

Zesdaagse verwachting van fijn stof met LOTOS-EUROS ten behoeve van Danamax

Eindrapportage

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

KNMI technical report = technisch rapport; TR-312

De Bilt, 2010

PO Box 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
De Bilt
The Netherlands
<http://www.knmi.nl>
Telephone +31(0)30-220 69 11
Telefax +31(0)30-221 04 07

Authors: Ruyter de Wildt, M. de
Eskes, H.
Velthoven P,



Inhoud

<i>Samenvatting</i>	vii
<i>Abstract</i>	vii
1 Inleiding	1
2 Achtergrond	2
2.1 Smog	2
2.2 Regelgeving	2
2.3 Smogverwachtingen	3
2.4 Snelheidsbeperkende maatregelen: relatie met grenswaarde	3
3 Optimalisatie van Lotos-Euros met een lineaire bias-correctie	3
4 Vergelijking tussen modelwaarden en metingen	5
4.1 Bepaling van de optimale correctie	5
4.2 Resultaten voor afzonderlijke stations	7
5 Zesdaagse verwachting	9
6 Conclusies	11
7 Literatuur	11

Samenvatting

Als onderdeel van het project Dynamische Maximumsnelheden onderzoekt Rijkswaterstaat het effect van snelheidsverlagingen op de luchtkwaliteit. In dit verband is een deel van de A58 bij Tilburg tijdens het jaar 2009 als proeftraject gebruikt. Wanneer een overschrijding van de grenswaarde door de concentratie fijn stof (PM_{10}) verwacht werd, werd preventief de maximumsnelheid verlaagd. Voor dit project leverde het KNMI op operationele basis zesdaagse verwachtingen van de achtergrondconcentratie van PM_{10} , die berekend werden met het luchtkwaliteitmodel 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 correctie gepresenteerd waarmee overschrijdingen van de grenswaarde beter voorspeld kunnen worden. Met deze correctie worden, voor verschillende meetpunten in Nederland, ongeveer even veel overschrijdingen waargenomen als gemodelleerd. Van de waargenomen overschrijdingen wordt gemiddeld 56% correct gemodelleerd. Hier tegenover staat dat 47% van de voorspelde overschrijdingen niet plaats vindt. Deze percentages blijven vrijwel gelijk tot en met een verwachtingstermijn van drie dagen en pas vanaf vier dagen vooruit wordt de verwachting geleidelijk minder betrouwbaar. Voor een toepassing als Dynamax moet een overschrijding het liefst een paar dagen van te voren voorspeld moet kunnen worden, zonder later weer ingetrokken te worden. Uit de resultaten blijkt dat dit mogelijk is, omdat de driedaagse verwachting even betrouwbaar is als meer recente verwachtingen en de laatste dus genegeerd kunnen worden.

Abstract

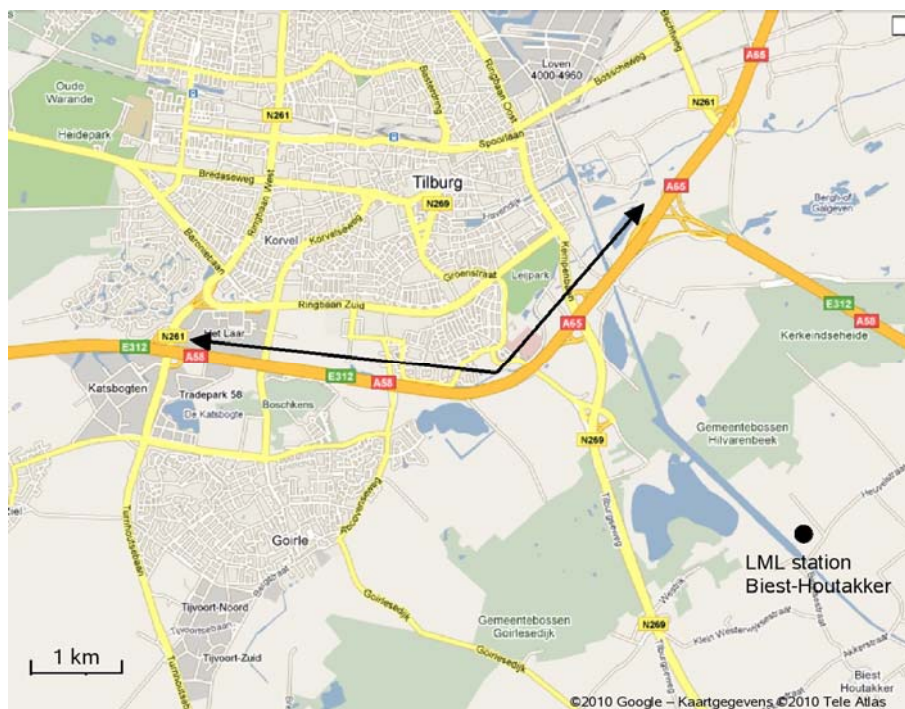
As part of the project Dynamische Maximumsnelheden (Dynamical Speed Limits), the Dutch Directorate-General for Public Works and Water Management studies the effect of speed limit reduction upon air quality near motor ways. For this purpose, part of the A58 in the south of the Netherlands has been set up as a test track during the year 2009. Whenever an exceedance of the limit value by the concentration of fine dust (PM_{10}) was forecast, the speed limit was reduced preventively. For this project, KNMI operationally supplied six-day forecasts of the background concentration of PM_{10} , which were computed with the air-quality model Lotos-Euros. In this report the computed concentrations are compared with observed values. This shows that the model is capable of simulating the observed variability in the background concentration of PM_{10} . However, the model systematically underestimates the concentration. Based on these results, a simple linear bias-correction is presented which increases the correspondence of modeled exceedances of the limit value with observed ones. With this correction, the numbers of modeled and observed exceedances are more or less the same at several monitoring sites in the Netherlands. On average, 56% of the observed exceedances is modeled correctly. At the same time, however, 47% of the modeled exceedances does not take place. These percentages remain unaltered until a lead period of three days and only from the fourth forecast day onward the forecast gradually grows less reliable. For an application like Dynamax, an exceedance should ideally be forecasted a number of days in advance without being withdrawn at a later date. The results show that this is possible, because the three-day forecast is as reliable as more recent forecasts, which can therefore be neglected.

