



Informing you on ambient air quality  
in the Belgian Regions

# Het effect van de COVID-19 maatregelen op de luchtkwaliteit in België *een inschatting met een Random Forest model*



Vlaanderen  
is milieu



BRUXELLES ENVIRONNEMENT  
LEEFMILIEU BRUSSEL  
- IEGE - BIM -



VLAAMSE  
MILIEUMAATSCHAPPIJ

## Inhoud

Samenvatting .....	5
1. De invloed van de meteorologische omstandigheden afzonderen van wijzigingen in de emissies (uitstoot) .....	6
2. Random Forest modellen.....	6
3. Validatie Random Forest model.....	7
4. Impact van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit.....	15
4.1 NO <sub>x</sub> (stikstofoxides).....	19
4.2 Stikstofdioxide (NO <sub>2</sub> ).....	23
4.3 Fijn stof (PM2.5).....	26
4.4 Fijn stof (PM10).....	30
4.6 Ozon (O <sub>3</sub> ) .....	35
Conclusies .....	40
Referenties.....	41
BIJLAGE: Statistische validatie indicatoren .....	42

## Lijst van figuren

Figuur 1: afhankelijkheid van de verschillende inputparameters na training van het Random Forest model. ....	9
Figuur 2: Validatie van het Random Forest model voor de stedelijke achtergrondmeetstations 42R801 (Antwerpen-Borgerhout), 41R001 (Brussel-Molenbeek) en 43R401 (Namen) voor 6 polluenten. De meetresultaten staan op de x-as, de Random Forest modelresultaten op de y-as. De blauwe lijn is de regressielijn. De zwarte stippellijn is de x=y lijn, de grijze stippellijnen markeren het interval waar de metingen en de Random Forest modelresultaten maximaal een factor 2 verschillen. ....	12
Figuur 3: Weekgemiddelde ventilatiefactor (windsnelheid x menglaaghoogte) voor de meetplaatsen Antwerpen(T2M802), Brussel (T1M003), Charleroi (T5M501) en Luik (T3M202) gedurende week 1 t.e.m. week 19 in 2020. De verticale blauwe stippellijn geeft aan wanneer de (soft) lockdownperiode in België werd ingevoerd (19 maart 2020). ....	16
Figuur 4: gemeten (blauw) en gemodelleerde (rood) daggemiddelde NO <sub>2</sub> concentraties in de straatstations te Brussel (41B001) en Antwerpen (42R802) en de landelijke achtergrondstations te Veurne (44N029) en Dourbes (43N100). De verticale blauwe stippellijn geeft aan wanneer de (soft) lockdownperiode in België werd ingevoerd (19 maart 2020). ....	17
Figuur 5: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) NO <sub>x</sub> concentratie voor de eerste 19 weken in 2020 in 4 types meetstations. Van boven naar onder: stedelijke straat, voorstedelijk/binnenstedelijk, stedelijke achtergrond en landelijke achtergrond. De blauwe stippellijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde NO <sub>x</sub> concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties. ....	21
Figuur 6: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) NO <sub>2</sub> concentratie voor de eerste 19 weken in 2020 in 4 types meetstations. Van boven naar onder: stedelijke straat, voorstedelijk/binnenstedelijk, stedelijke achtergrond en landelijke achtergrond. De blauwe stippellijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde NO <sub>2</sub> concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties. ....	24
Figuur 7: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) fijn stof (PM <sub>2.5</sub> ) concentratie voor de eerste 19 weken in 2020. De blauwe stippellijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde PM <sub>2.5</sub> concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties. ....	28
Figuur 8: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) fijn stof (PM <sub>10</sub> ) concentratie voor de eerste 19 weken in 2020. De blauwe stippellijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde PM <sub>10</sub> concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties. ....	31
Figuur 9: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) BC concentratie voor de eerste 19 weken in 2020 in een verkeersstation (Antwerpen-	

Borgerhout-42R802), een voorstedelijk station (Antwerpen-Wilrijk-42R817), twee stedelijke-achtergrondstations (Gent-44R701 en Namen-43R401) en een achtergrondmeetplaatsen (Veurne-44N029). De blauwe stippellijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde BC concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties..... 33

Figuur 10: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) ozon (O3) concentratie voor de eerste 19 weken in 2020 in het verkeersstation (Molenbeek-41R001), de stedelijke achtergrondstations (Anwerpen-Borgerhout-42R801, Gent-44R701 en Luik-43R222) en twee achtergrondmeetplaatsen (Veurne-44N029 en Dourbes-43N100). De blauwe lijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde O3 concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties..... 36

## Lijst van tabellen

Tabel 1: Meteomeetstations uit de meetnetten van de drie gewesten gebruikt voor de meteorologische dataset. ....	8
Tabel 2: meetstations en polluenten waarvoor een Random Forest model werd opgezet .....	10
Tabel 3: Statistische validatieparameters (mediaan selectie meetstations) per pollutant .....	11
Tabel 4: Absolute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) impact van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit (week 12 tem 19) op de verschillende meetplaatsen zoals ingeschat door het Random Forest model. ....	38
Tabel 5: Relatieve (%) impact van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit (week 12 tem 19) op de verschillende zoals ingeschat door het Random Forest model. ....	39

## Samenvatting

De impact van de COVID-19 crisis op de luchtkwaliteit inschatten is minder eenvoudig dan het lijkt. In dit rapport wordt via een “Random Forest” model (RF-model) het effect van de coronamaatregelen op de concentraties van verschillende pollutanten ingeschat (voor de weken 12 tot en met 19 in 2020).

Met een RF-model kan het effect van de meteorologische omstandigheden afgezonderd worden van de veranderingen in de uitstoot na de coronalockdown midden maart 2020.

Deze oefening gebeurde voor verschillende types (verkeer, stedelijk, achtergrond) meetstations in de drie gewesten<sup>1</sup>.

Op basis van de RF-modeloefening blijkt dat de coronamaatregelen een variabel effect hadden op de luchtkwaliteit (weken 12 – 19):

- Er is een duidelijk positieve impact op de concentraties van typische verkeersgerelateerde pollutanten zoals stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en (diesel)roet. Zonder de COVID-19 crisis zouden de concentraties van deze stoffen tot meer dan 50% (NO<sub>x</sub>) en 35-40% (NO<sub>2</sub> en roet) hoger geweest zijn op de meest verkeersdrukke meetplaatsen. De impact verlaagt naarmate er minder gemotoriseerd verkeer is in de buurt van de meetstations.
- De coronamaatregelen lijken maar een beperkte impact te hebben op de fijnstofconcentraties (PM2.5 en PM10). Een belangrijke reden hiervoor zijn de ongunstigere meteorologische omstandigheden na het ingaan van de lockdown. De bijdrage van het “primaire” of rechtstreekse uitgestoten fijn stof aan de totale concentratie fijn stof is tevens beperkt. Fijn stof heeft ook veel meer bronnen dan alleen het wegverkeer. Ook de industrie, de huishoudens en de landbouw zijn belangrijke bronnen van fijn stof. Deze sectoren werden minder getroffen door de coronacrisis.
- Er is een negatief effect op de ozonconcentraties: ozon op leefniveau (troposfeer) is een complex spel tussen ozonvorming en -afbraak. De hoeveelheid stoffen (stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen) om ozon te vormen bleven ondanks de emissiedalingen van deze stoffen hoog genoeg. Door minder verkeer was er echter minder ozonafbraak waardoor de ozonconcentraties toenamen.

De resultaten uit dit rapport werden gebruikt in het VMM rapport “[het Effect van COVID-19-maatregelen op de luchtkwaliteit in Vlaanderen](#)”.

<sup>1</sup> De luchtkwaliteitsmeetnetten worden in Vlaanderen uitgebaat door de Vlaamse Milieumaatschappij (<http://www.vmm.be>), in Wallonië door l’Institut Scientifique de Service Public (<http://www.issep.be>) en het Agence Wallonne de l’Air et du Climat (AWAC) (<http://airclimat.wallonie.be>) en in Brussel door het Brussels Instituut voor Milieubeheer (<http://www.ibgebim.be>).

## 1. De invloed van de meteorologische omstandigheden afzonderen van wijzigingen in de emissies (uitstoot)

De impact van de lockdownmaatregelen op de luchtkwaliteit kwantificeren op basis van (alleen) metingen is minder eenvoudig dan het lijkt. De concentraties van schadelijke stoffen in de lucht worden immers niet alleen bepaald door de uitstoot, maar ook door de weersomstandigheden. Door het vergelijken van de metingen na het ingaan van de lockdown met periodes onmiddellijk voor de lockdown of met periodes in voorgaande jaren is het niet evident om het effect van veranderingen in de uitstoot en van de weersomstandigheden van elkaar te onderscheiden. Dit probleem werd reeds geschetst in het [nieuwsbericht begin april 2020](#)

Om het afzonderlijke effect van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit te gaan afzonderen van de meteorologische omstandigheden kunnen CTM ("Chemical Transport Models") modellen ingezet worden. CTM's zijn modellen die de ingewikkelde fysische en chemische processen in de atmosfeer met wiskundige algoritmes simuleren. Als input gebruiken deze modellen emissiegegevens (uitstoot), meteorologische en geografische data. Als kan ingeschat worden wat het effect is van de coronamaatregelen op de uitstoot, kan met een CTM model de impact van enkel de verandering van de uitstoot (de meteorologische omstandigheden blijven gelijk) op de concentraties in de lucht bepaald worden. Hierbij moeten dus twee modelruns gebeuren: één met "normale" of "BAU" (Business As Usual) emissies waarbij verondersteld wordt dat er geen coronacrisis zou geweest zijn en één met de emissies zoals ingeschat tijdens de lockdown. Het verschil tussen de berekende concentraties van de twee modelruns is het afzonderlijke effect van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit.

Dit soort modelberekeningen hebben een aantal voordelen (je kan een berekening maken voor het ganse grondgebied, ook op plaatsen waar niet gemeten wordt) maar zijn ingewikkeld. Bovendien is een juiste inschatting van de uitstootveranderingen tijdens de lockdown nodig. En dat is niet eenvoudig: een daling van het verkeersvolume zorgt voor minder verkeersgerelateerde vervuiling, maar exact inschatten hoeveel is niet evident. Het is op dit moment ook nog niet duidelijk wat de impact is van de coronamaatregelen op de uitstoot in andere sectoren.

## 2. Random Forest modellen

Random Forest (RF) modellen zijn een relatief nieuw type van "machine learning" modellen die in staat zijn om uit grote datasets niet-lineaire verbanden tussen variabelen te gaan bepalen (<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010933404324>). Hiervoor wordt een RF-model eerst getraind: het model gaat via beslissingsbomen ("decision trees") het verband tussen een parameter (in dit geval de concentratie van een luchtvervuilende stof) en variabelen (bijvoorbeeld de windrichting, temperatuur, ...), die afzonderlijk in veel gevallen maar een beperkte voorspellende waarde hebben, classificeren. Al de beslissingsbomen worden vervolgens gebundeld tot één zogenaamd "random forest" ("willekeurig bos"). Door de combinatie van alle "beslissingsbomen" verkrijgt je een algoritme dat een

robuuste voorspelling voor een parameter (in deze studie de concentratie van een pollutant in de lucht) kan maken met een set van variabelen (bijvoorbeeld meteorologische parameters) die je in het trainingsproces hebt gebruikt.

Op basis van de gemeten concentraties en de daarmee samenhangende set van meteorologische (en eventueel) andere variabelen uit het verleden kunnen we met een Random Forest model het verband tussen de gemeten concentraties en die weers- en andere variabelen gaan “voorspellen”. Met een RF-model kunnen we ook proberen het afzonderlijke effect van de lagere uitstoot door het gemotoriseerd verkeer tijdens de corona-lockdown in te schatten door de modelresultaten te vergelijken met gemeten concentraties. Het grote verschil met CTM modellen is dat het met deze aanpak niet nodig is emissiegegevens als input te gebruiken.

Verschillende tools zijn ondertussen beschikbaar om een Random Forest model op te zetten. In deze oefening maakten we gebruik van het “rmweather” (<https://CRAN.R-project.org/package=rmweather>) pakket dat hoort bij het statistisch software programma “R”. Dit pakket is specifiek ontworpen om via de Random Forest techniek de variatie aan pollutantconcentraties door wisselende meteorologische omstandigheden te onderzoeken.

### 3. Validatie Random Forest model

Een RF-model werd opgezet en getraind met de daggemiddelde pollutantconcentraties, een reeks van meteorologische parameters (daggemiddelde , minimum en maximum windsnelheid, windrichting, daggemiddelde , minimum en maximum temperatuur, relatieve vochtigheid, menglaaghoogte en bewolgingsgraad). Ook de dag in het jaar (als seizoenstrend), de dag in de week (om het effect van week- en weekenddag in te schatten) en de verstreken tijd (als indicator voor de langetermijntrend) sinds 1/1/1970 (de zogenaamde “unix timestamp”) worden als bijkomende variabelen gebruikt om het model te trainen. Voor de training werd een tijdreeks gebruikt van 1/1/2015 tot en met 29/2/2020<sup>2</sup>, dus de periode tot net voor de invoering van de coronamaatregelen.

De meteorologische dataset werd gemaakt op basis van de metingen in de telemetrische meteorologische meetstations. De lijst van gebruikte meetstations is te vinden in tabel 1.

<sup>2</sup> Voor een aantal meetplaatsen en pollutanten is de tijdreeks korter.

