en het bijbehorende depositieproces in speciale (internationale) meetcampagnes.’ (TNO 2022c, 16)

---

<sup>17</sup> In het kader van het PAS werden er geen individuele vergunningsbeslissingen voor projecten genomen op basis van modellering van project-specifieke modellering van absolute depositiebijdrage. De modellen die toen zonder grensafstand rekenden, werden toen in feite *voor een ander doel* gebruikt, namelijk voor de vergelijking van de benodigde en de beschikbare depositieruimte, waardoor een deel van de onzekerheden tegen elkaar wegviel.

- *STAB*: Onzekerheden zijn inherent aan modelberekeningen en het is niet gebleken dat onzekerheden samenhangen met het voorspellen van bijdragen op grotere afstand dan 25 km van de bron.

*Reactie*: Dit punt miskent volledig het elementaire feit dat onzekerheden groter worden met groter wordende afstand voorbij 25 km van de bron en resultaten daarmee hun wetenschappelijke geldigheid verliezen. Theoretische en empirische overwegingen, de overeenstemming met andere modellen en peer consensus laten geen beleidsruimte toe – vanwege schijnzekerheid – om wetenschappelijk voorbij die afstand stikstofdeposities van individuele bronnen te berekenen op een detailniveau van 1 ha.

## Referenties

- Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof. 2020a. *Niet Uit de Lucht Gegrepen*. [Leden: L. Hordijk, J.W. Erisman, H. Eskes, J.C. Hanekamp, M.C. Krol, P.F. Levelt, M. Schaap en W. de Vries]. Den Haag: Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof. 5 maart 2020. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-8e05afc5-009b-4081-bce2-e2290eba158b/1/pdf/bijlage-niet-uit-de-lucht-gegrepen.pdf>
- Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof. 2020b. *Meer Meten, Robuuster Rekenen*. [Leden: L. Hordijk, J.W. Erisman, H. Eskes, J.C. Hanekamp, M.C. Krol, P.F. Levelt, M. Schaap en W. de Vries]. Den Haag: Adviescollege Meten en Berekenen Stikstof. 15 juni 2020. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-663f8b39-c4c3-4e21-a321-f14f8d103ba5/1/pdf/bijlage-adviescollege-meten-en-berekenen-stikstof.pdf>
- Denby, Bruce, et al. 2011. *The Application of Models under the European Union's Air Quality Directive: A Technical Reference Guide*. EEA Technical Report 10/2011. Copenhagen: European Environment Agency en Brussel: Joint Research Centre, Europese Commissie. [https://www.eea.europa.eu/publications/fairmode/at\\_download/file](https://www.eea.europa.eu/publications/fairmode/at_download/file)
- Derwent, Dick, Andrea Fraser, John Abbott, Mike Jenkin, Paul Willis en Tim Murrells. 2010. *Evaluating the Performance of Air Quality Models*. Issue 3. June. London: UK Department for Environment, Food and Rural Affairs. [https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat05/1006241607\\_100608\\_MIP\\_Final\\_Version.pdf](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat05/1006241607_100608_MIP_Final_Version.pdf)
- Don, Henk. 2007. 'Voorwoord'. In *Omgaan met Onzekerheid in Beleid*, geredigeerd door Judith Mathijssen, Arthur Petersen, Paul Besseling, Adnan Rahman en Henk Don, 5. Den Haag: Centraal Planbureau, Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau en Leiden: Rand Europe. <https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/omgaan-met-onzekerheid-beleid.pdf>
- Europese Commissie. 2019. *Scientific Advice to European Policy in a Complex World*. Brussel: Group of Chief Scientific Advisors, Scientific Advice Mechanism, Europese Commissie. <https://op.europa.eu/en-GB/publication-detail/-/publication/5cb9ca21-0500-11ea-8c1f-01aa75ed71a1/language-en>
- Frigg, Roman, Leonard Smith en David Stainforth. 2015. 'An assessment of the foundational assumptions in high-resolution climate projections: The case of UKCP09'. *Synthese* 192:3979–4008. <http://dx.doi.org/10.1007/s11229-015-0739-8>
- Hordijk, Leen. 2007. 'Casus V: Luchtkwaliteit'. In *Omgaan met Onzekerheid in Beleid*, geredigeerd door Judith Mathijssen, Arthur Petersen, Paul Besseling, Adnan Rahman en Henk Don, 52–55. Den Haag: Centraal Planbureau, Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau en Leiden: Rand Europe. <https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/omgaan-met-onzekerheid-beleid.pdf>
- Janssen, Peter, Arthur Petersen, Jeroen van der Sluijs, James Risbey en Jerome Ravetz. 2003. *RIVM/MNP Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden: Quickscan Hints & Acties-Lijst*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu/Milieu- en Natuurplanbureau. [https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/Leidraad\\_QS\\_Hints&Acties-Lijst.pdf](https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/Leidraad_QS_Hints&Acties-Lijst.pdf) [Engelse versie: [https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/Guidance\\_QS-HA.pdf](https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/Guidance_QS-HA.pdf)]
- Mathijssen, Judith, Arthur Petersen, Paul Besseling, Adnan Rahman en Henk Don, red. 2007. *Omgaan met Onzekerheid in Beleid*. Den Haag: Centraal Planbureau, Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau en Leiden: Rand Europe. <https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/omgaan-met-onzekerheid-beleid.pdf>
- Meyer, Leo, en Arthur Petersen, red. 2010. *Evaluatie van een IPCC-klimaatrapport: Een analyse van conclusies over de mogelijke regionale gevolgen van klimaatverandering*. Den Haag:

