

# Benchmark testen van ISL2 V6.00

Alex T. Vermeulen

Juli 2013

ECN-E--13-038



# Verantwoording

Dit rapport is gemaakt in het kader van de opdracht "Update ISL2 2013" voor DGMR Raadgevend Ingenieurs, ECN projectnummer 6.00718.

“Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.”



# Inhoudsopgave

|                 |   |           |
|-----------------|---|-----------|
| <b>1</b>        | <b>ISL2 en VLW, waarom en hoe</b>                                     | <b>5</b>  |
| 1.1             | Het probleem van luchtverontreiniging langs wegen en waarom modellen? | 5         |
| 1.2             | VLW, ISL2 en meer acroniemen  | 6         |
| 1.3             | ISL2 6.00, VLW 3.30 en dit rapport                                    | 6         |
| <b>2</b>        | <b>Benchmark: beschrijving van de cases</b>                           | <b>8</b>  |
| <b>3</b>        | <b>Resultaten</b>   | <b>10</b> |
| 3.1             | Algemeen  | 10        |
| 3.2             | Case 1a   | 11        |
| 3.3             | Case 1b   | 12        |
| 3.4             | Case 2  | 13        |
| 3.5             | Case 3a   | 14        |
| 3.6             | Case 3b   | 15        |
| 3.7             | Case 4a   | 15        |
| <b>4</b>        | <b>Conclusie</b>  | <b>17</b> |
| <b>Bijlagen</b> |   |           |
| A.              | Ruwe gegevens   | 18        |



# 1

## ISL2 en VLW, waarom en hoe

### 1.1 Het probleem van luchtverontreiniging langs wegen en waarom modellen?

Luchtverontreiniging langs wegen is een groot probleem in Nederland. Op vele plekken werden in het verleden de normen, vastgesteld in de Europese richtlijnen, niet gehaald. Ook in de toekomst zal dat niet overal het geval kunnen zijn. Metingen zijn duur en hebben weinig voorspellende waarde. Ook zijn de concentraties in de lucht heel variabel in ruimte en tijd zodat heel veel metingen over langere tijd nodig zijn. Goedkopere metingen bestaan maar zijn onvoldoende nauwkeurig. Om goed en kosteneffectief vast te kunnen stellen waar de normen overschreden (zullen) worden zijn computermodellen onmisbaar. Vervolgens kunnen maatregelen voorgesteld, geëvalueerd met modellen en na gebleken effectiviteit ook daadwerkelijk genomen worden.

De modellen zijn gebaseerd op rekenregels die weer getoetst zijn aan metingen. Alle modellen hebben een beperkt werkingsgebied. De rekenregels en het werkingsgebied voor de modellen die gebruikt worden binnen het wettelijk kader van de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit (RBL) ([link naar website wetten.overheid.nl](https://www.wetten.overheid.nl)) zijn samengevat in de tekst van het RBL. In het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) werken alle bevoegde gezagen samen om jaarlijks de ontwikkeling van de luchtkwaliteit te volgen en maatregelen te nemen en te toetsen. Het modelinstrumentarium is daarbij een essentiële tool.

## 1.2 VLW, ISL2 en meer acroniemen

Voor de berekening van de verspreiding langs snelwegen is in de RBL de Standaard Reken Methode nummer 2 (SRM2) vastgesteld. Het Voorspellingsstelsel Luchtkwaliteit langs Wegen (VLW) is één van de modellen die voldoet aan het SRM2 rekenvoorschrift. Andere goedgekeurde SRM2 modellen zijn het TNO Verkeersmodel, KEMA Stacks+, Flowmotion en TREDM. Het VLW model wordt onderhouden door ECN en is inmiddels aanbeland bij versie 3.30. De routines van VLW worden aangeboden als software bibliotheek en worden toegepast in diverse rekenprogramma's, zoals de NSL Reken tool, de RIVM Monitoring tool en het AERIUS systeem van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS).

Voor vrij gebruik door particulieren, overheden en hun opdrachtnemers stelt het ministerie van IenM gebruikersvriendelijke implementaties van rekenmodellen beschikbaar. Voor binnenstedelijke luchtkwaliteit (SRM1) is dat Web based CAR, voor de luchtkwaliteit langs buitenwegen en snelwegen (SRM2) is dat ISL2 en voor het doorrekenen van de invloed van stallen is dat KEMA Stacks 3a. ISL2 is een Windows programmaschil die het rekenwerk laat uitvoeren door VLW. De ISL2 gebruikersschil is een sterk versimpelde uitvoering van het GEO platform van DGMR Raadgevend Ingenieurs.

Jaarlijks dienen de modellen te worden aangepast aan de nieuwste inzichten en gegevens. Als basis voor de berekeningen dienen meteorologische gegevens, kentallen voor de emissies en achtergrondconcentraties op grond van de Grootchalige Concentratiekaarten Nederland (GCN, zie <http://www.rivm.nl/gcn>) (Velders et al, 2013). Al deze actuele gegevens worden voorgeschreven en jaarlijks bekendgemaakt door het ministerie van IenM. De bibliotheek PreSRM (Preprocessor voor Standaard Reken Methodes), tevens gemaakt en onderhouden door ECN, is voorgeschreven om deze gegevens uniform in de modellen op te kunnen nemen. VLW en dus ook ISL2 maken gebruik van deze PreSRM bibliotheek. Meer informatie over PreSRM is te vinden op de website <http://presrm.wikidot.com>.

