

Validatie rekenhart AERIUS lucht

RIVM Rapport 2020-Rapportnummer

Joost Wesseling, Peter Zandveld, Nanette Valster, Suzanne Visser, ...

April 2020

CONCEPT

Inhoud

<i>Inhoud</i>	2
1 <i>Inleiding</i>	3
2 <i>Samenvatting</i>	4
3 <i>Vergelijken van rekenmodellen luchtkwaliteit</i>	6
Standaard Reken Methoden	6
Validatie NSL-rekentool	7
4 <i>Beoordeling rekenhart AERIUS lucht</i>	11
Inleiding	11
Basistests AERIUS (MT2019)	11
Test TREDM / AERIUS (MT2019)	14
Test TREDM / AERIUS (MT2020)	15
Resultaten interne validatie AERIUS 2020	17
5 <i>Externe validatie</i>	21
<i>Conclusies</i>	22
<i>Referenties</i>	24

1 Inleiding

De NSL-rekentool is sinds 2010 in gebruik geweest voor het uitvoeren van berekeningen aan luchtkwaliteit voor onder andere het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL), milieueffectrapportages en vergunningaanvragen milieu. De reken tool was onderdeel van de NSL-monitoringstool. Deze tool bestaat, naast de reken tool, uit een database met de invoergegevens en rekenresultaten verkeer en veehouderijen van alle voorgaande NSL-monitoringsronden met betreffende generieke gegevens, een kaartviewer, exportfunctie en actualisatieproces voor verkeers- en veehouderijgegevens. Per 1 januari 2020 wordt het rekenhart van de NSL-rekentool (verder: NSL RT) niet meer ondersteund vanwege verouderde software. Van de overige functionaliteiten is de software begin 2020 zodanig geactualiseerd dat deze bruikbaar blijft voor het NSL, zowel voor het doorrekenen van projecten als voor actualisatie binnen een monitoringronde.

Als vervanger van de NSL reken tool is het AERIUS lucht rekenhart (verder: AERIUS) ontwikkeld door het Wing/Tauw-consortium binnen het RIVM. AERIUS is een implementatie van Standaard Rekenmethoden 1 en 2 (SRM-1 en SRM-2). Het doel van het ontwikkelteam was om de implementatie van het rekenhart zoveel mogelijk overeen te laten komen met het rekenhart van de oude NSL RT.

Op verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft het RIVM de rekenmethoden die AERIUS gebruikt gecontroleerd. Dit is in eerste instantie gedaan door de resultaten van berekeningen met AERIUS binnen het toepassingsbereik van SRM-1 en SRM-2 te vergelijken met die van de NSL RT voor de NSL-monitoringsronde 2019. Daarna zijn de resultaten van berekeningen met AERIUS vergeleken met die van eigen implementaties van het RIVM voor de betreffende rekenmethoden; TREDM.

Dit rapport beschrijft eerst de manier waarop de afgelopen jaren binnen het NSL de kwaliteit van de NSL-rekentool is gecontroleerd. Hierbij komen zowel de gevolgde procedure als eisen aan de verschillen in rekenresultaten tussen rekenmodellen aan bod.

2 Samenvatting

Vergelijking van modelresultaten

Bij het monitoren van de luchtkwaliteit is door de jaren heen altijd sprake geweest van verschillen in de geïnventariseerde concentraties luchtverontreiniging. Dergelijke verschillen hebben te maken met bijvoorbeeld wisselende weersomstandigheden, economische en technologische ontwikkelingen, of zijn het gevolg van maatregelen die de betrokken overheden eerder hebben genomen om de luchtkwaliteit te verbeteren. Deels hebben dergelijke verschillen zich de afgelopen jaren echter ook voorgedaan als gevolg van noodzakelijk geachte “technische” aanpassingen in de NSL-monitoringstool, het monitoringsinstrument waarmee de luchtkwaliteit gedurende al die jaren is geïnventariseerd.

In de loop der jaren is een set van criteria ontstaan waar de verschillen tussen de NSL-rekentool en het validatiemodel (TREDM) aan moesten voldoen. Bij de tests met AERIUS versus eerst de NSL-rekentool en later TREDM is gebleken dat er verschillen zijn tussen AERIUS en de NSL-rekentool. AERIUS maakt diverse keuzes qua omgang met invoergegevens anders dan eerder het geval was in de NSL-rekentool en TREDM. In de loop der jaren waren veel verschillen tussen TREDM en rekentool al aangepast door in beide modellen bepaalde invoerconstructies te “gedogen”. Indien de afwijkende interpretaties van de invoergegevens worden toegepast op de invoer voor zowel AERIUS als TREDM, ontstaat een betere vergelijking tussen de rekenmodellen.

De eindvalidatie voor de in MT2020 te gebruiken versie van AERIUS laat, als gelijke interpretaties van de invoergegevens worden toegepast op de invoer voor zowel AERIUS als TREDM, geen verschillen tussen AERIUS en TREDM zien die groter zijn dan de validatiecriteria.

De absolute waarden van de gemiddelde verschillen tussen AERIUS en TREDM op de locaties waar beide modellen een geldig resultaat rapporteren zijn niet groter dan (afgerond) 0,04 µg/m³. Voor de vergelijking is met TREDM op meer meteo locaties gerekend dan eerder het geval was.

Op basis van de interne validatie door het RIVM is er geen reden om te betwijfelen of de in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 beschreven standaardrekenmethoden 1 en 2 voor luchtkwaliteit langs wegen en bijbehorende gegevens correct in AERIUS, versie 2020, zijn geïmplementeerd.

Externe validatie

Om mogelijke discussies over de waarde van de validatie te voorkomen is ook een onafhankelijke validatie uitgevoerd door experts van het Belgische VITO. De conclusie van deze externe validatie is samengevat als volgt:

- Het kader van de uitgevoerde vergelijking was grootschalig gezien sterk genoeg, maar dat enkele verfijningen het nog kunnen verbeteren.
- Deze verfijningen werden dan ook in het rapport van VITO beschreven en toegepast op de nieuwste modelimplementatie (AERIUS). Het model slaagt op alle criteria, waarvan op vele criteria ruim

Omgaan met verschillen

De verschillen in de geïnventariseerde concentraties luchtverontreiniging zoals die in de huidige monitoringsronde 2020 zijn geconstateerd, wijken qua grootte niet wezenlijk af van de verschillen zoals die de afgelopen jaren wel vaker zijn geconstateerd. Echter, in tegenstelling tot vorige monitoringsrondes is een belangrijk verschil dit keer wel dat in de huidige monitoringsronde voor het eerst met een ander monitoringsinstrument - AERIUS - is gewerkt. Hierdoor kunnen in sommige gebieden of gemeenten verschillen optreden die (deels) direct het gevolg zijn van het feit dat in deze monitoringsronde voor het eerst gebruik is gemaakt van dat nieuwe monitoringsinstrument (AERIUS). Een van de gevolgen hiervan kan zijn dat in de desbetreffende gebieden of gemeenten sprake is van meer of minder (zware) overschrijdingslocaties.