1 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 is in 2009, 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 verwacht wordt. Een snelheidsverlaging zal met name zin hebben als het aantal dagen waarop de grenswaarde overschreden wordt teruggedrongen kan worden.

Voor deze proef heeft het KNMI iedere dag een zesdaagse verwachting van de achtergrondconcentratie van fijn stof berekend. Op basis van deze verwachting zijn geregeld snelheidsmaatregelen doorgevoerd en het effect van deze maatregelen op de luchtkwaliteit is onderzocht door TNO Bouw en Ondergrond en door M+P Raadgevende Ingenieurs. Dit is gedaan door langs het proeftraject de luchtkwaliteit te meten. De resultaten van deze metingen staan voor fijn stof in het rapport van TNO (Voogt en Jonkers, 2010) en voor stikstofoxiden (NOx) in het rapport van M+P (Hoogwerff e.a., 2010). In dit KNMI-rapport worden de verwachtingsmethode en de betrouwbaarheid van de verwachting beschreven.

De opgestelde verwachting betreft de concentratie van stofdeeltjes die kleiner zijn dan $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}). De verwachtingstermijn is zes dagen, omdat smog vaak in periodes van verschillende dagen voorkomt en omdat de snelheidsverlaging zo steeds voor een hele werkweek gepland kan worden. Dit is met name praktisch voor het Korps Landelijke Politie Diensten, dat voor de handhaving van de snelheidslimieten verantwoordelijk is. Bovendien is het effect van een maatregel op de luchtkwaliteit groter als hij een paar dagen van te voren ingesteld kan worden. De PM_{10} -verwachting wordt berekend met het computermodel Lotos-Euros (Schaap e. a., 2008), dat ontwikkeld is door TNO en het RIVM en dat bijdragen bevat van het KNMI. Lotos-Euros is een deterministisch chemie-transport model, wat wil zeggen dat het het gedrag van



Figuur 1. Het proeftraject op de A58 bij Tilburg en het LML-meetstation Biest-Houtakker – Biestsestraat.

verschillende stoffen in de atmosfeer beschrijft aan de hand van fysische en chemische vergelijkingen. De berekende concentraties hangen onder andere af van de gebruikte meteorologische gegevens. Dit betekent dat iedere dag een zesdaagse PM₁₀-verwachting berekend kan worden door het model te draaien met de meest recente zesdaagse weersverwachting. Dit wordt gedaan voor een modeldomein dat een groot deel van Europa omvat en een resolutie heeft van 30 km. Aan de hand van de resultaten wordt, voor een ingezoomd domein rondom Nederland, steeds een tweede berekening gemaakt met een twee keer zo hoge resolutie, waardoor de ruimtelijke nauwkeurigheid vergroot wordt.

De PM₁₀-concentraties die door Lotos-Euros berekend worden, zijn systematisch lager dan gemeten concentraties. Dit is een algemeen voorkomend verschijnsel bij chemie-transport modellen en voor deze afwijking moet gecorrigeerd worden om een zo goed mogelijke modelverwachting te krijgen. Daarom is er voorafgaand aan de Dynamax-proef een correctie bepaald, die ervoor zorgt dat juist tijdens situaties met veel fijn stof de berekeningen beter met de waarnemingen overeen komen. Hiervoor hebben we, voor het hele jaar 2006 en voor verschillende locaties in heel Nederland, de daggemiddelde PM₁₀-concentratie berekend en vergeleken met de gemeten concentratie. In dit verslag worden de resultaten en de gebruikte correctie beschreven. Verder bevat dit rapport een evaluatie van de operationele verwachting die tijdens 2009 dagelijks voor Dynamax opgesteld is. Aan de hand van meetwaarden wordt de nauwkeurigheid van de verwachting beschreven en ook hoe de nauwkeurigheid afhangt van de verwachtingstermijn.

De metingen die voor de evaluaties gebruikt zijn, zijn afkomstig van stations van het Landelijke Meetnet Luchtkwaliteit (LML) van het RIVM. Deze stations liggen verspreid over heel Nederland en zijn, afhankelijk van hun ligging, van het type “regionaal”, “voorstad”, “stad” en “straat”. Ongeveer vier km ten zuidoosten van het proeftraject op de A58 ligt het station Biest Houtakker – Biestsestraat (figuur 1). Dit is een station van het type “regionaal”, wat betekent dat het landelijk gelegen is en er zich in de nabije omgeving geen sterke emissiebronnen bevinden. De metingen zijn daardoor representatief voor dezelfde (vrije grote) ruimtelijke schaal als de verwachtingen van Lotos-Euros.

2 Achtergrond

2.1 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 onder 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. Daarnaast bestaat er industriële smog, ook wel wintersmog genoemd omdat het met name voorkomt bij koud weer. Deze smog ontstaat vaak in de winter, wanneer tijdens temperatuurinversies 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.

2.2 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 zijn in Nederland de Wet Milieubeheer en de smogregeling (Ministerie van VROM, 2001) gebaseerd. Hierin worden twee grenswaarden voor de PM₁₀-concentratie genoemd: een waarde van 50 µg/m³, die door de daggemiddelde concentratie niet meer dan 35 keer per jaar overschreden mag worden, en een waarde van 40 µg/m³, waar de jaargemiddelde concentratie onder moet liggen. Een onderdeel van de smogregeling is de dagelijkse verwachting van de luchtkwaliteit die door het RIVM wordt opgesteld.

2.3 Smogverwachtingen

De smogverwachting van het RIVM betreft concentraties van fijn stof en ozon en wordt al een aantal jaren 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 een ééndaagse verwachting. 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 deterministisch model zoals Lotos-Euros. Dit wordt sinds 1 juni 2009 door het RIVM gedaan: de ééndaagse verwachting van de statistische modellen wordt tegenwoordig aangevuld met een driedaagse verwachting van Lotos-Euros. Deze is het resultaat van een samenwerking tussen KNMI, TNO en RIVM en wordt dagelijks beschikbaar gesteld via de website van het RIVM, <http://www.lml.rivm.nl/verw.html>. Statistische en deterministische modellen worden al langer naast elkaar gebruikt door IRCEL-CELINE, de Belgische Intergewestelijke Cel voor het Leefmilieu. Dit instituut gebruikt eigen statische modellen en het chemie-transport model CHIMERE, waardoor de opgestelde verwachting kan verschillen van de RIVM-verwachting en de zesdaagse verwachting die het KNMI voor Dynamax berekent (zie http://www.irceline.be/~celinair/dutch/homenrl_java.html).

