



Briefrapport 680705016/2010
P.L. Nguyen | J.P. Wesseling

Benchmark snelwegenmodellen

Resultaten van de vergelijking in 2010



Briefrapport 680705016/2010
P.L. Nguyen | J.P. Wesseling

Benchmark snelwegmodellen

Resultaten van de vergelijking in 2010

RIVM Briefrapport 680705016/2010

Benchmark snelwegenmodellen

Resultaten van de vergelijking in 2010

P.L.Nguyen, RIVM
J.P.Wesseling, RIVM

Contact:
J.P.Wesseling
CMM
Joost.Wesseling@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van VROM, in het kader van Project Stedelijke Luchtkwaliteit en Mrv

© RIVM 2010

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Benchmark snelwegen modellen

Het RIVM heeft de resultaten vergeleken van vier goedgekeurde rekenmodellen die de bijdrage van snelwegen aan de uitstoot van fijn stof en stikstofdioxide berekenen. Het betreft de modellen van TNO, Flow Motion, KEMA, het ECN/Rijkswaterstaat.

In de Regeling beoordeling luchtkwaliteit (Rbl) zijn de standaardrekenmethoden vastgelegd waarmee de gevolgen van ruimtelijke plannen voor de luchtkwaliteit worden berekend. Voor de berekeningen van de bijdrage van snelwegen mogen meerdere rekenmodellen worden gebruikt, die allen voor dit doel zijn goedgekeurd. Een periodieke vergelijking van de modelresultaten is wenselijk om de consistentie tussen goedgekeurde modellen te verifiëren.

Deze benchmark is in opdracht van het ministerie van VROM uitgevoerd. Voor het onderzoek heeft het RIVM vier testcases gedefinieerd die, voor zover mogelijk, gebaseerd zijn op feitelijke situaties, de A10-zuid, de A2 bij Breukelen en de A28 bij Putten. Om de anonimiteit van de modellen te waarborgen zijn bij de presentatie van de resultaten de modelnamen weggelaten.

De uitkomsten van berekende bijdragen van stikstofdioxide en fijn stof lopen in stedelijk gebied tot 35-35 procent uiteen. Buiten de steden liggen de resultaten van de modellen voor beide stoffen dichter bij elkaar, met een spreiding van circa 15 procent. Van één locatie (Breukelen) zijn ook metingen beschikbaar. De berekende concentraties voor die locatie komen goed overeen met de gemeten waarde.

Trefwoorden: SRM-2, benchmark, snelwegmodel

Abstract

Benchmark models for motorways

The RIVM has compared the results of four officially approved models that calculate the contribution of motorways to the emission of particulate matter and nitrogen dioxide. These models are the legal property of TNO, Flowmotion, KEMA and ECN/Rijkwaterstaat.

In the Netherlands standard calculation methods for determination the effect of spatial plans on air quality are laid down in the Air Quality Assessment Regulation 2007 (Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007). A number of models have been approved for calculating the contribution of motorway to air quality. It is advisable to compare the results of these models at regular intervals, with a specific focus on consistency between models.

This benchmark study has been performed by order of the Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM). For comparison purposes, the RIVM has defined four test cases which are based, as much as possible, on actual situations: the A10-south, the A2 in Breukelen and the A28 in Putten. In order to guarantee the anonymity of the models, the name of each model has been removed in the presentation of the results.

The calculated increments in nitrogen dioxide and particulate matter in urban areas were found to differ by up to 35-40% between the models. Outside the urban areas, the between-model differences are much smaller, for both substances the differences between the models are roughly 15%. For one location (Breukelen), measurements are also available; the calculated concentrations at this location are in good agreement with these measurements.

Key words: SRM-2, benchmark, motorways model

Inhoud

Samenvatting	6
1 Inleiding	7
2 Definitie testcases	9
3 Resultaten	11
3.1 Case1: A10 in Amsterdam	11
3.1.1 Basisberekening	11
3.1.2 Berekening met scherm	17
3.1.3 Conclusies case 1	22
3.2 Case 2: A28 bij Putten	23
3.2.1 Basisberekening	23
3.2.2 Schermeffecten	27
3.2.3 Conclusie case 2	27
3.3 Case 3: A2 bij Breukelen	28
3.3.1 Basisberekening	28
3.3.2 Berekening voor 2015	32
3.3.3 Conclusie case 3	34
3.4 Case 4: Fictieve snelweg bij Eindhoven	35
3.4.1 Basisberekening	35
3.4.2 Geroteerde weg	38
3.4.3 Conclusie case 4	40
4 Conclusies en aanbevelingen	41
4.1 Algemeen	41
4.2 Verschillen tussen modellen	41
4.3 Maximaal verschil tussen modellen	42
4.4 Vergelijking met de resultaten van 2006	42
4.5 Aanbevelingen	42
5 Literatuur	43
Bijlage 1: De testcases	44
Bijlage 2: Wegdetails en receptorlocaties	47

Samenvatting

De bijdrage van snelwegen wordt berekend met de SRM-2 standaardrekenmethode. Er zijn in Nederland verschillende modellen goedgekeurd voor het berekenen van snelwegbijdragen. Als onderdeel van de modeltoetsing en verlenging van goedkeuring in 2010 heeft het RIVM begin 2010 vier testcases rond snelwegen opgesteld en aan de modeleigenaren verzocht om de testcases door te rekenen. Aan deze benchmark deden 4 modellen mee: Pluimsnelweg (TNO), ADMS Urban (Flow Motion), Stacks+ (KEMA) en VLW (Rijkswaterstaat). De resultaten van het TREDM model van het RIVM worden eveneens in de vergelijking meegenomen. Om de anonimiteit van de modellen te waarborgen zijn bij de presentatie van de resultaten willekeurige codes M1 tot en met M5 gebruikt in plaats van de modelnamen.

Drie van de testcases in deze benchmark zijn deels gebaseerd op de A10 zuid, de A2 bij Breukelen en de IPL metingen aan de A28 in Putten en een testcase betreft een fictieve snelweg in Eindhoven. In twee testcases hebben de wegen ook schermen. Om de modellen met elkaar te vergelijken zijn de berekende NO_x en NO_2 bijdrage, NO_2 totale concentratie en in een test ook de PM bijdrage en het aantal overschrijdingsdagen, vergeleken.

Het maximale verschil in de NO_x bijdrage (het verschil tussen de hoogste en laagste berekende bijdrage dicht bij de wegrand) varieert in deze benchmark tussen 6 en 41%, afhankelijk van de test case. Het maximale verschil in de NO_2 bijdrage varieert tussen 12 en 35%. Het grootste verschil betreft een complexe situatie; op vlakke locatie is het verschil tussen de modellen laag. Op een locatie zijn ook metingen beschikbaar. Op deze locatie geeft de vergelijking tussen metingen en modelresultaten goede overeenkomst.

De resultaten van de studie zullen worden gebruikt om een nieuw voorstel aan het ministerie van VROM te doen voor de in de Rbl genoemde referentiesituatie bij snelwegen.

1 Inleiding

In de Regeling beoordeling luchtkwaliteit 2007 (VROM, 2010) zijn de standaardrekenmethoden vastgelegd waarmee de gevolgen van ruimtelijke plannen voor de luchtkwaliteit worden berekend. Voor het berekenen van de bijdrage van snelwegen is dit de standaardrekenmethode 2 (SRM-2). De Regeling beoordeling luchtkwaliteit (Rbl) maakt het mogelijk om een andere rekenmethode te gebruiken mits deze methode is goedgekeurd door de minister van VROM. Voor de criteria op basis waarvan modellen worden geaccepteerd maakt de Rbl onder andere gebruik van de resultaten van een door het RIVM georganiseerde benchmark (Pul, 2006).

In Nederland zijn verschillende modellen goedgekeurd voor het berekenen van snelwegbijdragen. Tijdens het proces van goedkeuring zijn verschillende modellen gemodificeerd om meer in lijn te komen met de Rbl. Sindsdien zijn de meeste modellen ook in meer of mindere mate aangepast aan nieuwe ontwikkelingen of vereisten uit updates van de Rbl.

Als onderdeel van de modeltoetsing en verlenging van goedkeuring in 2010 heeft het RIVM begin 2010 een aantal testcases rond snelwegen opgesteld en aan de modeleigenaren verzocht om de testcases door te rekenen. Aan deze benchmark deden 4 modellen mee: Pluim Snelweg (TNO), ADMS Urban (Flow Motion), Stacks+ (KEMA) en VLW (Rijkswaterstaat). Deze modellen zijn eerder door VROM goedgekeurd en worden meer of minder in de praktijk gebruikt.

De aangeleverde resultaten van de modeleigenaren zijn eerst zorgvuldig gecontroleerd op eventuele fouten in de gebruikte invoer. Indien nodig, na constatering van onvolledigheden of onvolkomenheden, is door het RIVM een herberekening gevraagd. De resultaten in dit rapport zijn een weergave van de definitieve versie op 20 augustus 2010. De resultaten van het TREDM model van het RIVM worden eveneens in de vergelijking meegenomen. Om de anonimiteit van de modellen te waarborgen zijn bij de presentatie van de resultaten willekeurige codes M1 tot en met M5 gebruikt in plaats van de modelnamen.

De resultaten van de studie zullen worden gebruikt om een nieuw voorstel aan het ministerie van VROM te doen voor de in de Rbl genoemde referentiesituatie bij snelwegen.

2 Definitie testcases

Er zijn vier testen gedefinieerd. De tests zijn deels gebaseerd op de A10-zuid, de A2 bij Breukelen en de IPL metingen aan de A28. In bijlage 1 is de beschrijving van de testen gegeven. In bijlage 2 zijn de wegdetails (coördinaten, weghoogte, emissie, fNO₂ etc.) en receptorlocaties weergegeven. Tevens is de ligging van wegen en receptoren weergegeven in figuren.

3 Resultaten

Voor alle testcases worden de testcase en de resultaten kort besproken. In de figuren worden de resultaten van de modellen en dat van het ensemble (het gemiddelde van alle modellen) weergegeven. Er wordt bij de bespreking aangegeven wat de verschillen zijn tussen de hoogst en laagst berekende concentraties die direct aan de weg zijn berekend. Door deze waarden te vergelijken met de gemiddelde waarde kan het relatieve verschil van de modellen worden bepaald.

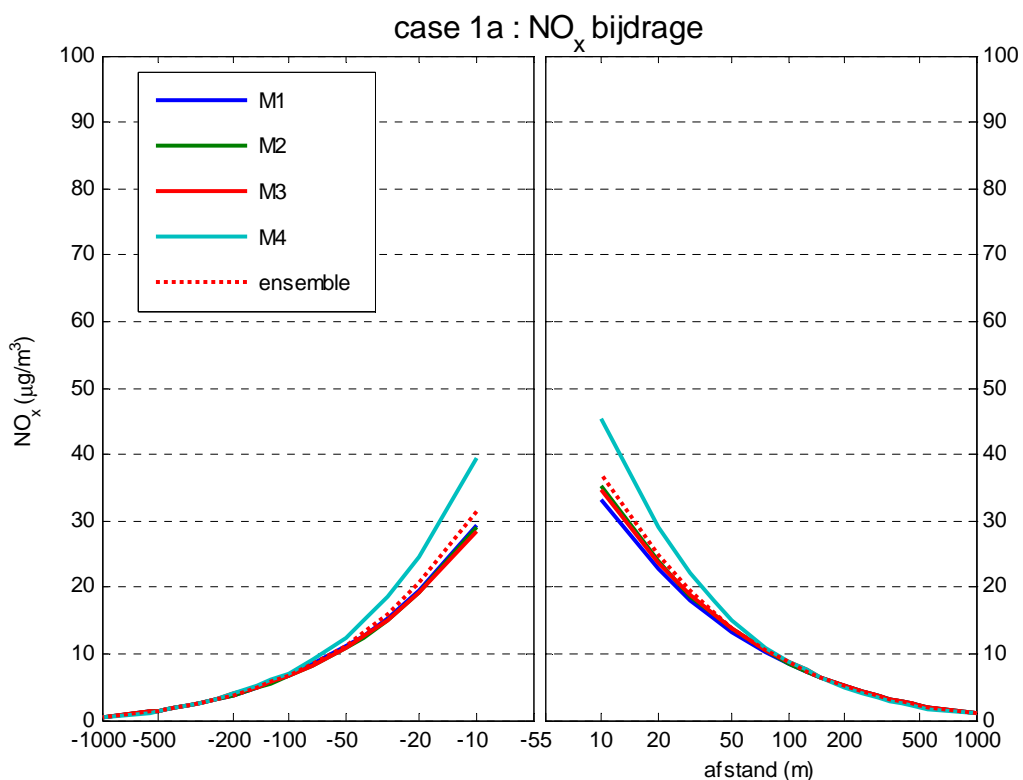
Er wordt in deze benchmark zowel naar de bijdragen als naar de totale concentratie gekeken. Dit is een andere benadering dan de Rbl, waar de berekende totale concentratie van een model met de referentiewaarde wordt vergeleken. De berekende bijdrage is echter wel het directe resultaat van een model; een vergelijking van de bijdrage is daarom zuiverder.

3.1 Case1: A10 in Amsterdam

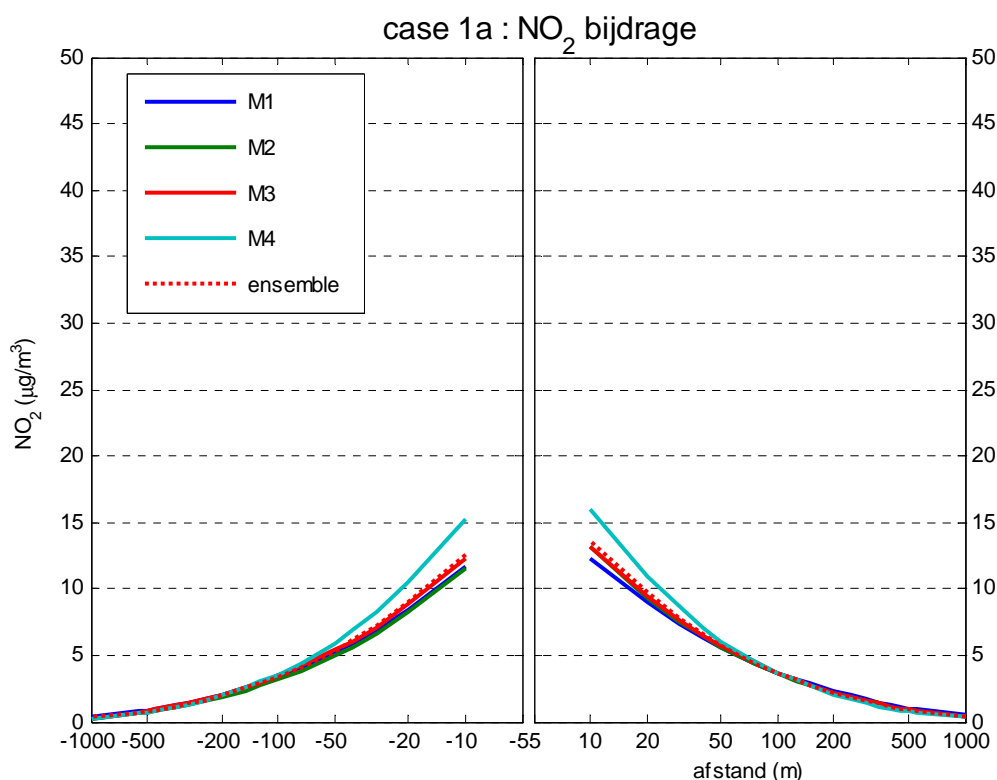
Case 1 betreft een schematisch stukje van de A10-zuid, bij Amsterdam. De weg ligt op een talud en in de tweede variant is aan de noordzijde een geluidsscherm geplaatst. De verkeerscijfers waren voorgeschreven, de modeleigenaren moesten zelf de emissies bepalen.