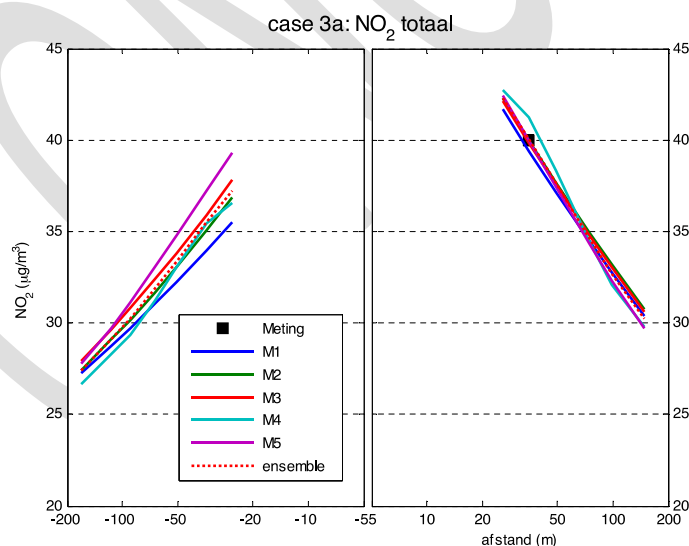
Bij het bovenstaande moet worden opgemerkt dat zowel de in het verleden gehanteerde monitoringssystematiek (NSL-monitoringstool) als de huidige gebruikte monitoringssystematiek (AERIUS) voldeed respectievelijk voldoet aan alle wettelijke criteria die voor het inventariseren van de luchtkwaliteit gelden. (Voor de goede orde: deze wettelijke criteria zijn niet gewijzigd.)

3 Vergelijken van rekenmodellen luchtkwaliteit

Standaard Reken Methoden

In de eerste jaren van de “Regeling beoordeling luchtkwaliteit, 2007” (Rbl2007) is door het RIVM onderzocht wat voor verschillen er redelijkerwijs kunnen bestaan tussen verschillende software implementaties van de Standaard Reken Methoden (SRM) 1 (stedelijke situaties) en 2 (situaties rond snelwegen). De beschrijving van SRM-1 is praktisch exact, laat geen ruimte voor verschillende keuzes en/of interpretaties (Velze, 2014). Als twee resultaten van twee implementaties van SRM-1 met elkaar worden vergeleken moeten deze, behoudens uitzonderlijke situaties, aan elkaar gelijk zijn.

Voor SRM-2 is de situatie ingewikkelder omdat het rekenvoorschrift wel ruimte laat voor verschillende keuzes en/of interpretaties (Wesseling, 2014). Simpele voorbeelden hiervan zijn de gebruikte windrozen voor meteo en achtergrondconcentraties, discretisatie van de lijnbron, projectie van de weg op de windrichting, keuze van representativiteit van de gebruikte meteo en afhandeling van gebruikersfouten. Een van de onderzoeken naar verschillen bij snelwegmodellen betrof een “Benchmark snelwegenmodellen” (Nguyen, 2010). Hierbij werden vijf modellen die regulier in Nederland werden gebruikt voor rekenen aan luchtkwaliteit bij snelwegen in een blinde test met elkaar vergeleken. Drie van de modellen waren implementaties van de toenmalige versie van SRM-2. De andere modellen waren Gaussische dispersiemodellen die op uurlijkse basis rekenden. Alle exacte invoer voor verschillende testcases was aan de modeleigenaren beschikbaar gesteld. Een van de testcases betrof de A2 bij Breukelen, naast de locatie van een meetstation van het RIVM. Aan de oostkant van de A2, bij het meetpunt, lagen de door de modellen berekende concentratie binnen circa 2 ug/m3 van elkaar. Echter, aan de andere kant van de weg was de spreiding in resultaten iets groter, zie figuur 1.



Figuur 18 Berekende NO₂ totale concentratie in case 3a van alle modellen en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 10% van het ensemble. De modelresultaten komen overeen met de metingen in 2008 op het station LML641 (Breukelen snelweg).

Figuur 1 Berekende NO₂ concentraties in een benchmark van snelwegmodellen (Nguyen, 2010).

Gegeven gelijke invoer zijn verschillen tussen modellen onvermijdelijk, ook als die modellen implementaties van hetzelfde rekenvoorschrift (SRM-2) zijn. Bij de vergelijking van resultaten van rekenmodellen kan dus niet verwacht worden dat er geen verschillen zijn. Er zullen altijd verschillen in resultaten zijn, maar die moeten passen bij de verschillen in onderliggende rekensystematiek en vrijheden in de implementatie van de modelvoorschriften.

Als algemene validatie van de Standaard Reken Methoden zijn verschillende studies uitgevoerd waarbij gemeten concentraties met die van berekeningen met de SRM's zijn vergeleken, zie bijvoorbeeld (Nguyen, 2016), (Wesseling, 2013, 2018) en de referenties in die rapporten.

Validatie NSL-rekentool

Bij de start van de NSL-monitoring heeft het RIVM verschillende studies gedaan naar de manier waarop de resultaten van de NSL-rekentool konden worden gecontroleerd door ze met een tweede model te vergelijken (Wesseling, 2010, 2011). De eigen implementatie van het RIVM voor de rekenmethoden SRM1 en SRM2 is toen gekozen als een alternatief model om de resultaten van de NSL-rekentool mee te vergelijken. Voordeel van het gebruik van dat model was en is dat het RIVM het zelf gebouwd heeft en dus exact weet hoe de voorschriften van de Rbl2007 in de software zijn geïmplementeerd. Bij discussies hierover kan makkelijk worden geverifieerd welke keuzes in het model zitten en ook kan simpel worden nagegaan wat de effecten van aanpassingen zijn. Bij validatiestudies met metingen moesten, bijvoorbeeld, aanpassingen in de berekeningen worden gedaan voor een correcte vergelijking met metingen op afwijken de hoogtes. Dergelijke correcties kunnen alleen in de broncode worden aangebracht. Voor gebruik als validatiemodel is TREDM integraal gereviewed door het ENC (Vermeulen, 2011). Hierbij is de broncode vergeleken met de toenmalige voorgeschreven versies van de rekenmethoden en zijn de resultaten vergeleken met het toen eigen model van het ECN. Dat laatste model was de basis voor de NSL-rekentool. Bij de review is geconstateerd "De conclusie van het onderzoek is dat de rekenmethodes in de TREDM-suite van programma's geheel conform de beschrijving in Rbl voor standaard rekenmethode 1 en 2 zijn.". TREDM wordt verder door het RIVM gebruikt voor zeer rekenintensieve studies, zoals het in kaart brengen van blootstelling in geheel Nederland. Het model wordt niet gebruikt voor commerciële studies of voor de juridische beoordeling van overschrijdingen, daarvoor is de NSL -monitoring de aangewezen tool.

In de rapportage van de Monitoring in 2011 (Beijk, 2011) is voor het eerst een overzicht gegeven van de validatie van de Monitoringtool. De verschillen tussen de beide modellen, NSL-rekentool en TREDM zijn elk jaar bepaald, beoordeeld en in de NSL-monitoringsrapportage besproken. De criteria zijn in de loop der jaren gelijk gebleven:

- Voor vergelijkbare punten mogen er gemiddeld geen significante (absolute) verschillen optreden.
- Voor vergelijkbare punten moeten de meeste resultaten in een smalle bandbreedte liggen.
- Voor niet direct vergelijkbare punten dient er een aanwijsbare reden voor de onvergelijkbaarheid te zijn.

De exacte criteria zijn in de loop der tijd nadrukkelijker vastgesteld. Hierbij is dat voor SRM-1 redelijk simpel aangezien de rekenwijze daarvoor "exact" is. De in SRM-1 berekende bijdragen van de verschillende stoffen zouden in de NSL-rekentool en TREDM dan ook binnen de afronding van 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ identiek moeten zijn. Grotere verschillen betekenen dat de rekenregels verschillend zijn geïmplementeerd; dat kan in enkele gevallen gebeuren. Voor de validatie werd dan ook vereist dat de verschillen in SRM-1 resultaat kleiner moesten zijn dan 0,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In de praktijk kwam dat nog

in circa 25 van de grofweg 400.000 rekenpunten voor. De redenen lagen vaak in de manier waarop de beide modellen omgingen met uitzonderlijke of ongedefinieerde invoer; dit kan een enkele keer voorkomen.