*Tabel 1: Meteomeetstations uit de meetnetten van de drie gewesten gebruikt voor de meteorologische dataset.*

stationscode	gewest	gemeente
T2M802	Vlaanderen	Antwerpen
T4M701	Vlaanderen	Gent
T4N029	Vlaanderen	Veurne
T1M003	Brussel	Molenbeek
T5M501	Wallonië	Charleroi
T3M202	Wallonië	Luik
T3M205	Wallonië	Saint-Ode

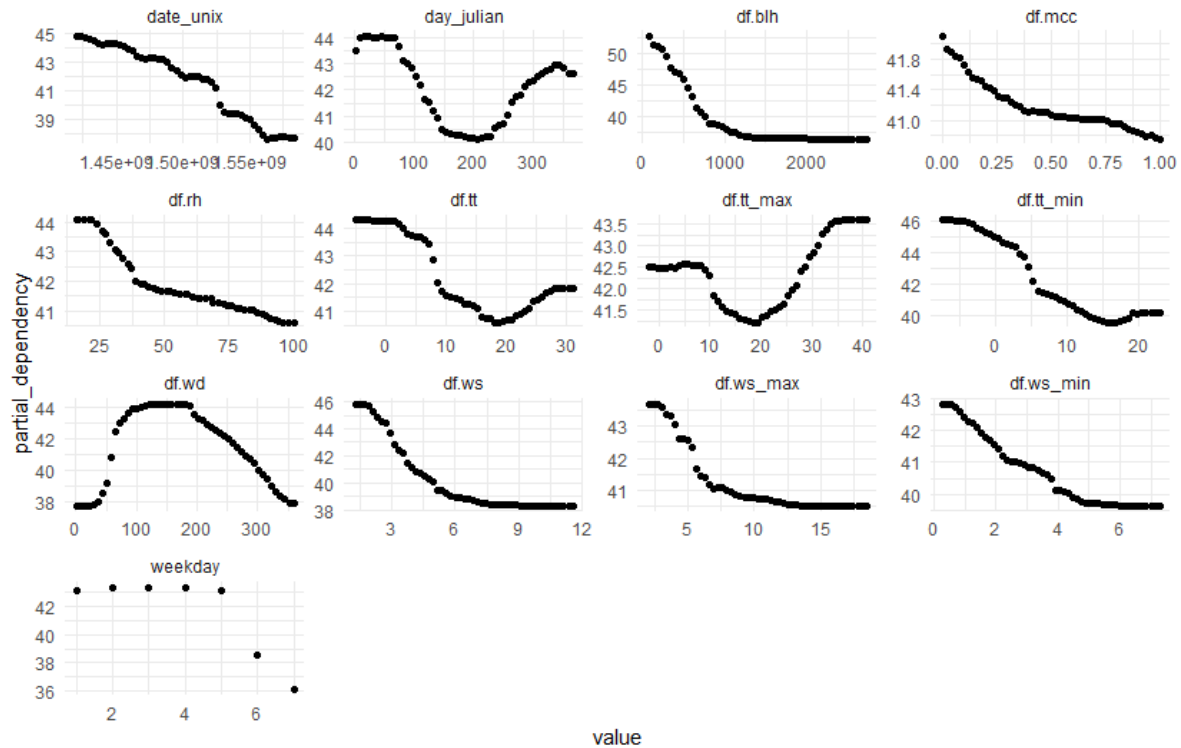
De volgende parameters gemeten in deze stations werden gebruikt: windsnelheid, windrichting, temperatuur en relatieve vochtigheid. Voor de menglaaghoogte<sup>3</sup> en de bewolgingsgraad werd beroep gedaan op data van het European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF).

In figuur 1 worden de gedeelde afhankelijkheden getoond van de inputparameters na training van het RF-model voor stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) in het verkeersmeetstation 42R802 te Borgerhout. Deze figuren geven dus het individuele effect van een parameter op de gemodelleerde concentratie weer. Hieruit blijkt dat het model de verbanden die er zijn tussen de meteoparameters en luchtvervuiling realistisch kan inschatten (bijvoorbeeld hogere NO<sub>2</sub>-concentraties bij lagere windsnelheid en menglaaghoogte). Ook de verbanden tussen de tijdsgebonden variabelen en de NO<sub>2</sub> concentraties (zoals lagere NO<sub>2</sub> in de zomermaanden en in het weekend) liggen binnen de verwachtingen.

<sup>3</sup> De menglaaghoogte is de hoogte in de atmosfeer tot waar de vervuiling zich goed kan verspreiden. Hoe hoger de menglaaghoogte hoe gunstiger de verdunningsomstandigheden. Bij dezelfde uitstoot zullen de concentraties in de lucht lager zijn wanneer de menglaaghoogte hoger is.



Figuur 1: afhankelijkheid van de verschillende inputparameters na training van het Random Forest model.<sup>4</sup>



Om in te schatten hoe goed het RF-model algoritme de concentraties van een pollutant op een meetplaats kan voorspellen op basis van de meteo- en tijdsgebonden variabelen, werd een willekeurige (random) testset gemaakt: 20% van alle dagen in de meetreeksen tussen 1/1/2015 en 29/2/2020 werden niet meegenomen om het model te trainen. De selectie van die 20% dagen gebeurde willekeurig door het computerprogramma. De overige 80% van de dagen werden dus gebruikt om het model te trainen. Wanneer we de door het RF-model berekende concentraties op “testdagen” vergelijken met de werkelijk gemeten concentraties, kunnen we een onafhankelijke inschatting maken van de prestaties van het model. Onafhankelijk omdat de testdagen niet meegenomen werden bij de training.

<sup>4</sup> date\_unix is indicator voor de lange termijn, “day\_julian” is de dag in het jaar die indicator is voor seizoenstrend, blh=menglaaghoogte, mcc=bewolgingsgraad, rh = relatieve vochtigheid, tt=daggemiddelde temperatuur (met tt\_min en tt\_max respectievelijk de minimum en maximum temperatuur ), wd=daggemiddelde windrichting, ws=windsnelheid (met ws\_min en ws\_max respectievelijk de minimum en maximum windsnelheid), weekday is de dag in de week (1=maandag en 7=zondag)

Tabel 2: meetstations, classificatie en polluenten waarvoor een Random Forest model werd opgezet

code	meetplaats	gew	Classificatie meetplaats	meteo	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	PM2.5	PM10	BC	O3
42R801	Antwerpen (Borgerhout)	VLA	stedelijk-achtergrond	T2M802	x	x	x	x	x	x
42R802	Antwerpen (Borgerh-straat)	VLA	stedelijk-verkeer	T2M802	x	x	x	x	x	
42R803	Antwerpen (park spoor N)	VLA	stedelijk-achtergrond	T2M802	x	x	x	x	x	
42R804	Antwerpen (Ring)	VLA	stedelijk-verkeer	T2M802	x	x	x	x	x	
42R805	Antwerpen (Belgiëlei)	VLA	stedelijk-verkeer	T2M802	x	x	x	x	x	
42R817	Antwerpen (Wilrijk)	VLA	voorstedelijk	T2M802	x	x	x	x	x	
44R701	Gent (Baudelo)	VLA	stedelijk-achtergrond	T4M701	x	x	x	x	x	x
44R702	Gent (Gustaaf Callier)	VLA	stedelijk-verkeer	T4M701	x	x	x	x	x	
44R703	Gent (Lange Violettestraat)	VLA	stedelijk-verkeer	T4M701					x	
44N029	Veurne (Houtem)	VLA	achtergrond	T4M029	x	x	x	x	x	x
42N040	Sint-Pieters-Leeuw	VLA	achtergrond	T1M001	x	x				x
42N016	Dessel	VLA	achtergrond	T2M802 <sup>5</sup>	x	x	x	x	x	x
42N046	Lanaken (Gellik)	VLA	achtergrond	T2M802 <sup>4</sup>	x	x				x
41B001	Brussel (Kunst-Wet)	BRU	stedelijk-verkeer	T1M001	x	x				
41R001	Molenbeek	BRU	stedelijk-verkeer	T1M001	x	x	x	x	x	x
41B004	Brussel (Katelijne)	BRU	binnenstedelijk	T1M001	x	x				x
41R012	Ukkel	BRU	stedelijk-achtergrond	T1M001	x	x	x	x	x	x
45R501	Charleroi	WAL	stedelijk-achtergrond	T5M501	x	x	x	x		
45R502	Charleroi (Lodelinsart)	WAL	stedelijk-achtergrond	T5M501	x	x	x	x		x
43R401	Namen	WAL	stedelijk-achtergrond	T5M501	x	x	x	x		x
43R222	Luik	WAL	stedelijk-achtergrond	T3M202	x	x	x	x		x
43N060	Havannes	WAL	achtergrond	T5M501	x	x	x	x		x
43N063	Coroy-Le-grand	WAL	achtergrond	T5M501	x	x	x	x		x
43N100	Dourbes	WAL	achtergrond	T3M202	x	x	x	x		x

<sup>5</sup> Voor de meteoparameters (behalve menglaaghoogte en bewolingsgraad) in de meetstations Dessel (Kempen) en Lanaken (Oost-Limburg) werd het meetstation te Antwerpen gebruikt omdat er geen meetstations in de onmiddellijke buurt van deze stations beschikbaar zijn.

Een RF-model werd opgezet voor 6 polluenten en 13 meetplaatsen in Vlaanderen, 4 in Brussel 7 in Wallonië. Op basis van deze meetplaatsen kunnen we in een volgende stap (zie 4) een globaal beeld krijgen van de impact van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit in België (op verkeersdrukte, stedelijke achtergrond en achtergrondmeetplaatsen). Voor meer details over de meetplaatsen en de polluenten per meetplaats zie tabel 2.

In figuur 2 worden voor het stedelijk achtergrond meetstation Antwerpen-Borgerhout (42R801), Molenbeek (41R001) en Namen (43R401) de scatterplots voor de polluenten ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  en BC) getoond met op de x-as de gemeten daggemiddelde concentraties en op de y-as de door het random forest voorspelde concentraties op basis van de meteo-omstandigheden en tijdsgebonden variabelen op die dagen. In deze 3 meetstations worden alle 6 gebruikte polluenten gemeten. De scatterplots voor de andere meetstations zijn vergelijkbaar.

Op de grafieken staan ook een aantal statistische indicatoren die aangeven hoe het model presteert (voor meer uitleg hierover, zie bijlage I). In tabel 3 wordt de mediaan per polluent en van alle stations weergegeven. Op basis van deze statistieken kunnen we stellen dat het RF-model de concentraties voor  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  en BC op een betrouwbare manier kan inschatten (hoge  $R^2$ , lage MB, en aanvaardbare RMSE). Voor  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  en BC kan 75 tot 80% van de variantie door het RF-model verklaard worden. Voor  $\text{PM}_{2.5}$  en  $\text{PM}_{10}$  zijn de validatiestatistieken (vooral de  $R^2$ ) wat minder goed maar toch nog aanvaardbaar: 50-60% van de variantie is te verklaren door het model. Het is wel belangrijk hiermee rekening te houden wanneer het RF-model gebruikt wordt om de impact van de coronamaatregelen te becijferen (zie 4).

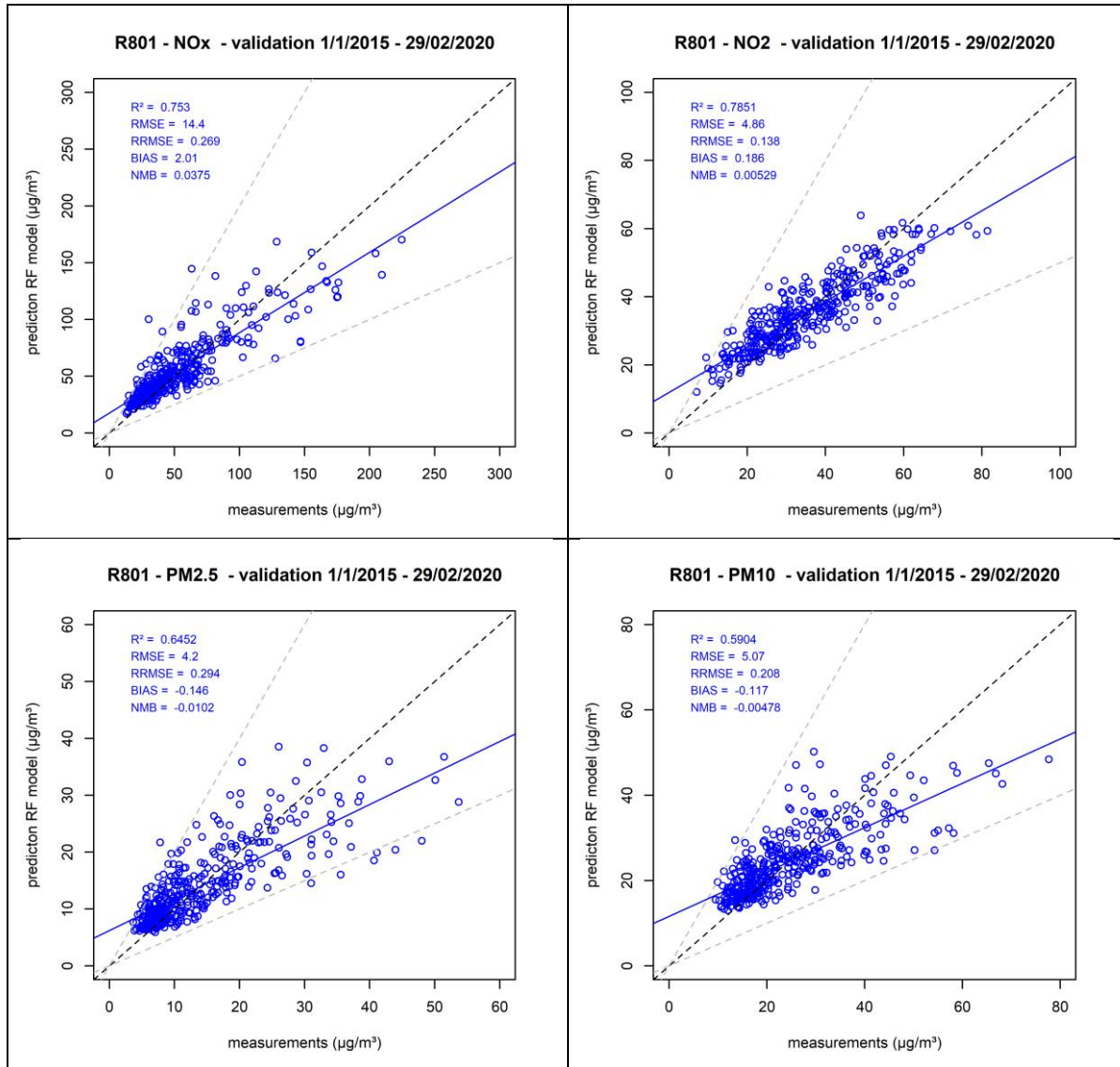
Op de scatterplots is eveneens zichtbaar dat het RF-model de laagste concentraties wat overschat en de hoogste concentraties wat onderschat. Dit is duidelijk meer uitgesproken voor  $\text{PM}_{2.5}$  en  $\text{PM}_{10}$ .

Uit deze validatieoefening blijkt dat wanneer de temperatuur, windrichting, windsnelheid, dag van de week, enzovoort op een dag gekend is én wanneer er geen bruuske veranderingen optreden in de uitstoot, een betrouwbare inschatting kan gemaakt worden van de polluentconcentraties op die dag. We kunnen dit wel alleen op plaatsen waar gemeten wordt en waar een voldoende lange tijdsreeks van polluentconcentraties en meteovariabelen beschikbaar is.