3.1.1 Basisberekening

NO_x en NO₂ bijdrage



Figuur 1 Berekende NO_x bijdrage in case 1a van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 35% van het ensemble. Model M5 heeft de NO_x bijdrage niet berekend.

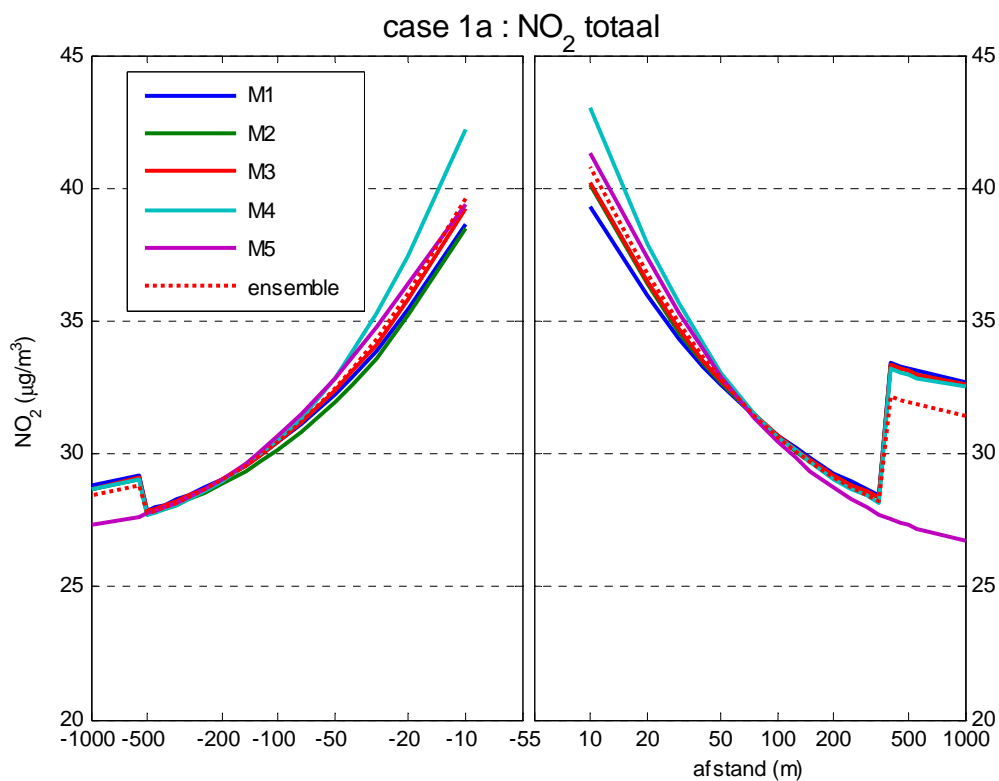


Figuur 2 Berekende NO₂ bijdrage in case 1a van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 29% van het ensemble. Model M5 heeft de NO₂ bijdrage niet berekend.

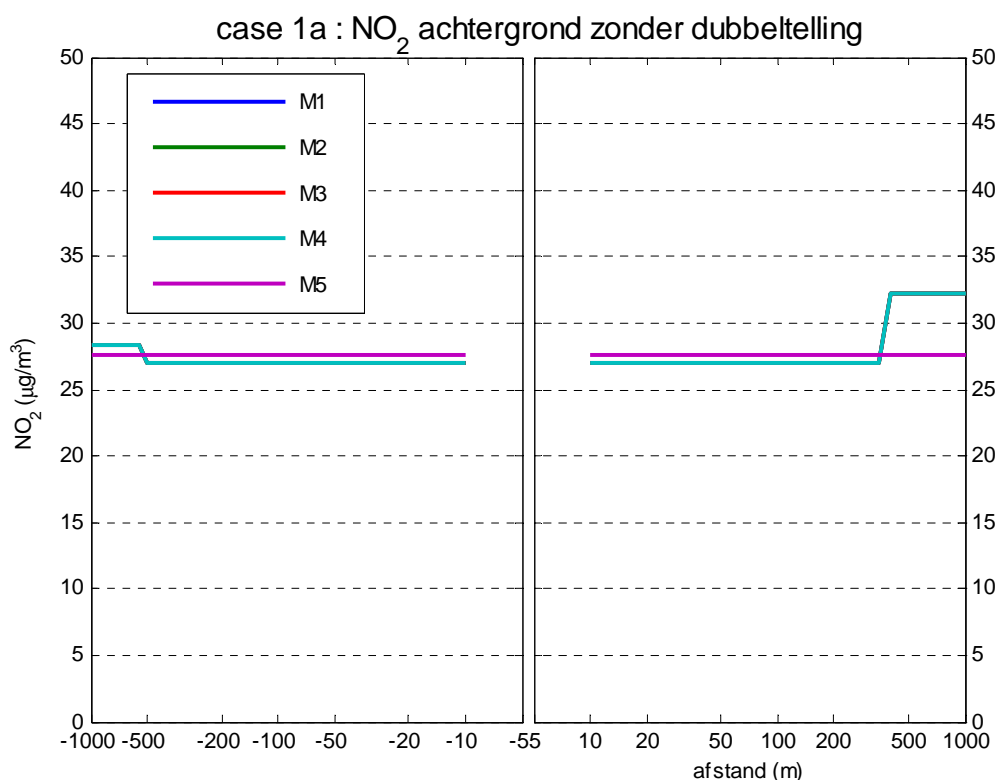
In figuren 1 en 2 zijn de resultaten van de modellen M1 t/m M4 en het ensemble van deze modellen weergegeven. Voor de NO_x en de NO₂ bijdrage zien we het volgende:

- de resultaten van de modellen M1, M2 en M3 liggen dicht bij elkaar;
- model M4 geeft dicht bij de weg hogere concentratie dan modellen M1, M2 en M3. Het maximale verschil tussen model M4 en het ensemble is 2.6 µg/m³ NO₂ ;
- het maximale verschil in de NO_x bijdrage, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie op 10 meter vanaf de wegrand, is 35% van het ensemble. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 17% van het ensemble;
- het maximale verschil in de NO₂ bijdrage is 29% van het ensemble. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 14% van het ensemble.

Totale NO₂ concentratie



Figuur 3 Berekende NO₂ totale concentratie in case 1a van alle modellen en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 9% van het ensemble.



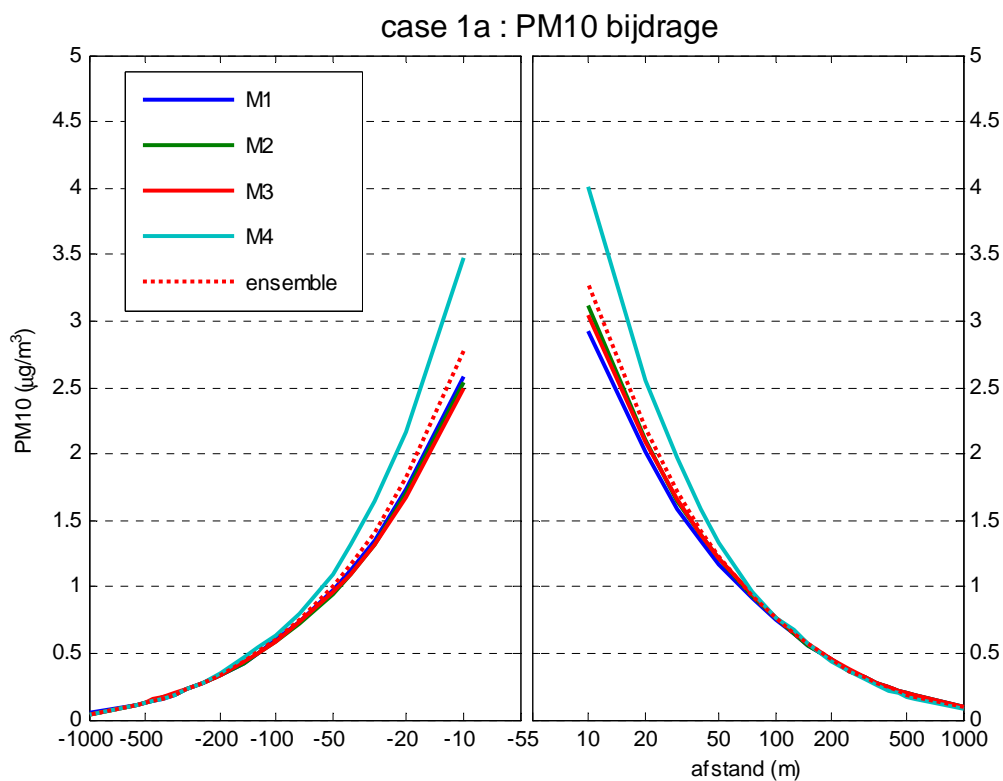
Figuur 4 Gebruikte achtergrondconcentratie. De lijnen van modellen M1,M2,M3 en M4 liggen op elkaar.

In bovenstaande figuren zijn de resultaten van de modellen en het ensemble voor de totale NO₂ concentratie weergegeven. Meer in details zien we het volgende:

- de resultaten van de modellen M1, M2, M3 en M5 liggen dicht bij elkaar;
- model M4 geeft dicht bij de weg hogere concentratie dan andere modellen. Het maximale verschil tussen model M4 en het ensemble is 2.6 µg/m³ NO₂ ;
- alle vier modellen M1, M2, M3, M4 hebben een knik rond 400 m als gevolg van de sprong in de dubbeltellingcorrectie. Model M5 is het enige model zonder deze sprong. Vanaf 400 m van de bron resulteert dit in een grote discrepantie tussen de totale concentratie van model M5 en het ensemble¹;
- het maximale verschil in de NO₂ concentratie van de modellen, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie op 10 meter vanaf de wegrand, is 9% van het ensemble. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 4% van het ensemble.

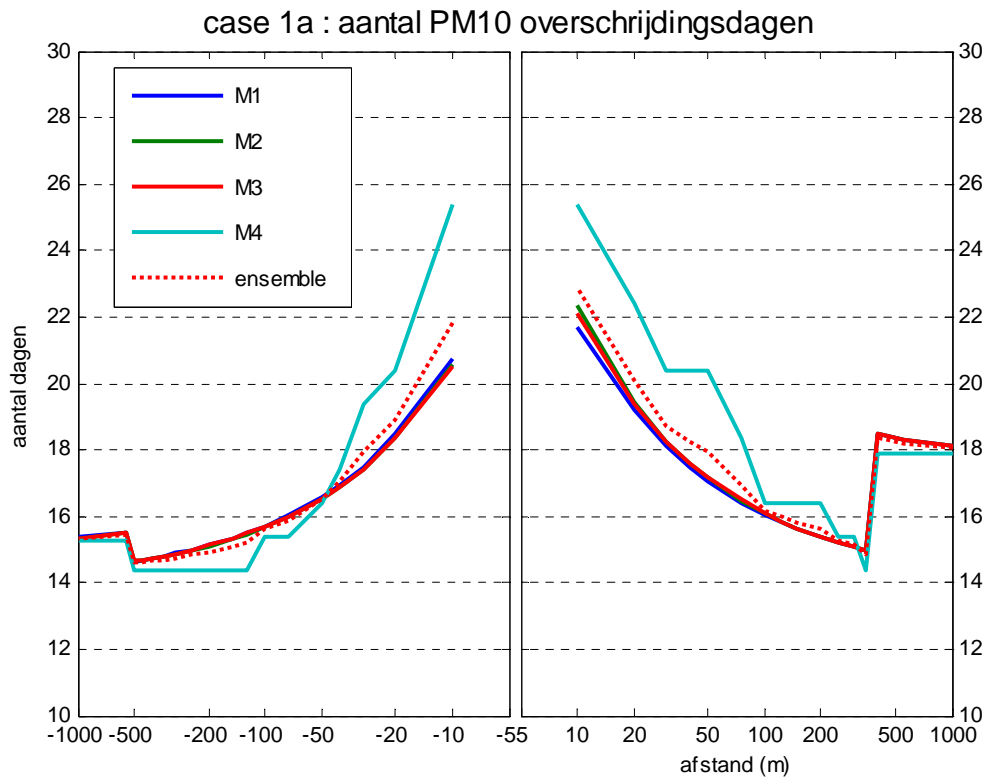
¹ Opmerking van de eigenaar van model M5: voor deze benchmark is één set achtergrondwaarden gebruikt. Voor echte opdrachten zou de kilometergrens wel worden meegenomen.

PM10 bijdrage



Figuur 5 Berekende PM10 bijdrage in case 1a van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 35% van het ensemble. Model M5 heeft de PM10 bijdrage niet berekend.