Zoals gezegd kunnen de met SRM-2 berekende bijdragen van twee verschillende modellen iets verschillen, omdat dit rekenvoorschrift niet volledig is gedefinieerd. In de praktijk kunnen twee modellen tot enkele microgrammen verschillende SRM-2 NO_x-bijdragen berekenen. Voor PM₁₀, PM_{2.5} en EC zijn de rekenwijze voor de verdunning en dus ook de verschillen tussen beide modellen relatief vergelijkbaar met NO_x, maar in absolute zin zijn ze uiteraard kleiner vanwege de kleinere emissies van het wegverkeer per kilometer.

De verschillen in berekende totale NO₂-concentraties worden vrijwel geheel bepaald door de verschillen in SRM-2 NO_x-bijdragen. Als die bijdragen meerdere µg/m³ kunnen verschillen dan kunnen de totale NO₂-concentraties 1-2 µg/m³ verschillen. De verschillen in berekende totale PM₁₀, PM_{2.5} en EC-concentraties worden ook vrijwel geheel bepaald door de verschillen in SRM-2 bijdragen. Omdat de wegbijdragen voor die stoffen veel kleiner zijn dan voor NO_x en NO₂, is het absolute verschil in totale concentraties ook kleiner.

Voor de toetsing/validatie van een nieuw rekenmodel voor het NSL ligt het voor de hand om dezelfde methodiek en criteria te gebruiken als in eerdere jaren voor de NSL-rekentool zijn gebruikt. In de loop der jaren zijn criteria gegroeid die neerkomen op tests op locaties waar de NO_x-bijdragen voor SRM-1 meer dan 0,05 µg/m³ verschillen, voor SRM-2 meer dan 4 µg/m³, voor de totale NO₂ meer dan 2 µg/m³ en voor PM₁₀ meer dan 0,25 µg/m³ verschillen. Los hiervan is ook steeds getest op identieke achtergronden en dubbeltellingcorrecties in beide modellen. Alle beschikbare toetspunten zijn voor de validaties doorgerekend. Ingeval een van beide modellen geen output gaf, omdat het onjuiste invoer constateerde, werd het punt niet in de vergelijking meegenomen.

De resultaten van de vergelijking tussen de NSL-rekentool en TREDM staan voor de afgelopen zeven NSL-monitoringsronden (MR2013 t/m MR2019) in onderstaande tabel.

	MR2019	MR2018	MR2017	MR2016	MR2015	MR2014	MR2013
Jaar	Totaal aantal toetspunten in monitoringronde						
Gepasseerd jaar	354.273	351.129	326.311	315.307	324.843	343.162	353.684
2015	-	-	-	-	310.486	316.279	326.917
2020	354.119	351.139	326.211	315.061	310.236	316.764	327.015
2030	355.312	348.940	326.804	315.609	310.503	327.411	-
	Aantal verschillen in SRM1 NO_x-bijdrage > 0,05 µg/m³						
Gepasseerd jaar	37	23	20	21	25	175	9
2015	-	-	-	-	20	73	9
2020	51	31	27	27	27	73	8
2030	47	27	37	26	25	70	-
	Aantal verschillen in SRM2-NO_x-bijdrage > 4 µg/m³						
Gepasseerd jaar	1.685	1.309	2.433	2.041	2.998	2.215	3.300
2015	-	-	-	-	1.971	903	1.049
2020	577	69	161	200	864	118	148
2030	207	0	0	0	1	2	-
	Aantal verschillen in NO₂ totaal > 2 µg/m³						
Gepasseerd jaar	460	566	923	684	1.196	682	730
2015	-	-	-	-	1.161	274	163
2020	162	112	176	198	955	79	57
2030	68	2	14	3	4	2	-
	Aantal verschillen in PM₁₀ totaal > 0,25 µg/m³						
Gepasseerd jaar	394	513	793	441	1.024	743	1.369
2015	-	-	-	-	900	279	283
2020	102	91	152	118	908	330	274
2030	84	86	137	81	381	407	-

Gedurende de eerste monitoringsronden hebben relatief veel methodewijzigingen plaatsgevonden en zijn onnodige lacunes in de modelbeschrijvingen aangepast. De destijds gevonden verschillen tussen de rekenmodellen zijn hierdoor niet representatief voor de huidige status van de modellen. Daarom worden alleen de afgelopen vier ronden gebruikt om de validatiecriteria voor rekenmodellen op te stellen. In alle monitoringrondes sinds 2015 is steeds voor het dan gepasseerde jaar gerekend, voor 2020 en voor 2030. De gemiddelde verschillen (MR2016 t/m 2019) voor het gepasseerd jaar en 2020 staan in de volgende tabel.

	Vershil [#]	Vershil [%]	Vershil [#]	Vershil [%]
Validatiecriterium	Gepasseerd jaar		2020	
Totaal aantal toetspunten	334.373		331.353	
SRM1 NO _x > 0,05 µg/m ³	25	0,01	34	0,01
SRM2 NO _x > 4 µg/m ³	1.867	0,56	252	0,08
NO ₂ > 2 µg/m ³	658	0,20	162	0,05
PM ₁₀ > 0,25 µg/m ³	535	0,16	116	0,03

Op basis van bovenstaande gemiddelden zijn validatiecriteria opgesteld voor NSL-rekenmodellen luchtkwaliteit langs wegen. Het percentage toetspunten dat mag verschillen tussen een rekenmodel en TREDM staat in onderstaande tabel. Hierbij moeten alle beschikbare toetspunten doorgerekend worden, inclusief eventuele aanwezige maatregelgebieden en correctievelden.

Validatiecriterium	Gepasseerd jaar [%]	2020 of 1 ^e toekomstjaar [%]
SRM1 NO _x > 0,05 µg/m ³	0,01	0,01
SRM2 NO _x > 4 µg/m ³	0,60	0,10
NO ₂ > 2 µg/m ³	0,20	0,05
PM ₁₀ > 0,25 µg/m ³	0,16	0,03

Een rekenmodel moet tenminste aan deze criteria voldoen om geaccepteerd te worden. Bij grotere verschillen is een nadere analyse benodigd van de verschillen. Bovenstaande criteria zijn organisch tot stand gekomen gedurende de afgelopen bijna tien jaar. Het is niet ondenkbaar dat de criteria de komende jaren op de een of andere manier zullen veranderen. Als de omvang van het gebied dat onder het NSL of de omgevingswet moet worden doorgerekend sterk afneemt dan zullen de criteria ook anders moeten worden geformuleerd.

4 Beoordeling rekenhart AERIUS lucht

Inleiding

De afgelopen jaren is de NSL-rekentool in gebruik geweest voor het uitvoeren van luchtkwaliteitsberekeningen voor onder andere het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL), milieueffectrapportages en vergunningaanvragen milieu. Per 1 januari 2020 wordt de reken tool niet meer ondersteund. Als vervanger is het AERIUS lucht rekenhart gebouwd. Om een goede implementatie van de rekenvoorschriften te verifiëren, zijn doorlopend testen uitgevoerd waarbij resultaten zijn vergeleken met de NSL-rekentool. Op het moment dat de ontwikkelaars en testers de implementatie voldoende goed vonden, is door het RIVM een validatie van AERIUS, versie 2019, uitgevoerd. Deze validatie is op overeenkomstige wijze uitgevoerd als de validatie van de NSL-rekentool tijdens alle voorgaande NSL-monitoringsronden, zie het voorgaande hoofdstuk. Het betreft hier een interne validatie van het RIVM op een product dat bij en voor het RIVM is ontwikkeld. Daarom is ook een onafhankelijke validatie door een externe partij uitgevoerd. Die geeft een beoordeling op de gehele validatieprocedure. Zie hoofdstuk 5 voor de resultaten van de externe validatie.