2.4 Snelheidsbeperkende maatregelen: relatie met grenswaarde

Tijdens de Dynamax-proef zijn steeds snelheidsbeperkende maatregelen getroffen wanneer Lotos-Euros verwachtte dat de grenswaarde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreden ging worden. Een model 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 bij een weg de grenswaarde overschreden gaat worden. Het Dynamax-algoritme doet dit als volgt (Keuken en Wilmink, 2008). Uit metingen die langs de A2 bij Breukelen gedaan zijn, volgt dat op werkdagen de wegbijdrage ten hoogste $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is. Hierdoor wordt de grenswaarde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreden 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 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uit de Dynamax-proef bij Tilburg is overigens gebleken dat de wegbijdrage, ook op werkdagen, minder dan $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bedraagt (zie Voogt en Jonkers, 2010). Afgaande op deze lokale resultaten kan dus achteraf vastgesteld worden dat bij Tilburg ook op werkdagen een drempelwaarde van $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gebruikt zou kunnen worden.

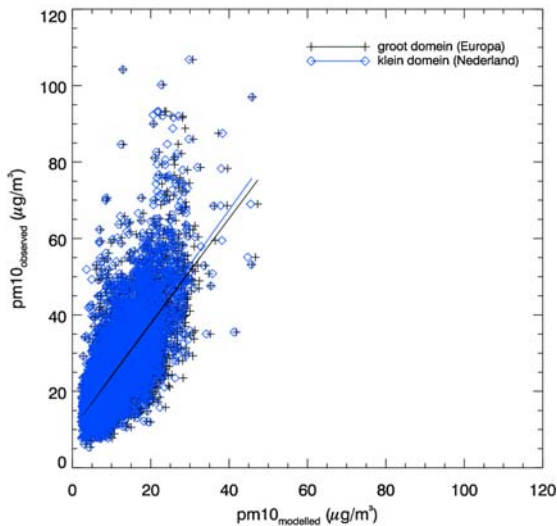
Bij achtergrondconcentraties boven $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is er altijd sprake van een overschrijding, ongeacht de wegbijdrage, die dus ook niet met een snelheidsbeperking kan worden voorkomen. In deze gevallen wordt er echter toch een snelheidsbeperking ingesteld om de mate van overschrijding te beperken en om ervoor te zorgen dat het algoritme consequent is: bij sterke luchtverontreiniging wordt de snelheid altijd beperkt. Op deze manier is het verband met luchtverontreiniging duidelijker voor de automobilist.

3 Optimalisatie van Lotos-Euros met een lineaire bias-correctie

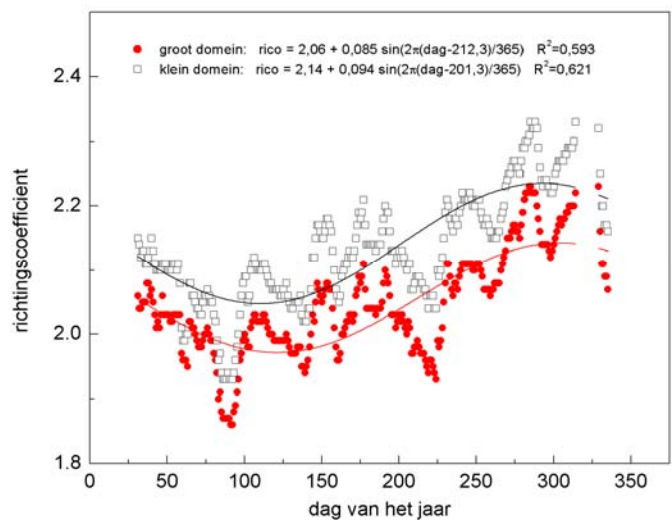
Doordat Lotos-Euros, net als alle chemische transportmodellen, niet alle bronnen en componenten van PM_{10} beschrijft, berekent het systematisch te lage PM_{10} -concentraties. Dit is goed te zien in een scatterplot waarin gemeten en gemodelleerde waarden tegen elkaar zijn uitgezet (figuur 2). Om deze systematische afwijking te verkleinen, kan er een lineaire correctie worden toegepast die gebaseerd is op een regressie tussen metingen en modelwaarden (Manders e. a., 2009). 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, worden a en b beschreven met een tijdsafhankelijke sinusfunctie, in analogie met de jaarlijkse gang van het weer:



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



Figuur 3. 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.

$$a, b = \gamma_0 + A \sin(2\pi(d - dx) / 365) \quad (2)$$

waar d de dag van het jaar is en γ_0 , A en dx coëfficiënten zijn die zowel voor a als voor b bepaald moeten worden. 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 60 dagen). Vervolgens kunnen γ_0 , A en dx bepaald worden aan de hand van de dagelijkse waarden van a en b . Dit is gedaan voor zowel het grote Europese als het kleine Nederlandse modeldomein. Voor het grote domein levert dit de volgende vergelijkingen:

$$a = 10,09 + 2,76 \sin(2\pi(d - 83,3) / 365) \quad r^2 = 0,433 \quad (3)$$

$$b = 1,37 + 0,337 \sin(2\pi(d - 259,0) / 365) \quad r^2 = 0,622 \quad (4)$$

en voor het kleine domein:

$$a = 10,05 + 2,75 \sin(2\pi(d - 78,7) / 365) \quad r^2 = 0,442 \quad (5)$$

$$b = 1,44 + 0,349 \sin(2\pi(d - 254,2) / 365) \quad r^2 = 0,630 \quad (6)$$

Een lineaire correctie zoals die hierboven beschreven is verbeterd de resultaten van het model aanzienlijk, maar de piekwaarden die berekend worden blijven te laag (Manders e. a., 2009). 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. Er zijn 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. Wel effectief is een lineaire regressie waarbij de asafsnede a gelijk is aan 0, zodat de richtingscoëfficiënt b groter wordt (Manders e. a., 2009). Deze keuze is ook aantrekkelijk omdat hiermee het aantal regressievariabelen wordt beperkt. Figuur 3 toont, voor de twee

modeldomeinen, de dagelijkse waarden van b en de bijbehorende sinusfuncties die nu gevonden worden. Voor het grote domein geldt nu:

$$b = 2,06 + 0,085 \sin(2\pi(d - 212,3) / 365) \quad r^2 = 0.593 \quad (7)$$

en voor het kleine domein:

$$b = 2,14 + 0,094 \sin(2\pi(d - 201,3) / 365) \quad r^2 = 0.621 \quad (8)$$

Merk op dat de seizoensgang van deze correctiefactor klein is, met een amplitude van ongeveer 4%. In de volgende sectie wordt bepaald welke correctie het beste resultaat levert.

