



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

**Verbeterde actuele
luchtkwaliteitskaarten**

Validatie interpolatiemodel RIO Nederland

RIVM rapport 680704024/2014

D. Mooibroek



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Verbeterde actuele luchtkwaliteitskaarten

Validatie interpolatiemethode RIO Nederland

RIVM Rapport 680704024/2014

Colofon

© RIVM 2014

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.

D. Mooibroek

Contact:

Dennis Mooibroek
Centrum Milieukwaliteit
dennis.mooibroek@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Directoraat-Generaal Milieubeheer, in het kader van project 680704 'Rapportage Luchtkwaliteit'.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Verbeterde actuele luchtkwaliteitskaarten: validatie interpolatiemethode RIO Nederland

Het RIVM heeft een nieuwe methode onderzocht waarmee elk uur voor iedere locatie in Nederland de actuele concentratie van de luchtverontreinigende stoffen stikstofdioxide, ozon en fijn stof wordt berekend. Met deze methode komt de berekende concentratie van stikstofdioxide in stedelijk gebied beter overeen met de gemeten waarden. Op basis van dit onderzoek gaat deze methode op korte termijn de huidige methode vervangen.

Het RIVM presenteert elk uur de actuele luchtkwaliteitskaarten voor stikstofdioxide, ozon en fijn stof in Nederland op de website van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). Meetgegevens van representatieve LML-locaties worden gebruikt om te berekenen wat de concentraties voor de rest van Nederland, buiten de meetpunten om, zijn. De huidige rekenmethode om deze kaarten te maken, genaamd INTERPOL, heeft een aantal beperkingen. Hierdoor worden bijvoorbeeld stikstofdioxideconcentraties in stedelijk gebied vaak onderschat.

In België is een betere interpolatiemethode ontwikkeld. Deze methode, de RIO (residual interpolation optimised for ozone) interpolatiemethode, wordt daar gebruikt voor luchtkwaliteitskaarten die het publiek informeren over de actuele luchtkwaliteit. In 2009 is de RIO interpolatiemethode in opdracht van het RIVM zodanig uitgebreid en aangepast dat hij ook in Nederland kan worden gebruikt.

Trefwoorden: luchtkwaliteit, interpolatiemethode, fijn stof, stikstofdioxide, ozon

Abstract

Improved real-time air quality maps: validation interpolation method RIO Netherlands

The RIVM has evaluated a new air quality evaluation tool that enables estimates of current concentrations of the air pollutants nitrogen dioxide, ozone and particulate matter to be calculated on an hourly basis for all areas in the Netherlands. Compared to estimates obtained using current technology, the calculated estimates of nitrogen dioxide concentrations in urban areas, in particular, are more in line with the measured values. The results from this study have led to the decision that the new technique will replace the current method in the near future.

The website of the National Air Quality Monitoring Network (LML) operated by the RIVM provides hourly updates of current air quality maps for nitrogen dioxide, ozone and particulate matter in the Netherlands. Measurements at representative LML locations are used to calculate estimates of the concentrations of these air pollutants at locations in the Netherlands falling outside the range of these monitoring stations. However, the current method for deriving these estimated concentrations, called INTERPOL, has a number of limitations, including the tendency to underestimate nitrogen dioxide concentrations in urban areas.

An improved interpolation method developed in Belgium (RIO: residual interpolation optimised for ozone) is used in that country to inform the public about the current air status using air quality maps based on the spatial interpolation of air quality measurements. In 2009, under the commission of the RIVM, the RIO interpolation method was extended and adapted for use in the Netherlands.

Keywords: air quality, interpolation method, particulate matter, nitrogen dioxide, ozone

Inhoud

1	Inleiding – 9
1.1	RIO-interpolatietechniek – 9
1.2	Initiële validatie realtime-interpolaties met het RIO-model – 10
1.3	Gebruikte data – 11
1.4	Uitgevoerde vergelijkingen – 11
1.5	Lineaire regressie – 11
1.6	Kwaliteitsindicatoren – 12
1.6.1	BIAS – 12
1.6.2	RMSE – 12
1.6.3	Pearsons lineaire correlatie coëfficiënt – 13
1.6.4	Grafische weergave kwaliteitsindicatoren – 13
2	Interpolatie met INTERPOL – 15
2.1	Luchtkwaliteitskaarten website LML – 15
2.2	Benadering luchtkwaliteitskaarten via INTERPOL – 15
2.3	INTERPOL-resultaten stikstofdioxide – 17
2.4	INTERPOL-resultaten ozon – 18
2.5	INTERPOL-resultaten fijn stof – 19
3	Interpolatie met RIO-model – 21
3.1	Stikstofdioxide – 23
3.1.1	Gebruik alle typen stations – 23
3.1.2	Gebruik regionale en stedelijke achtergrondstations – 25
3.1.3	Vergelijking interpolatie met en zonder verkeersbelaste locaties – 25
3.2	Ozon – 28
3.2.1	Gebruik alle typen stations – 28
3.2.2	Gebruik regionale en stedelijke achtergrondstations – 28
3.2.3	Vergelijking interpolatie met en zonder verkeersbelaste locaties – 29
3.3	Fijn stof – 31
3.3.1	Gebruik alle typen stations – 31
3.3.2	Gebruik regionale en stedelijke achtergrondstations – 32
3.3.3	Vergelijking interpolatie met en zonder verkeersbelaste locaties – 32
3.4	Gebruik stedelijke achtergrond- en verkeersbelaste stations in RIO – 34
4	Vergelijking INTERPOL met RIO-model – 35
4.1	Stikstofdioxide – 35
4.2	Ozon – 38
4.3	Fijn stof – 41
5	Vergelijking nieuwe stations – 45
5.1	Stikstofdioxide – 45
5.2	Ozon – 46
5.3	Fijn stof – 48
6	Conclusies – 49
	Literatuur – 51
	Bijlage A: Beschrijving INTERPOL – 53

Bijlage B: Corine Land Cover – 55

1 Inleiding

Op de website van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) worden landsdekkende concentratiekaarten weergegeven voor stikstofdioxide, fijn stof en ozon. Deze uurlijkse concentratiekaarten worden via een interpolatietechniek aan de hand van actuele meetwaarden in het LML bepaald.

De huidige methode van interpoleren van gemeten concentraties, genaamd INTERPOL, kent echter een aantal beperkingen. Zo worden voor de huidige berekening van de kaarten alleen de metingen op regionale achtergrondstations (platteland) gebruikt. Deze metingen zijn vaak representatief voor een groter gebied. Concentraties gemeten op zowel stedelijke achtergrond als verkeersbelaste stations zijn echter vaak representatief voor een beperkt gebied rondom de locatie en daarom niet zonder meer te gebruiken bij het uitvoeren van een interpolatie. Door het gebruik van alleen regionale meetresultaten worden lokale effecten in de berekende kaarten onvoldoende in rekening gebracht. Hierdoor worden bijvoorbeeld stikstofdioxideconcentraties in stedelijk gebied vaak onderschat.

Om tegemoet te komen aan onder andere deze onderschattingen werd in België een interpolatietechniek ontwikkeld die rekening houdt met het lokale karakter van luchtverontreiniging. Deze techniek, de RIO (residual interpolation optimised for ozone) interpolatietechniek ontwikkeld door VITO in samenwerking met de Intergewestelijke Cel voor het Leefmilieu (IRCEL), wordt in België gebruikt om het publiek te informeren over de actuele luchtkwaliteit (Hooybergs et al., 2006; Janssen et al., 2008; Janssen et al., 2012). Realtime-RIO-luchtkwaliteitskaarten voor België worden gepubliceerd op de website van IRCEL (www.irceline.be).

In 2009 werd de RIO-interpolatiemethode in opdracht van het RIVM door VITO uitgebreid en aangepast, zodanig dat ook toepassing in Nederland mogelijk werd (Veldeman et al., 2009). Dit rapport geeft een korte introductie van deze nieuwe interpolatietechniek voor Nederland en een vergelijking van de prestaties ten opzichte van de tot nu gebruikte methode INTERPOL.

De huidige interpolatietechniek is gekoppeld aan en sterk verweven met het huidige data-acquisitiesysteem van het LML. De data-acquisitie van het LML gaat binnenkort over op een nieuw datasysteem (GELUK). De huidige interpolatietechniek is echter vanwege de koppeling moeilijk over te zetten naar deze nieuwe situatie. Indien de prestatie van de RIO-interpolatiemethode vergelijkbaar of beter is met de huidige methode is het RIO-model een kandidaat om bij de overgang van het data-acquisitiesysteem het oude INTERPOL te vervangen.

1.1 RIO-interpolatietechniek

Het RIO-model bestaat uit een intelligente interpolatietechniek waarbij het lokale karakter van een meetstation eerst verwijderd wordt, het zogenaamde 'detrenden'. Een stedelijke omgeving zal immers bijvoorbeeld systematisch hogere stikstofdioxideconcentraties kennen door verhoogde uitstoot van verkeer, en bijvoorbeeld lagere ozonconcentraties door verhoogde stikstofoxideproductie. Na de 'detrending'-stap ontstaat er een ruimtelijke homogene dataset van luchtkwaliteitsmetingen die gezamenlijk kunnen worden

geïnterpoleerd. De hiervoor gebruikte interpolatietechniek staat bekend als 'Ordinary Kriging'.

Als laatste stap in het interpolatieproces wordt het lokale karakter voor de gebruikte meetlocaties weer toegevoegd. Het lokale karakter voor de meetlocaties is bepaald door een statistische analyse van de concentratieniveaus op deze locaties over de periode 2004-2008 en het landgebruik (Corine Land Cover (CLC) 2000) in de buurt van deze locaties. De CLC2000 beschrijft het landgebruik in heel Europa met een resolutie van 100x100 m² (Bijlage A).

Uit de voor België en Nederland uitgevoerde analyse blijkt dat er sprake is van een robuuste correlatie tussen landgebruik en de concentratieniveaus. Deze correlatie wordt vervolgens samengevat in trendfuncties. Aan de hand van het landgebruik van de CLC2000 dataset kan het lokale karakter voor elke locatie waarop geïnterpoleerd wordt in rekening worden gebracht.

Door VITO is de ruimtelijke resolutie van de RIO-interpolatietechniek vastgesteld op 4x4 km² (Janssen et al., 2008). Met het RIO-model is het mogelijk om op elk uur voor alle gridcellen van 4x4 km² in Nederland de luchtkwaliteit op basis van meetresultaten te schatten. Ontbrekende meetresultaten van meetlocaties en plekken waar niet wordt gemeten, worden ingevuld door de interpolatie van de metingen van de meetlocaties die wel beschikbaar zijn.

1.2 Initiële validatie realtime-interpolaties met het RIO-model

De RIO-interpolatietechniek is initieel door VITO gevalideerd met de 'leaving-one-out'-methode. Daarbij wordt een interpolatie gedaan met de metingen van alle behalve één meetlocatie. De gemeten concentraties op deze meetlocaties worden vervolgens vergeleken met de geïnterpoleerde concentratie. Aan de hand van een aantal kwaliteitsindicatoren kan een beeld gevormd worden van de betrouwbaarheid van het RIO-model (Veldeman et al., 2009). Deze kwaliteitsindicatoren zijn RMSE (Root Mean Square Error), BIAS en MAE (Mean Absolute Error) en worden weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Statistische kwaliteitsindicatoren (RMSE, BIAS en MAE) voor de concentraties van verschillende luchtverontreinigende stoffen (max 1u NO₂, max 1u O₃, daggemiddelde PM₁₀) uitgemiddeld over alle beschikbare Nederlandse stations voor RIO Nederland. Ter vergelijking worden ook de waarden voor RIO België weergegeven (Veldeman et al., 2009)

Type		RMSE	BIAS	MAE
NO ₂ (max 1u)	NL	15,55	-1,27	12,32
	BE	14,45	-0,67	11,23
O ₃ (max 1u)	NL	8,85	-0,06	6,68
	BE	9,56	-0,08	6,89
PM ₁₀ (daggem.)	NL	6,09	-0,22	4,25
	BE	9,89	0,01	6,98

Uit de vergelijking van de statistische kwaliteitsindicatoren blijkt dat de performance van het RIO-model in Nederland vergelijkbaar is met die in België.

1.3 Gebruikte data

De door het RIO-model uitgevoerde berekeningen voor de luchtverontreinigende stoffen stikstofdioxide, ozon en fijn stof zijn gebaseerd op actuele ongevalideerde meetwaarden van het LML. Op deze data wordt wel een datascreening, conform het validatieprotocol van het LML, toegepast waarbij meetwaarden kleiner dan $-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ worden verwijderd. Alle andere meetwaarden worden 'as-is' meegenomen in het RIO-interpolatiemodel.

De in dit rapport uitgevoerde vergelijkingen zijn gebaseerd op de meetgegevens van het LML over de periode van 1 januari 2013 tot 1 september 2013.

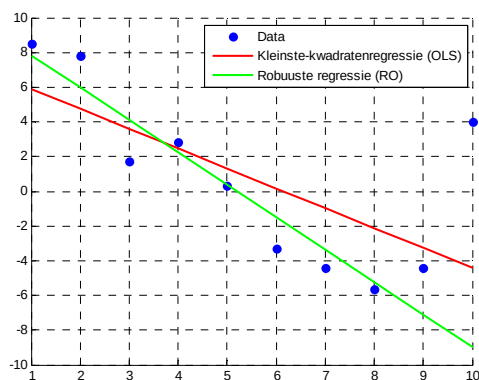
1.4 Uitgevoerde vergelijkingen

In dit rapport worden vergelijkingen gemaakt tussen de huidige methode INTERPOL en het RIO-model voor Nederland. Zo wordt voor beide methoden de gemeten waarde op een station vergeleken met de geïnterpoleerde gridwaarde van het gebied waarin dit station ligt. Elke berekende gridcel bestrijkt een relatief groot gebied; voor INTERPOL is dit een gebied van $5 \times 5 \text{ km}^2$, voor het RIO-model $4 \times 4 \text{ km}^2$. Hierdoor is het waarschijnlijk dat geïnterpoleerde waarden voor gridcellen waarin zich lokaal belaste LML-stations bevinden bij hoge metingen sterk onderschat zullen worden.

De parametrisatie van het RIO-model is uitgevoerd aan de hand van meetdata over de periode 2004-2008. Sindsdien zijn een aantal nieuwe locaties bijgekomen in het LML waar metingen worden verricht aan stikstofdioxide, ozon en fijn stof. Aan de hand van een vergelijking tussen de gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen op deze onafhankelijke stations kan er gekeken worden naar de betrouwbaarheid van het RIO-model.