Het aantal overschrijdingsdagen van PM10



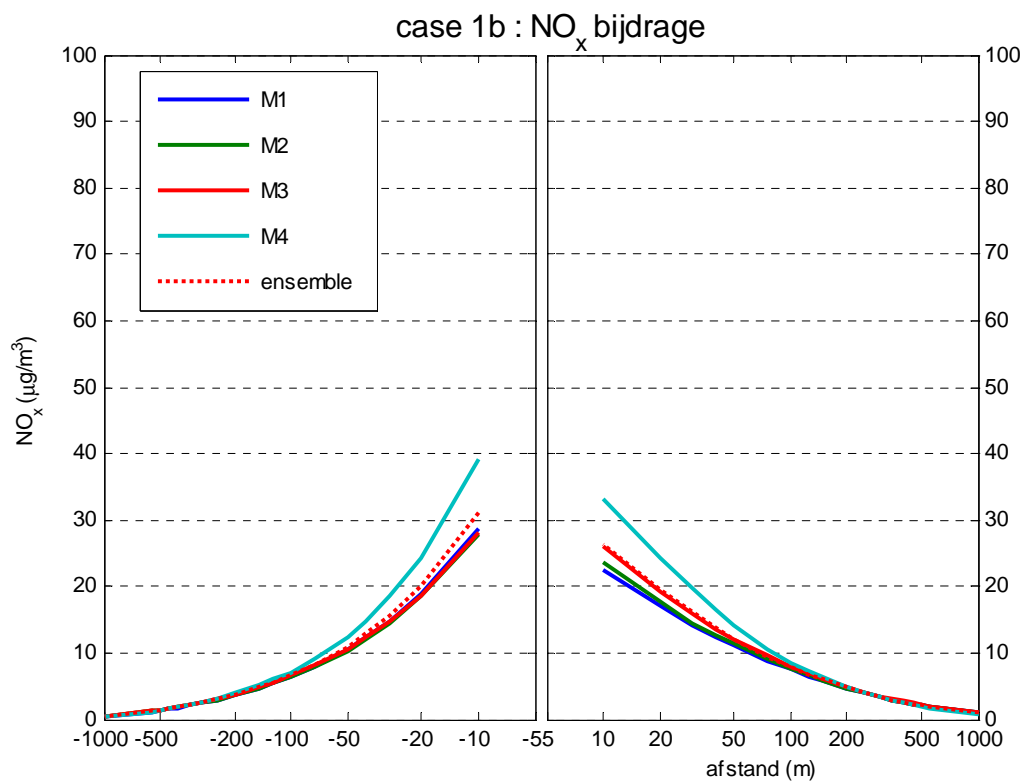
Figuur 6 Het aantal overschrijdingsdagen in case 1a van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 22% van het ensemble. Model M5 heeft het aantal overschrijdingsdagen niet berekend.

In bovenstaande figuren zijn de resultaten voor PM10 van de modellen M1 t/m M4 en het ensemble van deze modellen weergegeven. Voor PM10 zien we het volgende:

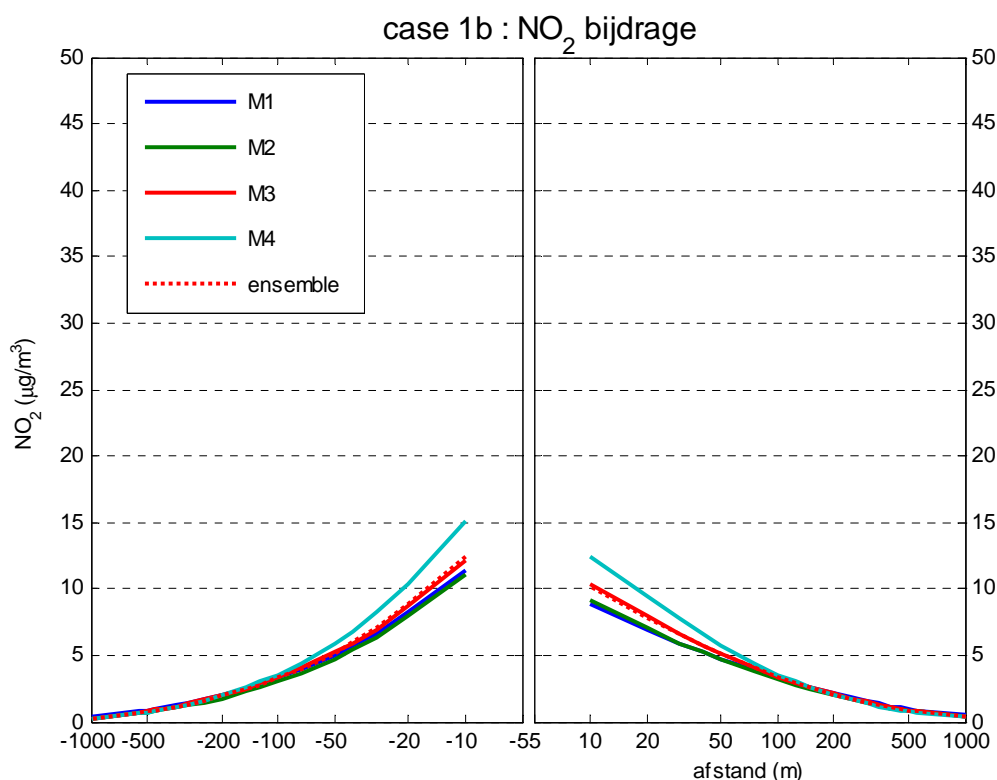
- de resultaten van de modellen M1, M2 en M3 liggen dicht bij elkaar;
- model M4 geeft dicht bij de weg hogere concentratie dan modellen M1, M2 en M3. Het maximale verschil in het aantal overschrijdingsdagen tussen model M4 en het ensemble is vier dagen;
- het maximale verschil in de PM10 bijdrage, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende bijdrage op 10 meter vanaf de wegrand, is 35% van het ensemble. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 17% van het ensemble;
- het maximale verschil in het aantal overschrijdingsdagen, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende overschrijding op 10 meter vanaf de wegrand, is 22%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 11% van het ensemble.

3.1.2 Berekening met scherm

NO_x en NO₂ bijdrage



Figuur 7 Berekende NO_x bijdrage in case 1b van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 41% van het ensemble. Model M5 heeft de NO_x bijdrage niet berekend.

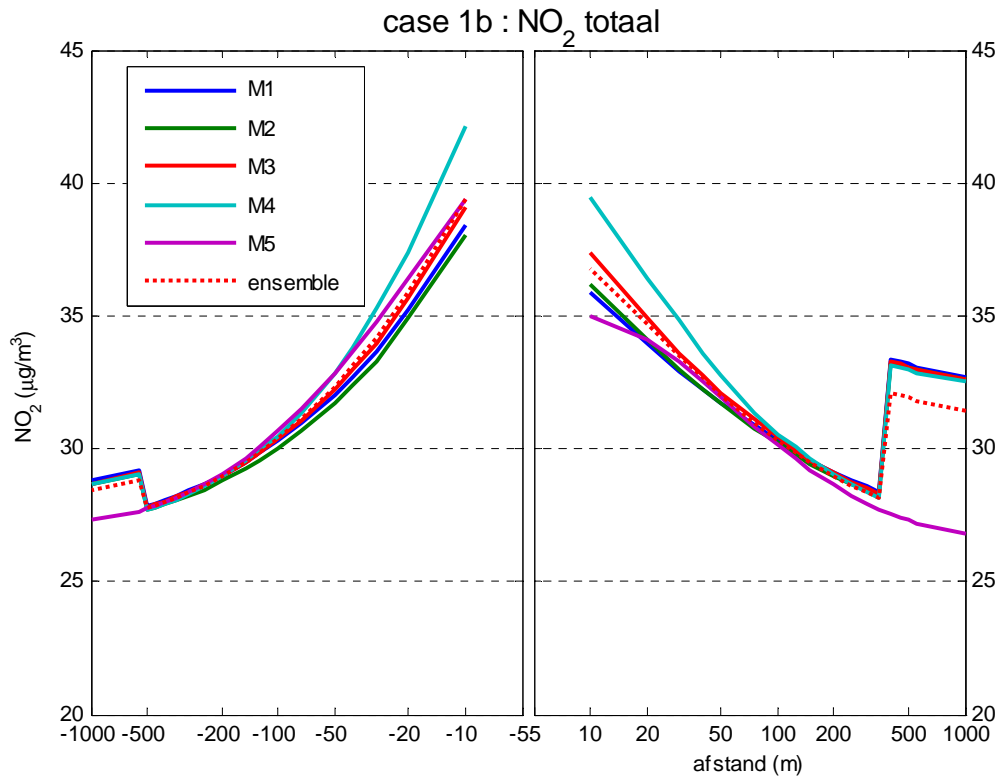


Figuur 8 Berekende NO₂ bijdrage in case 1b van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 35% van het ensemble. Model M5 heeft de NO₂ bijdrage niet berekend.

In de figuren 7 en 8 zijn de resultaten van de modellen M1 t/m M4 en het ensemble van deze modellen weergegeven. Voor de NO_x en NO₂ bijdrage zien we het volgende:

- de resultaten van de modellen M1, M2 en M3 liggen dicht bij elkaar;
- model M4 geeft dicht bij de weg hogere concentratie dan modellen M1, M2 en M3. Het maximale verschil tussen model M4 en het ensemble is 2.7 µg/m³ NO₂ ;
- het maximale verschil in de NO_x bijdrage, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie op 10 meter vanaf de wegrand, bedraagt 41%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 18% van het ensemble;
- het maximale verschil in de NO₂ bijdrage bedraagt 35%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 16% van het ensemble.

NO₂ concentratie

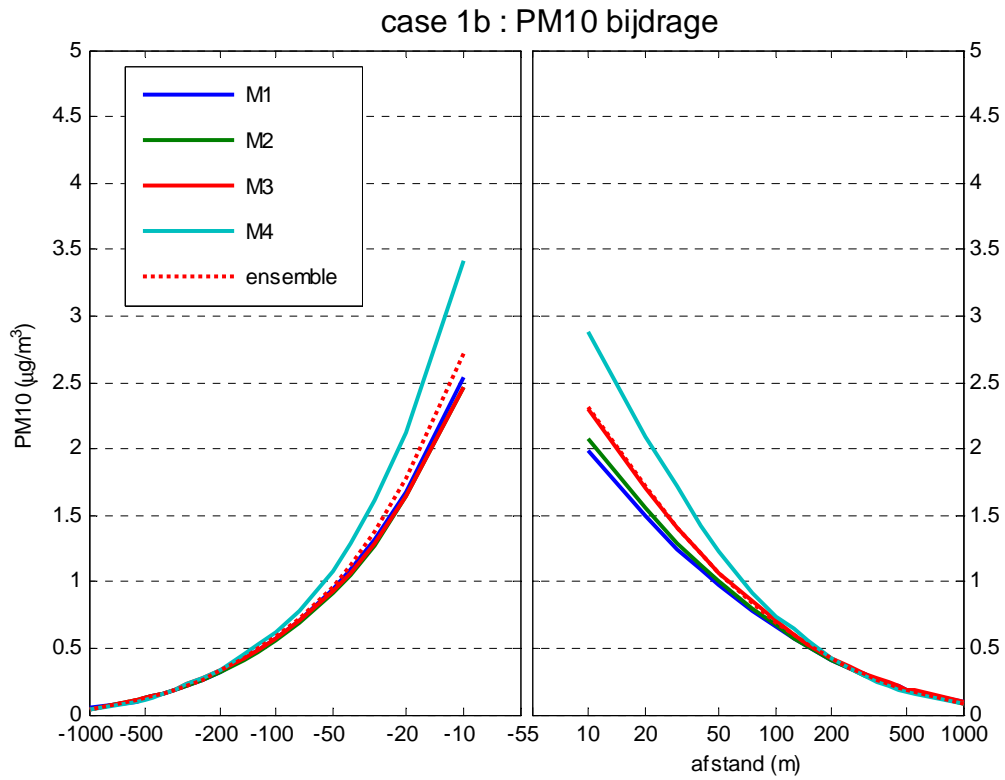


Figuur 9 Berekende NO₂ totale concentratie in case 1b van alle modellen en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 12% van het ensemble.

In bovenstaande figuur zijn de resultaten van de modellen en het ensemble weergegeven. Meer in details zien we het volgende:

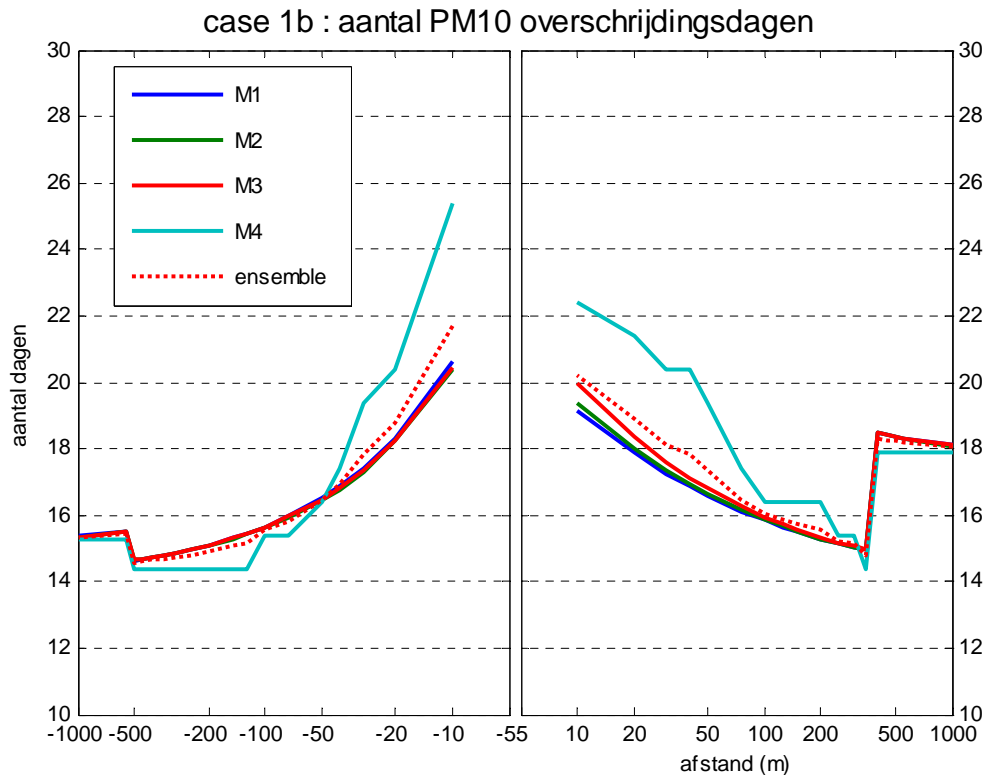
- de resultaten van de modellen M1, M2, M3 en M5 liggen dicht bij elkaar;
- model M4 geeft dicht bij de weg hogere concentratie dan andere modellen. Het maximale verschil tussen model M4 en het ensemble is 2.7 µg/m³ NO₂ ;
- model M5 berekent een groter effect van het scherm dan andere modellen. Op 10 meters van de bron vindt het model M5 een vermindering van 6.3 µg/m³ NO₂ ten opzichte van case 1a; het berekende effect van de modellen M1,M2,M3,M4 varieert tussen 2.8 en 3.9 µg/m³ NO₂ ;
- het maximale verschil in de NO₂ concentratie van de modellen, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie op 10 meter vanaf de wegrand, bedraagt 12%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 5% van het ensemble.

PM10 bijdrage



Figuur 10 Berekende PM10 bijdrage in case 1b van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 39% van het ensemble. Model M5 heeft de PM10 bijdrage niet berekend.

Het aantal overschrijdingsdagen van PM10



Figuur 11 Het aantal overschrijdingsdagen in case 1b van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 23% van het ensemble. Model M5 heeft het aantal overschrijdingsdagen niet berekend.