Basistests AERIUS (MT2019)

De rekenmethoden die in AERIUS worden gebruikt, zijn als eerste stap gecontroleerd door de resultaten van berekeningen in de toepassingsgebieden van standaardrekenmethoden 1 en 2 te vergelijken met die van de NSL-rekentool. De sets van berekeningen gebruiken dezelfde invoergegevens voor segmenten, receptoren en eventuele maatregelgebieden en correctievelden. De grootschalige achtergrondconcentraties, correcties voor dubbeltelling van het hoofdwegennet, meteo, ruwheid en emissiefactoren worden in de sets van berekeningen onafhankelijk in de modellen verwerkt uit de door IenW vastgestelde gegevens.

De rekenmethoden SRM-1 en SRM-2 hebben verschillende toepassingsgebieden, te weten stedelijke omgeving respectievelijk (voldoende) vrij liggende wegen. Daarom zijn de resultaten van beide implementaties in AERIUS zowel gecombineerd als apart met resultaten van de NSL-rekentool vergeleken. Er zijn dus eerst aparte berekeningen uitgevoerd binnen de twee SRM's. Een goede overeenkomst duidt dan niet alleen op dezelfde rekenmethoden, maar ook op het gebruik van identieke grootschalige (NO₂ en ozon) achtergronden en emissiefactoren. Voor de goede orde: de feitelijke implementaties, de broncodes, zijn dus niet gecontroleerd of geverifieerd. Alleen het resultaat van de implementatie is getest en beoordeeld.

In eerste instantie zijn alle individuele kenmerken gecontroleerd aan de hand van eenvoudige situaties. Eén of enkele segmenten met één of enkele receptoren zijn doorgerekend met variërende invoergegevens, al dan niet in combinatie met maatregelen en correctievelden. Onder andere zijn de volgende controles uitgevoerd:

- Keuze emissiefactoren bij verschillende combinaties van maximumsnelheden en wegtypen;
- Gebruik van hoogte en diepteligging van wegvakken;
- Gebruik van schermen aan één of meerdere zijden van de weg;
- Keuze stagnatiefactoren bij verschillende wegtypen en voertuigtypen;
 - De stagnatie is gecontroleerd door berekeningen te doen voor één soort voertuig met en zonder stagnatie. De SRM-2 berekening is nooit precies hetzelfde voor beide rekenmodellen, omdat er ruimte is voor implementatieverschillen. Daarom is de controle uitgevoerd door berekeningen te doen met beide modellen en te controleren of de verhouding tussen de concentratiebijdragen hetzelfde blijft;
- Cumulatie van SRM-1 en SRM-2 voor NO₂-concentraties;
 - Voor een set receptoren vlakbij het Utrecht Science Park is de totale NO₂-concentratie handmatig berekend op basis van de deelbijdragen voor NO en NO_x voor SRM-1 en SRM-2. Deze handmatig berekende waarde is vergeleken met de waarde die het rekenmodel berekend;
- De correctiebestanden voor de achtergrondconcentraties in het IJmond-gebied en rond Schiphol worden in AERIUS uit de Preprocessor Standaard Rekenmethoden (PreSRM¹) ingelezen. In de NSL-rekentool werden deze bestanden handmatig verwerkt. Voor beide gebieden zijn berekeningen uitgevoerd en de resultaten vergeleken;
- Gebruik van correcties op individuele receptoren op basis van windtunnelonderzoek;
- Gebruik van maatregelgebieden met schalingsfactoren op de emissiefactoren;
- Aanwezigheid van achtergrondconcentraties op alle locaties met receptoren binnen Nederland.

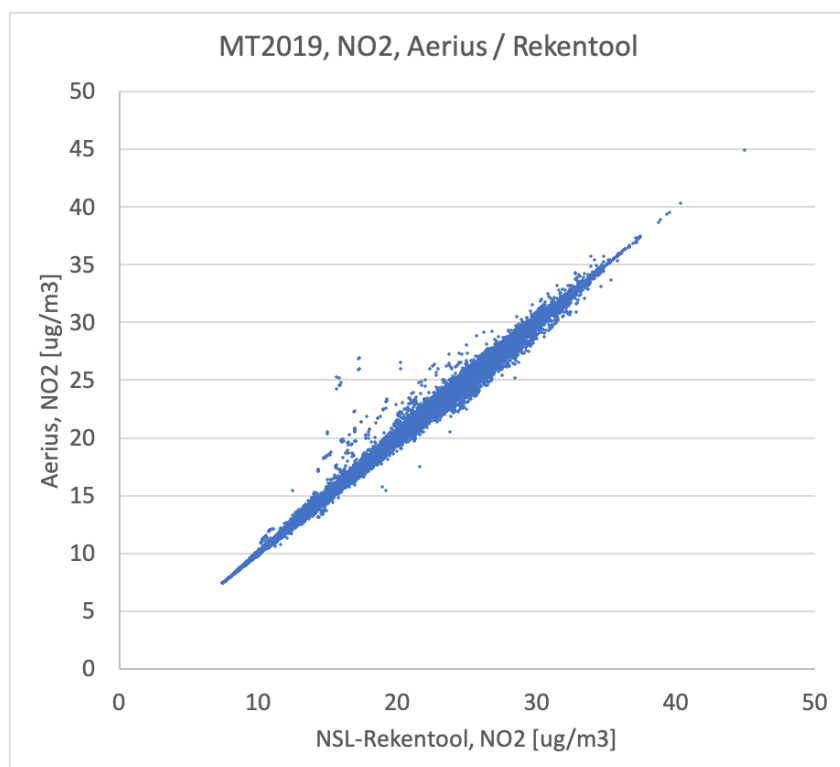
Bij een aantal controles is gebleken dat er verschillen zijn tussen AERIUS en de NSL-rekentool. Deze verschillen hebben praktisch allemaal te maken met de manier waarop invoer e/o correcties wordt geïnterpreteerd en zijn elders beschreven (Visser, 2020).

Vervolgens is met AERIUS geheel Nederland voor 2020 doorgerekend op basis van de invoer zoals die bij de sluiting van de NSL-monitoringsronde 2019 (MR 2019) in de monitoringstool aanwezig was. De resultaten zijn vergeleken met de resultaten van de NSL-rekentool uit de betreffende ronde, zoals dat in de NSL validaties is gedaan.

Jaar	Totaal aantal toetspunten	Vershil in SRM1 NO _x -bijdrage > 0,05 µg/m ³	Vershil in SRM2-NO _x -bijdrage > 4 µg/m ³	Vershil in NO ₂ totaal > 2 µg/m ³	Vershil in PM ₁₀ totaal > 0,25 µg/m ³
2020	355.951	248	242	142	212
2020 Eis	355.951	34	252	162	116

De totale NO₂ concentraties worden in onderstaande figuur 2 met elkaar vergeleken.

¹ <https://presrm.nl/>



Figuur 2 Berekende totale NO₂ concentraties voor geheel Nederland op basis van de NSL invoer voor 2020, generieke gegevens 2019.

De resultaten van de beide modellen laten meer verschillen zien dan de validatiecriteria toestaan. Uit nader onderzoek blijkt dat in AERIUS diverse keuzes qua omgang met invoergegevens anders zijn gemaakt dan eerder het geval was. In de loop der jaren waren veel verschillen tussen TREDM en rekentool al aangepast door in beide modellen bepaalde invoerconstructies te “gedogen”. Er werd praktisch en afgestemd mee omgegaan. Bij AERIUS is dat niet het geval.