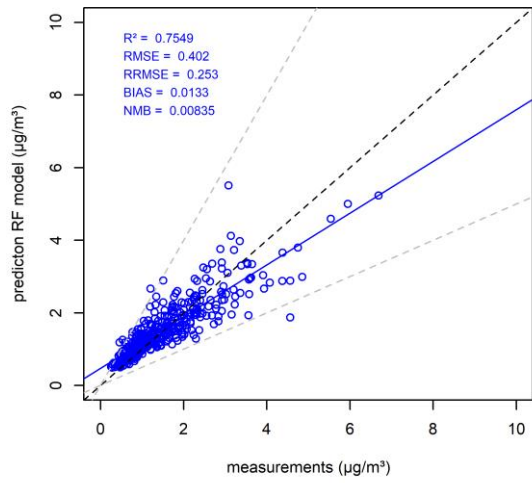
Tabel 3: Statistische validatieparameters (mediaan selectie meetstations) per polluent

	$R^2$	RMSE	RRMSE	MB	NMB
$\text{NO}_x$	0.73	11.80	28.8%	0.32	1.7%
$\text{NO}_2$	0.76	4.37	15.5%	0.19	0.5%
$\text{PM}_{2.5}$	0.61	4.33	34.7%	0.34	2.9%
$\text{PM}_{10}$	0.54	5.17	24.4%	0.27	1.8%
BC	0.75	0.36	24.3%	0.03	0.8%
$\text{O}_3$	0.84	6.95	15.6%	0.15	0.1%

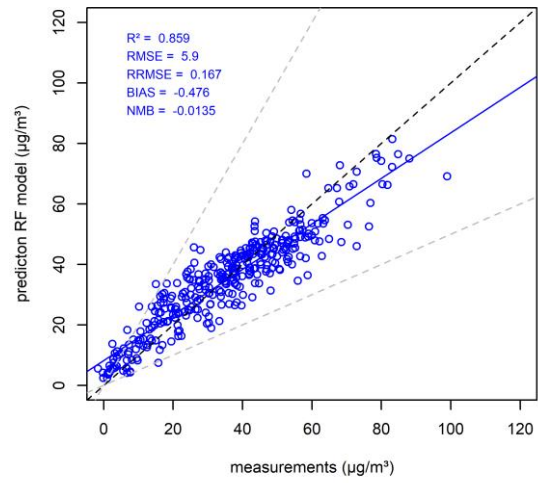
Figuur 2: Validatie van het RF-model voor de stedelijke achtergrondmeetstations 42R801 (Antwerpen-Borgerhout), 41R001 (Brussel-Molenbeek) en 43R401 (Namen) voor 6 pollutanten. De meetresultaten staan op de x-as, de RF-modelresultaten op de y-as. De blauwe lijn is de regressielijn. De zwarte stippellijn is de x=y lijn, de grijze stippellijnen markeren het interval waar de metingen en de RF-modelresultaten maximaal een factor 2 verschillen.



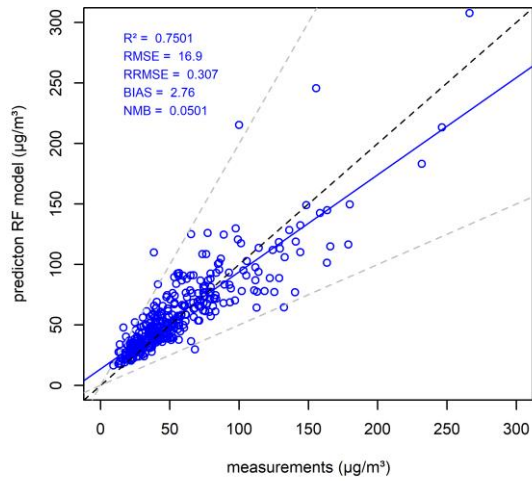
**R801 - BC - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



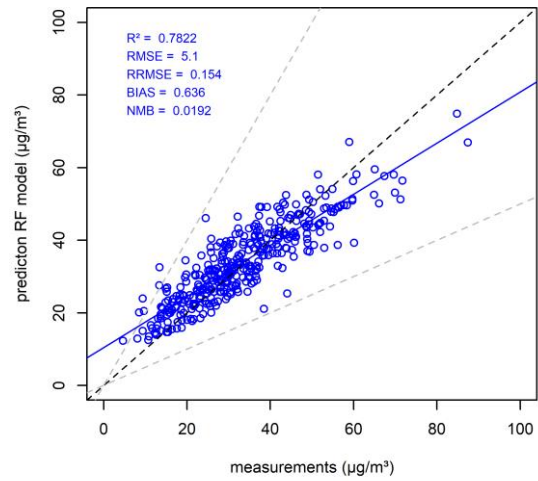
**R801 - O3 - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



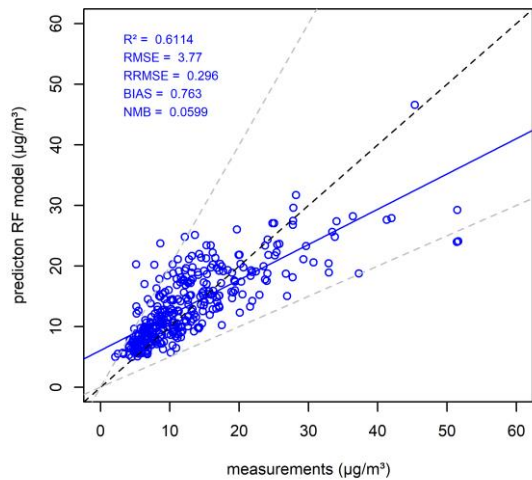
**R001 - NOx - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



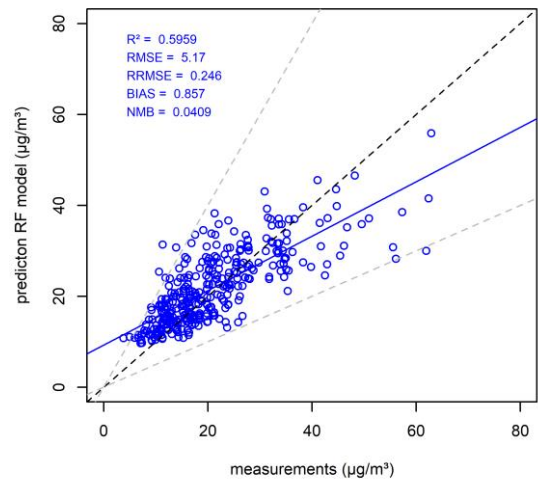
**R001 - NO2 - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



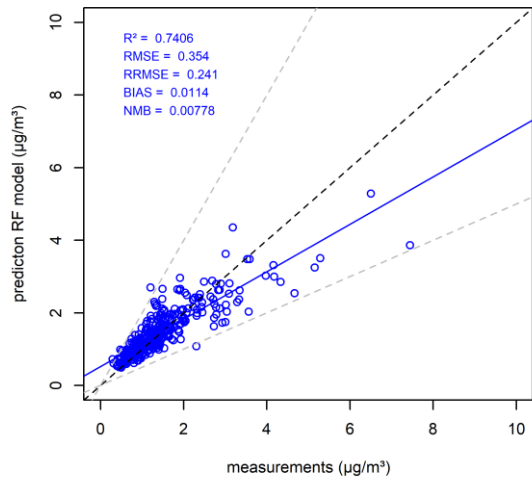
**R001 - PM2.5 - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



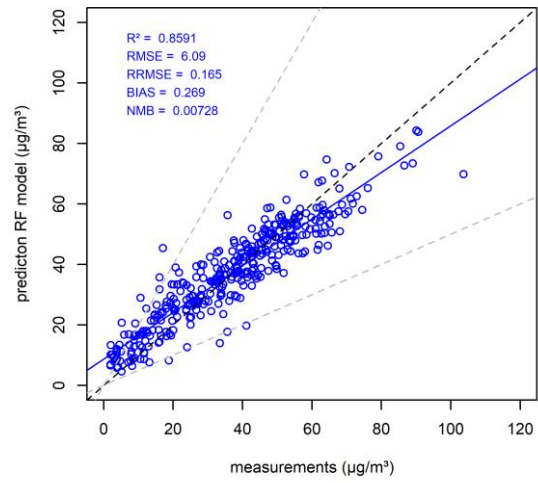
**R001 - PM10 - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



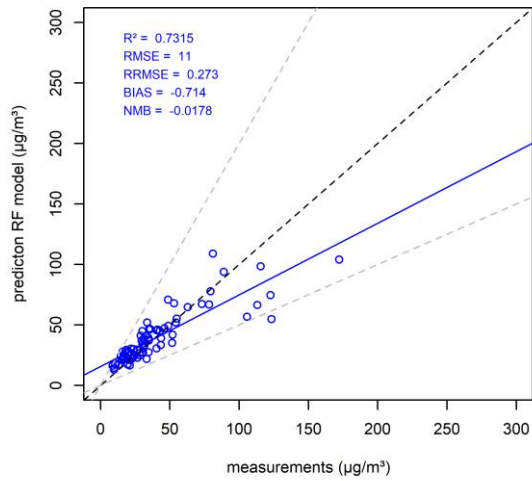
**R001 - BC - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



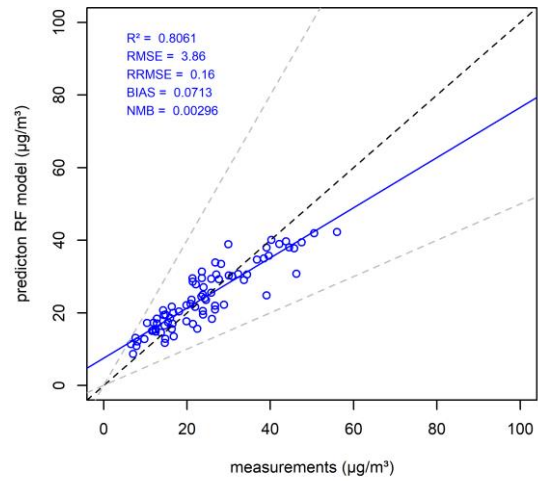
**R001 - O3 - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



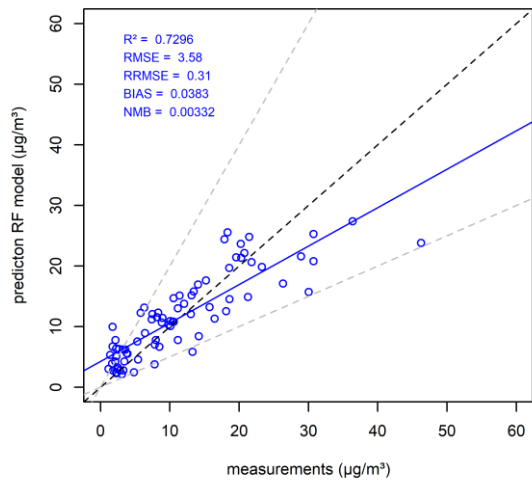
**R401 - NOx - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



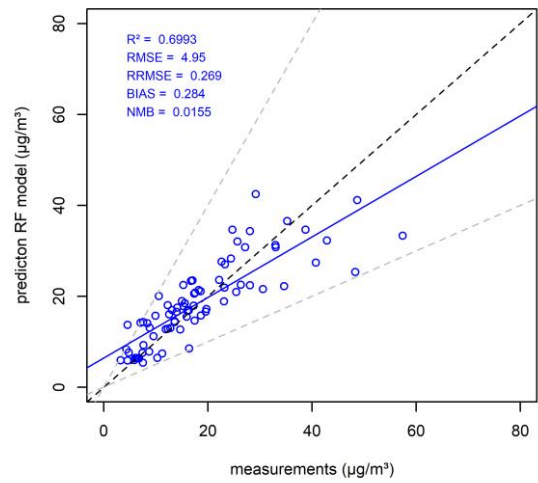
**R401 - NO2 - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**

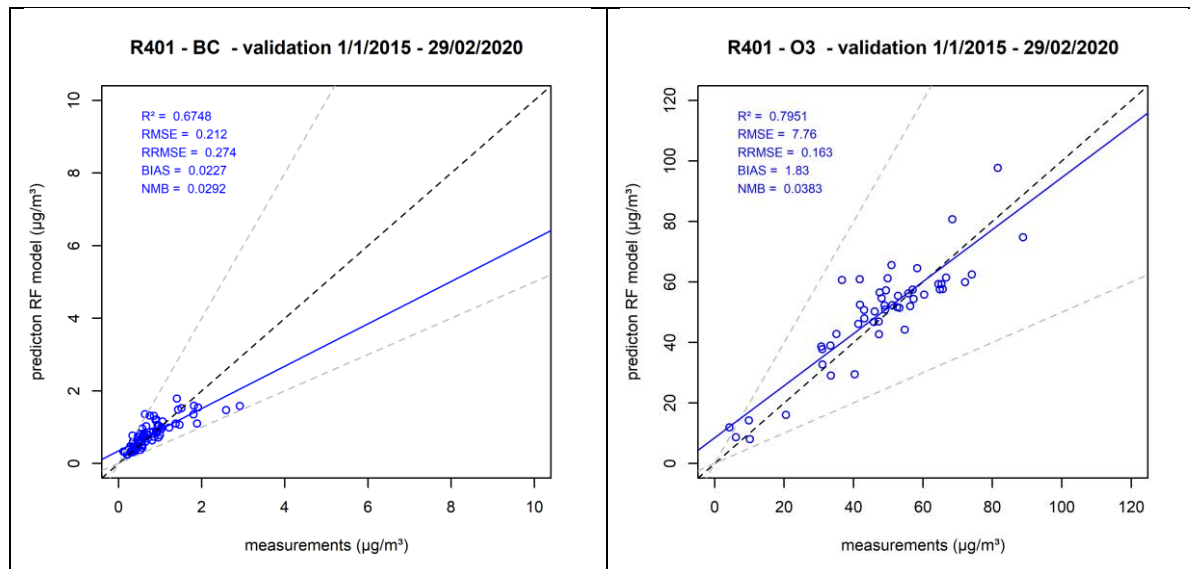


**R401 - PM2.5 - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**



**R401 - PM10 - validation 1/1/2015 - 29/02/2020**





#### 4. Impact van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit

Nu duidelijk is dat met de RF-model de concentraties betrouwbaar ingeschat kunnen worden op basis van een trainingsset van meteo- en tijdsgebonden parameters, kunnen we de methode ook gebruiken om een inschatting te maken van het afzonderlijke effect van de coronamaatregelen. Hiervoor werd een RF-model per meetstation en per pollutant opgezet met dezelfde historische (daggemiddelde) pollutantconcentraties en meteometingen zoals in hoofdstuk 3. Het model werd getraind met data in de periode 1/1/2015 tot en met 29/2/2020 en toegepast op de periode van 1/3/2020 tot en met 10/5/2020. Omdat de periode na de corona lockdown niet werd opgenomen om het model te trainen, kan het RF-model geen rekening houden met de impact van de coronamaatregelen op de pollutantconcentraties. De door het RF-model berekende concentraties na het ingaan van de lockdown zijn de concentraties zoals het model die inschat op basis van *alleen* de weersomstandigheden en tijdsgebonden variabelen zoals langetermijntrend, seizoenstrend en weektrend in deze periode. Of met andere woorden de concentraties volgens een BAU-scenario (“Business As Usual”) wanneer er *geen* coronacrisis en lockdown zou zijn geweest.