- Planbureau voor de Leefomgeving. [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/nl\\_def - 1 juli 2010.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/nl_def - 1 juli 2010.pdf)
- Petersen, Arthur. 2006. *Simulating Nature: A Philosophical Study of Computer-Model Uncertainties and Their Role in Climate Science and Policy Advice*. Apeldoorn/Antwerpen: Het Spinhuis. Proefschrift Vrije Universiteit, Amsterdam. <https://research.vu.nl/ws/portalfiles/portal/42175122/complete+dissertation.pdf>
- Petersen, Arthur. 2007. 'Omgaan met onzekerheid in beleid'. In *Omgaan met Onzekerheid in Beleid*, geredigeerd door Judith Mathijssen, Arthur Petersen, Paul Besseling, Adnan Rahman en Henk Don, 15–18. Den Haag: Centraal Planbureau, Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau en Leiden: Rand Europe. <https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/omgaan-met-onzekerheid-beleid.pdf>
- Petersen, Arthur. 2012. *Simulating Nature: A Philosophical Study of Computer-Model Uncertainties and Their Role in Climate Science and Policy Advice*. 2<sup>e</sup> druk [van Petersen (2006)]. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Petersen, Arthur, en Marjolein van Asselt. 2007. 'Conclusies en aanbevelingen'. In *Omgaan met Onzekerheid in Beleid*, geredigeerd door Judith Mathijssen, Arthur Petersen, Paul Besseling, Adnan Rahman en Henk Don, 61–72. Den Haag: Centraal Planbureau, Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau en Leiden: Rand Europe. <https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/omgaan-met-onzekerheid-beleid.pdf>
- Petersen, Arthur, Peter Janssen, Jeroen van der Sluijs, James Risbey en Jerome Ravetz. 2003. *RIVM/MNP Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden: Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden: Mini-Checklist & Quickscan Vragenlijst*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu/Milieu- en Natuurplanbureau. [https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/Leidraad\\_Mini-Check\\_QS\\_Vragenlijst.pdf](https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/Leidraad_Mini-Check_QS_Vragenlijst.pdf) [Engelse versie: [https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/Guidance\\_MC\\_QS-Q.pdf](https://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/Guidance_MC_QS-Q.pdf)]
- Petersen, Arthur, Peter Janssen, Jeroen van der Sluijs, James Risbey, Jerome Ravetz, Arjan Wardekker en Hannah Martinson Hughes. 2013/2014. *Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden*. 2<sup>e</sup> druk [van Petersen et al. (2003) en Janssen et al. (2003)]. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. [https://leidraad.pbl.nl/templates/pdf/dutch/PBL\\_2014\\_Leidraad%20voor%20omgaan%20met%20onzekerheden\\_1382.pdf](https://leidraad.pbl.nl/templates/pdf/dutch/PBL_2014_Leidraad%20voor%20omgaan%20met%20onzekerheden_1382.pdf) [Engelse versie: [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl\\_2014\\_guidance\\_for\\_uncertainty\\_assessment\\_and\\_communication\\_712\\_0.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl_2014_guidance_for_uncertainty_assessment_and_communication_712_0.pdf)]
- RIVM. 2021. *Verkenning afstandsgrens project-specifieke depositieberekeningen*. RIVM-briefrapport 2021-0115. [Auteurs: G. Roest, W. van der Maas, A. van Pul, P. Romeijn, A. Bleeker, S. Hazelhorst, R. Wichink Kruit en M. Wilmot]. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-c14911b5-ee6d-4542-93be-2dce24135dfe/1/pdf/21173346%20bijlage%201.pdf>
- Sluijs, Jeroen van der. 2007. 'Onzekerheidscommunicatie'. In *Omgaan met Onzekerheid in Beleid*, geredigeerd door Judith Mathijssen, Arthur Petersen, Paul Besseling, Adnan Rahman en Henk Don, 23–28. Den Haag: Centraal Planbureau, Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau en Leiden: Rand Europe. <https://www.cpb.nl/sites/default/files/publicaties/download/omgaan-met-onzekerheid-beleid.pdf>
- Smith, Leonard, en Arthur Petersen. 2014. 'Variations on reliability: Connecting climate predictions to climate policy'. In *Error and Uncertainty in Scientific Practice*, geredigeerd door Marcel Boumans, Giora Hon en Arthur Petersen, 137–56. Londen: Pickering & Chatto. <https://www.lse.ac.uk/CATS/Assets/PDFs/Publications/Papers/2014/Smith-Petersen-Variations-on-reliability-2014.pdf>