1.5 Lineaire regressie

In beide vergelijkingen wordt gebruik gemaakt van lineaire regressie om de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen op verschillende typen stations weer te geven. Initieel is hiervoor gebruik gemaakt van regressie op basis van de kleinste-kwadratenmethode ('Ordinary Least Squares' (OLS)). De resultaten van deze methode kunnen door uitschieters in de dataset sterk beïnvloed worden. Om deze reden is naast de OLS-methode ook een robuuste regressie toegepast. Bij deze vorm van regressie hebben uitschieters in de data minder invloed op de resultaten. Een voorbeeld van de invloed van een uitschieter ($x=10$) op de resultaten van beide regressiemethoden wordt weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Voorbeeld van hoe een uitschieter in de data de resultaten van de kleinste-kwadraten regressie (rode lijn) kan beïnvloeden. De robuuste regressie (groene lijn) is hier veel minder gevoelig voor en geeft daarom een betere beschrijving voor het merendeel van de data.

1.6 Kwaliteitsindicatoren

Om een beeld te kunnen schetsen van de vergelijkbaarheid van beide interpolatiemethoden wordt voor regionale achtergrond-, stedelijke achtergrond- en verkeersbelaste locaties een aantal kwaliteitsindicatoren berekend. Deze kwaliteitsindicatoren zijn, naast de richtingscoëfficiënt uit de lineaire regressie, het gemiddelde verschil tussen de geïnterpoleerde en gemeten waarnemingen (BIAS), de 'root mean square error' (RMSE) en de Pearson lineaire correlatie coëfficiënt (r).

1.6.1 BIAS

De BIAS is gedefinieerd als:

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{model,i} - X_{obs,i})}{n}$$

met X_{model} als geïnterpoleerde waarneming en X_{obs} als de gemeten waarneming.

1.6.2 RMSE

De Root Mean Square Error (RMSE) is een veelgebruikte maatstaf voor het weergeven van het verschil tussen waarden voorspeld door een model en de daadwerkelijke waarnemingen. Deze individuele verschillen worden ook wel de residuen genoemd, en de RMSE voegt deze samen tot één getal.

De RMSE is een van de parameters die wordt berekend wanneer lineaire regressie wordt uitgevoerd en wordt als volgt bepaald:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

met X_{model} als geïnterpoleerde waarneming en X_{obs} als de gemeten waarneming.

In dit rapport maken we een onderscheid tussen de RMSE bepaald naar aanleiding van het lineaire model opgesteld uit de kleinste-kwadratenmethode en uit de robuuste regressiemethode.

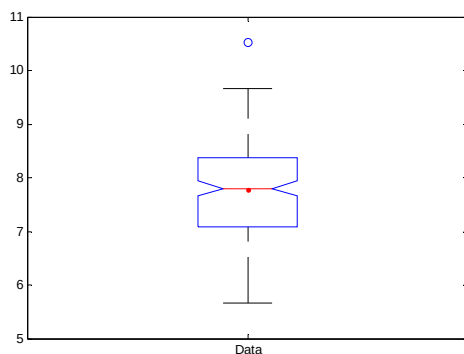
1.6.3 Pearsons lineaire correlatie coëfficiënt

De Pearsons lineaire correlatiecoëfficiënt (r) wordt bepaald via:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

1.6.4 Grafische weergave kwaliteitsindicatoren

In dit rapport worden de kwaliteitsindicatoren ook weergegeven in zogenaamde 'boxplots'. Deze grafieken worden ook wel 'box & whisker plots' genoemd. In deze grafieken worden diverse statistische eigenschappen van de data grafisch weergegeven.



Figuur 2 Voorbeeld van een boxplot.

In Figuur 2 wordt een voorbeeld van een boxplot weergegeven. In deze figuur geven de boven- en onderkant van de blauwe box respectievelijk het 25 (P25) en 75 (P75) percentiel weer. De ruimte tussen deze percentielen wordt het 'Interquartile Range' (IQR) genoemd.

De box bevat verder een rode horizontale lijn. Deze geeft de mediaan van de data weer. De inkepingen in de box geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van de median weer. De rode stip is het gemiddelde van de gepresenteerde data.

De zwarte 'whiskers' laten de laagste en hoogste waarde zien die niet als een uitbijter worden beschouwd. Uitbijters zijn punten die op een bepaalde afstand buiten de blauwe box liggen. Hierbij wordt het onderscheid gemaakt tussen een standaard uitbijter en een extreme uitbijter. De standaard uitbijter ligt tussen de afstanden $1,5 \times \text{IQR}$ en $3,0 \times \text{IQR}$ en wordt weergegeven met een open blauw rondje. De extreme uitbijter ligt op een afstand groter dan $3,0 \times \text{IQR}$ en wordt weergegeven met een gesloten blauw rondje (niet zichtbaar in Figuur 2).

2 Interpolatie met INTERPOL

Het programma INTERPOL berekent aan de hand van een set van gegevens op basis van afstandsinterpolatie geïnterpoleerde waarden op een regelmatig raster. Meer informatie over de achterliggende techniek van INTERPOL is te vinden in Bijlage A.

2.1 Luchtkwaliteitskaarten website LML

Voor het maken van de luchtkwaliteitskaarten voor stikstofdioxide, ozon, fijn stof en voorheen zwaveldioxide op de website wordt gebruik gemaakt van een versie van INTERPOL. Door middel van een grote verwevenheid met andere 'third-party'-software worden de resultaten van de interpolatie omgezet in een afbeelding die op de website getoond kan worden. Tussenproducten, zoals het berekende grid, worden niet bewaard.

Het is onduidelijk welke instellingen gehanteerd worden voor zowel de interpolatiestraal als het zoekgebied. Gezien de resultaten voor zwaveldioxide, waarbij na sluiting van een groot deel van de meetstations halverwege 2011 (Swaluw et al., 2012; Mooibroek et al., 2012) een groot gedeelte van Nederland met 'missing values' werd aangeduid, is het aannemelijk dat voor het zoekgebied de default instelling van 150 km wordt gehanteerd. Door de sluiting van meetstations werd er in bepaalde gebieden niet meer voldaan aan het criterium dat er minimaal vier meetpunten in het zoekgebied dienen te liggen. Daarnaast zal er in deze versie waarschijnlijk ook gebruikt gemaakt zijn van de mogelijkheid om de dynamische interpolatiestraal te bepalen. Deze straal geeft aan tot welke afstanden de meetlocaties nog met elkaar gecorreleerd zijn en is daarom ook afhankelijk van het aantal meetlocaties die tijdens de interpolatie worden gebruikt.

2.2 Benadering luchtkwaliteitskaarten via INTERPOL

Met behulp van een recente INTERPOL-versie (1.7), de meetgegevens op regionale achtergrondstations en de default instellingen voor INTERPOL kunnen de luchtkwaliteitskaarten zoals weergegeven op de website van het LML benaderd worden. Er zal echter nog wel sprake zijn van een afwijking, doordat voor de initiële berekeningen voor de website gebruik gemaakt is van actuele ongevalideerde data, terwijl in deze benadering alleen gevalideerde data worden gebruikt.

Door het verschil in gebruikte data is een rechtstreekse vergelijking tussen de werkelijke methode en de benadering hiervan niet mogelijk. Wel geeft de benadering een goede schatting van de geïnterpoleerde luchtkwaliteitskaarten zoals berekend met de werkelijke methode.

Voor de periode van 1 januari 2013 tot 31 augustus 2013 zijn voor elk van de componenten stikstofdioxide, ozon en fijn stof op elk uur berekeningen met het programma INTERPOL uitgevoerd. Het verkregen gridbestand heeft een resolutie van 5x5 km² en is hiermee iets grover dan het RIO-model; dit heeft een resolutie van 4x4 km².

In de volgende paragrafen worden de resultaten van stikstofdioxide, ozon en fijn stof besproken.

Naamgeving datasets voor INTERPOL

De meetgegevens van het LML voor de componenten fijn stof, stikstofdioxide en ozon worden gebruikt om met behulp van interpolatie een landsdekkend beeld over Nederland te berekenen.

Echter niet alle beschikbare meetgegevens worden gebruikt in de interpolatie. Hierdoor is er sprake van verschillende datasets die gebruikt worden voor de interpolatie (interpolatieset (IP)) en voor de vergelijking van de meetwaarden met de geïnterpoleerde waarde (validatieset (VS)). Het gebruik van een interpolatieset (trainingsset) en een validatieset wordt vaak toegepast bij kruisvalidatie. Een voorbeeld hiervan is de '*leaving-one-out*' methode zoals beschreven in paragraaf 1.2. Normaal gesproken is bij een kruisvalidatie sprake van een (deels) onafhankelijke validatieset. In de vergelijking van geïnterpoleerde waarnemingen en de metingen zoals beschreven in dit rapport is dit niet altijd het geval.

In deze rapportage worden voor het INTERPOL-model één interpolatieset gebruikt, namelijk:

- **Interpolatieset INT-IS-1:** Deze set bestaat uit gevalideerde meetgegevens voor de periode januari-augustus 2013 op alle beschikbare regionale achtergrondstations.

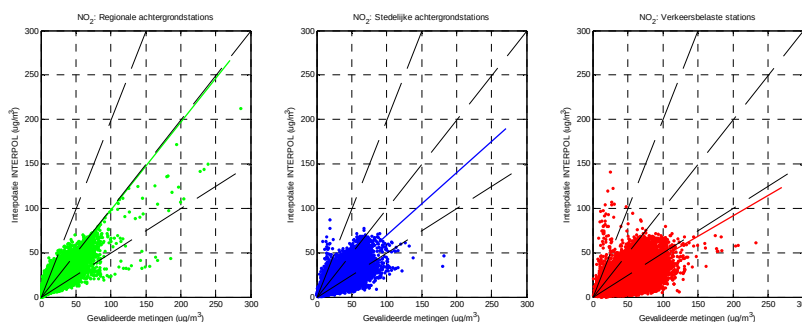
Om de geïnterpoleerde waarden uit INTERPOL te vergelijken met meetwaarden is er een validatieset opgesteld:

- **Validatieset INT-VS-1:** Voor deze set wordt gebruik gemaakt van gevalideerde meetgegevens voor januari-augustus 2013 op alle beschikbare stations. Hierdoor is een deel van de validatieset, namelijk de meetgegevens op stedelijke achtergrond en verkeersbelaste stations, onafhankelijk.

Het gebruik van een afhankelijke validatieset levert niet automatisch een perfecte 1-op-1 relatie op met de uitkomsten van de interpolatieset. De concentraties van de gridcellen waarin de meetstations zich bevinden, zijn het resultaat van de interpolatie en kunnen hierdoor afwijken van de werkelijk gemeten concentratie.

2.3 INTERPOL-resultaten stikstofdioxide

Aan de hand van de uurlijks gemeten waarden op alle stations, die ook in het RIO-model worden gebruikt, zijn op deze locaties de waarde van het geïnterpoleerde gridcel bepaald. Deze geïnterpoleerde waarnemingen zijn vergeleken met de werkelijk gemeten waarnemingen. In Figuur 3 worden de resultaten voor deze vergelijking weergegeven.



Figuur 3 Gevalideerde metingen (INT-VS-1) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van stikstofdioxide met INTERPOL voor regionale achtergrond (links), stedelijke achtergrond (midden) en verkeersbelaste (rechts) stations. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met INTERPOL zijn alleen meetresultaten van regionale achtergrondstations gebruikt (dataset INT-IS-1).

In het programma INTERPOL wordt alleen gebruik gemaakt van meetgegevens van regionale achtergrondstations. Hierdoor is de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen op regionale achtergrondstations met $y=0,99x$ gemiddeld over meerdere stations en over een langere periode goed te noemen. Vooral hoge waarnemingen lijken vaak onderschat te worden. De mate van de individuele onderschatting op een station is afhankelijk van het aantal andere regionale stations in de buurt en de concentratieniveaus op deze nabij gelegen stations.

In Figuur 3 worden ook de waarnemingen van stedelijke achtergrondstations weergegeven. Deze relatie is beduidend slechter en over het algemeen worden de geïnterpoleerde concentratieniveaus voor stikstofdioxide op deze locaties stelselmatig onderschat. Opvallend is ook dat op enkele incidentele uren waarop de gemeten stikstofdioxide uurwaarde op deze locaties relatief laag is, er wel een hogere geïnterpoleerde waarde wordt bepaald. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door incidenteel verhoogde stikstofdioxide waarnemingen op een regionaal achtergrondstation nabij deze stedelijke achtergrondstations.

Voor verkeersbelaste stations slaagt INTERPOL er niet in om een goede relatie tussen de metingen en de geïnterpoleerde waarnemingen te produceren. Dit is, gezien het feit dat INTERPOL alleen gegevens van regionale achtergrondstations gebruikt en de concentratie op dit type stations normaliter lager is dan op stedelijk en straatniveau, geen verrassing (Tabel 2).

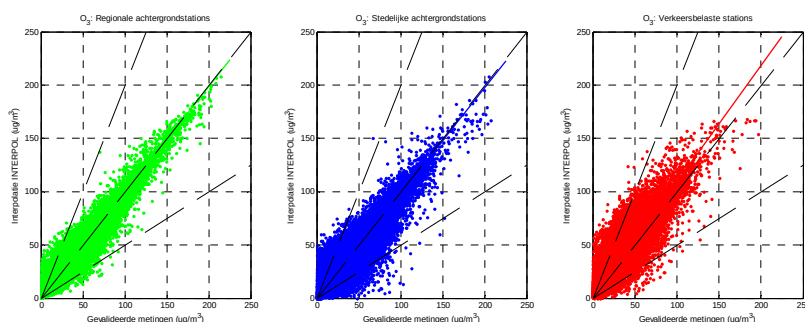
Tabel 2 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error ($RMSE$) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten (INT-VS-1) en geïnterpoleerde (interpolatie met INT-IS-1) stikstofdioxidewaarnemingen op elke stationslocatie uitgesplitst per type station.

Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
INT-VS-1	108034	0,93	0,99	4,3	2,2	0,1	0,93
Stedelijke achtergrondstations							
INT-VS-1	34308	0,67	0,70	7,1	5,9	-5,9	0,79
Verkeersbelaste stations							
INT-VS-1	68653	0,46	0,46	8,7	7,8	-16,6	0,63

2.4

INTERPOL-resultaten ozon

In Figuur 4 worden de resultaten voor de vergelijking van INTERPOL voor ozon weergegeven. In tegenstelling tot stikstofdioxide, een component met veel lokale verhogingen, is ozon een grootschaliger component met minder lokale variatie. Dit is terug te zien in de vergelijking van de ozonmetingen en de geïnterpoleerde waarden; de resultaten van INTERPOL voor ozon op zowel de regionale als de stedelijke achtergrondstations zijn goed.



Figuur 4 Gevalideerde metingen (INT-VS-1) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van ozon met INTERPOL voor regionale achtergrond (links), stedelijke achtergrond (midden) en verkeersbelaste (rechts) stations. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met INTERPOL zijn alleen meetresultaten van regionale achtergrondstations gebruikt (dataset INT-IS-1).