## 1.3 ISL2 6.00, VLW 3.30 en dit rapport

Voor het jaar 2013 heeft het ministerie van IenM weer opdracht gegeven aan DGMR om een up-to-date versie van ISL2 uit te brengen. Het versienummer van deze release is 6.00. De VLW bibliotheek waarvan ISL2 gebruik maakt is versie 3.30. En VLW maakt weer gebruik van de actuele versie van PreSRM, versie 1.30.

Om de juiste samenwerking tussen rekenschil en de bibliotheken te testen wordt een serie benchmarks gebruikt, gebaseerd op de benchmark ontwikkeld in 2009 en 2010 door RIVM (Nguyen & Wesseling, 2010). In dit rapport worden de resultaten van ISL2 6.00 voor deze benchmarks gepresenteerd. Een directe vergelijking met de resultaten zoals bereikt met de diverse modellen in 2010 is helaas niet mogelijk omdat ISL2 noodgedwongen nu gebruik maakt van de actuele gegevens wat betreft emissies,

achtergrondconcentraties en meteorologie. Maar omdat de huidige versie van de VLW bibliotheek wel met de oude en de nieuwe gegevens kan werken kan deze vergelijking, zij het indirect en met enige caveats toch uitgevoerd worden.

Velders GJM, Aben JMM, Geilenkirchen GP, den Hollander HA, Jimmink BA, van der Swaluw E, de Vries WJ, Wesseling J, van Zanten MC, 2013. Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland : Rapportage 2013. [RIVM Rapport 680362003](#)

# 2

## Benchmark: beschrijving van de cases

De benchmark van 2010 is uitvoerig gedocumenteerd in het RIVM rapport van NGuyen & Wesseling (2010). De complete benchmark bestaat uit 8 cases, waarvan er vier uitgevoerd worden met meteorologie, emissies en achtergrondconcentraties uit 2008, en vier cases met die voor 2015 en dus prognostische berekeningen zijn.

In Case 1a en 1b wordt een eenvoudig recht lijnstuk ter hoogte van Amsterdam doorgerekend, in Case 1a loopt dit wegstuk van zuid naar noord, in Case 1b van west naar oost en is een windscherm toegevoegd. In Case 2 wordt een stuk weg ter hoogte van Putten doorgerekend waarbij de weg een verhoogde ligging heeft en twee korte schermen aan weerszijden van het midden van de weg zijn geplaatst. In Case 3a en 3b is wederom sprake van een noord zuid georiënteerde weg, maar nu met een verhoogde ligging van 2 meter. Case 3a wordt doorberekend voor 2008, Case 3b voor 2015.

In Cases 4a en 4b wordt een vergelijkbaar stuk weg als in Cases 1a en 1b doorgerekend, maar nu in de buurt van Eindhoven en zonder schermen en verhoogde ligging.

Alleen in Cases 1a en 1b wordt de emissie door de software berekend op grond van opgegeven verkeersintensiteiten. In de overige gevallen wordt deze opgelegd.

Er zijn diverse problemen om ISL2 ieder jaar deze benchmark te laten doorrekenen als test voor de conformiteit. Zo voorziet deze rekenschil niet in door de gebruiker op te leggen emissies per wegstuk. Door de verkeersintensiteit en percentage vrachtverkeer in iedere case goed te kiezen is de door ISL2 daaruit berekende emissie gelijk aan de opgelegde waarde te krijgen. Probleem is daarbij dat deze emissiegetallen per jaar kunnen veranderen en dat nieuwe ISL2 versies geen emissies meer geven voor jaren voor 2010. Een tweede probleem is dat de GCN gegevens en de meteorologie jaarlijks geüpdate worden, dit geldt het sterkste voor de prognostische gegevens. Ook is de meteorologie sinds 2010 enigszins aangepast.

Daarom is er voor gekozen om de met VLW 3.0 en de emissies voor 2008 gekozen verkeersprestaties en PreSRM gegevens te blijven rekenen. Omdat VLW 3.30 wel met



de exacte gegevens zoals gebruikt in 2009 kan rekenen kan geverifieerd worden of deze VLW versie nog conform de rekenwijze in 2009 werkt. En door vergelijking van de berekeningen met VLW 3.30 met die van ISL2 kan geverifieerd worden of deze laatste nog conform werkt.

VLW 3.3 en VLW 3.0 leveren bij exact gelijke invoergegevens overigens niet precies gelijke resultaten omdat in de tijd diverse aanpassingen aan de rekenwijze zijn gedaan, waardoor onder andere VLW 3.30 ongeveer 50 keer sneller rekent als VLW 3.0. Ook zijn kleine aanpassingen gedaan vanwege de afstemming met de andere SRM2 modellen zoals TREDM, waardoor deze modellen nu beter vergelijkbaar zijn. Deze verschillen zijn relatief klein en liggen doorgaans binnen 1-2% van de berekende verkeersbijdrage. Voor de totale concentratie inclusief achtergrond zijn de verschillen dan ook vrijwel verwaarloosbaar.

# 3

## Resultaten

### 3.1 Algemeen

Achtergrond concentraties, dubbeltelling correcties en ruwheidslengtes worden in alle cases van de benchmark identiek berekend door zowel VLW v3.30 uitgerust met de 2010 PreSRM dataset, als met VLW 3.0 in 2010 ten tijde van de eerste benchmark. Ook de huidige versie van VLW 3.30 en ISL2, beide uitgerust met de actuele PreSRM dataset, leveren identieke gegevens voor achtergrond concentraties, dubbeltelling correcties en ruwheidslengtes voor alle cases van de benchmark.