In bovenstaande figuren zijn de resultaten van de modellen M1 t/m M4 en het ensemble van deze modellen weergegeven. We kunnen het volgende concluderen:

- de resultaten van de modellen M1, M2 en M3 liggen dicht bij elkaar;
- model M4 geeft dicht bij de weg hogere concentratie dan modellen M1, M2 en M3;
- de vier modellen M1, M2, M3, M4 vinden een maximale vermindering tussen twee en drie overschrijdingsdagen als gevolg van het scherm;
- het maximale verschil in de PM10 bijdrage, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende bijdrage op 10 meter vanaf de wegrand, bedraagt 39%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 18% van het ensemble;
- het maximale verschil in het aantal overschrijdingsdagen, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende overschrijding op 10 meter vanaf de wegrand, bedraagt 23%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 11% van het ensemble.

3.1.3 Conclusies case 1

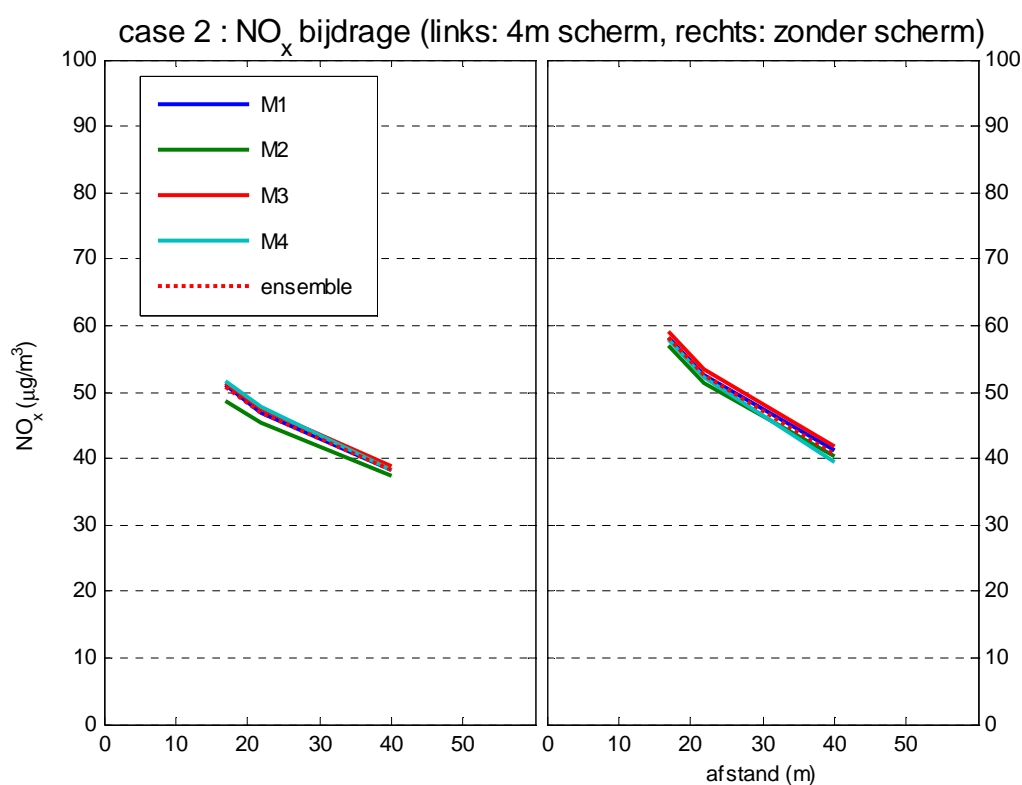
- de resultaten van de modellen M1, M2, M3 en M5 liggen dicht bij elkaar;
- het maximale verschil in de NO_x bijdrage van de modellen M1 t/m M4, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie op 10 meter vanaf de wegrand, is 41% van het ensemble;
- het maximale verschil in de NO₂ bijdrage van de modellen M1 t/m M4 is 35% van het ensemble;
- het maximale verschil in de NO₂ concentratie van alle modellen is 12% van het ensemble;
- model M4 geeft dicht bij de weg hogere concentratie dan andere modellen. Het maximale verschil tussen model M4 en het ensemble is 2.7 µg/m³ NO₂ en 4 PM10 overschrijdingsdagen;
- model M5 berekent een groter effect van het scherm dan andere modellen. Op 10 meters van de bron vindt model M5 een vermindering van 6.3 µg/m³ NO₂ ten opzichte van case 1a; het berekende effect van de modellen M1, M2, M3 en M4 varieert tussen 2.8 en 3.9 µg/m³ NO₂ ;
- de vier modellen M1, M2, M3 en M4 vinden een maximale vermindering van twee tot drie overschrijdingsdagen als gevolg van het scherm. Model M5 heeft dit effect niet berekend.

3.2 Case 2: A28 bij Putten

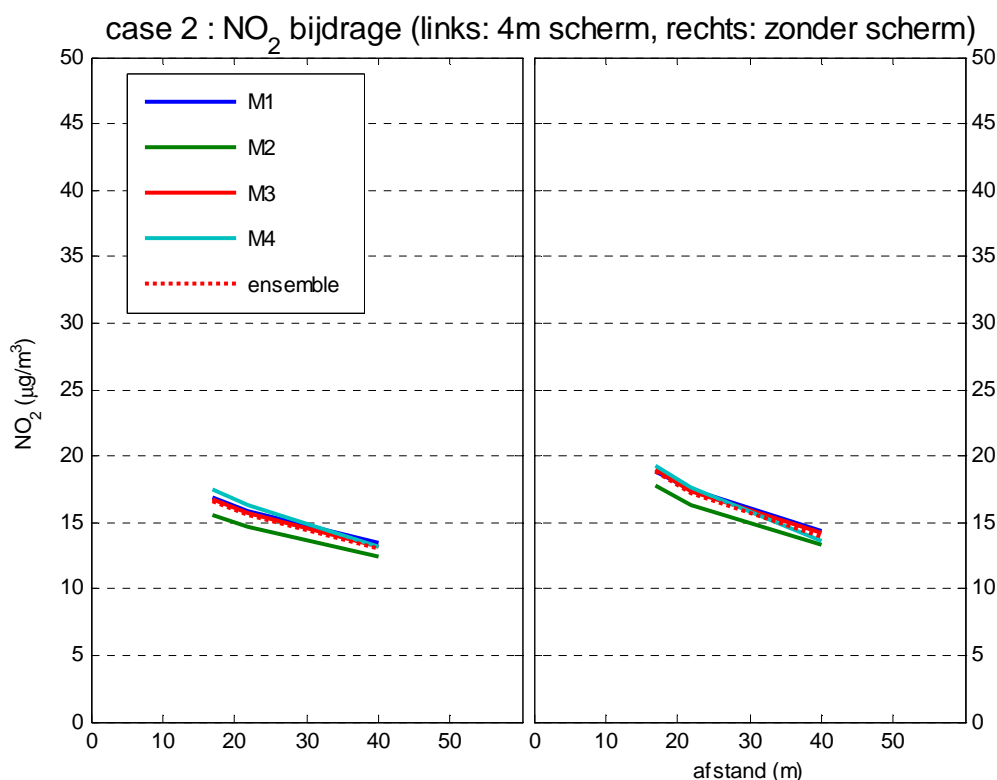
De berekeningen in deze case zijn uitgevoerd met voorgeschreven emissies. De berekeningen zijn deels met 4 meter hoge schermen uitgevoerd.

3.2.1 Basisberekening

NO_x en NO₂ bijdrage



Figuur 12 Berekende NO_x bijdrage in case 2 van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 6% van het ensemble. Model M5 heeft de NO_x bijdrage niet berekend.

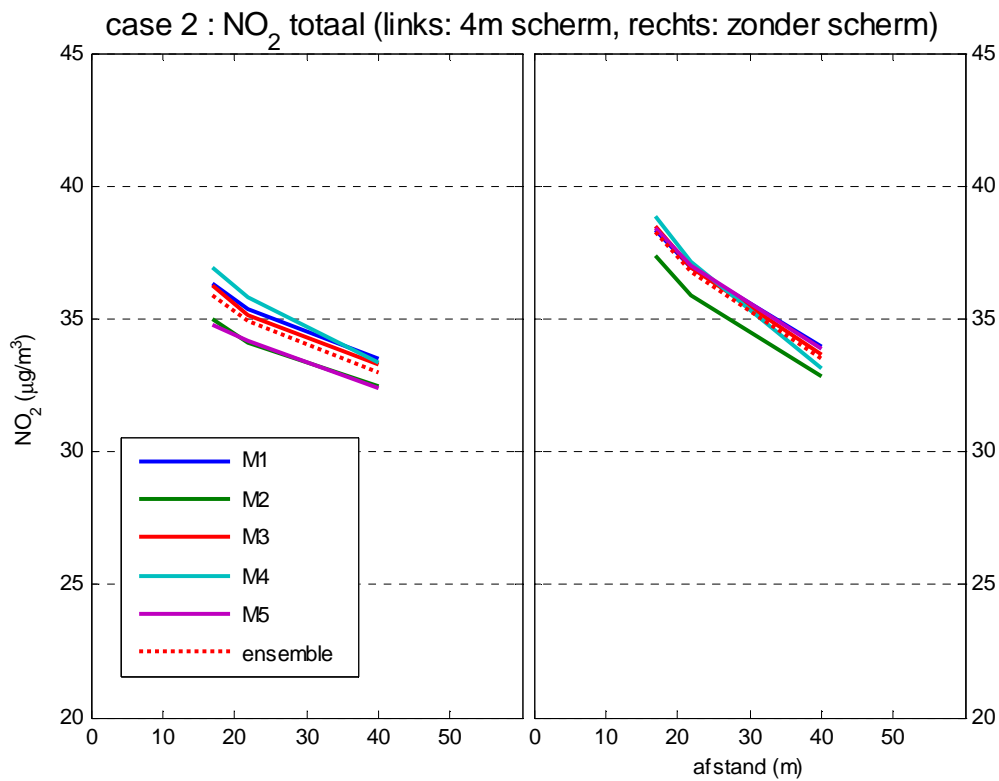


Figuur 13 Berekende NO₂ bijdrage in case 2 van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 12% van het ensemble. Model M5 heeft de NO₂ bijdrage niet berekend.

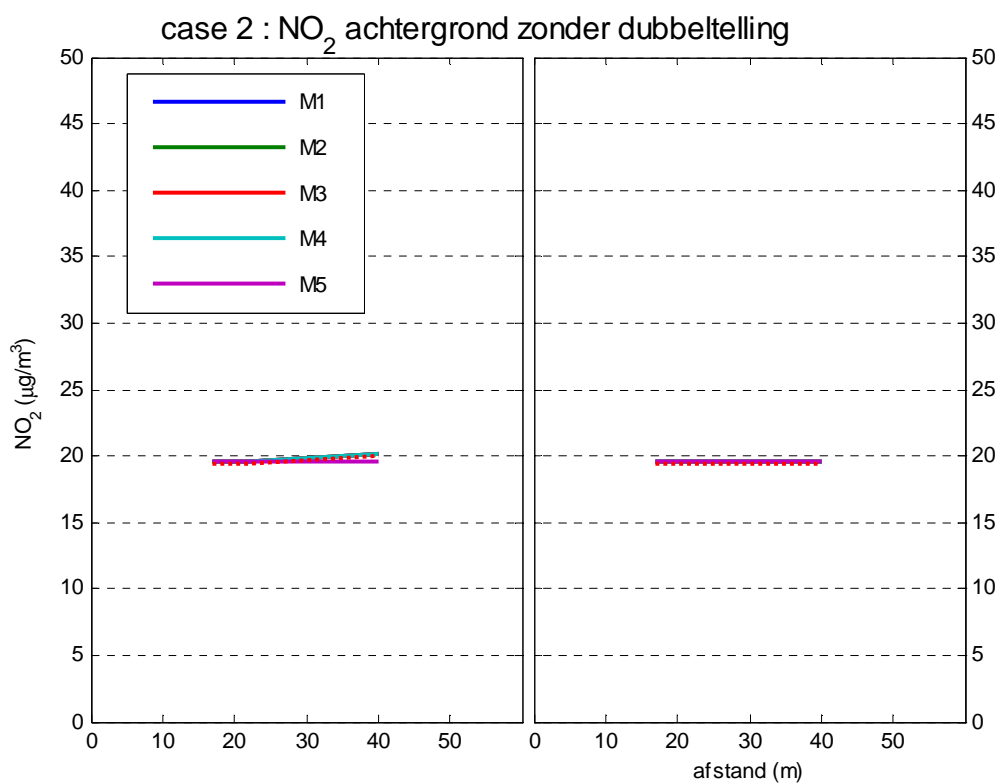
In figuren 12 en 13 zijn de resultaten van de modellen M1 t/m M4 en het ensemble van deze modellen weergegeven. Voor de NO_x en NO₂ bijdrage zien we het volgende:

- de resultaten van de modellen M1, M2 en M3 liggen dicht bij elkaar;
- in vergelijking met modellen M1, M3 en M4 berekent model M2 voor deze case lagere NO₂ bijdrage. Voor het gedeelte van de weg met scherm berekent model M2 ook een lagere NO_x bijdrage;
- tussen modellen M1, M2, M3 en M4 is er slechts een klein verschil in het berekende effect van het scherm. Het maximale effect van het scherm op de NO_x bijdrage varieert tussen 6.3 en 8.3 µg/m³. Voor NO₂ liggen de berekende effecten tussen 1.9 µg/m³ en 2.3 µg/m³;
- het maximale verschil in de NO_x bijdrage, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie op 17 meter vanaf de wegrand, bedraagt 6%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 3% van het ensemble;
- het maximale verschil in de NO₂ bijdrage bedraagt 12%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 5% van het ensemble.

NO₂ concentratie



Figuur 14 Berekende NO₂ totale concentratie in case 2 van alle modellen en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 6% van het ensemble.



Figuur 15 Gebruikte achtergrondconcentratie. De lijnen van modellen M1,M2,M3 en M4 liggen op elkaar.

In bovenstaande figuren zijn de resultaten van de modellen en het ensemble weergegeven. Meer in details zien we het volgende:

- in vergelijking andere modellen berekent model M2 voor deze case lagere NO₂ concentratie. Voor het gedeelte van de weg met scherm berekenen zowel M2 als M5 een lagere concentratie;
- ook in deze case vindt model M5 een groter effect van het scherm dan andere modellen. Model M5 vindt een maximale vermindering van 3.6 µg/m³ NO₂ als gevolg van het scherm; de waarden van de modellen M1 t/m M4 liggen zeer dicht bij elkaar en variëren tussen 1.9 en 2.3 µg/m³ NO₂ ;
- het maximale verschil in de NO₂ concentratie bedraagt 6%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 3% van het ensemble.