Er is wel sprake van een lichte overschatting van geïnterpoleerde ozonconcentraties op verkeersbelaste locaties (Tabel 3). Deze overschatting kan verklaard worden door de reactie van ozon met stikstofoxide afkomstig van lokale verkeersemissies. Dit straateffect wordt bij de interpolaties uiteraard niet verdisconteerd.

Tabel 3 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error ($RMSE$) voor zowel OLS als robuuste regressie, $BIAS$ en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten ($INT-VS-1$) en geïnterpoleerde (interpolatie met $INT-IS-1$) ozonwaarnemingen op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

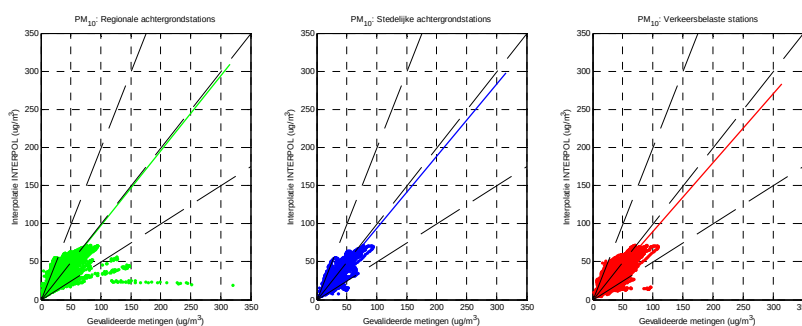
Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	$RMSE$ (OLS)	$RMSE$ (RO)	$BIAS$	r
Regionale achtergrondstations							
INT-VS-1	107235	0,99	0,99	4,9	2,5	-0,1	0,98
Stedelijke achtergrondstations							
INT-VS-1	34225	0,97	0,99	10,4	8,7	0,1	0,92
Verkeersbelaste stations							
INT-VS-1	28448	1,10	1,09	13,6	12,3	7,5	0,88

2.5 INTERPOL-resultaten fijn stof

De landsdekkende concentratiekaarten voor stikstofdioxide en ozon worden op uurbasis gemaakt. Voor fijn stof is deze procedure anders; vanwege het gebruikte meetprincipe kunnen opeenvolgende uren op een meetstation sterk afwijken. Oorzaken hiervoor zijn bijvoorbeeld vervuiling op de filters (vliegjes) of opeenhoping van vocht.

Om de invloed van deze verhoogde concentraties enigszins te dempen wordt voor fijn stof daarom gebruik gemaakt van een glijdend 24-uursgemiddelde. Hierbij wordt voor elk actueel uur het gemiddelde van dat en de vorige 23 uren bepaald. Voor de berekening in INTERPOL dient minstens 75% (18 uur) van de waarnemingen in de gekozen periode aanwezig te zijn.

Figuur 5 laat de resultaten voor de vergelijking van INTERPOL voor fijn stof zien.



Figuur 5 Gevalideerde metingen ($INT-VS-1$) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van fijn stof met INTERPOL voor regionale achtergrond (links), stedelijke achtergrond (midden) en verkeersbelaste (rechts) stations. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met INTERPOL zijn alleen meetresultaten van regionale achtergrondstations gebruikt (dataset $INT-IS-1$).

Wat opvalt in Figuur 5 is het aantal gemeten hoge fijnstofconcentraties op de regionale achtergrondstations. Deze verhoogde concentraties worden gevonden op stations NL0131, NL631 en NL929. Voor stations NL0131 en NL631 werden de maximale concentraties gevonden op 26 maart 2013. Die werden veroorzaakt door een combinatie van oostelijke wind en werkzaamheden/opwaaierend bodemstof nabij de stations. Voor station NL0929 zijn verhoogde concentraties gevonden op 18 mei 2013. In deze periode was er sprake van verhoogde

fijnstofconcentraties in het noorden van het land veroorzaakt door opwaaiend bodemstof.

Tabel 4 laat het overzicht zien van de kwaliteitsindicatoren voor de interpolatie van fijn stof. Net als ozon lijkt fijn stof ook een grootschaliger component te zijn met minder lokale variatie.

Tabel 4 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error (RMSE) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten (INT-VS-1) en geïnterpoleerde (interpolatie met INT-IS-1) ozonwaarnemingen op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
INT-VS-1	98243	0,94	0,98	5,6	3,3	-0,1	0,88
Stedelijke achtergrondstations							
INT-VS-1	27655	0,94	0,95	4,6	3,5	-1,1	0,91
Verkeersbelaste stations							
INT-VS-1	81858	0,89	0,90	4,9	4,2	-2,4	0,90

3 Interpolatie met RIO-model

Het RIO-model kent 'detrending'-functies voor zowel de regionale achtergrond-, stedelijke achtergrond- en verkeersbelaste stations waarmee metingen verricht zijn in de periode 2004-2008. Naarmate er meer gegevens worden meegenomen tijdens de interpolatie zal er een betere beschrijving gevonden worden van de daadwerkelijke situatie. Om deze reden is er in eerste instantie voor gekozen om het RIO-model te gebruiken met alle mogelijke stations. Daarnaast wordt in dit hoofdstuk gekeken naar de invloed van het gebruik van de verkeersbelaste stations in het RIO-model. Gezien de gebruikte resolutie van het RIO-model is het niet ondenkbaar dat meetgegevens op verkeersbelaste stations, bestaande uit voornamelijk lokale bijdragen, niet representatief zijn voor de interpolatieoppervlakte. De resultaten van deze vergelijking, uitgevoerd over de periode van 1 januari tot 1 september 2013, wordt weergegeven in dit hoofdstuk.

Naamgeving datasets voor RIO

Analoog aan de naamgeving voor de datasets voor INTERPOL (zie het verklarende tekstkader bij paragraaf 2.2) zijn dezelfde principes gebruikt voor de naamgeving van de datasets voor RIO. In deze rapportage worden voor het RIO-model twee verschillende interpolatiesets gebruikt. Deze zijn:

- **Interpolatieset RIO-IS-1:** Deze set bestaat uit ongevalideerde meetgegevens van januari-augustus 2013 voor een selectie van regionale achtergrond, stedelijke achtergrond en verkeersbelaste stations die actief waren in de periode 2004-2008. Metingen waarbij de monitor een foutcode heeft meegestuurd zijn niet meegenomen.
- **Interpolatieset RIO-IS-2:** Deze set bestaat uit ongevalideerde meetgegevens van januari-augustus 2013 voor een selectie van regionale achtergrond en stedelijke achtergrond stations die actief waren in de periode 2004-2008. Meetgegevens op verkeersbelaste stations zijn buiten beschouwing gelaten. Metingen waarbij de monitor een foutcode heeft meegestuurd zijn niet meegenomen.

Om de geïnterpoleerde waarden van RIO te vergelijken met meetwaarden zijn er diverse validatiesets opgesteld:

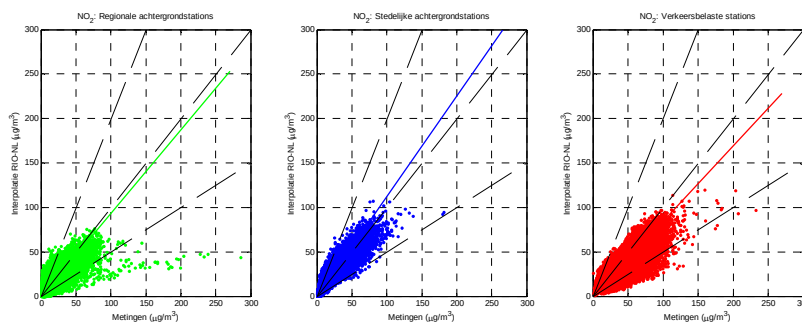
- **Validatieset RIO-VS-1:** Deze set bestaat uit ongevalideerde meetgegevens van januari-augustus 2013 voor een selectie van regionale achtergrond, stedelijke achtergrond en verkeersbelaste stations die actief waren in de periode 2004-2008 en is daarmee gelijk aan *RIO-interpolatieset-1*. In de vergelijking tussen de resultaten van deze validatieset en *RIO-interpolatieset-1* is er daarom geen sprake van een onafhankelijke validatieset.
- **Validatieset RIO-VS-2:** Voor de vergelijking met de resultaten van de *RIO-interpolatieset-2* wordt er ook gebruik gemaakt van de *RIO-validatieset-1*. Om in dit rapport toch het onderscheid te maken met welke interpolatieset er vergeleken wordt, is ervoor gekozen om deze validatieset apart te benoemen. Een deel van deze validatieset, namelijk de meetgegevens op verkeersbelaste locaties, is wel onafhankelijk.
- **Validatieset RIO-VS-3:** Deze set bestaat uit ongevalideerde meetgegevens van januari-augustus 2013 voor een selectie van regionale achtergrond, stedelijke achtergrond en verkeersbelaste stations die zijn toegevoegd aan het LML na 2008. Deze validatieset bevat geen stations die meegenomen zijn in de interpolatie en is dus volledig onafhankelijk.

Ook hier geldt dat het gebruik van een afhankelijke validatieset niet automatisch een perfecte 1-op-1 relatie oplevert met de uitkomsten van de interpolatieset. Zie ook het verklarende tekstkader bij paragraaf 2.2.

3.1 Stikstofdioxide

3.1.1 Gebruik alle typen stations

In Figuur 6 wordt voor 5832 uurlijkse waarnemingen per type station de relatie tussen de gemeten en geïnterpoleerde stikstofdioxide concentraties weergegeven.



Figuur 6 Ongevalideerde metingen(RIO-VS-1) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van stikstofdioxide met RIO Nederland voor regionale achtergrond (links), stedelijke achtergrond (midden) en verkeersbelaste (rechts) stations. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met RIO Nederland zijn meetresultaten van alle typen stations gebruikt (dataset RIO-IS-1).

Opvallend in de figuur voor regionale achtergrondstations is het aantal waarnemingen waarop de stikstofdioxideconcentratie groter is dan $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze waarnemingen zijn waargenomen op de LML-stations NL0230, NL0318, NL0437, NL0538 en NL0807. Het grootste deel van deze verhogingen is te vinden in de resultaten van LML-station NL0230 met 45 waarnemingen. Voor de overige stations betreft het slechts een incidentele waarneming, maar voor NL0538 zijn dit er iets meer, namelijk zes waarnemingen.

Voor het kalenderjaar 2012 liggen de jaargemiddelde stikstofdioxideconcentraties voor regionale achtergrondstations gemiddeld ongeveer op $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ met ranges tussen de 10 en $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De maximale waarden op deze stations liggen tussen de 70 en $224 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit geeft aan dat er ook op regionale stations incidenteel hoge waarnemingen kunnen voorkomen. Er kan echter sprake zijn van een plaatselijke verhoging waardoor stations in de omgeving geen verhoogde waarnemingen laten zien. Indien deze individuele hoge waarnemingen worden gebruikt in het RIO- of andere interpolatiemodel zal de lagere concentratie op de omliggende stations er voor zorgen dat op de locatie van het meetstation de werkelijk gemeten hoge waarde nooit gehaald zal worden. De geïnterpoleerde waarde zal altijd lager zijn dan de gemeten waarde indien er sprake is van een niet-representatieve verhoging.

Zoals gezegd vindt een groot deel van de verhoogde stikstofdioxide waarnemingen plaats op LML-station NL0230 (Biest Houtakker). Op grond van zowel de technische als plausibiliteitsvalidatie zijn er geen redenen om deze gemeten waarden af te keuren. Dergelijke piekwaarden op een regionaal achtergrondstation achten wij echter niet representatief voor een groter gebied. Het verwijderen van de meetresultaten van station NL0230 levert een kleine verbetering op van de met robuuste regressie bepaalde richtingscoëfficiënt (RC) van 0,94 naar 0,95.

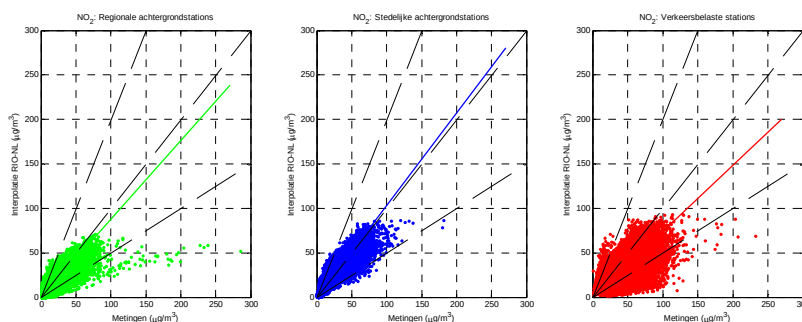
Verder blijkt uit Figuur 6 dat de resultaten op de stedelijke achtergrondstations lichtelijk overschat worden terwijl de regionale achtergrond en verkeersbelaste locaties daarentegen juist onderschat worden. De overschatting op stedelijke locaties zou mogelijk verklaard kunnen worden doordat er in de steden in Nederland waar metingen voor het LML worden uitgevoerd een verkeersbelast station op een relatief korte afstand van een stedelijke achtergrondstation staat. Zoals eerder vermeld rekent het RIO-model met een resolutie van $4 \times 4 \text{ km}^2$. Hierdoor zou de hogere lokale bijdrage van stikstofdioxide op verkeersbelaste stations door kunnen werken in zowel de eigen als in de nabij gelegen gridcellen. Dit kan vervolgens weer leiden tot een hogere geïnterpoleerde concentratie in de gridcel waarin de stedelijke achtergrondstations liggen. Dit zou zich voor kunnen doen in stedelijke gebieden waar beide typen voorkomen (bijvoorbeeld Groningen, Nijmegen, Breda, Eindhoven en Heerlen).

Daarnaast kunnen de concentratieniveaus op zowel regionale als stedelijke achtergrondlocaties de geïnterpoleerde waarde verlagen in de gridcel waarin een verkeersbelast station staat. Hierdoor zou in elk geval een deel van de onderschatting voor verkeersbelaste stations verklaard worden.

In België heeft men hier minder last van omdat daar slechts vier stations in aanmerking komen als een verkeersbelaste locatie. In het kader van een modelvergelijkende studie heeft België deze stations niet opgenomen in de interpolatie. De hoofdreden hiervoor was dat dergelijke stations niet representatief zouden zijn voor de resolutie van $4 \times 4 \text{ km}^2$ waarvoor geïnterpoleerd wordt.

3.1.2 Gebruik regionale en stedelijke achtergrondstations

Figuur 7 geeft de resultaten weer van de vergelijking tussen geïnterpoleerde en daadwerkelijk gemeten uurwaarden op elke type station wanneer alleen de regionale en stedelijke achtergrondstations worden meegenomen in de interpolatie voor stikstofdioxide.



Figuur 7 Ongevalideerde metingen(RIO-VS-2) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van stikstofdioxide met RIO Nederland voor regionale achtergrond (links), stedelijke achtergrond (midden) en verkeersbelaste (rechts) stations. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met RIO Nederland zijn meetresultaten van regionale en stedelijke achtergrondstations gebruikt (dataset RIO-IS-2).