Het verschil tussen de door het RF-model berekende concentraties en de werkelijk gemeten concentraties op een meetplaats, zijn dan een maat voor de impact van de coronamaatregelen (o.a. gevoelig minder verkeer) op de luchtkwaliteit tijdens de lockdownperiode.

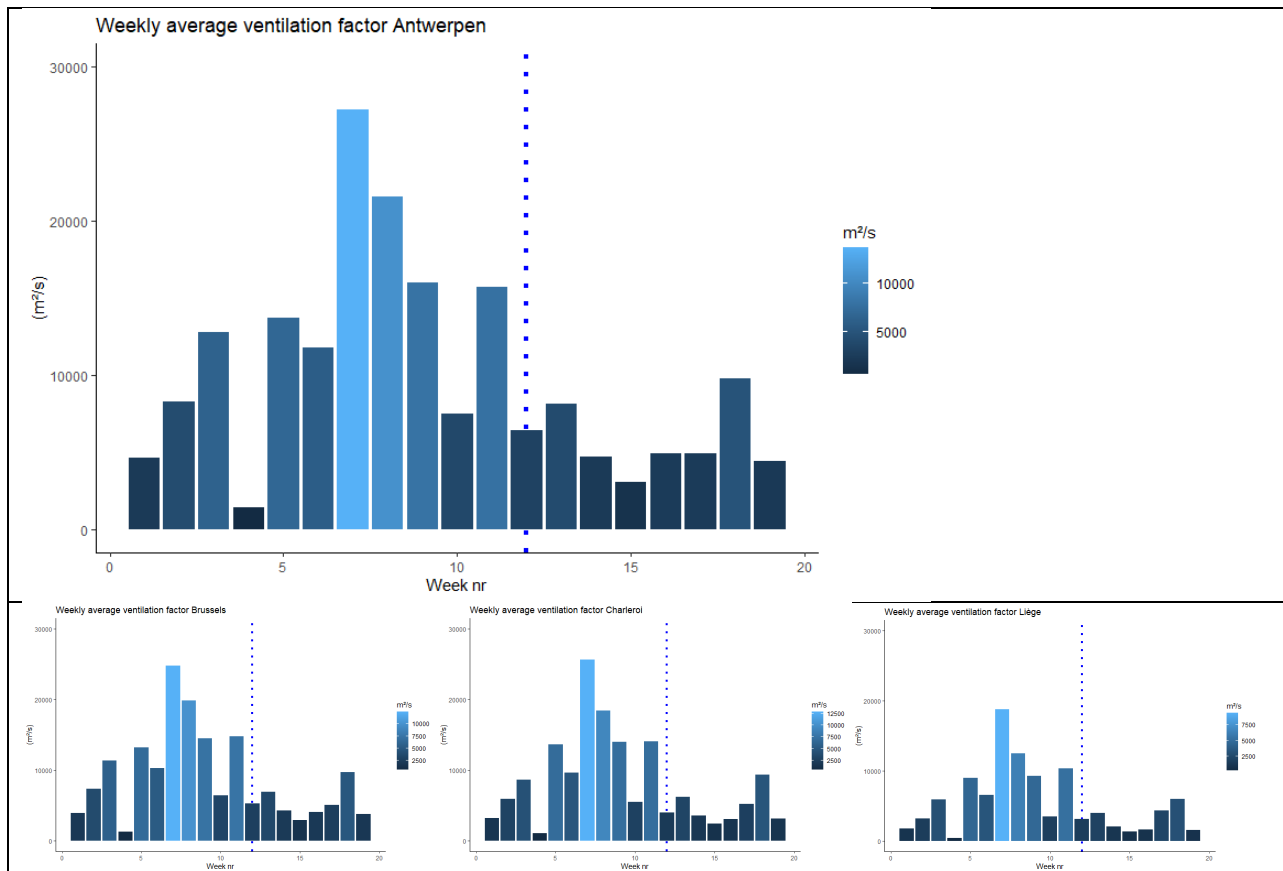
Het RF-model werd opgezet voor dezelfde pollutanten en meetstations zoals gebruikt in de validatie van het model (zie 3).

In de periode voor de lockdown waren er een aantal periodes (februari) met stormweer en bijhorende hoge windsnelheden die zorgden voor gunstige verdunningomstandigheden en weinig luchtvervuiling. Dat de weersomstandigheden ongunstiger werden na het ingaan van de lockdown wordt getoond in



figuur 3. Op deze figuur wordt de weekgemiddelde “ventilatiefactor” weergegeven voor Antwerpen, Brussel, Charleroi en Luik. De ventilatiefactor is het product van de windsnelheid en de menglaaghoogte. Hoe hoger de ventilatiefactor hoe beter de dispersie- of verdunningsomstandigheden in de atmosfeer. Gelijke uitstoot zal bij een hoge ventilatiefactor zorgen voor lagere concentraties. Als de ventilatiefactor laag is, stapelt vervuiling zich op en zijn de concentraties hoger. Dit is ook duidelijk zichtbaar op de figuur: tijdens week 4 in 2020 was de gemiddelde ventilatiefactor zeer laag. Dat zorgde voor erg hoge concentraties (zie later). Dat de meteorologische omstandigheden ongunstiger werden na het ingaan van de lockdown is een element waarmee rekening gehouden moet worden bij de verdere analyse.

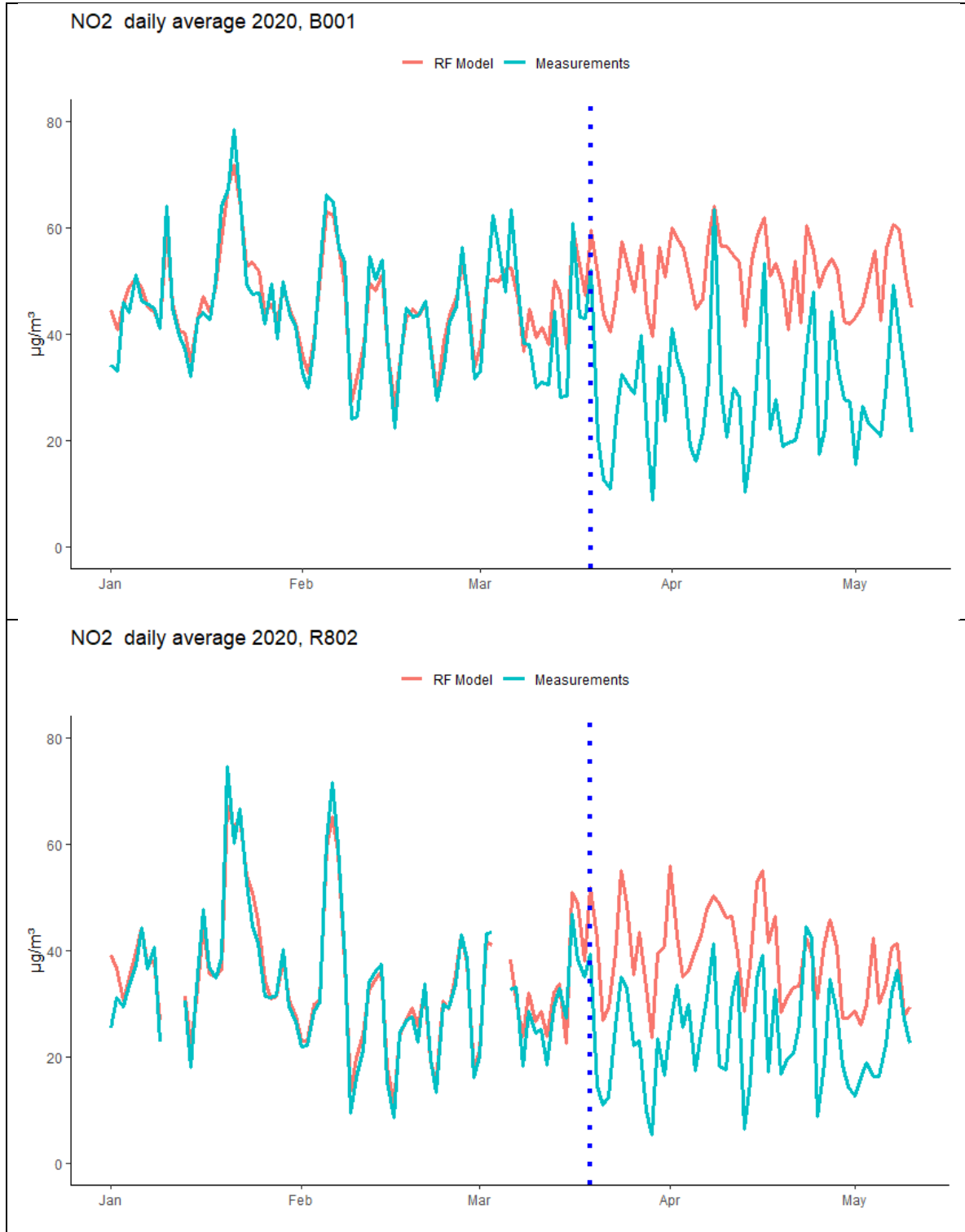
*Figuur 3: Weekgemiddelde ventilatiefactor (windsnelheid x menglaaghoogte) voor de meetplaatsen Antwerpen(T2M802), Brussel (T1M003), Charleroi (T5M501) en Luik (T3M202) gedurende week 1 t.e.m. week 19 in 2020. De verticale blauwe stippellijn geeft aan wanneer de (soft) lockdownperiode in België werd ingevoerd (19 maart 2020).*

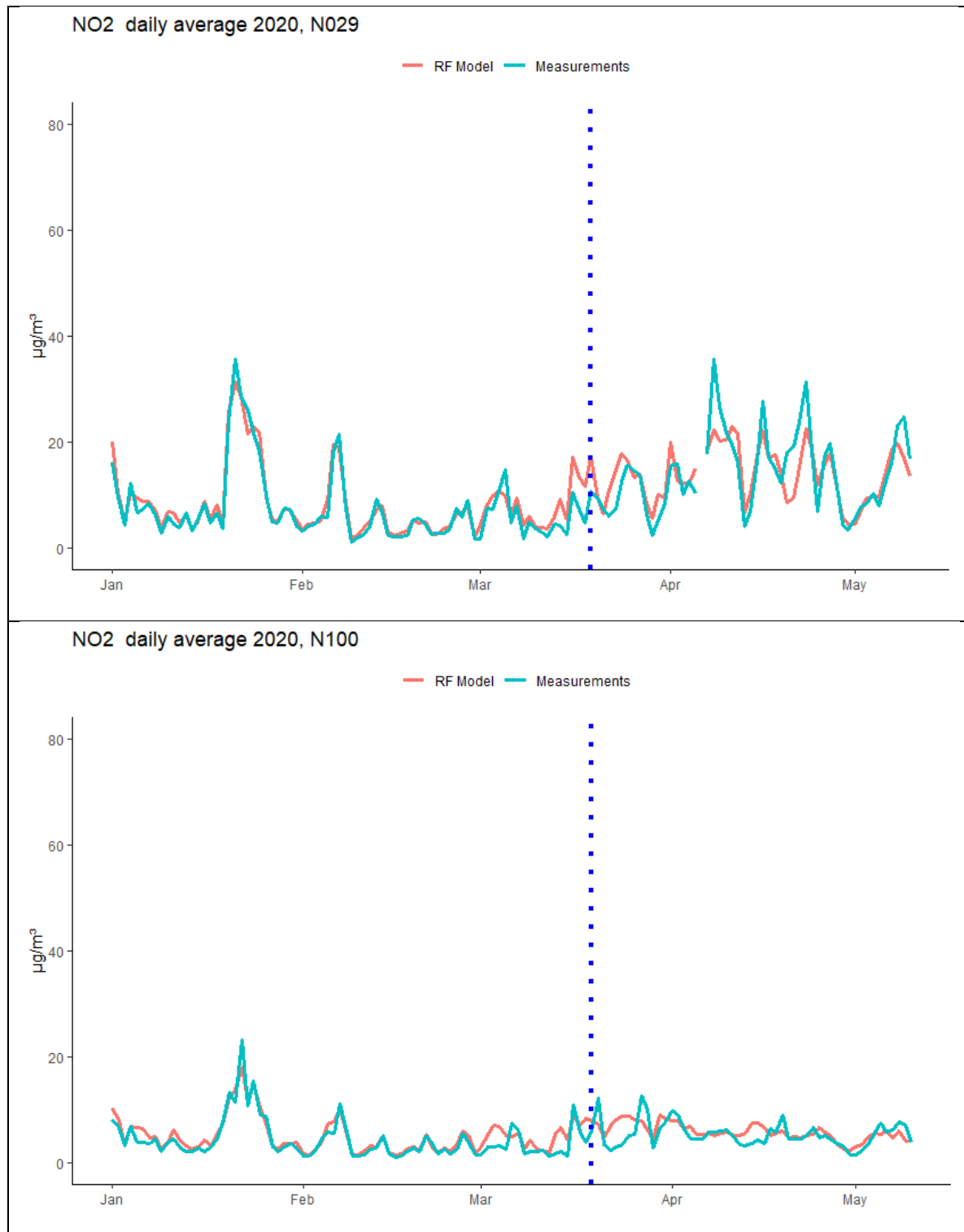


In figuur 4 worden (als voorbeeld) de gemeten en de door het RF-model berekende daggemiddelde NO<sub>2</sub> concentraties in 2020 getoond (periode 1/1/2020 – 10/5/2020) voor de straatstations 41B001 (Brussel, Kunst-Wet) en 42R802 (Antwerpen-Borgerhout) en de achtergrondstations 44N029 (Veurne dicht bij de kust) en 43N100 (Dourbes in de Ardennen)



Figuur 4: gemeten (blauw) en gemodelleerde (rood) daggemiddelde NO<sub>2</sub> concentraties in de straatstations te Brussel (41B001) en Antwerpen (42R802) en de landelijke achtergrondstations te Veurne (44N029) en Dourbes (43N100). De verticale blauwe stippellijn geeft aan wanneer de (soft) lockdownperiode in België werd ingevoerd (19 maart 2020).





Op de figuur is duidelijk te zien dat het RF-model na het ingaan van de lockdown de NO<sub>2</sub> concentraties in de straatstations te Antwerpen en Brussel op bijna alle dagen gevoelig "overschat". Op basis van de weersomstandigheden en de tijdsgebonden indicatoren, zouden de concentraties in een BAU ("Business

As Usual”) scenario of een scenario “indien er geen lockdown had plaatsgevonden” gevoelig hoger geweest zijn. Het verschil tussen de RF-modelresultaten (rode lijn) en de metingen zoals ze in praktijk werden gemeten (blauwe lijn) kan beschouwd worden als de impact van de coronamaatregelen op de NO<sub>2</sub> concentraties in de straatstations in Antwerpen en Brussel. NO<sub>2</sub> is een typische verkeersgerelateerde pollutant. De vermindering van het autoverkeer zorgt voor een daling van de NO<sub>2</sub> concentraties op een meetplaats die sterk beïnvloed wordt door de uitstoot van het (lokale) wegverkeer.