Steekproefsgewijze testen van berekende concentraties op een tiental receptorpunten met het PreSRM demoprogramma levert ook identieke resultaten als ISL2 en VLW3.3. Hieruit kan men concluderen dat alle modelversies een goede koppeling met PreSRM hebben.

VLW 3.30 met de PreSRM dataset van 2010 levert niet identieke maar kleine verschillen op voor de berekende  $\text{NO}_x$  concentraties vergeleken met de berekeningen uitgevoerd in 2010 met de gelijke PreSRM dataset maar met iets andere VLW code en iets gewijzigde instellingen. Alle afwijkingen vallen ruim binnen de 10%, de gemiddelde absolute afwijking is 2%. De berekende totale  $\text{NO}_2$  en  $\text{PM}_{10}$  concentraties wijken per punt niet meer dan 1-2% af. Deze bandbreedte is ruim kleiner dan de bandbreedte in de resultaten van de verschillende modellen in de rapportage van 2010 (Nguyen & Wesseling, 2010). Hieruit kan men afleiden dat de rekenmethode van VLW 3.3 niet significant verschilt van die van VLW v3.0. De berekeningen met VLW 3.3 op basis van de 2010 gegevens liggen doorgaans iets dichter in de buurt van de TREDM en TNO VM resultaten dan de VLW 3.0 resultaten van 2010.

De VLW 3.3 berekeningen gebruikmakend van de 2013 PreSRM dataset en emissies wijken doorgaans slechts weinig af van de berekeningen op basis van de 2010 dataset. Blijkbaar leidt de recente verhoging van de  $\text{NO}_x$  emissies voor 2012 tot emissies die sterk lijken op die van 2009, en is de eerder ingeschatte verlaging van de emissies in dit tijdsinterval min of meer daarmee gecompenseerd.

Afhankelijk van de oriëntatie van de weg leidt de iets andere meteorologie in 2012 tot een sterkere asymmetrie tussen west- en oostzijde van wegen. Dit effect is het sterkst in case 3a. In Case 3b wordt in dezelfde ruimtelijk situatie de meerjarige meteo gebruikt die tot een veel symmetrische resultaat tussen oost- en westzijde van de weg leidt. Natuurlijk is de verwachting dat de afwijkingen in de patronen tussen VLW2009 en VLW2013 ook optreden in de ISL2 berekeningen, die immers gebruikmaken van VLW2013. Dat geldt helaas niet voor Case 2 en Case 3a. Zie hiervoor verder de nu volgende meer uitgebreide beschrijvingen per case.

In vrijwel alle gevallen zullen alleen de concentraties van NO<sub>x</sub> beschreven worden, aangezien die het meest gevoelig zijn voor de verschillen in de modellen. PM<sub>2.5</sub> en PM<sub>10</sub> concentratie bijdragen schalen lineair met de NO<sub>x</sub> concentraties. NO<sub>2</sub> concentraties zijn ook afhankelijk van de achtergrondconcentraties en de reactie met ozon als functie van de afstand, maar die interactie kan vanuit ISL2 niet beïnvloed worden vanuit de modellen en rekeninstellingen en de achtergrondconcentraties zijn zoals eerder getoond geheel overeenkomend in alle berekeningen.

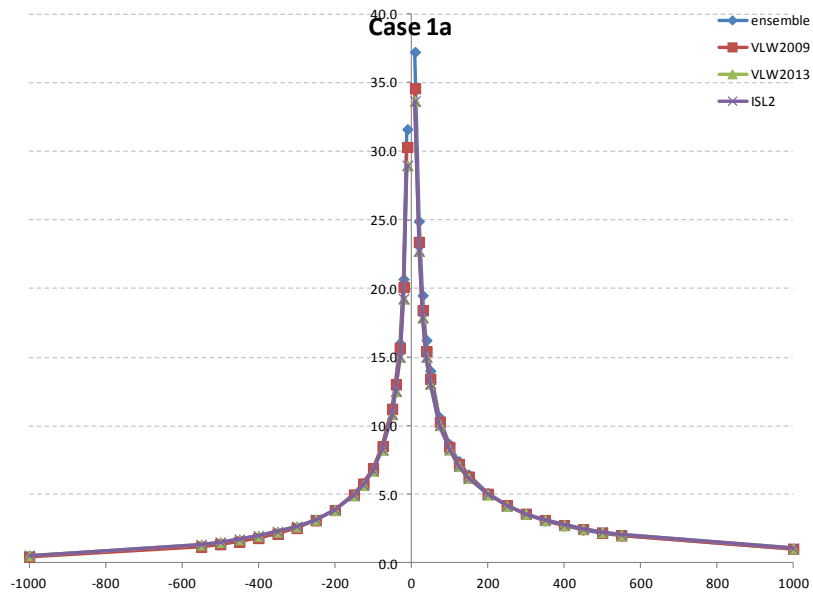
Alle concentraties en concentratiebijdragen in dit rapport worden gegeven als µg/m<sup>3</sup>. In het volgende worden de verschillende rekenscenario's met de volgende afkortingen aangeduid:

|          |   |
|----------|---|
| Ensemble | Gemiddeld resultaat van de vier SRM2 modellen, berekend in 2010 op basis van de gegevens uit 2009 (waaronder VLW 3.00), meteorologie is voor 2008 resp.2015 |
| VLW2009  | Resultaat berekend met VLW 3.30 op basis van de gegevens uit 2009, meteorologie is voor 2008 resp.2015  |
| VLW2013  | Resultaat berekend met VLW 3.30 op basis van de gegevens uit 2013, meteorologie is voor 2012 resp. 2015   |
| ISL2     | Resultaat berekend met ISL2 v6.00 op basis van de gegevens uit 2013, meteorologie is voor 2012 resp.2015  |