3.2.2 Schermeffecten

In onderstaande tabel zijn de effecten van het scherm samengevat. Zowel de absolute concentratievermindering als de percentages (concentratievermindering/concentratie zonder scherm) zijn weergegeven.

Tabel 1 Berekende effecten van 4 m scherm (gemiddeld \pm standaarddeviatie tussen de modellen) in deze benchmark.

Afstand tot de weg m	Concentratievermindering		Verminderingspercentages		
	NO _x $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*)	NO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO _x , percentage van de bijdrage (*)	NO ₂ , percentage van de bijdrage	NO ₂ , percentage van de totale concentratie
17	7.4 \pm 0.8	2.4 \pm 0.7	13 \pm 1	13 \pm 4	6 \pm 2
22	5.4 \pm 0.7	1.8 \pm 0.6	10 \pm 1	11 \pm 3	5 \pm 2
40	2.4 \pm 0.8	1.0 \pm 0.4	6 \pm 2	7 \pm 3	3 \pm 1

(*) zonder resultaten van model M5

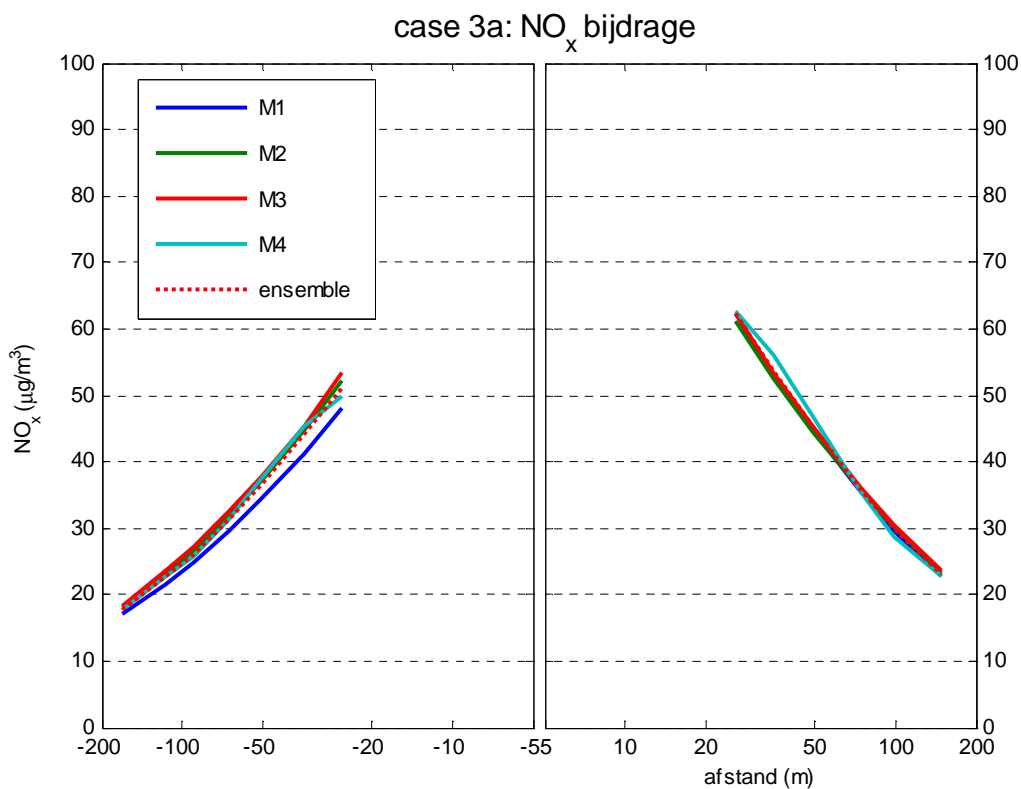
3.2.3 Conclusie case 2

- het verschil in case 2 is beduidend lager dan het verschil in case 1;
- op 17 meter vanaf de wegrand bedraagt het maximale verschil tussen berekende NO_x bijdrage van modellen M1, M2, M3 en M4 6%;
- voor de NO₂ bijdrage bedraagt het maximale verschil 12%;
- het maximale verschil in de NO₂ concentratie bedraagt 6%;
- model M1, M2, M3 en M4 vinden een maximale vermindering van 1.9-2.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO₂ als gevolg van het scherm. Model M5 vindt een vermindering van 3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- effect van het scherm: op 17 meter vanaf de wegrand berekenen de modellen gemiddeld een vermindering van 2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO₂, 6% van de totale concentratie, als gevolg van een 4m scherm.

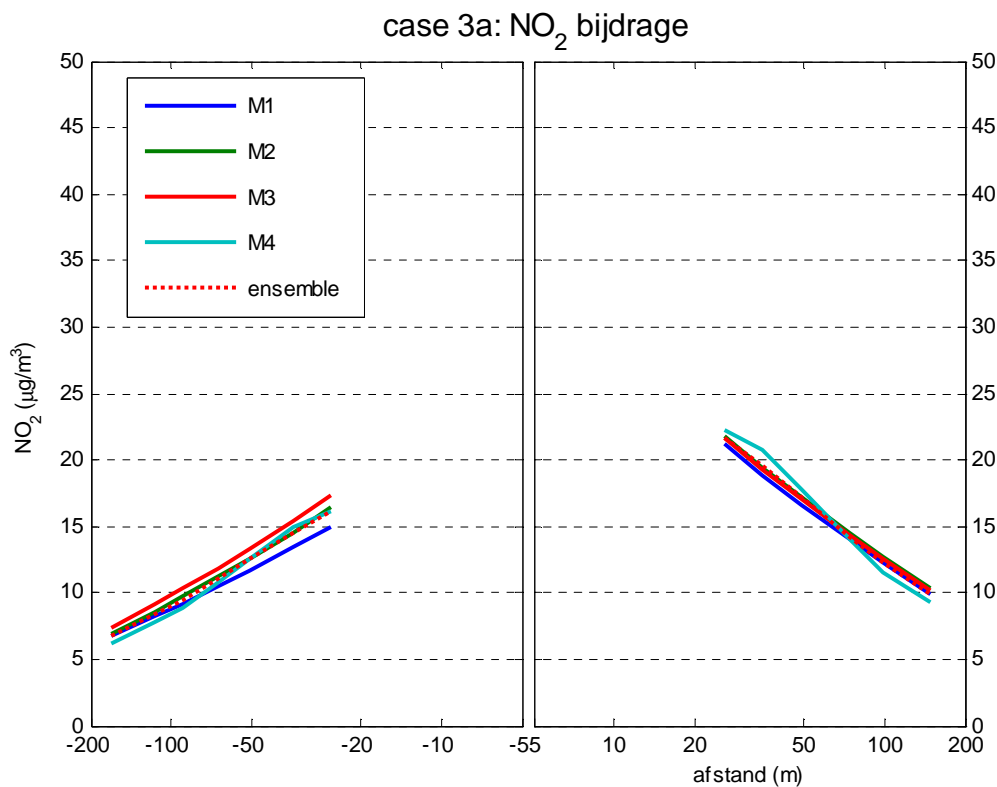
3.3 Case 3: A2 bij Breukelen

3.3.1 Basisberekening

NO_x en NO₂ bijdrage



Figuur 16 Berekende NO_x bijdrage in case 3a van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 10% van het ensemble. Model M5 heeft de NO_x bijdrage niet berekend.

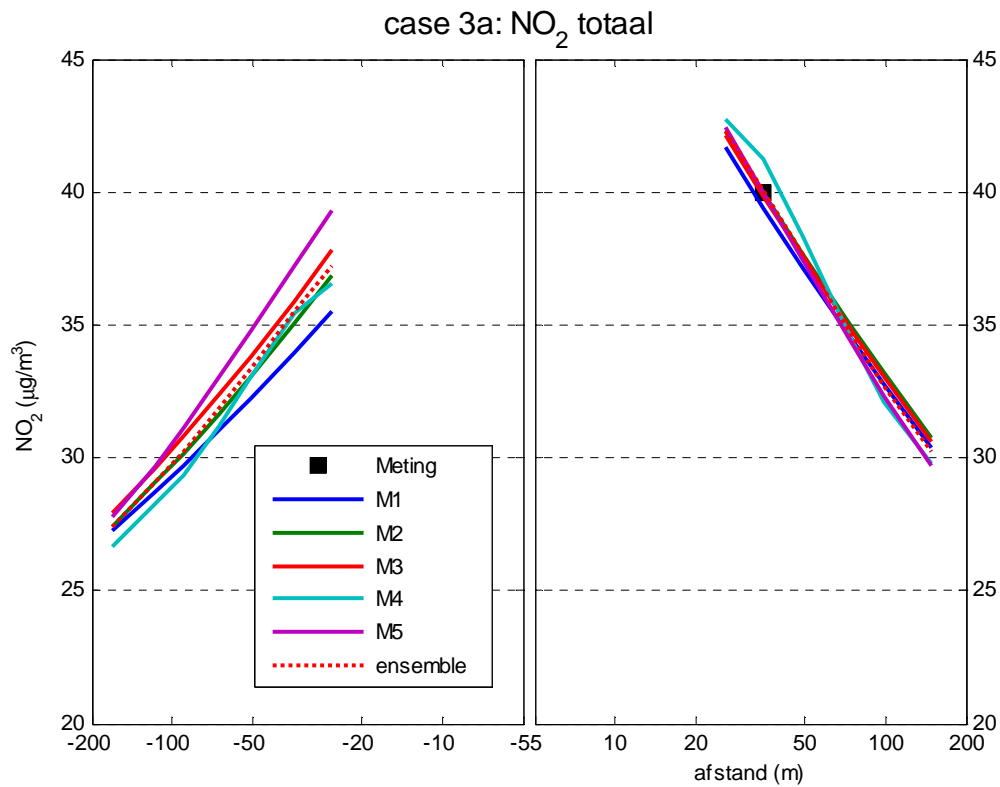


Figuur 17 Berekende NO₂ bijdrage in case 3a van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 14% van het ensemble. Model M5 heeft de NO₂ bijdrage niet berekend.

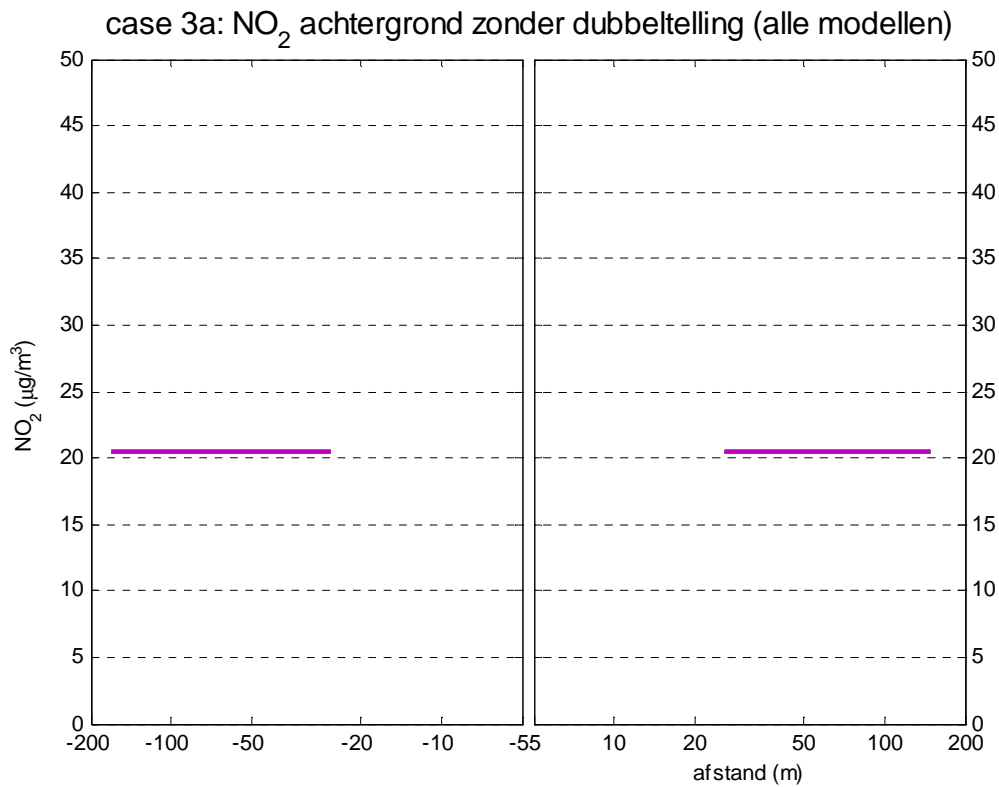
In figuren 16 en 17 zijn de resultaten van modellen M1 t/m M4 en het ensemble van deze modellen weergegeven. Voor de NO_x en de NO₂ bijdrage zien we het volgende:

- de resultaten van de modellen M2 en M3 liggen dicht bij elkaar;
- het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO_x bijdrage op 25 meter vanaf de wegrand bedraagt 10%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 5% van het ensemble;
- het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO₂ bijdrage op 25 meter vanaf de wegrand bedraagt 14%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 6% van het ensemble.

NO₂ concentratie



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).

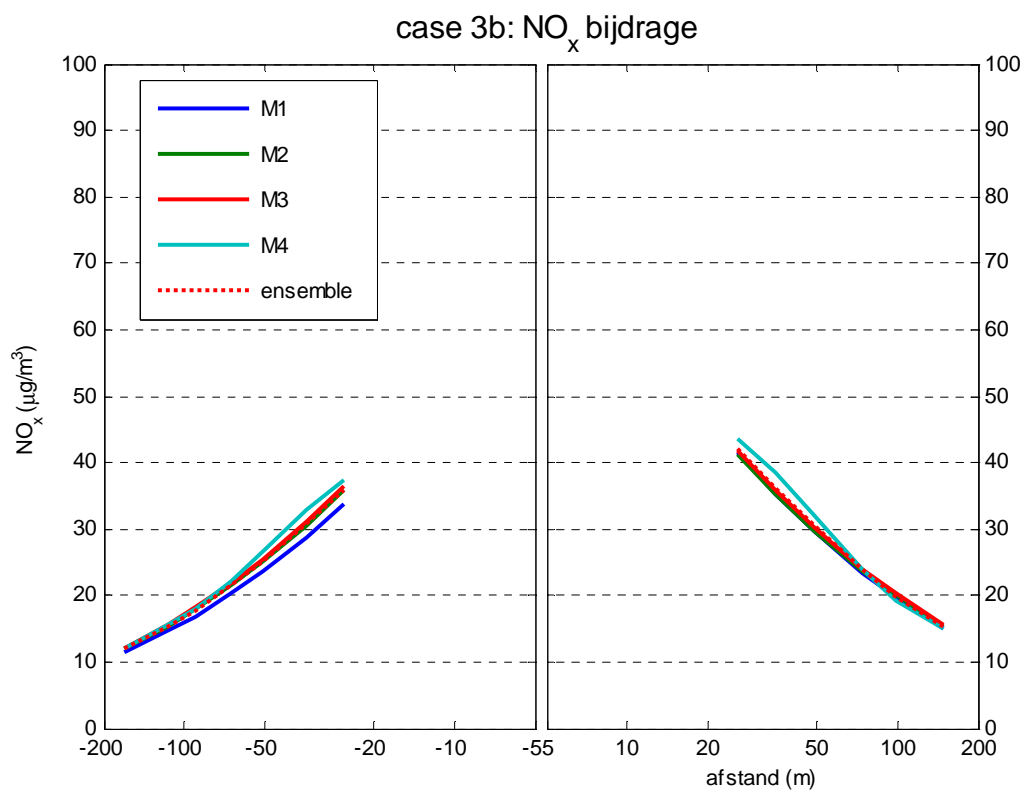


Figuur 19 Gebruikte achtergrondconcentratie in case 3. De lijnen van alle modellen liggen op elkaar.