Wanneer we ook hier de metingen op station NL0230 buiten beschouwing laten levert dit een kleine verbetering op van de met robuuste regressie bepaalde richtingscoëfficiënt (RC) van 0,88 naar 0,90.

3.1.3 Vergelijking interpolatie met en zonder verkeersbelaste locaties

Wanneer de meetresultaten van verkeersbelaste stations niet worden meegenomen in de interpolatie is te zien dat, gemiddeld op alle typen stations, de geïnterpoleerde concentratie van stikstofdioxide naar beneden gaat. Dit heeft een gunstig effect op de relatie voor stedelijke achtergrondstations. Initieel was er sprake van een overschatting op dit type stations, maar deze overschatting wordt wel lager wanneer alleen de resultaten van regionale en stedelijke achtergrondstations worden meegenomen.

De geïnterpoleerde concentraties op regionale en verkeersbelaste stations worden echter na verwijdering van de laatstgenoemde uit de interpolatie nog sterker onderschat.

De performance van het RIO-model voor stikstofdioxide met en zonder verkeersbelaste stations is samengevat in Tabel 5. Zelfs na verwijdering van de hoge piekconcentraties op station NL0230 blijkt dat de door RIO Nederland geïnterpoleerde stikstofdioxideconcentraties op regionale achtergrondstations een kleine systematische onderschatting (BIAS) hebben en de stedelijke achtergrond stations een kleine systematische overschatting. Dit kan er op duiden dat het verschil tussen regionale achtergrond en stedelijke achtergrond sinds 2009 veranderd is (kleiner geworden) hetgeen met een nieuwe kalibratie van de 'detrending'-parameters van het RIO-model kan worden opgelost.

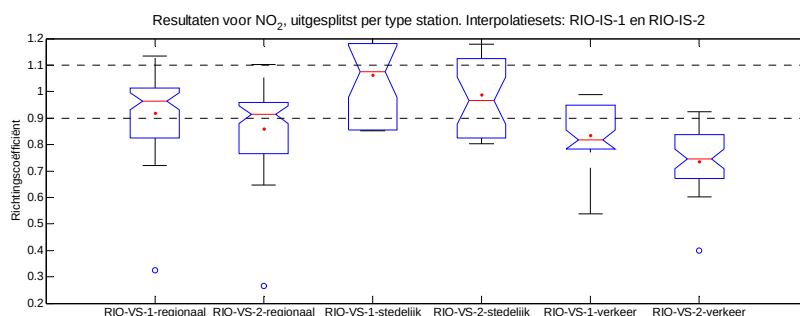
De geïnterpoleerde waarden op verkeersbelaste stations worden vanzelfsprekend onderschat ten opzichte van de metingen. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat het lokale karakter van deze stations voor

stikstofdioxide niet tot uiting kan komen bij een interpolatie over een gebied van 4x4 km².

Tabel 5 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error (RMSE) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde stikstofdioxidewaarnemingen voor RIO-VS-1 (interpolatie met RIO-IS-1) en RIO-VS-2 (interpolatie met RIO-IS-2) op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
RIO-VS-1	107291	0,88	0,93	5,7	4,4	0,0	0,86
RIO-VS-2	107291	0,82	0,88	5,1	3,9	-1,2	0,88
Stedelijke achtergrondstations							
RIO-VS-1	33895	1,08	1,13	7,8	7,3	4,4	0,90
RIO-VS-2	33895	0,98	1,04	7,5	6,8	2,0	0,89
Verkeersbelaste stations							
RIO-VS-1	68003	0,81	0,84	8,4	7,7	-4,4	0,85
RIO-VS-2	68003	0,71	0,74	10,3	9,7	-7,1	0,71

De tot nu toe gepresenteerde informatie (Tabel 5) geeft vooral een gemiddeld beeld per type station. Er kan echter sprake zijn van een bepaalde variantie van de individuele stations binnen de drie groepen. Om deze variantie beter in kaart te kunnen brengen zijn de kwaliteitsindicatoren voor elk individueel station ook afzonderlijk bepaald. Vervolgens kunnen de uitkomsten van deze indicatoren gegroepeerd worden weergegeven in een boxplot, zoals te zien is in Figuur 8. Dit geeft een beeld van de variantie binnen de drie groepen, wanneer verkeersbelaste locaties wel of niet worden meegenomen in de RIO-interpolatie.

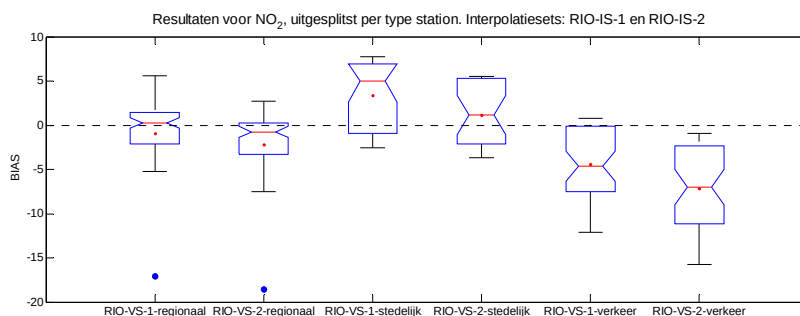


Figuur 8 Resultaten voor de richtingscoëfficiënt van de robuuste regressie (RC (RO)) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijnen geven een bandbreedte aan van 10% rond een RC van 1,00.

In Figuur 8 wordt de richtingscoëfficiënt van de robuuste regressie op individuele stations gegroepeerd per interpolatiemodel en type station weergegeven. De rode horizontale lijn geeft de mediaan in de groep weer terwijl de zwarte 'errorbars' de laagste en hoogste waarde laten zien die niet als een uitbijter worden beschouwd. Eventuele uitbijters worden weergegeven met een blauw rondje. In Figuur 8 is er voor regionale achtergrondstations een uitbijter te zien: station NL0411. Daar zijn de stikstofdioxidemetingen op 2 januari 2013 gestopt.

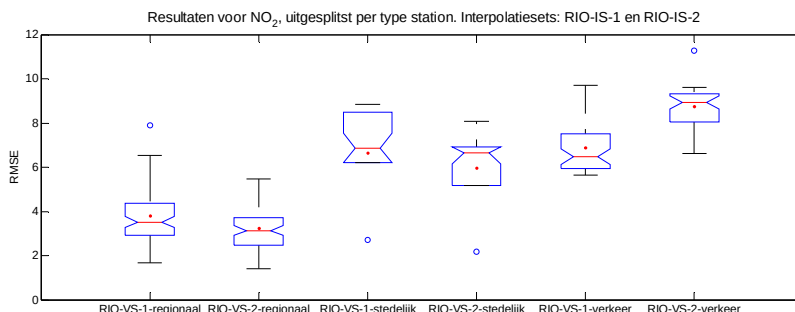
Ook voor de interpolatie zonder verkeersbelaste stations is er een uitbijter zichtbaar, ditmaal op station NL0641. Het achterwege laten van de resultaten op

verkeersbelaste stations zorgt voor een vermindering van de overschatting op stedelijke locaties. De onderschatting op zowel regionale achtergrond als verkeersbelaste stations neemt echter toe. Het achterwege laten van NL0641 zorgt er klaarblijkelijk voor dat de geïnterpoleerde waarde een stuk lager is op de locatie van dit station.



Figuur 9 Resultaten voor het gemiddelde verschil tussen gemeten en geïnterpoleerde stikstofdioxidewaarnemingen (BIAS) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijn geeft een BIAS aan van 0.

In Figuur 9 wordt het gemiddelde verschil tussen gemeten en geïnterpoleerd (BIAS) voor de individuele stations per type weergegeven. De uitbijter voor de BIAS op regionale achtergrondstations is wederom station NL0411.



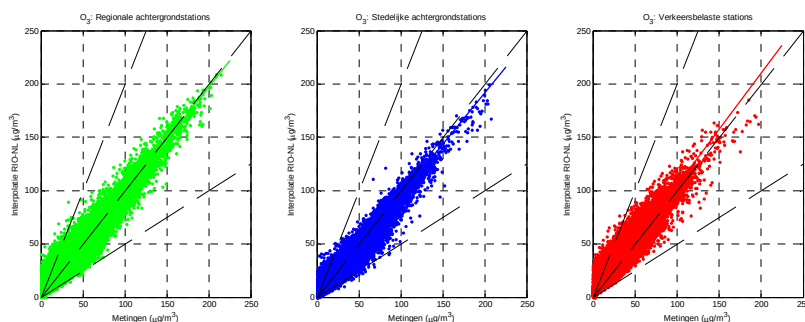
Figuur 10 Resultaten voor de RMSE voor stikstofdioxide op elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station.

In Figuur 10 worden volgens hetzelfde principe als de twee voorgaande figuren de RMSE weergegeven. In dit geval wordt station NL0444 als een uitbijter beschouwd wanneer verkeersbelaste stations gebruikt worden in de interpolatie. Voor de stedelijke achtergrondstations heeft station NL0938 een lage RMSE die wordt gezien als een uitbijter. Voor verkeersbelaste stations wordt een uitbijter gedetecteerd voor station NL0537 wanneer dit type niet meegenomen wordt in de interpolatie.

3.2 Ozon

3.2.1 Gebruik alle typen stations

In tegenstelling tot stikstofdioxide, een component met veel lokale verhogingen, is ozon een grootschaliger component met minder lokale variatie. Dit is terug te zien in de vergelijking van de ozonmetingen en de geïnterpoleerde waarden in Figuur 11.

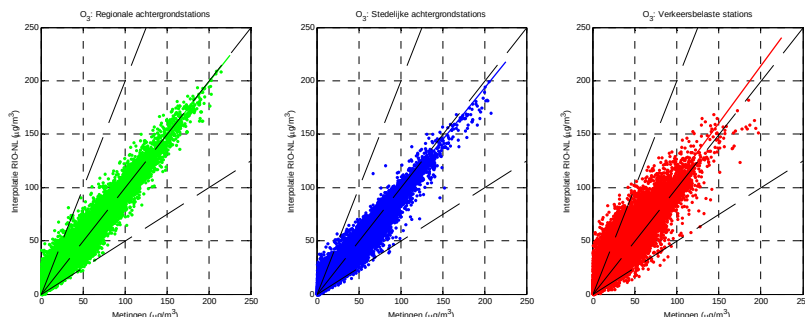


Figuur 11 Ongevalideerde metingen (RIO-VS-1) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van ozon met RIO Nederland voor regionale achtergrond (links), stedelijke achtergrond (midden) en verkeersbelaste (rechts) stations. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met RIO Nederland zijn meetresultaten van alle typen stations gebruikt (dataset RIO-IS-1).

Net als bij INTERPOL worden hier ook de geïnterpoleerde ozonconcentraties op verkeersbelaste stations lichtelijk overschat (zie ook paragraaf 2.4). Ook voor de resultaten met het RIO-model geldt dat de reactie van ozon met stikstofoxide afkomstig van lokale verkeersemissies bij de interpolaties niet verdisconteerd wordt.

3.2.2 Gebruik regionale en stedelijke achtergrondstations

Gezien het grootschalige karakter van ozon, waarbij de hoogste concentraties op regionale achtergrondstations gevonden worden, verandert het beeld niet zo heel veel, wanneer verkeersbelaste stations buiten beschouwing gelaten worden in de interpolatie. De resultaten van deze interpolatie worden weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12 Ongevalideerde metingen (RIO-VS-2) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van ozon met RIO Nederland voor regionale achtergrond (links), stedelijke achtergrond (midden) en verkeersbelaste (rechts) stations. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met RIO Nederland zijn meetresultaten van regionale en stedelijke achtergrondstations gebruikt (dataset RIO-IS-2).

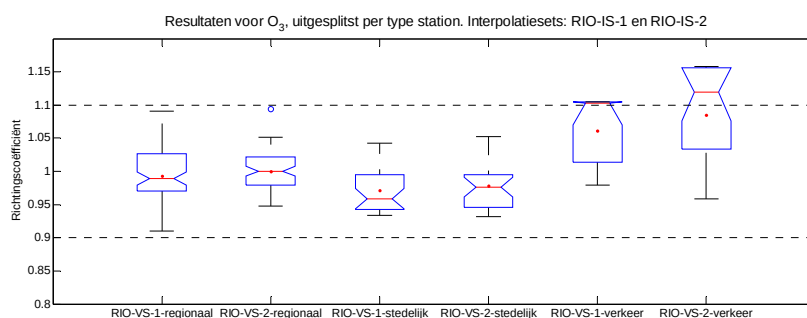
3.2.3

Vergelijking interpolatie met en zonder verkeersbelaste locaties

Het effect van het niet meenemen van de resultaten op verkeersbelaste stations in de interpolatie is vrij klein voor wat betreft de regionale en stedelijke achtergrondstations zoals te zien is in tabel 6. Voor verkeersbelaste stations zorgt het verwijderen van dit type stations zelfs voor een lichte overschatting. Deze overschatting wordt veroorzaakt doordat de reactie van ozon met stikstofdioxide afkomstig van lokale verkeersemissies bij de interpolaties niet verdisconteerd wordt.

Tabel 6 Overzicht van het aantal waarnemingen (*n*), richtingscoëfficiënt (*RC*) en de Root Mean Square Error (*RMSE*) voor zowel OLS als robuuste regressie, *BIAS* en correlatiecoëfficiënt *r* voor de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde ozonwaarnemingen voor RIO-VS-1 (interpolatie met RIO-IS-1) en RIO-VS-2 (interpolatie met RIO-IS-2) op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

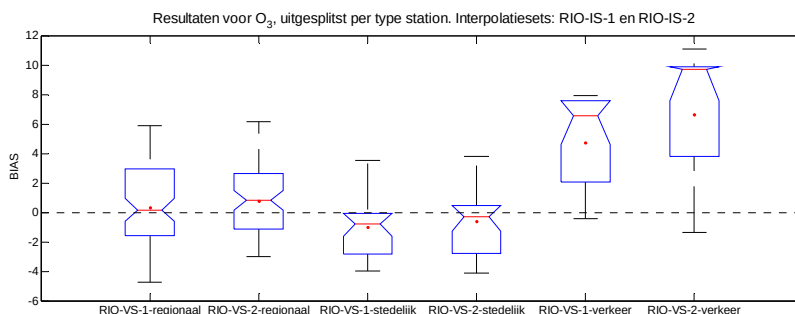
Methode	<i>n</i>	<i>RC</i> (OLS)	<i>RC</i> (RO)	<i>RMSE</i> (OLS)	<i>RMSE</i> (RO)	<i>BIAS</i>	<i>r</i>
Regionale achtergrondstations							
RIO-VS-1	107147	0,99	0,99	5,8	5,2	0,2	0,98
RIO-VS-2	107147	0,99	0,99	5,7	5,0	0,6	0,98
Stedelijke achtergrondstations							
RIO-VS-1	34118	0,95	0,96	5,9	5,2	-1,8	0,97
RIO-VS-2	34118	0,96	0,97	6,0	5,2	-1,3	0,97
Verkeersbelaste stations							
RIO-VS-1	28509	1,06	1,05	8,7	8,0	4,7	0,95
RIO-VS-2	28509	1,08	1,07	12,7	11,4	6,6	0,90



Figuur 13 Resultaten voor de richtingscoëfficiënt van de robuuste regressie (RC (RO)) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijnen geven een bandbreedte aan van 10% rond een RC van 1,00.

