

Lotos-euros verwachting van fijn stof: vergelijking met metingen en optimalisatie

Martijn de Ruyter de Wildt, Henk Eskes en Peter van Velthoven

KNMI, afdeling Chemie en Klimaat
Wilhelminalaan 10
Postbus 201
3732 GK De Bilt
Telefoon +31-30-2206431
e-mail martijn.de.ruyter@knmi.nl

Samenvatting

Als onderdeel van het project Dynamische Maximumsnelheden onderzoekt Rijkswaterstaat het effect van snelheidsverlagingen op de luchtkwaliteit. Dit wordt gedaan door, op een proeftraject op de A58 bij Tilburg, preventief de maximumsnelheid te verlagen als de concentratie fijn stof (PM_{10}) boven een grenswaarde dreigt uit te komen. Hiervoor levert het KNMI zesdaagse verwachtingen van de achtergrondconcentratie van PM_{10} , die berekend worden door het model Lotos-Euros. In dit verslag worden de berekende concentraties vergeleken met meetwaarden. Deze vergelijking laat zien dat het model goed in staat is om de waargenomen variabiliteit in de achtergrondconcentratie van PM_{10} te beschrijven. Wel wordt de concentratie systematisch door het model onderschat. Aan de hand van deze resultaten wordt een eenvoudige aanpassing van dit model gepresenteerd waarmee het de gemeten concentraties en de pieken daarin beter kan nabootsen. Met deze correctie is het aantal gemodelleerde overschrijdingen van de grenswaarde vergelijkbaar met het aantal waargenomen overschrijdingen. Voor verschillende meetpunten in Nederland wordt, afhankelijk van de gebruikte drempelwaarde, 41% tot 57% van de waargenomen overschrijdingen correct gesimuleerd. Tot slot kan uit een beperkte validatie van de zesdaagse modelvoorspelling de voorlopige conclusie getrokken worden dat de verwachting tot ongeveer vier dagen vooruit goed overeen blijft komen met de metingen.

Inleiding

Een tijdelijke aanpassing van de snelheidslimiet op snelwegen kan om verschillende redenen nuttig zijn. Een verlaging van de maximumsnelheid kan bij drukte de doorstroming verbeteren en bij slecht weer de veiligheid verhogen. Ook kan een snelheidsbeperking zorgen voor een lagere uitstoot van vervuilende stoffen, zoals fijn stof. Aan de andere kant verkort een hogere maximumsnelheid de reistijd. Om deze aspecten te onderzoeken voert de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat het project Dynamische Maximumsnelheden (Dynamax) uit. Als onderdeel hiervan wordt, op de A58 bij Tilburg, onderzocht of het zin heeft om preventief de maximumsnelheid te verlagen als er een sterke vervuiling van de lucht met stofdeeltjes voorspeld wordt. Dit zal met name het geval zijn als het aantal dagen waarop de grenswaarde overschreden wordt teruggedrongen kan worden.

Het KNMI zal tijdens de periode dat dit onderzoek gedaan wordt één maal per dag een zesdaagse verwachting van de achtergrondconcentratie van fijn stof aanleveren. Deze verwachting wordt berekend met het chemisch-transportmodel Lotos-Euros (Schaap e. a., 2008), dat ontwikkeld is door TNO en het RIVM en bijdragen bevat van het KNMI. Lotos-Euros berekent de concentratie van allerlei stoffen in de atmosfeer, waaronder die van fijn stof. Dit gebeurt op een modeldomein dat een groot deel van Europa beslaat en boven

Nederland een resolutie heeft van 25 km. Binnen dit domein is een kleiner domein genest, wat wil zeggen dat het een hogere resolutie heeft en dat op dit domein de uitkomsten voor het grote domein als randvoorwaarde gebruikt worden. Dit kleinere domein is ingezoomd op Nederland en zijn naaste omgeving en heeft een twee keer zo hoge resolutie als het grote domein.

In dit verslag wordt beschreven hoe Lotos-Euros geoptimaliseerd kan worden om de concentratie van fijn stof en met name de pieken daarin zo nauwkeurig mogelijk te berekenen. Hiervoor hebben we, voor het hele jaar 2006 en voor verschillende locaties in heel Nederland, de daggemiddelde PM_{10} -concentratie berekend en vergeleken met de gemeten concentratie. De metingen zijn afkomstig van stations van het Landelijke Meetnet Luchtkwaliteit (LML), wat onderhouden wordt door het RIVM en verspreidt ligt over heel Nederland. Het bevat vier typen meetstations, te weten "regionaal", "voorstad", "stad" en "straat". Ongeveer vier km ten zuidoosten van het proeftraject op de A58 ligt het station Biest Houtakker-Biestsestraat. Dit is een station van het type "regionaal", wat betekent dat het landelijk gelegen is en daardoor representatief voor de achtergrondwaarde in de omgeving van het proeftraject.

Achtergrond

Smog

Smog is een tijdelijk optredende sterke vervuiling van de lucht die nadelig is voor de gezondheid van de mens. Deze vervuiling ontstaat onder andere bij verschillende verbrandingsprocessen en kan zich bij bepaalde meteorologische omstandigheden sterk ophopen. Al naar gelang de meteorologische situatie kunnen er twee soorten smog onderscheiden worden. Fotochemische smog komt vooral in de zomer voor, bij warm, zonnig en windstil weer. Onder deze omstandigheden vinden er onder invloed van zonlicht chemische reacties plaats waarbij ozon gevormd wordt uit stikstofoxiden en koolwaterstoffen. De andere soort smog is industriële smog, ook wel wintersmog genoemd omdat het met name optreedt bij koud weer. Deze smog ontstaat bijvoorbeeld bij temperatuurinversies in de winter, wanneer de temperatuur (anders dan gewoonlijk) toeneemt met de hoogte. In dit geval kan koude lucht die zich bij het oppervlak bevindt niet opstijgen en zich niet mengen met schonere lucht op wat grotere hoogte, waardoor luchtvervuiling en vocht niet kunnen ontsnappen uit de onderste koude laag. Deze vervuiling bestaat vooral uit fijne stofdeeltjes en zwaveldioxide.