- Op segmenten met het wegtype 92 (buitenweg) wordt bijvoorbeeld altijd met de emissiefactor van de buitenweg gerekend met bijbehorende verspreiding. In de NSL-rekentool werd onderscheid gemaakt naar zowel de maximumsnelheid als de wegbeheerder. Op segmenten met het wegtype 92, maximumsnelheid < 100 km/u en wegbeheerder Rijk wordt met de emissiefactor snelweg 80 km/u gerekend met bijbehorende verspreiding. Bij wegbeheerders anders dan Rijk wordt met de emissiefactor van de buitenweg gerekend met bijbehorende verspreiding. AERIUS kan momenteel niet simpel met dit soort gecombineerde invoercriteria omgaan. Als oplossing is in overleg met het ministerie van IenW besloten om in verschillende van dit soort situaties een simpeler keuze-mechanisme te hanteren.
- Daarnaast worden niet-wettelijk vastgestelde maximumsnelheden (bijvoorbeeld 60, 70, 90) in de invoergegevens doorgerekend met de emissiefactor van de eerst volgende hogere maximum snelheid. In TREDM werd geen emissie toegekend aan dit soort segmenten; ze werden als foutief beschouwd. De volledige lijst met kleinere en grotere verschillen in interpretaties van de invoergegevens is elders beschreven [ref].
- Verder zijn verschillen gevonden in de wijze waarop PM_{2,5} en EC-maatregelen worden doorgerekend. Door een fout werden de SRM-1 maatregelen in de monitoringronde van 2019 ten onterechte niet in rekening gebracht. Waar wel maatregelen waren gedefinieerd kwamen de concentraties dus iets te hoog uit.

- In de rekentool werden bussen op SRM-2 snelwegen door een fout niet in rekening gebracht. In TREDM werden bij de controle de voor SRM-2 opgegeven aantallen bussen op snelwegen als zwaar vrachtverkeer meegerekend. De door de rekentool berekende concentratiebijdragen waren op locaties met bussen op de snelwegen dus iets te laag. Bij de validaties heeft dit echter niet tot opvallende verschillen geleid.
- De afstand tot waar SRM-2 emissies worden meegenomen is in de NSL-rekentool en TREDM circa 3,5 km, afhankelijk van de ligging van de wegen in de kilometervakken. AERIUS rekent de snelwegbijdragen tot 5 km door.
- In de NSL-rekentool en TREDM konden maatregelgebieden worden opgegeven met behulp van complexe multipolygonen. In AERIUS kunnen multipolygonen niet worden verwerkt.

Omdat de NSL-rekentool aan het einde van 2019 niet meer beschikbaar was, konden de verschillen tussen de rekentool en AERIUS niet worden verholpen door de rekentool dan aan de keuzes van AERIUS aan te passen.

Test TREDM / AERIUS (MT2019)

De resultaten van AERIUS en TREDM zijn voor alle doorgerekende jaren in de monitoringronde van 2019 met elkaar vergeleken: 2018, 2020 en 2030. De resultaten van de vergelijking tussen de twee modellen staan in onderstaande tabel. Hierin wordt het totaal aantal in de vergelijking meegenomen toetspunten getoond en staan de aantallen toetspunten met een verschil tussen de twee rekenmodellen.

Jaar	Totaal aantal toetspunten	Vershil in SRM1 NO _x -bijdrage > 0,05 µg/m ³	Vershil in SRM2-NO _x -bijdrage > 4 µg/m ³	Vershil in NO ₂ totaal > 2 µg/m ³	Vershil in PM ₁₀ totaal > 0,25 µg/m ³
2018	354.274	82	1.756	373	571
2020	354.120	98	622	179	318
2030	355.314	82	226	96	285
Eis 20/30		34	252	162	116

De resultaten van de beide modellen laten net als ten opzichte van de NSL-rekentool meer verschillen zien dan de validatiecriteria toestaan. Zoals eerder gemeld, is uit nader onderzoek gebleken dat in AERIUS diverse keuzes qua omgang met invoergegevens anders zijn gemaakt dan eerder het geval was. Het RIVM heeft daarom software geschreven waarmee de invoer van het NSL anders kon worden aangeboden en ook kleine aanpassingen aan de interpretatie automatisch worden doorgevoerd. Indien de afwijkende interpretaties van de invoergegevens samen met diverse andere kleinere aanpassingen van de gegevens worden toegepast op de invoer voor zowel AERIUS als TREDM, ontstaat een betere vergelijking tussen de rekenmodellen. Vrijwel alle invoergegevens worden dan door beide modellen op dezelfde manier geïnterpreteerd, zodat grofweg alleen de verschillen over blijven door de diverse implementaties van de rekenvoorschriften [Visser et al., concept]. De resultaten van de vergelijking tussen de twee modellen staan in onderstaande tabel voor 2018, 2020 en 2030. Hierin is dus de aangepaste interpretatie van de invoergegevens op zowel AERIUS als TREDM toegepast. In de tabel wordt het totaal aantal in de vergelijking meegenomen

toetspunten getoond en staan de aantallen toetspunten met een verschil tussen de twee rekenmodellen.

Jaar	Totaal aantal toetspunten	Verskil in SRM1 NO _x -bijdrage > 0,05 µg/m ³	Verskil in SRM2-NO _x -bijdrage > 4 µg/m ³	Verskil in NO ₂ totaal > 2 µg/m ³	Verskil in PM ₁₀ totaal > 0,25 µg/m ³
2018	354.457	28	1.474	285	389
2020	354.299	29	285	108	129
2030	355.491	23	10	17	83
Eis 20/30		34	252	162	116

Uit deze tabel blijkt dat voor alle jaren een redelijk goede overeenkomst tussen de resultaten van AERIUS en TREDM (inclusief interpretatie invoergegevens) wordt gevonden. Het aantal toetspunten met een verschil tussen beide modellen is wat algemeen verwacht kan worden op basis van de implementaties van de SRM1/SRM2 rekenvoorschriften. Dat de absolute aantallen verschillen voor de SRM2-bijdragen in de toekomstige jaren afnemen, wordt veroorzaakt doordat de absolute emissies afnemen. De verschillen tussen de beide rekenmodellen nemen daardoor ook af. Dit was ook in alle eerdere validaties van de NSL-rekentool zichtbaar.

PM2.5 geeft, zoals te verwachten is, een vergelijkbaar beeld van verschillen als PM10, behalve dat de absolute concentraties lager liggen. AERIUS berekent ook EC-concentraties. EC kan niet zondermeer vergeleken worden met TREDM, omdat TREDM niet met effecten van maatregelen op EC rekent. Bij berekeningen met AERIUS en TREDM zonder maatregelen zijn de verschillen in EC tussen beide modellen vergelijkbaar met PM10 en PM2.5.

Test TREDM / AERIUS (MT2020)

In de NSL monitoringronde van 2020 wordt gerekend met de generieke gegevens zoals die in maart 2020 door het ministerie van IenW bekend zijn gemaakt. Bij het testen met deze gegevens bleek dat recente wijzigingen in de te gebruiken gegevens effect hebben op de resultaten van de validatie.

Gehanteerde meteorologie

Omdat TREDM in standaard modus met een enkele meteo per project rekent, is bij het begin van de periodieke validaties van de NSL-rekentool een keuze gemaakt voor een enkele meteo locatie per provincie. Voor de validatie werd dus een enkele rekenrun gedaan per provincie, waarna de resultaten vervolgens met die van de rekentool werden vergeleken.

In de monitoringronde 2019 is het wettelijk voorgeschreven ruwheidsveld (z0) in Nederland aangepast. Dit heeft een effect gehad op de wijze waarop de meteorologie over Nederland wordt geïnterpoleerd. De aantallen verschillen tussen de NSL Rekentool en TREDM waren in die monitoringronde groter dan eerder gebruikelijk was. In de huidige monitoringronde van 2020 zijn de meteorologische sets voor prognostische berekeningen aangepast. In plaats van het gemiddelde over de periode 1995-2004 wordt nu met het gemiddelde van de jaren 2005-2014 gewerkt. Deze meteorologische sets vormen ook de basis voor de interpolatie over Nederland, waardoor de prognostische meteo over geheel Nederland iets veranderd is. De consequentie van de veranderingen is dat de eerdere keuze voor de meteo locaties per provincie nu niet meer in alle gevallen voldoende representatief is voor de meteo in die provincie. In enkele provincies is het aantal verschillen in resultaten van SRM-2 hierdoor toegenomen.