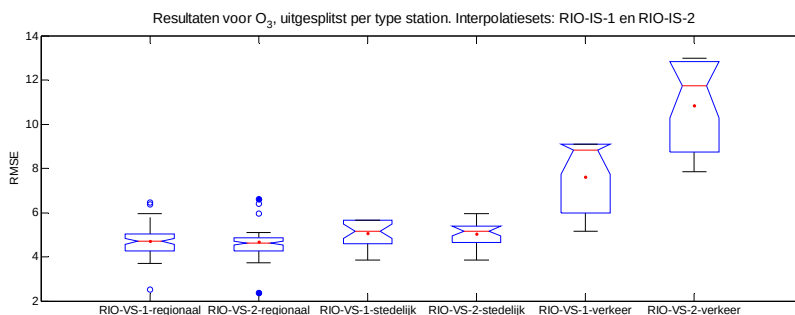
De resultaten in Figuur 13 laten zien dat er weinig verschil zit tussen de geïnterpoleerde ozonconcentraties op regionale en stedelijke achtergrondlocaties, wanneer verkeersbelaste locaties wel of niet worden meegenomen in de berekening. Ook is te zien dat het verwijderen van de verkeersgegevens uit de interpolatie tot gevolg heeft dat de spreiding van de stations behorende tot dit type groter wordt.

De uitbijter voor RIO-NL-regionaal is station NL0411 waar de ozonmetingen op 2 januari 2013 ook zijn gestopt.



Figuur 14 Resultaten voor het gemiddelde verschil tussen gemeten en geïnterpoleerde ozonwaarnemingen (BIAS) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijn geeft een BIAS aan van 0.

Het beeld uit Figuur 13 wordt bevestigd door Figuur 14 waarin het gemiddelde verschil tussen gemeten en geïnterpoleerde ozonwaarnemingen wordt weergegeven.



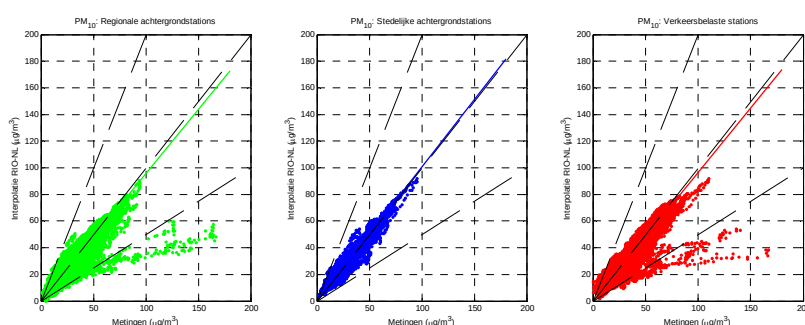
Figuur 15 Resultaten voor de RMSE voor ozon op elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station.

Hetzelfde geldt voor Figuur 15 waarin de RMSE wordt weergegeven. Deze is het hoogst op verkeersbelaste stations en min of meer vergelijkbaar op regionale en stedelijke achtergrond. Opvallend is wel het aantal uitbijters dat wordt gedetecteerd voor de regionale achtergrondstations. Over het algemeen is de onderliggende spreiding op dit type stations vrij klein, waardoor er sneller stations als uitbijter worden beschouwd. Voorbeelden hiervan zijn NL0133, NL0235, NL0411 en NL0437.

3.3 Fijn stof

3.3.1 Gebruik alle typen stations

De berekeningen voor fijn stof met het RIO-model waarbij alle type stations zijn meegenomen laten een goede relatie zien tussen de gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen op alle typen stations. Net als bij INTERPOL worden hier ook glijdende 24-uursgemiddelden berekend. Het beschikbaarheidscriterium voor het berekenen van de glijdende 24-uursgemiddelde voor het RIO-model is minder streng (minimaal twaalf uur) dan die voor INTERPOL (minimaal achttien uur).



Figuur 16 Ongevalideerde metingen uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van ozon met RIO Nederland voor regionale achtergrond (links), stedelijke achtergrond (midden) en verkeersbelaste (rechts) stations. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met RIO Nederland zijn meetresultaten van alle typen stations gebruikt (dataset RIO-IS-1).

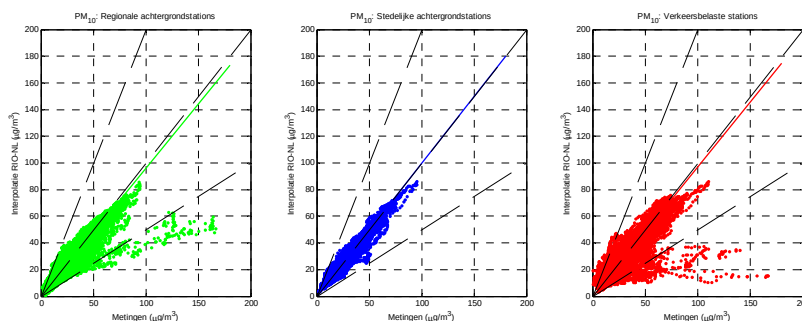
Net als bij de interpolatie door middel van INTERPOL zijn er voor de regionale stations verhoogde fijn stof concentraties te vinden (Figuur 16). Ook hier geldt dat deze verhoogde concentraties worden gevonden op stations NL0131, NL631 (beide 26 maart 2013) en NL929 (18 april 2013). Daarnaast worden op verkeersbelaste locaties ook nog verhoogde fijnstofconcentraties gevonden op

de stations NL0136, NL0448 en NL0741. Het lijkt erop dat voornamelijk de hoge concentraties op verkeersbelaste stations NL0136 (Heerlen) en NL0741 (Nijmegen) beduidend lager geïnterpoleerd worden. Voor beide stations geldt dat dit veroorzaakt kan worden door het voor beide locaties nabijgelegen stedelijk achtergrondstation, waardoor het geïnterpoleerde concentratieniveau in de betreffende gridcel naar beneden wordt bijgesteld.

3.3.2

Gebruik regionale en stedelijke achtergrondstations

Vergelijkbaar met ozon laat ook de interpolatie van fijn stof weinig veranderingen zien wanneer alleen regionale en stedelijke achtergrondstations worden meegenomen in de berekening (Figuur 17). Dit beeld laat zien dat ook fijn stof, net als ozon, een component is met een grootschalige bijdrage.



Figuur 17 Ongevalideerde metingen uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van ozon met RIO Nederland voor regionale achtergrond (links), stedelijke achtergrond (midden) en verkeersbelaste (rechts) stations. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met RIO Nederland zijn meetresultaten van regionale en stedelijke achtergrondstations gebruikt (dataset RIO-IS-2).

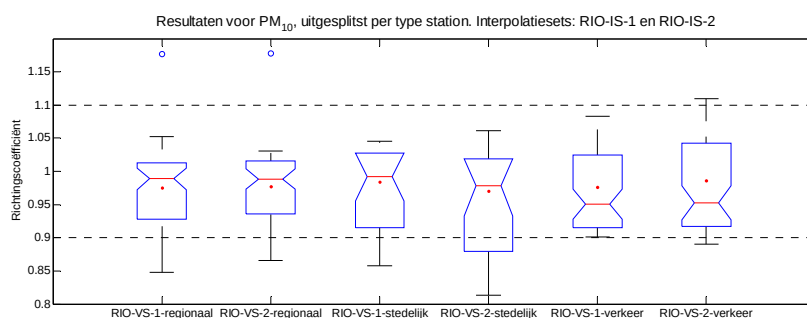
3.3.3

Vergelijking interpolatie met en zonder verkeersbelaste locaties

Zoals verwacht zijn de verschillen tussen beide methodes ook voor fijn stof vrij klein. Het verwijderen van verkeersbelaste stations uit de interpolatie lijkt maar een marginaal effect te hebben op de kwaliteitsindicatoren in Tabel 7.

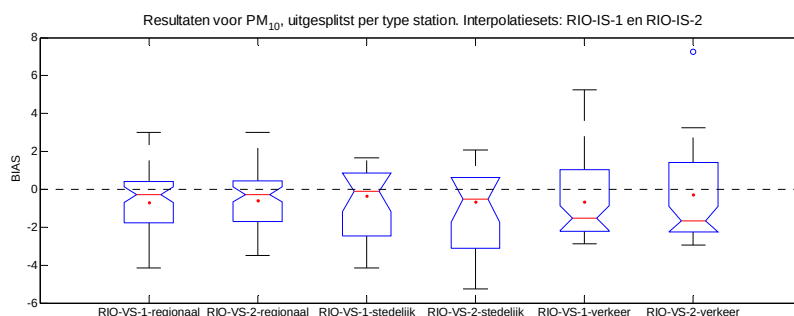
Tabel 7 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error (RMSE) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde fijnstofwaarnemingen voor RIO-VS-1 (interpolatie met RIO-IS-1) en RIO-VS-2 (interpolatie met RIO-IS-2) op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
RIO-VS-1	97405	0.92	0.96	4.4	3.0	-0.7	0.93
RIO-VS-2	97405	0.93	0.96	4.2	2.8	-0.6	0.93
Stedelijke achtergrondstations							
RIO-VS-1	28954	1.00	1.01	2.8	2.5	0.4	0.97
RIO-VS-2	28954	0.99	1.00	3.0	2.8	0.3	0.97
Verkeersbelaste stations							
RIO-VS-1	86532	0.94	0.96	4.4	3.2	-0.7	0.93
RIO-VS-2	86532	0.94	0.97	5.8	4.4	-0.3	0.88



Figuur 18 Resultaten voor de richtingscoëfficiënt van de robuuste regressie (RC (RO)) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijnen geven een bandbreedte aan van 10% rond een RC van 1,00.

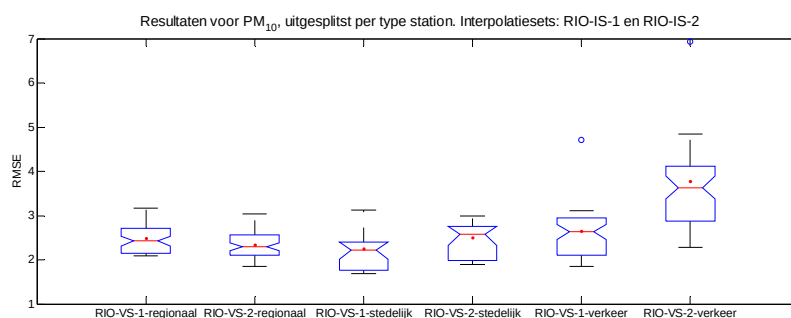
Het beeld voor de berekende richtingscoëfficiënt van gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen fijn stof laat hetzelfde beeld zien als voor ozon. De relatie op station NL0722 wordt als een uitbijter beschouwd. (Figuur 18).



Figuur 19 Resultaten voor het gemiddelde verschil tussen gemeten en geïnterpoleerde ozonwaarnemingen (BIAS) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijn geeft een BIAS aan van 0.

Net als bij ozon laat ook de BIAS van fijn stof een redelijk stabiel beeld zien (Figuur 19). Wanneer verkeersbelaste stations in deze berekening niet worden meegenomen, wordt in de resultaten voor individuele stations het station NL0636 als een uitbijter aangemerkt.

Station NL0636 heeft het grootste gemiddelde verschil tussen gemeten en geïnterpoleerde fijnstofwaarnemingen. Daarnaast heeft hetzelfde station ook de hoogste RMSE en wordt het ook daar als uitbijter geïdentificeerd, zoals te zien is in Figuur 20. Er is weinig verschil tussen de RMSE van beide methodes voor de overige type stations.



Figuur 20 Resultaten voor de RMSE voor ozon op elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station.

3.4 Gebruik stedelijke achtergrond- en verkeersbelaste stations in RIO

De resultaten van de berekeningen waarbij alle typen stations in het RIO-model zijn meegenomen laten zien dat er sprake is van een interactie tussen nabijgelegen stedelijke achtergrond- en verkeersbelaste stations. Deze interactie wordt veroorzaakt door de gebruikte resolutie van $4 \times 4 \text{ km}^2$ in het RIO-model en de ligging van deze typen stations in bepaalde steden. Doordat beide typen station in een stad in elkaars nabijheid liggen worden over het algemeen de geïnterpoleerde concentraties op stedelijke achtergrondstations overschat en dezelfde concentraties op verkeersbelaste stations onderschat. Daarnaast zijn de concentratiebijdragen op verkeersbelaste stations niet representatief voor de $4 \times 4 \text{ km}^2$ waarop met het RIO-model berekend wordt.

4 Vergelijking INTERPOL met RIO-model

Gezien het feit dat de concentratie op een verkeersbelast station niet representatief is voor het door het RIO-model berekende grid van 4x4km² zijn de resultaten van dit type station niet meegenomen in de vervolgberekeningen met het RIO-model. Hierdoor wordt alleen gebruikt gemaakt van meetgegevens over de periode van 1 januari tot 1 september 2013 van regionale en stedelijke achtergrondstations.

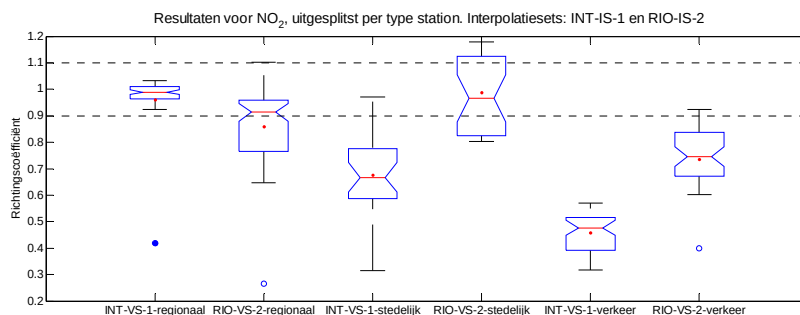
4.1 Stikstofdioxide

De vergelijking tussen INTERPOL en RIO Nederland voor stikstofdioxide laat zien dat de geïnterpoleerde waarden op stedelijke achtergrond en verkeersbelaste locaties door INTERPOL worden onderschat. De regionale achtergrondstations laten voor INTERPOL, ondanks de verhoogde waarnemingen op station NL0230, een goede correlatie tussen de gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen zien (Tabel 8).