4 Vergelijking tussen modelwaarden en metingen

4.1 Bepaling van de optimale correctie

Om de overeenkomst tussen waarnemingen en modelberekeningen te bepalen zijn er correlatiecoëfficiënten en root-mean-square fouten berekend. Dit is voor zes verschillende modelconfiguraties gedaan: op het zoomdomein is het resultaat zonder correctie, met de gewone lineaire correctie (met $a \neq 0$) en met de alternatieve correctie (met $a = 0$) berekend. Ter vergelijking is de alternatieve correctie ook op het grote domein toegepast en op het kleine domein ook de gewone en de alternatieve correctie van Manders e. a. (2009). De laatste twee 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 gerangschikt in tabel 1. Hieruit blijkt het volgende:

- Op het kleine domein zijn de correlaties en de fouten even groot als op het grote domein, ondanks de hogere resolutie op het kleine domein.
- De correlatie met de waarnemingen is zonder correctie al redelijk goed en verandert weinig als de verschillende correcties worden toegepast. De correctiefactor varieert maar weinig tijdens het jaar, en het is eenvoudig in te zien dat een constante vermenigvuldigingsfactor geen invloed heeft op de correlatiecoëfficiënt. De RMS-fout wordt door de verschillende bias-correcties echter wel sterk verbeterd, en wel het meest voor de gewone lineaire correctie. De alternatieve correctie levert echter ook een lage RMS-fout op.
- Het model levert, zoals te verwachten viel, de beste resultaten voor stations van het type "regionaal".

modelconfi- guratie type	correlatie-coëfficiënt						RMS-fout					
	zoom	Zoom cor.	zoom cor. $a=0$	zoom M. e.a.	zoom M. e.a. $a=0$	Europa cor. $a=0$	zoom	zoom cor.	zoom cor. $a=0$	zoom M. e.a.	zoom M. e.a. $a=0$	Europa cor. $a=0$
regionaal	0.710	0.715	0.713	0.715	0.705	0.709	17.7	8.6	9.9	8.9	10.0	9.9
voorstad	0.639	0.636	0.646	0.625	0.628	0.646	20,2	10,3	11,8	11,0	12,3	11,8
stad	0,672	0,680	0,673	0,688	0,679	0,679	22,3	10,9	12,4	12,0	13,3	12,4
straat	0,670	0,667	0,672	0,661	0,665	0,680	20,7	10,6	11,9	11,5	12,5	11,8

Tabel 1. Correlatie-coëfficiënten en RMS-fouten tussen waarnemingen en gemodelleerde waarden van PM_{10} . De resultaten worden getoond per type LML-station en per modelconfiguratie van Lotos-Euros. De modelconfiguraties zijn, van links naar rechts: zoomdomein zonder correctie, met gewone lineaire correctie, met alternatieve lineaire correctie, met de gewone lineaire correctie van Manders e.a. (2009) en met de alternatieve lineaire correctie van Manders e.a. (2009); Europees domein met alternatieve lineaire correctie. Voor deze tabel zijn data voor het jaar 2006 gebruikt.

	# datapunten (gemiddeld per station)	# overschrijdingen (gemiddeld per station) meting	model	false alarm ratio	detectiewaar- schijnlijkheid (hit rate)	threat score (critical success index)
drempelwaarde=40 µg/m ³						
zoom	348.5	47.8	0.4	0,00	0,01	0,01
zoom cor. (vgl. 5 en 6)	348.5	47.8	35.6	0,37	0,47	0,37
zoom cor. a=0 (vgl. 8)	348.5	47.8	49.5	0,45	0,57	0,39
Europa cor. a=0 (vgl. 7)	348.5	47.8	49.1	0,47	0,55	0,37
Manders e. a.	348.5	47.8	22.3	0,28	0,34	0,30
Manders e. a. a=0	348.5	47.8	28.9	0,33	0,41	0,34
drempelwaarde=50 µg/m ³						
zoom	348.5	18.1	0.0	0,00	0,00	0,00
zoom cor. (vgl. 5 en 6)	348.5	18.1	7.3	0,48	0,22	0,18
zoom cor. a=0 (vgl. 8)	348.5	18.1	16.8	0,56	0,41	0,27
Europa cor. a=0 (vgl. 7)	348.5	18.1	17.1	0,59	0,39	0,25
Manders e. a.	348.5	18.1	2.4	0,29	0,09	0,09
Manders e. a. a=0	348.5	18.1	8.7	0,52	0,24	0,19

Tabel 2. Statistische gegevens met betrekking tot de overschrijding van grenswaarden door metingen en modelwaarden, voor verschillende modelconfiguraties. Voor deze tabel zijn data van alle zestien regionale stations voor het jaar 2006 gebruikt.

- De twee correcties van Manders e. a. (2009) 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, en voor Dynamax zelfs informatiever, is het vergelijken van het aantal keren dat een drempelwaarde overschreden wordt. Dit komt neer op het indelen van ieder datapaar (meting-modelwaarde) 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 worden de volgende gebruikt:

- false alarm ratio = $LA/(R+LA)$: welke fractie van de gemodelleerde overschrijdingen is niet opgetreden? Variëert van 0 (best) tot 1 (slechtst).
- detectiewaarschijnlijkheid (hit rate) = $R/(R+M)$: welke fractie van de gemeten overschrijdingen is correct gemodelleerd? Variëert van 0 (slechtst) tot 1 (best).
- threat score (critical success index) = $R/(R+M+LA)$: hoe goed komen de gemodelleerde en de gemeten overschrijdingen met elkaar overeen? Hangt af van beide typen fouten (M en LA) en combineert dus in zekere zin de false alarm ratio en de detectiewaarschijnlijkheid. Variëert van 0 (slechtst) tot 1 (best).