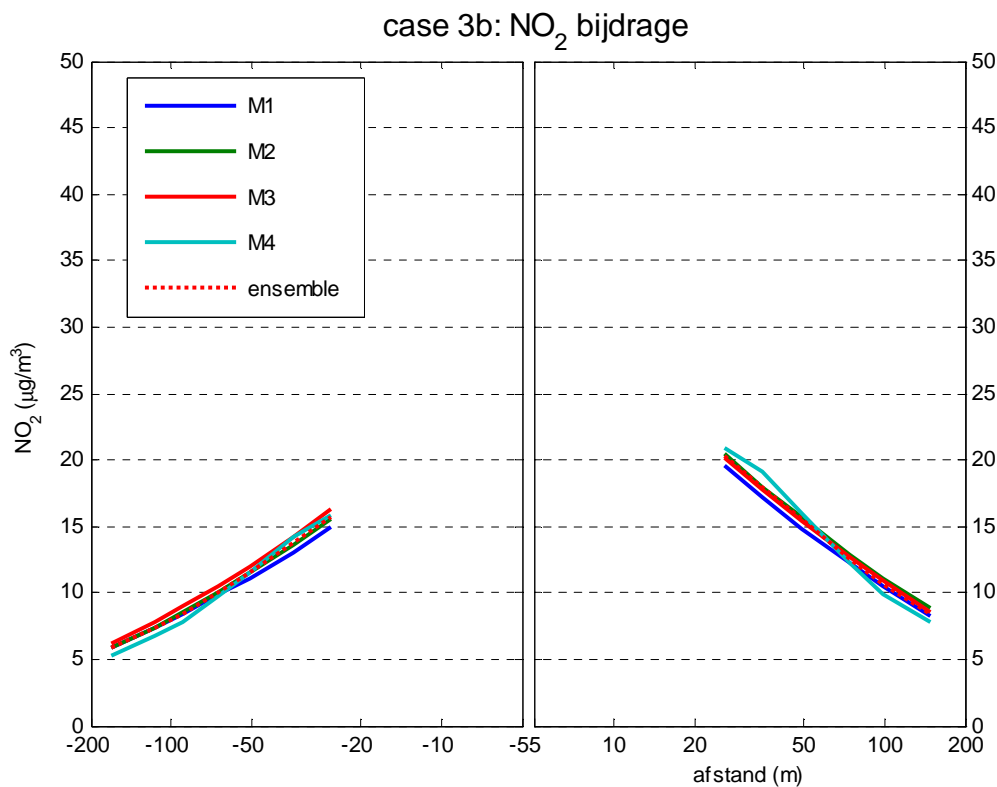
Er is in deze case een heel goede overeenkomst tussen alle modellen. In de figuur is tevens de jaargemiddelde meting van het LML meetstation 641 (Breukelen snelweg) weergegeven. Hieruit blijkt dat er een goede overeenkomst is tussen de meting en de resultaten van alle onderzochte modellen. Het maximale verschil in de NO₂ concentratie van de modellen, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie op 25 meter vanaf de wegrand, bedraagt 10%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 4% van het ensemble.

3.3.2 Berekening voor 2015

NO_x en NO₂ bijdrage



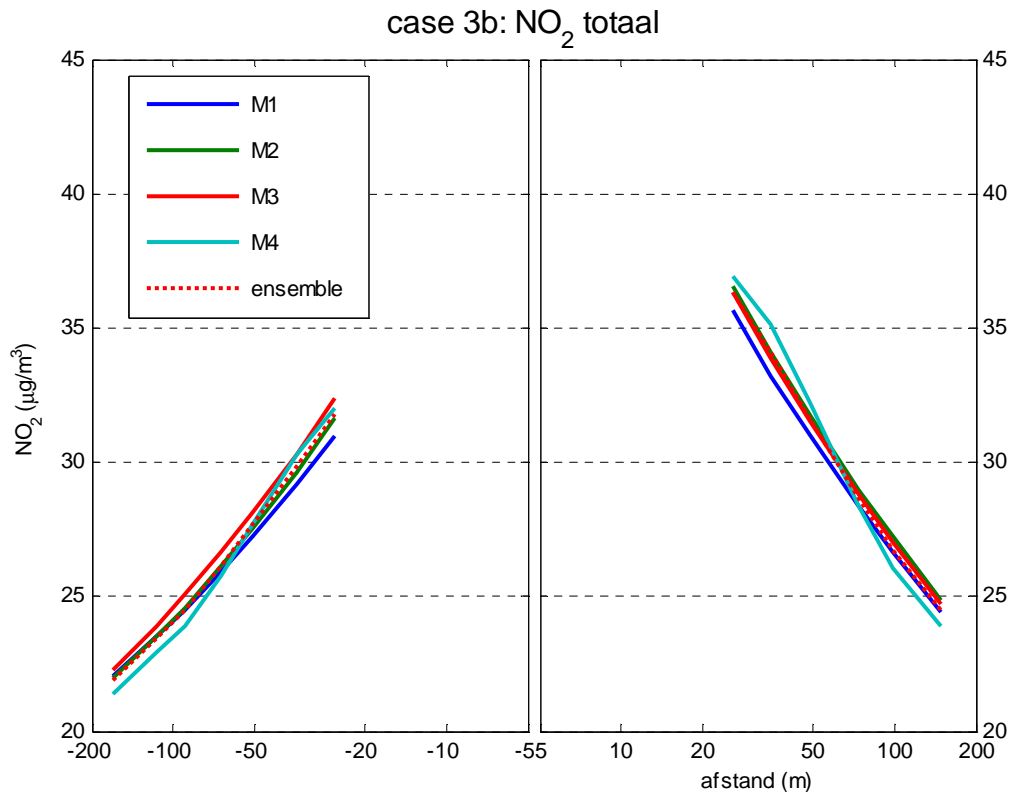
Figuur 20 Berekende NO_x bijdrage in case 3b van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 10% van het ensemble. Model M5 heeft de NO_x bijdrage niet berekend.



Figuur 21 Berekende NO₂ bijdrage in case 3b van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 9% van het ensemble. Model M5 heeft de NO₂ bijdrage niet berekend.

In figuren 20 en 21 zijn de resultaten van modellen M1 t/m M4 en het ensemble van deze modellen weergegeven. Er is een goede overeenkomst tussen alle vier modellen. Het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie op 25 meter vanaf de wegrand is vergelijkbaar als die in case 3a (10% op de NO_x bijdrage en 9% op de NO₂ bijdrage). De bijbehorende standaarddeviaties tussen de modellen zijn 4% van het ensemble.

NO₂ concentratie



Figuur 22 Berekende NO₂ totale concentratie in case 3b van alle modellen en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 4% van het ensemble.

Er is een goede overeenkomst tussen de modellen M1, M2, M3 en M4. Het maximale verschil in de NO₂ concentratie van de modellen, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie op 25 meter vanaf de wegrand, bedraagt 4% van het ensemble. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 2% van het ensemble.

3.3.3 Conclusie case 3

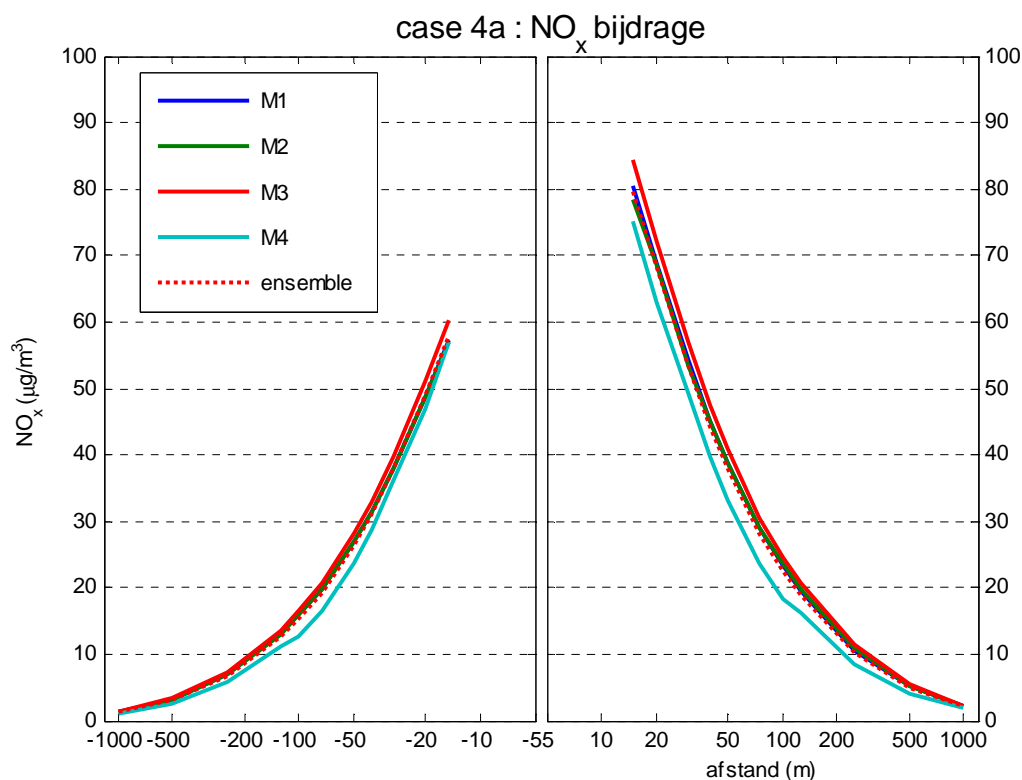
- het verschil in case 3 is beduidend lager dan het verschil in case 1 en is vergelijkbaar met het verschil in case 2;
- het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO_x bijdrage bedraagt 10%;
- het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO₂ bijdrage bedraagt 14%;
- het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO₂ concentratie bedraagt 10%;
- er is goede overeenkomst tussen de meting op het station LML641 en de modelresultaten.

3.4 Case 4: Fictieve snelweg bij Eindhoven

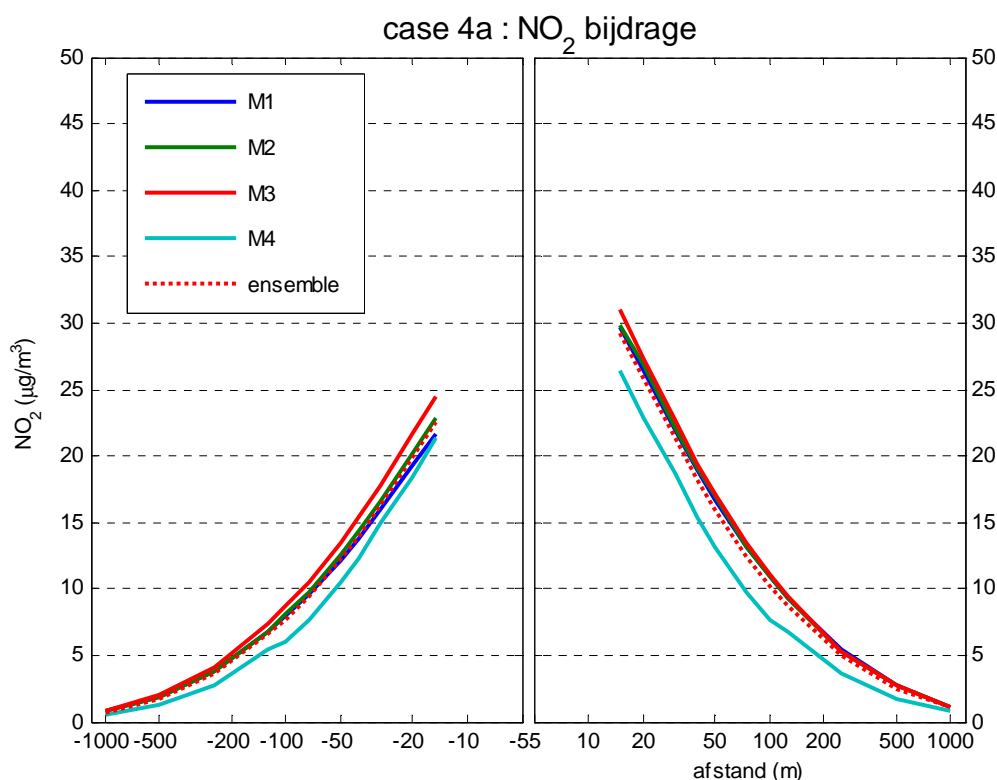
Deze testcase is aan een fictieve snelweg in Eindhoven met voorgeschreven emissies. In een variant wordt de weg 90 graden geroteerd.

3.4.1 Basisberekening

NO_x en NO₂ bijdrage



Figuur 23 Berekende NO_x bijdrage in case 4a van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 11% van het ensemble. Model M5 heeft deze case niet berekend.