Regelgeving

In 1999 heeft de Europese Unie een richtlijn vastgesteld voor de toelaatbare concentraties van verschillende soorten luchtvervuiling, waaronder fijn stof (Raad van de Europese Unie, 1999). Hierop is de Nederlandse smogregeling uit 2001 gebaseerd die het Nederlandse beleid met betrekking tot het voorkomen en verminderen van smog beschrijft (Ministerie van VROM, 2001). In deze regelgeving gaat het om alle stofdeeltjes die een diameter onder 10 μm hebben, ook wel aangeduid met PM_{10} . Er worden twee grenswaarden voor de PM_{10} -concentratie genoemd: een waarde van 50 $\mu g/m^3$, die door de daggemiddelde concentratie niet meer dan 35 keer per jaar overschreden mag worden, en een waarde van 40 $\mu g/m^3$, waar de jaargemiddelde concentratie onder moet liggen. Een ander onderdeel van de smogregeling is de dagelijkse verwachting van de luchtkwaliteit die door het RIVM wordt opgesteld.

Smogverwachtingen

De smogverwachting van het RIVM betreft concentraties van fijn stof en ozon en wordt berekend met twee statistische modellen die het verband tussen luchtvervuiling en het weer beschrijven zoals dat in het verleden waargenomen is. Aan de hand van de metingen van de vorige dag en veranderingen in de meteorologische omstandigheden berekenen deze modellen de verwachtingen. De ozonconcentratie kan op deze manier vrij goed voorspeld worden, maar de concentratie van fijn stof is met het gebruikte statistische model moeilijker

te voorspellen (Manders e.a., 2008a). In beide gevallen zijn verbeteringen mogelijk door gebruik te maken van een chemisch-transportmodel. Zo'n model beschrijft bij gegeven weersverwachting het toekomstige gedrag van verschillende stoffen in de lucht aan de hand van fysische en chemische vergelijkingen. Één zo'n model is Lotos-Euros, dat voor Dynamax gebruikt wordt en dat in de toekomst mogelijk ook voor de RIVM-verwachting gebruikt gaat worden. Eventueel kunnen statistische modellen en chemisch-transportmodellen met elkaar gecombineerd worden, zoals dat nu al door de Belgische Intergewestelijke Cel voor het Leefmilieu (IRCEL-CELINE) gedaan wordt. Dit instituut gebruikt eigen statische modellen en het chemisch-transportmodel CHIMERE, waardoor de geleverde verwachting kan verschillen van de RIVM-verwachting en van de KNMI-verwachting.

Snelheidsbeperkende maatregelen: relatie met grenswaarde

Als Lotos-Euros verwacht dat de grenswaarde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreden gaat worden, worden er tijdens de Dynamax-proef snelheidsbeperkende maatregelen getroffen. Een chemisch-transportmodel als Lotos-Euros berekent echter de achtergrondconcentratie van fijn stof, terwijl in de buurt van emissiebronnen, zoals wegen, de concentratie doorgaans hoger is dan de achtergrondconcentratie. Hiermee moet rekening gehouden worden als de modelverwachting gebruikt wordt om te bepalen of de grenswaarde overschreden gaat worden. Het Dynamax-algoritme doet dit als volgt (Keuken en Wilmink, 2008). Op werkdagen is de wegbijdrage ten hoogste $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, waardoor de grenswaarde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreden wordt bij achtergrondconcentraties vanaf $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Boven deze waarde worden snelheidsbeperkende maatregelen van kracht. In het weekeinde is de wegbijdrage wat lager, waardoor de drempelwaarde hoger kan liggen, bij $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bij achtergrondconcentraties boven $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is er altijd sprake van een overschrijding, ongeacht de wegbijdrage, en kan deze dus ook niet met een snelheidsbeperking worden voorkomen. In deze gevallen wordt er echter toch een snelheidsbeperking ingesteld om de mate van luchtverontreiniging te beperken en om automobilisten bewust te maken van de luchtverontreiniging.

Optimalisatie van Lotos-Euros met een lineaire bias-correctie

Doordat Lotos-Euros, net als alle chemische transportmodellen, niet alle bronnen en componenten van PM_{10} beschrijft, berekent het systematisch te lage PM_{10} -concentraties. Dit is goed te zien in een scatterplot waarin gemeten en gemodelleerde waarden tegen elkaar zijn uitgezet (figuur 2). Om deze systematische afwijking te verkleinen, kan er een lineaire correctie worden toegepast die gebaseerd is op een regressie tussen metingen en modelwaarden (Manders e. a., 2008b). De gecorrigeerde PM_{10} -concentratie is dan:

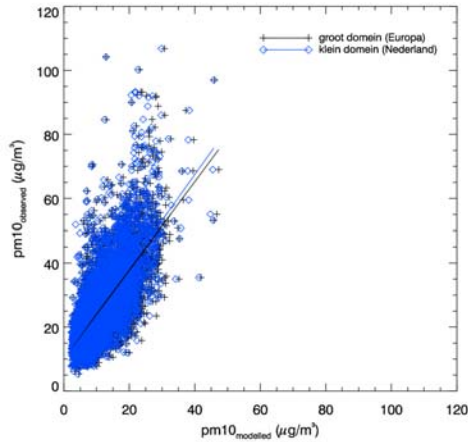
$$PM_{10,corr} = a + b PM_{10,mod} \quad (1)$$