In de achtergrondstations te Veurne (kust) en Dourbes (Ardennen) is er minder verschil tussen de gemeten en de door het model berekende NO<sub>2</sub> concentraties. Dit is een aanwijzing dat minder verkeer tijdens de corona lockdown minder impact had op de NO<sub>2</sub> concentraties in de meetstations die ver verwijderd zijn van verkeersbronnen.

Het RF-model berekent daggemiddelde concentraties. In de volgende paragrafen gebruiken we *weekgemiddelden* om de impact van de coronamaatregelen voor alle pollutanten meer in detail en per pollutant te bespreken. Hiervoor werden de gemeten en de door het model berekende daggemiddelde concentraties uitgemiddeld voor de week 1 tot en met week 19 in 2020.

## 4.1 NO<sub>x</sub> (stikstofoxides)

NO<sub>x</sub> (of de molaire som van stikstofdioxide of NO<sub>2</sub> en stikstofmonoxide of NO) is de vorm waarin stikstofoxides worden uitgestoten door emissiebronnen zoals het wegverkeer. Wanneer NO<sub>x</sub> worden uitgestoten is dat in grote mate stikstofmonoxide (NO). In straatstations is het gemotoriseerd verkeer in de onmiddellijke buurt bij uitstek de belangrijkste bron van NO<sub>x</sub>.

Meestal worden in luchtrapporten voor NO<sub>x</sub> in de buitenlucht geen aparte analyses gemaakt. Voor deze modeloefening wordt NO<sub>x</sub> wel als aparte luchtpollutant gebruikt omdat de hoeveelheid NO<sub>x</sub> in de lucht directer gelinkt is aan de uitstoot (en de hoeveelheid) autoverkeer vergeleken met stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>). NO<sub>2</sub> wordt in beperkte mate ook rechtstreeks uitgestoten, maar is vooral een secundaire component die in de troposfeer<sup>6</sup> ontstaat (o.a. uit heel snelle reacties tussen NO en ozon). De hoeveelheid NO<sub>2</sub> in de lucht, ook in straatstations, wordt niet alleen bepaald door het lokale verkeer maar ook door verder afgelegen bronnen. NO<sub>x</sub> is dus één van de pollutanten waarop we het grootste effect verwachten van de lockdown die zorgde voor een sterke daling van het verkeersvolume.

In figuur 5 wordt voor 4 type meetplaatsen en telkens twee stations de weekgemiddelde gemeten concentratie (blauw) en het verschil tussen de door het RF-model berekende en de gemeten weekgemiddelde NO<sub>x</sub> concentratie (rood) getoond voor de eerste 19 weken in 2020. De corona lockdown startte in week 12.

Opvallend is dat de gemeten weekgemiddelde NO<sub>x</sub> concentratie de verkeerdrukke meetstations vanaf week 12 (na het ingaan van lockdown) lager is dan de weken ervoor. En dat ondanks de gevoelig ongunstigere weersomstandigheden voor de luchtkwaliteit (zie figuur 3 en bijhorende uitleg hoger). De

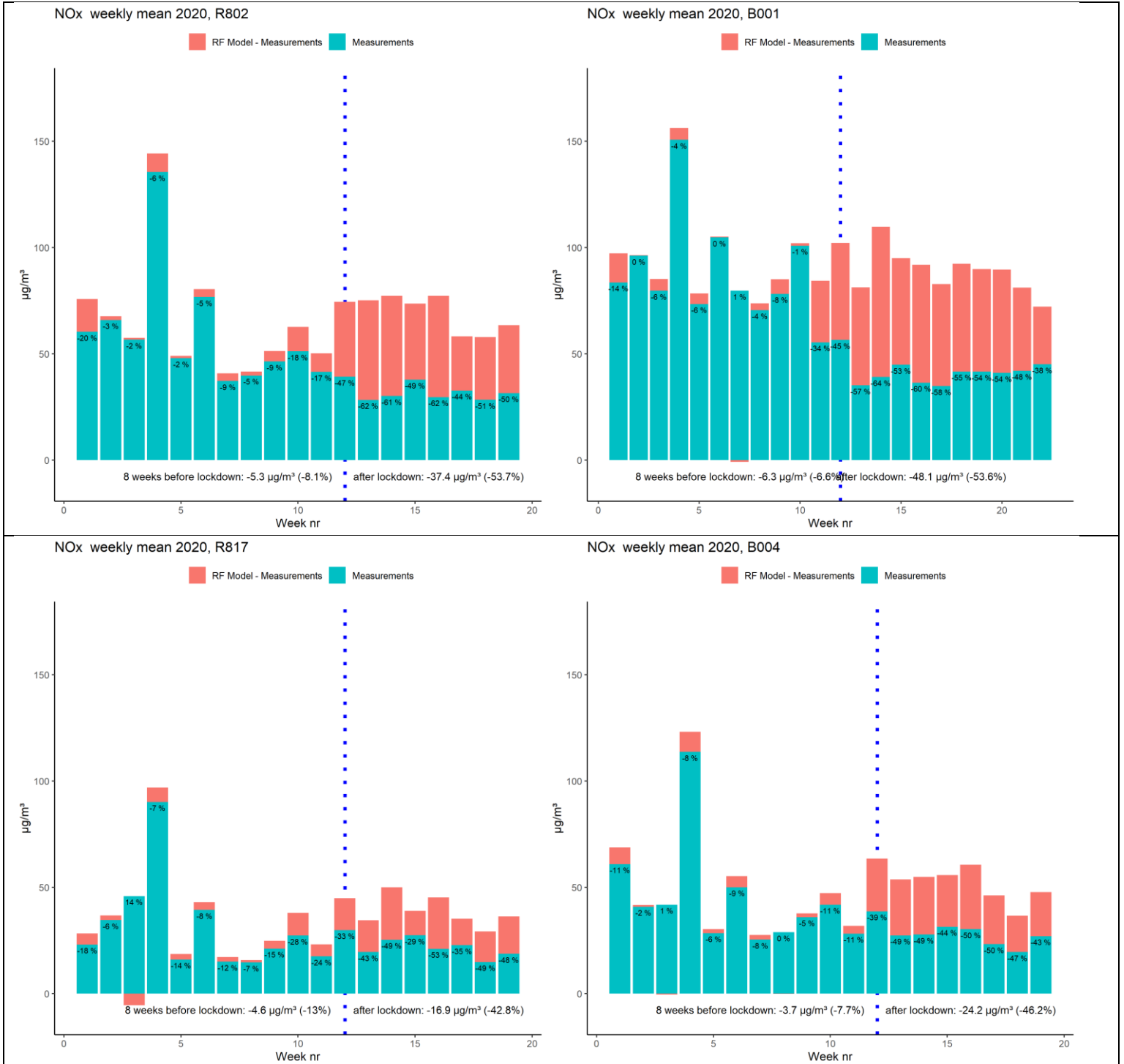
<sup>6</sup> De onderste laag van de atmosfeer

rode balken, het verschil tussen de verwachte (BAU) en de gemeten concentraties geven echter aan dat op basis van deze ongunstige(re) meteo en de tijdsgebonden variabelen, het RF-model hogere NO<sub>x</sub> concentraties berekent dan wat blijkt uit de metingen. Dit effect is het grootst voor de verkeersdrukte meetstations en is iets minder uitgesproken voor de stedelijke achtergrond en voorstedelijke/binnenstedelijke stations en is er veel minder voor de achtergrondstations aan de kust en in de Ardennen. De grootte van de rode balk is een maat voor de impact van de gevoelig lagere verkeersvolumes na het ingaan van de lockdown met minder NO<sub>x</sub> uitstoot en dus lagere NO<sub>x</sub> concentraties tot gevolg.

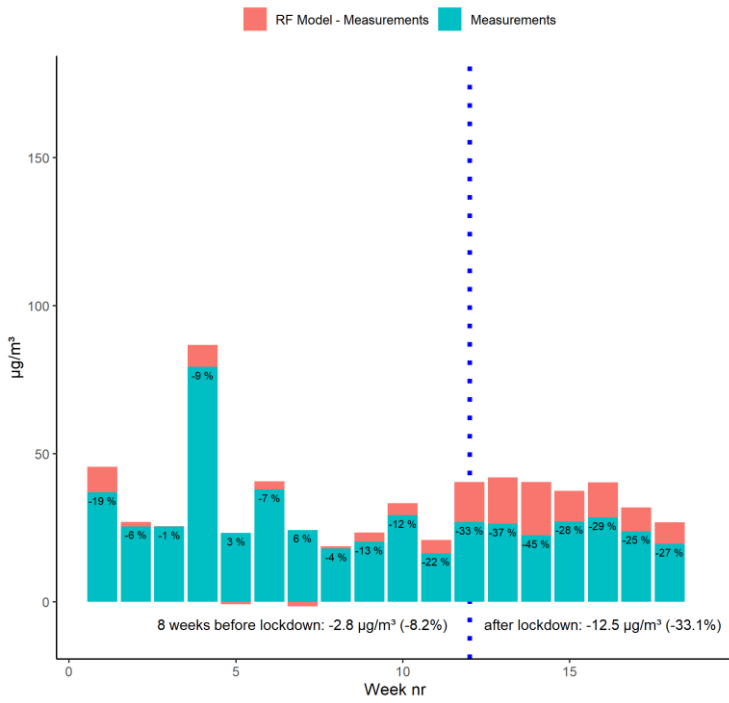
Per week wordt het verschil in de blauwe balken getoond. Het (relatieve) gemiddelde verschil voor de 8 weken na de lockdown wordt onderaan de figuur aangegeven. Ook het verschil in de 8 weken vóór de lockdown wordt getoond. Dat het reductiepercentage in de weken voor de lockdown niet 0 is geeft aan dat het model niet perfect de concentraties kan voorspellen op basis van alleen meteorologische parameters (zie hoofdstuk 3).

De afname (of toename) van de concentraties voor de andere meetstations staan in tabel 4 (absolute cijfers) en tabel 5 (relatieve of procentuele cijfers).

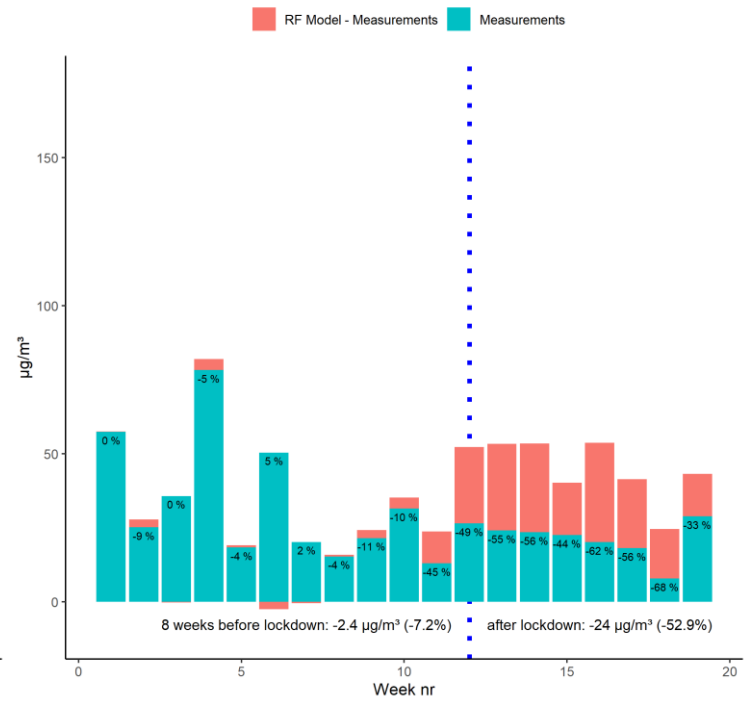
Figuur 5: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF-model) en de gemeten (rood) NO<sub>x</sub> concentratie voor de eerste 19 weken in 2020 in 4 types meetstations. Van boven naar onder: stedelijk verkeer, voorstedelijk/binnenstedelijk, stedelijke achtergrond en landelijke achtergrond. De blauwe stippellijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde NO<sub>x</sub> concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties.