De toegenomen aantallen verschillen in SRM-2 resultaten zeggen niet noodzakelijk iets over de basis van de validatie, namelijk dat de beide rekenmodellen bij dezelfde invoer en randcondities voldoende vergelijkbare resultaten geven. Als de verschillen het gevolg zijn van de meteo-keuze, staat dat los van de rekenwijze van de gebruikte modellen. Om onterechte verschillen te voorkomen zijn de meteolocaties in drie provincies iets aangepast. Het gaat om Overijssel, Gelderland en Noord-Brabant. In de eerste provincie is de meteolocatie iets naar het centrum van de provincie geschoven. In de andere provincies is in elk niet met een enkele maar met twee meteo locaties gerekend. Hiermee wordt op de locaties in die provincies met meer representatieve meteo gerekend. Het is belangrijk om voor ogen te houden dat er dus geen wijzigingen in TREDM zijn aangebracht. Er wordt alleen met randcondities gerekend die beter aansluiten bij de gewijzigde meteorologie. Alle testberekeningen zijn met dezelfde versie van TREDM gedaan als eerder.

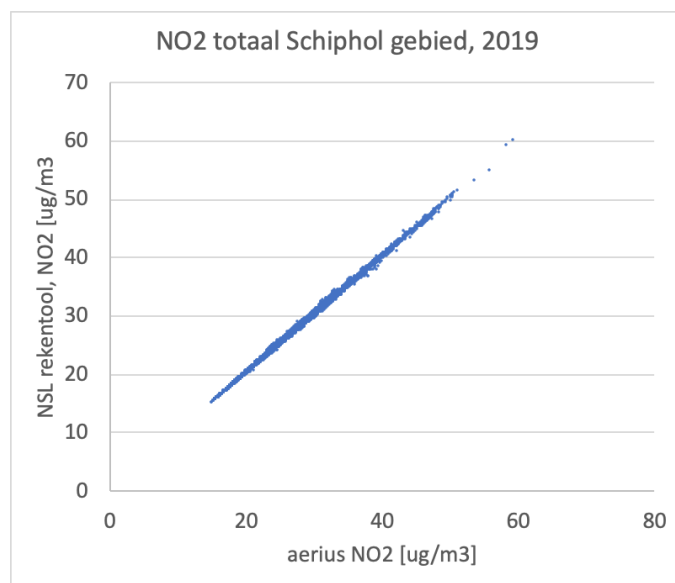
Voor SRM-1 wordt met een meteo-waarde per vierkante kilometer gerekend. Omdat zowel TREDM als AERIUS met hetzelfde meteo-veld rekenen zijn er hier geen verschillen in meteo-systematiek die de vergelijking tussen de modellen kunnen beïnvloeden. Door de aanpassingen zijn de gemiddelde SRM-1 concentratiebijdragen 3-5% hoger dan met de periode 1995-2004.

Correctie luchtvaart

In de omgeving van Schiphol wordt een geografisch verfijnde achtergrond gebruikt om de effecten van de luchtvaart op de totale NO₂ en O₃ concentraties in rekening te brengen. Het gaat hierbij om correcties tot circa 10 µg/m³. De correctie voor de luchtvaart zit niet in TREDM ingebouwd en kan dus niet met AERIUS worden vergeleken. In AERIUS wordt de correctie wel in de berekening verwerkt, maar niet expliciet gerapporteerd. Voor het rekenjaar 2019 zijn de gegevens van de niet meer operationele NSL-rekentool echter nog beschikbaar, waarin de gehele concentratieopbouw wordt gerapporteerd. Met de gegevens van de rekentool is het mogelijk om handmatig te verifiëren dat de correctie voor luchtvaart correct in de rekentool is opgenomen en vervolgens kunnen de netto concentraties worden vergeleken met die van AERIUS. Anders geformuleerd:

- De exacte grootte van de gebruikte luchtvaartcorrectie zit niet in de output van AERIUS maar wel in die van de NSL-rekentool;
- Alle andere onderdelen in de opbouw van de concentraties (kale achtergrondconcentraties, wegbijdragen, dubbeltellingcorrectie snelwegen) worden wel gerapporteerd;
- Zowel de totale concentraties als alle onderdelen van de totale concentraties zijn in beide modellen praktisch gelijk, in ieder geval binnen de gestelde marges;
- Als bovenstaande allemaal klopt dan moeten de correcties voor luchtvaart ook op dezelfde manier verwerkt zitten in beide modellen.

Een vergelijking tussen de netto NO₂ concentraties van de rekentool en AERIUS in het gebied rondom Schiphol laat geen systematisch verschil zien (zie onderstaande figuur 3).



Figuur 3 Berekende NO2 concentraties rondom Schiphol, inclusief de correctie voor luchtvaart.

In de versies van AERIUS met generieke gegevens 2019 en 2020 zit exact dezelfde correctie voor luchtvaart. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de correctie in de versie 2020 net zo goed aanwezig is als in de versie 2019. Los van de totale NO2 concentraties wordt expliciet gecontroleerd dat de berekende verkeersbijdragen rondom Schiphol wel overeenstemmen.

Resultaten interne validatie AERIUS 2020

De resultaten van de vergelijking tussen de twee modellen staan in onderstaande tabel voor 2019, 2020 en 2030. Hierin is dus, net als in eerdere vergelijkingen, de interpretatie van de invoergegevens op basis van AERIUS ook toegepast op TREDM. In de tabel wordt het totaal aantal in de vergelijking meegenomen toetspunten getoond en staan de aantallen toetspunten met een verschil tussen de twee rekenmodellen.

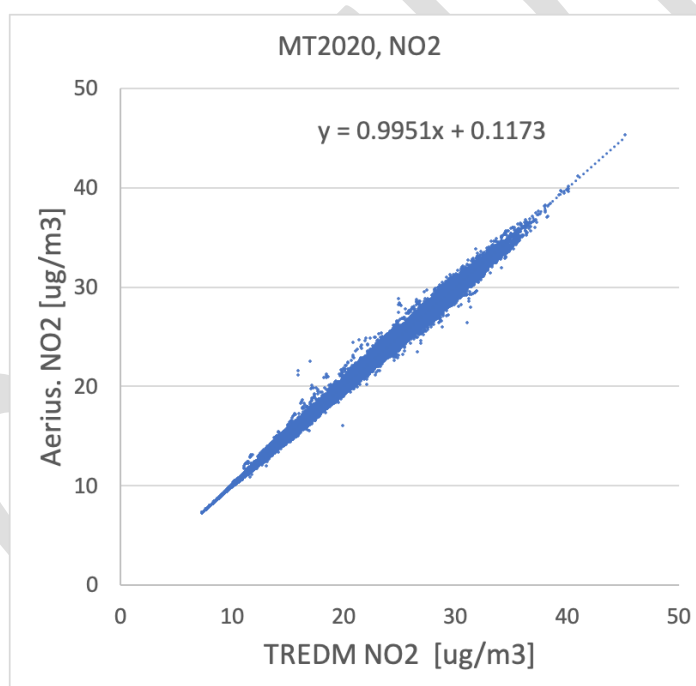
Jaar	Totaal aantal toetspunten	Vershil in SRM1 NO _x -bijdrage > 0,05 µg/m ³	Vershil in SRM2- NO _x -bijdrage > 4 µg/m ³	Vershil in NO ₂ totaal > 2 µg/m ³	Vershil in PM ₁₀ totaal > 0,25 µg/m ³
2019	354457	23	806	408	296
2020	346682	24	177	74	99
2030	355490	20	14	7	74
Eis 20x0		34	252	162	116

Als de vergelijking wordt gedaan van alle officiële NSL toetspunten, inclusief het gebied rond Schiphol, dan neem het aantal locaties met verschillen in totale NO2 concentratie toe, zie onderstaande tabel.