Om de verschillende bias-correcties en ruimtelijke resoluties met elkaar te vergelijken zijn bovenstaande statistische gegevens berekend voor metingen van het LML-stationstype "regionaal". Dit is gedaan voor de laagste en voor de hoogste drempelwaarde die in het Dynamax-algoritme voorkomen, namelijk 40 µg/m³ en 50 µg/m³. Tabel 2 laat zien dat alle correcties de threat score aanzienlijk verhogen (evenals de false alarm ratio's en de detectiewaarschijnlijkheden). 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 (gearceerd in tabel 2). Dit is het gevolg van de relatief hoge waarde van de richtingscoëfficiënt b , waardoor vooral hoge waarden versterkt worden en het aantal

	# datapunten (gemiddeld per station)	# overschrijdingen (gemiddeld per station)		false alarm ratio	detectiewaar- schijnlijkheid (hit rate)	threat score (critical success index)
		meting	model			
drempelwaarde=40 µg/m ³						
Regionaal	348.5	47.4	49.5	0,45	0,57	0,39
Voorstad	342.5	60.3	62.0	0,44	0,57	0,40
Stad	351.8	71.0	65.5	0,41	0,55	0,40
Straat	344.7	81.7	58.9	0,31	0,50	0,41
station 131, Vredepeel - Vredeweg	350	52	61	0,52	0,56	0,35
station 230, Biest Houtakker - Biestsestraat	335	65	58	0,35	0,59	0,45
station 230, Biest Houtakker - Biestsestraat (lokale bias-correctie)	335	65	96	0,47	0,78	0,46
drempelwaarde=50 µg/m ³						
station 230, Biest Houtakker - Biestsestraat	335	26	18	0,50	0,35	0,26
station 230, Biest Houtakker - Biestsestraat (lokale bias-correctie)	334	26	53	0,66	0,69	0,30

Tabel 3. Overschrijdingsstatistiek voor het zoomdomein met de alternatieve correctie (vgl. 8). Voor deze tabel zijn data voor het jaar 2006 gebruikt.

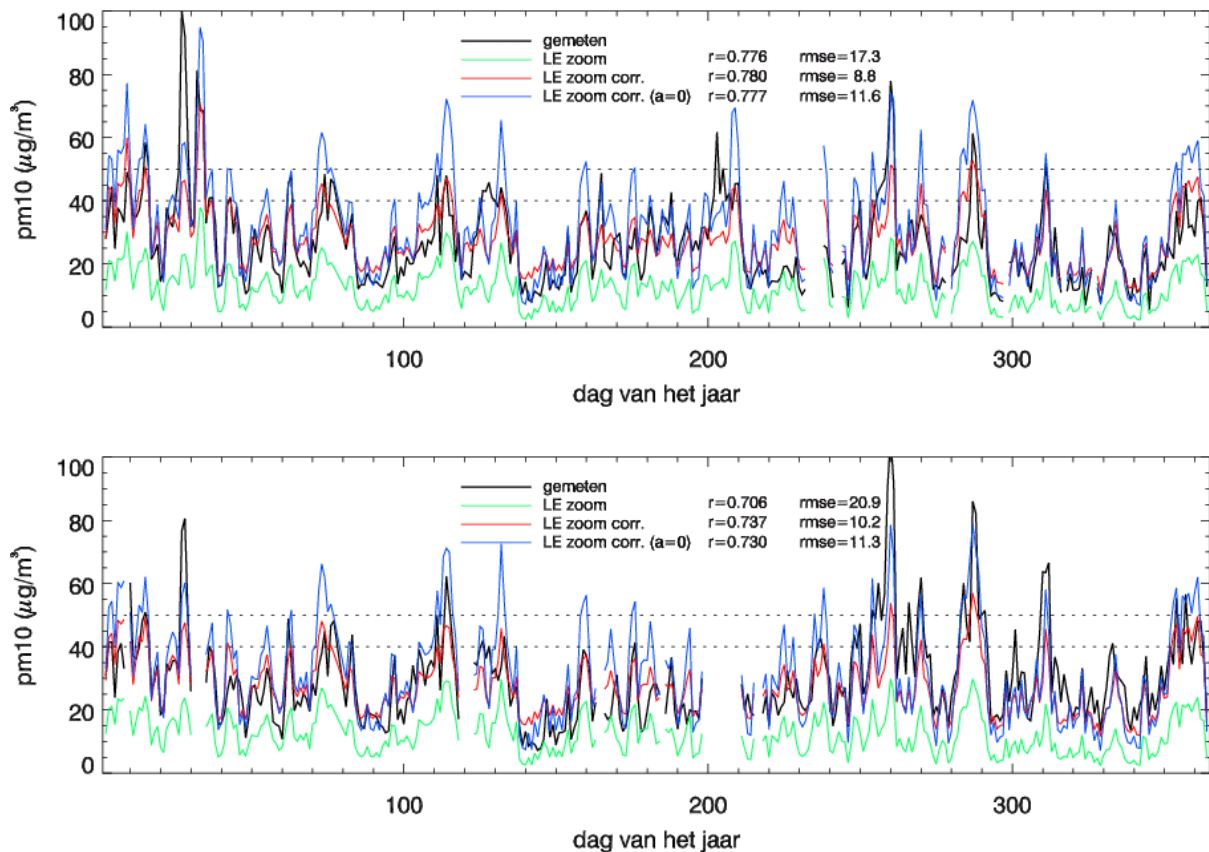
gemodelleerde overschrijdingen toeneemt. Nu wordt, bij een drempelwaarde van 40 µg/m³, 57% van de gemeten overschrijdingen correct gemodelleerd. Hiertegenover staat dat 45% van de gemodelleerde overschrijdingen niet heeft plaatsgevonden. Bij een drempelwaarde van 50 µg/m³ zijn de resultaten minder goed. Nu wordt 41% van de gemeten overschrijdingen correct gemodelleerd, terwijl de false alarm ratio nu 56% is.

Het is interessant om op te merken dat de richtingscoëfficiënt b met name bepaald wordt door dagen waarop de concentratie onder de drempelwaarde van 40 µg/m³ ligt, omdat deze dagen ver in de meerderheid zijn (zie figuur 2). Het is daarom verbazingwekkend dat het aantal overschrijdingsdagen zo goed gemodelleerd wordt met een dergelijke eenvoudige bias-correctie. Dit resultaat laat zien dat het LE model een realistische spreiding van modelwaardes toont.