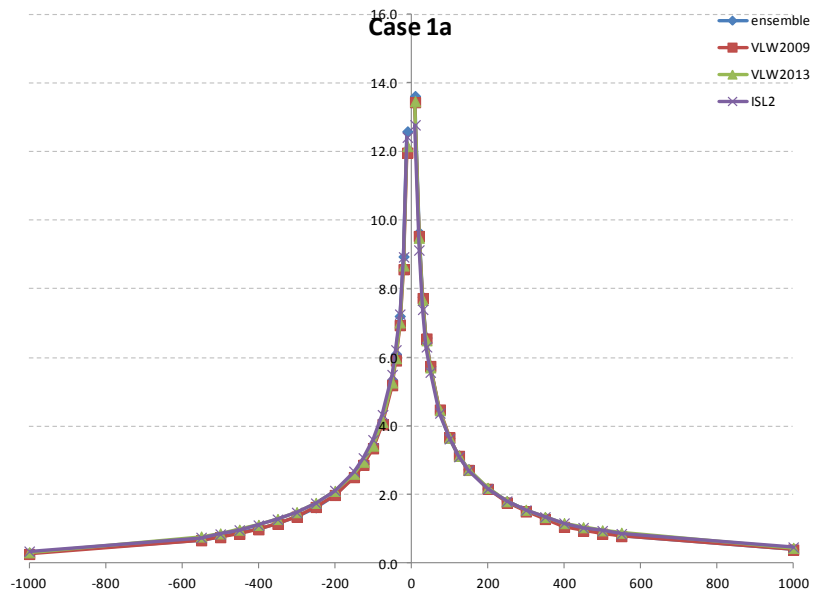
## 3.2 Case 1a

In Figuur 1 zijn de resultaten voor de bijdragen in de concentraties van NO<sub>x</sub> als functie van de afstand tot het midden van de weg aangegeven voor de vier rekenwijzes. Ondanks de andere emissies en meteorologie komend de resultaten verrassend dicht bij elkaar. Alleen heel dicht op de weg zijn ensemble en VLW2009 wat hoger. Er zijn geen verschillen tussen VLW2013 en ISL2.

In figuur 2 zijn de resultaten voor de bijdrage aan de concentraties van NO<sub>2</sub> getoond. De verschillen zijn hier heel klein, meestal minder dan 1% en maximaal 5% dicht op de weg.



**Figuur 1:** NO<sub>x</sub> bijdrage als functie van afstand tot het midden van de weg voor Case 1a

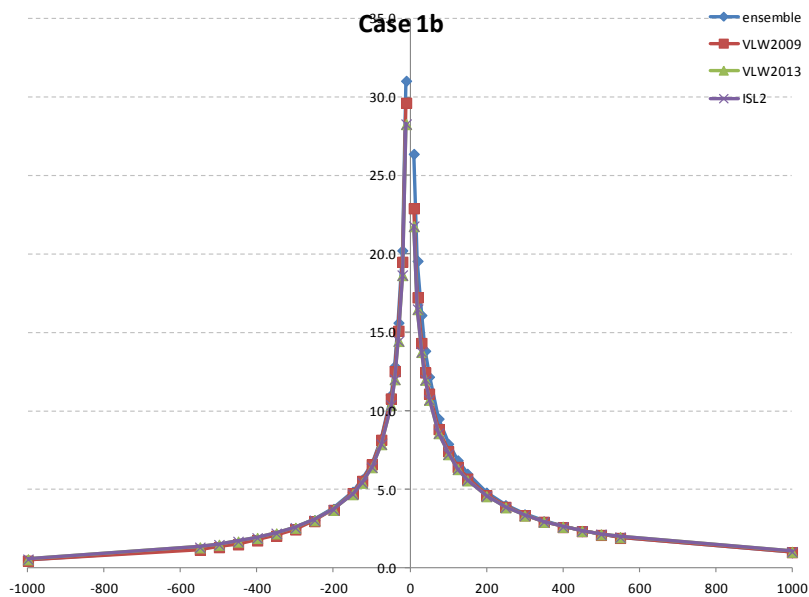


**Figuur 2:** NO<sub>2</sub> bijdrage als functie van afstand tot het midden van de weg voor Case 1a

### 3.3 Case 1b

In Figuur 3 zijn de resultaten voor de bijdragen in de concentraties van NO<sub>x</sub> als functie van de afstand tot het midden van de weg aangegeven voor de vier rekenwijzes in Case 1b waarin de invloed van schermen is opgenomen. Ondanks de andere emissies en meteorologie komend de resultaten verrassend dicht bij elkaar. Alleen heel dicht op de weg zijn ensemble en VLW2009 hier weer wat hoger. Het ensemble werd in de