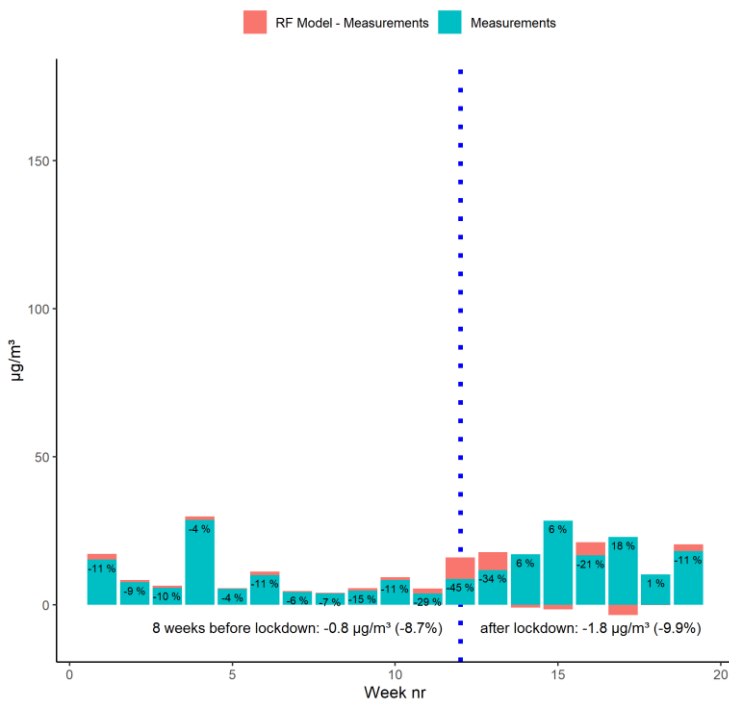
NOx weekly mean 2020, R701



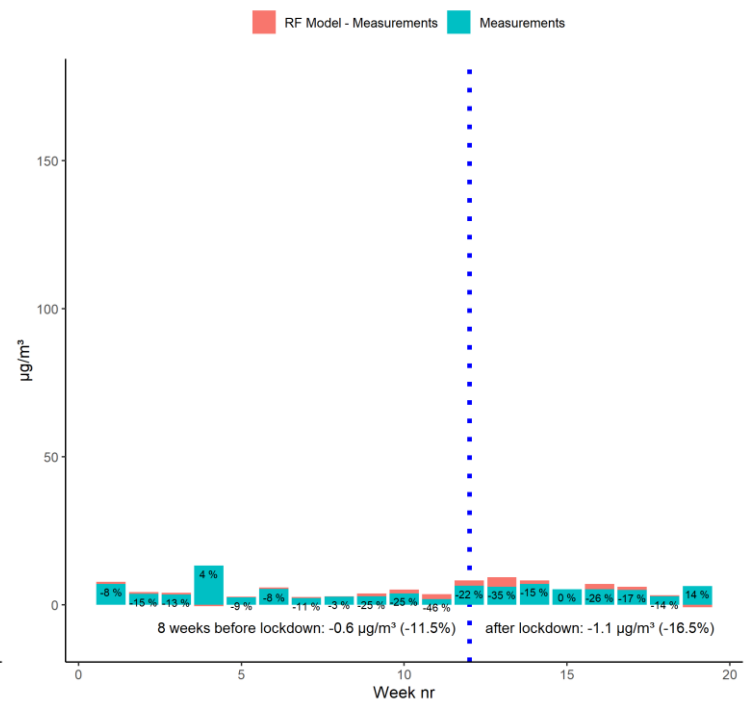
NOx weekly mean 2020, R401



NOx weekly mean 2020, N029



NOx weekly mean 2020, N100



## 4.2 Stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>)

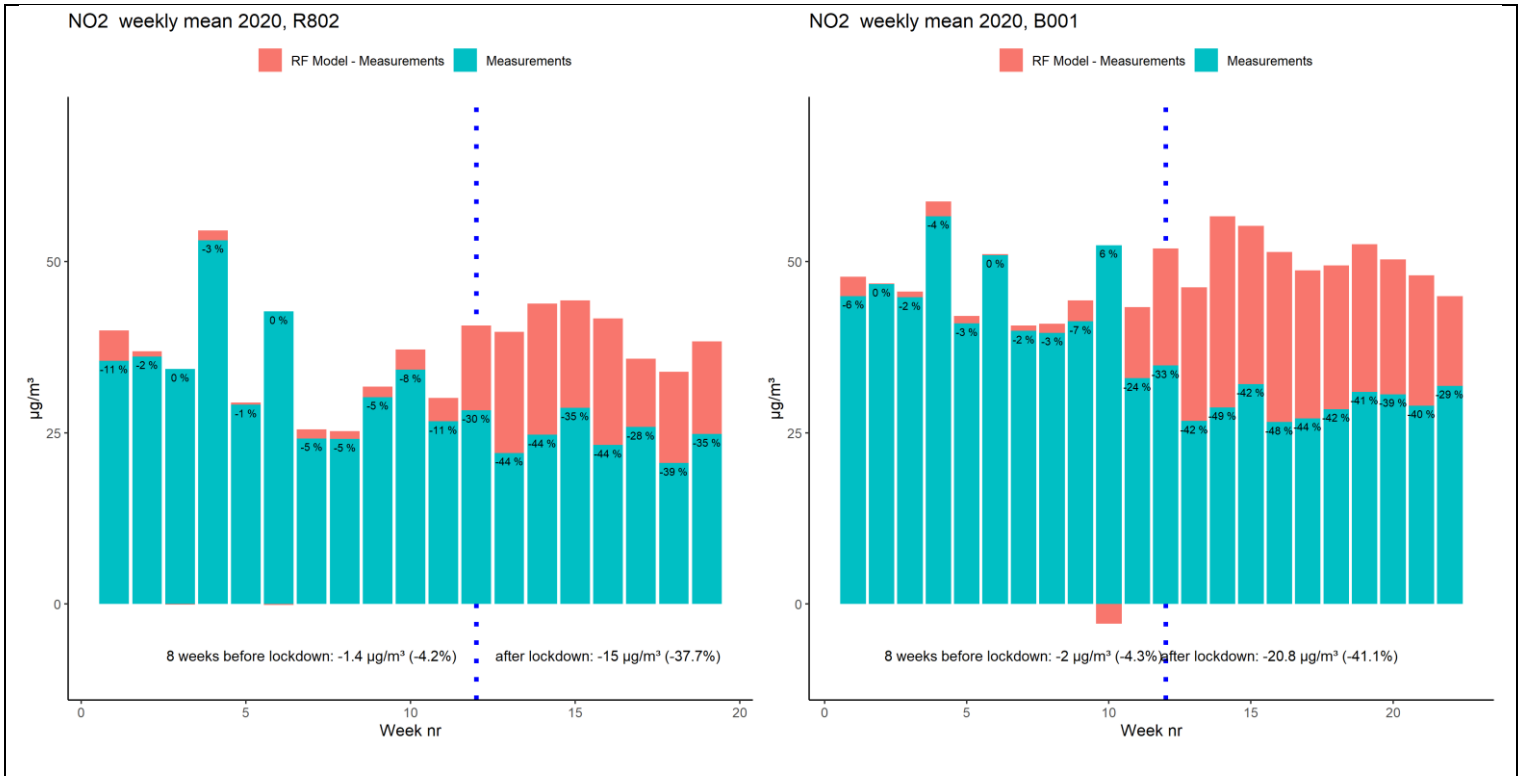
Stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) is in stedelijke omgevingen of plaatsen met veel verkeer net zoals NO<sub>x</sub> een goede indicator voor verkeersgerelateerde luchtvervuiling. NO<sub>2</sub> is zoals in 4.1 reeds vermeld vooral een secundaire (niet rechtstreeks uitgestoten) pollutant en dus iets minder direct met de verkeersuitstoot van stikstofdioxiden gerelateerd. NO<sub>2</sub> is wel de schadelijke component van het NO<sub>x</sub> mengsel en heeft directe impact op de gezondheid. Vandaar dat er voor NO<sub>2</sub> Europese grenswaarden bestaan en WHO (Wereldgezondheidsorganisatie) advieswaarden.

In figuur 6 worden de weekgemiddelde NO<sub>2</sub> concentraties (gemeten en berekend door het RF-model) getoond voor dezelfde meetplaatsen als in 4.1

De conclusies voor NO<sub>2</sub> zijn gelijkaardig als die voor NO<sub>x</sub>: de sterkste daling is er in de stations die het meest beïnvloed worden door de lokale uitstoot van het gemotoriseerde verkeer. De daling van de NO<sub>2</sub> concentraties door de corona lockdown is wel iets minder uitgesproken dan voor NO<sub>x</sub>. De NO<sub>2</sub> concentraties worden meer dan NO<sub>x</sub> ook bepaald door de achtergrondconcentraties, dus door bronnen verder dan in de onmiddellijke omgeving van de meetstations. Ook andere dan verkeersbronnen (zoals industrie) die minder getroffen worden door de coronamaatregelen dragen bij aan deze achtergrondconcentraties.

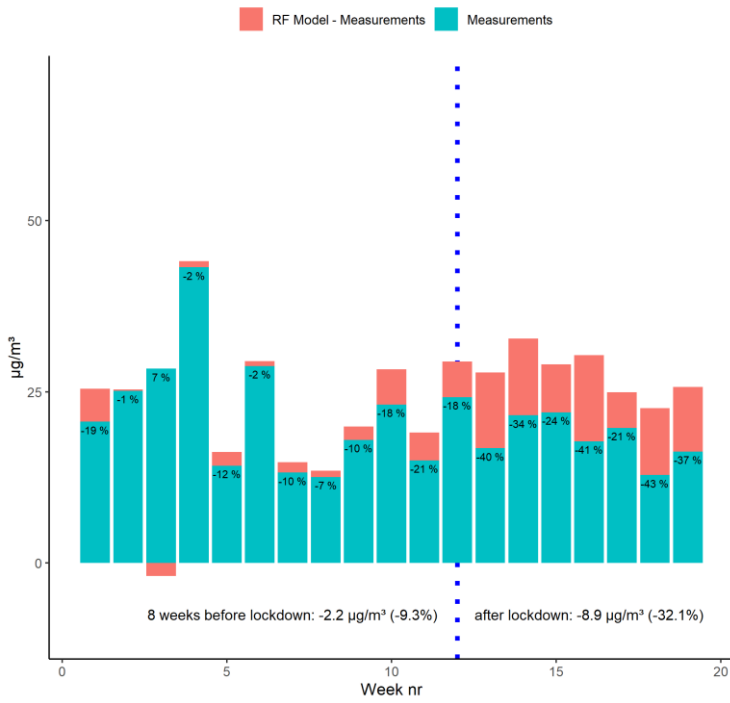
De impact van de coronamaatregelen op de NO<sub>2</sub> concentraties voor de andere stations is te vinden in de tabellen 3 (absoluut) en 4 (relatief).

Figuur 6: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) NO<sub>2</sub> concentratie voor de eerste 19 weken in 2020 in 4 types meetstations. Van boven naar onder: stedelijk verkeer, voorstedelijk/binnenstedelijk, stedelijke achtergrond en landelijke achtergrond. De blauwe stippellijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde NO<sub>2</sub> concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties.