Dat de alternatieve correctie die in dit rapport gegeven wordt (vergelijking 8) iets betere resultaten geeft dan de alternatieve correctie van Manders e.a. (2009) kan verschillende oorzaken hebben. Aan de ene kant hebben wij een maar één jaar aan data gebruikt om de correctie te bepalen, en niet drie jaar. Mogelijkerwijs is dit ene jaar niet zo representatief en zou voor een langere periode een correctie gevonden worden die overeenkomt met die van Manders e. a. (2009). Aan de andere kant gebruiken wij een iets andere versie van Lotos-Euros en is de gevonden correctie passend voor deze modelversie. Bovendien bevat vergelijking 8 een geleidelijke tijdsafhankelijkheid en is daardoor geschikt voor operationeel gebruik zoals bij Dynamax.

4.2 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. De overeenkomst tussen modelwaarde en waarneming neemt licht af 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 figuur 4 staan tijdreeksen voor deze twee afzonderlijke stations. Voor deze stations zijn de overschrijdingen evenredig verdeeld over alle jaargetijden; dit is gemiddeld over alle regionale LML-stations ook het geval. Bij een drempelwaarde van 40 µg/m³ wordt voor deze meetstations respectievelijk 56% en 59% van de gemeten overschrijdingen correct gemodelleerd. Voor het station in Biest Houtakker betekent dit dat van de 58 gemodelleerde overschrijdingen er 38 raak zijn en 20 loos alarm, terwijl er 65 gemeten zijn. Verder laat tabel 3 zien dat er voor dit station minder overschrijdingen gemodelleerd dan gemeten zijn. Dit zou aan de plaatselijke omstandigheden rond dit station kunnen liggen, waardoor de concentratie fijn stof er gemiddeld hoger ligt en er meer overschrijdingen gemeten worden dan bij de meeste andere regionale stations. De



Figuur 4. Gemeten en gemodelleerde daggemiddelde PM_{10} -concentratie tijdens 2006 voor de regionale LML-stations 131 (Vredepeel - Vredeweg, boven) en 230 (Biest Houtakker - Biestsestraat, onder). De gemodelleerde waarden zijn berekend op het zoomdomein zonder correctie, met correctie en met alternatieve correctie..

gebruikte bias-correctie is op alle regionale stations gebaseerd en voor levert voor station Biest Houtakker dus te lage concentraties. Omdat in de loop van de Dynamax-proef bleek dat er maar weinig overschrijdingen voorspeld werden en de maximumsnelheid dus niet vaak verlaagd hoefde te worden, is besloten om de PM_{10} -verwachting te baseren op een bias-correctie die specifiek voor Biest Houtakker geldig is. Hierdoor komen de verwachte PM_{10} -concentraties beter overeen met de hoge concentraties die daar gemeten worden en wordt er vaker een overschrijding voorspeld. Om Lotos-Euros niet tussentijds aan te hoeven passen is besloten om de bestaande correctie (gegeven door vgl. 8) te blijven gebruiken en op de resultaten een tweede correctie toe te passen. Deze is gebaseerd op een vergelijking met de metingen van station Biest Houtakker en luidt:

$$PM'_{10,corr} = 1,15 + 1,17 PM_{10,corr} \quad (9)$$

Met deze correctie worden neemt het aantal overschrijdingen sterk toe en worden er juist te veel berekend door het model (zie tabel 3). In dit opzicht verbetert deze correctie de resultaten dus niet, maar wel worden zowel de detectiewaarschijnlijkheid (meer treffers) als de false alarm ratio (meer loos alarm) verhoogd. Met een threat score van 0,46 is het gecombineerde resultaat iets beter dan zonder deze extra correctie.

# dagen vooruit	r	RMSE	# data- punten	# overschrijdingen		false alarm ratio	detectiewaar- schijnlijkheid (hit rate)	threat score (critical success index)	n
				meting	model				
Alle regionale stations									
0	0,69	9,9	370.6	34.7	36.5	0,48	0,55	0,36	
1	0,70	9,8	363.1	33.9	36.8	0,47	0,57	0,38	94
2	0,68	9,9	359.9	32.8	38.2	0,52	0,56	0,35	86
3	0,68	9,9	356.5	32.7	40.8	0,50	0,62	0,38	84
4	0,64	10,8	355.3	32.8	42.4	0,58	0,54	0,31	76
5	0,59	11,3	353.9	32.4	40.3	0,60	0,50	0,29	66
6	0,53	12,3	349.3	32.8	44.5	0,63	0,50	0,27	57
Station 230, Biest Houtakker - Biestsestraat (lokale bias-correctie)									
0	0,74	11,7	85	69	85	0,41	0,73	0,48	
1	0,74	11,6	83	66	83	0,42	0,73	0,48	96
2	0,70	12,2	86	65	86	0,45	0,72	0,45	90
3	0,70	11,9	90	65	90	0,43	0,79	0,49	80
4	0,64	13,3	91	65	91	0,46	0,75	0,46	76
5	0,63	13,4	82	65	82	0,48	0,66	0,41	72
6	0,55	15,2	95	63	95	0,54	0,70	0,39	62

Tabel 4. Statistische gegevens van de vergelijking tussen zesdaagse verwachting en waarnemingen, als functie van de verwachtingstermijn. Voor deze tabel zijn data van het jaar 2009 gebruikt. De aantallen datapunten en overschrijdingen zijn gemiddeld per station gegeven. De overschrijdingsstatistieken zijn berekend voor een drempel van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5 Zesdaagse verwachting