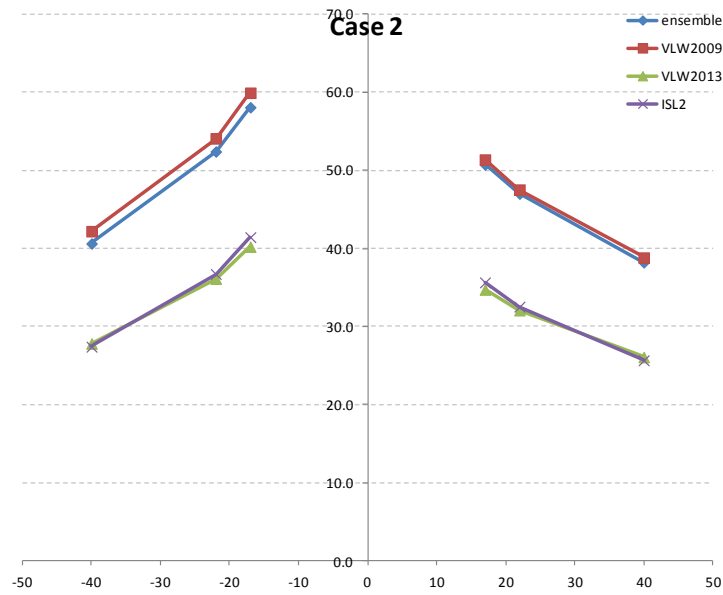
vergelijking van 2010 in Case 1b overigens nogal sterk naar boven getrokken door één van de vier modellen. Er zijn wederom geen verschillen in berekende NO<sub>x</sub> concentraties tussen VLW2013 en ISL2.



**Figuur 3:** NO<sub>x</sub> bijdrage als functie van afstand tot het midden van de weg voor Case 1b

### 3.4 Case 2

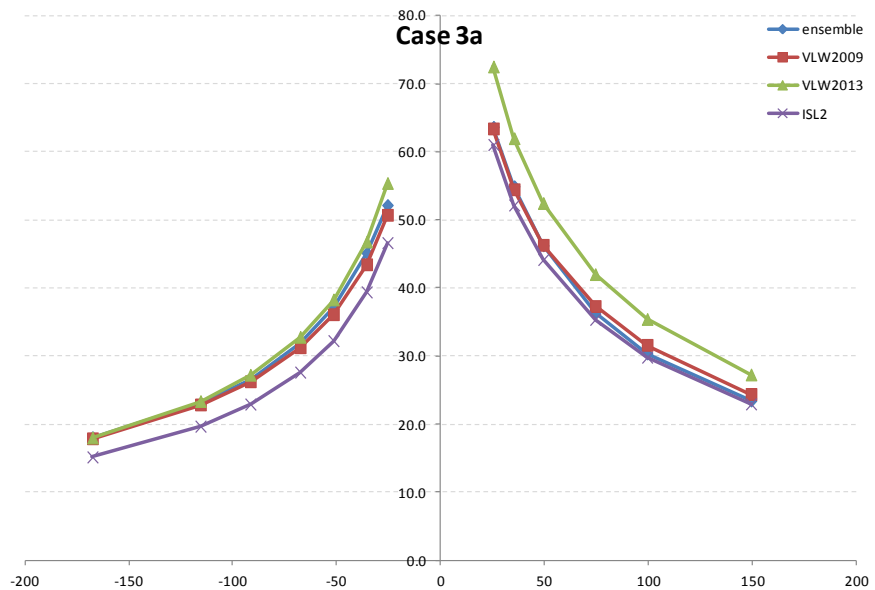
In Case 2 is sprake van twee korte schermen, de rekenresultaten zijn samengevat in figuur 4. De VLW 2009 versie komt nog steeds uitstekend overeen met het ensemble voor NO<sub>x</sub>. De voorgeschreven emissies in de oorspronkelijke benchmark zijn alleen voor case 2 in de VLW2013 berekeningen vervangen door de 2012 emissies bij de opgegeven verkeersprestaties, deze emissies zijn aanzienlijk lager. In dat geval geven VLW en ISL2 praktisch identieke resultaten.



**Figuur 4:** NO<sub>x</sub> bijdrage als functie van afstand tot het midden van de weg voor Case 2

### 3.5 Case 3a

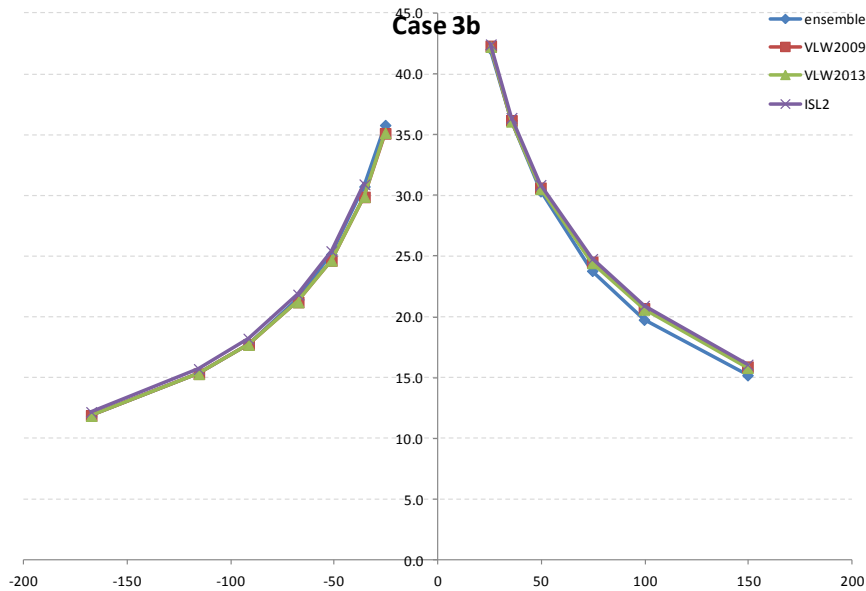
De resultaten voor Case 3a worden weergegeven in figuur 5. In deze Case is de VLW330 berekening hoger dan de ensemble en VLW2009 berekening, maar de ISL2 berekening volgt niet en is fors lager, net als in Case 2. De sterkere asymmetrie die voortkomt uit de specifieke meteorologie voor 2012 ten opzichte van 2008 met meer zuidwestenwind zit wel in beide ISL2 en VLW2013 resultaten. De oorzaak van het verschil ligt in de voorgeschreven emissie van de benchmark die in ISL2 niet doorgevoerd is.