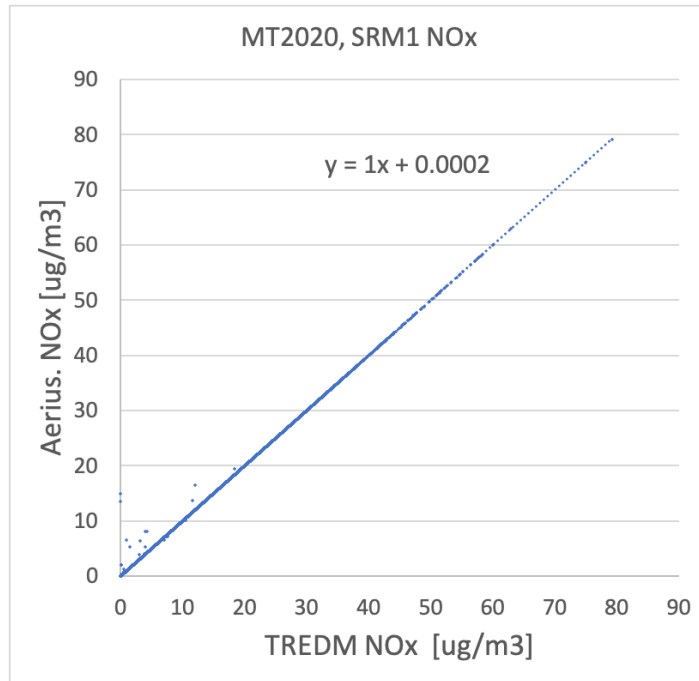
Jaar	Totaal aantal toetspunten	Vershil in SRM1 NO _x -bijdrage > 0,05 µg/m ³	Vershil in SRM2-NO _x -bijdrage > 4 µg/m ³	Vershil in NO ₂ totaal > 2 µg/m ³	Vershil in PM ₁₀ totaal > 0,25 µg/m ³
2020	346682	24	177	74	99
2020+S	346682	24	177	860	99

Een dergelijke verandering, in alleen de totale NO₂ concentraties, is wat grofweg wordt verwacht als de correctie voor luchtvaart wel/niet wordt toegepast. Het aantal verschillen in de verschillende wegbijdragen verandert niet.

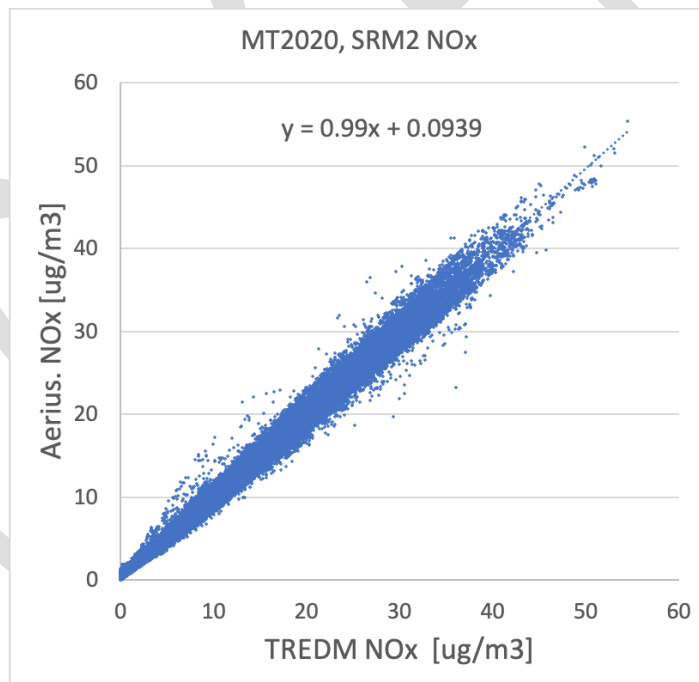
De resultaten van de modellen voor het rekenjaar 2020 zijn in onderstaande figuren geplot voor alle locaties waar beide modellen een geldig resultaat rapporteerden. De resultaten van een lineaire fit aan de data worden ook getoond.



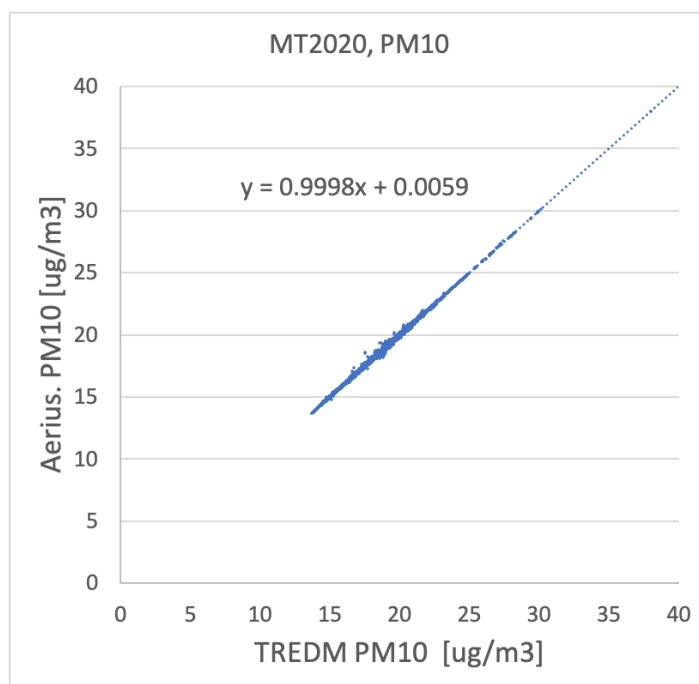
Figuur 4 Berekende totale NO₂ concentraties op alle locaties waar beide modellen een geldig resultaat rapporteerden.



Figuur 5 Berekende SRM-1 NOx concentraties op alle locaties waar beide modellen een geldig resultaat rapporteerden.



Figuur 6 Berekende SRM-2 NOx concentraties op alle locaties waar beide modellen een geldig resultaat rapporteerden.



Figuur 7 Berekende totale PM10 concentraties op alle locaties waar beide modellen een geldig resultaat rapporteerden.

Het gemiddelde verschil tussen de berekende zijn, afgerond op twee decimalen, $-0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de totale NO_2 , $0.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de SRM-1 NO_x , $-0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de SRM-2 NO_x en $0.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de totale PM10 concentraties.

Op basis van deze interne validatie is er geen reden om te betwijfelen of de in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 beschreven standaardrekenmethoden 1 en 2 voor luchtkwaliteit langs wegen en bijbehorende gegevens correct in AERIUS, versie 2020, zijn geïmplementeerd.

5 Externe validatie

De in de eerste hoofdstukken van dit rapport besproken validatie betreft een interne validatie van het RIVM op een product dat bij en voor het RIVM is ontwikkeld. Om mogelijke discussies over de waarde van de validatie te voorkomen is ook een onafhankelijke validatie door een externe partij uitgevoerd. Die geeft een beoordeling op de gehele validatieprocedure. Voor de externe validatie is het Belgische VITO gevraagd. Volgens de website “VITO is een Vlaamse onafhankelijke onderzoeksorganisatie op het gebied van cleantech en duurzame ontwikkeling.” (<https://vito.be/nl>). VITO heeft veel expertise op het gebied van de modellering van luchtkwaliteit en heeft verschillende modellen op dat gebied zelf ontwikkeld. Deze expertise maakt VITO een goede partij om op korte termijn een volledig onafhankelijke beoordeling uit te voeren van de wijze waarop het RIVM de validatie van AERIUS heeft aangepakt en uitgevoerd.