Omdat dit verband verandert in de loop van het jaar, beschrijven we a en b met een tijdsafhankelijke sinusfunctie, in analogie met de jaarlijkse gang van het weer:

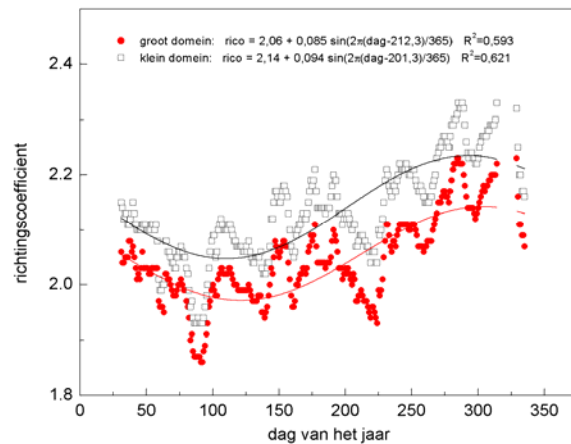
$$a, b = \gamma_0 + A \sin(2\pi(\text{dag} - dx) / 365) \quad (2)$$

Voor elke dag van het jaar kunnen de coëfficiënten a en b bepaald worden door de lineaire regressie te berekenen voor een bepaalde periode rondom die dag (hier 30 dagen). Vervolgens kunnen de coëfficiënten γ_0 , A en dx van vergelijking 2 bepaald worden aan de hand van de dagelijkse waarden van a en b . Dit is gedaan voor zowel het grote als het kleine modeldomein. Voor het grote domein worden levert dit de volgende vergelijkingen:

$$a = 10,09 + 2,76 \sin(2\pi(\text{dag} - 83,3) / 365) \quad R^2 = 0.433 \quad (3)$$



Figuur 2. Gemeten daggemiddelde PM₁₀-concentratie als functie van de gemodelleerde concentratie voor de regionale LML-meetstations in 2006.



Figuur 1. De richtingscoëfficiënt van vergelijking 1 (coëfficiënt b) als functie van de tijd, indien coëfficiënt a gelijk is aan 0. Zowel modelwaarden van het Europese domein als het zoomdomein zijn afgebeeld. Alleen data van regionale stations zijn gebruikt. De curven geven bijbehorende fits van vergelijking weer.

$$b = 1,37 + 0,337 \sin(2\pi(\text{dag} - 259,0) / 365) \quad R^2 = 0.622 \quad (4)$$

en voor het kleine domein:

$$a = 10,05 + 2,75 \sin(2\pi(\text{dag} - 78,7) / 365) \quad R^2 = 0.442 \quad (5)$$

$$b = 1,44 + 0,349 \sin(2\pi(\text{dag} - 254,2) / 365) \quad R^2 = 0.630 \quad (6)$$

Met een lineaire correctie zoals die hierboven beschreven is worden de resultaten van het model aanzienlijk verbeterd, maar de piekwaarden die berekend worden blijven te laag (Manders e. a., 2008b). Omdat juist de pieken in PM₁₀-concentratie goed voorspeld moeten kunnen worden voor DYNAMAX, is het beter om een alternatieve correctie te gebruiken waarmee de variabiliteit van de berekende waarden nog meer versterkt wordt. We hebben verschillende manieren onderzocht waarmee de gemodelleerde piekwaarden verhoogd zouden kunnen worden ten opzichte van een gewone lineaire regressie, zoals een lineaire regressie die alleen op hoge PM₁₀-waarden gebaseerd is, een kwadratische regressie en een regressie met een power-functie. Deze benaderingen leiden echter niet tot het gewenste resultaat. Dit kan wel bereikt worden met een lineaire regressie waarbij de asafsnede a gelijk is aan 0, zodat de richtingscoëfficiënt b groter wordt (Manders e. a., 2008b). Deze keuze is ook aantrekkelijk omdat hiermee het aantal regressievariabelen wordt beperkt. Figuur 1 toont, voor de twee modeldomeinen, de dagelijkse waarden van b en de bijbehorende sinusfuncties die nu gevonden worden. Voor het grote domein is geldt nu:

$$b = 2,06 + 0,085 \sin(2\pi(\text{dag} - 212,3) / 365) \quad R^2 = 0.593 \quad (7)$$

en voor het kleine domein:

$$b = 2,14 + 0,094 \sin(2\pi(\text{dag} - 201,3) / 365) \quad R^2 = 0.621 \quad (8)$$

In de volgende sectie wordt bepaald welke correctie het beste resultaat levert.