- STAB. 2022. *Tracébesluit A12 A15 Ressen - Oudbroeken*. Verslag STAB-41362. Den Haag: Stichting Advisering Bestuursrechtspraak voor Milieu en Ruimtelijke Ordening. 8 juli 2022.
- Thompson, Erica, Roman Frigg en Casey Helgeson. 2016. 'Expert judgment for climate change adaptation'. *Philosophy of Science* 83 (December): 1110–21. <http://dx.doi.org/10.1086/687942>
- TNO. 2021. *Afbakening in de modellering van depositiebijdragen van individuele projectbijdragen (Fase 1)*. Notitie 100340309. [Auteurs: J. Duyzer en H. Erbrink]. Utrecht: TNO. 30 juni 2021. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-1847540a-636e-43db-bc05-ecc160308b6b/1/pdf/21173346%20bijlage%202.pdf>
- TNO. 2022a. *Argumenten voor hanteren van een maximale rekenafstand van 25 km bij de depositieberekeningen voor het gewijzigd Tracébesluit ViA15 (2021): Reactie op de bevindingen en conclusies in het rapport 'Depositieberekeningen Gewijzigd tracébesluit ViA15 (Apollon milieu, december 2021)'*. Referentie R10590. [Auteurs: J. Duyzer en H. Erbrink]. Utrecht: TNO. 31 maart 2022.
- TNO. 2022b. *Afbakening in de modellering van depositiebijdragen van individuele projectbijdragen (Fase 2) Versie 3*. Referentie 100342643. [Auteurs: J. Duyzer en H. Erbrink]. Utrecht: TNO. 26 april 2022. <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2022/04/26/afbakening-in-de-modellering-van-de-depositiebijdragen-van-individuele-projectbijdragen/afbakening-in-de-modellering-van-de-depositiebijdragen-van-individuele-projectbijdragen.pdf>
- TNO. 2022c. *Reactie van TNO op bevindingen en conclusies STAB met betrekking tot de wetenschappelijke onderbouwing van de maximale rekenafstand van 25 km in AERIUS Calculator*. Referentie M11767. [Auteurs: J. Duyzer en H. Erbrink]. Utrecht: TNO. 29 september 2022.

### **Over de auteur**

Arthur Petersen (1970) studeerde natuurkunde (VU, 1993) en filosofie (VU, 1995) en promoveerde in de atmosferische fysica en chemie (Universiteit Utrecht, 1999), wetenschapsstudies en -filosofie (VU, 2006) en wetenschap en religie/cultuurfilosofie (Oxford, 2022). Hij trad in 2001 in dienst bij het Milieu- en Natuurplanbureau van het RIVM (een van de voorlopers van het Planbureau voor de Leefomgeving) en werd in 2003 projectleider van de sinds 2001 in ontwikkeling zijnde Leidraad voor Omgaan met Onzekerheden (1<sup>e</sup> druk: RIVM/MNP 2003; 2<sup>e</sup> druk: PBL 2013). Van 2003–2014 was hij programmaleider methodologie en modellering en van 2011–2014 was hij de eerste Chief Scientist van het PBL; in die laatste rol was hij lid van het Directieteam en verantwoordelijk voor de wetenschappelijke kwaliteitsborging. Hij was bijzonder hoogleraar wetenschap en milieubeleid aan de VU ('vanwege het PBL') van 2011–2016. In 2014 stapte hij over naar een voltijd baan als hoogleraar: hij werd Professor of Science, Technology and Public Policy (hoogleraar wetenschap, techniek en beleid) aan University College London (UCL). Sinds 2000 is hij betrokken bij het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) – t/m 2014 vanuit de Nederlandse delegatie, daarna vanuit de delegatie van UCL (een 'observer organization'). In 2019 werd hij verkozen tot lid van Academia Europaea, de Europese Academie van Wetenschappen. Hij voert regelmatig onafhankelijke onderzoek-, advies- en evaluatie-opdrachten uit voor overheden en kennisinstellingen (het afgelopen jaar o.a. voor de Deltacommissaris en de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid). Hij woont in Den Haag. Voor meer informatie en publicaties zie [hier](#) (persoonlijke webpagina universiteit).