De integrale uitvoer van de berekeningen met AERIUS en TREDM voor de jaren 2018, 2019, 2020 en 2030 voor de versies MT2019 en MT2020 is aan het VITO verstrekt. De programmatuur om de resultaten te koppelen en vergelijken is ook bijgeleverd. De gevolgde procedure en enkele eerste versies van validatie-rapportage en lijsten met issues in de vergelijking tussen NSL-Rekentool / AERIUS en TREDM zijn aan het VITO geleverd. De nodige detailvragen zijn vervolgens door het RIVM beantwoord.

De uitgevoerde externe validatie en de resultaten zijn beschreven in een rapport van VITO (Lefebvre, 2020). De hoofdconclusie van de externe validatie is

“In deze studie werd het validatieschema voor een nieuwe modelimplementatie voor de berekeningen in het kader van NSL onder de loep genomen.

We vonden dat het kader grootschalig gezien sterk genoeg was, maar dat enkele verfijningen het nog kunnen verbeteren. Deze verfijningen werden dan ook beschreven.

Het verfijnde kader werd daarna toegepast op de nieuwste modelimplementatie (AERIUS). Het model slaagt op alle criteria, waarvan op vele criteria ruim.”

Naar aanleiding van de adviezen in de externe validatie is de validatie van het RIVM uitgebreid met fits aan scatterplots van de resultaten van de modellen en met het bepalen van de gemiddelde bias tussen de berekende totale NO₂ concentraties, de NO_x wegbijdragen en de totale PM₁₀ concentraties van beide modellen. Deze zijn aan het einde van hoofdstuk 3 opgenomen.

Conclusies

Op basis van de uitgevoerde tests en validaties kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt en conclusies worden getrokken:

- De afgelopen jaren zijn er op basis van verschillende studies en de resultaten van de NSL-monitoring validatiecriteria geformuleerd voor de acceptabele verschillen tussen de resultaten van de NSL-rekentool en een onafhankelijke eigen implementatie van SRM-1 en SRM-2 van het RIVM (TREDM). Vergelijkingen tussen de NSL-rekentool en TREDM laten een redelijk consistent beeld zien over de afgelopen jaren.
- Bij de tests met AERIUS versus eerst de NSL-rekentool en later TREDM is gebleken dat er verschillen zijn tussen AERIUS en de NSL-rekentool. AERIUS maakt diverse keuzes qua omgang met invoergegevens anders dan eerder het geval was in de NSL-rekentool en TREDM. In de loop der jaren waren veel verschillen tussen TREDM en rekentool al aangepast door in beide modellen bepaalde invoerconstructies te “gedogen”.
- De resultaten van tests met zowel de NSL-rekentool versus AERIUS als TREDM versus AERIUS laten meer verschillen zien dan de validatiecriteria toestaan.
- Indien de afwijkende interpretaties van de invoergegevens samen met diverse andere kleinere aanpassingen van de gegevens worden toegepast op de invoer voor zowel AERIUS als TREDM, ontstaat een betere vergelijking tussen de rekenmodellen.
- Door wijzigingen in de voorgeschreven ruwheden en meteo sluit de in TREDM gehanteerde keuze van een enkele meteo locatie per provincie minder goed aan dan eerder het geval was. Daarom zijn enkele provincies met meer meteo locaties doorgerekend. Het is belangrijk om voor ogen te houden dat er dus geen wijzigingen in TREDM zijn aangebracht.
- Omdat de correctie voor luchtvaart niet in TREDM is geïmplementeerd kan de juistheid van deze correctie in AERIUS niet automatisch worden gecontroleerd. Een testvergelijking met de NSL-rekentool geeft aan dat de correctie voor luchtvaart correct in AERIUS is ingebouwd.
- De eindvalidatie voor de in MT2020 te gebruiken versie van AERIUS laat, als gelijke interpretaties van de invoergegevens worden toegepast op de invoer voor zowel AERIUS als TREDM, geen verschillen tussen AERIUS en TREDM zien die groter zijn dan de validatiecriteria. De absolute waarden van de gemiddelde verschillen tussen AERIUS en TREDM op de locaties waar beide modellen een geldig resultaat rapporteren zijn in 2020 niet groter dan (afgerond) 0,04 ug/m³.
- Op basis van deze interne validatie is er geen reden om te betwijfelen of de in de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 beschreven standaardrekenmethoden 1 en 2 voor luchtkwaliteit langs wegen en bijbehorende gegevens correct in AERIUS, versie 2020, zijn geïmplementeerd.

- Om mogelijke discussies over de waarde van de validatie te voorkomen is ook een onafhankelijke validatie uitgevoerd door experts van het Belgische VITO. De conclusies van deze externe validatie is samengevat als volgt:

Het kader van de uitgevoerde vergelijking was grootschalig gezien sterk genoeg, maar dat enkele verfijningen het nog kunnen verbeteren.

Deze verfijningen werden dan ook in het rapport van VITO beschreven en toegepast op de nieuwste modelimplementatie (AERIUS). Het model slaagt op alle criteria, waarvan op vele criteria ruim

CONCEPT

Referenties

- R. Beijck, J. Wesseling, A. van Alphen, D. Mooibroek, L. Nguyen, H. Groot Wassink, C. Verbeek, Monitoringsrapportage NSL, Stand van zaken Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit 2011, RIVM Rapport 680712003/2011
- Vermeulen, A.T.; Groot, G.J. de; Wesseling, J.P.; Erbrink, J.J.; Hollander, K., Het VLW Model: Vergelijking en afstemming van het VLW met het KEMA-Verkeersmodel NNM en het TNO-Verkeersmodel, ECN-C--04-003, 2004
- A.T. Vermeulen, VLW versie 2.80, Beschrijving van de aanpassingen in het VLW rekenhart ten behoeve van ISL2 v1.20, ECN-E--08-041, 2008
- J. Wesseling, L. Nguyen, Een toets van standaardrekenmethodes voor berekeningen aan luchtkwaliteit in de Monitoring van het NSL, Briefrapport 680705017/2010
- P.L. Nguyen, J. Wesseling, Benchmark snelwegenmodellen; Resultaten van de vergelijking in 2010, RIVM Briefrapport 680705016/2010
- A.T. Vermeulen, Review TREDM versie april 2011, ECN-X--11-084, November 2011
- J. Wesseling, L.N. Nguyen, R.Beijk, Test van de rekenmethoden in de monitoringtool, versie 2011, RIVM Briefrapport 680705021/2011
- Wesseling, J., Velze, K.v., Hoogerbrugge, R., Nguyen, P.L., Beijck, R., Ferreira, J.A., (2013) Gemeten en berekende (NO₂) concentraties in 2010 en 2011: Een test van de standaardrekenmethoden 1 en 2., RIVM Rapport 680705027.
- K. van Velze (PBL), J. Wesseling, Technische beschrijving van standaardrekenmethode 1 (SRM1), RIVM Briefrapport 2014-0127
- J. Wesseling, K. van Velze (PBL), Technische beschrijving van standaardrekenmethode 2 (SRM-2) voor luchtkwaliteitsberekeningen, RIVM Briefrapport 2014-0109
- Nguyen, P.L. & Wesseling, J., 2016. Metingen van stikstofdioxideconcentraties (NO₂) met Palmes buisjes. Periode 2012-2015. RIVM, Briefrapport 2016-0089.
- Wesseling, J., Nguyen, L., Hoogerbrugge, R., (2018) Gemeten en berekende concentraties stikstofdioxiden en fijnstof in de periode 2010 t/m 2015 (Update); Een test van de standaardrekenmethoden 1 en 2., RIVM Rapport 2016-0106.
- Lefebvre, W., Beoordeling procedure vergelijking rekenmodellen, VITO, 2020/RMA/R/2218, April 2020
- Visser, S. *et al.*, Errata en addenda SRM-1 en SRM-2, RIVM, verwacht 2020