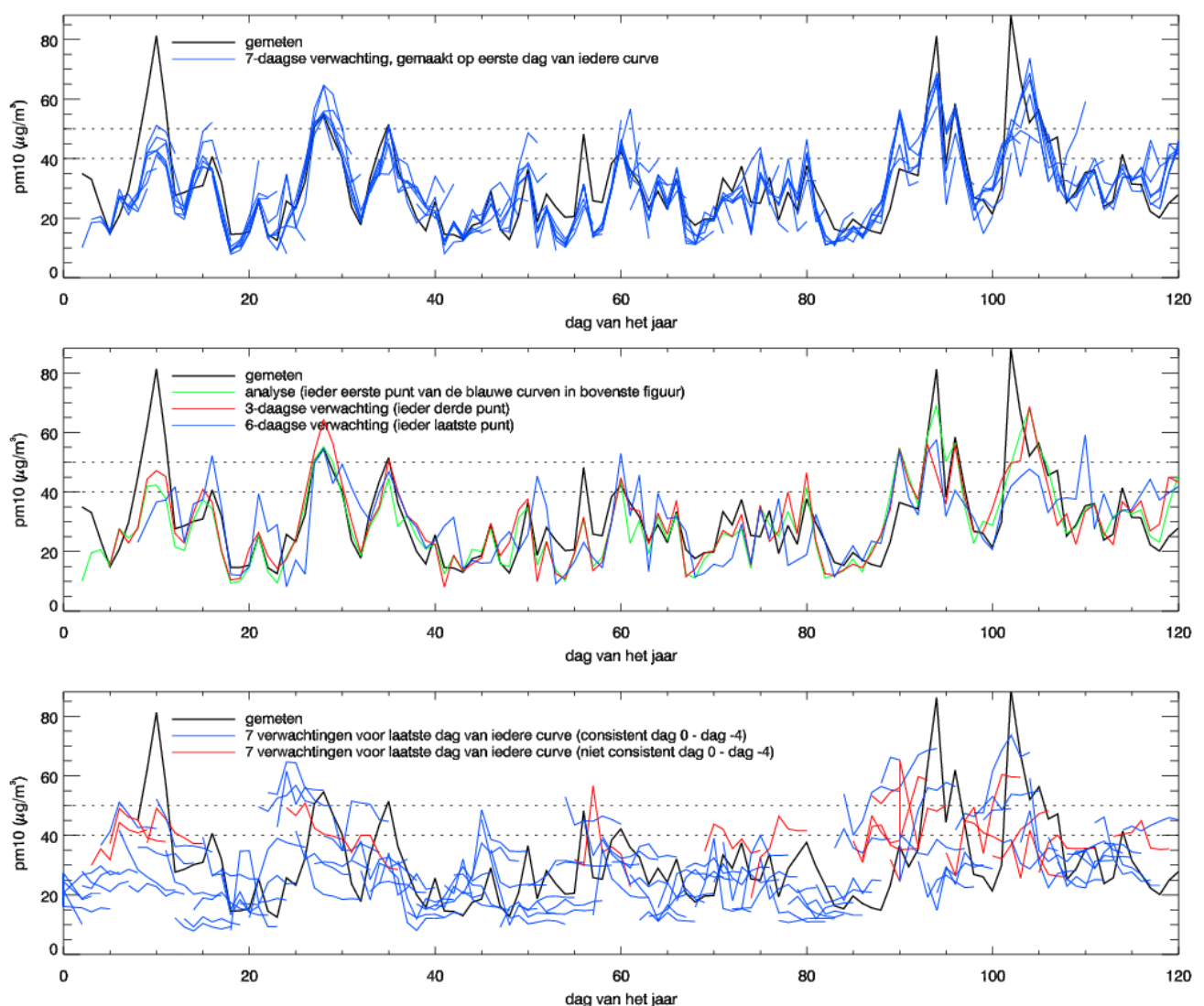
De resultaten tot nu toe in dit rapport gepresenteerd zijn, zijn gebaseerd op meteorologische analyses. Dit wil zeggen dat de berekeningen voor een bepaalde dag gebaseerd zijn op de meteorologische omstandigheden op die dag. Voor Dynamax heeft het KNMI echter een zesdaagse verwachting van de PM_{10} -concentratie berekend door Lotos-Euros aan te sturen met een zesdaagse weersverwachting. Deze bevat een onzekerheid die toeneemt met de verwachtingstermijn en die zal worden doorgegeven aan de PM_{10} -verwachting. Het verschil tussen PM_{10} -concentratie en daadwerkelijk gemeten waarde zal dus in het algemeen toenemen met de verwachtingstermijn. Hier is de nauwkeurigheid van de meerdaagse PM_{10} -verwachting voor heel Nederland geanalyseerd door deze te vergelijken met de metingen van de LML-stations. Dit gebeurt voor het jaar 2009, aan de hand van de modelverwachtingen die iedere dag voor Dynamax berekend zijn.

Op iedere dag en voor ieder regionaal LML-station is een zevendaagse reeks van PM_{10} -concentraties berekend: de analyse voor de voorgaande dag en de verwachting voor de huidige en de daaropvolgende vijf dagen. Uit de uurlijkse waarden van deze verwachtingen zijn daggemiddelde waarden berekend, waarna deze vergeleken zijn met de daggemiddelde waarnemingen van de LML-stations. In tabel 4 staan, als functie van de verwachtingstermijn, de resultaten voor alle regionale stations en voor station Biest Houtakker alleen (met lokale bias-correctie). De resultaten voor dag 0 (de analysedag) zijn te vergelijken met de resultaten voor de regionale stations in tabel 3, zij het dat ze nu voor 2009 berekend zijn en in tabel 3 voor 2006. Dat voor 2006 iets betere resultaten gevonden worden dan voor 2009, komt waarschijnlijk doordat de bias-correctie bepaald is aan de hand van de gegevens voor 2006.

Gemiddeld over alle regionale stations verslechteren de resultaten tot en met dag drie niet ten opzichte van dag nul: het percentage correct voorspelde overschrijdingen (de detectiewaarschijnlijkheid) ligt tussen 0,55 en 0,62 en de false alarm ratio rond 0,5. Pas vanaf dag vier veroorzaakt de onzekerheid in de meteorologische verwachting een steeds slechtere overeenkomst met de metingen. Voor station Biest Houtakker zijn de resultaten beter, wat waarschijnlijk een gevolg is van de lokale bias-correctie die gebruikt wordt. Dat de verwachting pas tegen het einde van de zesdaagse termijn sterk aan betrouwbaarheid verliest, is ook te zien in het bovenste paneel van figuur 5. Tegen het einde van iedere verwachtingsperiode van zeven dagen wijkt iedere blauwe curve het meest af van de metingen. In het algemeen volgt de verwachting de

metingen echter vrij nauwkeurig. Verder blijkt dat de verwachtingen redelijk stabiel in de tijd zijn: ze wijken niet veel van elkaar af (behalve tijdens de laatste één of twee dagen van iedere verwachting). Het middelste paneel van figuur 5 laat hetzelfde op een andere manier zien. De analyse en de driedaagse verwachting komen steeds vrij goed overeen met de metingen. Dit is veel minder het geval voor de zesdaagse verwachting die grote variaties van dag tot dag vertoont en dus minder stabiel in de tijd is.