Vergelijking tussen modelwaarden en metingen

Bepaling van de optimale correctie

Om de overeenkomst tussen waarnemingen en modelberekeningen te bepalen hebben we correlatiecoëfficiënten en root-mean-square fouten berekend. Dit is voor acht verschillende modelconfiguraties gedaan. Zowel op het grote als op het kleine domein hebben we geen correctie, de gewone lineaire correctie (met $a \neq 0$) en de alternatieve correctie (met $a=0$) toegepast. Op het kleine domein hebben we ter vergelijking ook de gewone en de alternatieve correctie van Manders e. a. (2008b) gebruikt. Deze correcties zijn tijdsafhankelijk doordat de coëfficiënten a en b per jaargetijde een vaste waarde hebben (dus stapsgewijs en niet geleidelijk veranderen). De resultaten staan per type LML-station en per maand gerangschikt in tabel 1. Hieruit blijkt het volgende:

- Zowel in termen van correlatie als in termen van de gemiddelde fout presteert het model een klein beetje beter op het zoomdomein dan op het Europese domein.
- De verschillende correcties hebben slechts een marginale invloed op de correlatie met de waarnemingen. Ook zonder correctie is de correlatie al redelijk goed. In termen van de RMS-fout wordt de overeenkomst met de waarnemingen echter wel sterk verbeterd en wel het meest voor de gewone lineaire correctie (met $a \neq 0$). De alternatieve correctie (met $a=0$) levert echter ook een lage RMS-fout op.
- Tijdens de drie zomermaanden zijn de correlaties lager dan tijdens de andere maanden. De verschillende correcties hebben hier geen invloed op.
- Het model levert, zoals te verwachten viel, de beste resultaten voor stations van het type “regionaal”.
- De twee correcties van Manders e. a. (2008b) geven vrijwel dezelfde resultaten als de correcties die in dit verslag gepresenteerd worden.

Een andere manier om de overeenkomst tussen modelwaarden en metingen te bepalen is het kruiselings vergelijken van het aantal keren dat een drempelwaarde overschreden wordt. Dit komt neer op het indelen van ieder datapaar in één van de volgende categorieën:

- raak (R): een overschrijding wordt zowel gemeten als gemodelleerd
- mis (M): een overschrijding wordt wel gemeten maar niet gemodelleerd
- loos alarm (LA): een overschrijding wordt niet gemeten maar wel gemodelleerd
- correct negatief (CN): een overschrijding wordt niet gemeten en niet gemodelleerd

Uit deze categorieën kan een aantal statistische maatstaven worden afgeleid die weergeven hoe goed het model de gemeten overschrijdingen nabootst. Hier gebruiken we de volgende:

- detectiewaarschijnlijkheid = $R/(R+M)$: welke fractie van de gemeten overschrijdingen is correct gemodelleerd? Varieert van 0 (slechtst) tot 1 (best).
- threat score = $R/(R+M+LA)$: hoe goed komen de gemodelleerde en de gemeten overschrijdingen met elkaar overeen? Varieert van 0 (slechtst) tot 1 (best).
- Hanssen en Kuipers discriminant (Peirces's skill score) = $R/(R+M) - LA/(LA+CN)$: hoe goed maakt het model een onderscheid tussen overschrijdingen en overige situaties? Varieert van -1 tot 1 (best), 0 is het slechtst.

Om de verschillende modelconfiguraties met elkaar te vergelijken zijn bovenstaande statistische gegevens berekend voor metingen van het LML-stationstype “regionaal”. Dit is gedaan voor twee drempelwaarden die in het Dynamax-algoritme voorkomen, namelijk $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tabel 2 laat zien dat de resultaten volgens de gebruikte maatstaven door alle correcties aanzienlijk worden verbeterd. De beste resultaten worden behaald op het zoomdomein met de alternatieve correctie ($a=0$ en b gegeven door vgl. 8), doordat het model nu ongeveer evenveel overschrijdingen produceert als er gemeten zijn. Dit is het gevolg van de

relatief hoge waarde van de richtingscoëfficiënt b , waardoor de variabiliteit en het aantal gemodelleerde overschrijdingen toeneemt. Deze modelconfiguratie, gearceerd in tabel 2, zal dan ook gebruikt worden om tijdens het Dynamax project. Er worden nu, bij een drempelwaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 435 van de 764 gemeten overschrijdingen (57%) correct gemodelleerd. Hiertegenover staan 357 overschrijdingen die wel gemodelleerd zijn maar niet hebben plaatsgevonden. Bij een drempelwaarde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zijn de resultaten iets minder goed maar nog steeds redelijk. Nu worden 119 van de 290 gemeten overschrijdingen (41%) correct gemodelleerd, terwijl er 150 wel gemodelleerd zijn maar niet hebben plaatsgevonden.

Dat de alternatieve correctie die in dit rapport gegeven wordt (vergelijking 8) iets betere resultaten geeft dan de alternatieve correctie van Manders e.a. (2008b) kan verschillende oorzaken hebben. Aan de ene kant gebruiken wij een kortere periode aan data, namelijk één in plaats van drie jaar. Mogelijkerwijs is dit ene jaar niet zo representatief en zouden we voor een langere periode een correctie vinden die overeenkomt met die van Manders e. a. (2008b). Aan de andere kant gebruiken wij een iets andere versie van Lotos-Euros en is de correctie die we vinden passend voor deze modelversie. Bovendien bevat vergelijking 8 een geleidelijke tijdsafhankelijkheid en is daardoor geschikt voor operationeel gebruik zoals bij Dynamax.

Resultaten voor afzonderlijke stations

In tabel 3 staan opnieuw de resultaten voor het zoomdomein met de alternatieve correctie, maar dan per stationstype en voor twee afzonderlijke stations. We zien dat de overeenkomst tussen modelwaarde en waarneming licht afneemt bij afnemende landelijkheid, dus in de volgorde regionaal, voorstad, stad en straat. Tabel 3 bevat verder de resultaten voor de stations 131 en 230, beide van het type "regionaal". Station 131 (Vredepeel-Vredeweg) wordt vaak als achtergrondstation in onderzoeken gebruikt en station 230 is het station Biest Houtakker-Biestsestraat, dat in de buurt van de A58 bij Tilburg ligt. In de figuren 3 en 4 staan tijdseries voor deze twee afzonderlijke stations. Bij een drempelwaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ worden voor deze meetstations respectievelijk 56% en 59% van de gemeten overschrijdingen correct gemodelleerd. Voor het station in Biest betekent dit van de 65 gemeten overschrijdingen er 38 correct gemodelleerd worden, terwijl er in totaal 58 gemodelleerd zijn. Als de drempelwaarde $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is, worden er minder overschrijdingen correct gemodelleerd: 50% en 35% voor de twee stations. Voor het station in Biest worden nu 9 van de 26 gemeten overschrijdingen correct gemodelleerd, terwijl er in totaal 18 gemodelleerd worden.