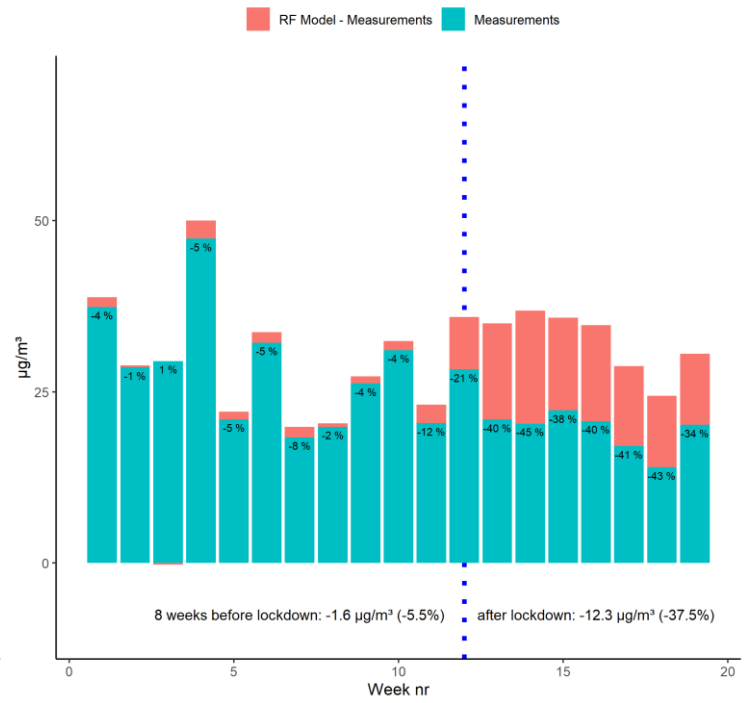




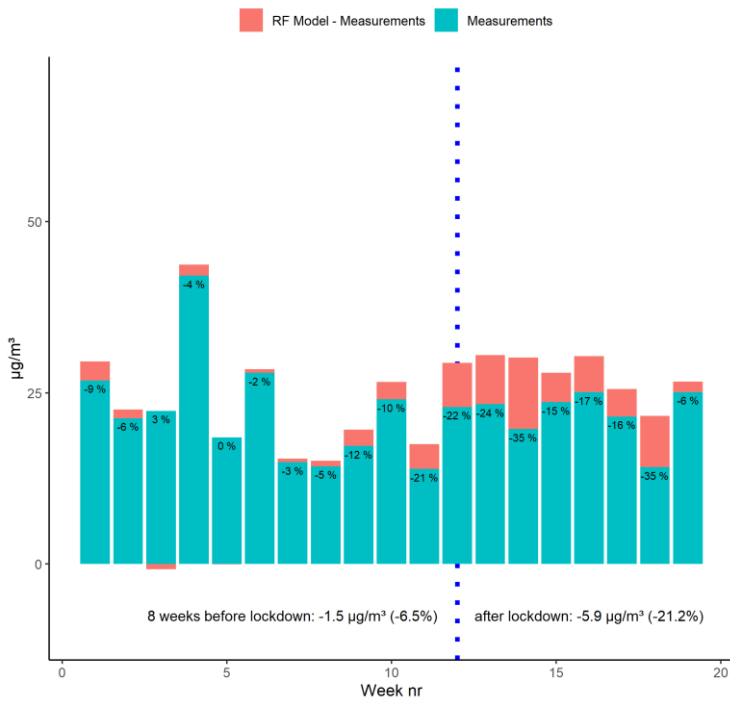
NO2 weekly mean 2020, R817



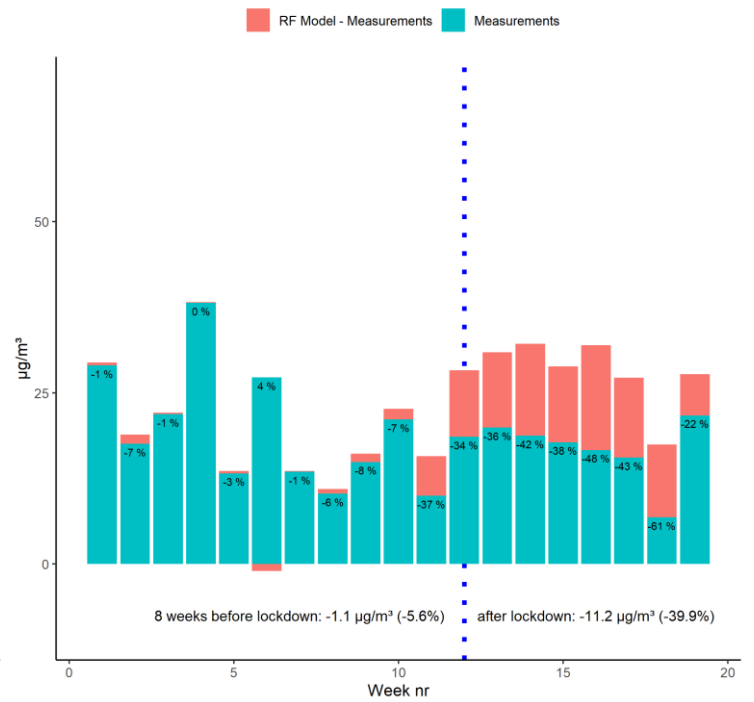
NO2 weekly mean 2020, B004

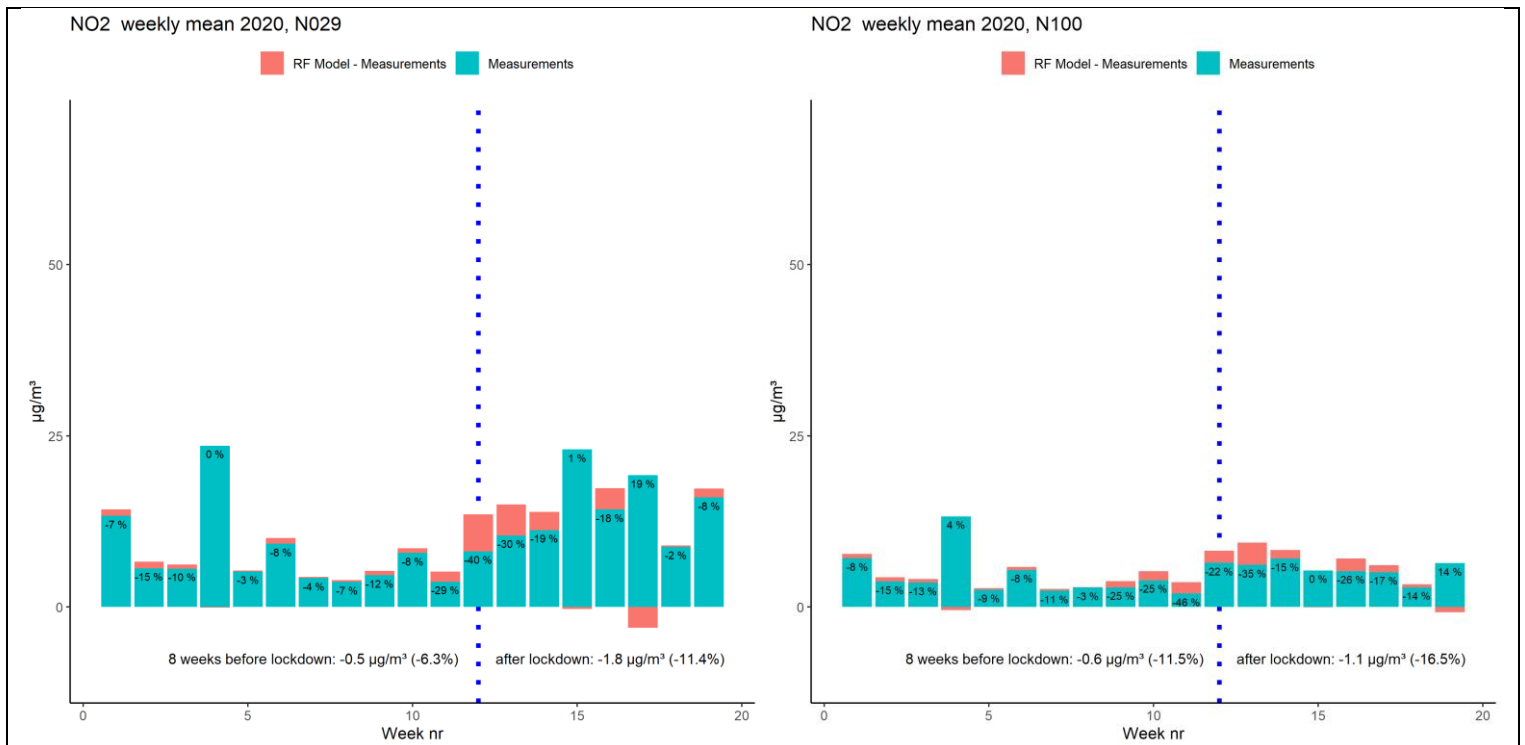


NO2 weekly mean 2020, R701



NO2 weekly mean 2020, R401





### 4.3 Fijn stof (PM2.5)

In figuur 7 worden de weekgemiddelde PM2.5 concentraties (gemeten en berekend door het RF-model) getoond voor dezelfde meetplaatsen als in 4.1 en 4.2 (behalve voor verkeersstation Kunst-Wet-41B001, dat vervangen wordt door verkeersstation Molenbeek-41R001 en binnenstedelijk station 41B004 dat vervangen wordt door stedelijk-achtergrondstation Luik-43R222).

Voor PM2.5, de kleinere fractie van fijn stof met een diameter kleiner dan 2.5 micrometer is er een ander verloop dan voor NO<sub>x</sub> en NO<sub>2</sub>: na het ingaan van de corona lockdown is er een *toename* van de gemeten weekgemiddelde concentraties. Een gevoelige daling van het verkeersvolume zorgt dus niet voor een meetbare daling van de fijn stof concentraties.

Volgens het RF-model zouden de concentraties wel hoger geweest zijn moest er geen lockdown geweest zijn, maar dit is niet voor alle weken het geval.

Zoals in hoofdstuk 3 vermeld kan het RF-model de fijnstofconcentraties minder goed voorspellen dan de andere pollutanten. Bovendien onderschat het model de hoogste concentraties. Deze hoge concentraties komen (vooral) voor op dagen met ongunstige weersomstandigheden. Het is dus niet uitgesloten dat het model na het ingaan van de lockdown de concentraties onderschat omwille van de ongunstigere meteo in deze periode. Mogelijk is het effect van de coronamaatregelen op de fijnstofconcentraties dus hoger dan wat het RF-model inschat.

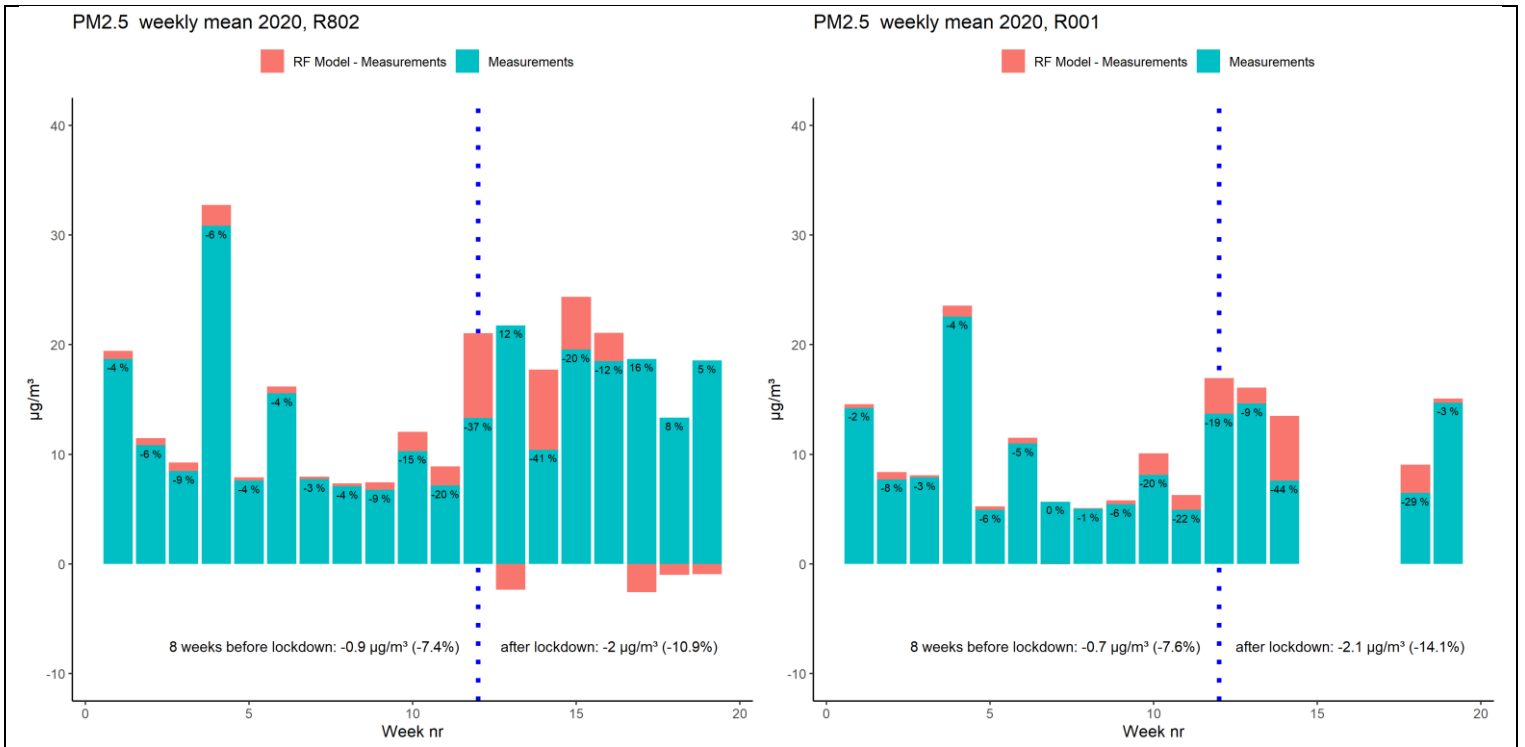
Hoge fijnstofconcentraties komen ook voor wanneer vervuilde lucht wordt aangevoerd via continentale luchtstromingen. In het RF-model zitten vooralsnog geen parameters die hiermee geassocieerd zijn. Dit soort situaties zal het model dus ook niet goed kunnen voorspellen.

Het is wel duidelijk dat de coronamaatregelen die zorgen voor een gevoelige daling van het verkeersvolume en daarmee samenhangend een gevoelige daling van de  $\text{NO}_x$  en  $\text{NO}_2$  concentraties, *niet* voor een vergelijkbare daling zorgen van de fijnstofconcentraties.

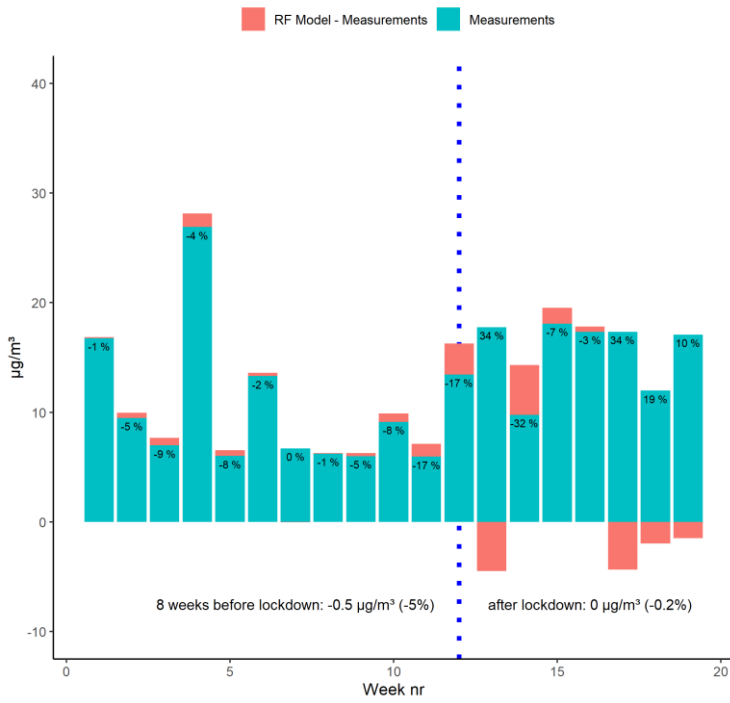
Dit is niet helemaal onverwacht omdat  $\text{PM}_{2.5}$  geen goede verkeersgerelateerde indicator is. De bijdrage van het "primaire" of rechtstreekse uitgestoten fijn stof aan de totale massa  $\text{PM}_{2.5}$  is immers beperkt. Fijn stof heeft ook veel meer bronnen dan alleen het wegverkeer. Ook de industrie, de huishoudens (vooral houtverbranding) en de landbouw zijn belangrijke bronnen van fijn stof. In de maanden maart en april zorgt de ammoniak uitstoot van de landbouw (uitrijden van mest) bij ongunstige weersomstandigheden bovendien voor de vorming van secundaire ammoniumzouten (lentesmog) die een component zijn van het "secundaire" fijn stof. Secundair fijn stof is fijn stof dat niet rechtstreeks in de lucht komt maar ontstaat door fysico-chemische processen uit gassen (ammoniak, stikstofoxides, zwaveldioxide, organische gassen). De belangrijkste component van secundair (anorganisch) fijn stof is ammoniumnitraat. Dit ontstaat wanneer stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ) reageren met ammoniak. Ondanks de gevoelige daling van de hoeveelheid  $\text{NO}_x$  bleef er nog voldoende  $\text{NO}_x$  in de lucht aanwezig (veroorzaakt door het resterende verkeer en andere bronnen) om met ammoniak secundair fijn stof te vormen.

Minder (auto)verkeer heeft dus maar een beperkte impact op de totale hoeveelheid  $\text{PM}_{2.5}$  in de lucht. De ongunstigere weersomstandigheden na het invoeren van de coronalockdown zorgden voor hogere  $\text{PM}_{2.5}$  concentraties dan ervoor.

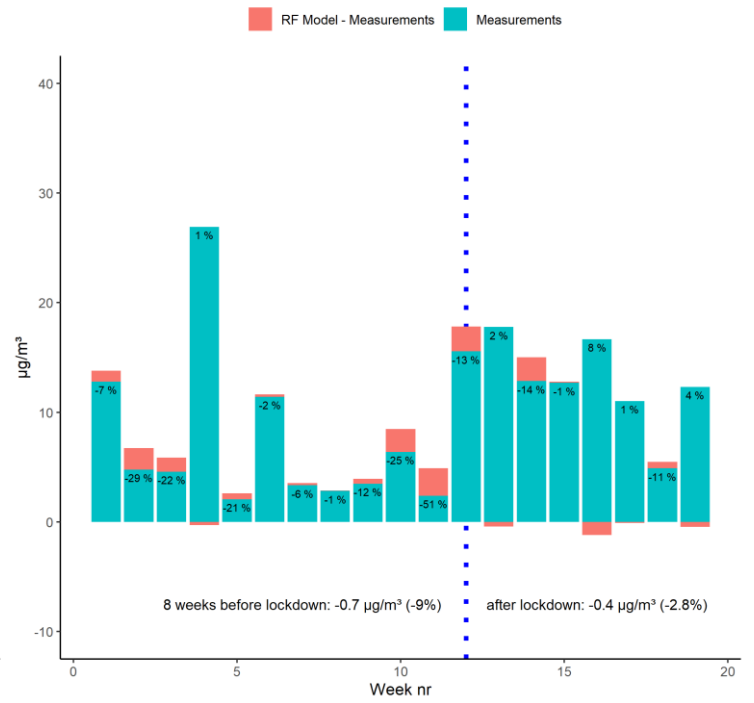
Figuur 7: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) fijn stof (PM2.5) concentratie voor de eerste 19 weken in 2020. De blauwe stippellijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde PM2.5 concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties.