Tabel 8 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error (RMSE) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde stikstofdioxidewaarnemingen voor INT-VS-1 (interpolatie met INT-IS-1) en RIO-VS-2 (interpolatie met RIO-IS-2) op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

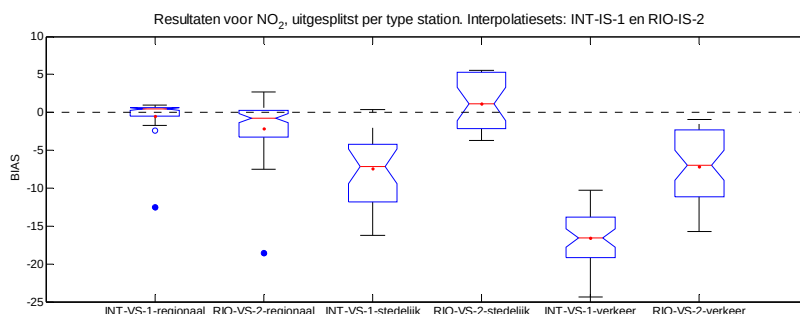
Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
INT-VS-1	108034	0,93	0,99	4,3	2,2	0,1	0,93
RIO-VS-2	107291	0,82	0,88	5,1	3,9	-1,2	0,88
Stedelijke achtergrondstations							
INT-VS-1	34308	0,67	0,70	7,1	5,9	-5,9	0,79
RIO-VS-2	33895	0,98	1,04	7,5	6,8	2,0	0,89
Verkeersbelaste stations							
INT-VS-1	68653	0,46	0,46	8,7	7,8	-16,6	0,63
RIO-VS-2	68003	0,71	0,74	10,3	9,7	-7,1	0,71

In Figuur 21 is duidelijk te zien dat de gemiddelde richtingscoëfficiënt tussen gemeten en geïnterpoleerde stikstofmetingen, berekend door RIO Nederland, op stedelijk en verkeersbelaste locaties een stuk hoger ligt dan dezelfde concentraties berekend door INTERPOL. Dankzij het gebruik van het RIO-model neemt hierdoor vooral in stedelijke gebieden de onderschatting van stikstofdioxideconcentraties af



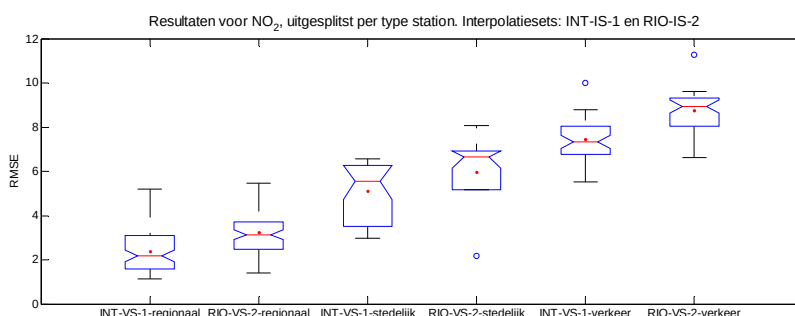
Figuur 21 Resultaten voor de richtingscoëfficiënt van de robuuste regressie (RC (RO)) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijnen geven een bandbreedte aan van 10% rond een RC van 1,00.

Wanneer er gekeken wordt naar het gemiddelde verschil tussen geïnterpoleerde en gemeten waarnemingen, zien we dat RIO Nederland een kleiner gemiddelde verschil laat zien op stedelijke en verkeersbelaste locaties (Figuur 22). Op de laatst genoemde locaties worden de concentraties nog steeds onderschat maar laat RIO Nederland wel een duidelijke verbetering zien ten opzichte van INTERPOL. Wel is het zo dat de spreiding tussen de berekende richtingscoëfficiënten van zowel de individuele regionale als stedelijke achtergrondstations voor RIO Nederland groter zijn dan voor INTERPOL.



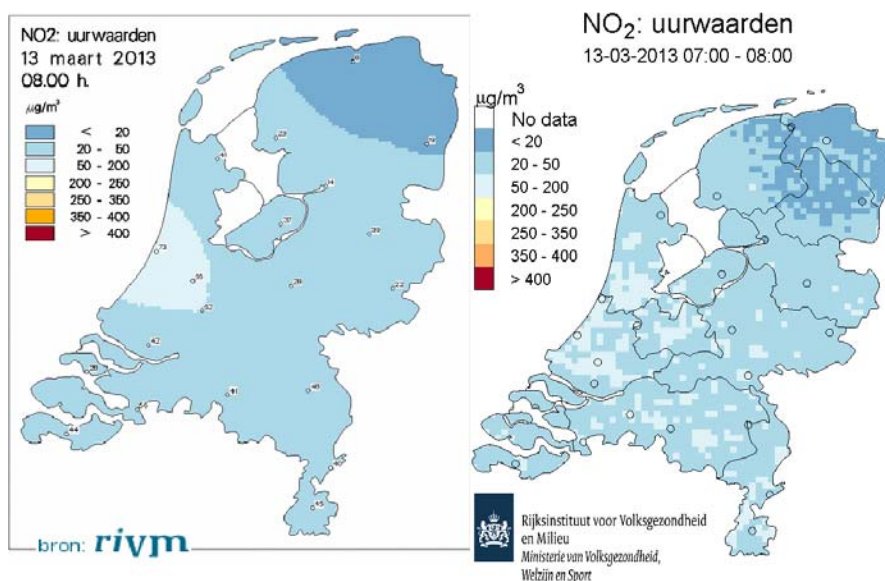
Figuur 22 Resultaten voor het gemiddelde verschil tussen gemeten en geïnterpoleerde stikstofdioxidewaarnemingen (BIAS) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijn geeft een BIAS aan van 0.

In alle gevallen ligt de root mean square error (RMSE) van RIO Nederland per type station iets hoger dan de RMSE van INTERPOL (Figuur 23). De verschillen tussen de beide modellen op de drie typen stations zijn echter niet zo groot dat er een duidelijk verschil is tussen de beide interpolatiemodellen. Wel is er een duidelijk verschil zichtbaar waarbij de RMSE voor beide modellen op regionale achtergrondstations een stuk lager is dan op de verkeersbelaste stations. Hieruit kan geconcludeerd worden dat beide modellen op regionaal niveau beter presteren dan op verkeersbelaste locaties.



Figuur 23 Resultaten voor de RMSE voor stikstofdioxide op elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station.

Figuur 24 geeft een voorbeeld van de geïnterpoleerde concentratiekaarten van stikstofdioxide van zowel INTERPOL als RIO Nederland. Op basis van de berekeningen met INTERPOL wordt er eigenlijk een regionale achtergrond over heel Nederland bepaald. Deze achtergrondconcentratie is lager dan de concentratie die gevonden wordt op stedelijke achtergrondstations. In de afbeelding op basis van RIO Nederland is te zien dat de geïnterpoleerde concentraties vooral in het westen en midden van het land hoger liggen. Dit beeld is meer conform de gemeten waarden op stedelijke achtergrondstations in dit gebied.



Figuur 24 Interpolatie van stikstofdioxideconcentraties volgens de oude methode met INTERPOL (links) en met RIO Nederland (rechts). Met INTERPOL zijn alleen de regionale meetstations meegenomen, terwijl bij RIO Nederland ook de stedelijke achtergrondstations zijn meegenomen bij de interpolatie. De locaties van de meetstations zijn weergegeven als cirkels waarbij voor RIO Nederland de kleur van de cirkel het concentratieniveau op deze locatie aangeeft.

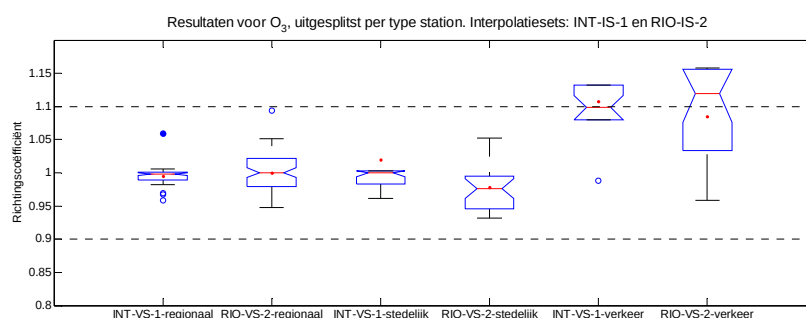
4.2 Ozon

Voor ozon presteren beide modellen nagenoeg gelijkwaardig (Tabel 9). Voor alle drie de typen stations laten de vergelijking van de uitkomsten van zowel INTERPOL als RIO Nederland en de gemeten waarnemingen een nagenoeg perfecte 1:1 relatie zien. Er is wel sprake van een lichte overschatting van geïnterpoleerde ozonconcentraties op verkeersbelaste locaties. Deze overschatting kan verklaard worden door de reactie van ozon met stikstofoxide afkomstig van lokale verkeersemissies. Dit straateffect wordt bij de interpolaties uiteraard niet verdisconteerd.

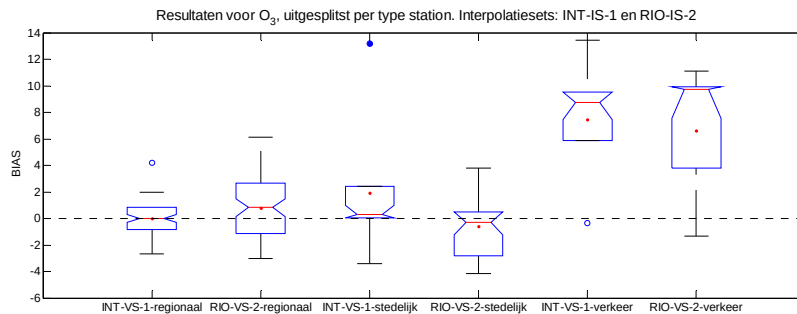
Tabel 9 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error (RMSE) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde ozonwaarnemingen voor INT-VS-1 (interpolatie met INT-IS-1) en RIO-VS-2 (interpolatie met RIO-IS-2) op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
INT-VS-1	107235	0,99	0,99	4,9	2,5	-0,1	0,98
RIO-VS-2	107147	0,99	0,99	5,7	5,0	0,6	0,98
Stedelijke achtergrondstations							
INT-VS-1	34225	0,97	0,99	10,4	8,7	0,1	0,92
RIO-VS-2	34118	0,96	0,97	6,0	5,2	-1,3	0,97
Verkeersbelaste stations							
INT-VS-1	28448	1,10	1,09	13,6	12,3	7,5	0,88
RIO-VS-2	28509	1,08	1,07	12,7	11,4	6,6	0,90

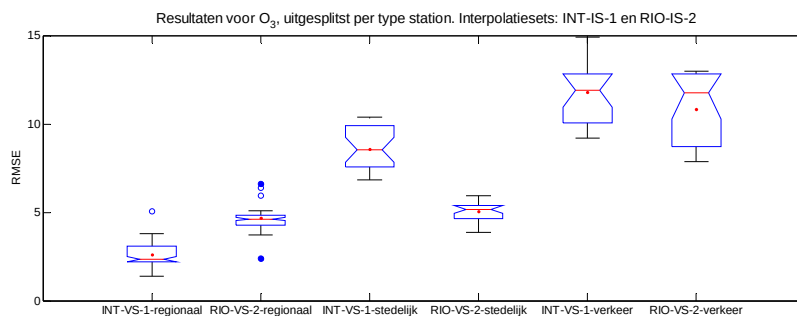
Onderstaande figuren, waarin de resultaten van de robuuste regressie (Figuur 25), de BIAS (Figuur 26) en RMSE (Figuur 27) worden weergegeven, bevestigen het beeld dat beide modellen min of meer gelijkwaardig presenteren voor ozon.



Figuur 25 Resultaten voor de richtingscoëfficiënt van de robuuste regressie (RC (RO)) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijnen geven een bandbreedte aan van 10% rond een RC van 1,00.

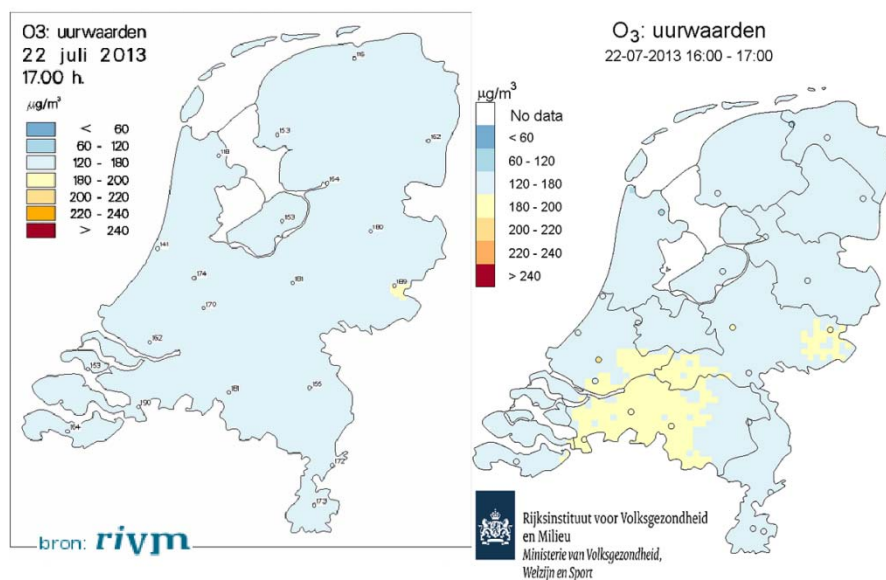


Figuur 26 Resultaten voor het gemiddelde verschil tussen gemeten en geïnterpoleerde ozonwaarnemingen (BIAS) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijn geeft een BIAS aan van 0.



Figuur 27 Resultaten voor de RMSE voor ozon op elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station.

Figuur 28 geeft een voorbeeld van een situatie waarin op meerdere stations de informatiedrempel van $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor ozon werd overschreden, die niet goed zichtbaar is in de kaart die is bepaald op basis van de huidige interpolatiemethode. Ondanks het gegeven dat op twee regionale stations de informatiedrempel net is overschreden liggen de door INTERPOL geïnterpoleerde concentraties onder invloed van omliggende stations net iets lager dan deze drempel. Hierdoor lijkt het alsof alleen in de regio Enschede een overschrijding plaatsvindt van de informatiedrempel. De berekeningen met RIO Nederland merken, onder invloed van de regionale en de nabijgelegen stedelijke achtergrondstations, een veel groter gebied aan waarbij er mogelijk een overschrijding van de informatiedrempel voor ozon plaatsvindt.