Zesdaagse voorspelling

De resultaten die we tot nu toe gepresenteerd hebben zijn gebaseerd op meteorologische analyses, wat wil zeggen dat de berekeningen voor een bepaalde dag gebaseerd zijn op de meteorologische omstandigheden op die dag. Er was tot nu toe dus nog geen sprake van een meerdaagse verwachting van de PM_{10} -concentratie. Om deze maken, zoals dat voor Dynamax nodig is, moet het model aangedreven worden met een meerdaagse weersverwachting en niet met de analyse van de huidige meteorologische omstandigheden. De weersverwachting bevat echter een onzekerheid die toeneemt met de voorspellingstermijn en deze zal worden doorgegeven worden aan de PM_{10} -verwachting. Het verschil tussen PM_{10} -concentratie en daadwerkelijk gemeten waarde zal dus in het algemeen toenemen met de voorspellingstermijn. In deze sectie bespreken we een beperkte validatie om een eerste indicatie te geven van de extra onzekerheid die een voorspelling met zich mee brengt. In een later stadium zal een meer uitgebreide validatie uitgevoerd worden.

Voor iedere dag van de maand januari 2009 hebben we een zesdaagse PM_{10} -verwachting berekend die gebaseerd is op de zesdaagse weersverwachting voor die dag. Dit leverde op iedere dag en voor ieder regionaal LML-station een zevendaagse reeks van PM_{10} -concentraties: de analyse voor de huidige dag en de voorspelling voor de daaropvolgende zes dagen. Deze uitvoer hebben we vervolgens vergeleken met de waarnemingen zoals die voor iedere dag daadwerkelijk op de regionale LML-stations gemeten zijn. De correlaties, de RMS-fouten en de overschrijdingsstatistieken staan in tabel 4. Tot en met dag drie verslechteren de resultaten niet ten opzichte van dag nul (de dag zonder voorspelling). Vanaf dag vier wordt

de overeenkomst met de metingen slechter, maar pas op dag zes treedt een echt duidelijke verslechtering op. Het percentage correct voorspelde overschrijdingen schommelt tussen 55% op dag zes en 73% op dag drie. Het is opvallend dat de verwachting pas vanaf dag 4 een duidelijke extra onzekerheid introduceert ten opzichte van dag nul en niet eerder. Dit kan liggen aan de korte periode van één maand en die misschien niet representatief is voor langere tijdspannen.

Dat de verwachting pas tegen het einde van de termijn sterk aan betrouwbaarheid verliest is ook te zien in figuur 5, waarin de gemiddelde resultaten van alle regionale stations staan. De blauwe curven in de bovenste figuur komen allemaal vrij goed overeen met de metingen, afgezien van de laatste twee punten van iedere curve (overeenkomend met voorspellingstermijnen van vijf en zes dagen). De onderste figuur laat zien dat de analyse (groen) en de driedaagse (rood) verwachting steeds vrij goed overeenkomen met de metingen (zwart). De vijfdaagse verwachting (blauw) wijkt meer af van de metingen en de zesdaagse (rood en gestreept) nog meer.

Conclusies

Het chemisch-transportmodel Lotos-Euros berekent de achtergrondwaarde van de PM_{10} -concentratie met een variabiliteit die de waarnemingen goed volgt. De PM_{10} -concentratie en met name de hoogte van de pieken daarin worden wel systematisch onderschat, waardoor het aantal gemodelleerde overschrijdingen van de drempelwaarde veel te laag is. De eenvoudige lineaire correctie die in dit verslag gepresenteerd wordt, verhoogt met name de hoge waarden, waardoor het aantal gemodelleerde overschrijdingen beter overeenkomt met de metingen. Er worden nu ongeveer evenveel overschrijdingen gemodelleerd als gemeten. Bij een drempelwaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wordt 57% van de overschrijdingen correct gemodelleerd, bij een drempelwaarde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (de grenswaarde) 41%. Op basis van een beperkte evaluatieperiode van één maand is ook het voorspellingsvermogen van Lotos-Euros onderzocht. Dit levert de indicatie dat het model goed in staat is om tot een aantal dagen vooruit een goede PM_{10} -verwachting op te stellen. Pas vanaf een voorspellingstermijn van vier dagen neemt de betrouwbaarheid langzaam af.