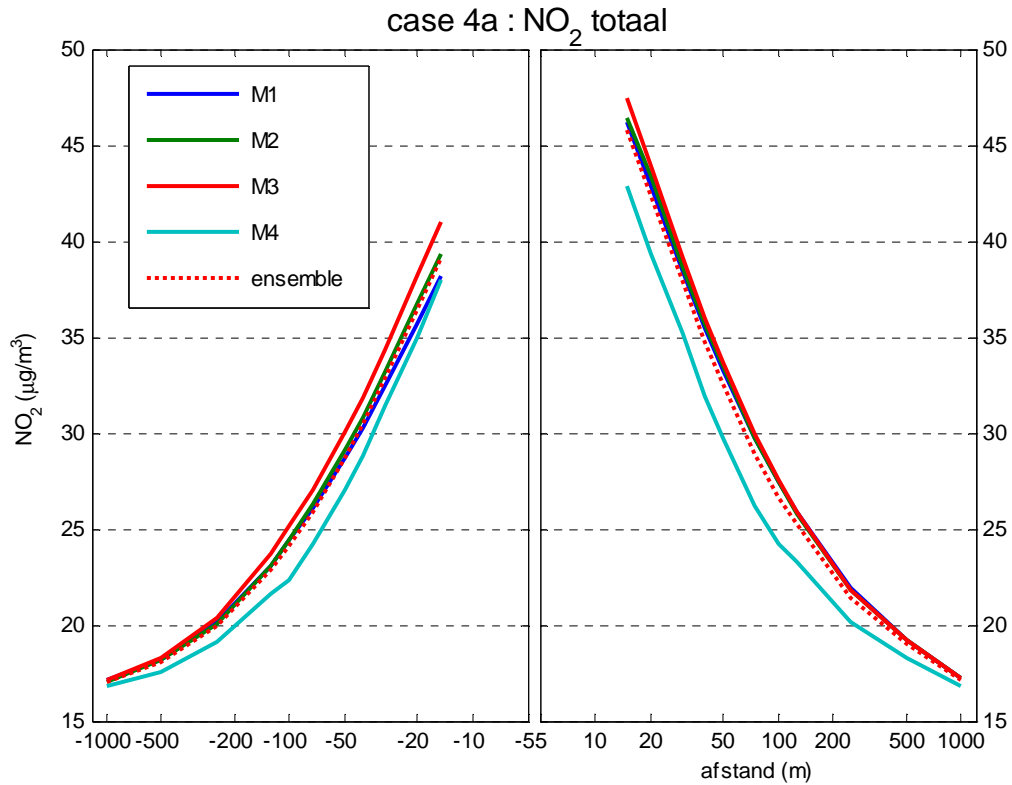


Figuur 24 Berekende NO₂ bijdrage in case 4a van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 16% van het ensemble. Model M5 heeft deze case niet berekend.

In figuren 23 en 24 zijn de resultaten van de modellen M1 t/m M4 en het ensemble van deze modellen weergegeven. Voor de NO_x en de NO₂ bijdrage zien we het volgende:

- de resultaten van de modellen M1, M2 en M3 liggen dicht bij elkaar;
- model M4 berekent iets lagere bijdrage dan modellen M1, M2 en M3. Omdat het verschil tussen model M4 en andere modellen nagenoeg gelijk blijft terwijl de bijdrage van de weg op grotere afstanden kleiner wordt, neemt het verschil tussen model M4 en modellen M1 t/m M3 relatief toe op grotere afstanden;
- het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO_x bijdrage op 15 meter vanaf de wegrand, bedraagt 11%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 5% van het ensemble;
- het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO₂ bijdrage op 15 meter vanaf de wegrand, bedraagt 16%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 7% van het ensemble.

NO₂ concentratie

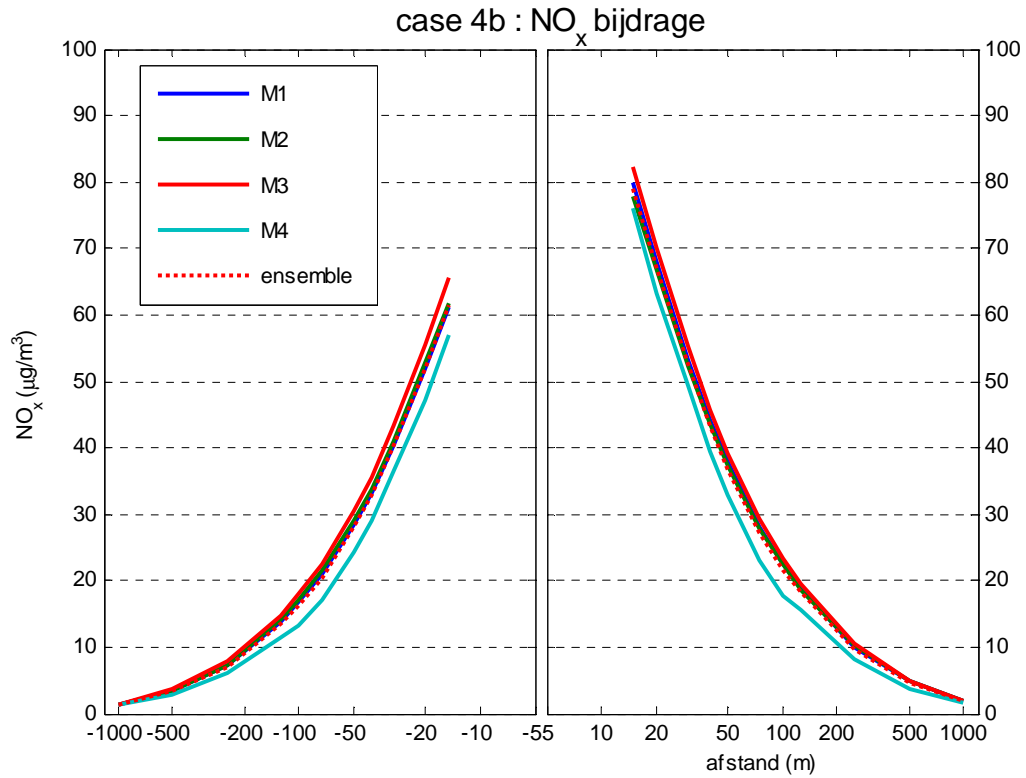


Figuur 25 Berekende NO₂ totale concentratie in case 4a van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 10% van het ensemble. Model M5 heeft deze case niet berekend.

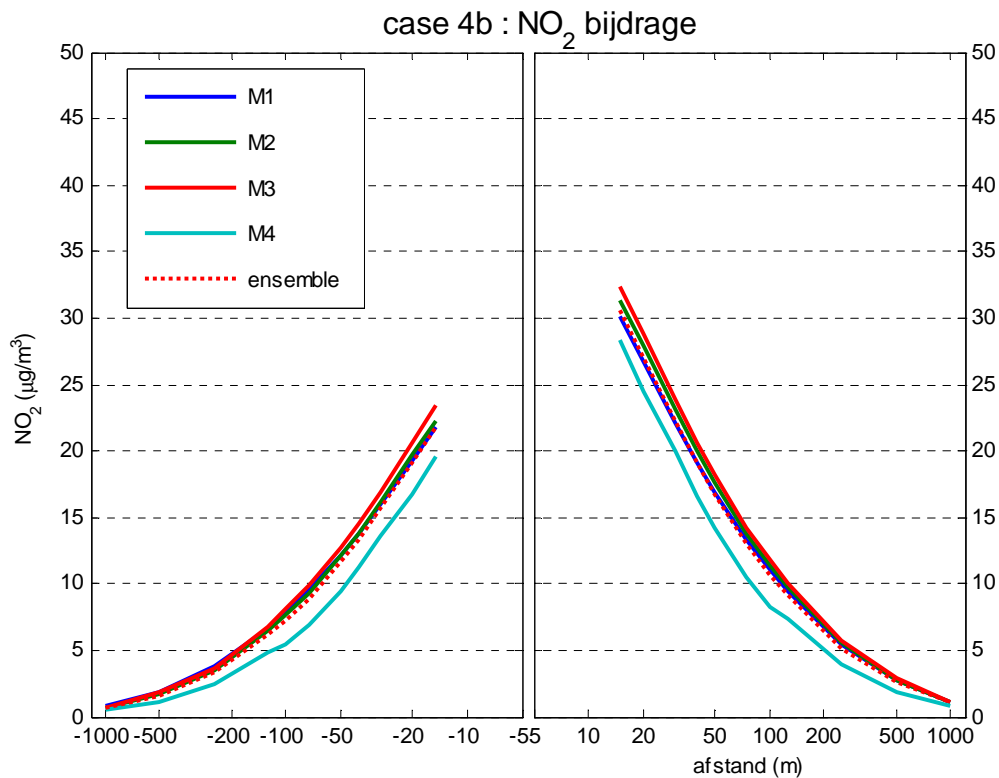
In bovenstaande figuur zijn de resultaten van de modellen M1 t/m M4 en het ensemble weergegeven. De resultaten van modellen M1, M2 en M3 liggen dicht bij elkaar. Model M4 berekent iets lagere concentratie. Het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO₂ bijdrage op 15 meter vanaf de wegrand bedraagt 10%. De bijbehorende standaarddeviatie tussen de modellen is 4% van het ensemble.

3.4.2 Geroteerde weg

NO_x en NO₂ bijdrage



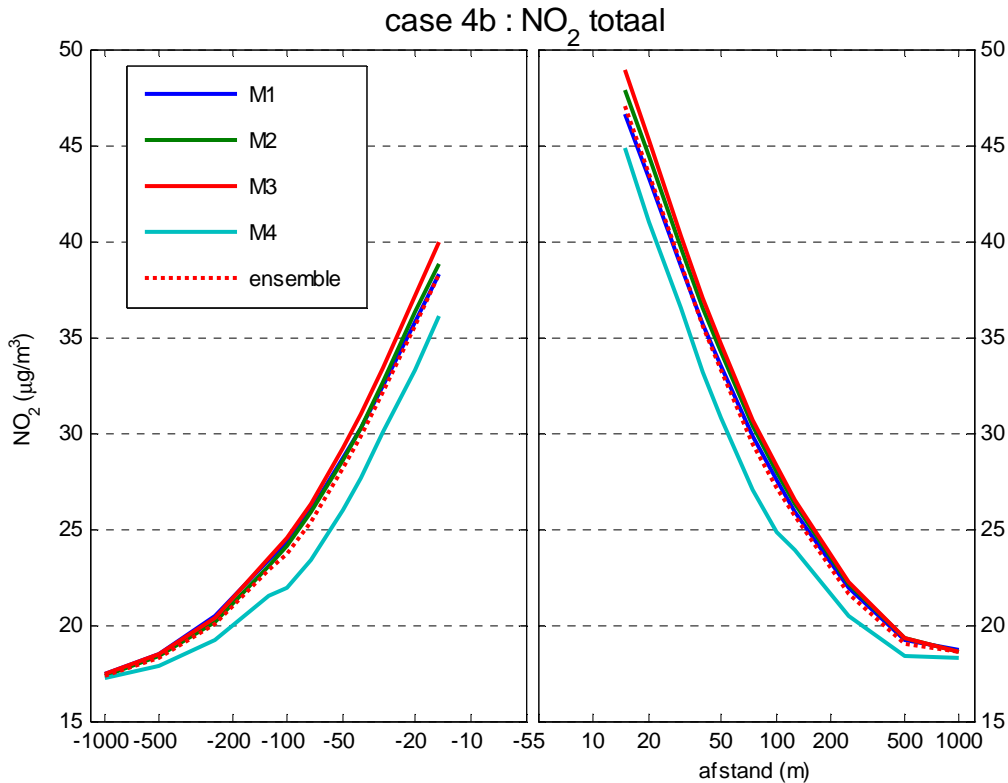
Figuur 26 Berekende NO_x bijdrage in case 4b van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 14% van het ensemble. Model M5 heeft deze case niet berekend.



Figuur 27 Berekende NO₂ bijdrage in case 4b van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 17% van het ensemble. Model M5 heeft deze case niet berekend.

De resultaten van deze case zijn vergelijkbaar als die van case 4a. Het verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO_x bijdrage op 15 meter vanaf de wegrand, bedraagt 14%. Voor de NO₂ bijdrage bedraagt het verschil 17%. De bijbehorende standaarddeviaties tussen de modellen zijn 6 en 7% van het ensemble.

NO₂ concentratie



Figuur 28 Berekende NO₂ totale concentratie in case 4b van modellen M1 t/m M4 en van het ensemble. Het maximale verschil tussen de modellen is 10% van het ensemble.

Ook voor de NO₂ totale concentratie zijn de resultaten van deze case vergelijkbaar als die van case 4a.

3.4.3 Conclusie case 4

- de resultaten van de modellen M1, M2 en M3 liggen dicht bij elkaar;
- model M4 vindt een iets lagere concentratie;
- dicht bij de weg is het verschil in case 4, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie, beduidend lager dan die van case 1. Op grotere afstanden neemt het verschil in case 4 relatief toe;
- het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO_x bijdrage bedraagt 14%;
- het maximale verschil tussen de hoogste en laagste berekende NO₂ bijdrage bedraagt 17%;
- het maximale verschil in de NO₂ concentratie tussen modellen M1 t/m M4 bedraagt 10%. Een vergelijking met model M5 is niet mogelijk omdat er geen data zijn.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Algemeen

Er zijn in deze benchmark 4 testcases gedefinieerd. Het verschil tussen de modellen blijkt verschillend te zijn per testcase. Dicht bij de weg geeft de testcase 1, de A10 in Amsterdam, het grootste verschil (het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie). Het verschil tussen de modellen blijkt niet slechter indien er met schermen wordt berekend. Het grote verschil in testcase 1 heeft mogelijk te maken met de hoge ruwheid op deze locatie (ruwheidlengte 1.2 m). Case 2 en 3 (vlakke situatie) geven het laagste verschil.

Met het uitvoeren van deze benchmark zijn de verschillen tussen de modellen inzichtelijk gemaakt. Het is gewenst om dergelijke benchmark als een vast onderdeel van de modeltoetsing op te nemen. Het is essentieel om de modelresultaten te kunnen vergelijken met metingen. In deze benchmark zijn alleen metingen in Breukelen beschikbaar. Het zou beter zijn om nog meer metingen te kunnen betrekken in de vergelijking.

4.2 Verschillen tussen modellen

In alle cases liggen de resultaten van de modellen M1, M2 en M3 dicht bij elkaar. In vergelijking met deze drie modellen berekent model M4 in case 1 dicht bij de bron beduidend hogere bijdrage, in case 4 berekent model M4 juist een lagere bijdrage. Voor cases 1 t/m 3 liggen de resultaten van model M5 dicht bij de resultaten van modellen M1, M2 en M3; echter in alle gevallen vindt model M5 een veel groter effect (tot een factor 2) van het scherm dan andere modellen.

In case 3 liggen alle modelresultaten dicht bij elkaar. De modelresultaten komen bovendien goed overeen met de metingen van het station LML641 (Breukelen snelweg). Model 5 heeft case 4 niet berekend. Een vergelijking met andere modellen is daarom niet mogelijk.