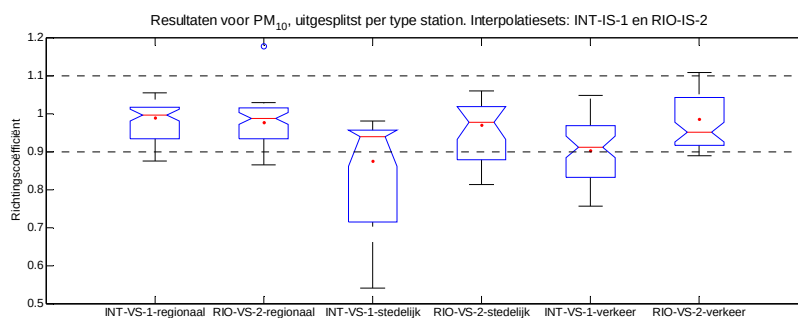
Figuur 28 Interpolatie van ozonconcentraties volgens de oude methode met INTERPOL (links) en met RIO Nederland (rechts). Met INTERPOL zijn alleen de regionale meetstations meegenomen, terwijl bij RIO Nederland ook de stedelijke achtergrondstations zijn meegenomen bij de interpolatie. De locaties van de meetstations zijn weergegeven als cirkels waarbij voor RIO Nederland de kleur van de cirkel het concentratieniveau op deze locatie aangeeft.

4.3 Fijn stof

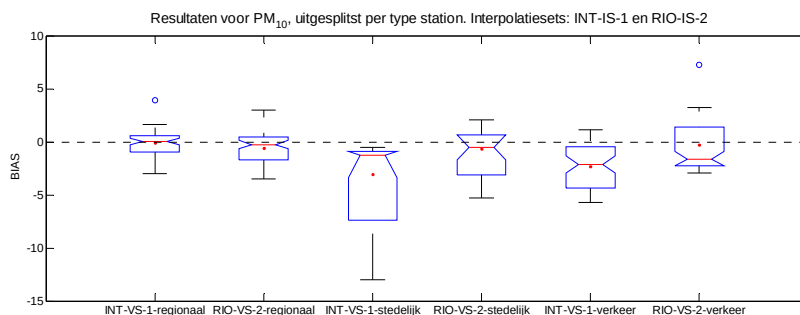
Gezien de verschillen in de gebruikte datasets voor beide interpolatiemethoden kan er alleen een indicatieve vergelijking worden uitgevoerd. Tabel 10 laat zien dat beide modellen een goede beschrijving van de concentratieniveaus geven waarbij RIO Nederland op stedelijke achtergrond en verkeersbelaste locaties iets beter presteert. Qua beeld lijken de resultaten van RIO Nederland voor fijn stof sterk op de resultaten voor ozon. Dit is ook te zien in de figuren waarin de resultaten van de robuuste regressie (Figuur 29), de BIAS (Figuur 30) en RMSE (Figuur 31) worden weergegeven.

Tabel 10 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error (RMSE) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde fijnstofwaarnemingen voor INT-VS-1 (interpolatie met INT-IS-1) en RIO-VS-2 (interpolatie met RIO-IS-2) op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

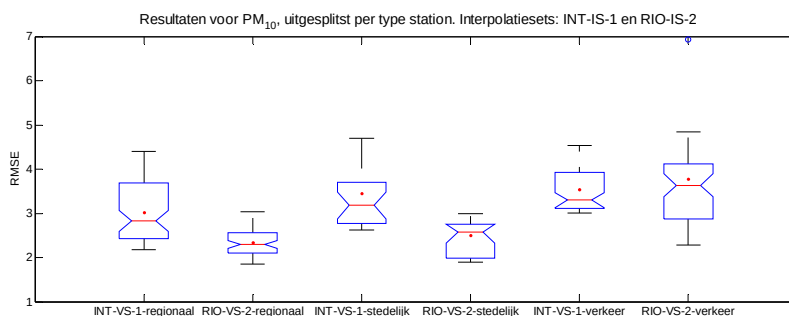
Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
INT-VS-1	98243	0,94	0,98	5,4	3,3	-0,3	0,88
RIO-VS-2	97405	0,93	0,96	4,2	2,8	-0,6	0,93
Stedelijke achtergrondstations							
INT-VS-1	27655	0,94	0,95	4,6	3,5	-1,1	0,91
RIO-VS-2	28954	0,99	1,00	3,0	2,8	0,3	0,97
Verkeersbelaste stations							
INT-VS-1	81858	0,89	0,90	4,9	4,2	-2,4	0,90
RIO-VS-2	86532	0,94	0,97	5,8	4,4	-0,3	0,88



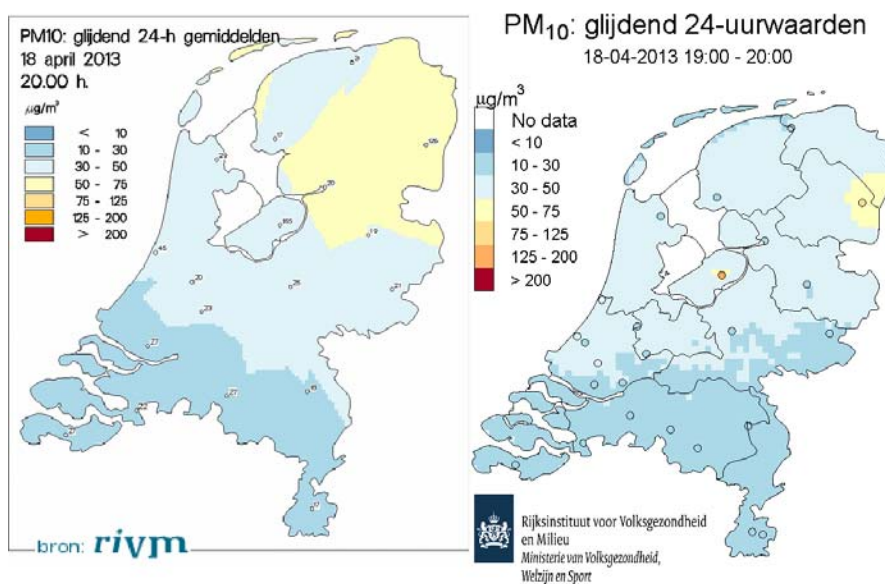
Figuur 29 Resultaten voor de richtingscoëfficiënt van de robuuste regressie (RC (RO)) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijnen geven een bandbreedte aan van 10% rond een RC van 1,00.



Figuur 30 Resultaten voor het gemiddelde verschil tussen gemeten en geïnterpoleerde fijnstofwaarnemingen (BIAS) voor elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station. De stippellijn geeft een BIAS aan van 0.



Figuur 31 Resultaten voor de RMSE voor ozon op elk individueel station, gegroepeerd per validatieset en type station.



Figuur 32 Interpolatie van fijnstofconcentraties volgens de oude methode met INTERPOL (links) en met RIO Nederland (rechts). Met INTERPOL zijn alleen de regionale meetstations meegenomen, terwijl bij RIO Nederland ook de stedelijke achtergrondstations zijn meegenomen bij de interpolatie. De locaties van de meetstations zijn weergegeven als cirkels waarbij voor RIO Nederland de kleur van de cirkel het concentratieniveau op deze locatie aangeeft.

Figuur 32 laat een situatie zien waarbij er op twee noordelijk gelegen regionale achtergrondstations tijdelijk verhoogde concentraties fijn stof werden gemeten, veroorzaakt door lokaal opwaaiend bodemstof. INTERPOL interpoleert verhoogde concentraties over een groot gebied in het noorden van het land. In dit gebied en daaromheen staan echter regionale achtergrondstations die veel lagere fijnstofconcentraties meten. Hieruit blijkt dat het grote gebied met verhoogde fijnstofconcentraties niet representatief is voor de werkelijke situatie. RIO Nederland geeft daarentegen wel het lokale karakter van deze verhoogde fijnstofconcentraties weer.

5 Vergelijking nieuwe stations

Sinds de periode 2004–2008 zijn er voor de componenten stikstofdioxide, ozon en fijn stof nieuwe meetlocaties bijgekomen. Deze locaties waren ten tijde van de Nederlandse kalibratie van het RIO-model niet bekend, waardoor de meetgegevens op deze locaties niet worden meegenomen in de interpolatie.

De meetgegevens van deze stations zijn ideaal om te vergelijken met de geïnterpoleerde waarde op deze locatie. Dit geeft een goed beeld van hoe RIO Nederland presteert op plaatsen waar nu wel gemeten wordt, maar waarvan deze waarde niet in het interpolatiemodel is meegenomen.

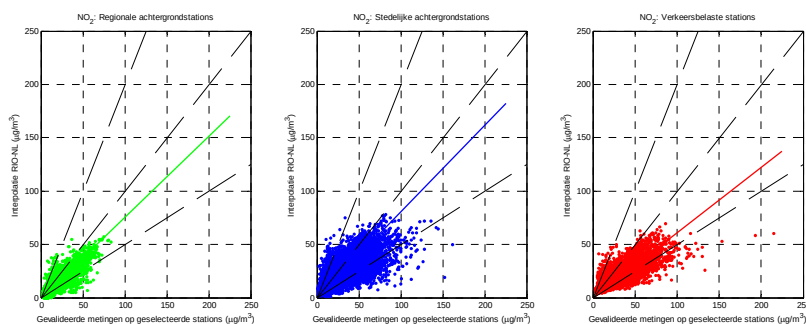
Deze vergelijking wordt uitgevoerd door gevalideerde waarnemingen over de periode van 1 januari tot 1 september 2013 te vergelijken met de geïnterpoleerde waarnemingen op de locaties van deze stations.

Tabel 11 Overzicht LML stations waar wel metingen worden verricht maar die niet meegenomen worden in de berekeningen van RIO Nederland.

LML station	Type	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
NL0240	verkeersbelast	x		
NL0247	stedelijk	x	x	x
NL0442	stedelijk	x	x	x
NL0446	stedelijk	x	x	
NL0643	stedelijk	x	x	
NL0644	regionaal	x	x	x

5.1 Stikstofdioxide

Voor stikstofdioxide zijn voor de stedelijke achtergrondstations NL0247, NL0442 en NL0643 en voor het regionale station NL0644 geen parameters berekend in het RIO-model. De uurlijkse meetdata op deze stations zijn dan ook vergeleken met de geïnterpoleerde waarde op de betreffende locatie. In Figuur 33 en Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de berekende kwaliteitsindicatoren.



Figuur 33 Gevalideerde metingen (RIO-VS-3) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van stikstofdioxide met RIO Nederland voor één regionale achtergrondstation (links), vier stedelijke achtergrondstations (midden) en één verkeersbelast (rechts) station. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met RIO Nederland zijn meetresultaten van regionale en stedelijke achtergrondstations gebruikt (dataset RIO-IS-2).

Tabel 12 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error (RMSE) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde stikstofdioxidewaarnemingen voor RIO-VS-2 (interpolatie met RIO-IS-2) en RIO-VS-3 (interpolatie met RIO-IS-2) op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

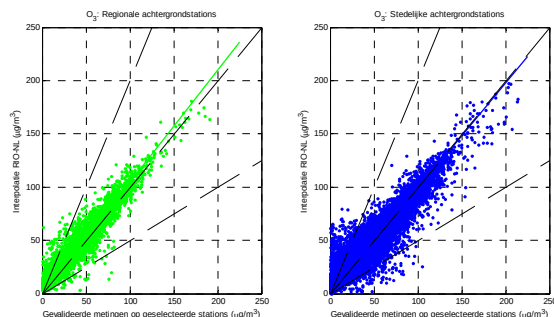
Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
RIO-VS-2	107291	0,82	0,88	5,1	3,9	-1,2	0,88
RIO-VS-3	5584	0,73	0,76	5,0	4,0	-4,1	0,86
Stedelijke achtergrondstations							
RIO-VS-2	33895	0,98	1,04	7,5	6,8	2,0	0,89
RIO-VS-3	22875	0,75	0,81	8,1	6,9	-3,3	0,79
Verkeersbelaste stations							
RIO-VS-2	68003	0,71	0,74	10,3	9,7	-7,1	0,71
RIO-VS-3	5767	0,59	0,61	7,7	7,1	-10,3	0,78

De resultaten op regionale achtergrondstations zijn voor de RMSE en de correlatie in dezelfde orde van grootte als de resultaten voor de volledige dataset. Wel is de richtingscoëfficiënt voor de operationele stations na 2008 (RIO-NL-3) iets lager en komen de concentraties op regionaal niveau ten opzichte van de volledige run iets slechter uit. Dit effect is ook te zien in de vergelijking voor de stedelijke achtergrondstations; het verschil in onderschatting is hier wel groter dan op regionaal niveau.

Een mogelijke oorzaak voor de geconstateerde onderschatting op de stedelijke achtergrondlocaties zou het ontbreken van een landsgebruiksparemeter voor deze specifieke locaties kunnen zijn. Hierdoor worden de berekende concentraties niet geschaald naar het stedelijke niveau waardoor op deze locaties de concentraties rond het regionale niveau liggen. Dit niveau ligt voor stikstofdioxide doorgaans lager dan in stedelijke gebieden waardoor er een onderschatting kan optreden.

5.2 Ozon

Voor ozon zijn dezelfde stations als voor stikstofdioxide met uitzondering van het verkeersbelaste station nog niet toegevoegd in RIO Nederland. Een vergelijking tussen de gemeten waarnemingen en geïnterpoleerde waarnemingen op deze locaties levert het beeld uit Figuur 34 op.



Figuur 34 Gevalideerde metingen (RIO-VS-3) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van ozon met RIO Nederland voor één regionale achtergrondstation (links), vier stedelijke achtergrondstations (midden) en één verkeersbelast (rechts) station. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met RIO Nederland zijn meetresultaten van regionale en stedelijke achtergrondstations gebruikt (dataset RIO-IS-2).

Op zowel de regionale als stedelijke stations, die na 2008 zijn toegevoegd aan het meetnet, laat de interpolatie een uitstekende relatie zien tussen gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen.

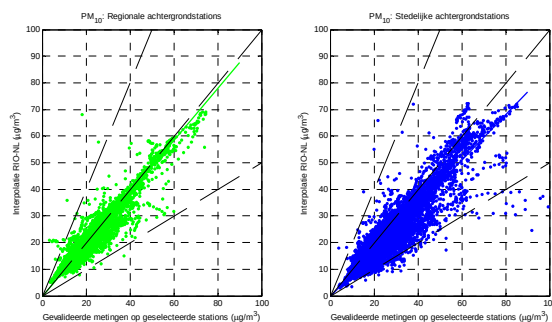
Vanwege het grootschalige karakter van ozon, waarbij de hogere concentraties op regionale achtergrondstations zijn te vinden, is het effect van bijvoorbeeld een landgebruikspareparameter veel minder van invloed dan bij stikstofdioxide. Dit is te zien in de weergegeven resultaten in Tabel 13.