**Figuur 5:** NO<sub>x</sub> bijdrage als functie van afstand tot het midden van de weg voor Case 3a

## 3.6 Case 3b

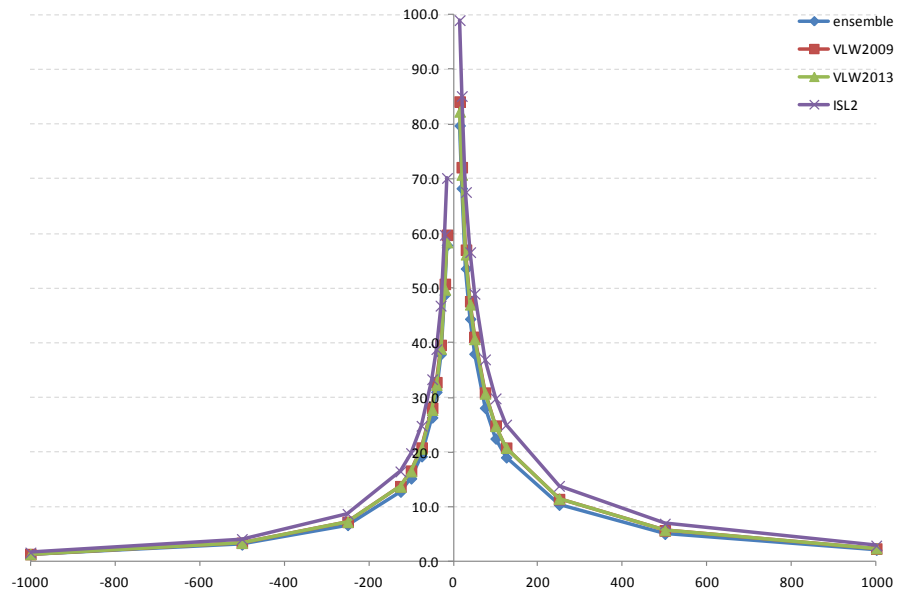
In Case 3b, weergegeven in figuur 6, zijn de verschillen in emissie tussen voorschrift en het resultaat voor 2012 gebruikmakend van de 2013 emissies heel klein. Ten opzichte van Case 3a wordt de langjarige meteorologie en achtergrond gebruikt en de verschillen in de meteorologie in de versies van 2009 en 2013 zijn klein.



**Figuur 6:** NOx bijdrage als functie van afstand tot het midden van de weg voor Case 3b

## 3.7 Case 4a

Case 4a is vergelijkbaar met Case 1a, maar nu is de locatie verschoven naar de omgeving van Eindhoven. Opvallend is dat ISL2 nu vrij sterk verhoogde NOx concentraties berekend over het hele profiel. Ook dit verschil is terug te voeren op de verschillen tussen de vaste emissie van de benchmark en de uitkomst van emissie gebruikmakend van de emissiegegevens van 2013. De asymmetrie van het profiel blijft netjes behouden en over het hele profiel ligt de concentratie berekend met ISL2  $20.0 \pm 0.2\%$  hoger.



**Figuur 7:** NOx bijdrage als functie van afstand tot het midden van de weg voor Case 4a



# 4

## Conclusie

ISL2 versie 6.00 met ingebouwd VLW 3.3 levert correcte rekenresultaten voor alle gegevens (achtergrond en verkeersbijdragen) voor de hier beschreven testcases. De kleine verschillen met de berekeningen in 2010 kunnen verklaard worden door de iets aangepaste rekenmethode in VLW 3.3. De wat grotere verschillen in de laatste testcases kunnen worden verklaard uit de veranderde emissiegegevens voor 2012 ten opzichte van die voor 2009. Wanneer de concentratiebijdragen geschaald worden naar de verhoudingen van de totale emissie zijn de verschillen in de berekende bijdragen aan de concentraties van NO<sub>x</sub> en PM<sub>10</sub> kleiner dan 1-2%.