In het onderste paneel van figuur 5 staan de verwachtingen opnieuw als zevendaagse curve afgebeeld, maar nu zo dat ze de stabiliteit van de verwachting voor een bepaalde dag weergeven. Iedere curve toont de zeven verwachtingen die zes tot nul dagen van tevoren gemaakt zijn voor de meest rechter dag (dag nul) van die curve. Bij een rechte en horizontale curve wordt een eenmaal gemaakte verwachting niet meer aangepast op een later tijdstip en is de verwachting volkomen stabiel. Voor Dynamax is het van belang dat de voorspelling van overschrijdingen zo stabiel mogelijk is en dat de curven de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lijn zo



Figuur 5. Gemeten en berekende daggemiddelde PM_{10} -concentratie tijdens de eerste vier maanden van 2009, gemiddeld over alle regionale LML-metstations. In het bovenste paneel is iedere blauwe curve zeven dagen lang en geeft deze de verwachting weer die gemaakt is op de eerste dag van die curve. Het middelste paneel toont in het groen de analyse die steeds op de betreffende dag gemaakt is (alle linker uiteinden van de blauwe curven in het bovenste paneel), in het rood de verwachting van drie dagen eerder en in het blauw de verwachting van zes dagen eerder (alle rechter uiteinden van de blauwe curven in het bovenste paneel). In het onderste paneel komen de blauwe en rode lijntjes overeen met de zeven verwachtingen die geldig zijn voor de laatste (meest rechter) dag van elk lijntje en die 0 tot 6 dagen eerder gemaakt zijn. De rode kleur geeft aan dat de 5 rechter verwachtingen (dag 0 tot dag -4) voor een deel boven en voor een deel onder $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liggen.

weinig mogelijk kruisen. Met dit criterium zijn, als dag vijf en zes van iedere verwachting buiten beschouwing gelaten worden, alle blauwe curven stabiel en de rode niet: elke rode curve kruist de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lijn minstens één keer. De stabiliteit van de verwachtingen kan ook kwantitatief bepaald worden door, als een overschrijding voorspeld wordt, te bepalen in welk percentage van de later gemaakte verwachtingen voor dezelfde dag ook een overschrijding voorspeld wordt. Het percentage verwachtingen (n) waarvoor dit het geval is staat in de laatste kolom van tabel 4. Gemiddeld over alle regionale stations en over heel 2009 neemt dit percentage geleidelijk af van 94% voor dag 1 tot 57% voor dag 6. De hoge percentages van rond de 80% voor dag 3 en 4 laten zien dat de verwachtingen redelijk stabiel zijn in de tijd.

6 Conclusies

Het chemie-transport model Lotos-Euros berekent de achtergrondwaarde van de PM_{10} -concentratie met een variabiliteit die de waarnemingen goed volgt en met een realistische spreiding van modelwaarden. 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. Om dit aantal te verhogen wordt een lineaire correctie op de modelwaarden toegepast, die met name de hoge waarden beter overeen laat komen met de metingen. Met deze correctie worden er ongeveer evenveel overschrijdingen gemodelleerd als gemeten: de drempelwaarde van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ werd in 2006 47,8 keer overschreden (gemiddeld over Nederland), terwijl het model 45,5 overschrijdingen berekent. Voor 2009 zijn deze aantallen wat lager: respectievelijk 34,7 en 36,5. De gemeten overschrijdingen zijn gelijk gedeeld over de maanden van het jaar. Van alle in 2006 en 2009 gemeten overschrijdingen wordt gemiddeld 56% correct gemodelleerd, waarbij aangetekend moet worden dat 47% van de voorspelde overschrijdingen niet daadwerkelijk plaats vindt.

De meerdaagse verwachting bevat ten opzichte van deze resultaten nog een extra onzekerheid. Tot drie dagen vooruit blijft de verwachting echter nog even betrouwbaar en pas vanaf de vierde dag worden overschrijdingen minder goed voorspeld. Dit heeft ook zijn invloed op de stabiliteit van de verwachting, die behoorlijk afneemt bij toenemende voorspellingstermijn. Bij korte voorspellingstermijnen is de verwachting in het algemeen echter behoorlijk stabiel, waarmee bedoeld wordt dat eenmaal gemaakte verwachtingen van overschrijdingen niet vaak aangepast worden op een later tijdstip. Van de overschrijdingen die bijvoorbeeld drie dagen van te voren voorspeld zijn, is 84% nog aanwezig in verwachtingen die op een later tijdstip voor dezelfde dag gemaakt worden. Dit wil niet zeggen dat de driedaagse verwachting slechter is dan de twee- of ééndaagse verwachting, maar slechts dat ze onderling enigszins verschillen.

Ondanks de behoorlijk grote stabiliteit kan het nog steeds voorkomen dat de voorspelling van een overschrijding nog vrij kort van te voren aangepast wordt. Voor een toepassing als Dynamax is dit hinderlijk, omdat een overschrijding het liefst een paar dagen van te voren voorspeld moet kunnen worden, zonder later weer ingetrokken te worden. Een snelheidsmaatregel heeft namelijk meer effect als hij tijdig genomen wordt en is bovendien een aantal dagen van te voren gemakkelijker in te plannen dan 1 dag van te voren. Uit de resultaten blijkt dat dit mogelijk is, omdat de verwachting tot drie dagen vooruit even betrouwbaar blijft. Een snelheidsmaatregel voor een bepaalde dag kan dus heel goed afgestemd worden op de driedaagse verwachting van twee dagen geleden waarbij meer recente verwachtingen genegeerd worden.

7 Literatuur

Hooghwerff, J., E.S.A.W. van Gils en W.J. van der Heijden (2010). A58 Dynamax. Effect Dynamax op NO_x . *M+P rapport M+P.DVS.08.16.3*.

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 and R. Hoogerbrugge (2009). Testing the capability of the chemistry transport model LOTOS-EUROS to forecast PM₁₀ levels in the Netherlands. *Atmospheric Environ.*, 42(26), 4050-4059.
- 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.
- Voogt, M.H. en Jonkers, S. (2010). A58 – Analyse fijnstofmetingen. *TNO rapport TNO-034-UT*.