Referenties

- Keuken, M. P. en I. Wilmink (2008). Algoritme voor inzet snelheidsmaatregel voor het verminderen van het aantal overschrijdingsdagen van de PM_{10} etmaalnorm langs snelwegen. TNO-Memo, 1 juli 2008.
- Manders, A. M. M., L. Nguyen en R. Hoogerbrugge (2008a). Evaluatie van RIVM-modellen voor de ozon- en fijnstofverwachting PROZON en PROPART. RIVM Rapport 680704004/2008.
- Manders, A. M. M., M. Schaap en R. Hoogerbrugge (2008b). Testing the capability of a chemistry transport model to forecast PM_{10} levels in the Netherlands. Ingezonden naar Atmospheric Environment.
- Ministerie van VROM (2001). Smogregeling 2001. Staatscourant, 109, blz. 16, 11 juni 2001.
- Raad van de Europese Unie (1999). Richtlijn 1999/30/EG van de Raad van 22 april 1999 betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, L 163/41, 29 juni 1999.
- Schaap, M., F. Sauter, R. M. A. Timmermans, M. Roemer, G. Velders, J. Beck en P. J. H. Builtjes (2008). The LOTOS-EUROS model: description, validation and latest developments. *Int. J. Env. Pollution*, 32(2), 270-290.

modelcon- figuratie dataset	correlatie-coëfficiënt								RMS-fout							
	Europa cor.	Europa cor. a=0	zoom cor.	zoom cor. a=0	zoom cor. a=0	zoom Man.	zoom Man. a=0	zoom Man. a=0	Europa cor.	Europa cor. a=0	zoom cor.	zoom cor. a=0	zoom Man.	zoom Man. a=0		
regionaal	0.706	0.711	0.709	0.710	0.715	0.713	0.715	0.705	17.3	8.7	9.9	17.7	8.6	9.9	8.9	10.0
voorstad	0.641	0.636	0.646	0.639	0.636	0.646	0.625	0.628	19.9	10.3	11.8	20.2	10.3	11.8	11.0	12.3
stad	0.677	0.685	0.679	0.672	0.680	0.673	0.688	0.679	22.0	11.0	12.4	22.3	10.9	12.4	12.0	13.3
straat	0.679	0.672	0.680	0.670	0.667	0.672	0.661	0.665	20.5	10.6	11.8	20.7	10.6	11.9	11.5	12.5
maand 1	0.618	0.608	0.613	0.596	0.585	0.591	0.596	0.596	26.8	13.7	14.0	27.5	14.0	14.6	14.8	15.3
maand 2	0.760	0.763	0.762	0.762	0.764	0.763	0.762	0.762	20.2	9.6	11.0	20.5	9.6	11.1	9.8	11.1
maand 3	0.713	0.707	0.710	0.705	0.699	0.703	0.705	0.705	18.3	8.4	9.5	18.6	8.5	9.7	9.0	10.3
maand 4	0.691	0.690	0.691	0.685	0.684	0.685	0.685	0.685	16.8	8.7	10.2	17.2	8.8	10.3	9.0	10.2
maand 5	0.612	0.611	0.611	0.614	0.613	0.612	0.614	0.614	21.7	12.5	14.1	21.9	12.4	14.0	13.1	15.1
maand 6	0.508	0.507	0.507	0.505	0.505	0.505	0.505	0.505	16.0	8.1	9.8	16.3	8.1	9.8	8.9	8.9
maand 7	0.499	0.499	0.499	0.501	0.500	0.501	0.501	0.501	20.7	10.2	11.9	21.0	10.0	11.8	12.2	12.2
maand 8	0.479	0.485	0.480	0.476	0.483	0.478	0.476	0.476	12.8	7.5	9.4	13.1	7.5	9.4	6.4	6.4
maand 9	0.728	0.725	0.728	0.743	0.741	0.743	0.743	0.743	24.6	12.6	12.4	24.9	12.1	11.8	14.0	14.8
maand 10	0.806	0.807	0.807	0.814	0.815	0.814	0.814	0.814	19.0	8.2	10.6	19.4	8.0	10.4	9.1	11.2
maand 11	0.752	0.751	0.752	0.764	0.763	0.764	0.764	0.764	18.3	7.8	9.7	18.5	7.6	9.5	9.1	11.8
maand 12	0.687	0.687	0.687	0.691	0.691	0.692	0.691	0.691	17.1	9.3	11.2	17.5	9.3	11.2	8.7	10.9

Tabel 1. Correlatie-coëfficiënten en rms-fouten tussen waarnemingen en gemodelleerde waarden van PM₁₀. De resultaten worden getoond per type LML-station, per maand en per modelconfiguratie van Lotos-Euros. De modelconfiguraties zijn, van links naar rechts: Europees domein zonder correctie, met gewone lineaire correctie en met alternatieve lineaire correctie; zoomdomein zonder correctie, met gewone lineaire correctie, met alternatieve lineaire correctie, met de gewone lineaire correctie van Manders e.a. (2008b) en met de alternatieve lineaire correctie van Manders e.a. (2008b).

	# data- punten	# gemeten overschrij- dingen	# gemodel- leerde over- schrijdingen	% raak	% mis	% loos alarm	% correct negatief	detectiewaar- schijnlijkheid	threat score	Hanssen en Kuipers discriminant (skill score) R/(R+M) - LA/(LA+CN)
				R	M	LA	CN	R/(R+M)	R/(R+M+LA)	
drempelwaarde=40 µg/m ³										
Europa	5576	764	6	0.1	13.6	0.0	86.4	0.01	0.01	0.01
Europa cor.	5576	764	558	6.2	7.5	3.8	82.6	0.45	0.35	0.41
Europa cor. a=0	5576	764	786	7.5	6.1	6.6	79.8	0.55	0.37	0.48
zoom	5576	764	6	0.1	13.6	0.0	86.4	0.01	0.01	0.01
zoom cor.	5576	764	569	6.4	7.2	3.8	82.6	0.47	0.37	0.43
zoom cor. a=0	5576	764	792	7.8	5.8	6.4	80.0	0.57	0.39	0.50
Manders e. a.	5576	764	357	4.6	9.1	1.8	84.5	0.34	0.30	0.32
Manders e. a. alt.	5576	764	463	5.6	8.0	2.7	83.7	0.41	0.34	0.38
drempelwaarde=50 µg/m ³										
Europa	5576	290	0	0.0	5.2	0.0	94.8	0.00	0.00	0.00
Europa cor.	5576	290	117	1.2	4.0	0.9	93.9	0.23	0.20	0.22
Europa cor. a=0	5576	290	273	2.0	3.1	2.9	91.9	0.39	0.25	0.36
zoom	5576	290	0	0.0	5.2	0.0	94.8	0.00	0.00	0.00
zoom cor.	5576	290	117	1.1	4.0	1.0	93.9	0.22	0.18	0.21
zoom cor. a=0	5576	290	268	2.1	3.1	2.7	92.1	0.41	0.27	0.38
Manders e. a.	5576	290	39	0.5	4.7	0.2	94.6	0.09	0.09	0.09
Manders e. a. alt.	5576	290	139	1.2	4.0	1.3	93.5	0.24	0.19	0.22