# Bijlage A. Ruwe gegevens

Case 1a NO<sub>x</sub> bijdragen

| ensemble | VLW2009 | VLW2013 | ISL2 |
|----------|---------|---------|------|
| 1.0      | 1.0     | 1.1     | 1.1  |
| 2.0      | 2.0     | 2.1     | 2.1  |
| 2.2      | 2.2     | 2.3     | 2.3  |
| 2.4      | 2.5     | 2.5     | 2.5  |
| 2.7      | 2.8     | 2.8     | 2.8  |
| 3.1      | 3.1     | 3.1     | 3.1  |
| 3.6      | 3.6     | 3.6     | 3.6  |
| 4.2      | 4.2     | 4.2     | 4.2  |
| 5.1      | 5.1     | 5.0     | 5.0  |
| 6.4      | 6.3     | 6.2     | 6.2  |
| 7.4      | 7.2     | 7.1     | 7.1  |
| 8.7      | 8.5     | 8.3     | 8.3  |
| 10.6     | 10.3    | 10.1    | 10.1 |
| 14.0     | 13.4    | 13.1    | 13.1 |
| 16.2     | 15.4    | 15.0    | 15.0 |
| 19.5     | 18.4    | 17.9    | 17.9 |
| 24.9     | 23.4    | 22.7    | 22.7 |
| 37.2     | 34.6    | 33.7    | 33.7 |
| 31.6     | 30.3    | 29.0    | 29.0 |
| 20.7     | 20.1    | 19.3    | 19.3 |
| 16.0     | 15.7    | 15.0    | 15.0 |
| 13.2     | 13.0    | 12.5    | 12.5 |
| 11.3     | 11.2    | 10.8    | 10.8 |
| 8.5      | 8.5     | 8.3     | 8.3  |
| 6.9      | 6.9     | 6.7     | 6.7  |
| 5.8      | 5.8     | 5.7     | 5.7  |
| 5.0      | 5.0     | 4.9     | 4.9  |
| 3.9      | 3.9     | 3.9     | 3.9  |
| 3.1      | 3.1     | 3.2     | 3.2  |
| 2.6      | 2.6     | 2.7     | 2.7  |
| 2.2      | 2.1     | 2.3     | 2.3  |
| 1.9      | 1.8     | 2.0     | 2.0  |
| 1.6      | 1.6     | 1.7     | 1.7  |
| 1.4      | 1.4     | 1.5     | 1.5  |
| 1.2      | 1.2     | 1.4     | 1.4  |
| 0.5      | 0.5     | 0.6     | 0.6  |

Case 1a NO<sub>2</sub> bijdragen

| ensemble | VLW2009 | VLW2013 | ISL2 |
|----------|---------|---------|------|
| 0.4      | 0.4     | 0.4     | 0.5  |
| 0.8      | 0.8     | 0.9     | 0.9  |
| 0.9      | 0.9     | 1.0     | 0.9  |
| 1.0      | 0.9     | 1.1     | 1.0  |
| 1.1      | 1.1     | 1.2     | 1.2  |
| 1.3      | 1.3     | 1.4     | 1.4  |
| 1.5      | 1.5     | 1.6     | 1.6  |
| 1.8      | 1.8     | 1.8     | 1.8  |
| 2.2      | 2.2     | 2.2     | 2.2  |
| 2.7      | 2.7     | 2.7     | 2.7  |
| 3.1      | 3.1     | 3.1     | 3.1  |
| 3.7      | 3.7     | 3.7     | 3.6  |
| 4.4      | 4.5     | 4.5     | 4.4  |
| 5.7      | 5.8     | 5.7     | 5.6  |
| 6.6      | 6.6     | 6.5     | 6.3  |
| 7.8      | 7.7     | 7.7     | 7.4  |
| 9.6      | 9.5     | 9.5     | 9.1  |
| 13.6     | 13.4    | 13.5    | 12.8 |
| 12.6     | 12.0    | 12.2    | 12.4 |
| 8.9      | 8.6     | 8.7     | 8.9  |
| 7.2      | 6.9     | 7.0     | 7.3  |
| 6.1      | 5.9     | 6.0     | 6.2  |
| 5.3      | 5.2     | 5.3     | 5.5  |
| 4.1      | 4.1     | 4.1     | 4.3  |
| 3.4      | 3.4     | 3.4     | 3.6  |
| 2.9      | 2.9     | 3.0     | 3.1  |
| 2.5      | 2.5     | 2.6     | 2.7  |
| 2.0      | 2.0     | 2.1     | 2.1  |
| 1.6      | 1.6     | 1.8     | 1.8  |
| 1.4      | 1.4     | 1.5     | 1.5  |
| 1.2      | 1.2     | 1.3     | 1.3  |
| 1.0      | 1.0     | 1.1     | 1.1  |
| 0.9      | 0.9     | 1.0     | 1.0  |
| 0.8      | 0.8     | 0.9     | 0.9  |
| 0.7      | 0.7     | 0.8     | 0.8  |
| 0.3      | 0.3     | 0.3     | 0.3  |

Case 1b NO<sub>x</sub> bijdragen

| ensemble | VLW2009 | VLW2013 | ISL2 |
|----------|---------|---------|------|
| 1.0      | 1.0     | 1.0     | 1.0  |
| 1.9      | 1.9     | 2.0     | 2.0  |
| 2.1      | 2.1     | 2.1     | 2.1  |
| 2.3      | 2.3     | 2.4     | 2.4  |
| 2.6      | 2.6     | 2.6     | 2.6  |
| 3.0      | 2.9     | 2.9     | 2.9  |
| 3.4      | 3.4     | 3.3     | 3.3  |
| 4.0      | 3.9     | 3.9     | 3.9  |
| 4.8      | 4.6     | 4.6     | 4.6  |
| 6.0      | 5.7     | 5.6     | 5.6  |
| 6.9      | 6.4     | 6.3     | 6.3  |
| 7.9      | 7.4     | 7.3     | 7.3  |
| 9.5      | 8.9     | 8.6     | 8.6  |
| 12.2     | 11.1    | 10.7    | 10.7 |
| 13.8     | 12.5    | 12.0    | 12.0 |
| 16.1     | 14.3    | 13.8    | 13.8 |
| 19.6     | 17.3    | 16.5    | 16.5 |
| 26.4     | 22.9    | 21.8    | 21.8 |
| 31.1     | 29.7    | 28.3    | 28.3 |
| 20.2     | 19.5    | 18.7    | 18.7 |
| 15.6     | 15.1    | 14.5    | 14.5 |
| 12.9     | 12.5    | 12.0    | 12.0 |
| 11.0     | 10.8    | 10.4    | 10.4 |
| 8.2      | 8.2     | 7.9     | 7.9  |
| 6.6      | 6.6     | 6.4     | 6.4  |
| 5.6      | 5.6     | 5.4     | 5.4  |
| 4.9      | 4.8     | 4.7     | 4.7  |
| 3.8      | 3.7     | 3.7     | 3.7  |
| 3.0      | 3.0     | 3.0     | 3.0  |
| 2.5      | 2.5     | 2.6     | 2.6  |
| 2.1      | 2.1     | 2.2     | 2.2  |
| 1.8      | 1.8     | 1.9     | 1.9  |
| 1.6      | 1.5     | 1.7     | 1.7  |
| 1.4      | 1.3     | 1.5     | 1.5  |
| 1.2      | 1.2     | 1.3     | 1.3  |
| 0.5      | 0.5     | 0.6     | 0.6  |

Case 2 NO<sub>x</sub> bijdragen

| ensemble | VLW2009 | VLW2013 | ISL2 |
|----------|---------|---------|------|
| 40.6     | 42.2    | 27.8    | 27.4 |
| 52.4     | 54.1    | 36.1    | 36.7 |
| 58.1     | 59.9    | 40.2    | 41.4 |
| 50.7     | 51.4    | 34.7    | 35.7 |
| 47.0     | 47.5    | 32.1    | 32.5 |
| 38.2     | 38.8    | 26.1    | 25.7 |

Case 3a NO<sub>x</sub> bijdragen

| ensemble | VLW2009 | VLW2013 | ISL2 |
|----------|---------|---------|------|
| 13.6     | 17.9    | 18.0    | 15.1 |
| 17.4     | 22.8    | 23.3    | 19.6 |
| 20.0     | 26.2    | 27.2    | 22.9 |
| 24.0     | 31.2    | 32.8    | 27.6 |
| 27.8     | 36.1    | 38.3    | 32.2 |
| 33.6     | 43.4    | 46.8    | 39.4 |
| 39.2     | 50.7    | 55.4    | 46.6 |
| 46.6     | 63.4    | 72.5    | 61.0 |
| 40.0     | 54.4    | 61.9    | 52.1 |
| 33.8     | 46.3    | 52.4    | 44.1 |
| 27.0     | 37.3    | 42.0    | 35.3 |
| 22.7     | 31.6    | 35.4    | 29.8 |
| 17.5     | 24.4    | 27.2    | 22.9 |

Case 3b NO<sub>x</sub> bijdragen

| ensemble | VLW2009 | VLW2013 | ISL2 |
|----------|---------|---------|------|
| 11.9     | 11.9    | 11.9    | 12.2 |
| 15.4     | 15.4    | 15.4    | 15.8 |
| 17.7     | 17.8    | 17.8    | 18.2 |
| 21.5     | 21.3    | 21.3    | 21.9 |
| 25.2     | 24.7    | 24.7    | 25.5 |
| 30.8     | 29.9    | 29.9    | 31.0 |
| 35.8     | 35.1    | 35.2    | 36.5 |
| 42.1     | 42.3    | 42.3    | 42.5 |
| 36.2     | 36.2    | 36.1    | 36.4 |
| 30.4     | 30.7    | 30.6    | 30.9 |
| 23.8     | 24.6    | 24.5    | 24.8 |
| 19.8     | 20.7    | 20.7    | 21.0 |
| 15.2     | 15.9    | 15.9    | 16.1 |

Case 4a NOx bijdragen

| ensemble | VLW2009 | VLW2013 | ISL2 |
|----------|---------|---------|------|
| 1.3      | 1.4     | 1.4     | 1.6  |
| 3.1      | 3.4     | 3.4     | 4.1  |
| 6.7      | 7.2     | 7.3     | 8.7  |
| 12.8     | 13.8    | 13.7    | 16.5 |
| 15.2     | 16.6    | 16.5    | 19.8 |
| 19.2     | 20.8    | 20.7    | 24.8 |
| 26.3     | 28.1    | 27.8    | 33.3 |
| 31.0     | 32.8    | 32.3    | 38.8 |
| 37.9     | 39.6    | 39.0    | 46.8 |
| 48.8     | 50.8    | 49.8    | 59.7 |
| 57.9     | 59.7    | 58.4    | 70.1 |
| 79.7     | 84.1    | 82.3    | 99.0 |
| 68.3     | 72.1    | 70.8    | 85.1 |
| 53.6     | 57.0    | 56.2    | 67.6 |
| 44.4     | 47.6    | 47.0    | 56.6 |
| 38.0     | 41.1    | 40.7    | 49.0 |
| 28.1     | 30.9    | 30.7    | 37.0 |
| 22.5     | 24.8    | 24.8    | 29.8 |
| 19.0     | 20.8    | 20.8    | 25.0 |
| 10.4     | 11.4    | 11.5    | 13.8 |
| 5.1      | 5.7     | 5.8     | 6.9  |
| 2.1      | 2.4     | 2.4     | 2.9  |



**ECN**

Westerduinweg 3  
1755 LE Petten

Postbus 1  
1755 LG Petten

T 088 515 4949  
F 088 515 8338  
info@ecn.nl  
www.ecn.nl