4.3 Maximaal verschil tussen modellen

Uit deze benchmark blijkt het volgende maximale verschil, het verschil tussen de hoogste en laagste berekende concentratie direct naast de wegrand:

Case	NO _x bijdrage (*) %	NO ₂ bijdrage (*) %	NO ₂ totaal %	PM10 overschrijdingsdagen (*) %
1	41	35	12	23
2	6	12	6	
3	10	14	10	
4	14	17	10 (*)	

(*) resultaten van modellen M1, M2, M3 en M4

4.4 Vergelijking met de resultaten van 2006

Een één op één vergelijking tussen deze benchmark en eerder uitgevoerde modelvergelijking in 2006 is niet mogelijk omdat de testcases verschillend zijn. Wel kunnen we de volgende opmerkingen maken:

- In de modelvergelijking van 2006 lagen alle modelresultaten meer verspreid. In deze benchmark liggen de resultaten van vier (M1,M2,M3 en M5) van de vijf modellen over het algemeen heel dicht bij elkaar.
- Met uitzondering van case 1 (complexe situatie) lijkt het verschil tussen de modellen in deze benchmark kleiner dan het gevonden verschil in 2006.

4.5 Aanbevelingen

De resultaten van de benchmark geven direct inzicht in het verschil in luchtkwaliteitberekeningen, en dus ook in de onzekerheid die principieel met dit soort berekeningen gepaard gaat. Voor hogere ruwheid is er een minder goede overeenkomst tussen de verschillende modellen dan bij lagere ruwheid. Het wordt daarom aanbevolen om nader onderzoek (experimenteel of in een windtunnel) te doen naar de verspreiding van emissies langs een weg in stedelijk gebied.

Om het effect van modelupdates en veranderingen in rekenwijzen te bewaken wordt aanbevolen om periodiek, bij voorbeeld elke twee of drie jaar, een benchmark als de huidige uit te laten voeren.

5 Literatuur

Pul WAJ van, Sauter FJ, Mooibroek D, 2006, "Een vergelijking van modellen voor de atmosferische verspreiding van verkeersemisies", RIVM rapport 680600001.

VROM, 2010, zie http://wetten.overheid.nl/BWBR0022817/geldigheidsdatum_23-08-2010.

Bijlage 1: De testcases

Zoals reeds door VROM aangekondigd heeft het RIVM een aantal testcases rond snelwegen opgesteld als onderdeel van de modeltoetsing en verlenging van goedkeuring in 2010. De tests zijn deels gebaseerd op de A10 zuid, de A2 bij Breukelen en de IPL metingen aan de A28.

Graag voor alle onderstaande locaties de gevraagde berekeningen uitvoeren. Het gaat in totaal om zeven berekeningen, op vier locaties. De tests lijken in slechts enkele uren uitgevoerd te kunnen worden. De resultaten kunnen in de bijgeleverde spreadsheet worden aangeleverd. Bij de procedures voor goedkeuring wordt naar het ensemble van de modellen gekeken. Voor een spoedig verloop van de goedkeuringsprocedures is het dus van groot belang om alle resultaten tijdig, niet later dan **21 februari 2010**, aan mij terug te leveren. De resultaten van een SRM-2 implementatie van het RIVM, het model TREDM, zullen ook worden gerapporteerd.

Case	LOCATIE	Jaar	Intensiteit totaal	MZ	ZW	Snelheid	Hoogte weg	Schermen	Con-gestie %	Stoffen
1a	Amsterdam	2008	175000	3.5%	3%	100/80/80	0	-	0	NO ₂ /NO _x /PM10
1b	Amsterdam	2008	175000	3.5%	3%	100/80/80	0	6 m	0	NO ₂ /NO _x /PM10
2	Putten	2008	Q vast	-	-	-	1	4 m (deels)	0	NO ₂ /NO _x
3a	Breukelen	2008	Q vast	-	-	-	2	-	0	NO ₂ /NO _x
3b	Breukelen	2015	Q vast	-	-	-	2	-	0	NO ₂ /NO _x
4a	Eindhoven	2015	Q vast	-	-	-	0	0	0	NO ₂ /NO _x /PM10
4b	Eindhoven	2015	Q vast	-	-	-	0	0	0	NO ₂ /NO _x /PM10

Beschrijving:

Case 1 2 lijnbronnen gespecificeerd, inclusief hoogte en schermen. De emissies dienen zelf te worden bepaald. Ingeval van case 1b ook schermen van 6 meter hoog langs de noordelijke baan.

Case 2 6 lijnbronnen gespecificeerd, inclusief bronsterkte, fNO₂, hoogte en schermen.

Case 3 2 lijnbronnen gespecificeerd, inclusief bronsterkte, fNO₂, hoogte en schermen. Twee cases, één voor 2008 en één voor 2015. De Q en fNO₂ zijn voor beide jaren apart gespecificeerd.

Case 4 Twee cases met en voor elk één enkele lijnbron gespecificeerd, inclusief bronsterkte, fNO₂, hoogte en schermen. Voor case 4a loopt de weg horizontaal en voor case 4b loopt deze verticaal. Voor beide cases zijn de receptoren gespecificeerd. De ruwheid is voorgeschreven op 0.30 meter.

De cases zijn in de bijlage weergegeven. De lijnbronnen lopen van de opgegeven (X0,Y0) tot (X1,Y1).
Voor wegdetails en receptorlocaties, zie de bijgeleverde spreadsheet.

Invoer:

- achtergronden en dubbeltelling conform de gegevens die in maart 2009 door het RIVM zijn rondgestuurd;
- benodigde uurlijkse achtergronden via de meest recente versie van gcnlib;
- emissiefactoren ook conform de gegevens die in maart 2009 door VROM zijn bekendgemaakt;
- meteo interpoleren zoals in maart 2009 is vastgesteld;
- ruwheden conform de gegevens die in maart 2009 door VROM zijn vastgesteld;
- samenstelling verkeer en congestie zoals in de tabel aangegeven, er zijn geen bussen;
- weghoogte en schermen zoals in de tabel aangegeven;
- alle receptoren op 1.5 meter boven maaiveld.

Graag als output voor elke testcase (voor zover relevantc.q. van toepassing):

- gebruikte meteo windroos op het centrale punt;
- gebruikte achtergrond windroos voor NO₂ en O₃ op de receptorlocaties;
- gebruikte ruwheid op het centrale punt;
- gebruikte emissie per lijnbron in µg/m/s;
- gehanteerde fractie(s) directe NO₂ per lijnbron;
- gebruikte jaargemiddelde NO₂ en O₃ achtergrondconcentraties op de receptorlocaties;
- gebruikte jaargemiddelde NO₂ en O₃ dubbeltellingcorrecties op de receptorlocaties;
- concentraties NO_x en NO₂ op de gegeven receptorlocaties.
- in geval van case 1 en 4 ook de PM10 concentraties en aantallen overschrijdingsdagen op de gegeven receptorlocaties.

Graag opgeven of de resultaten met aanduiding van het model geheel of gedeeltelijk (alleen voor de andere modeleigenaren) openbaar mogen worden gemaakt. Anders worden alleen geanonimiseerde gegevens gebruikt.

Bijlage 2: Wegdetails en receptorlocaties

Case1: Coördinaten van wegen en receptoren

Centraal punt	119763	483560		
Weg	X0	Y0	X1	Y1
	118763	483610	120763	483610
	118763	483510	120763	483510
Receptoren	X	Y	Z	
	119763	484620	1.5	
	119763	484160	1.5	
	119763	484110	1.5	
	119763	484060	1.5	
	119763	484010	1.5	
	119763	483960	1.5	
	119763	483910	1.5	
	119763	483860	1.5	
	119763	483810	1.5	
	119763	483760	1.5	
	119763	483735	1.5	
	119763	483710	1.5	
	119763	483685	1.5	
	119763	483660	1.5	
	119763	483650	1.5	
	119763	483640	1.5	
	119763	483630	1.5	
	119763	483620	1.5	
	119763	483500	1.5	
	119763	483490	1.5	
	119763	483480	1.5	
	119763	483470	1.5	
	119763	483460	1.5	
	119763	483435	1.5	
	119763	483410	1.5	
	119763	483385	1.5	
	119763	483360	1.5	
	119763	483310	1.5	
	119763	483260	1.5	
	119763	483210	1.5	
	119763	483160	1.5	
	119763	483110	1.5	
	119763	483060	1.5	
	119763	483010	1.5	
	119764	482960	1.5	
	119764	482500	1.5	

Case1: Ligging van wegen en receptoren (Locatie: A10 in Amsterdam)



Case 2: Specificaties van wegen en receptoren

Centraal punt	166060	478010						
Weg	X0	Y0	X1	Y1	Q	weghoogte	schermhoogte (m)	fNO2
	166389	479093	166049	478013	572	1	0	0.17
	166049	478013	166019	477918	572	1	4	0.17
	166019	477918	165708	476929	572	1	0	0.17
	166413	479099	166071	478006	532	1	0	0.17
	166071	478006	166041	477911	532	1	4	0.17
	166041	477911	165729	476911	532	1	0	0.17
Receptoren	X	Y	Z					
	166018	477971	1.5					
	166013	477972	1.5					
	165996	477977	1.5					
	166052	478079	1.5					
	166047	478081	1.5					
	166030	478086	1.5					

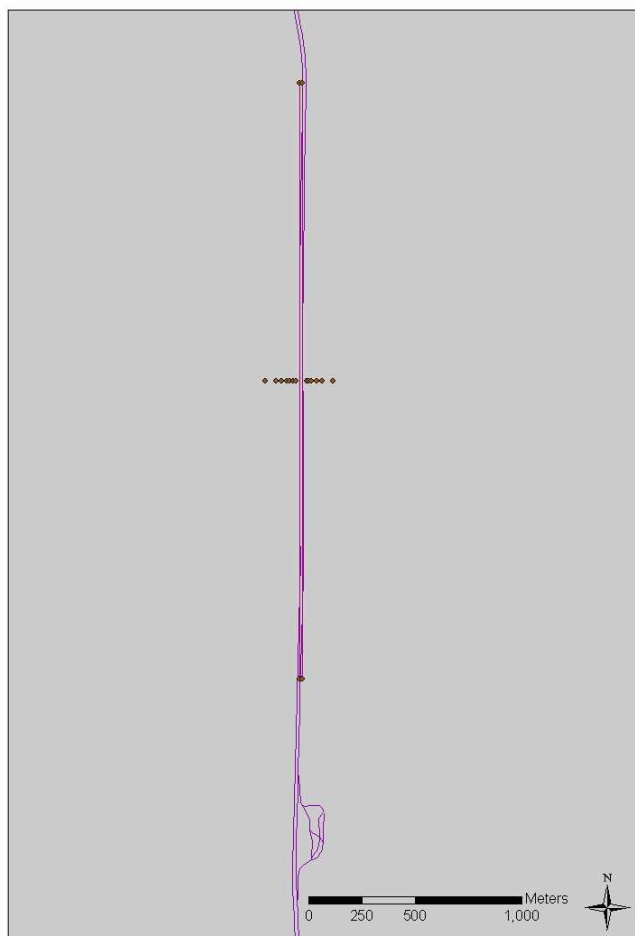
Case2: Ligging van wegen en receptoren (Locatie: A28 in Putten)



Case 3: Specificaties van wegen en receptoren

Centraal punt	127638	468400	Q= 610 in 2008 382 in 2015		fNO2= 16% in 2008 25% in 2015		
Weg	X0	Y0	X1	Y1	Q weghoogte	scherm	fNO2
	127630	467000	127630	469800	2	0	
	127645	467000	127645	469800	2	0	
Receptoren	X	Y	Z				
	127470	468400	1.5				
	127522	468400	1.5				
	127546	468400	1.5				
	127570	468400	1.5				
	127586	468400	1.5				
	127602	468400	1.5				
	127612	468400	1.5				
	127663	468400	1.5				
	127673	468400	1.5				
	127687	468400	1.5				
	127712	468400	1.5				
	127737	468400	1.5				
	127787	468400	1.5				

Case3: Ligging van wegen en receptoren (Locatie: A2 in Breukelen)



Case 4: Specificaties van wegen en receptoren

Centraal punt 155100 384100

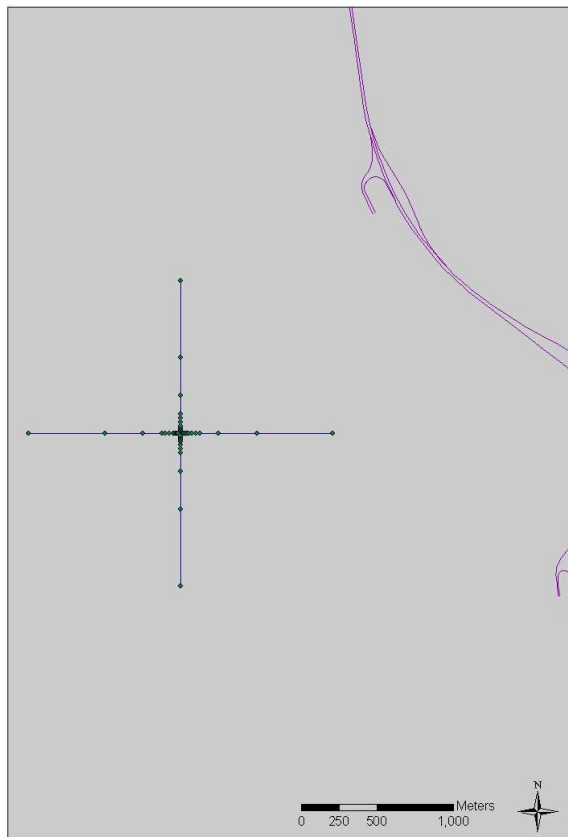
Weg	X0	Y0	X1	Y1	Q	weghoogte	schermhoogte (m)	fNO2
case 4a	154100	384100	156100	384100	1000	0	0	0.2
case 4b	155100	383100	155100	385100	1000	0	0	0.2

Receptoren

Ingeval case 4a		
X	Y	Z
155100	383100	1.5
155100	383600	1.5
155100	383850	1.5
155100	383975	1.5
155100	384000	1.5
155100	384025	1.5
155100	384050	1.5
155100	384060	1.5
155100	384070	1.5
155100	384080	1.5
155100	384085	1.5
155100	384115	1.5
155100	384120	1.5
155100	384130	1.5
155100	384140	1.5
155100	384150	1.5
155100	384175	1.5
155100	384200	1.5
155100	384225	1.5
155100	384350	1.5
155100	384600	1.5
155100	385100	1.5

Ingeval case 4b		
X	Y	Z
154100	384100	1.5
154600	384100	1.5
154850	384100	1.5
154975	384100	1.5
155000	384100	1.5
155025	384100	1.5
155050	384100	1.5
155060	384100	1.5
155070	384100	1.5
155080	384100	1.5
155085	384100	1.5
155115	384100	1.5
155120	384100	1.5
155130	384100	1.5
155140	384100	1.5
155150	384100	1.5
155175	384100	1.5
155200	384100	1.5
155225	384100	1.5
155350	384100	1.5
155600	384100	1.5
156100	384100	1.5

Case4: Ligging van wegen en receptoren (fictieve snelweg in Eindhoven)



RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720BA Bilthoven
www.rivm.nl

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720BA Bilthoven
www.rivm.nl