Tabel 13 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error (RMSE) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde ozonwaarnemingen voor RIO-VS-2 (interpolatie met RIO-IS-2) en RIO-VS-3 (interpolatie met RIO-IS-2) op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
RIO-VS-2	107147	0,99	0,99	5,7	5,0	0,6	0,98
RIO-VS-3	5688	1,05	1,05	8,4	6,8	4,0	0,95
Stedelijke achtergrondstations							
RIO-VS-2	34118	0,96	0,97	6,0	5,2	-1,3	0,97
RIO-VS-3	22583	0,98	0,99	9,4	7,4	1,0	0,94

5.3 Fijn stof

Voor de component fijn stof zijn twee stedelijke stations en één regionaal station nog niet toegevoegd aan RIO Nederland. In Figuur 35 en Tabel 14 worden de resultaten van de vergelijking tussen de gemeten waarnemingen en geïnterpoleerde waarnemingen weergegeven.



Figuur 35 Gevalideerde metingen (RIO-VS-3) uitgezet tegen de geïnterpoleerde waarnemingen van fijn stof met RIO Nederland voor één regionale achtergrondstation (links), vier stedelijke achtergrondstations (midden) en één verkeersbelast (rechts) station. Het resultaat van de robuuste regressie (zonder asafsnede) wordt weergegeven door de gekleurde lijn. De gestippelde lijn geeft de 1:1 relatie weer. Voor de interpolatie met RIO Nederland zijn meetresultaten van regionale en stedelijke achtergrondstations gebruikt (dataset RIO-IS-2).

Net als bij ozon laat ook fijn stof een uitstekende relatie zien tussen gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen op de na 2008 toegevoegde regionale en stedelijke achtergrond stations. Qua beeld lijken de resultaten voor fijn stof sterk op de resultaten voor ozon, waardoor fijn stof kan worden gezien als een grootschaliger component.

Tabel 14 Overzicht van het aantal waarnemingen (n), richtingscoëfficiënt (RC) en de Root Mean Square Error (RMSE) voor zowel OLS als robuuste regressie, BIAS en correlatiecoëfficiënt (r) voor de relatie tussen gemeten en geïnterpoleerde fijnstofwaarnemingen voor RIO-VS-2 (interpolatie met RIO-IS-2) en RIO-VS-3 (interpolatie met RIO-IS-2) op elke stationslocatie, uitgesplitst per type station.

Methode	n	RC (OLS)	RC (RO)	RMSE (OLS)	RMSE (RO)	BIAS	r
Regionale achtergrondstations							
RIO-VS-2	97405	0,93	0,96	4,2	2,8	-0,6	0,93
RIO-VS-3	5702	0,95	0,97	3,4	2,5	-0,6	0,95
Stedelijke achtergrondstations							
RIO-VS-2	28954	0,99	1,00	3,0	2,8	0,3	0,97
RIO-VS-3	11447	0,84	0,85	4,6	3,9	-4,1	0,91

6 Conclusies

Resultaten van een door VITO uitgevoerde validatie van de RIO-interpolatietechniek heeft al laten zien dat de performance van het RIO-model in Nederland vergelijkbaar is met die in België. In dit rapport is daarnaast gekeken naar de vergelijkbaarheid van gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen op locaties van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML).

Een van de voordelen van het RIO-interpolatiemodel is dat dit dankzij een uitgebreidere interpolatietechniek kan omgaan met het lokale karakter van een meetstation. Hierdoor kunnen naast resultaten van de regionale achtergrond stations ook de resultaten van stedelijke achtergrond en verkeersbelaste stations meegenomen worden in de interpolatie.

Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat het toevoegen van verkeersbelaste stations in het RIO-model een negatieve invloed heeft op de vergelijkbaarheid van gemeten en geïnterpoleerde waarnemingen op stedelijke achtergrond locaties. Door de opzet van het LML, waarbij een verkeersbelast station vaak te vinden is nabij een stedelijk achtergrondstation, worden de geïnterpoleerde concentraties op deze achtergrondstations door de gemeten concentratieniveaus op verkeersbelaste stations omhoog getrokken. Dit effect treedt vooral op bij stikstofdioxide omdat de hoogste concentraties op straatniveau gevonden worden. Voor grootschalige componenten, zoals ozon, is dit effect veel minder omdat de hoogste concentraties vaak worden gevonden op regionale achtergrondstations.

Het RIO-interpolatiemodel rekent voor een resolutie van $4 \times 4 \text{ km}^2$. De concentratieniveaus van verkeersbelaste stations achten wij niet representatief voor deze resolutie. De resultaten van dit type stations zullen dan ook niet meegenomen worden in het RIO-model. Dit heeft tot gevolg dat er voor lokale componenten, zoals stikstofdioxide, een onderschatting plaatsvindt van de geïnterpoleerde concentratie op deze locaties.

Voor de regionale achtergrond en de stedelijke achtergrond laten de resultaten van RIO Nederland voor de componenten stikstofdioxide, ozon en fijn stof een goede relatie zien met de meetwaarden op deze LML locaties.

RIO Nederland presteert, door het gebruik van meetresultaten van regionale achtergrond en stedelijke achtergrond locaties in het model, veelal beter dan de oude interpolatiemethode. De oude methode maakt alleen gebruik van meetresultaten op regionale achtergrond locaties. Voor componenten met een lokale bijdrage, zoals stikstofdioxide, leidt dat tot een onderschatting op stedelijk en straatniveau. RIO Nederland heeft deze onderschatting op stedelijk niveau niet en op straatniveau minder. Hierdoor geeft RIO Nederland een betere beschrijving van de concentratieniveaus op zowel regionale als stedelijke achtergrond locaties.

Wel is de spreiding van de kwaliteitsparameters op de individuele regionale en stedelijke achtergrondstations voor RIO Nederland in sommige gevallen wel groter dan bij de toepassing van INTERPOL. Mogelijk dat deze spreiding verkleind kan worden door aanpassing van de parameters van RIO Nederland.

Het verdient daarom aanbeveling om de RIO-parameters en de onderliggende CLC2000-dataset te actualiseren. De presentatie van de concentratiekaarten over Nederland wordt daarmee realistischer. De RIO-kaarten zijn binnenkort uurlijks te zien op de LML-website (www.lml.rivm.nl).

Literatuur

Hooyberghs J., Mensink C., Dumont G. & Fierens F. (2006) Spatial interpolation of ambient ozone concentrations from sparse monitoring points in Belgium. *Journal of Environmental Monitoring* 8: 1129-1135.

Janssen S., Dumont G., Fierens F. & Mensink C (2008) Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data. *Atmospheric Environment* 42: 4884-4903.

Janssen, S., Dumont, G., Fierens, F., Deutsch, F., Maiheu, B., Celis, D., Trimpeneers, E. and Mensink, C., (2012), Land use to characterize spatial representativeness of air quality monitoring stations and its relevance for model validation, *Atmospheric Environment*, 59, 492-500

Lefebvre, W., Degrawe, B., Beckx, C., Vanhulsel, M., Kochan, B., Bellemans, T., Janssens, D., Wets, G., Jansse, S., Vlioger, I. de, Int Panis, L., Dhondt, S. (2013) Presentation and evaluation of an integrated model chain to respond to traffic- and health-related policy questions, *Environmental Modelling & Software* 40, p160-170

Mooibroek, D., Berkhout, J.P.J, Hoogerbrugge, R. (2012) Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 2011. RIVM Rapport 680704020/2012. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Swaluw, E. van der, Hoogerbrugge, R., Pul, A. van (2012) SO₂ meetstrategie. RIVM Rapport 680704016/2012. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Veldeman, N., Maiheu, B., Janssen, S., (2009), Implementatie van het RIO interpolatiemodel in Nederland, VITO NV

Bijlage A: Beschrijving INTERPOL

Het programma INTERPOL berekent aan de hand van een set van gegevens op basis van afstandsinterpolatie geïnterpoleerde waarden op een regelmatig raster. Bij afstandsinterpolatie wordt de waarde in het interpolatiepunt V_{int} berekend als een gewogen gemiddelde van de waarde op de omliggende meetpunten V_i . In formulevorm:

$$V_{int} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot V_i$$

De weegfactor w_i is een functie van de afstand d_i tussen meetpunt i en het interpolatiepunt volgens:

$$w_i = \frac{\exp(-\frac{d_i}{d_s})}{\sum_{j=1}^n \exp(-\frac{d_j}{d_s})}$$

De parameter d_s , ook wel interpolatiestraal genoemd, is de specifieke afstand die aangeeft tot op welke afstand (meet)waarden met elkaar gecorreleerd zijn.

De interpolatiestraal d_s wordt doorgaans uit het semi-variogram afgeleid. Het semi-variogram geeft de ruimtelijke autocorrelatie aan van de opgegeven (meet)locaties. Vanwege een van de basisprincipes van de geografie, waarbij dingen die dichterbij liggen meer op elkaar lijken, laten meetgegevens op nabij gelegen locaties een kleiner kwadratisch verschil zien dan de locaties die verder uit elkaar liggen. Hetzelfde principe wordt toegepast bij 'Ordinary Kriging'.

In het programma INTERPOL is echter voor een alternatieve aanpak gekozen. Hierbij wordt d_s zodanig gekozen dat de som van de kwadraatverschillen tussen de opgegeven en geïnterpoleerde waarde minimaal is (kruisvalidatie). Bij de interpolatie wordt het meetpunt zelf niet meegenomen. In formulevorm:

$$\min d_s = \left(\sum_{i=1}^n \left(w_i - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \exp\left(-\frac{d_{ij}}{d_s}\right) \cdot w_j \right)^2 \right)$$

De door deze formule bepaalde dynamische d_s wordt vervolgens gebruikt voor de interpolatie op een regelmatig raster. Het programma kent ook de mogelijkheid om een door de gebruiker te specificeren interpolatiestraal te gebruiken. De default instelling is de dynamische interpolatiestraal.

Daarnaast kent INTERPOL nog de mogelijkheid om het zoekgebied aan te passen. Bij het berekenen van de geïnterpoleerde waarde worden alleen meetpunten meegenomen die binnen een bepaalde afstand van het interpolatiepunt liggen. De afstand waarin wordt gezocht, wordt het zoekgebied genoemd. Het begrenzen van het zoekgebied heeft als functie dat hiermee wordt voorkomen dat veel verder weg gelegen punten het interpolatieresultaat op een bepaald punt te sterk beïnvloeden. Standaard staat dit zoekgebied ingesteld op 150 km, maar het kan ook door de gebruiker worden aangepast.

In het zoekgebied dienen minimaal vier meetpunten te liggen. Wanneer dit niet het geval is wordt een 'missing value' toegekend aan het betreffende interpolatiepunt. Verder is het maximale aantal meetpunten in een zoekgebied

vastgesteld op acht stuks. Dit betekent dat er alleen de acht meest nabij gelegen meetpunten bij de interpolatie worden meegenomen.

INTERPOL heeft een koppeling met het oude data-acquisitie systeem van het LML, genaamd RIL. Hierdoor kan het programma rechtstreeks gebruik maken van de gegevens, bijvoorbeeld uurwaarden, die opgeslagen zijn in de database. Er kan gekozen worden voor de data van een bepaald uur, een bepaalde dag of een bepaalde periode. Als voor het laatste wordt gekozen berekent INTERPOL voor elk meetpunt het gemiddelde over deze periode. Deze gemiddelde waarde wordt vervolgens, wanneer tenminste 75% van het aantal mogelijke waarden in de periode aanwezig is, gebruikt in de interpolatieberekening. Ook kunnen statistische kentallen, zoals jaargemiddelden, rechtstreeks uit de database opgehaald worden. Ook hier geldt dat wanneer het kental gebaseerd is op minder dan 75% van de theoretische aantal mogelijke waarden deze waarneming uit de interpolatieberekening wordt gelaten.

Resultaten van de interpolatieberekening worden opgeslagen in een gridbestand. Dit gridbestand is een platte-tekstbestand met daarin de matrix met getallen en de zogenaamde APS-header, die een beschrijving van de data in het bestand geeft. Dit type grids worden ook wel APS-grids genoemd.

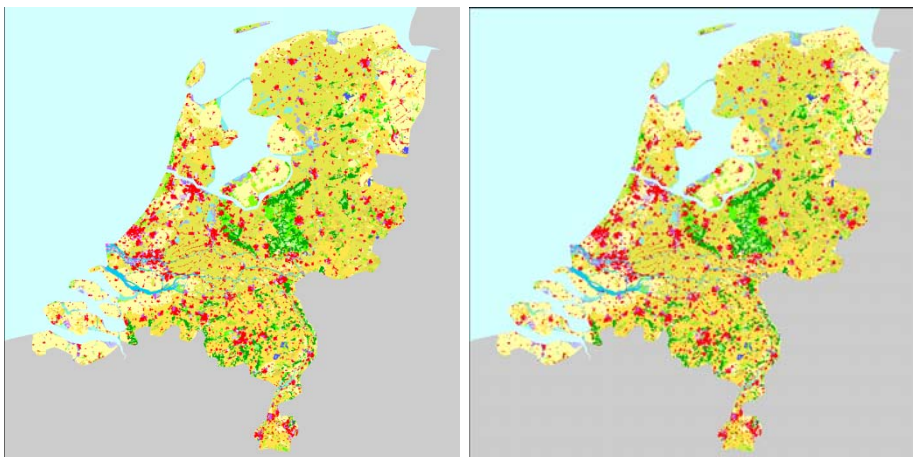
Bijlage B: Corine Land Cover

Het Corine Land Cover-project (Coordination of Information on the Environment Land Cover, CLC) is een Europees programma waarin het landgebruik van 27 EU-lidstaten en andere Europese landen wordt vastgesteld. Deze landgebruikkaart wordt geproduceerd door het Europees Milieuagentschap (EMA) en haar lidstaten, en is gebaseerd op de resultaten van IMAGE2000, een satelliet-imaging programma van het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek van de Europese Commissie en het EMA.

Een belangrijk onderdeel voor de RIO-interpolatie is het detrenden van de meetgegevens. Om dit te kunnen doen is gedetailleerde kennis van het landgebruik in de omgeving van de meetstations en in het te interpoleren gebied noodzakelijk. Hiervoor wordt de Corine landgebruiksk kaart gebruikt. Deze beschrijft het landgebruik voor heel Europa met een resolutie van 100x100 meter.

De Corine landgebruiksklassen, die een beschrijving geven van het landgebruik, worden geaggregeerd tot een kleinere set "RIO klassen". Het landgebruik aan de hand van deze RIO klassen wordt gebruikt om voor elk station het landgebruik binnen een straal vast te stellen. Deze gegevens worden vervolgens gebruikt voor het detrenden van de meetgegevens.

Hieronder staan de figuren van respectievelijk CLC2000 (versie van RIO Nederland, 2000) en CLC2006 (actuele versie, 2006).



Figuur 36 Links de CLC2000-kaart, rechts de CLC2006-kaart. De CLC2000-kaart wordt momenteel toegepast in RIO Nederland; RIO België is inmiddels over op de CLC2006-kaart.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag