



Informing you on ambient air quality
in the Belgian Regions

Validatie luchtkwaliteitsmodellen
ATMO-Street (Vlaanderen) en
RIO-IFDM (Brussel, Wallonië, België)
voor NO₂ in 2017



VLAAMSE
MILIEUMAATSCHAPPIJ

Inhoudstabel

Samenvatting	3
1 Inleiding	5
2 Methode	5
2.1 Modellen.....	5
2.2 Metingen.....	8
2.3 Validatie.....	15
3 Validatie ATMO-Street 2017 Vlaanderen	17
4 Validatie RIO-IFDM 2017 Wallonië	19
5 Validatie op basis van passieve sampler meetdata van Gent en Antwerpen	21
5.1 Meetcampagne stad Gent en Antwerpen	21
5.2 Ruimtelijke validatie	22
5.3 Conclusie validatie meetcampagne Antwerpen en Gent	25
6 Validatie op basis van passieve sampler meetdata van Namen	26
6.1 Meetcampagne Namen	26
6.2 Ruimtelijke validatie	26
6.3 Conclusie validatie meetcampagne Namen.....	29
7 Validatie op basis van onafhankelijke vaste telemetrische stations België	30
7.1 Telemetrische meetdata 2017	30
7.2 Ruimtelijke validatie 2017.....	32
7.3 Conclusie validatie telemetrische meetstations 2017	42
8 Validatie op basis van mobiele telemetrische stations Wallonië	43
8.1 Telemetrische meetdata 2017	43
8.2 Ruimtelijke validatie	43
8.3 Conclusie validatie mobiele telemetrische meetstations Wallonië 2017.....	47
9 Europese Model performantiestandaarden	47
10 Referenties	53
11 ANNEX	54
11.1 Ruimtelijke validatie RIO-IFDM NO ₂ 2014 (onafhankelijke telemetrische stations)	54
11.2 Ruimtelijke validatie RIO-IFDM NO ₂ 2016 (onafhankelijke telemetrische stations)	55
11.3 Temporele validaties onafhankelijke telemetrische meetstations 2017 uurlijks (links) en dagwaarden (rechts)	56

Samenvatting

Het doel van deze studie is om de performantie van de luchtkwaliteitsmodellen te evalueren voor NO₂-concentraties in 2017 in België. Voor 2017 is voor Vlaanderen het ATMO-Street (RIO-IFDM-OSPM) model beschikbaar. Dit is een model dat opgezet is om concentraties tot op het niveau van streetcanyons te berekenen. Voor Wallonië, Brussel en België als geheel betreffen het RIO-IFDM modelresultaten (2017). RIO-IFDM houdt geen rekening met streetcanyon effecten.

De ruimtelijke informatie die deze modellen verstrekken zijn belangrijk vanwege de gezondheidsimpact van luchtvervuiling door NO₂. De hoge resolutiekaarten laten immers toe een betere inschatting te maken van de blootstelling van de bevolking.

De modelresultaten worden vergeleken met beschikbare metingen om een inzicht te krijgen in de modelperformantie. Aan de hand van de beschikbare onafhankelijke metingen worden deze modelresultaten gevalideerd. De modelresultaten worden ook getoetst aan de huidige Europese kwaliteitscriteria voor luchtkwaliteitsmodellen. Gezien iedere meetcampagne zijn eigenheid heeft worden de verschillende campagnes apart bekeken.

- De **NO₂-jaargemiddelde concentraties voor Vlaanderen voor 2017 berekend met het ATMO-Street** model zijn erg performant. Een beperkte algemene onderschatting van -0.7 µg/m³ t.o.v. de metingen wordt vastgesteld. Op basis van alle beschikbare onafhankelijke metingen in 2017 (zowel de telemetrische metingen als de passieve samplers in Gent en Antwerpen) **voldoen deze modelresultaten aan de Europese kwaliteitscriteria voor luchtkwaliteitsmodellen**. Het ATMO-Street model zal gebruikt worden voor de beoordeling van de luchtkwaliteit in de Vlaamse luchtkwaliteitszones.
- De **NO₂-jaargemiddelde concentraties berekend met het RIO-IFDM model voor 2017 voor Wallonië** op basis van alle beschikbare onafhankelijke metingen voor 2017 (telemetrische en passieve samplers in Namen) **voldoen niet** aan de **Europese kwaliteitscriteria voor luchtkwaliteitsmodelresultaten**. Oorzaken zijn het gebrek aan gegevens in het secundair verkeersnetwerk en het niet in rekening brengen van streetcanyon effecten. In Brussel zijn er niet voldoende onafhankelijke metingen beschikbaar om een modelvalidatie uit te voeren.
- Op basis van de validatie met de onafhankelijke vaste telemetrische stations in **België** zijn de **modelresultaten van RIO-IFDM voor 2017 performant en bevestigen ze de resultaten van de validatie van het model voor 2016**. Dit model geeft een algemene onderschatting van -0.85 µg/m³.t.o.v. de meetwaarden. Dit model scoort goed voor 'open street locaties', streetcanyon effecten worden niet ingerekend in dit model.
- Er is slechts één onafhankelijk vast telemetrisch meetstation in Vlaanderen gelegen in een streetcanyon (42R805). Voor dit station onderschat RIO-IFDM de concentraties met 4 µg/m³. Het ATMO-Street model overschat voor dit station de concentraties met 8 µg/m³.
- Deze **overschatting van ATMO-Street** geldt niet voor alle streetcanyons. Dit blijkt uit de **de meetcampagne met passieve samplers in Antwerpen** waar er voor acht meetpunten streetcanyon effecten in rekening gebracht zijn. Op basis van de validatie van enkel deze meetcampagne kan gesteld worden dat er een **modelonderschatting is van - 3.5 µg/m³ voor de regio Antwerpen** . Ook voor de regio Gent werd een aparte modelvalidatie uitgevoerd. Hierbij dient rekening gehouden te worden met het significant verschil tussen de metingen voor en na de invoering van het circulatieplan in Gent in april 2017. Deze aanpassingen in verkeersstromen en -emissies in Gent zijn echter niet opgenomen in de ATMO-Street

modelinput van 2017. De **ATMO-Street** modelresultaten voor **de passieve sampler campagne in Antwerpen voldoen** aan de huidige **Europese kwaliteitscriteria voor luchtkwaliteitsmodelresultaten**, de ATMOSTreet modelresultaten voor de **passieve sampler campagne in Gent voldoen** niet aan de Europese criteria.

- Er zijn indicaties dat de ATMO-Street modelperformantie in de toekomst kan verhoogd worden door een verbeterde inschatting van de verkeersstromen en -emissies en o.a. ook door een verbeterde afbakening van de streetcanyons.
- De validatie van het RIO-IFDM model op basis van de passieve sampler campagne in Namen duidt op een onderschatting van het model. Dit kan verklaard worden doordat en er geen streetcanyon effecten werden in rekening gebracht en door de grote onzekerheden op de onderliggende data (emissies en locaties van wegen).
- De modelvalidatie van RIO-IFDM in Wallonië op basis van de beschikbare mobiele metingen (gelegen in rurale zones, stedelijke achtergrond en stedelijk gebied) is performant en geeft een algemene modelonderschatting van $-1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Het modelresultaat van de stedelijke locaties van deze meetcampagne wordt eveneens onderschat vergelijkbaar met de passieve sampler metingen in Namen.
- Bij de vergelijking tussen de gemodelleerde RIO-IFDM concentraties waarbij een receptorpunt op de exacte locatie van het meetpunt ligt, en van een gemodelleerde concentratie waarvoor de concentraties op de locatie van de meetpunten berekend worden via een interpolatie naar $10 \times 10 \text{m}^2$ van de omliggende receptorpunten, worden er geen significante verschillen vastgesteld.

Concluderend kan gesteld worden dat het ATMO-Street model voor Vlaanderen in 2017 voor NO₂-jaargemiddelde concentraties performant is. Het ATMO-Street model voldoet aan de voorwaarden die Europa via FAIRMODE ("Forum for Air Quality Modelling) oplegt om het te gebruiken als beoordelingsmodel.

Voor België blijft het RIO-IFDM model in 2017 voor NO₂-jaargemiddelde concentraties even performant als in 2016. Het RIO-IFDM model is representatief voor 'open street locaties'.

Voor Brussel en Wallonië is het RIO-IFDM model nog niet aangepast om in te zoomen op binnenstedelijke gebied. Voor Brussel is er slechts één onafhankelijke meting beschikbaar. Het RIO-IFDM model ($42 \mu\text{g}/\text{m}^3$) onderschat daar de gemeten NO₂-jaargemiddelde concentratie ($56 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Het niet in rekening brengen van de streetcanyon effecten en eventuele onzekerheden op de emissies kunnen mogelijke oorzaken zijn voor deze onderschattingen in stedelijke gebieden.

1 Inleiding

Recente studies tonen aan dat lage NO₂-concentraties een grotere impact hebben op de gezondheid dan eerder gedacht³⁴. Tot op heden worden de gezondheidseffecten van NO₂ berekend vanaf jaargemiddelde concentraties hoger dan 20 µg/m³. Uit recente studies¹ blijkt dat deze 'drempelconcentratie' (C₀) vermoedelijk te hoog is. Volgens de Wereld Gezondheids Organisatie (WGO) zijn er aanwijzingen dat op basis van nieuwe studies de drempelconcentratie van 20 µg/m³ te conservatief werd ingeschat². Voor België heeft dit een grote impact want het is net als een aantal andere regio's in NW-Europa een hotspot voor NO₂.

Om de bevolkingsblootstelling te kunnen berekenen en dus de impact van NO₂ op de gezondheid te kunnen inschatten is er, naast de informatie over NO₂ metingen ook **ruimtelijke informatie vereist**. Met **luchtkwaliteitsmodellen** kunnen de concentraties in België berekend worden op plaatsen waar niet gemeten wordt. Met luchtkwaliteitsmodellen kan de de luchtvervuiling dus ook ruimtelijk beoordeeld worden.

De kwaliteit van een luchtkwaliteitsmodel wordt nagegaan door middel van een modelvalidatie. In deze studie worden onafhankelijke metingen (dit zijn metingen die niet in het luchtkwaliteitsmodel gebruikt worden) vergeleken met de modelresultaten. Op basis van de statistische indicatoren die uit deze vergelijking worden afgeleid kan men dan oordelen hoe performant het model is.

Op Europees niveau worden via FAIRMODE³ en de CEN werkgroep (CENTC264/WG43⁴) kwaliteitscriteria vastgelegd voor luchtkwaliteitsmodellen. Deze kwaliteitscriteria worden bepaald voor verschillende grenswaarden. Hierbij worden een aantal statistische indicatoren berekend waarbij rekening gehouden wordt met meet- en modelonzekerheden.

2 Methode

De bedoeling van deze studie is om onafhankelijke beschikbare meetdata van NO₂ in België te gebruiken om de modellen te valideren.

2.1 Modellen

Het RIO-IFDM model is een combinatie van de **RIO-interpolatietechniek** met het IFDM-model. IFDM (Immision Frequency Distribution Model) is een 'bi-gaussiaans' pluimmodel dat vertrekt van emissiebronnen en aan de hand van meteorologische parameters de verspreiding van niet-reactieve polluenten modelleert. Dankzij een vereenvoudigde module voor de berekening van de ozonchemie, zijn ook resultaten voor NO₂ en O₃ mogelijk. In het IFDM-model worden de emissies van wegverkeer op alle belangrijke snel- en gewestwegen, scheepvaart en industriële puntbronnen gebruikt om concentraties op receptorpunten te berekenen. Deze kunnen dan geïnterpoleerd worden op een hogere resolutie (vb. 10x10 m²). De emissies die niet worden meegenomen in het IFDM-model (bv.

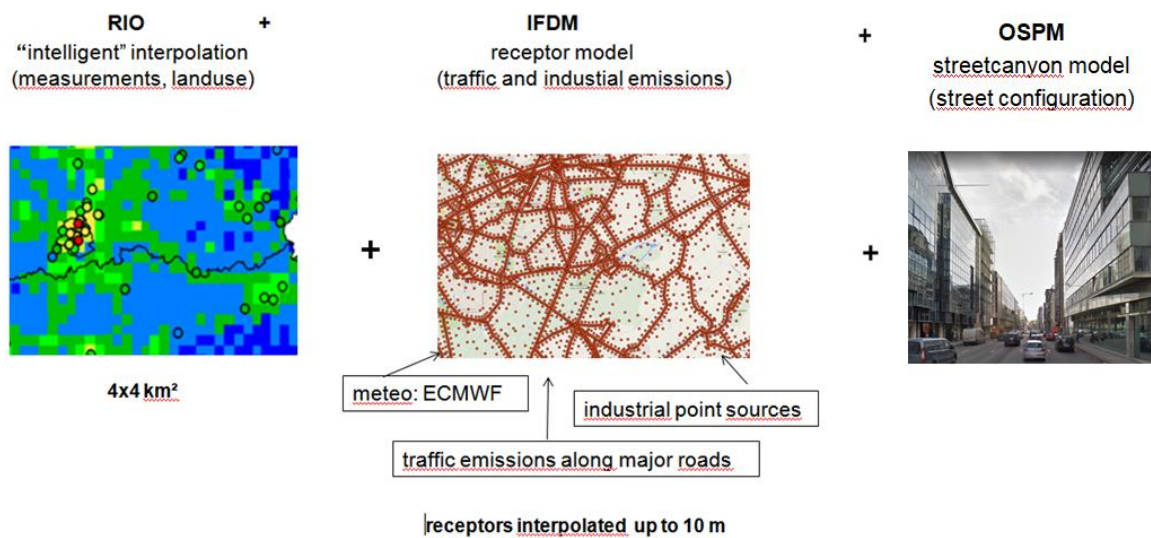
¹ European Environment Agency, Air quality in Europe, 2017 report

² Héroux et al, 2015, Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project.

³ <http://fairmode.jrc.ec.europa.eu/>

⁴ Werkgroep van de Europese standaardisatieorganisatie

van landbouw, huishoudens) worden wel in rekening gebracht via de koppeling met RIO dat als achtergrond wordt gebruikt. De RIO-kaarten (4x4 km²) worden aangemaakt d.m.v. een interpolatietechniek die gebaseerd is op landgebruik en uurlijkse metingen. Het RIO-IFDM model berekent concentraties voor de pollutanten PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, NO₂ en zwarte koolstof (BC of black carbon). Om dubbel telling van emissies door het wegverkeer, scheepvaart en de industrie te vermijden wordt een dubbel tellingscorrectie toegepast. In deze validatiestudie ligt de focus op NO₂. Voor de gebruikte **RIO-IFDM** luchtkwaliteitsmodelketen worden de beste resultaten verwacht voor de zogenaamde ‘open street locaties’. Dit zijn locaties zonder bebouwing of obstakels in de onmiddellijke omgeving. Voor specifieke locaties, de zogeheten ‘street canyons’ (stedelijke locaties met veel aaneengesloten bebouwing) wordt het OSPM-model aan de RIO-IFDM keten gekoppeld. Op die manier kan met de **RIO-IFDM-OSPM** modelketen, ook het **ATMO-Street model** geheten, het effect van een slechtere ventilatie in zogenaamde “street canyons” op de NO₂-concentraties worden ingeschat.



Figuur 2 : Schematische voorstelling van het RIO-IFDM-OSPM luchtkwaliteitsmodel

De meteorologische gegevens, verkeers- en industriële emissies en de RIO-achtergrondkaart zijn belangrijke inputgegevens voor het RIO-IFDM model. De gebruikte inputgegevens in deze versie wordt hieronder kort toegelicht.

- Meteorologische gegevens: data-geassimileerde uurlijkse gevalideerde ECMWF data, gegevens van het jaar 2017. Voor de data-assimilatie worden ook de telemetrische meteorologische data uit de luchtmeetnetten en de data van het synoptische netwerk van het KMI gebruikt. De ruimtelijke resolutie is 1x1 km².
- Verkeers- en industriële emissies (lijnbronnen): jaarlijkse emissietotalen worden ruimtelijk gespreid en via tijdsfactoren herleid naar uurlijkse gegevens. De gebruikte verkeersdata zijn niet gelijk voor alle gewesten :
 - Voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest worden de totale verkeers- en industriële emissies van het betreffende jaar (LRTAP-rapportering) gespreid volgens een spreidingspatroon gebaseerd op mobiliteitsgegevens van MUSTI (2017) (ontwikkeld door Brussel Mobiliteit).

- Vlaanderen: FastRace 1.1.0, emissies 2016, verkeersnetwerk afkomstig van MOW.
- Voor Wallonië worden de totale verkeersemissies van het betreffende jaar (LRTAP-rapportering) gespreid volgens een spreidingspatroon
 - Voor de gewestelijke en snelwegen o.b.v. tellingen 2016
 - Voor de gemeentelijke wegen (enkel het netwerk van de tertiaire wegen, de residentiële wegen zijn niet opgenomen) zijn de overblijvende emissies gespreid o.b.v. bevolkingsdichtheid en type straat.
- Industriële emissies (puntbronnen): voor Vlaanderen worden de EMAP⁵-emissiegegevens gebruikt. Voor Brussel wordt de E-PRTR databank geraadpleegd en voor Wallonië worden de gegevens rechtstreeks opgevraagd bij de administratie.
- Scheepvaartemissies (lijnbronnen):
 - Voor Vlaanderen worden gegevens uit het EMMOSS v3.1-model gebruikt, emissies 2016.
 - Voor Wallonië en Brussel worden de gegridde data (emissies 2016) i.h.k.v. de LRTAP-rapportering toegekend aan het scheepvaartnetwerk.
- RIO: de versie 4.0 wordt gebruikt.

De RIO-IFDM koppeling is ontwikkeld in samenwerking met de VITO in het kader van het ATMOSYS Life-project. Uitgebreide informatie voor wat betreft de wetenschappelijke achtergrond en de technische aspecten van de gebruikte modellen is te vinden in de volgende documenten:

- Verdere validatie luchtkwaliteitsmodel RIO-IFDM en eerste validatieresultaten voor RIO-IFDM-OSPM voor NO₂ 2016 (IRCEL) ⁶
- Validatie luchtkwaliteitsmodel RIO-IFDM voor NO₂ 2014 (IRCEL) ⁷
- Validatie RIO-IFDM-OSPM Atmosyscampagne 2011-2012, (VITO) ⁸
- Evaluation of the RIO-IFDM-street canyon model chain (VITO) ⁹
- RIO-IFDM (Lefebvre et al., 2013)¹⁰
- RIO (Janssen et al, 2008)¹¹
- IFDM (Model Document System)¹².

De koppeling van het RIO-IFDM model met het streetcanyonmodel OSPM is gedocumenteerd in het Eindrapport Kenniscentrum Luchtkwaliteitsmodellering, (VITO, Referentietaken 2016 in opdracht van VMM en het departement LNE). Het OSPM model vult het RIO-IFDM model aan door de effecten op de luchtkwaliteit in streetcanyons mee te nemen. De koppeling RIO-IFDM-OSPM wordt ook het ATMO-Street model genoemd en in dit model wordt eerst een selectie van de straten gemaakt die als 'street canyon' geassocieerd worden. Voor deze gebieden of plaatsen worden dan op basis van o.a. de

⁵ <https://emap.marvin.vito.be/faces/index.jsp>

⁶ <http://www.ircel.be/nl/documentatie/modellen/validatie/validatie-rio-ifdm-ospm-no2-2016/>

⁷ www.ircel.be/en/documentation/models/validatierapport-rio-ifdm-no2/

⁸ Rapport activiteiten 2016 Referentietaken 12: Kenniscentrum Luchtkwaliteitsmodellering, maart 2017

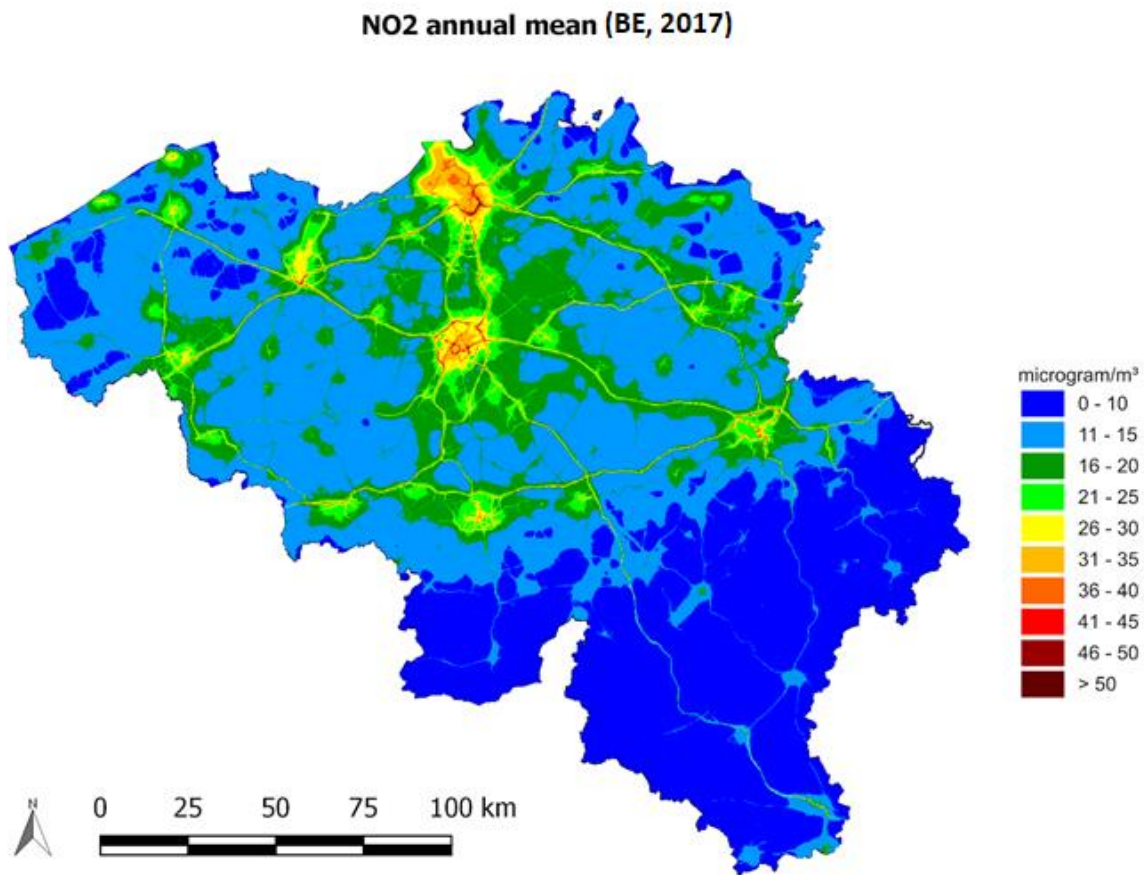
⁹ Lefebvre W., Van Poppel M., Maiheu B., Janssen S., Dons E., 2013

¹⁰ http://www.atmosys.eu/faces/doc/ATMOSYS_Deliverable_10_IFDM_Model_Validation.pdf

¹¹ <http://www.ircel.be/en/documentation/publications/scientific-journals>

¹² http://acm.eionet.europa.eu/databases/MDS/index_html

gebouwenconfiguratie, straatbreedte en -hoogte de NO₂-concentraties berekend. Deze modelresultaten zijn enkel beschikbaar voor Vlaanderen. Voor Brussel en Wallonië betreft het voor 2017 RIO-IFDM modelresultaten.



Figuur 3 : Jaargemiddelde NO₂-concentraties RIO-IFDM België 2017

2.2 Metingen

Met onafhankelijke metingen wordt bedoeld dat de metingen niet gebruikt worden in het RIO interpolatiemodel waarvan de resultaten gebruikt worden als achtergrondconcentraties door het ATMO-Street of het RIO-IFDM model. Er worden **onafhankelijke telemetrische** monitoringsstations (uurlijkse meetdata) van het **vaste meetnet** gebruikt. In Vlaanderen zijn er ook metingen van de **passieve samplers** campagnes in Gent en Antwerpen voor 2017 beschikbaar. In Wallonië zijn er voor 2017 meetgegevens van de passieve sampler meetcampagne in Namen en van **mobiele telemetrische meetstations** beschikbaar. Via de telemetrische metingen kan ook de temporele performantie van de modellen, tot op uurniveau, ingeschat worden.

De meeste, in deze studie gebruikte, onafhankelijke vaste telemetrische meetplaatsen bevinden zich niet in een 'streetcanyon'. Slechts één onafhankelijk telemetrisch station is gelegen in een streetcanyon. Dit heeft als gevolg dat er voor de validatie van 2017 met de telemetrische stations slechts één station beschikbaar is waarvoor streetcanyon effecten berekend worden in de modelketen van ATMO-Street.

In Gent vond op 6 april 2017 de invoering van het circulatieplan plaats. De metingen van de passieve sampler meetcampagne voor de invoering zijn significant lager dan na de invoering van het circulatieplan. Voor de bepaling van de verkeersstromen en de verkeersemissies werd nog geen rekening gehouden met de impact van het circulatieplan. De passieve sampler data uit Gent worden toch gebruikt voor de validatie van het model “as is” (= zonder rekening te houden met de gewijzigde verkeersstromen en -emissies).

De passieve sampler in Antwerpen aan de tunnel AT38 wordt à priori niet meegenomen in de modelvalidatie, gezien we de gemodelleerde concentratie op deze specifieke plaats, namelijk een tunnelmond, als een outlier beschouwen. Het is gekend dat effecten van een tunnel niet ingerekend zijn in het model: emissies worden aan beide uitgangen toegekend, zonder bv. rekening te houden met mechanische ventilatie. Ter info, de gemeten concentratie op het meetpunt AT38 bedroeg 54 µg/m³, de gemodelleerde concentratie was 188 µg/m³.

In Namen vond een passieve sampler campagne plaats van 5 januari 2017 tot 19 december 2017 op een 40-tal locaties. De meetlocaties P77 en P88 hadden niet voldoende data en zijn niet opgenomen in de validatie.

Voor wat betreft de mobiele telemetrische campagnes in Wallonië zijn enkel de metingen opgenomen voor validatie die voldoende data hadden voor 2017 (minstens 75 % data beschikbaar).

Tabel 1: Stations- en gebiedstype van de gebruikte onafhankelijke data van de vaste telemetrische meetstations voor de validatie 2017

2017	Beschikbare modelresultaten	stationstype	gebiedstype
40AL01	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
40GK09	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
40HB23	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
40LD01	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
40LD02	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
40SA04	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
42R803	RIO-IFDM	achtergrond	stedelijk
42R804	RIO-IFDM	verkeer	stedelijk
42R805	RIO-IFDM-OSPM	verkeer	stedelijk
42R811	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
42R815	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
42R817	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
42R820	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
42R822	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke

42R823	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
42R830	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
42R831	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
42R834	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
43R221	RIO-IFDM	achtergrond	stedelijk
44R702	RIO-IFDM	verkeer	stedelijk
44R710	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
44R721	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
44R731	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
44R740	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
44R750	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
45R501	RIO-IFDM	achtergrond	stedelijk
45R502	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
45R512	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
47E007	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E008	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E009	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E013	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
47E703	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E704	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E714	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E715	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E716	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
47E814	RIO-IFDM	industrieel	ruraal



Figuur 4 : Locaties van de vaste onafhankelijke telemetrische metingen voor validatie 2017

Tabel 2: Gebiedstype en periode van de mobiele onafhankelijke telemetrische metingen in Wallonië

2017	2017	gebiedstype	Meetcampagne van:	tot
Butgenbach	RMBU01	rural	01/01/2017	14/10/2017
Wanne	RMTP01	rural	04/02/2017	31/12/2017
Seloignes	RMMO16	rural	01/01/2017	31/12/2017
Tubize	RMTU01	suburban	01/01/2017	31/12/2017
Hannut	RMHA06	suburban	01/01/2017	31/12/2017
Bierset	TMLG07	urban	01/01/2017	31/12/2017
Namur	RMNA12	urban	01/01/2017	31/12/2017
Hermalle	RMHE08	industrial	01/01/2017	22/09/2017



Figuur 5 : Locaties van de mobiele onafhankelijke telemetrische metingen voor validatie 2017 Wallonië

Tabel 3: Gebruikte metingen van de passieve sampler campagne van Gent en Antwerpen voor de validatie

Antwerpen	Galgenweellaan	AL08
Antwerpen	Amerikalei	AT20
Antwerpen	Desguinlei	AT29
Antwerpen	Lombardenvest	AT37
Antwerpen	Tunnelplaats	AT38
Antwerpen	Turnhoutsebaan	AT39
Antwerpen	Rubenslei	AT40
Antwerpen	Paradeplein	AT41
Antwerpen	Floralienlaan	AT42
Antwerpen	Viaduct-Dam	AT43
Antwerpen	Lange Beeldekenstraat	AT45
Antwerpen	Pothoekstraat	AT46
Antwerpen	Osystraat	AT47
Antwerpen	Haantjeslei	AT48
Antwerpen	Abdijstraat	AT49
Borgerhout (Antwerpen)	Sergeyselsstraat	BT03
Borgerhout (Antwerpen)	Karel De Preterlei	BT04
Deurne (Antwerpen)	Rivierenhof / Parkweg_	DU05
Deurne (Antwerpen)	Herentalsebaan 146	DU06

Gent	Martelaarslaan	GN36
Gent	Palinghuizen	GN37
Gent	Dok-Zuid	GN38
Gent	Rooigemlaan	GN39
Gent	Keizervest	GN40
Gent	Nieuwewandeling	GN41
Gent	Coupure	GN42
Gent	Clarissenstraat	GN43

Gent	Tweebruggenstraat	GN44
Gent	Rodetorenkaai	GN45
Gent	Begijnhoflaan	GN46
Gent	Kortrijksepoortstraat	GN47
Gent	Coupure	GN48
Gent	Phoenixstraat	GN49
Gent	Keizer Karelstraat	GN50
Gent	Tolhuislaan	GN51
Gent	Lammerstraat	GN52
Gent	Hoogstraat	GN53
Gent	Recollettenlei	GN54
Gent	Kraanlei	GN55



Figuur 6 : locaties van passieve sampler metingen in de stad Gent (links) en Antwerpen (rechts) 2017

Tabel 4: Meetpunten van de passieve sampler campagne van Namen voor validatie

2017			
P1	P45	P55	P65
P1	P46	P56	P66
P4	P47	P57	P67
P5	P48	P58	P68
P6	P49	P59	P69
P11	P50	P60	P70
P41	P51	P61	P71
P42	P52	P62	P72
P43	P53	P63	P73
P44	P53	P64	



Figuur 7 : locaties van passieve sampler metingen in de stad Namen 2017

2.3 Validatie

In deze studie worden zowel de metingen van een onafhankelijke aantal telemetrische stations als metingen met passieve samplers (Gent, Antwerpen, Namen) gebruikt voor de validatie. Deze metingen van de telemetrische stations worden niet gebruikt in het RIO-IFDM model en het ATMO-Street model en zijn dus onafhankelijke metingen. Metingen met passieve samplers zijn sowieso onafhankelijk.

De ruimtelijke validatie is de validatie van de modelwaarden die uitgemiddeld zijn over de volledige duur van de campagne per meetstation. Deze validatie geeft weer hoe goed het model de ruimtelijke variabiliteit van de concentraties over de volledige meetperiode kan inschatten.

De temporele validatie is de validatie per station en over de periode van de meting. Voor de validatie met de passieve samplers betreft dit twee weken en voor de validatie met de telemetrische meetdata gaat dit over uurwaarden. Een zeer beknopte beschrijving van de gebruikte statistische indicatoren die afgeleid worden uit de vergelijking van de gemodelleerde versus de gemeten concentraties volgt hieronder. De formules van deze indicatoren en bijkomende informatie over de gebruikte statistieken kan o.a. gevonden worden in 'A procedure for air quality models benchmarking' (Thunis P. et al, 2010).

Er wordt vastgesteld dat iedere meetcampagne zijn eigen kenmerken heeft. Deze validatieoefening heeft als doel het model verder te verbeteren en te optimaliseren. Daarom is het relevant om de validaties en de conclusies per meetcampagne te beschouwen (zie de hoofdstukken 3 tot 8).

Voor de ruimtelijke en voor de temporele validatie wordt een orthogonale regressie toegepast tussen de gemeten en gemodelleerde waarden. Dit omdat er zowel op de meting als op het modelresultaten onzekerheden zijn. Deze orthogonale regressierechte geeft een visueel inzicht in de modelperformantie.

De gebruikte statistische indicatoren:

- Pearsons Correlatie Coëfficiënt (**R**)

Een statistiek die informatie geeft over de lineaire correlatie tussen de metingen en de modelwaarden. Hoe meer deze naar 1 gaat hoe meer de puntenkoppels (model (M)- meting (O)) positief gecorreleerd zijn of anders gezegd hoe meer zij op een rechte lijn liggen met een positieve helling met richtingscoëfficiënt 1. Indien deze statistiek nul is wil dit zeggen dat er geen correlatie is tussen meting en modelwaarde.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M}) \cdot (O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

- Root Mean Square Error ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (**RMSE**)

Een maat voor de afwijking tussen de gemodelleerde en de gemeten waarde. Hoe meer deze statistiek naar nul gaat, hoe beter het model in het algemeen presteert. Deze statistiek kan sterk beïnvloed worden door uitschieters.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}$$

- Mean Bias ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (**MB**)

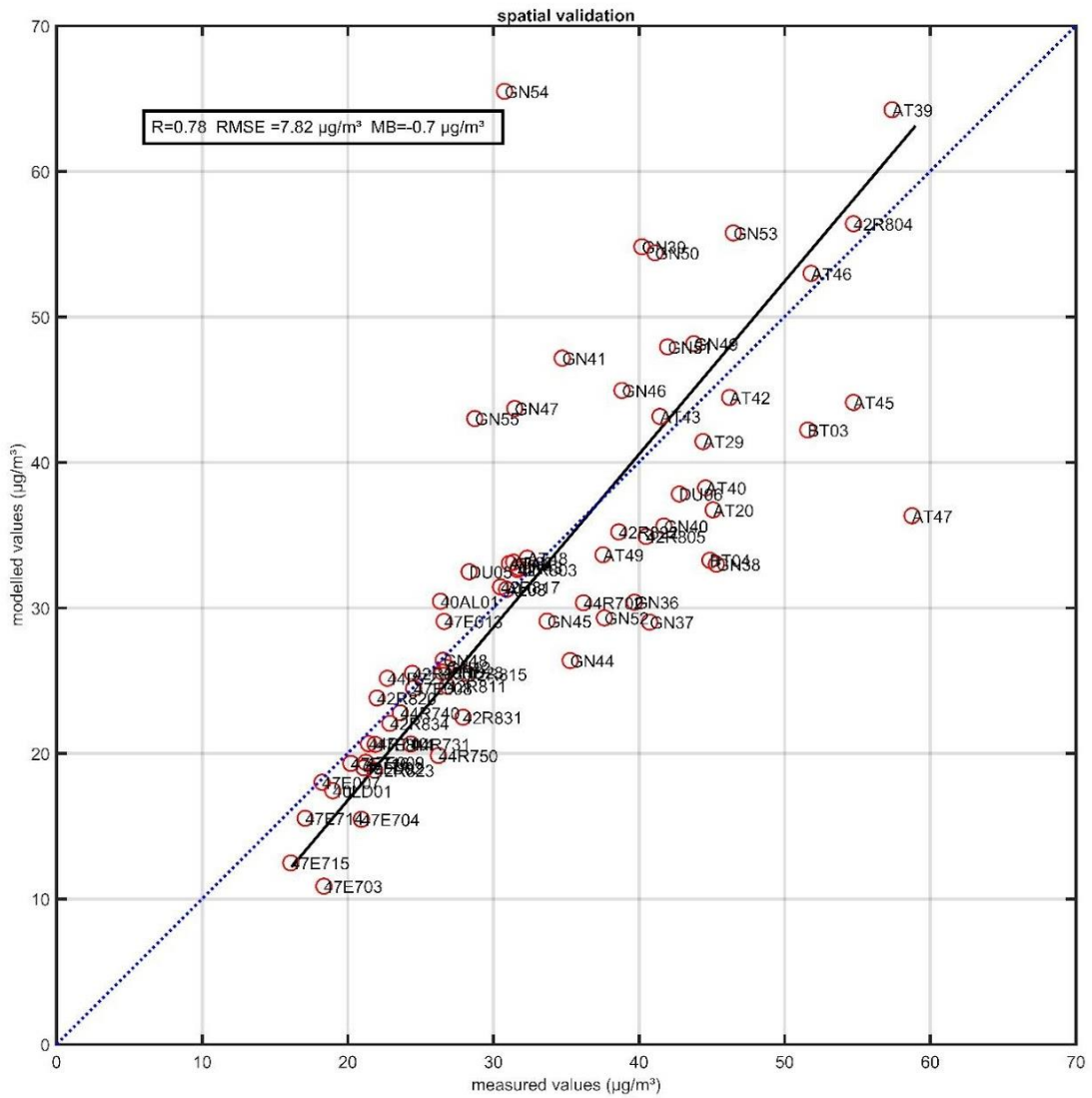
Deze statistiek geeft de mate van algemene over- of onderschatting van het model ten opzichte van de metingen weer.

$$MBias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)$$

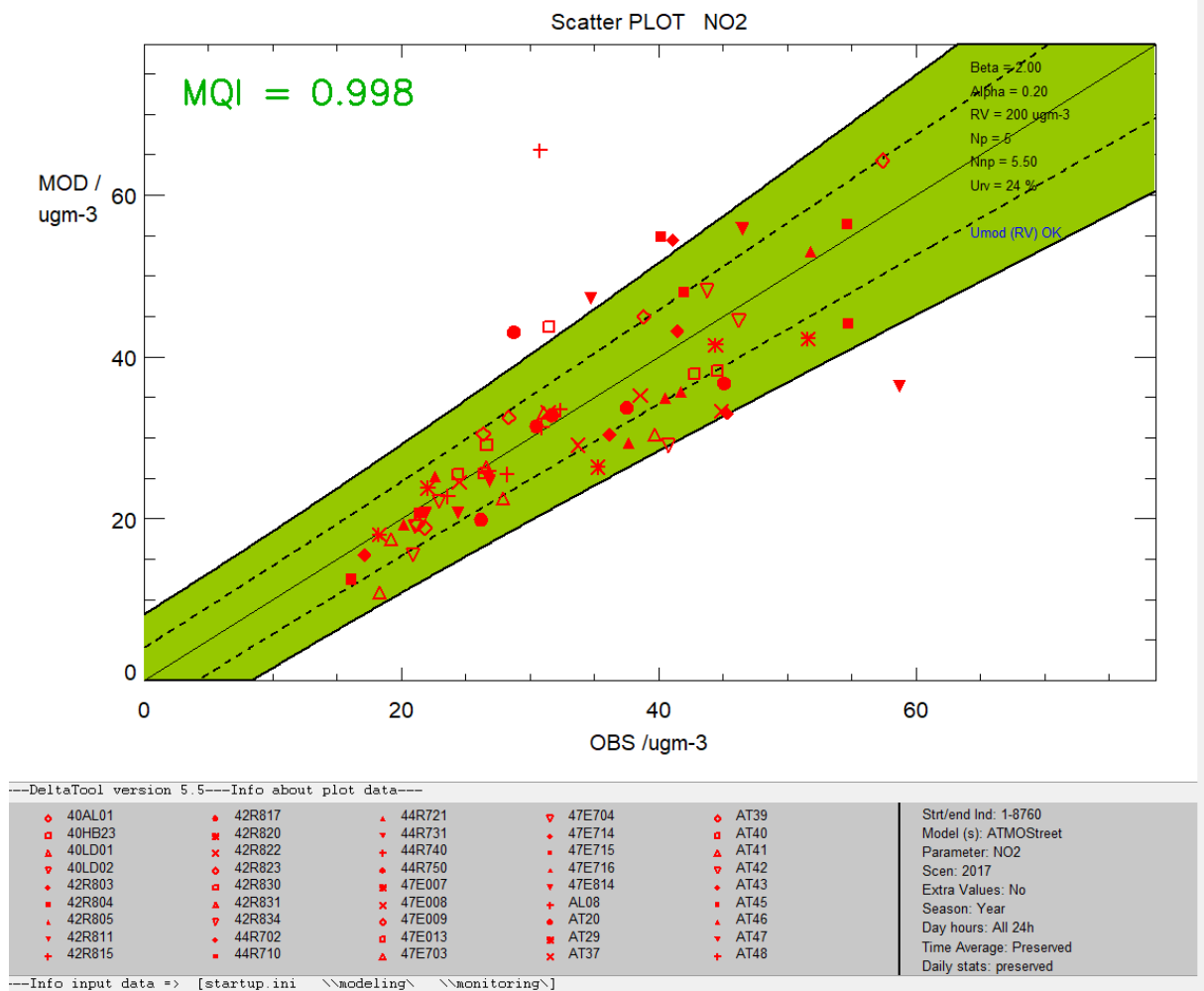
Samenvattend kan gesteld worden dat hoe meer de orthogonale regressierechte samenvalt met de bissectrice in de grafiek met als Y-as de gemodelleerde concentraties en als X-as de gemeten concentraties, hoe performanter het model. Een model presteert beter naarmate R meer naar 1 gaat en naarmate de MB en de RMSE meer naar nul gaan.

3 Validatie ATMO-Street 2017 Vlaanderen

Onderstaande validatie betreft alle beschikbare onafhankelijke meetgegevens voor NO₂ voor 2017 met de ATMO-Street modelresultaten. In dit ATMO-Streetmodel worden streetcanyon effecten in rekening gebracht. Dit model is enkel beschikbaar voor Vlaanderen. Uit de validatiestatistieken (R=0.78, RMSE =7.82 µg/m³ en MB=-0.7) blijkt dat dit model erg performant is. Er is een algemene onderschatting van het model van -0.7 µg/m³ t.o.v. de metingen. Op Figuur 9 wordt vastgesteld dat op basis van alle beschikbare onafhankelijke metingen die beschikbaar zijn voor 2017, de Europese kwaliteitscriteria voor luchtkwaliteitsmodellen behaald werd (d.w.z. Model Quality Indicator (MQI)<1)). Dit wil zeggen dat meer dan 90 % van de dataparen (onafhankelijke metingen -modelresultaten) zich in de groene zone van het scatterplot bevinden. Deze groene zone is o.a. bepaald op basis van de meetonzekerheid voor referentiemetingen. In hoofdstuk 9 wordt verder ingegaan op deze Europese performantiestandaarden voor luchtkwaliteitsmodellen. Om Figuur 9 te maken werd de FAIRMODE deltatool gebruikt die de kwaliteitscriteria voor luchtkwaliteitsmodelresultaten test. Deze tool werd ontwikkeld door het Joint Research Centre van Europese Unie. Op basis van deze validatieoefening oldoet het ATMO-Street aan de voorwaarden om de luchtkwaliteit in de luchtkwaliteitszones in Vlaanderen ruimtelijk te beoordelen.



Figuur 8 : Ruimtelijke validatie ATMO-Street NO₂ jaargemiddelden 2017 (alle beschikbare onafhankelijke metingen Vlaanderen).

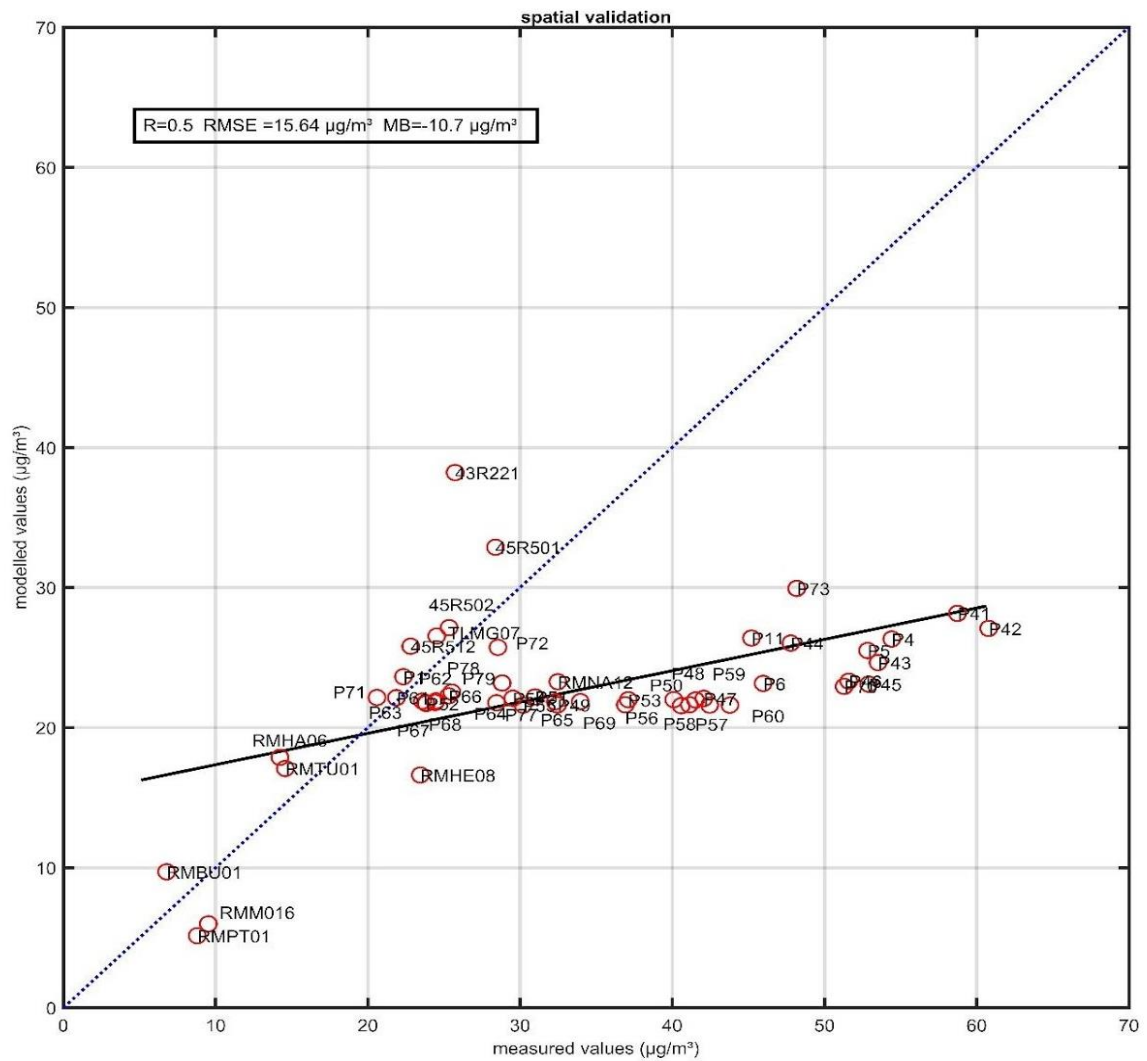


Figuur 9: DELTATOOL Model Quality Indicator en scatterplot NO2 jaargemiddelde (modelwaarden versus onafhankelijke metingen) Vlaanderen ATMO-Street 2017

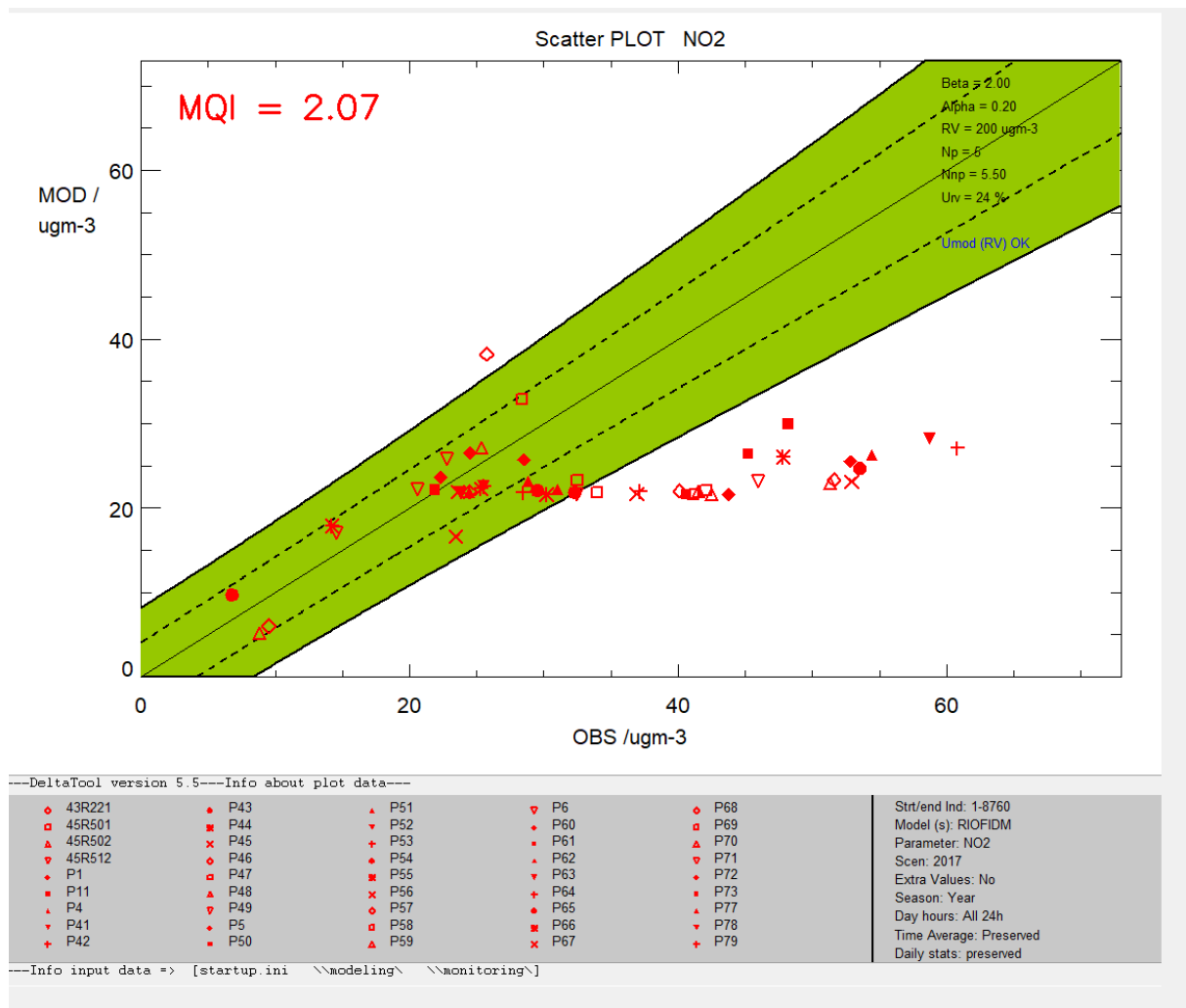
4 Validatie RIO-IFDM 2017 Wallonië

Voor Brussel zijn er geen receptormodelresultaten van onafhankelijke meetstations voor 2017 beschikbaar. Onderstaande validatie betreft de RIO-IFDM modelresultaten met alle beschikbare onafhankelijke meetgegevens voor NO₂ voor 2017 in Wallonië. In dit model worden geen streetcanyon effecten in rekening gebracht. Uit de validatiestatistieken ($R=0.5$, $RMSE = 15.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $MB = -10.7$) blijkt dat dit model de metingen onderschat. Er is een algemene onderschatting van het model van $-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ t.o.v. de metingen. Voornamelijk de modelresultaten voor de stad Namen tonen een grote onderschatting. Dit geeft aan dat het RIO-IFDM model minder performant is in stedelijke context. Op onderstaande figuur wordt vastgesteld dat het RIO-IFDM model op basis van alle metingen voor 2017 niet voldoet aan de Europese kwaliteitscriteria voor luchtkwaliteitsmodellen ($MQI > 1$). Dit wil zeggen dat minder dan 90 % van de dataparen (onafhankelijke metingen -modelresultaten) zich in de groene zone van het scatterplot bevinden. Deze groene zone is o.a. bepaald op basis van meetonzekerheid. In hoofdstuk 9 wordt verder ingegaan op deze Europese performantiestandaarden voor luchtkwaliteitsmodellen. Om Figuur 11 te maken werd de deltatool gebruikt die de kwaliteitscriteria voor luchtkwaliteitsmodelresultaten test. Deze tool werd ontwikkeld door het Joint Research Centre van Europese Unie.

In wat volgt wordt verder ingegaan op de aparte meetcampagnes in Wallonië.



Figuur 10 : Ruimtelijke validatie RIO-IFDM NO₂ jaargemiddelden 2017 (alle beschikbare onafhankelijke metingen Wallonië: meetstations en passieve samplers).



Figuur 11: DELTATOOL Model Quality Indicator en scatterplot NO₂ jaargemiddelde (modelwaarden versus onafhankelijke metingen) Wallonië RIO-IFDM 2017

5 Validatie ATMO-Street op basis van passieve sampler meetdata van Gent en Antwerpen

5.1 Meetcampagne stad Gent en Antwerpen

De VMM heeft op een veertigtal plaatsen NO₂-passieve sampler metingen uitgevoerd in 2017. De metingen werden met passieve samplers (type BureauBlauw) uitgevoerd. Het betreft een 18-tal locaties in Antwerpen en een 19-tal in de stad Gent. De passieve samplers werden om de twee weken vervangen. De beschouwde meetdata in onderstaande validatie betreft de jaargemiddelde NO₂-concentraties.

De meetlocaties in de stad Gent werden gekozen in functie van de inwerkingtreding van het circulatieplan van de stad. Dit plan trad in werking op 6 april 2017. Op basis van de metingen werd een gemiddelde daling van 18 % gemeten tussen de periode voor en na de invoering van het circulatieplan. Het circulatieplan zorgt voor een wijziging van de verkeersstromen en -emissies in Gent. Hiermee is in het model geen rekening gehouden wat maakt dat de meetgegevens niet erg bruikbaar zijn voor

modelvalidatie en -verbetering o.a. omdat de aanpassingen n.a.v. dit circulatieplan niet vervat zijn in het model.

5.2 Ruimtelijke validatie

De ruimtelijke validatiestatistieken van de ATMO-Street modelresultaten voor de meetcampagne in Gent scoren niet goed. Vooral de correlatiecoëfficiënt presteert ondermaats. Deze duidt op een slechte correlatie tussen gemeten en gemodelleerde waarde.

De ruimtelijke validatie van de ATMO-Street resultaten voor de meetcampagne in Antwerpen wordt gekenmerkt door betere validatiestatistieken vergeleken met de validatieoefening voor Gent. Er werd een R van 0.69, een RMSE van $7.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en een MB van $-3.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bepaald. Deze laatste statistiek geeft weer dat voor deze meetcampagne ATMO-Street modelwaarden gemiddeld genomen de NO_2 -concentraties onderschatten.

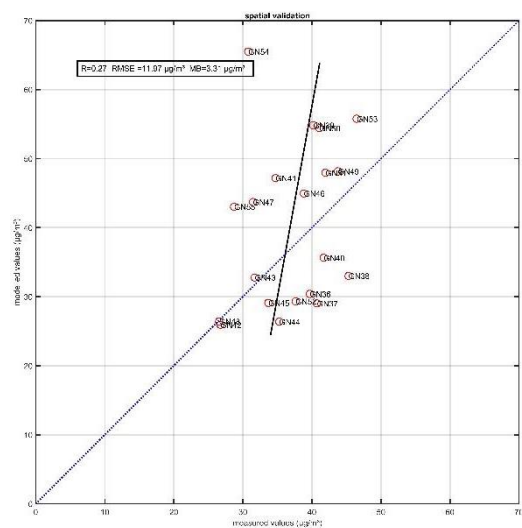
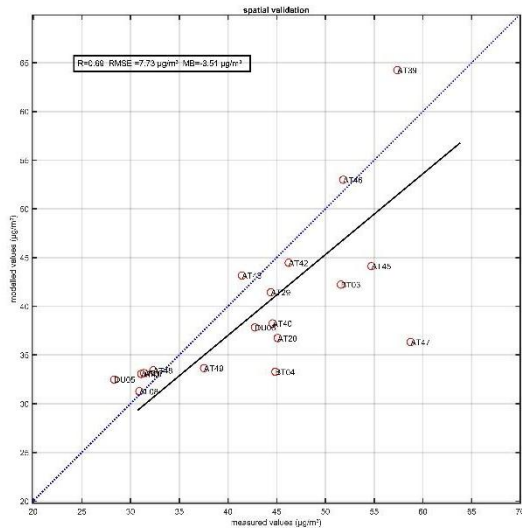
De ruimtelijke validatie van beide passieve sampler campagnes zijn te zien in figuur 12.

Bij opsplitsing van de ruimtelijke validatie per meetplaats waarvoor in het ATMO-Street model een streetcanyon effect berekend (8 meetplaatsen) is versus deze waar geen streetcanyon effect (10 meetplaatsen) berekend is, kan vastgesteld worden dat voor de meetpunten waar streetcanyons gedefinieerd zijn in het model, de ruimtelijke validatiestatistieken (R van 0,87 een RMSE van $5.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en een MB van $-1.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$) beter zijn dan deze waar geen streetcanyon effecten doorgerekend zijn (R van 0.67, een RMSE van $8.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en een MB van $-4.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (zie figuur 13). Op figuur 14 zijn enkele meetlocaties waarvoor geen streetcanyon effecten berekend zijn afgebeeld. De meetplaatsen AT45 en AT47 lijken meetlocaties waar wel een streetcanyon effect zou berekend moeten worden. Dit geeft een eerste indicatie dat de definitie van streetcanyons in ATMO-Street nog voor verbetering vatbaar is.

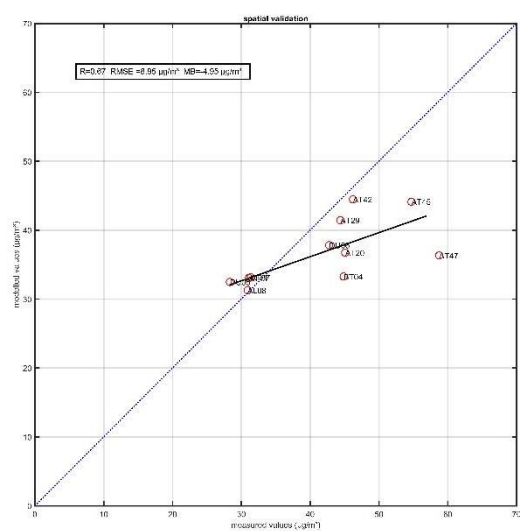
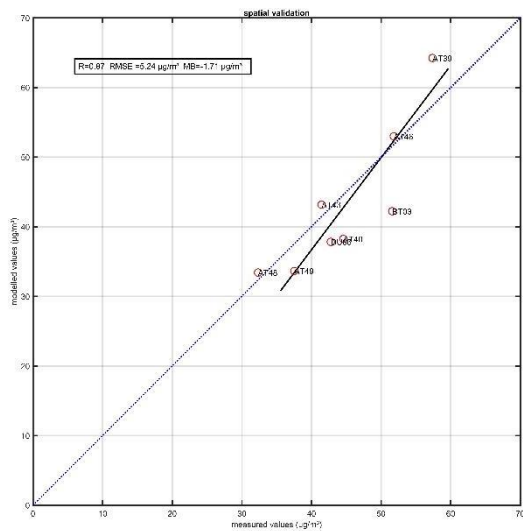
In het algemeen kan gesteld worden dat ATMO-Street de jaargemiddelde NO_2 -concentraties (over alle meetplaatsen in Antwerpen en gemiddeld voor 2017) onderschatten met $-3.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De bevindingen (algemene overschatting over alle meetplaatsen van $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) van de validatie van de 6 maanden durende meetcampagne in Gent in 2016 worden niet bevestigd in deze nieuwe studie.

Op basis van de eerste onderzoeken van de ATMO-Street modelresultaten op basis van de grootschalige meetcampagne CurieuzeNeuzen in mei 2018 in Vlaanderen zijn er indicaties dat de inschatting van de verkeersstromen en -emissies op sommige plaatsen problemen geeft.

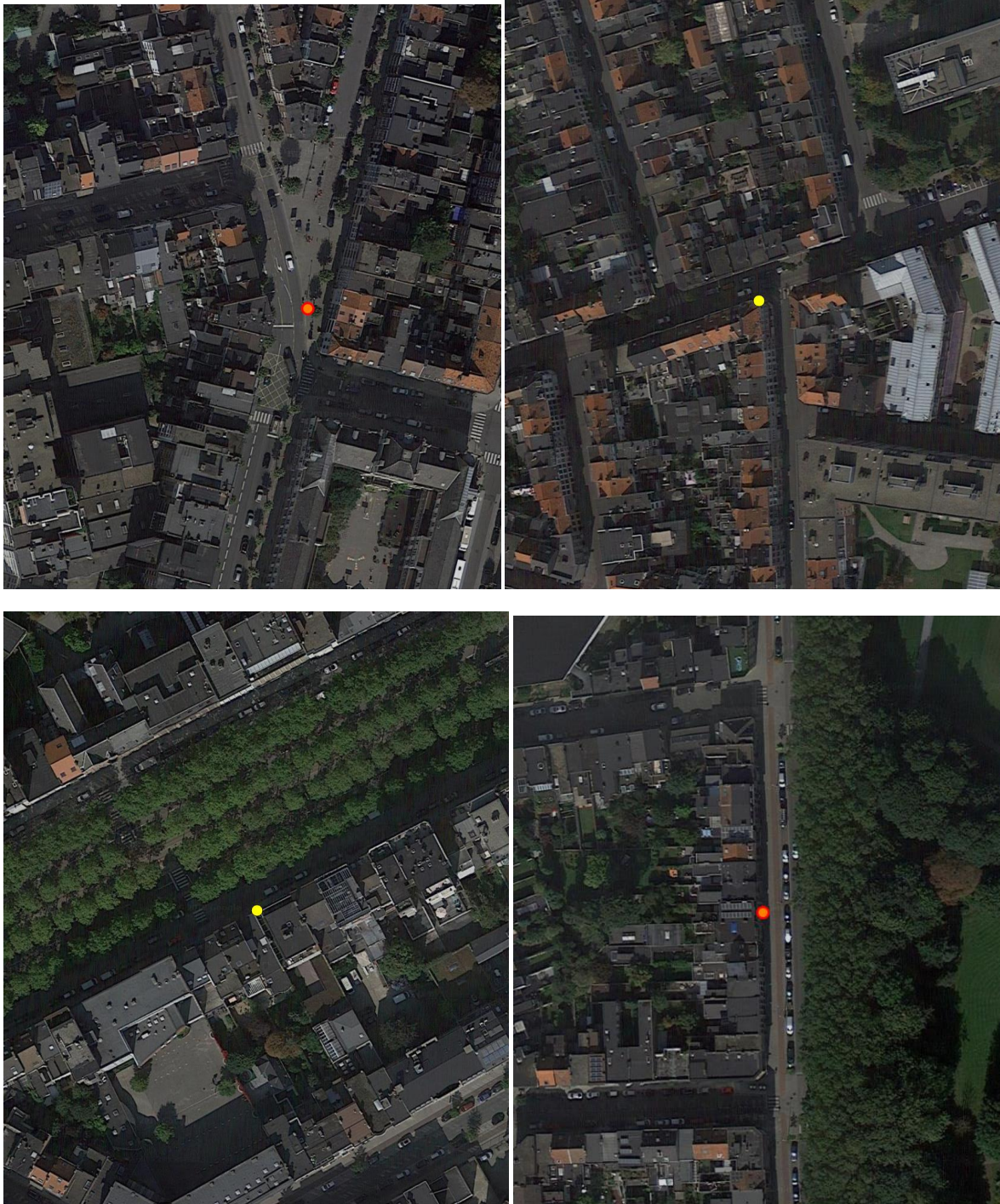
Zo werden er bijvoorbeeld grote ATMO-Street modeloverschatting vastgesteld in Gent, Halle, Beveren, Tielt. Hier bleek dat de verkeersstromen en -emissies onrealistisch hoog waren en grote modeloverschattingen tot gevolg hadden. Anderzijds bleek ook uit eerste analyses van enkele stadsringen in Vlaanderen dat ATMO-Street modelwaarden hier onderschatten. De **afbakening van streetcanyons** of het **niet correct inschatten van de verkeersstromen en -emissies** lijken aan de basis te liggen van deze **overschattingen en onderschattingen door het ATMO-Street model**.



Figuur 12: Ruimtelijke validatie ATMO-Street jaargemiddelde NO₂-concentratie 2017 passieve sampler meetcampagne Antwerpen (links) en Gent (rechts)



Figuur 13: Ruimtelijke validatie ATMO-Street jaargemiddelde NO₂-concentratie 2017 passieve sampler meetcampagne Antwerpen met meetpunten waar streetcanyon effecten berekend zijn (links) en met meetpunten waar geen streetcanyon effecten berekend zijn (rechts)



Figuur 14: Afbeelding van de meetlocaties AT47, AT45, AT20 en BT04 waar geen streetcanyon effecten berekend zijn in het ATMO-Street model van de passieve sampler meetcampagne in Antwerpen



Figuur 15: Afbeelding van de meetlocaties AT46, AT43, AT48 en BT04 waar streetcanyon effecten berekend zijn in het ATMO-Street model van de passieve sampler meetcampagne in Antwerpen

5.3 Conclusie validatie meetcampagne Antwerpen en Gent

Uit de passieve sampler meetcampagne in Gent van 2017 kunnen moeilijk conclusies getrokken worden omdat uit de metingen blijkt dat er significante verschillen zijn in de metingen voor en na de invoering van het circulatieplan.

Op basis van de statistieken van de validatie van de **passieve sampler meetcampagne in Antwerpen in 2017** kan algemeen gesteld worden dat het ATMO-Street model goed presteert. De modelprestatie is het best op locaties waar streetcanyoneffecten in rekening worden gebracht. **Gemiddeld genomen**, over de 18 meetplaatsen voor 2017 worden de **NO₂ concentraties voor 2017 door ATMO-Street in Antwerpen met -3.51 µg/m³ onderschat.**

Er zijn indicaties dat de ATMO-Street modelperformantie in de toekomst kunnen verhoogd worden door een verbeterde inschatting van de verkeersstromen en -emissies en o.a. ook door een verbeterde afbakening van streetcanyons.

6 Validatie op basis van passieve sampler meetdata van Namen

6.1 Meetcampagne Namen

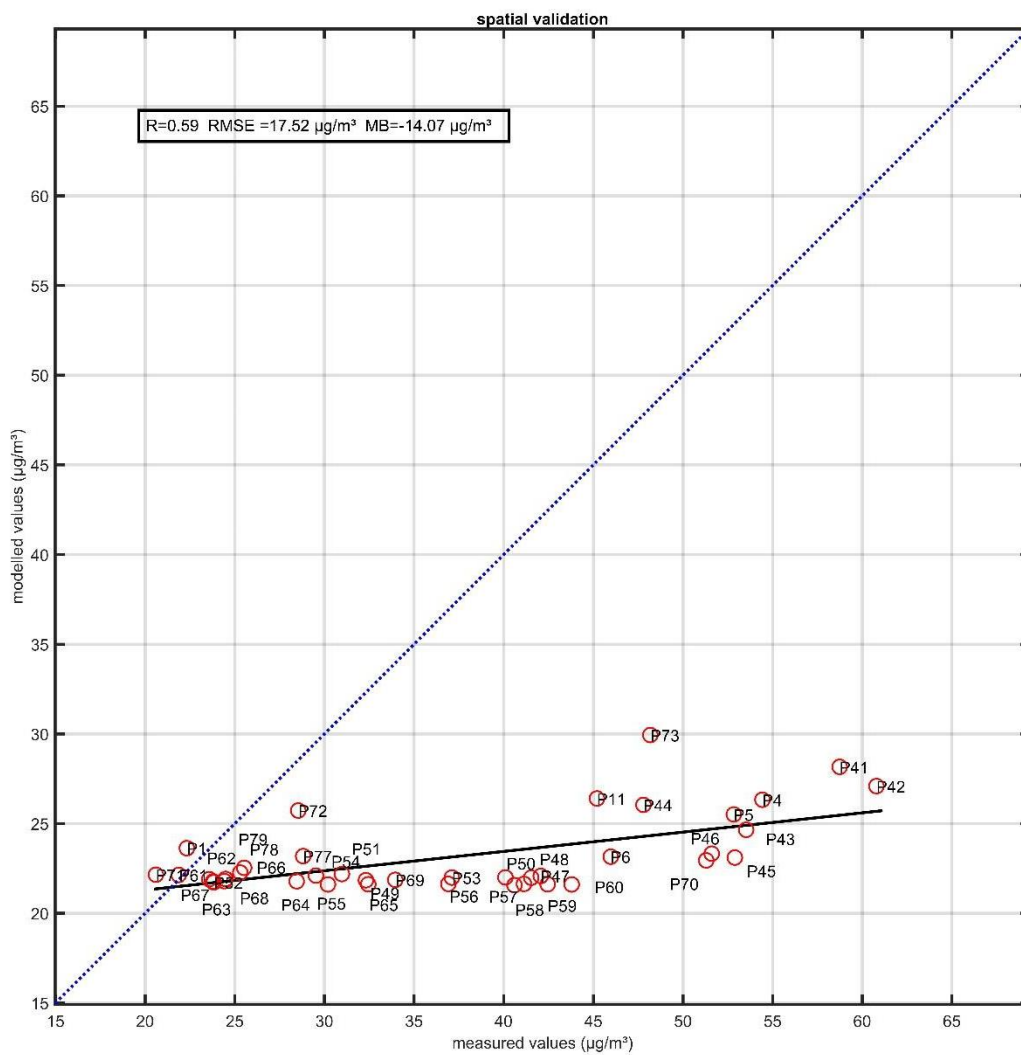
AWAC en ISSEP hebben op een veertigtal plaatsen NO₂-passieve sampler metingen uitgevoerd in de stad Namen in 2017. De metingen werden met passieve samplers (type Gradko) uitgevoerd. Het betreft 38 locaties. De passieve samplers werden om de twee weken vervangen. De beschouwde meetdata in onderstaande validatie betreft de jaargemiddelde NO₂-concentraties.

6.2 Ruimtelijke validatie

De ruimtelijke validatie van de RIO-IFDM modelresultaten voor de meetcampagne in Namen zijn niet performant. Vooral de correlatiecoëfficiënt presteert ondermaats. Deze duidt op een slechte correlatie tussen gemeten en gemodelleerde waarde.

De ruimtelijke validatie van de RIO-IFDM resultaten voor de meetcampagne in Namen wordt gekenmerkt door een R van 0.59, een RMSE van 17.52 µg/m³ en een MB van -14.07 µg/m³. Deze laatste statistiek geeft weer dat voor deze meetcampagne de RIO-IFDM modelresultaten gemiddeld genomen de NO₂-concentraties onderschatten met 14 µg/m³.

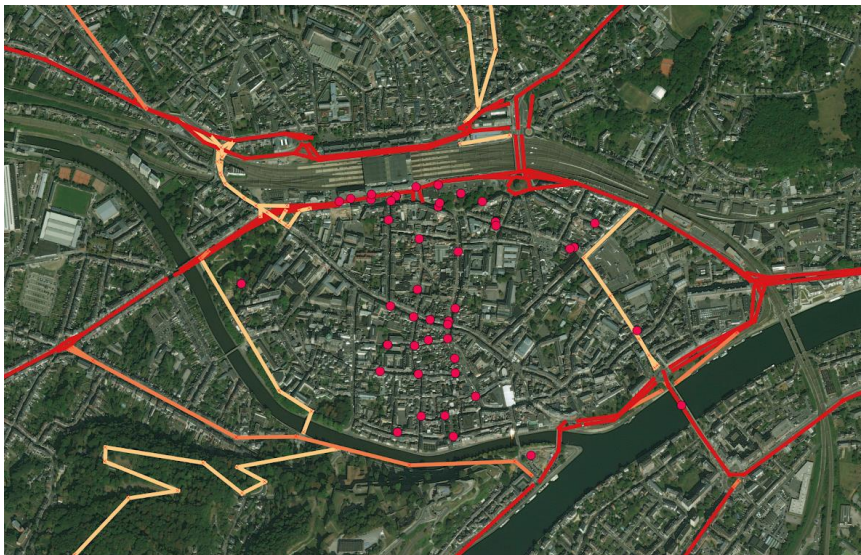
Als we inzoomen op de meetplaatsen stellen we vast dat de grootste onderschattingen zich in de stationsbuurt voordoen (P41, P42, P43, P44, P45, P4, P11 en P5). Deze stationsbuurt wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van bussen en intensief verkeer. Ook grote onderschattingen doen zich voor op o.a. de meetplaatsen P56, P57, P58. Op figuur 14 blijkt dat dit streetcanyon locaties betreft. Gezien er enkel modelresultaten van RIO-IFDM beschikbaar zijn in Wallonië worden streetcanyoneffecten nog niet meegenomen. Voor o.a. de locaties P1, P61 en P71 presteert het RIO-IFDM wel goed. Dit betreft locaties die eerder 'open street' of half open bebouwingen zijn.



Figuur 16: : Ruimtelijke validatie RIO-IFDM jaargemiddelde NO₂-concentratie 2017 passieve sampler meetcampagne Namen



Figuur 17 Afbeelding van de meetlocaties van de passieve sampler campagne Namen: linksboven stationsbuurt (meetplaatsen P41, P42, P43, P44, P45, P4), rechtsboven en linksonder streetcanyons locaties (P56, P57, P58 en P5) en rechtsonder afbeelding van de meetlocatie P61 van de passieve sampler meetcampagne in Namen



Figuur 18: Verkeersnetwerk gebruikt in Namen, en locatie van de passieve samplers.

6.3 Conclusie validatie meetcampagne Namen

Op basis van de statistieken van de validatie van de **passieve sampler meetcampagne in Namen in 2017** kan algemeen gesteld worden dat het RIO-IFDM model niet performant is. **Gemiddeld genomen, over de 38 meetplaatsen voor 2017 worden de NO₂ concentraties voor 2017 door RIO-IFDM met 14 µg/m³ onderschat.**

Er zijn indicaties dat het RIO-IFDM performant is voor de openstreet locaties in deze campagne en halfopen bebouwingen. Voor wat betreft de stationsomgeving en streetcanyon locaties onderschat het RIO-IFDM de jaargemiddelde NO₂-concentraties van 2017. Oorzaken voor deze onderschattingen zijn het gebrek van gegevens in de secundair verkeersnetwerk (zie figuur 18) en **niet in rekening brengen van streetcanyon effecten**

7 Validatie RIO-IFDM op basis van onafhankelijke vaste telemetrische stations België

7.1 Telemetrische meetdata 2017

Zoals reeds aangegeven zijn onafhankelijke meetstations stations die niet in de modelketen gebruikt worden. Voor de modelketens RIO-IFDM en ATMO-Street betreft dit stations die niet in RIO gebruikt worden. De onafhankelijke telemetrische meetstations, die uurlijkse gegevens aanleveren worden hieronder opgelijst. De locaties van de meetstations zijn terug te vinden op Figuur 4. Voor wat betreft de validatie met deze onafhankelijke telemetrische stations is er slechts één station waar street canyon effecten ingerekend worden: 42R805. Voor de andere stations worden de RIO-IFDM modelresultaten gevalideerd. Deze meetstations zijn niet in een streetcanyon gelegen zijn of zijn Waalse of Brusselse telemetrische stations.

Tabel 5: Stationsclassificatie en beschikbaar modelresultaat van de gebruikte onafhankelijke telemetrische NO₂ stations 2017 voor validatie

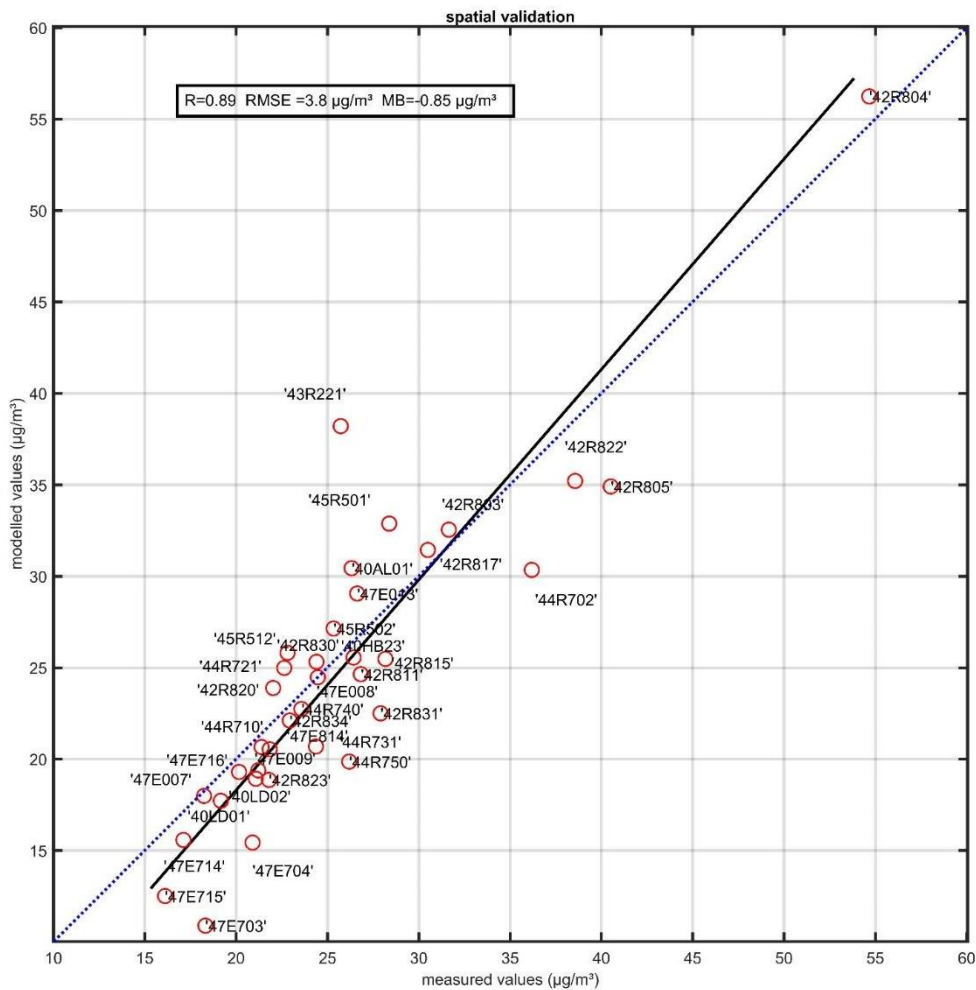
2017	Beschikbare modelresultaten	stationstype	gebiedstype
40AL01	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
40GK09	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
40HB23	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
40LD01	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
40LD02	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
40SA04	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
42R803	RIO-IFDM	achtergrond	stedelijk
42R804	RIO-IFDM	verkeer	stedelijk
42R805	RIO-IFDM-OSPM	verkeer	stedelijk
42R811	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
42R815	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
42R817	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
42R820	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
42R822	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
42R823	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
42R830	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
42R831	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
42R834	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
43R221	RIO-IFDM	achtergrond	stedelijk

44R702	RIO-IFDM	verkeer	stedelijk
44R710	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
44R721	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
44R731	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
44R740	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
44R750	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
45R501	RIO-IFDM	achtergrond	stedelijk
45R502	RIO-IFDM	achtergrond	voorstedelijke
45R512	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
47E007	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E008	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E009	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E013	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
47E703	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E704	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E714	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E715	RIO-IFDM	industrieel	ruraal
47E716	RIO-IFDM	industrieel	voorstedelijke
47E814	RIO-IFDM	industrieel	ruraal

Het aantal onafhankelijke telemetrische stations is toegenomen in vergelijking met de voorgaande validatieoefening 2016. Er dient opgemerkt dat voor de stations 40GK089 en 40SA04 er onvoldoende meetdata ter beschikking is (minder dan 20 %). Deze stations worden niet opgenomen in de validatie.

Voor Wallonië betreft het vier onafhankelijke telemetrische stations (43R221, 45R502, 45R503 en 45R512) de overige zijn Vlaamse onafhankelijke telemetrische stations.

7.2 Ruimtelijke validatie RIO-IFDM 2017



Figuur 19: ruimtelijke validatie RIO-IFDM jaargemiddelde NO₂-concentraties 2017 (onafhankelijke telemetrische stations 2017)

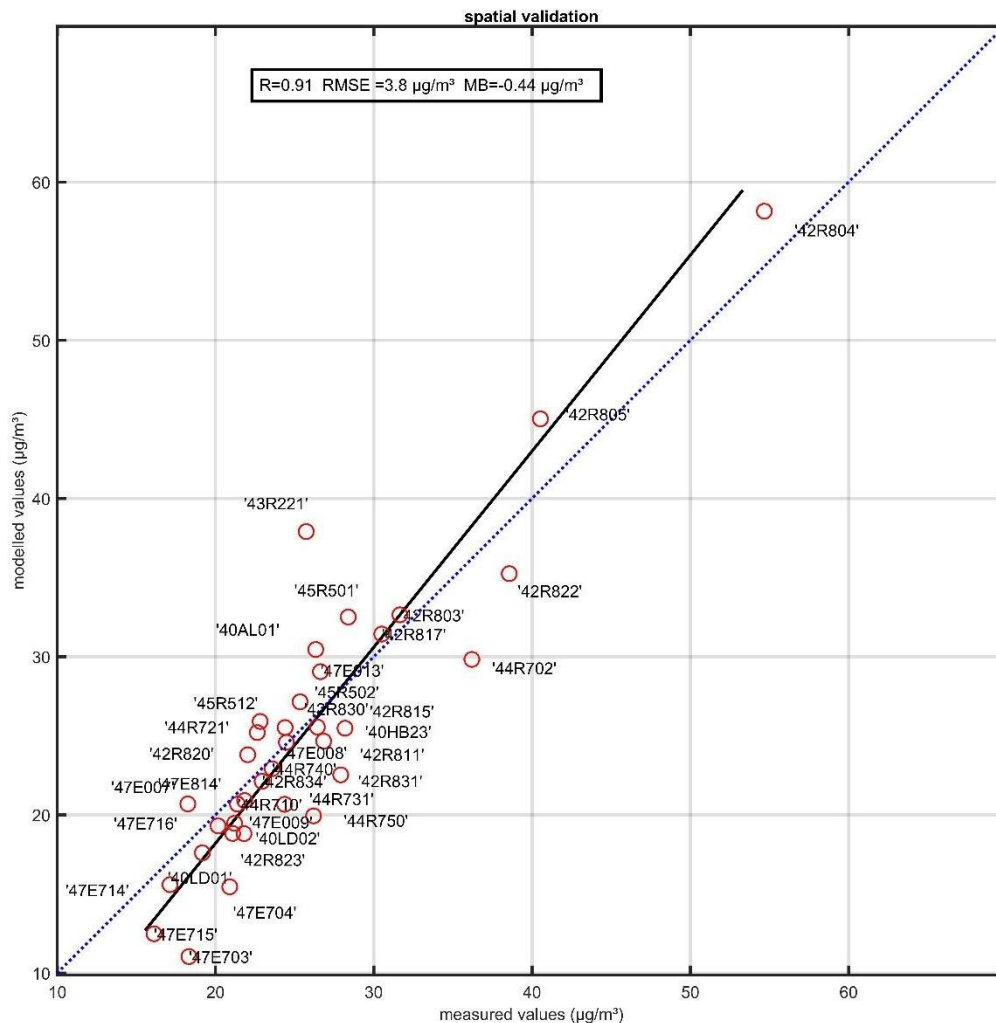
De ruimtelijk validatie wordt gekenmerkt door een R van 0.89, een RMSE van 3.8 µg/m³ en een MB van -0.85 µg/m³. Deze statistieken zijn vergelijkbaar met deze van de validatie van 2016 en 2014 (zie annex I). Dit zijn performante validatiestatistieken.

Tabel 6: Overzicht ruimtelijke validatiestatistieken onafhankelijke telemetrische meestations in België in 2017,2016 en 2014

Ruimtelijke validatie onafhankelijke telemetrische stations	R	RMSE (µg/m ³)	MB (µg/m ³)
2017	0.89	3.8	-0.85
2016	0.91	3.63	-1.95
2014	0.95	3.68	- 0.91

De validatie van de onafhankelijke telemetrische stations werd uitgevoerd met modelwaarden die berekend werden op de exacte plaats van de metingen. M.a.w. de locaties van de onafhankelijke

telemetrische stations zijn receptorpunten waar de modelwaarden berekend worden (zie ook hoofdstuk 2.1 Model). Om de modelresultaten te visualiseren gebeurt een interpolatie van de irreguliere receptorpunten naar een raster van 10 meter op 10 meter. Op de figuur hieronder is de spatiale validatie van deze geïnterpoleerde modelwaarden weergegeven. Omdat de geïnterpoleerde waarden licht afwijken t.o.v. de berekende modelwaarde op het receptorpunt, krijgen we licht verschillende ruimtelijke validatiestatistieken. De afwijkingen van deze validatiestatistieken zijn erg klein.



Figuur 20: ruimtelijke validatie RIO-IFDM jaargemiddelde NO₂-concentraties op basis van de geïnterpoleerde modelwaarden 2017 (onafhankelijke telemetrische stations 2017)

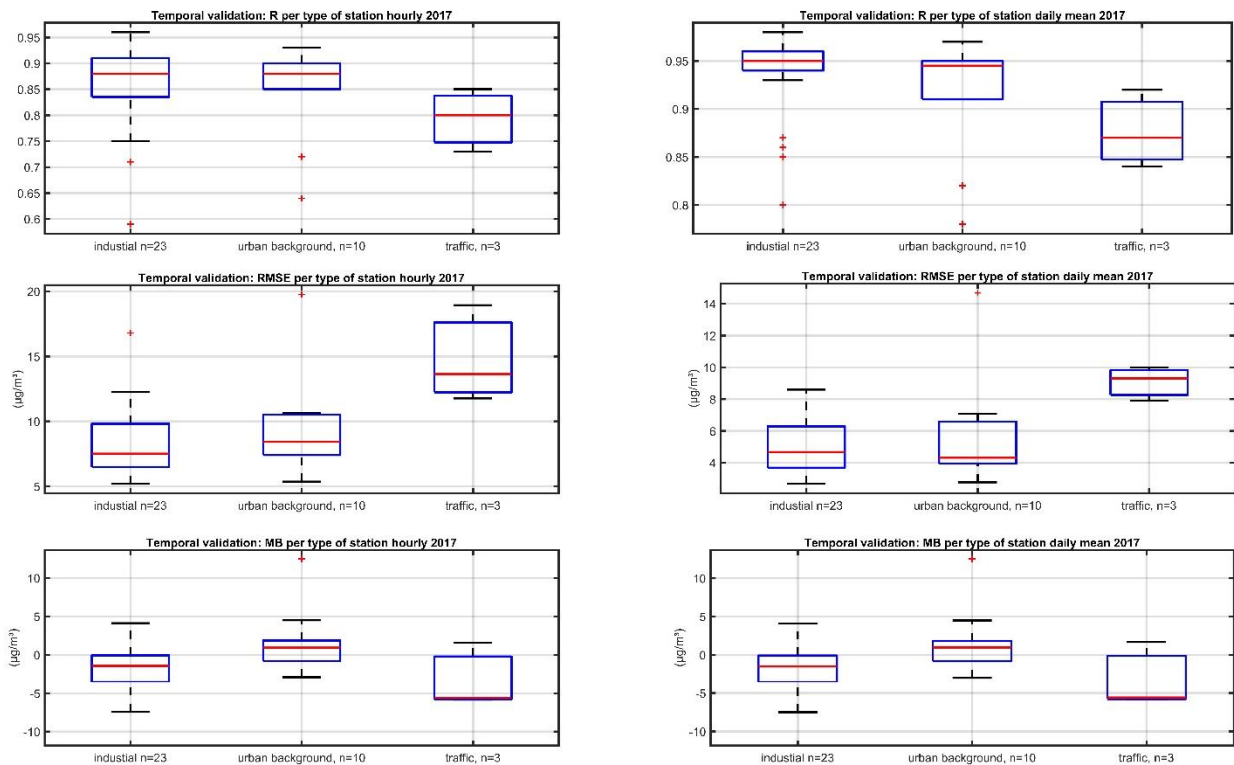
Voor Brussel zijn er geen modelwaarden op de exacte locatie van het onafhankelijke telemetrische station 41B001 (Kunst-Wet) beschikbaar. De gemodelleerde rasterwaarde NO₂-jaargemiddelde concentratie bedraagt voor dit station 42.15 µg/m³ en de gemeten jaargemiddelde NO₂-concentratie voor 2017 bedraagt 56 µg/m³.

Het station 42R805 in Vlaanderen bevindt zich in een streetcanyon en ook voor dit station is enkel de gemodelleerde rasterwaarde van de jaargemiddelde NO₂-concentratie beschikbaar. De

jaargemiddelde NO₂-gemeten concentratie in 2017 voor 42R805 bedraagt 40 µg/m. De RIO-IFDM jaargemiddelde NO₂-concentratie bedraagt 35.91 µg/m³ en de jaargemiddelde ATMO-Street NO₂-concentratie bedraagt 48.47 µg/m³. Voor dit ene station gaat het bij overgang van RIO-IFDM naar ATMO-Street van een onder- naar een overschatting voor de NO₂-jaargemiddelde concentratie 2017.

Temporele validatie 2017

Figuur 21 geeft een overzicht van de spreiding van de verschillende temporele validatiestatistieken van het RIO-IFDM model a.d.h.v. een boxplot van de telemetrische stations. Verder in dit hoofdstuk wordt er in detail ingegaan op de temporele validatie van een aantal stations. Voor alle meetplaatsen worden de statistieken per typelocatie in een boxplot gegoten. Een boxplot geeft de minimum waarde, het 25e percentiel, de mediaan, het 75e percentiel en de maximum waarde weer. De mediaan van de temporele correlatiecoëfficiënt is voor alle beschouwde telemetrische meetstations boven 0.8. De RMSE is het hoogste voor de verkeersstations. De mean bias is het laagste en erg klein voor wat betreft de stedelijke achtergrondstations.



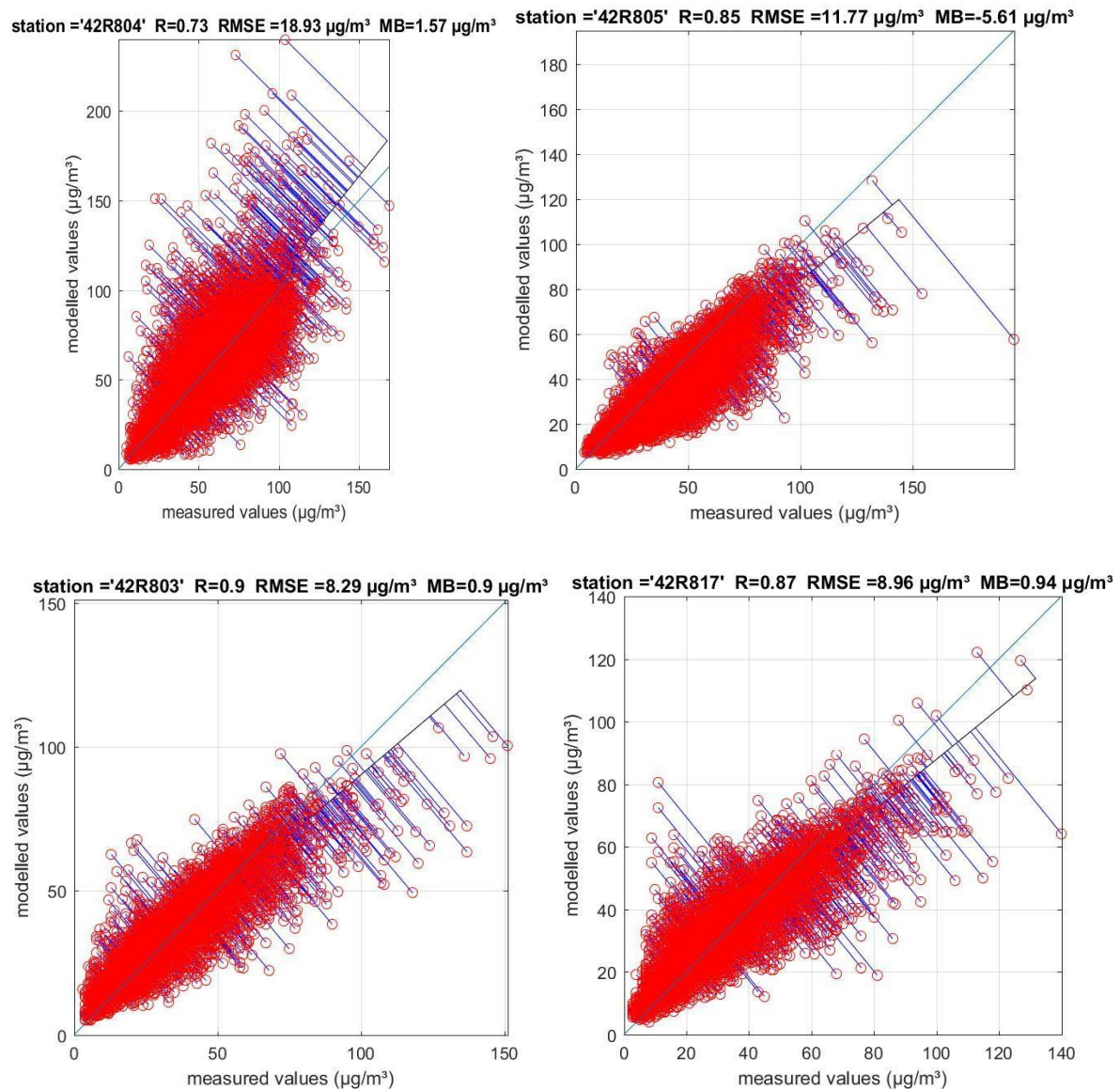
Figuur 21: temporele statistieken R, RMSE, MB (n=het aantal telemetrische stations) voor 2017 uurlijkse NO₂-concentraties (links) NO₂ dagconcentraties (rechts)

Op Figuur 21 zien we een gevoelige verbetering zowel voor de temporele R en RMSE bij uitmiddeling van de uurwaarden naar dagwaarden van 2017 van de modelwaarden. De performantie van de uurwaarden dient in die zin nog verder bestudeerd te worden.

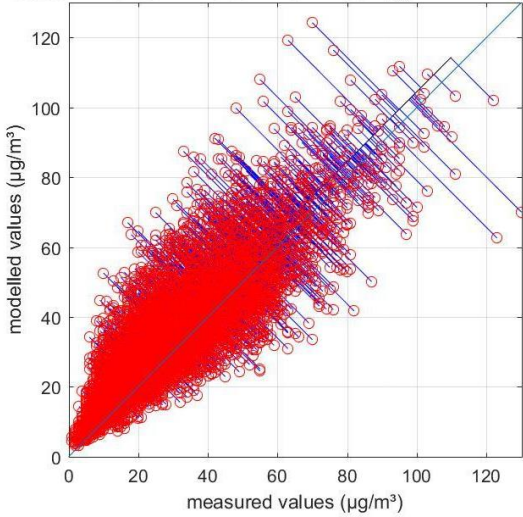
Op Figuur 22 stelt men vast dat de temporele statistieken voor de vier stedelijke achtergrondstations (42R803, 42R817, 45R502 en 45R501) performanter zijn dan deze voor de verkeersstations. Voor het

station 42R804 worden de pieken gemodelleerd, maar deze kunnen gepaard gaan met over- en onderschattingen (zie Figuur 26). Voor het station 42R805 kan je vaststellen dat de pieken goed gemodelleerd worden maar in het algemeen de pieken onderschat worden (zie Figuur 20). Op Figuur 23 zien we de temporele statistieken van de daggemiddelde concentraties van deze zes stations. Het betreft een significante verbetering van de RMSE voor deze stations, voor de zes beschouwde stations betreft dit ongeveer een halvering van de RMSE. Dit wil zeggen dat de gemodelleerde dagwaarden NO₂-concentraties voor daggemiddelden een significantere kleinere afwijking hebben dan de uurgemiddelde NO₂-concentraties.

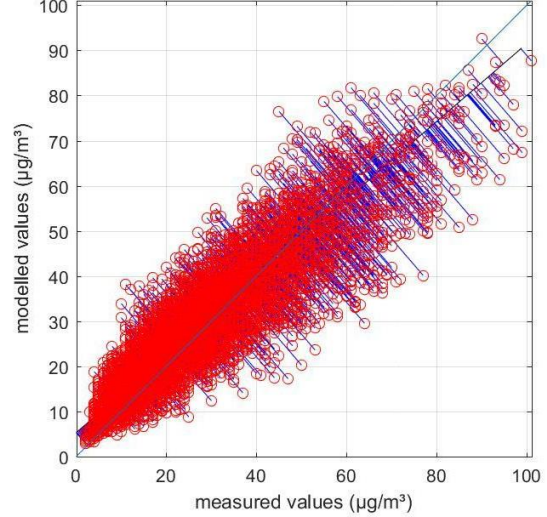
Op figuur 27 stelt men vast dat voor het stedelijke achtergrondstation 45R501 de pieken goed gemodelleerd worden met soms overschattingen en soms onderschattingen.



station = '45R501' R=0.85 RMSE =10.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=4.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

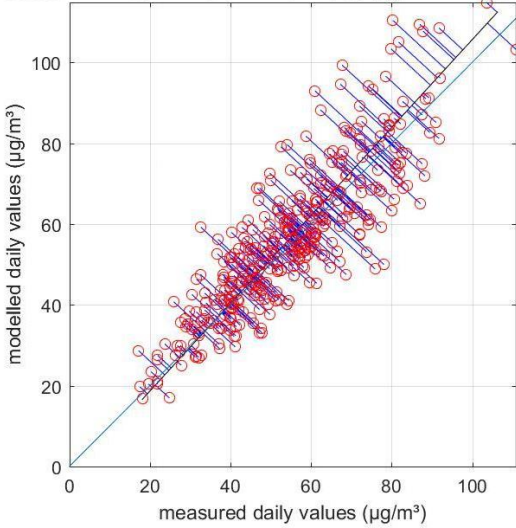


station = '45R502' R=0.9 RMSE =7.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

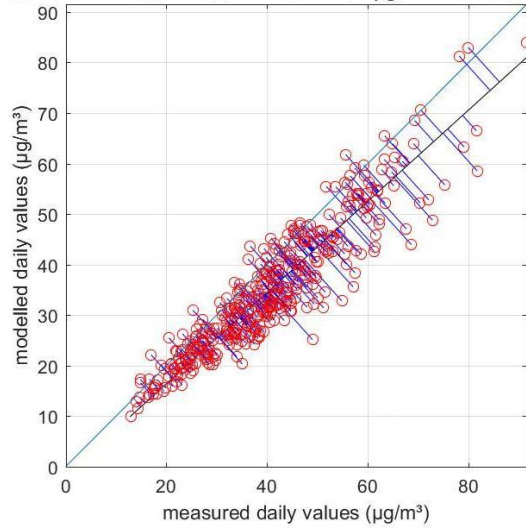


Figuur 22: Temporele validatie uurgemiddelde NO_2 -concentraties van de stations 42R804 (verkeer), 42R805 (verkeer), 42R803 (stedelijke achtergrond) en 42R817 (stedelijke achtergrond) in Vlaanderen en 45R501 (stedelijke achtergrond) 45R502 (stedelijke achtergrond) in Wallonië voor 2017

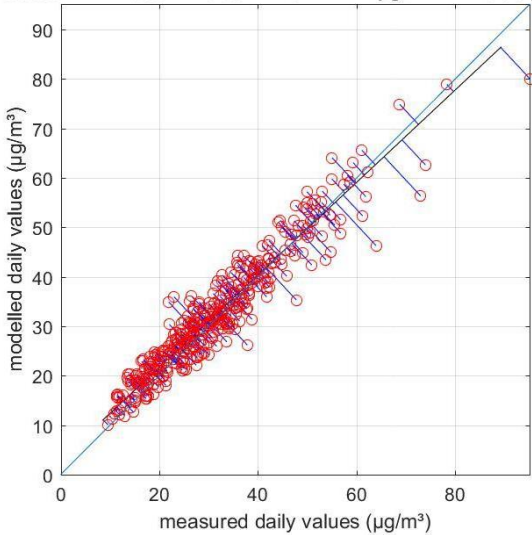
station = '42R804' R=0.84 RMSE =9.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=1.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



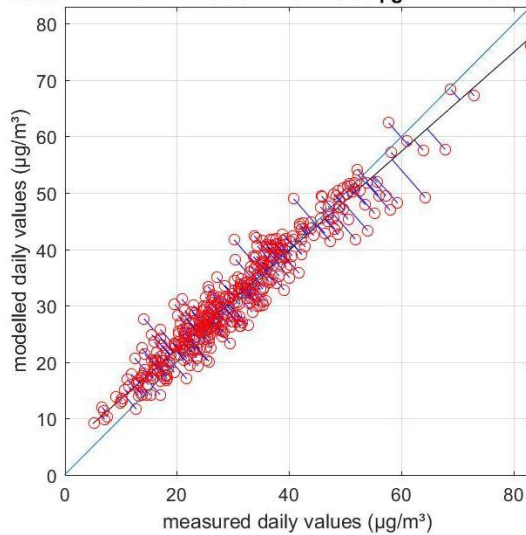
station = '42R805' R=0.92 RMSE =7.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-5.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



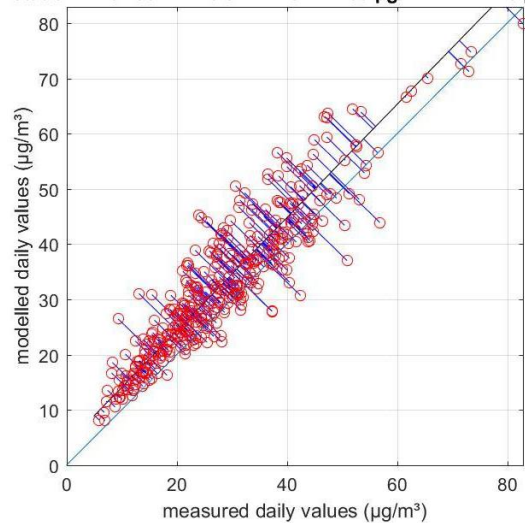
station = '42R803' R=0.95 RMSE =4.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=0.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



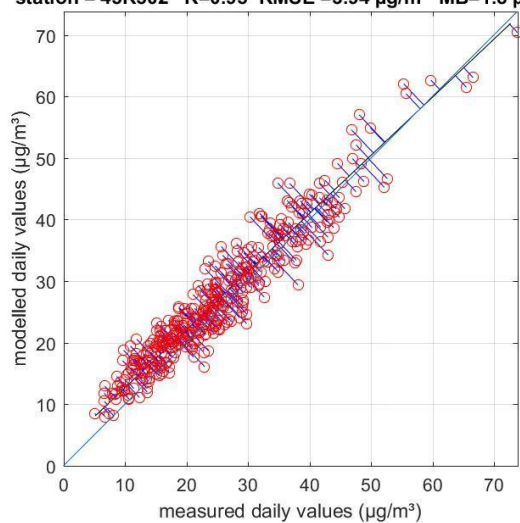
station = '42R817' R=0.95 RMSE =3.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=0.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



station='45R501' R=0.91 RMSE =7.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=4.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



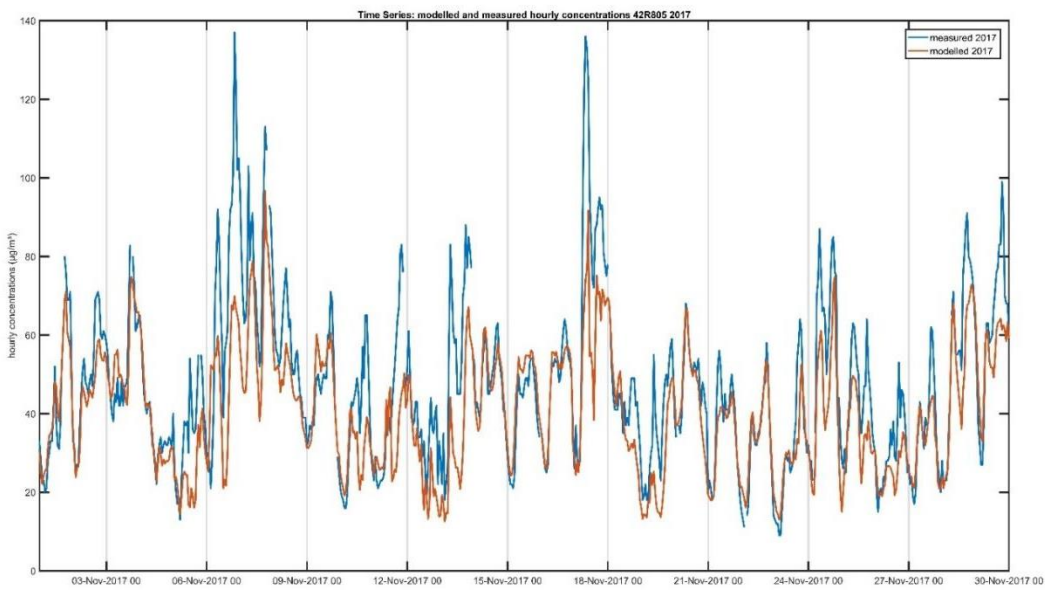
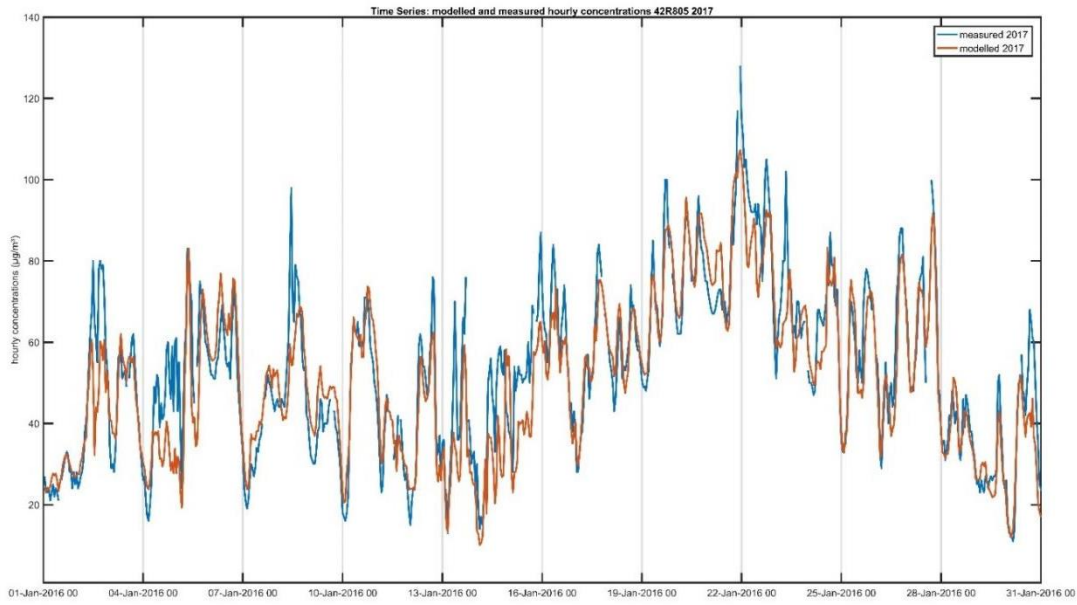
station='45R502' R=0.95 RMSE =3.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



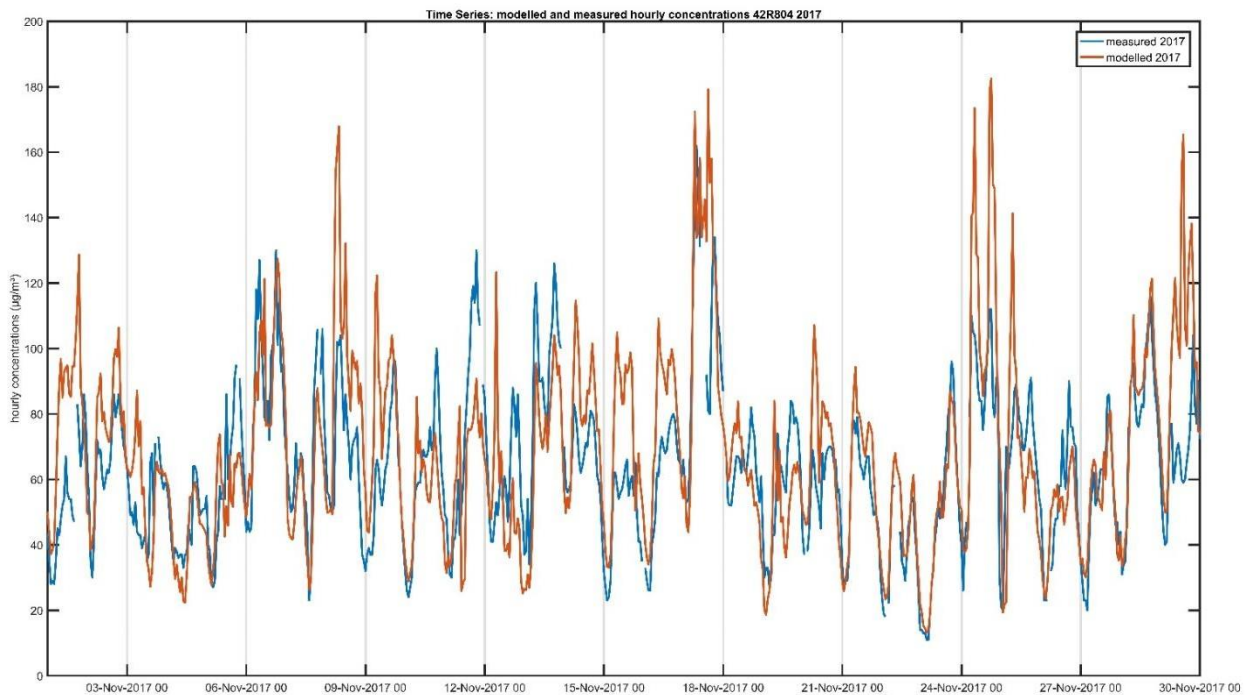
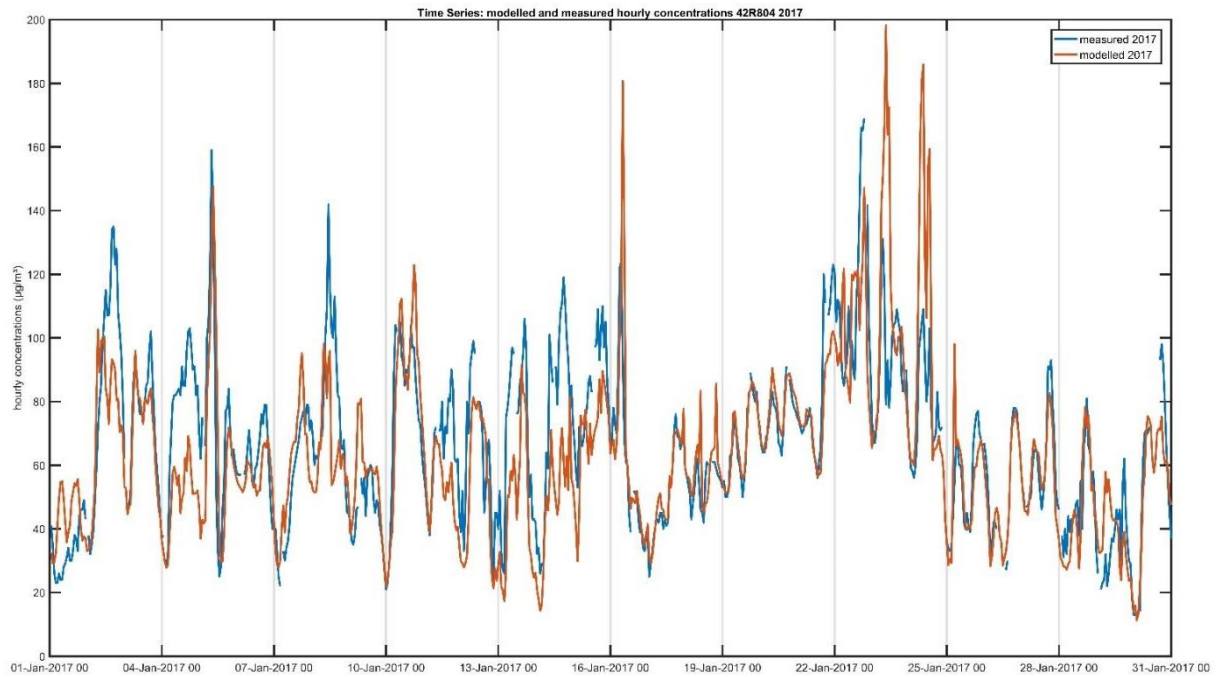
Figuur 23: Temporele validatie van de daggemiddelde NO_2 -concentraties stations 42R804 (verkeer), 42R805 (verkeer), 42R803 (stedelijke achtergrond) en 42R817 (stedelijke achtergrond) in Vlaanderen en 45R501 (stedelijke achtergrond) 45R502 (stedelijke achtergrond) in Wallonië voor 2017



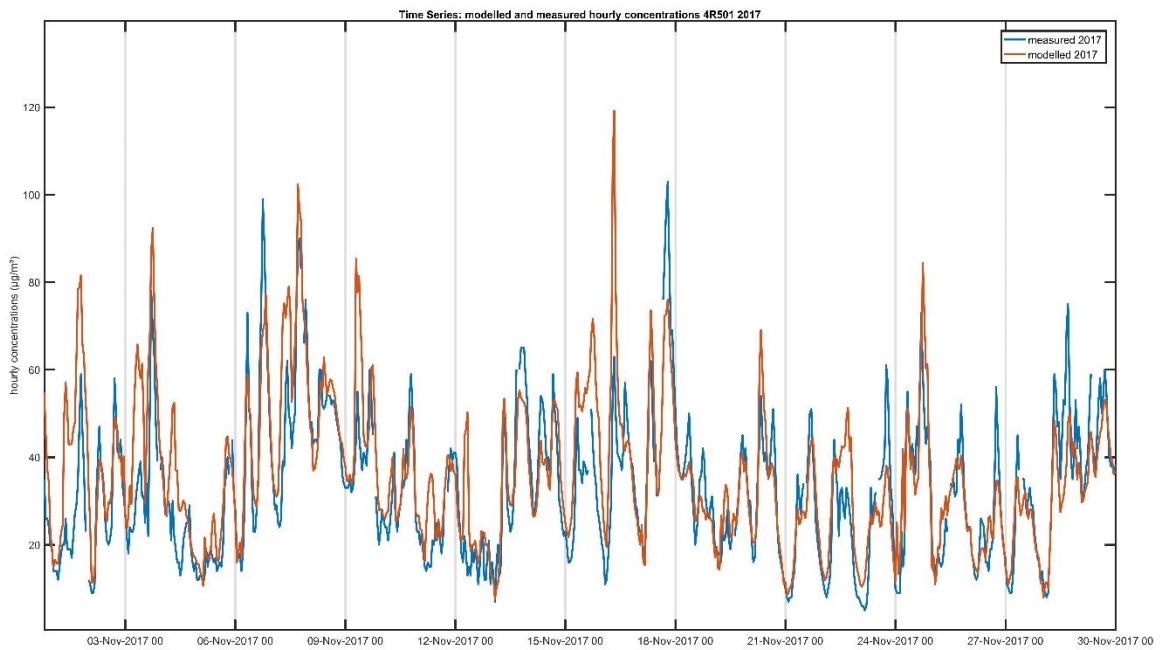
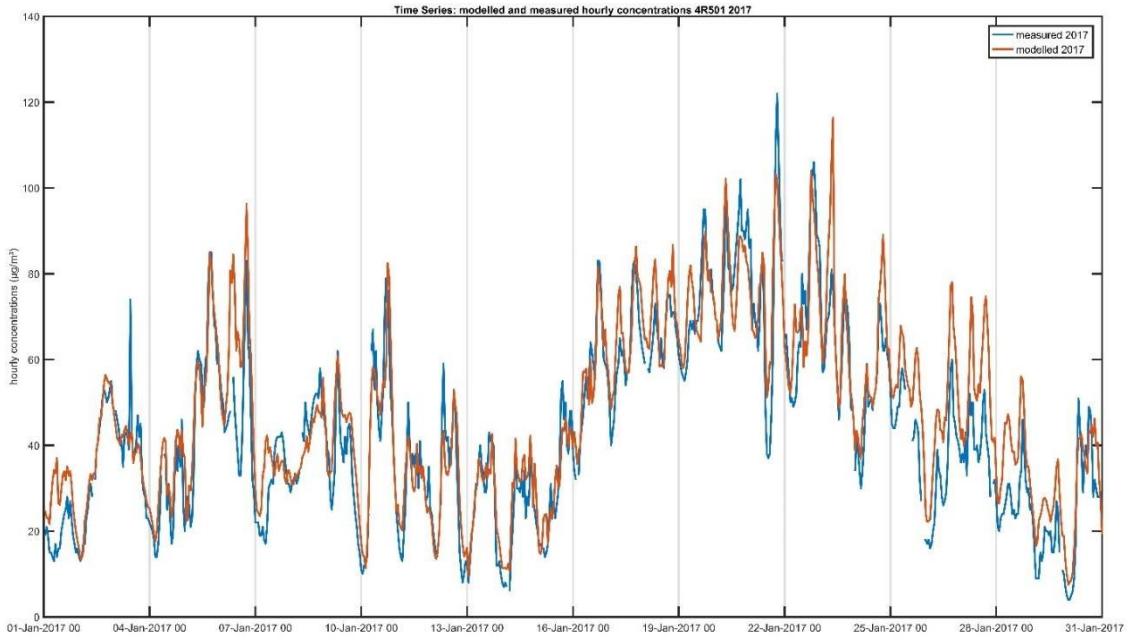
Figuur 24: Afbeeldingen van de stations 42R804 (verkeer), 42R805 (verkeer), 42R803 (stedelijke achtergrond), 42R817 (stedelijke achtergrond) in Vlaanderen en 45R501 (stedelijke achtergrond) 45R502 (stedelijke achtergrond) in Wallonië voor 2017



Figuur 25: Tijdsreeks van gemeten en RIO-IFDM modelwaarden voor 42R805 voor de periode van 1 tot 20 januari (boven) en 1 tot 20 november (onder)



Figuur 26: Tijdsreeks van gemeten en RIO-IFDM modelwaarden voor 42R804 voor de periode van 1 januari tot 31 januari (boven) en 1 tot 30 november 2017 (onder).



Figuur 27: Tijdsreeks van gemeten en RIO-IFDM modelwaarden voor 43R501 voor 2017 voor de periode van 1 tot 20 januari (boven) en 1 tot 20 november (onder) 2017

7.3 Conclusie validatie telemetrische meetstations 2017

Uit de validatie met de **onafhankelijke telemetrische meetstations** blijkt dat de RIO-IFDM modelresultaten voor **NO₂ jaargemiddelden 2017 erg performant zijn** ($R=0.89$, $RMSE = 3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $MB=-0.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Voor Wallonië betreft het vier onafhankelijke telemetrische stations de andere 32 zijn Vlaamse onafhankelijke telemetrische stations. Voor Brussel is er geen enkel onafhankelijk telemetrisch station waarvoor receptor modelwaarden beschikbaar. Er is één onafhankelijk telemetrisch station 41B001 (Kunst-Wet) waarvoor enkel de gemodelleerde rasterwaarde NO₂-jaargemiddelde concentratie beschikbaar is. De gemodelleerde RIO-IFDM rasterwaarde NO₂-jaargemiddelde concentratie bedraagt $42.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en de gemeten jaargemiddelde NO₂-concentratie voor 2017 bedraagt $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Voor het **verkeersstation gelegen op de Antwerpse ring (42R804)** zijn de modelresultaten erg performant voor de jaargemiddelde NO₂-concentratie. Het verschil tussen gemeten en gemodelleerde jaargemiddelde concentratie 2017 betreft slechts $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Voor dit station worden de **pieken gemodelleerd** maar gaan ze **gepaard met onderschattingen en overschattingen** van de uurlijkse concentraties.

Het is opvallend dat de **temporele statistieken** (d.i. de performantie voor de gemodelleerde uur- en dagconcentraties NO₂) **performanter zijn voor stedelijke achtergrondstations dan voor verkeersstations**. De gemodelleerde NO₂-dagwaarden zijn significant performanter dan de uurwaarden. De **gemiddelde afwijking tussen de gemodelleerde waarde en de gemeten waarde** wordt **gehalveerd** bij aggregatie van uurlijkse naar daggemiddelde NO₂-concentratie.

Opvallend is dat de **pieken in de stedelijke achtergrondstations in Wallonië goed gemodelleerd worden** en gepaard gaan met **kleinere over- en onderschattingen** dan in de verkeersstations.

Gezien de plaatsing van de telemetrische meetstations (eerder niet in street canyon locaties) is er slechts **één onafhankelijk telemetrisch station beschikbaar (42R805)** voor validatie van de **ATMO-Street** modelketen waar street canyon effecten in rekening worden gebracht. Voor 2017 voor het station 42R805 gaat de jaargemiddelde NO₂-concentratie van **een onderschatting van $-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (RIO-IFDM)** naar een overschatting van **$8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ATMO-Street)**.

Verder kan geconcludeerd worden dat het **gebruik van modelresultaten** berekend op **receptorpunten** in vergelijking met de **gemodelleerde rasterwaardes** (=d.i. een interpolatie tot een raster van 10m x 10m van de receptorpunten voor visualisatie) de ruimtelijke statistieken **niet significant beïnvloeden**.

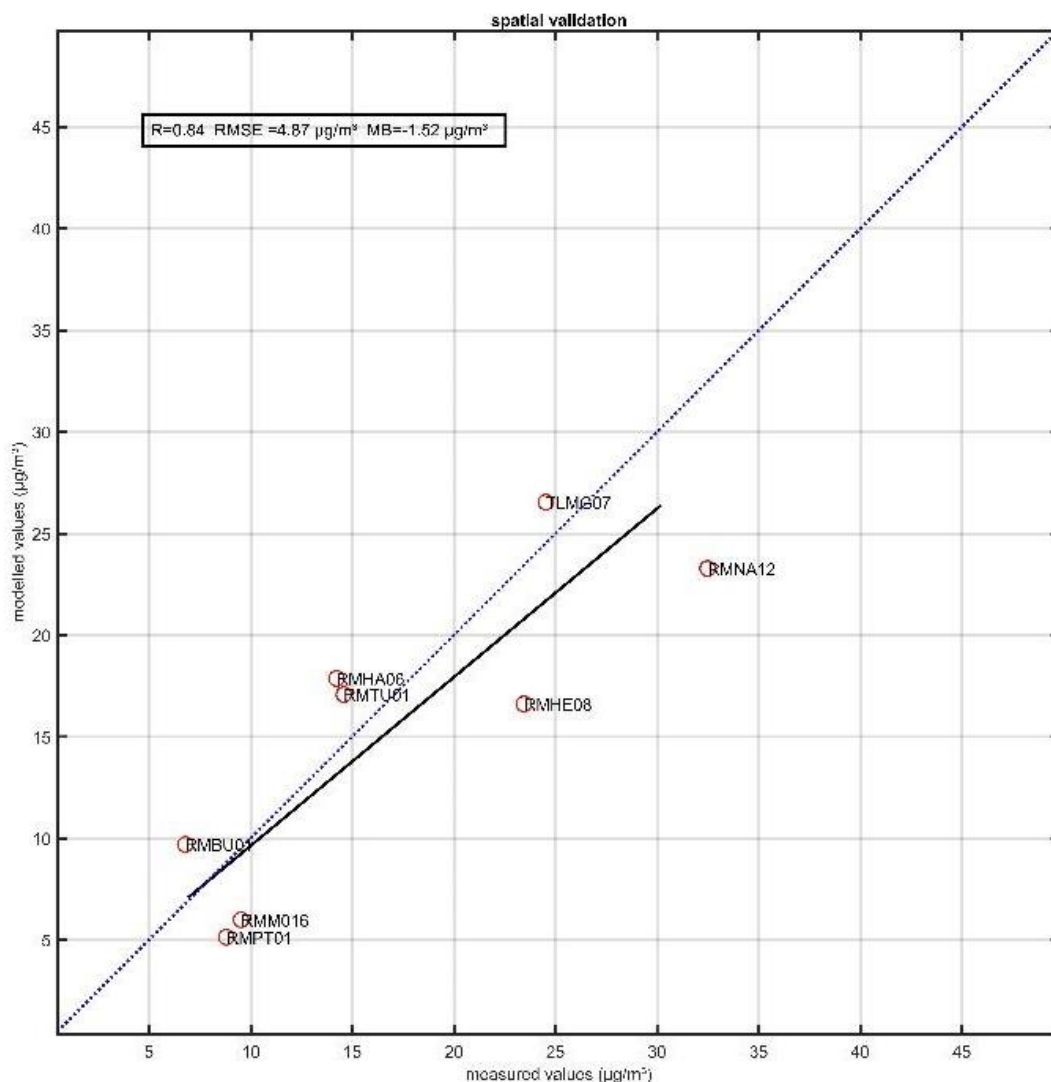
8 Validatie op basis van mobiele telemetrische stations Wallonië

8.1 Telemetrische meetdata 2017

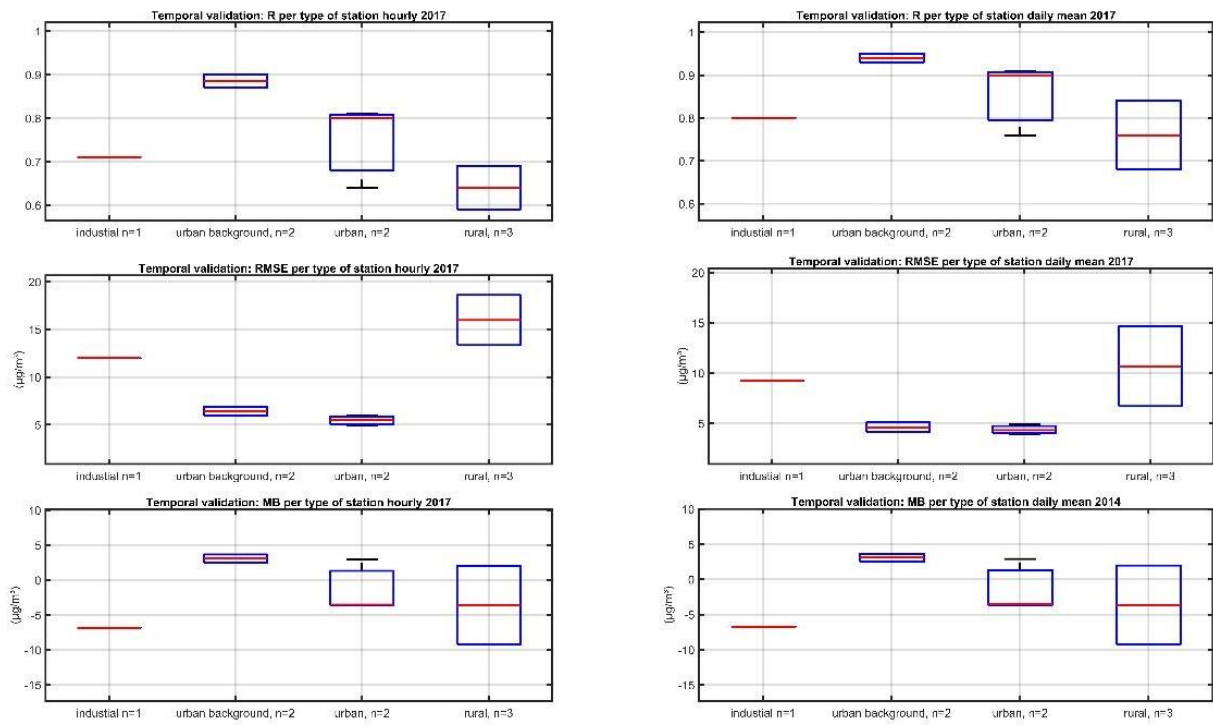
De locaties van de mobiele onafhankelijke meetstations zijn terug te vinden in Figuur 5. Het betreft vier rurale stations (RMRO05, RMBU01, RMTP01, en RMMO16), twee stedelijke achtergrond stations (RMTU01 en RMHA06) en verder nog twee stedelijke stations (RMNA12 en TMLG07). RMHE08 is een industrieel station. Het betreft de validatie met RIO-IFDM modelresultaten.

8.2 Ruimtelijke validatie

De ruimtelijke validatie wordt gekenmerkt door een R van 0.84, een RMSE van $4.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en een MB van $-1.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit zijn performante validatiestatistieken. We stellen onderschattingen vast in het industrieel station van RMHE08 in het stedelijke Namen (cfr. de passieve sampler campagne) maar ook in het rurale Tubize (RMTU01) en Wanne (RMTP01). Voor wat betreft de temporele validatie zien we bij overgang van uur- naar dagwaarden dat de validatiestatistieken R en RMSE significant verbeteren (zie ook Figuur 29, 30 en 40).

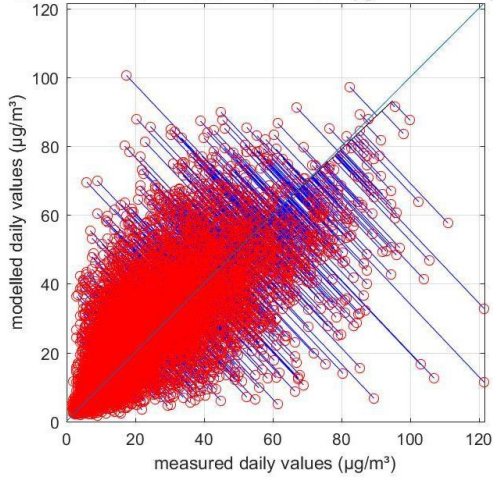


Figuur 28: ruimtelijke validatie jaargemiddelde NO₂-concentraties 2017 met onafhankelijke mobiele metingen in Wallonië

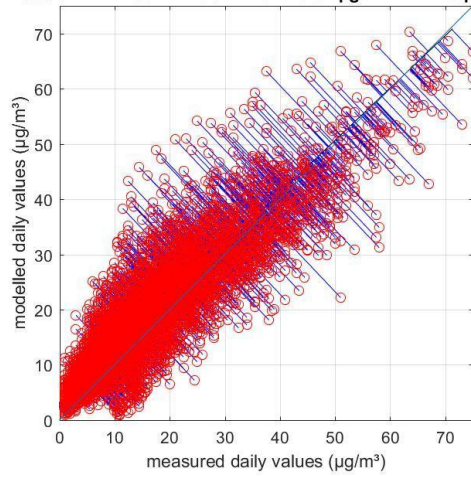


Figuur 29: ruimtelijke validatie jaargemiddelde NO₂-concentraties 2017 met onafhankelijke mobiele metingen in Wallonië

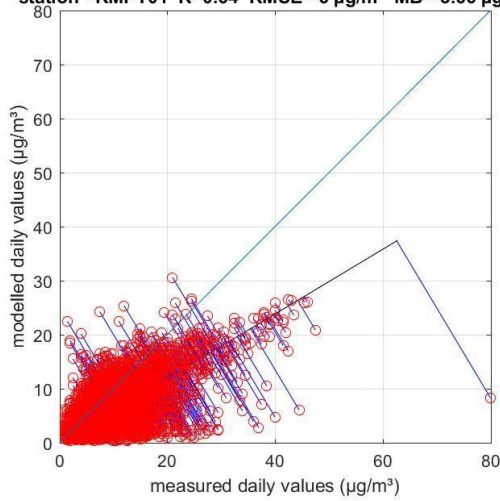
station =TLMG07 R=0.69 RMSE =13.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=2.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



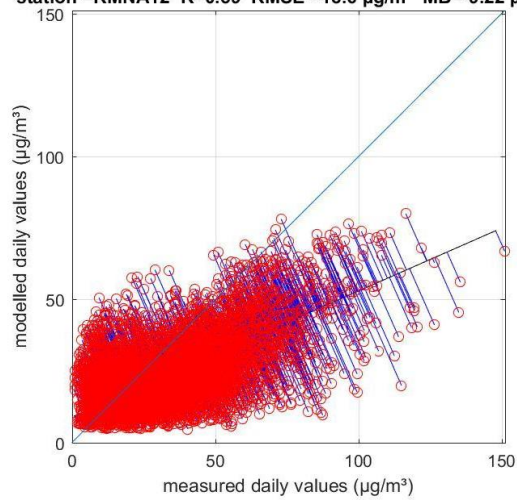
station =RMTU01 R=0.9 RMSE =5.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



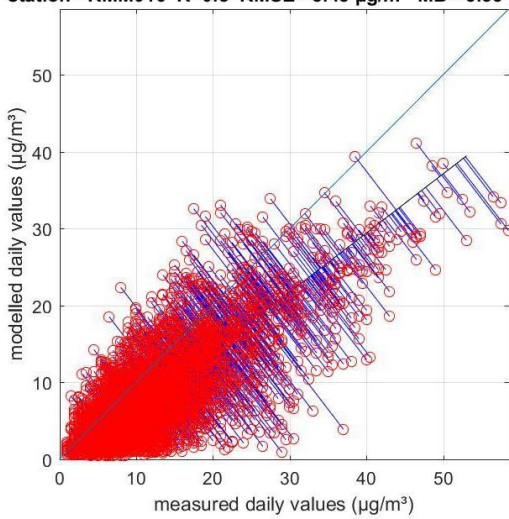
station =RMPT01 R=0.64 RMSE =6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



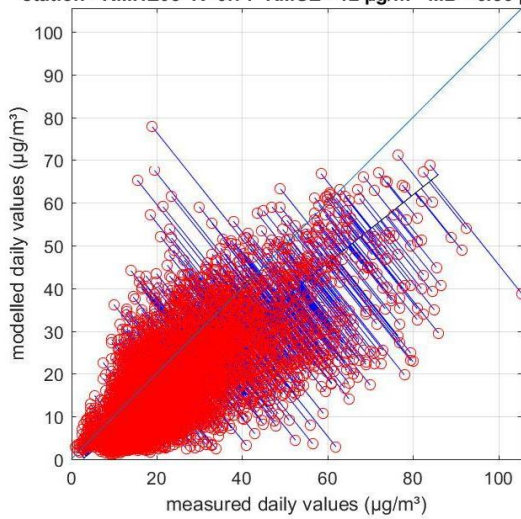
station =RMNA12 R=0.59 RMSE =18.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-9.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



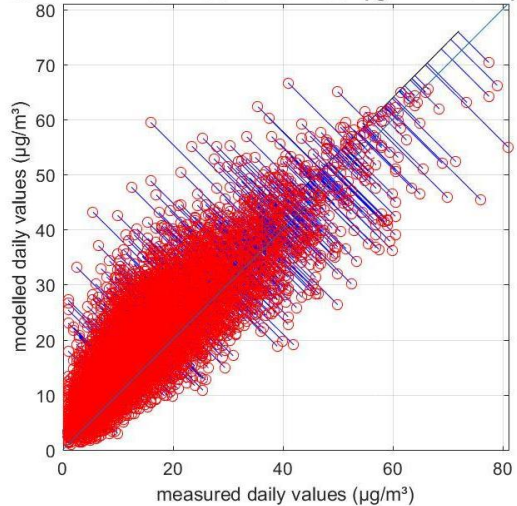
station =RMM016 R=0.8 RMSE =5.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



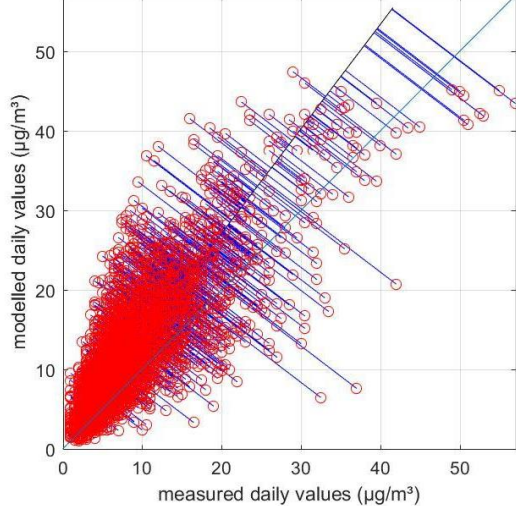
station =RMHE08 R=0.71 RMSE =12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-6.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



station =RMHA06 R=0.87 RMSE =6.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=3.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



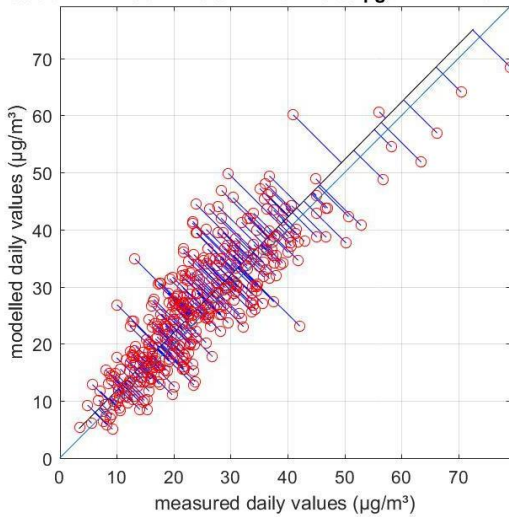
station =RMBU01 R=0.81 RMSE =4.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=2.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



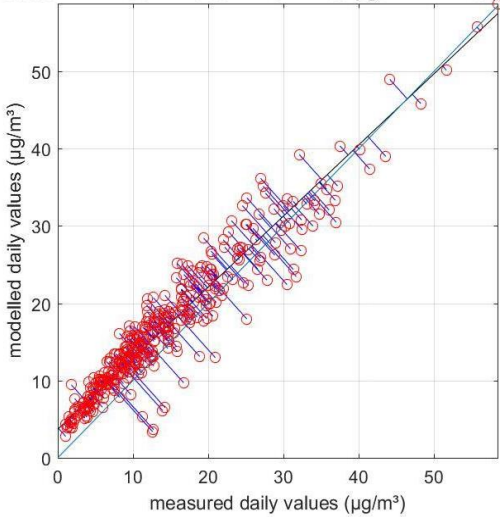
Figuur

30: Temporele validatie NO₂ uurgemiddelde concentraties van de mobiele telemetrische stations in Wallonië voor 2017

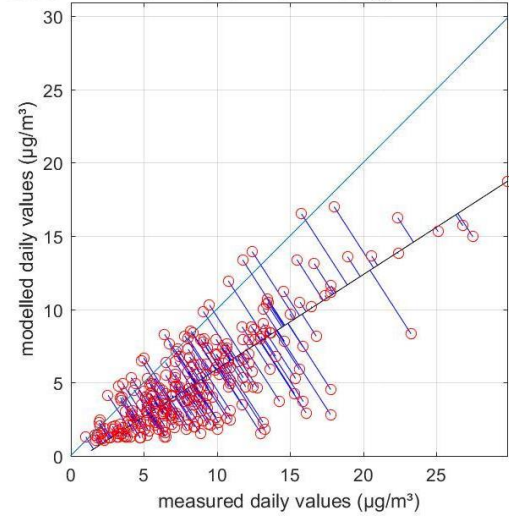
station =TLMG07 R=0.84 RMSE =6.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=1.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



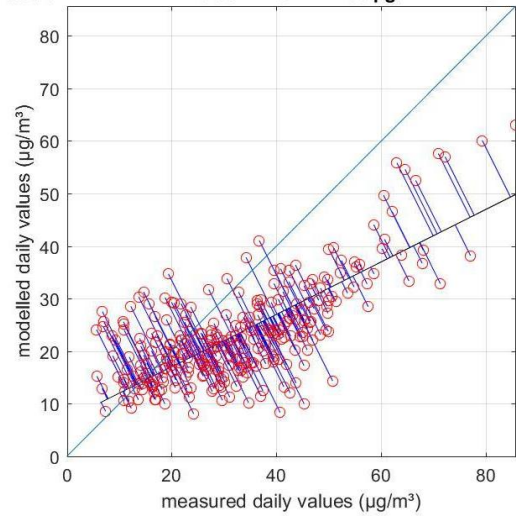
station =RMTU01 R=0.95 RMSE =4.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=2.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

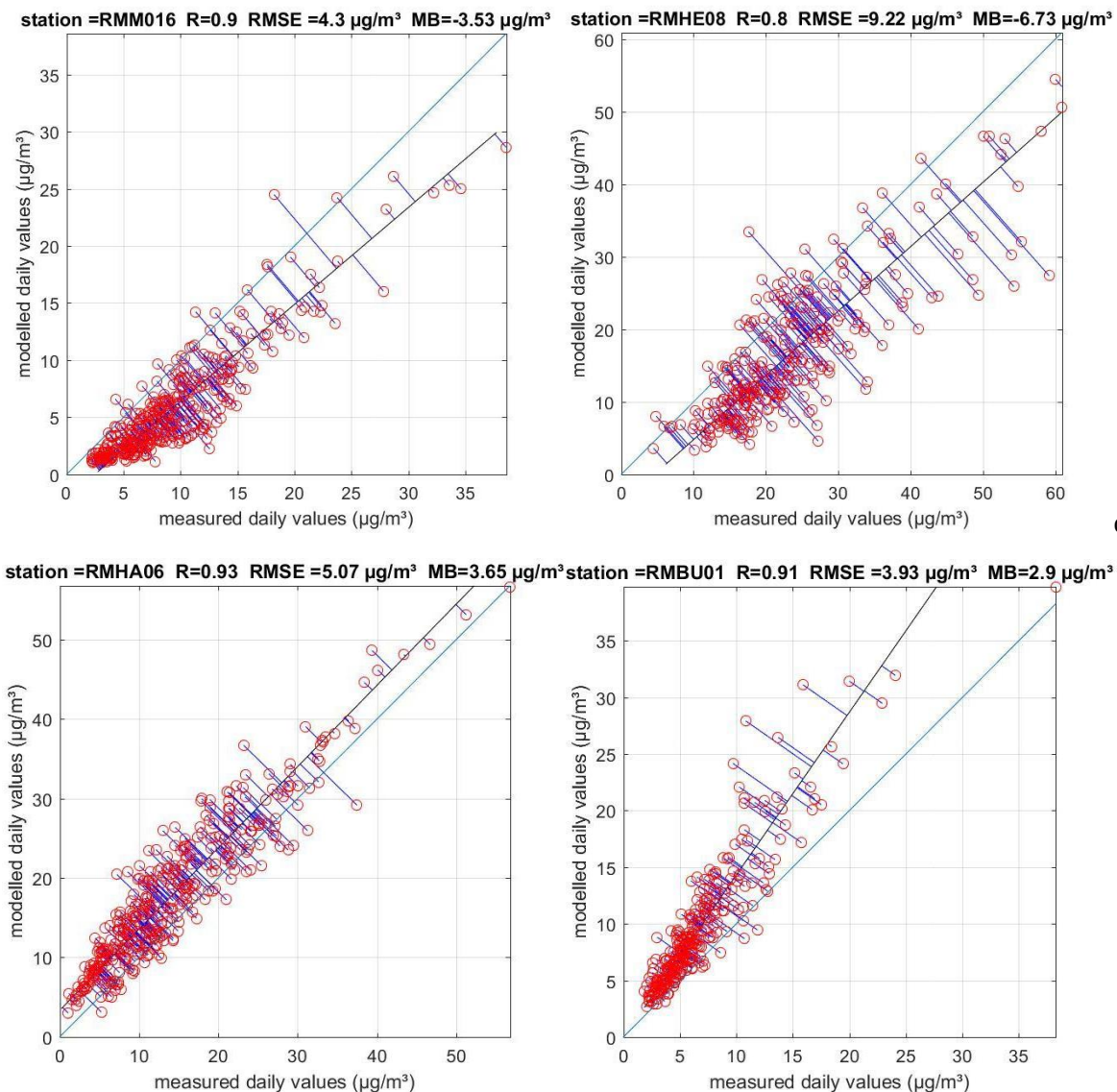


station =RMPT01 R=0.76 RMSE =4.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



station =RMNA12 R=0.68 RMSE =14.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-9.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$





Figuur 30: Temporele validatie NO₂ daggemiddelde concentraties van de mobiele telemetrische stations in Wallonië voor 2017

8.3 Conclusie validatie mobiele telemetrische meetstations Wallonië 2017

Uit de validatie met de **mobiele telemetrische meetstations** in Wallonië blijkt dat de RIO-IFDM modelresultaten voor **NO₂ jaargemiddelden 2017 erg performant zijn** (R=0.84, RMSE = 4.78 µg/m³, MB=-1.52 µg/m³). De RIO-IFDM modelresultaten voor deze mobiele telemetrische campagne voldoen aan de Europese performantiestandaarden (zie figuur X in hoofdstuk 9).

De gemodelleerde NO₂-dagwaarden zijn significant performanter dan de uurwaarden. De **gemiddelde afwijking tussen de gemodelleerde waarde en de gemeten waarde wordt performanter bij aggregatie van uurlijkse naar daggemiddelde NO₂-concentraties.**

9 Europese Model performantiestandaarden

Op Europees niveau is er een beweging aan de gang om kwaliteitscriteria op te stellen voor modelresultaten. Hier wordt enerzijds aan gewerkt in het kader van Fairmode (Europees Forum voor

luchtkwaliteitsmodellering). Er is een 'Guidance document on Modelling Quality Objectives and Benchmarking' opgesteld¹³. Anderzijds is er een Europese CEN werkgroep TC264/WG43 werkgroep opgericht om de kwaliteitsvereisten (model quality objectives (MQO)) van luchtkwaliteitsmodellen vast te leggen. In eerste instantie ligt de nadruk op de modellen die gebruikt worden voor de beoordeling van de luchtkwaliteit in het kader van de richtlijn 2008/50/EC. Het werk van Fairmode en van deze CEN werkgroep spoort samen. Er zijn reeds verschillende tools aanwezig om de modelresultaten te testen aan de MQO (o.a. de deltatool ontwikkeld door het Joint Research Centre, Atmosys-deltatool¹⁴).

In het kader van deze studie is het relevant om de ATMO-Street en RIO-IFDM modelresultaten te toetsen aan deze MQO aangezien de MQO opgesteld zijn om de kwaliteit voor modelresultaten te testen rond de grenswaarden zoals gedefinieerd in de luchtkwaliteitsrichtlijn, toetsen we de jaargemiddelde concentraties NO₂ gemeten en gemodelleerd.

In wat volgt worden NO₂-jaargemiddelde modelresultaten getoetst aan de tot hertoe gebruikte MQO voor NO₂-jaargemiddelden. De figuren en de statistieken zijn gemaakt d.m.v. de deltatool 5.6 die ontwikkeld werd door het Joint Research Centre. Deze tool heeft als doel gestandaardiseerde MQO aan te leveren en benchmarking van resultaten te bevorderen.

Als de model quality indicator (MQI) < 1 (linksboven op de figuren) betekent dit dat de modelresultaten voldoen aan de kwaliteitscriteria in tenminste 90 % van de beschikbare stations. De groene band op de figuren met de scatterplots (meetwaarden versus modelresultaten) toont de intervallen waartussen de modelresultaten kunnen vallen. Deze zijn afgeleid op basis van meetonzekerheden op jaargemiddelde NO₂-concentraties.

De 'summary statistics' tonen de samenvattende statistieken van deze deltatool. Rechtsboven staat het aantal gebruikte stations vermeld. Een overzicht van de jaargemiddelde NO₂-concentraties van de metingen wordt eerst gegeven met hieronder de temporele validatie (bias) per station. Verder worden de spatiale statistieken getest (R en standaardafwijking) op de afgeleide criteria¹⁵. De criteria zijn voldaan indien er geen rode bol aangegeven wordt voor deze indicatoren.

In hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4 werden **alle onafhankelijke metingen voor 2017** (zowel passieve sampler campagnes als onafhankelijke telemetrische campagnes) **per gewest** (Vlaanderen en Wallonië. Brussel heeft geen onafhankelijke metingen ter beschikking) getest aan de EU-criteria. Uit figuur 9 blijkt dat voor **Vlaanderen de ATMO-Street modelresultaten voor NO₂-jaargemiddelden 2017 voor alle beschikbare metingen** voldoen aan de huidige Europese kwaliteitscriteria. Uit figuur 11 blijkt dat voor **Wallonië de RIO-IFDM modelresultaten voor NO₂-jaargemiddelden 2017 niet voldoen voor alle beschikbare metingen in 2017** (MQI>1). De 'summary statistics' van deze modellen worden in figuur 41 en figuur 42 aangegeven.

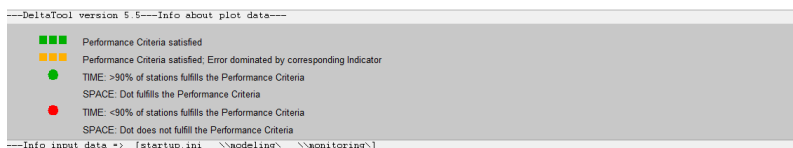
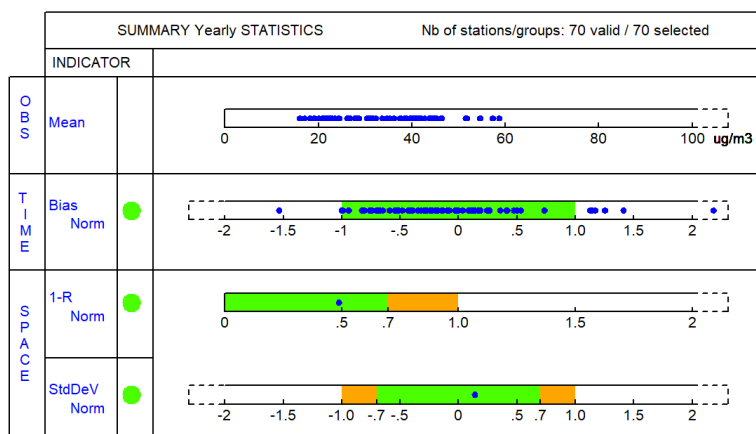
Voor wat betreft de toetsing aan de Europese luchtkwaliteitsmodelcriteria per meetcampagne kunnen we het volgende besluiten:

¹³ Meer informatie: <http://fairmode.jrc.ec.europa.eu/>

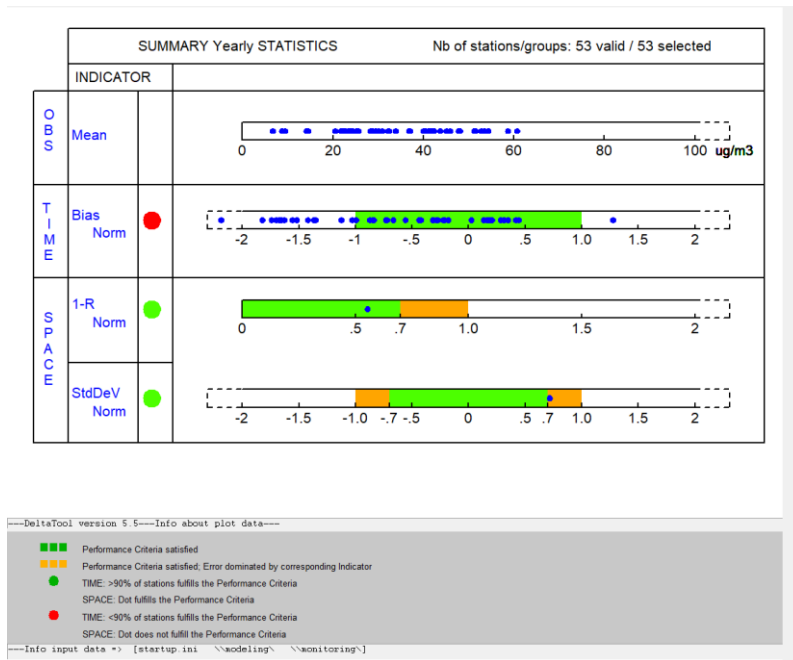
¹⁴ <http://www.atmosys.eu/faces/services-model-evaluation.jsp>

¹⁵ Meer informatie: User's Guide Delta version 5.6 Concepts/User's Guide/Diagram, <http://fairmode.jrc.ec.europa.eu/>

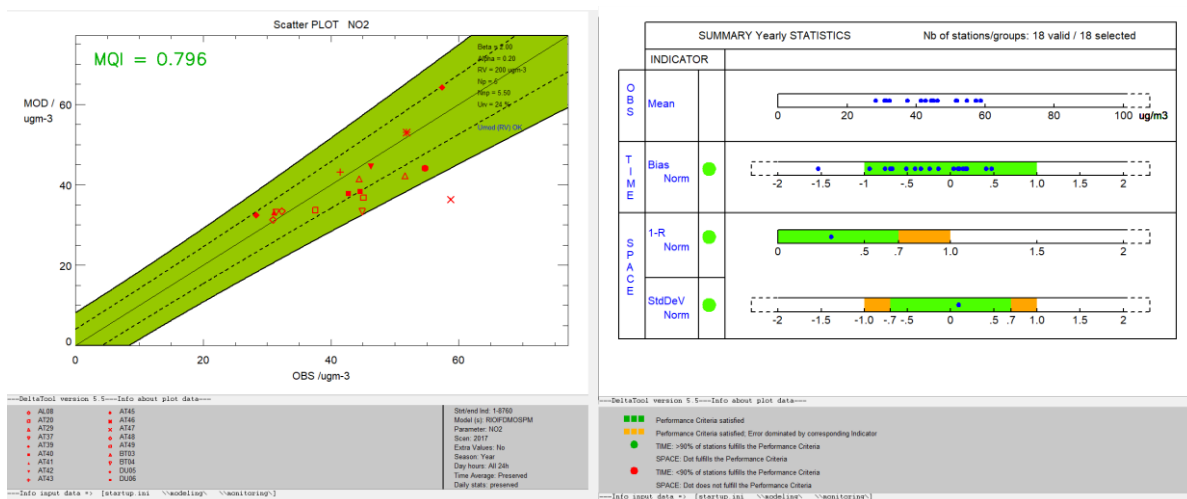
- **ATMO-Street** resultaten voor de **passieve sampler** campagne in **2017** voor **NO2-jaargemiddelden in Antwerpen voldoen** aan de huidige Europese luchtkwaliteitsmodelcriteria (zie figuur 32)
- **ATMO-Street** resultaten voor de **passieve sampler** campagne in **2017** voor **NO2-jaargemiddelden in Gent voldoen niet** aan de huidige Europese luchtkwaliteitsmodelcriteria (zie figuur 33).
- **RIO-IFDM** resultaten voor de **passieve sampler** campagne in **2017** voor **NO2-jaargemiddelden in Namen voldoen niet** aan de de huidige Europese luchtkwaliteitsmodelcriteria (zie figuur 33).
- **RIO-IFDM** resultaten voor de **onafhankelijke vaste telemetrische metingen in België in 2017** voor **NO2-jaargemiddelden voldoen** aan de de huidige Europese luchtkwaliteitsmodelcriteria (zie figuur 34).
- **RIO-IFDM** resultaten voor de **onafhankelijke mobiele telemetrische metingen in Wallonië in 2017** voor **NO2-jaargemiddelden voldoen** aan de de huidige Europese luchtkwaliteitsmodelcriteria (zie figuur 35).



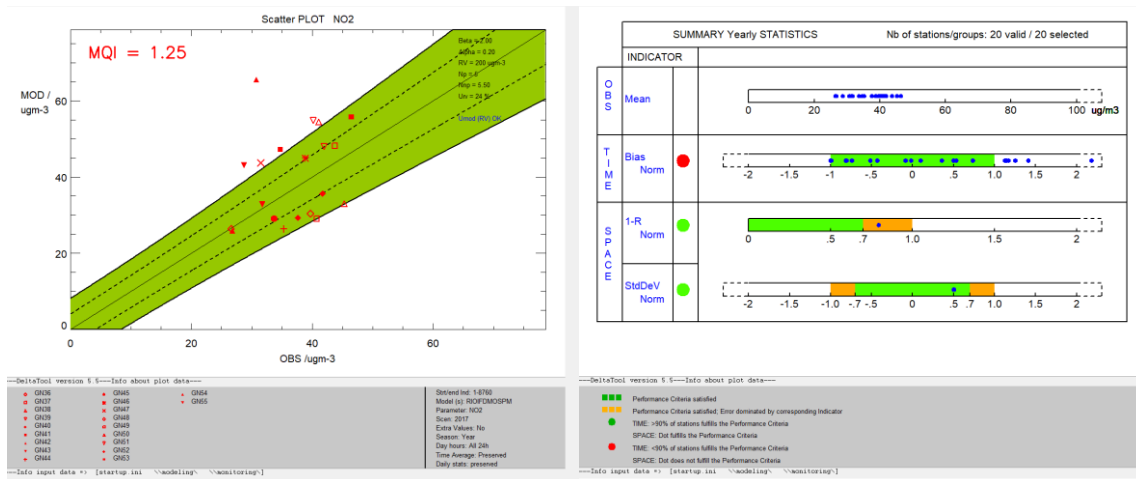
Figuur 31: DELTATOOL: Samenvattende statistieken NO2 jaargemiddelde (modelwaarden versus onafhankelijke metingen) Vlaanderen ATMO-Street 2017



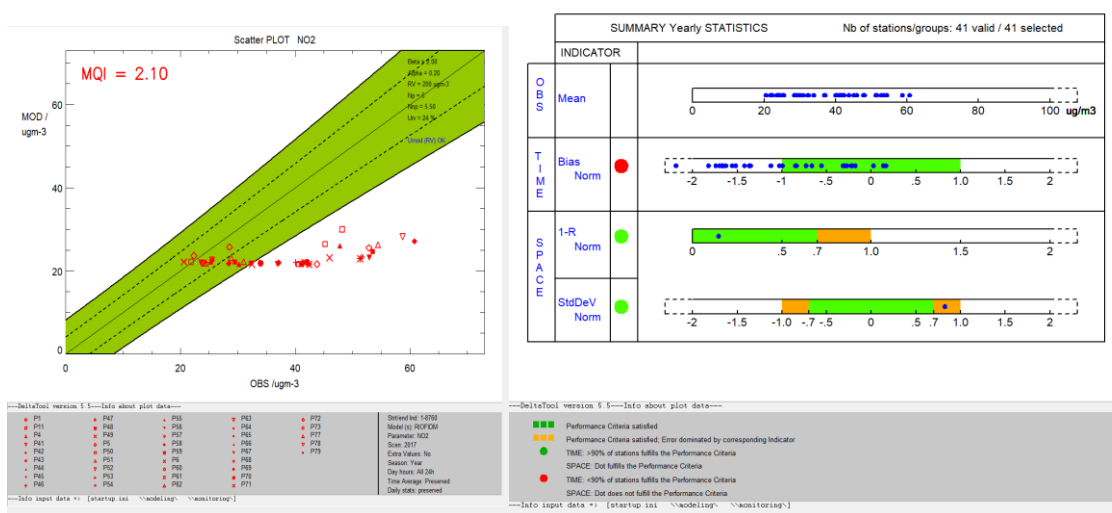
Figuur 32: DELTATOOL: Samenvattende statistieken NO2 jaargemiddelde (modelwaarden versus onafhankelijke metingen) Wallonië RIO-IFDM 2017



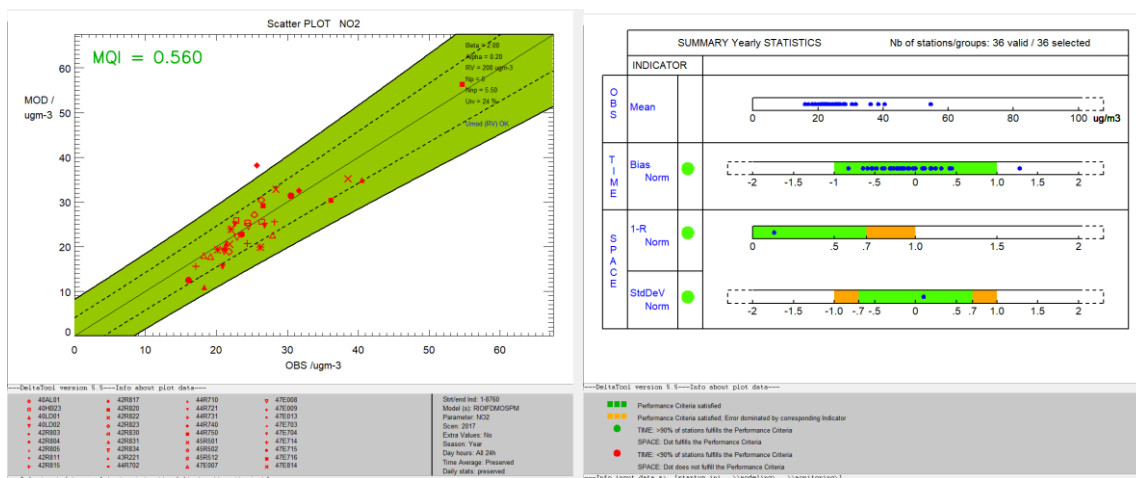
Figuur 33: DELTATOOL Model Quality Indicator en scatterplot NO2 jaargemiddelde (modelwaarden versus onafhankelijke vaste telemetrische metingen) passieve sampler meetcampagne Antwerpen ATMO-Street 2017 (links) en samenvattende statistieken (rechts)



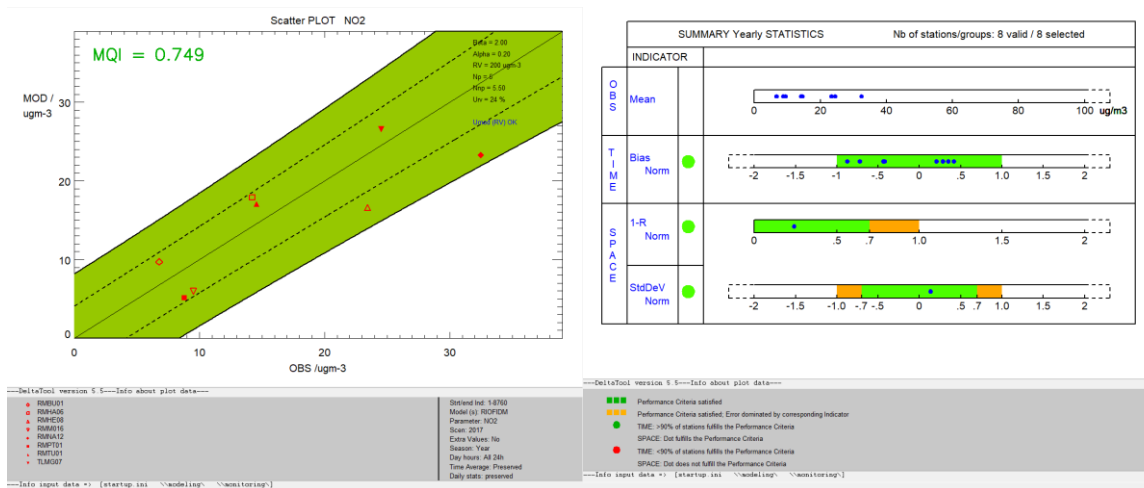
Figuur 34: DELTATOOL Model Quality Indicator en scatterplot NO2 jaargemiddelde (modelwaarden versus onafhankelijke vaste telemetrische metingen) passieve sampler meetcampagne Gent ATMO-Street 2017 (links) en samenvattende statistieken (rechts)



Figuur 35: DELTATOOL Model Quality Indicator en scatterplot NO2 jaargemiddelden (modelwaarden versus onafhankelijke metingen) passieve sampler meetcampagne Namen RIO-IFDM 2017 (links) samenvattende statistieken (rechts)



Figuur 36: DELTATOOL Model Quality Indicator en scatterplot NO2 jaargemiddelde (modelwaarden versus onafhankelijke metingen) onafhankelijke vaste telemetrische meetstations België RIO-IFDM 2017 (links) samenvattende statistieken (rechts)



Figuur 37: DELTATOOL Model Quality Indicator en scatterplot NO2 jaargemiddelde (modelwaarden versus onafhankelijke metingen) onafhankelijke mobiele telemetrische meetstations Wallonië RIO-IFDM 2017 (links) samenvattende statistieken (rechts)

10 Referenties

Berghmans P., VITO. (2014). *NO₂-meetcampagne d.m.v. passieve samplers (19 december 2013-11 juni 2014)*. VMM-IRCEL.

European Environment Agency. (2017). *Air Quality in Europe - 2017*.

Janssen S, Dumont G, Fierens F, Mensink C. (2008). *Janssen S, Dumont G, Fierens F, Mensink C. Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data. Atmos Environ*2008;42:4884-903. *Atmos Environ*2008;42:4884-903.

Lefebvre W., Van Poppel M., B. Maiheu, S.Janssen, E. Dons. (2013). *Evaluation of the RIO-IFDM-street canyon model chain*. *Atmospheric Environment* 77 (325-337).

Lefebvre W., VITO. (2013). *Validation of the IFDM-model for use in urban applications*.

Maiheu B., Veldeman N., Viaene P., De Ridder K., Lauwaet D., Smeets N., Deutsch F. & Janssen S., uitgevoerd in opdracht van MIRA, MIRA/2013/01, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek. (2013). *Bepaling van de best beschikbare grootschalige concentratiekaarten luchtkwaliteit voor België*.

Raaschou-Nielsen. (2012). *Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: a Danish cohort study*.

Thunis P., Georgieva E., Galmarini S., Joint Research Centre. (2010). *A procedure for Air Quality Models Benchmarking*. ISPRA.

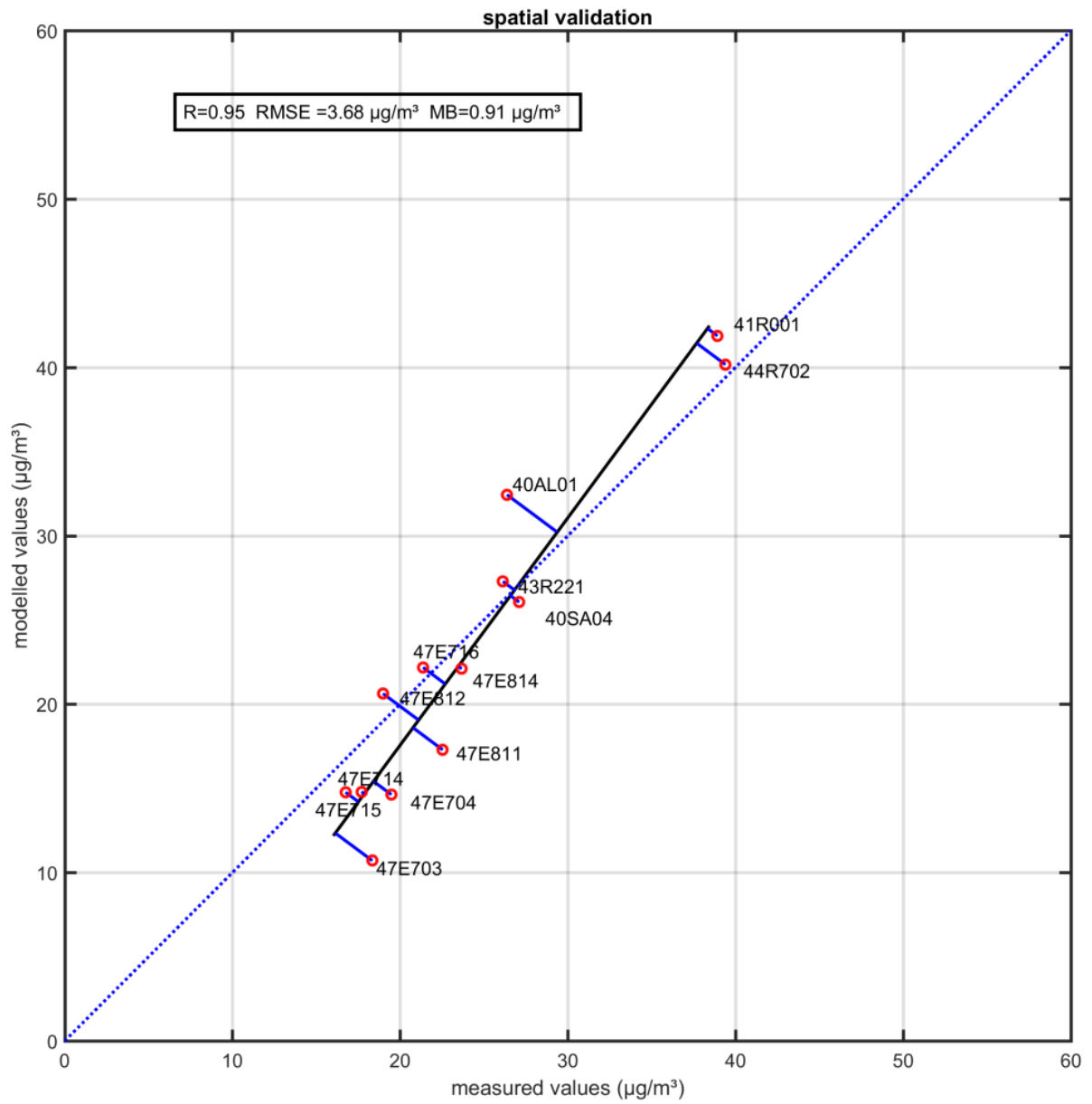
VMM. (2013). *Life+ ATMOSYS: NO₂-stedencampagne*.

WHO. (2013b). *Health risks of air pollution in Euroep- HRAPIE project*.

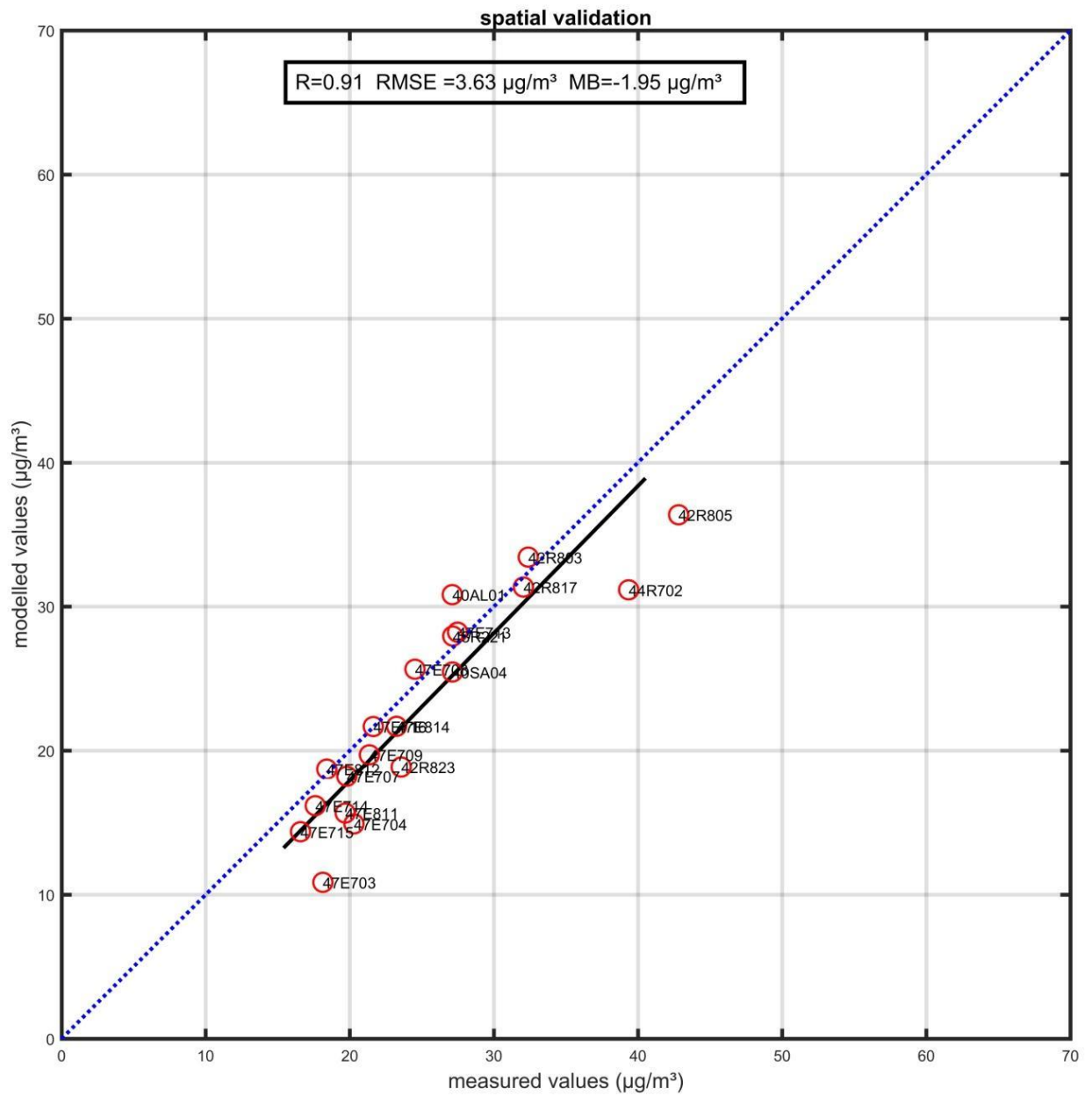
WHO. (2013a). *Review of evidence on health aspects of air pollution, REVIHAAP*.

11 ANNEX

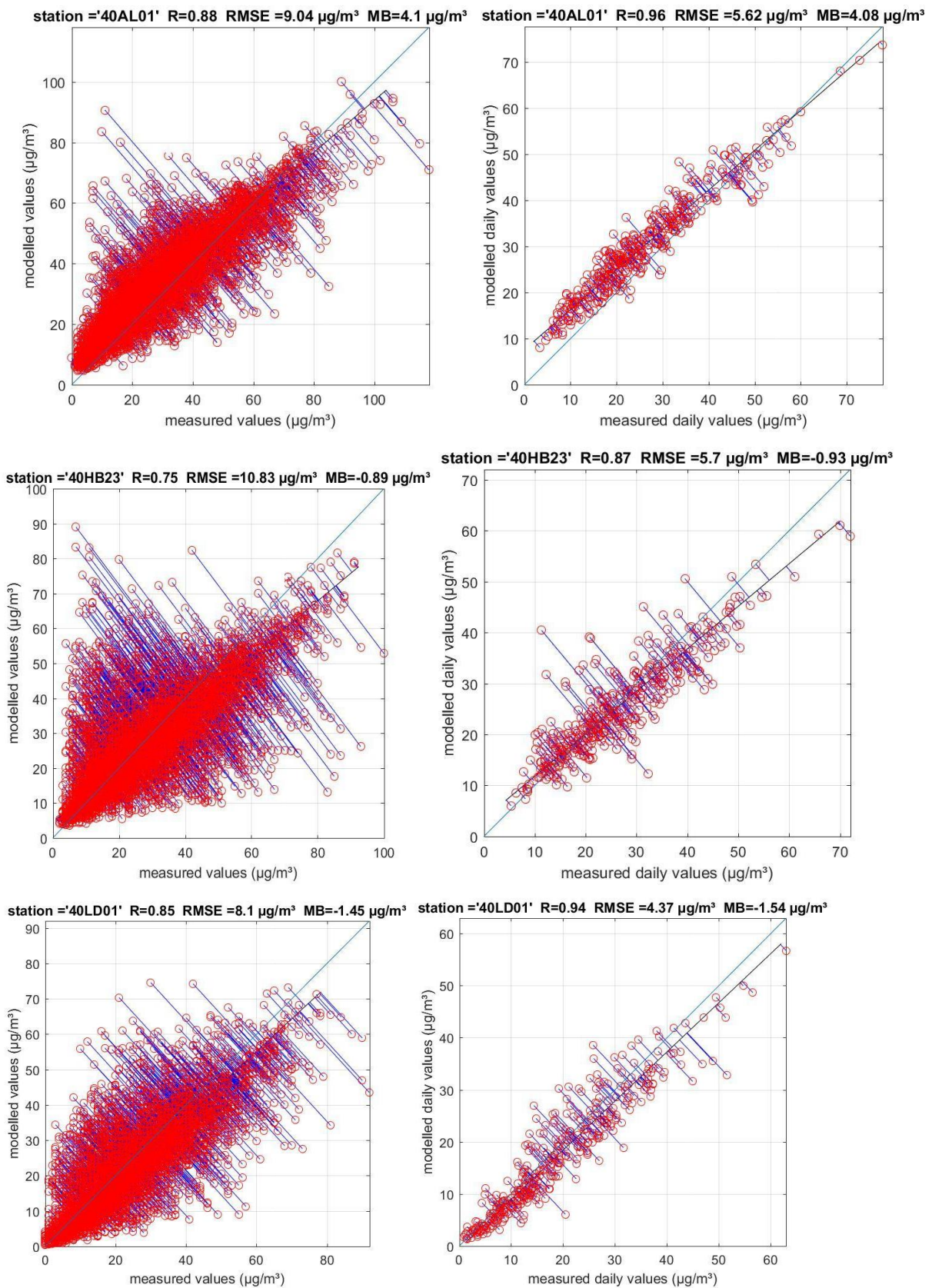
11.1 Ruimtelijke validatie RIO-IFDM NO₂ 2014 (onafhankelijke telemetrische stations)



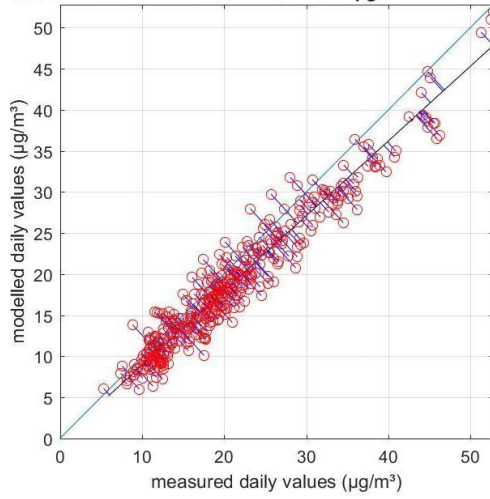
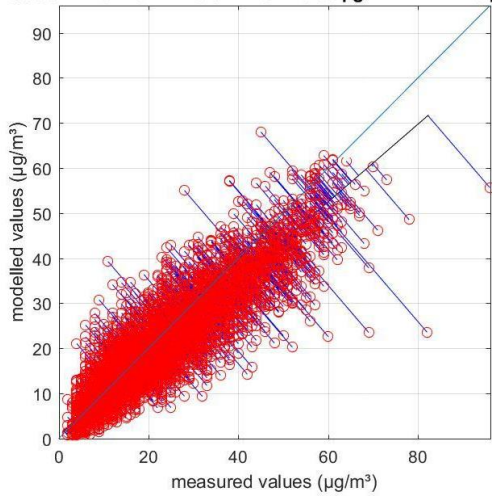
11.2 Ruimtelijke validatie RIO-IFDM NO₂ 2016 (onafhankelijke telemetrische stations)



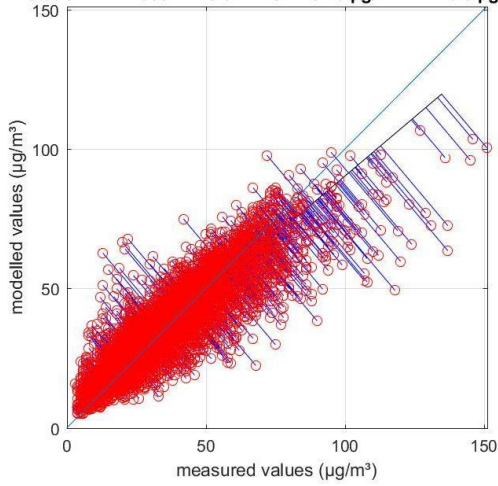
11.3 Temporele validaties onafhankelijke telemetrische meetstations 2017 uurlijks (links) en dagwaarden (rechts)



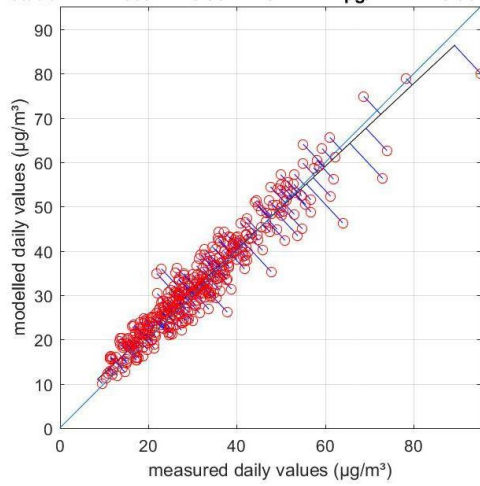
station='40LD02' R=0.9 RMSE =5.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-2.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ station='40LD02' R=0.96 RMSE =3.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



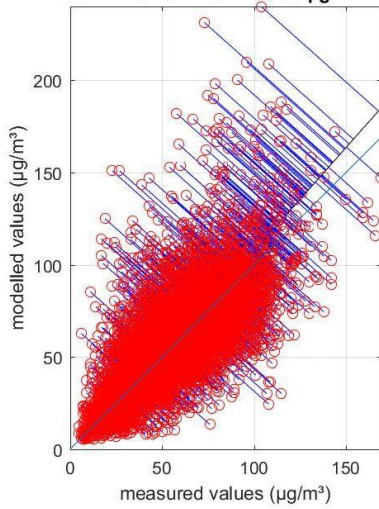
station='42R803' R=0.9 RMSE =8.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



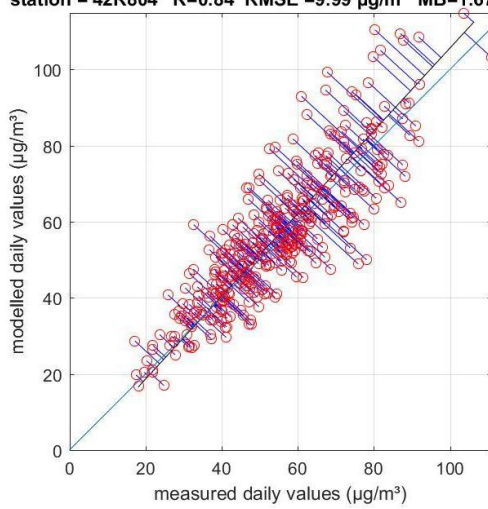
station='42R803' R=0.95 RMSE =4.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=0.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



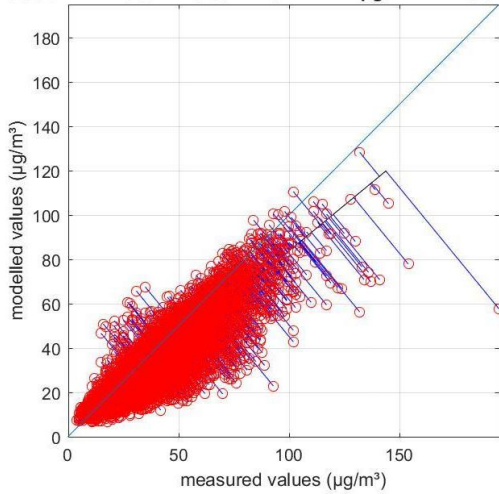
ion='42R804' R=0.73 RMSE =18.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=1.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



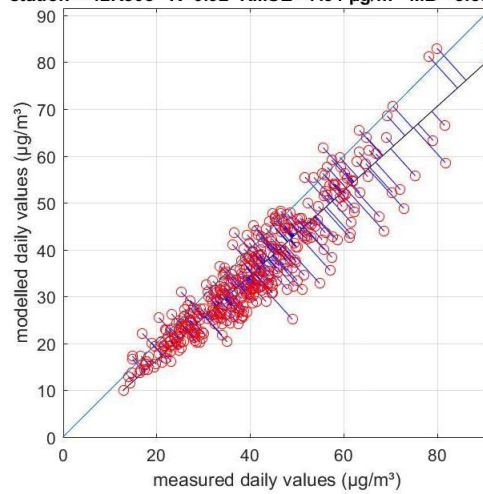
station='42R804' R=0.84 RMSE =9.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=1.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



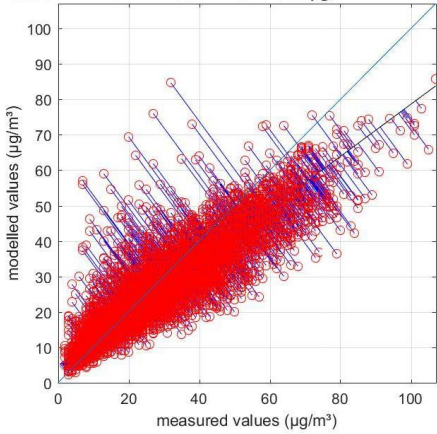
station = '42R805' R=0.85 RMSE =11.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-5.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



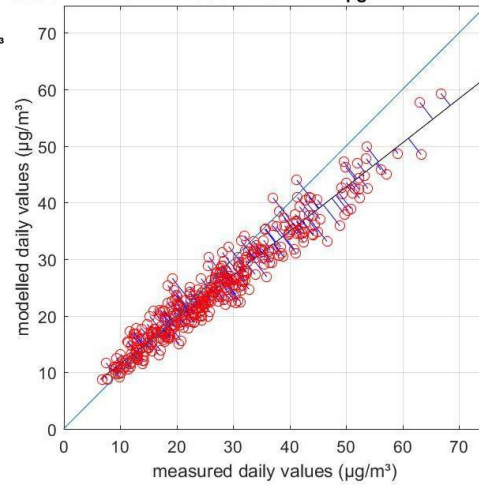
station = '42R805' R=0.92 RMSE =7.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-5.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



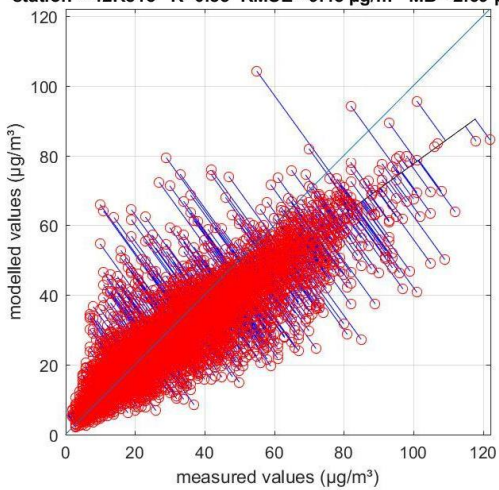
station = '42R811' R=0.89 RMSE =8.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-2.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



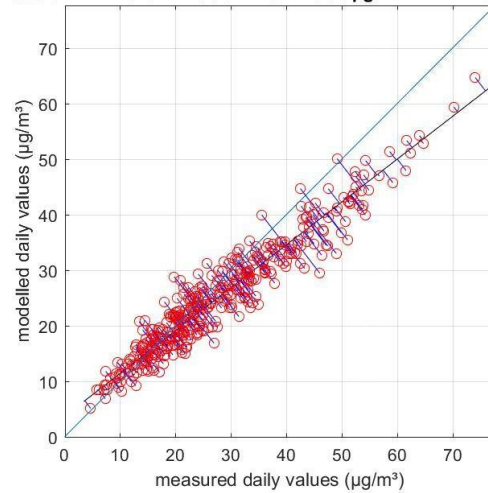
station = '42R811' R=0.96 RMSE =4.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-2.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



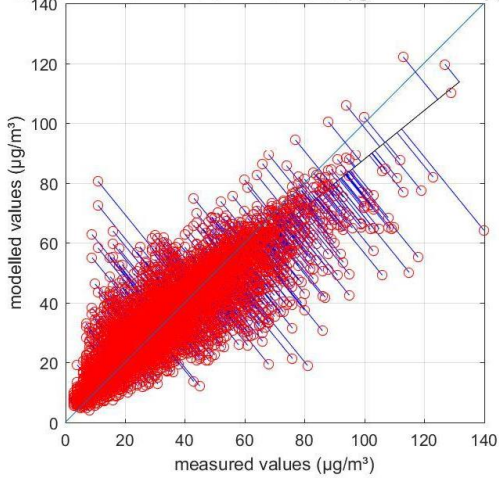
station = '42R815' R=0.88 RMSE =9.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-2.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



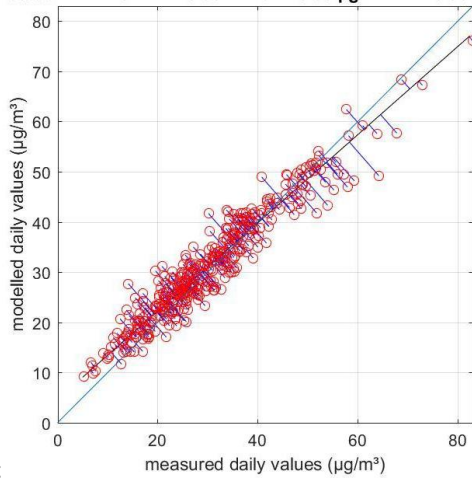
station = '42R815' R=0.96 RMSE =5.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-2.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



station = '42R817' R=0.87 RMSE =8.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=0.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

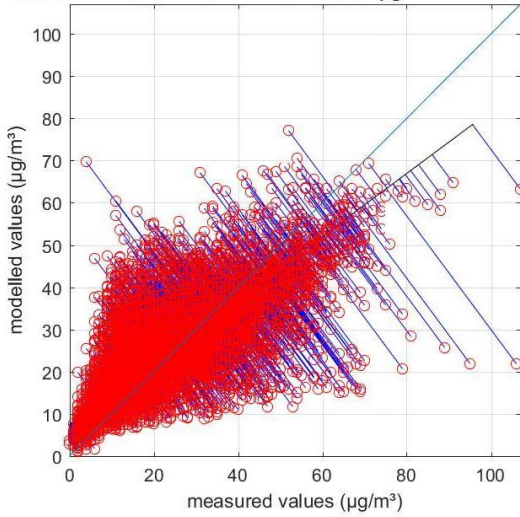


station = '42R817' R=0.95 RMSE =3.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=0.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

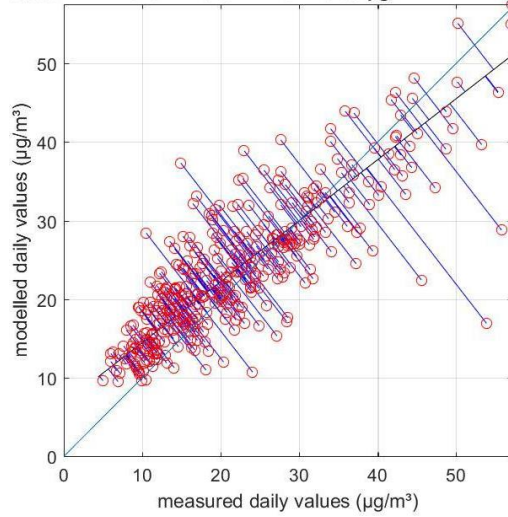


C

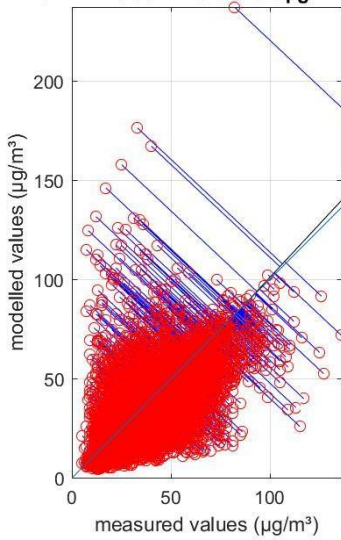
station = '42R820' R=0.72 RMSE =10.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=1.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



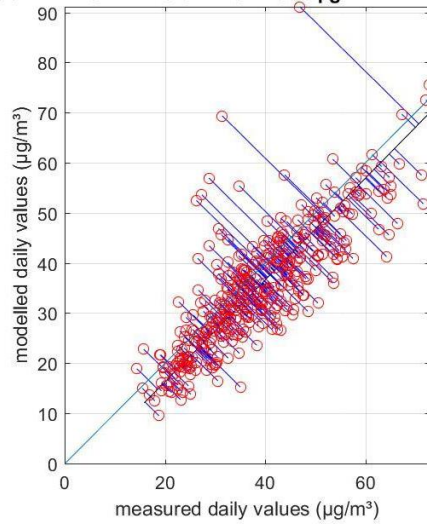
station = '42R820' R=0.82 RMSE =6.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=1.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



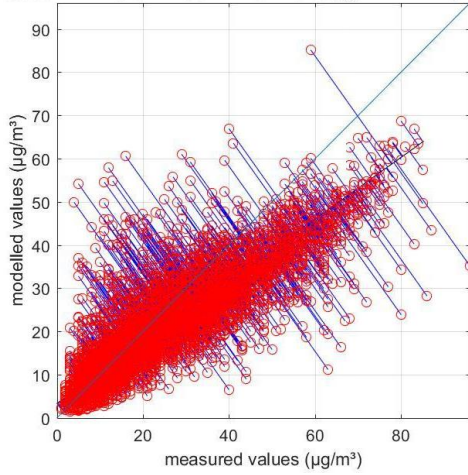
station = '42R822' R=0.59 RMSE =16.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



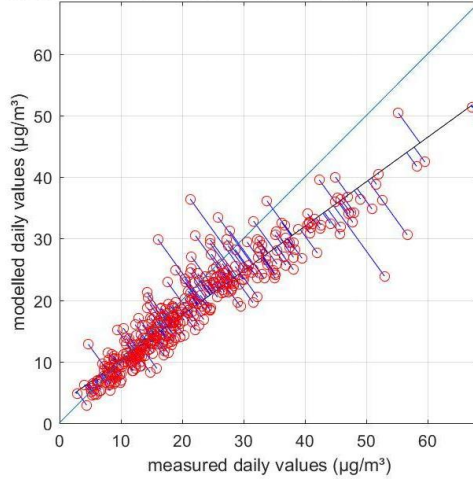
station = '42R822' R=0.8 RMSE =8.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



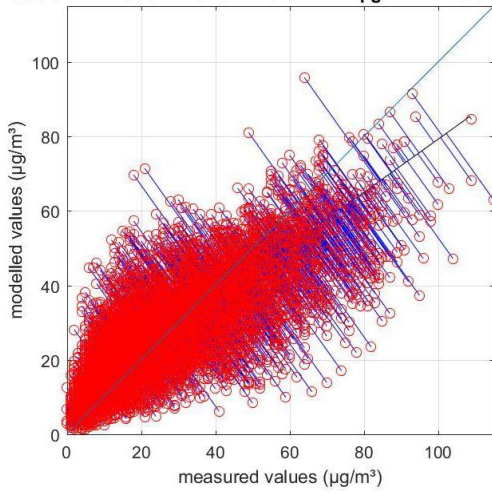
station='42R823' R=0.87 RMSE =8.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-2.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



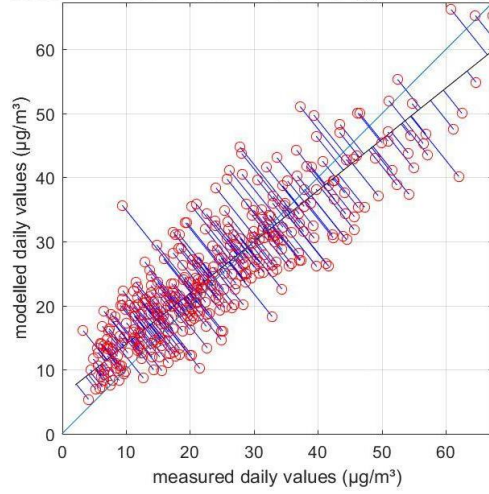
station='42R823' R=0.93 RMSE =5.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



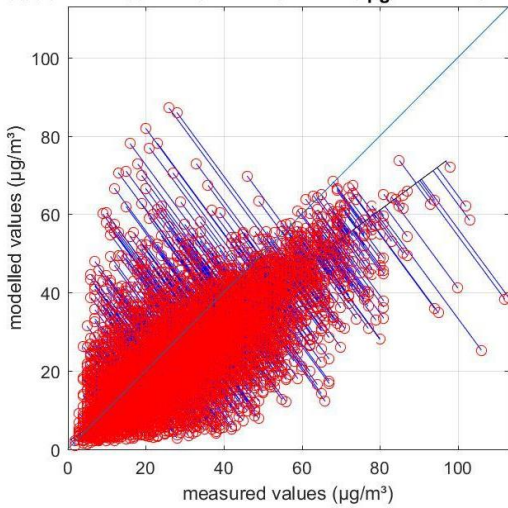
station='42R830' R=0.78 RMSE =11.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=0.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



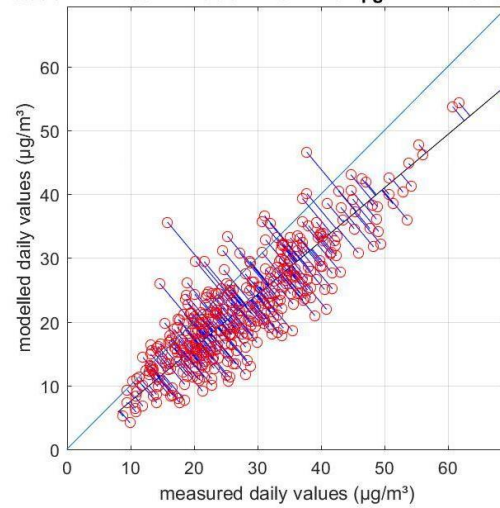
station='42R830' R=0.86 RMSE =7.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=1.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



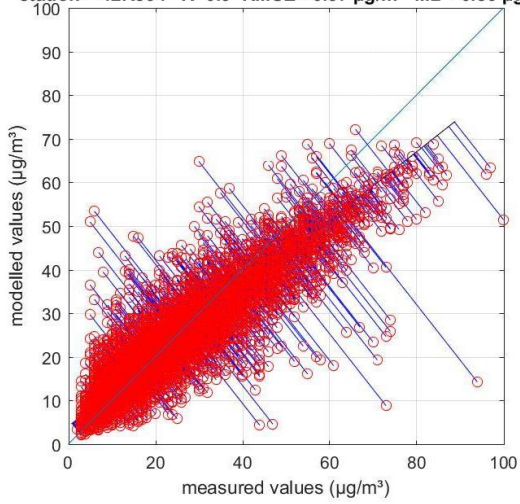
station='42R831' R=0.71 RMSE =12.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-5.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



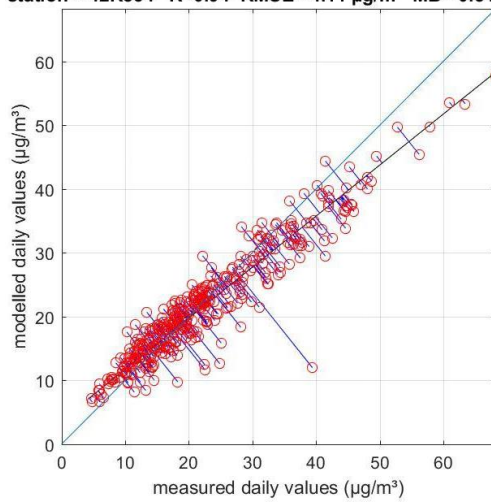
station='42R831' R=0.85 RMSE =7.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-5.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



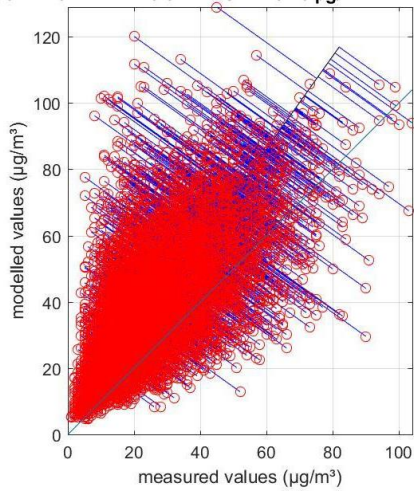
station='42R834' R=0.9 RMSE =6.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-0.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



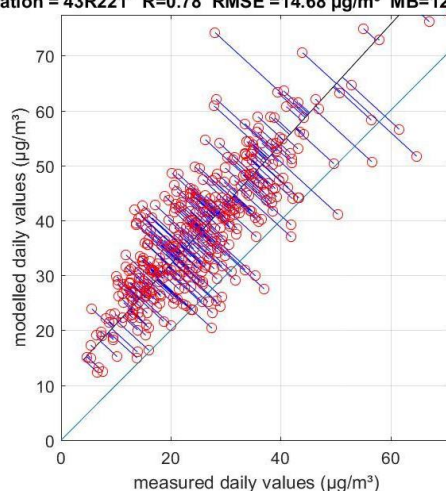
station='42R834' R=0.94 RMSE =4.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-0.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



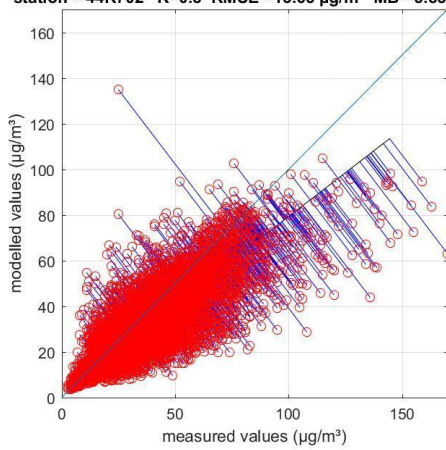
station='43R221' R=0.64 RMSE =19.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=12.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



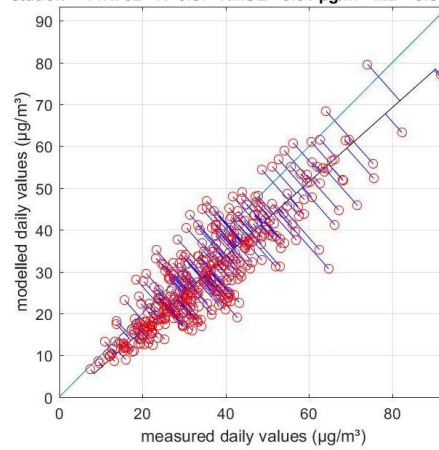
station='43R221' R=0.78 RMSE =14.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=12.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



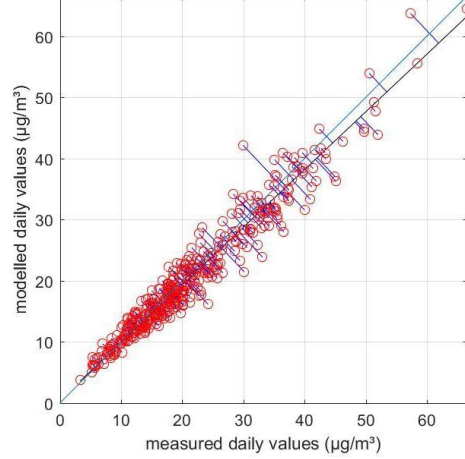
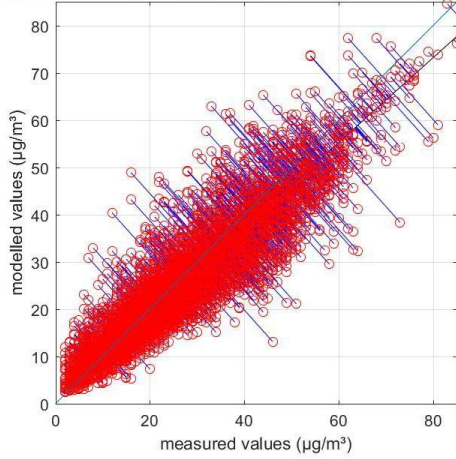
station='44R702' R=0.8 RMSE =13.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-5.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



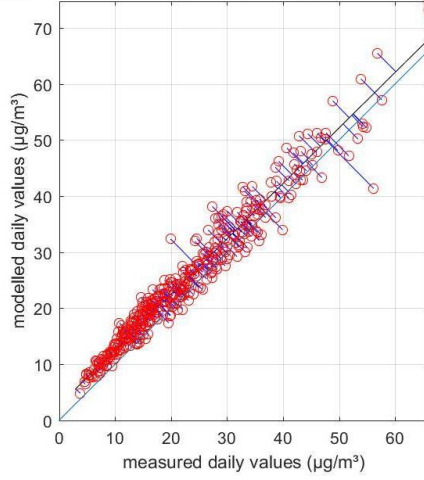
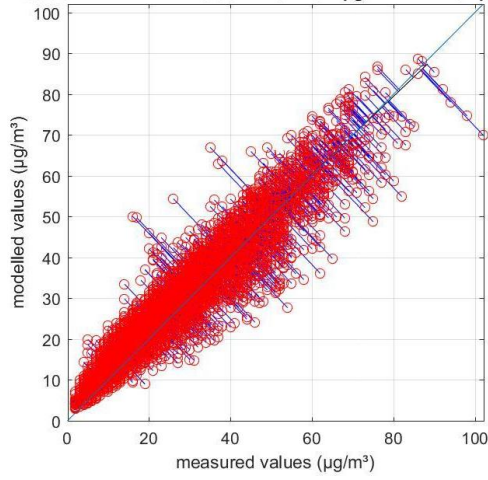
station='44R702' R=0.87 RMSE =9.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-5.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



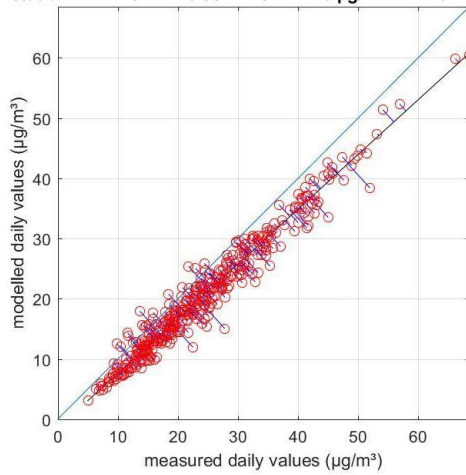
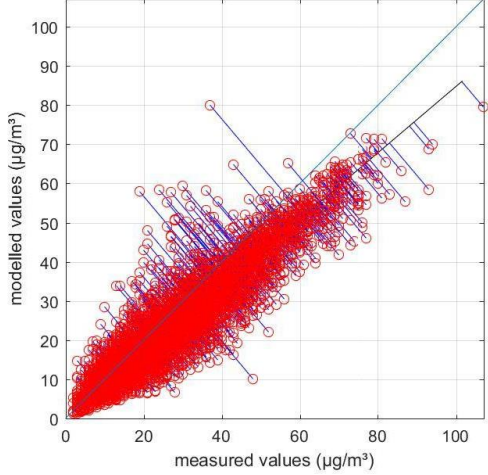
station='44R710' R=0.93 RMSE =5.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-0.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ station='44R710' R=0.97 RMSE =2.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-0.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



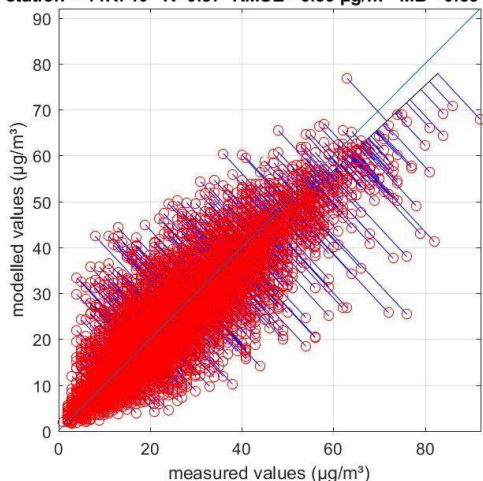
station='44R721' R=0.96 RMSE =5.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=2.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ station='44R721' R=0.97 RMSE =3.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=2.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



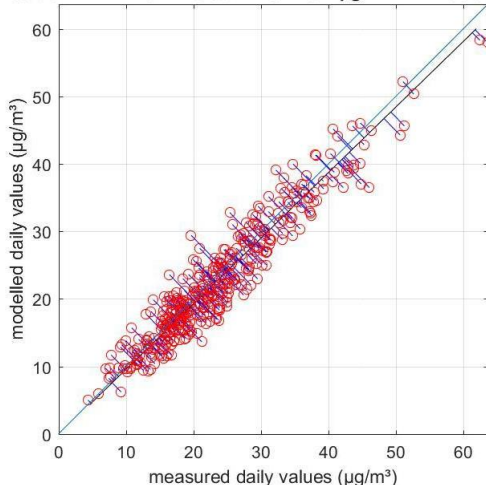
station='44R731' R=0.94 RMSE =6.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ station='44R731' R=0.98 RMSE =4.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



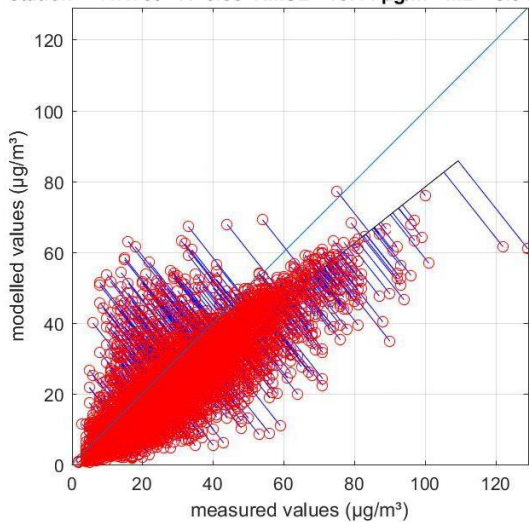
station ='44R740' R=0.87 RMSE =6.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-0.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



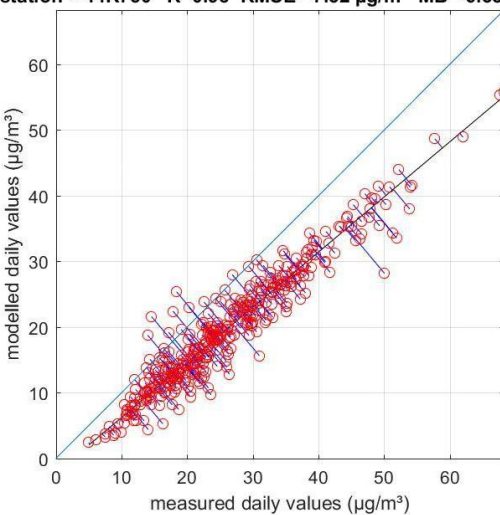
station ='44R740' R=0.95 RMSE =3.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-0.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



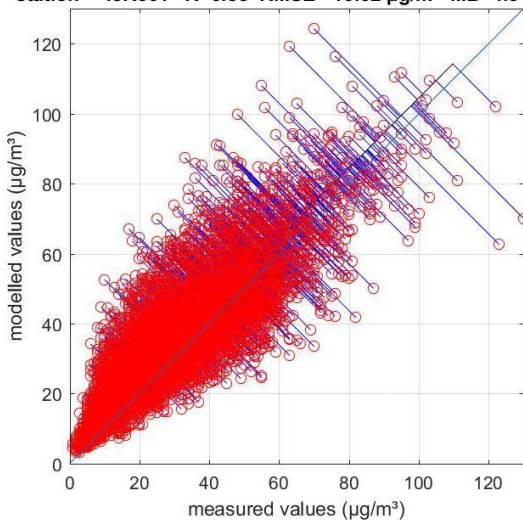
station ='44R750' R=0.85 RMSE =10.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-6.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



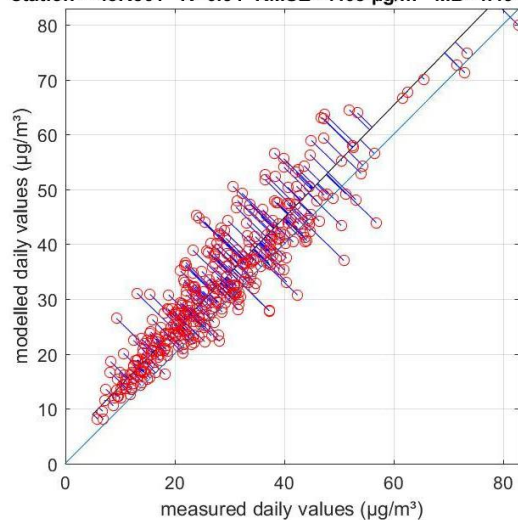
station ='44R750' R=0.95 RMSE =7.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-6.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

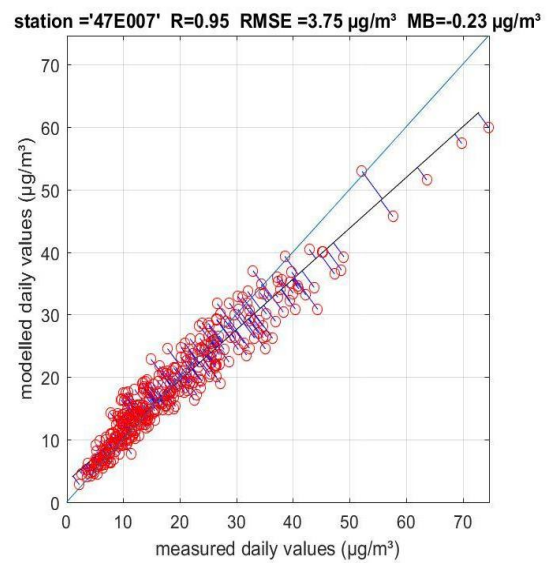
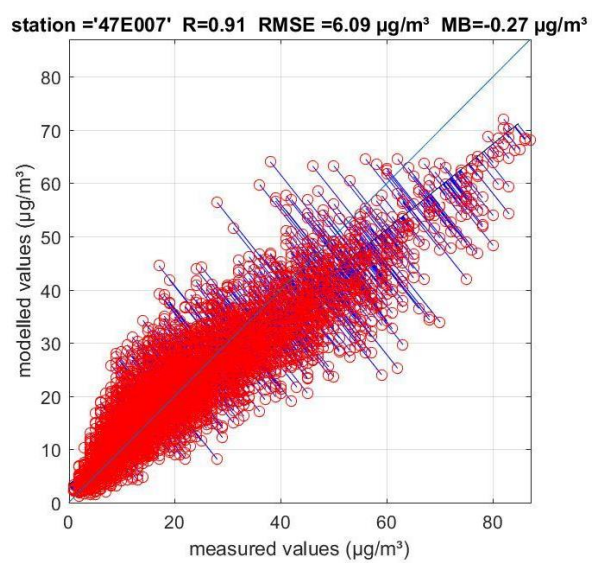
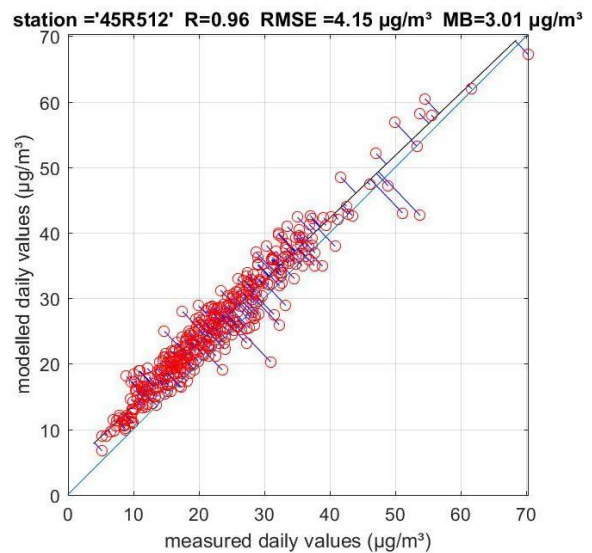
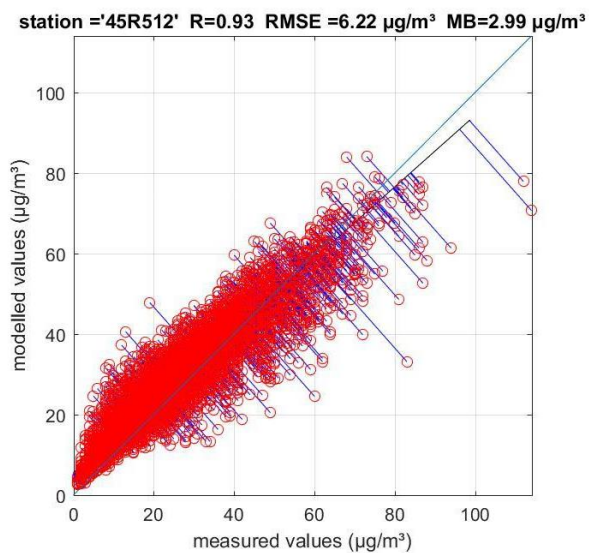
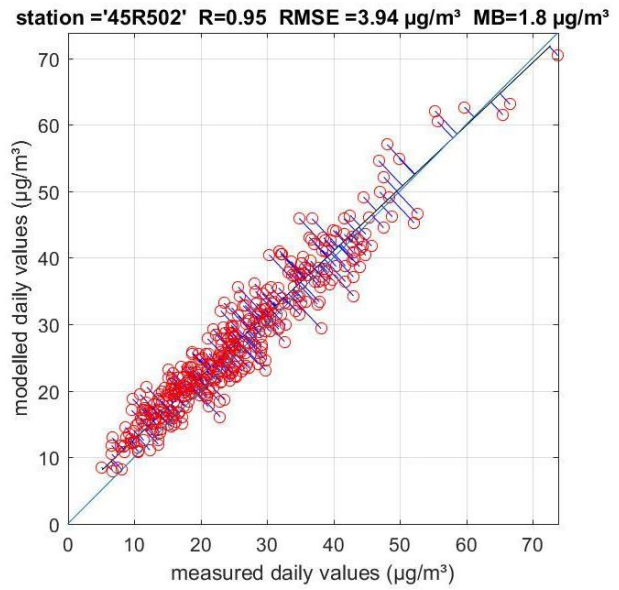
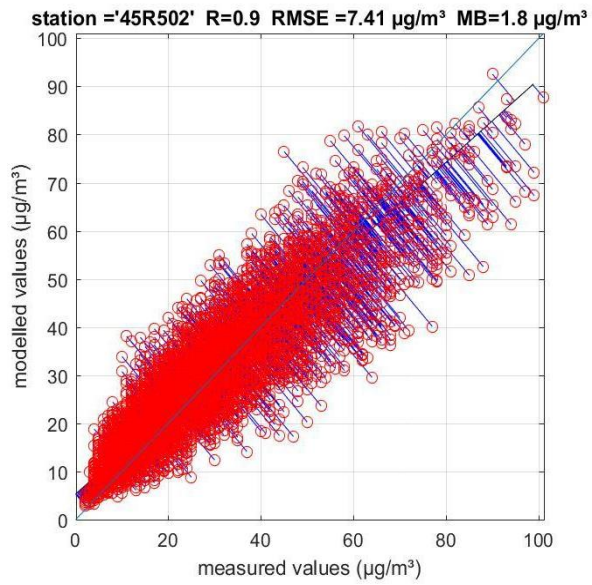


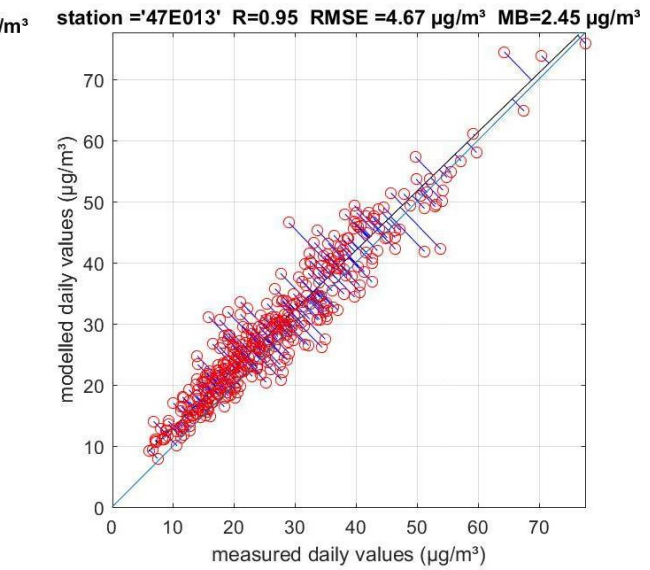
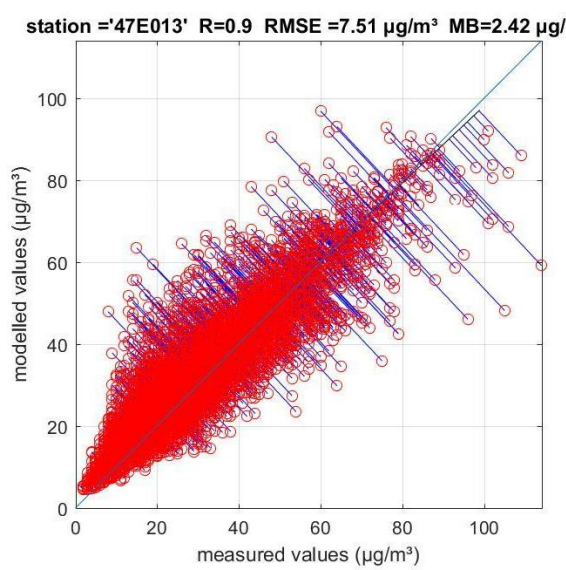
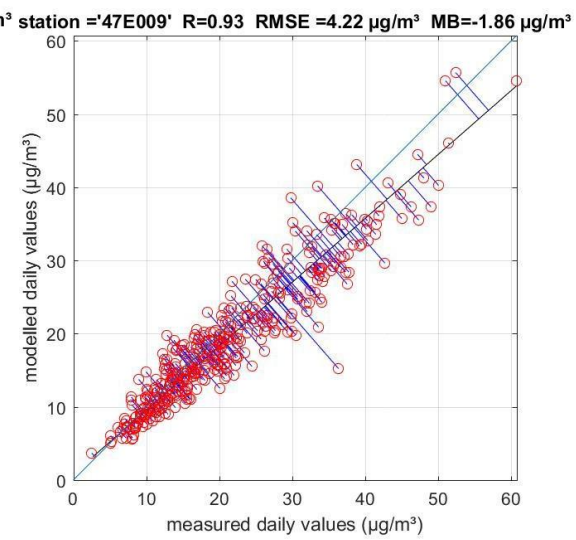
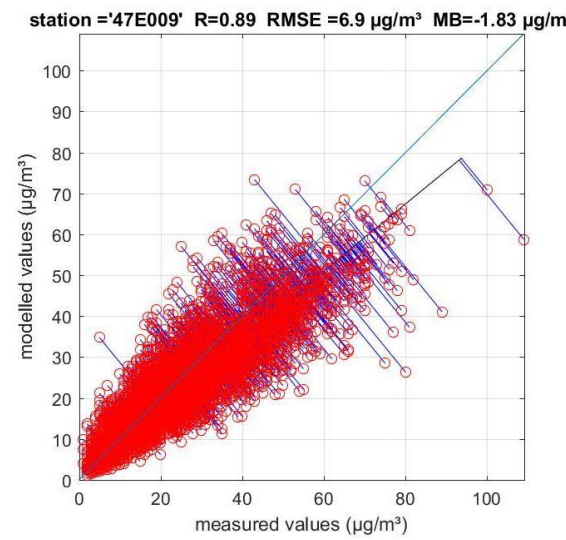
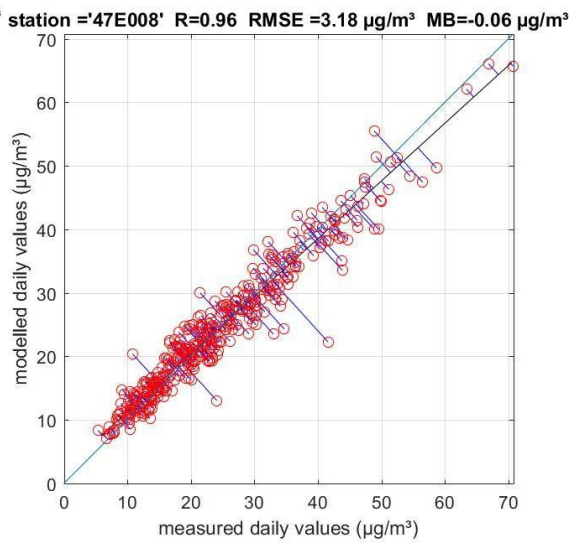
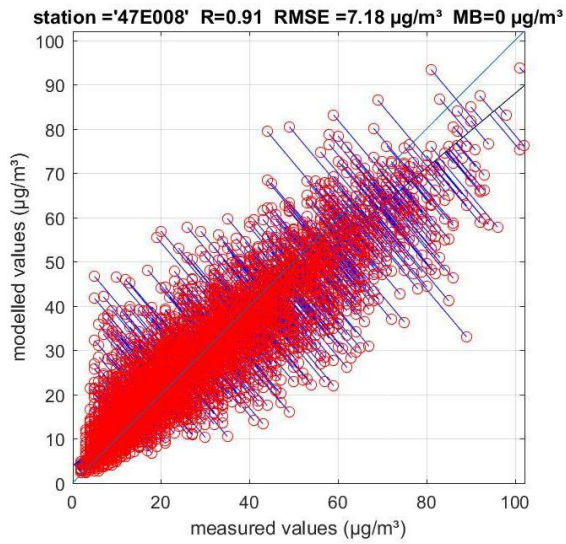
station ='45R501' R=0.85 RMSE =10.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=4.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



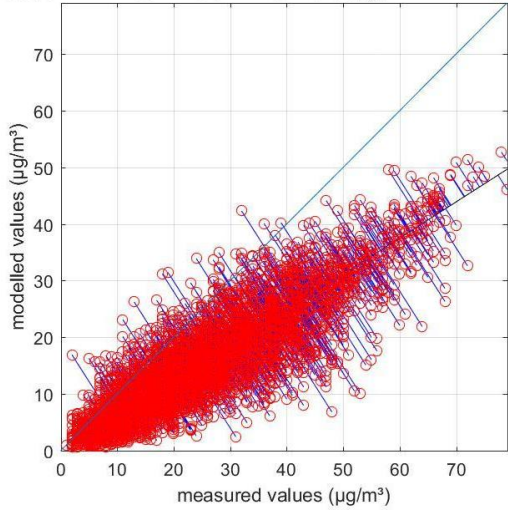
station ='45R501' R=0.91 RMSE =7.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=4.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



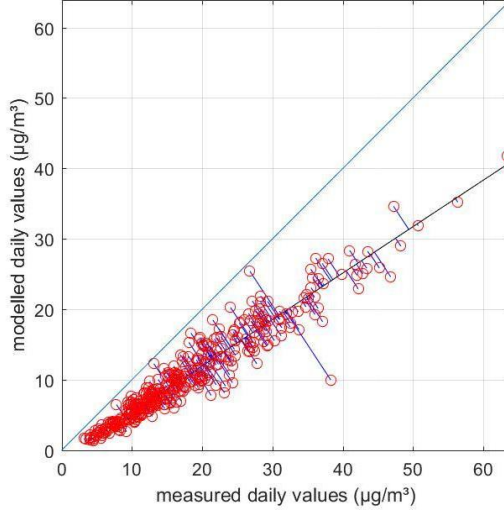




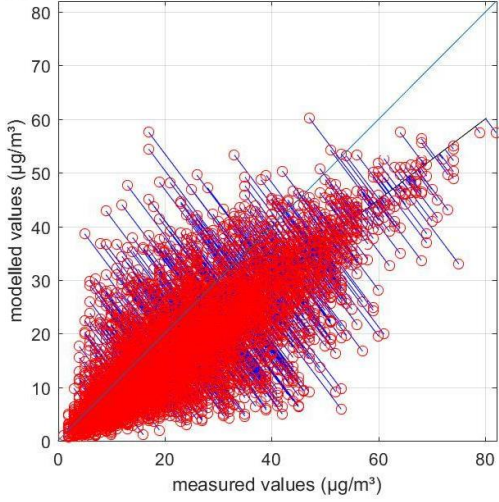
station='47E703' R=0.91 RMSE =9.88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-7.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



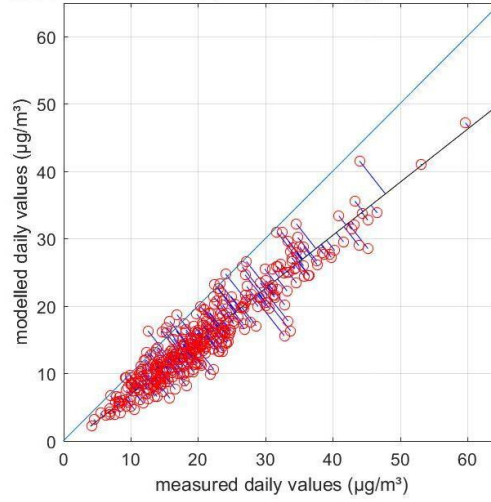
station='47E703' R=0.96 RMSE =8.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-7.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



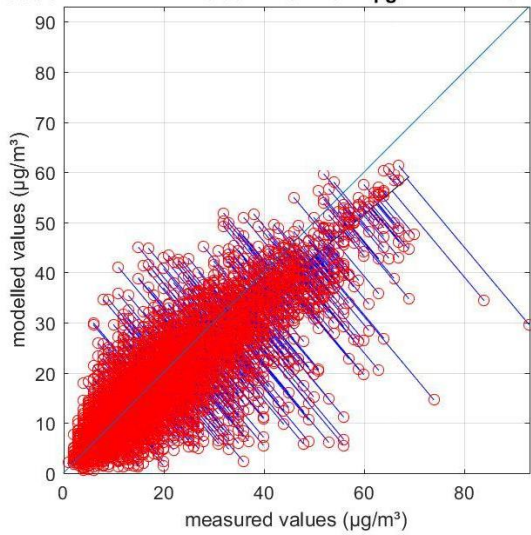
station='47E704' R=0.81 RMSE =9.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-5.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



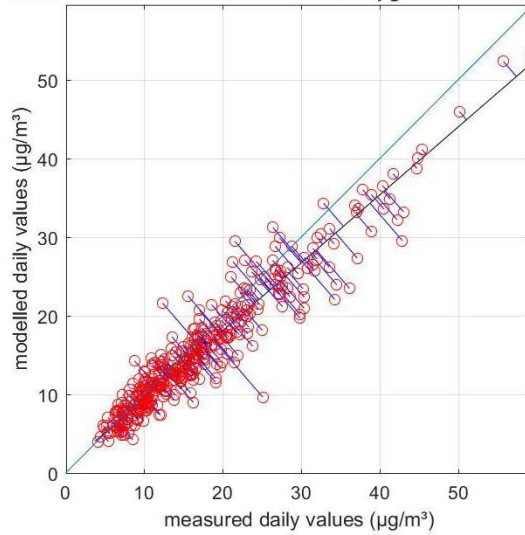
station='47E704' R=0.94 RMSE =6.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-5.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



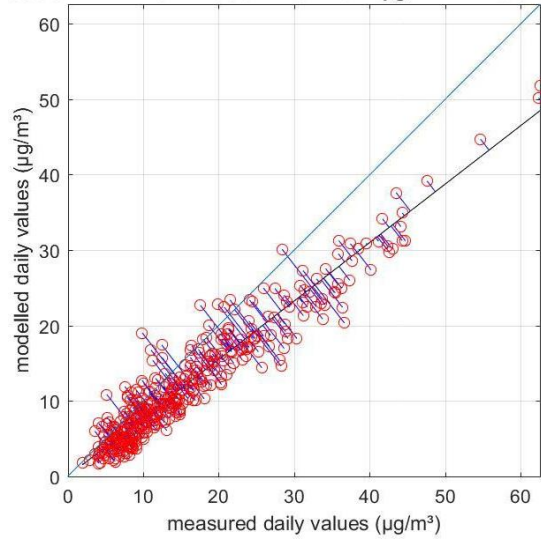
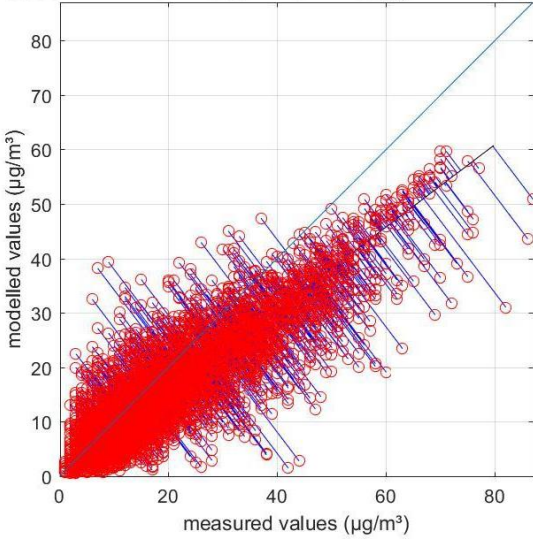
station='47E714' R=0.85 RMSE =6.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-1.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



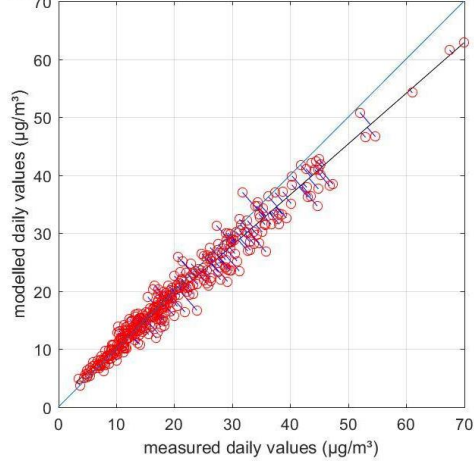
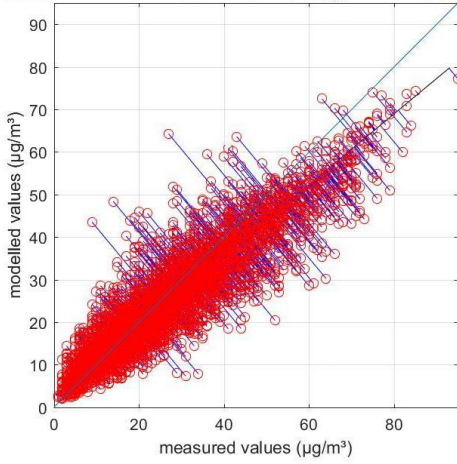
station='47E714' R=0.95 RMSE =3.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-1.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



station = '47E715' R=0.89 RMSE =7.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ station = '47E715' R=0.95 RMSE =5.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-3.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



station = '47E716' R=0.94 RMSE =5.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-0.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ station = '47E716' R=0.98 RMSE =2.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-0.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



station = '47E814' R=0.83 RMSE =9.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ station = '47E814' R=0.94 RMSE =4.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MB=-1.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