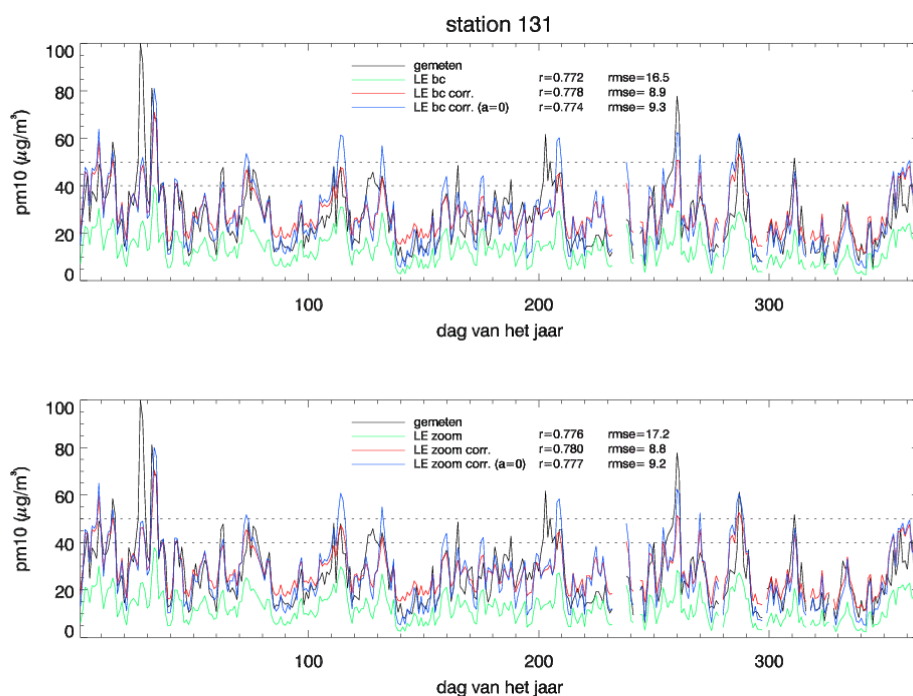
Tabel 2. Kruistabel en statistische gegevens met betrekking tot de overschrijding van de grenswaarde door metingen en modelwaarden, voor verschillende modelconfiguraties. Voor deze tabel zijn alleen data van regionale stations gebruikt.

	# data- punten	# gemeten overschrij- dingen	# gemodel- leerde over- schrijvingen	% raak	% mis	% loos alarm	% correct negatief	detectiewaar- schijnlijkheid	threat score	Hanssen en Kuipers discriminant (skill score) R/(R+M) - LA/(LA+CN)
				R	M	LA	CN	R/(R+M)	R/(R+M+LA)	
grenswaarde=40 µg/m ³										
regionaal	5576	758	792	7.8	5.8	6.4	80.0	0.57	0.39	0.50
voorstad	1370	241	248	10.1	7.5	8.0	74.4	0.57	0.40	0.48
stad	1407	284	262	11.0	9.2	7.6	72.2	0.55	0.40	0.45
straat	4826	1144	825	11.8	11.9	5.3	71.0	0.50	0.41	0.43
station 131	350	52	61	8.3	6.6	9.1	76.0	0.56	0.35	0.45
station 230	335	65	58	11.3	8.1	6.0	74.6	0.59	0.45	0.51
grenswaarde=50 µg/m ³										
regionaal	5576	289	267	2.1	3.1	2.7	92.1	0.41	0.27	0.38
voorstad	1370	100	101	3.1	4.2	4.3	88.4	0.42	0.26	0.37
stad	1407	132	103	3.4	6.0	3.9	86.7	0.36	0.26	0.32
straat	4826	530	335	4.0	7.0	3.0	86.1	0.36	0.29	0.33
station 131	350	16	18	2.3	2.3	2.9	92.6	0.50	0.31	0.47
station 230	335	26	18	2.7	5.1	2.7	89.6	0.35	0.26	0.32

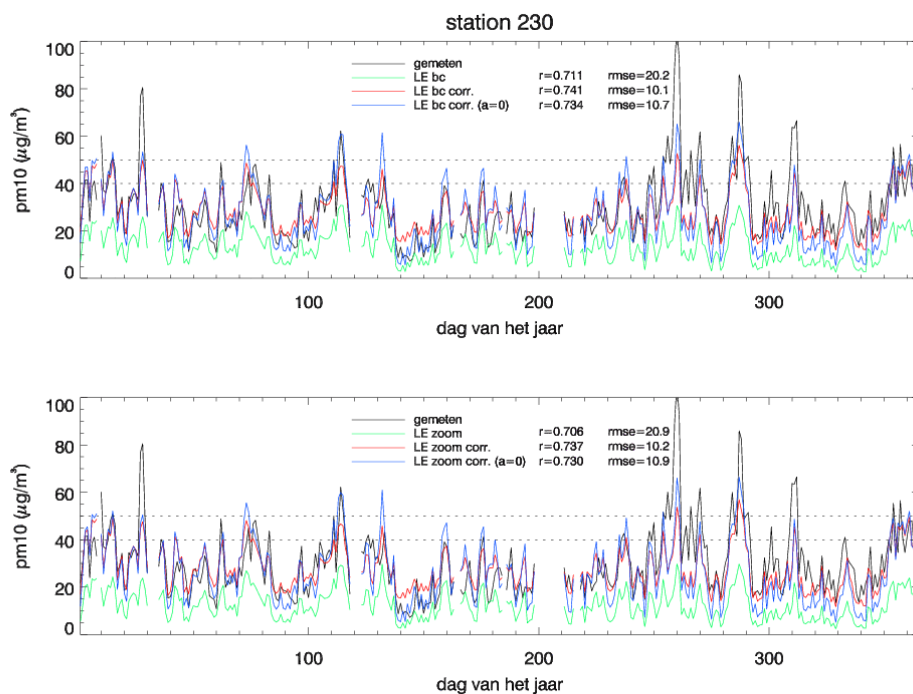
Tabel 3. Kruistabel en statistische gegevens met betrekking tot de overschrijding van de grenswaarde door metingen en modelwaarden, voor het zoomdomein met de alternatieve correctie.

# dagen vooruit	r	RMSE	# data- punten	# overschrijdingen meting	model	detectiewaar- schijnlijkheid	threat score	skill score
0	0.741	13.01	496	144	113	0.660	0.586	0.609
1	0.773	12.70	479	138	95	0.580	0.523	0.536
2	0.746	12.77	480	134	104	0.649	0.576	0.600
3	0.755	12.22	481	133	129	0.729	0.588	0.637
4	0.694	13.29	482	144	126	0.604	0.475	0.489
5	0.630	14.63	482	158	139	0.595	0.463	0.456
6	0.465	16.95	482	157	162	0.548	0.369	0.314

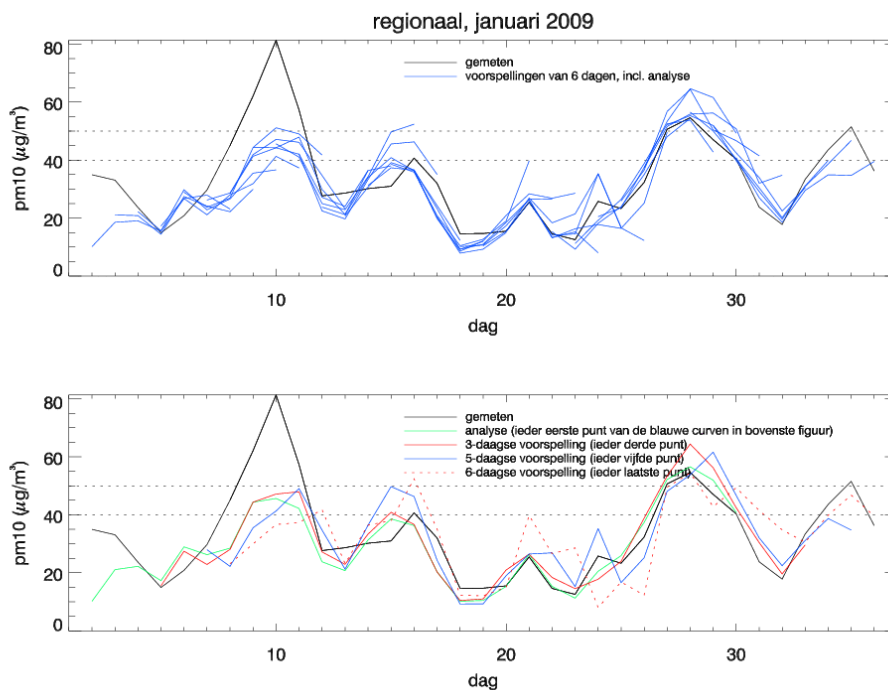
Tabel 4. Statistische gegevens van de vergelijking tussen modelverwachting en waarnemingen, als functie van de voorspellingstermijn.



Figuur 3. Gemeten en gemodelleerde daggemiddelde PM_{10} -concentratie voor LML-meetstation 131 (Vredepeel-Vredeweg, stationstype regionaal) tijdens het jaar 2006. Te zien zijn waarden die gemodelleerd zijn met een lage (boven) en met een hoge (onder) ruimtelijke resolutie, beide zonder correctie, met correctie en met alternatieve correctie



Figuur 4. Als figuur 3, maar dan voor LML-meetstation 230 (Biest Houtakker-Biestsestraat, stationstype regionaal).



Figuur 5. Gemeten en voorspelde daggemiddelde PM_{10} -concentratie, gemiddeld over alle regionale LML-metstations in januari 2009. In de bovenste figuur is iedere blauwe curve zeven dagen lang en geeft deze de voorspelling weer die gemaakt is op de eerste dag van die curve. De onderste figuur toont in het groen de analyse die steeds op de betreffende dag gemaakt is; in het rood de verwachting die steeds drie dagen eerder gemaakt is; in het blauw de verwachting die steeds vijf dagen eerder gemaakt is; en in het rood en gestreept die verwachting die steeds zes dagen eerder gemaakt is.