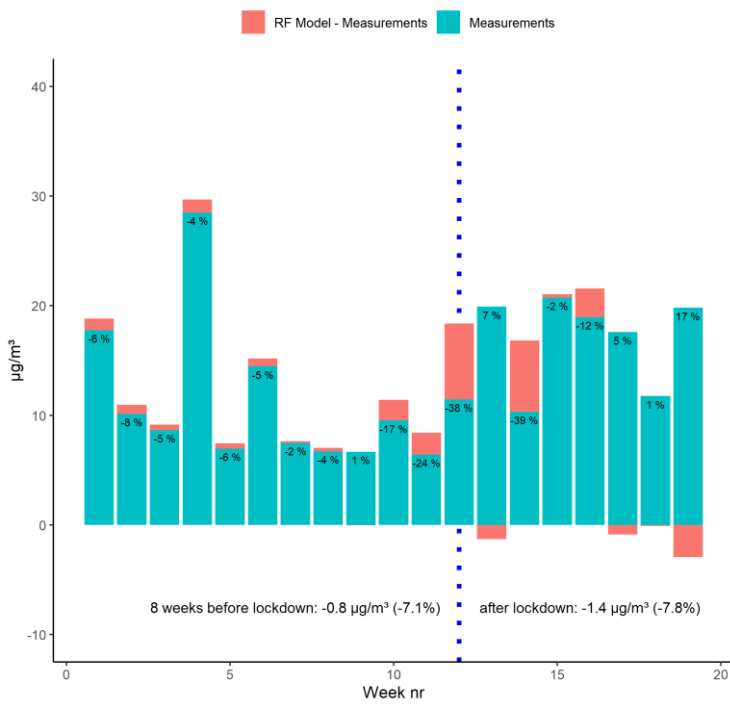
PM2.5 weekly mean 2020, R817



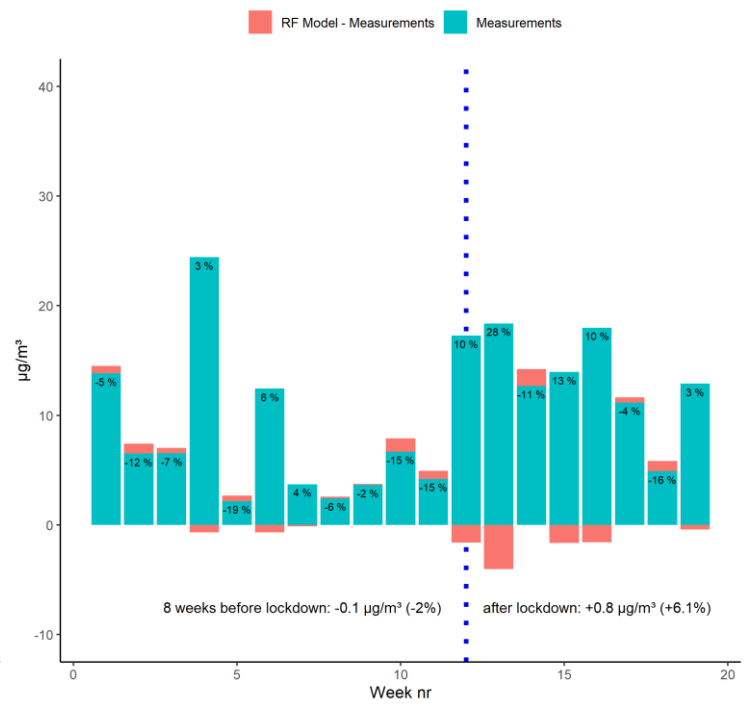
PM2.5 weekly mean 2020, R222

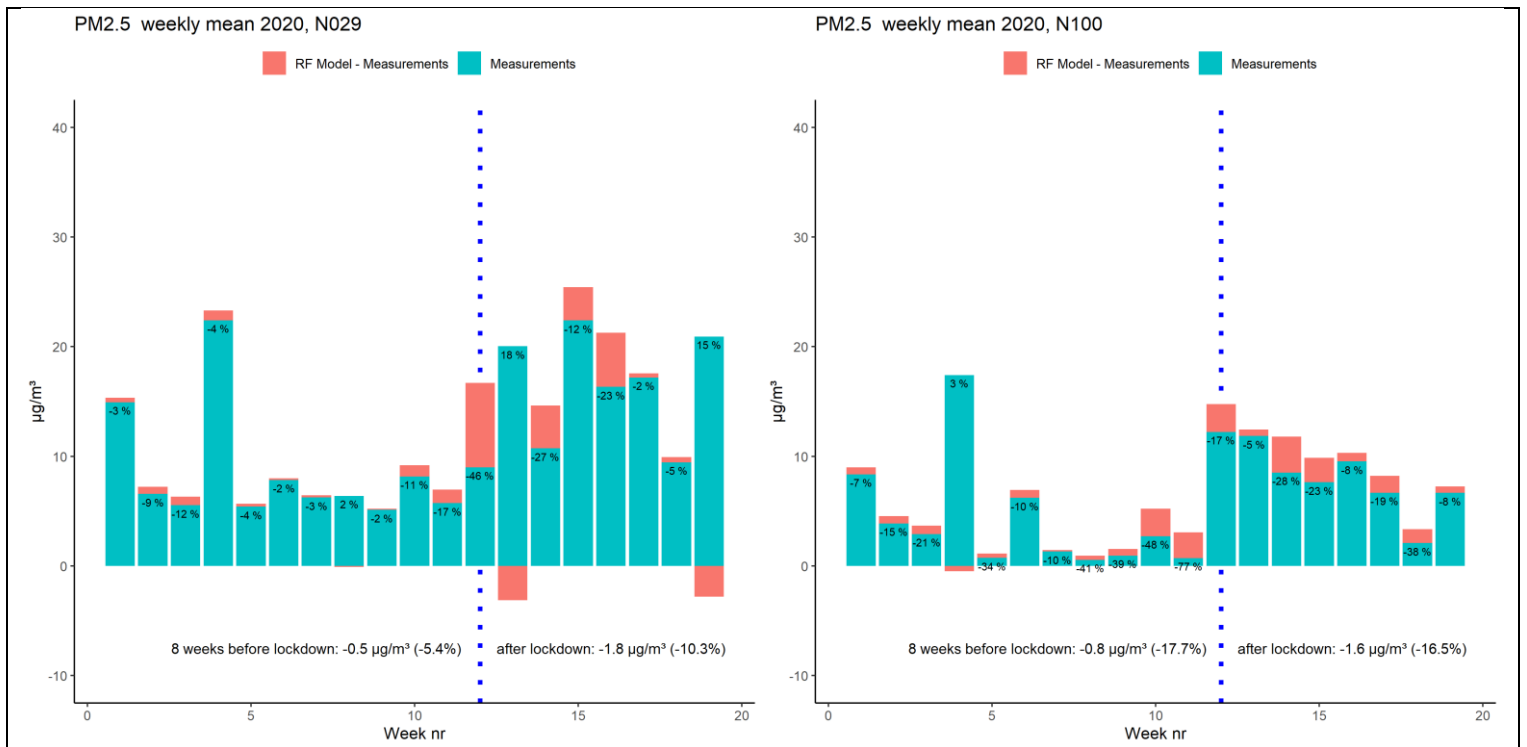


PM2.5 weekly mean 2020, R701



PM2.5 weekly mean 2020, R401





## 4.4 Fijn stof (PM10)

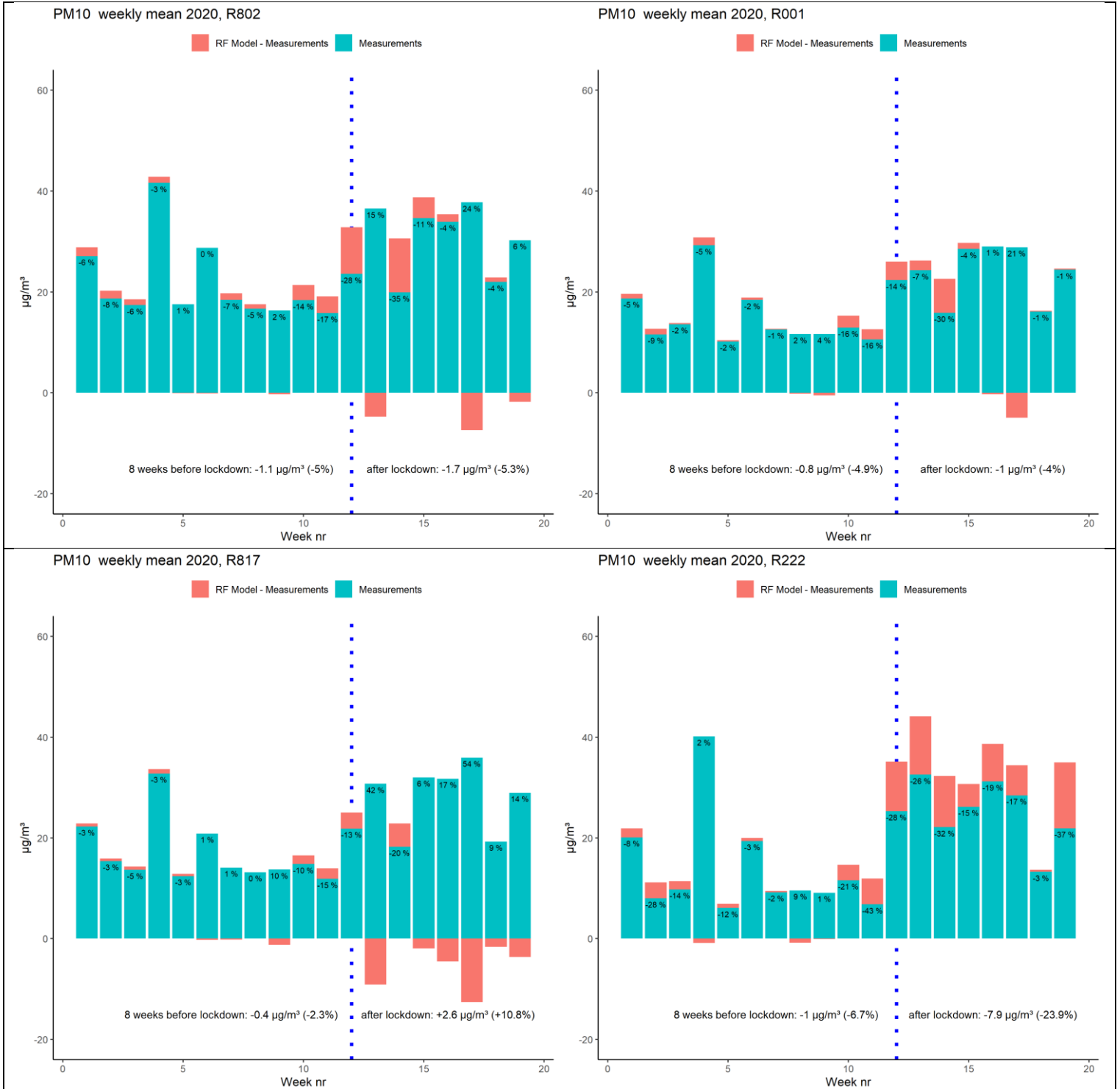
In figuur 8 worden de weekgemiddelde PM10 concentraties (gemeten en berekend door het RF-model) getoond voor dezelfde meetplaatsen als in 4.3.

Net zoals voor PM2.5 stijgen de PM10 (fijn stof met een diameter kleiner dan 10 micrometer) concentraties tijdens de lockdownperiode vergeleken met de weken ervoor. De verklaring is grotendeels dezelfde: ongunstigere weersomstandigheden die zorgen voor lentesmog (secundair fijn stof).

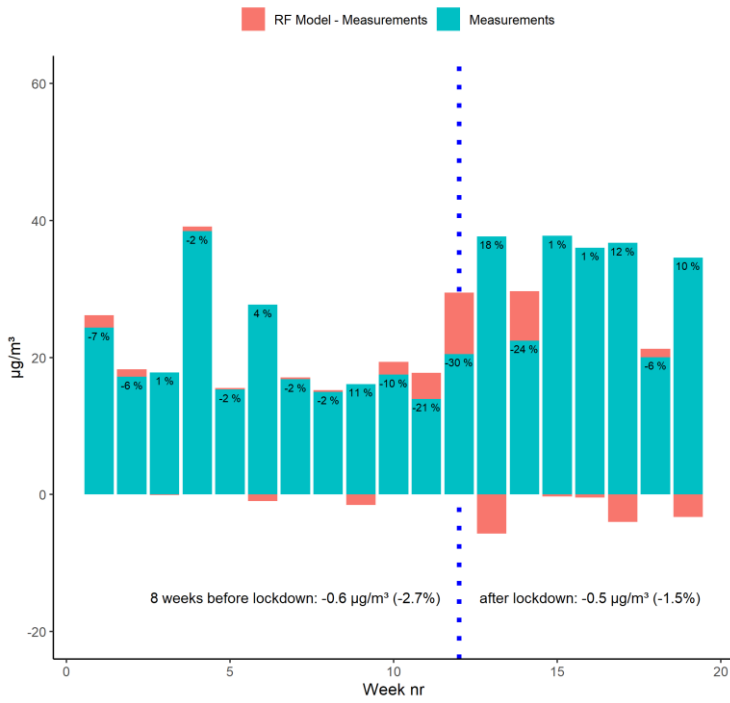
Het is net zoals voor PM2.5 wel belangrijk rekening te houden met de vaststelling (zie hoofdstuk 3) dat het RF-model de fijnstofconcentraties minder goed kan voorspellen dan de andere (betere verkeersgerelateerde) pollutanten. De resultaten van het model dienen voor fijn stof dus met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd.

Op droge dagen met hoge windsnelheden kunnen de PM10 concentraties gevoelig toenemen. Dit opwaaien van bodemstof dat vooral in de grotere fijnstoffractie aanwezig is, komt niet zo vaak voor waardoor het model dit fenomeen niet goed kan inschatten.

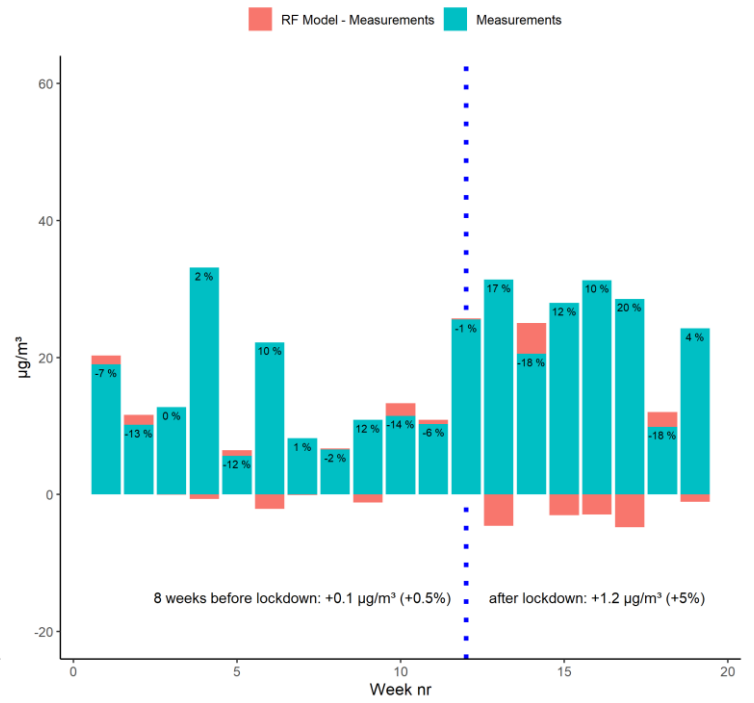
*Figuur 8: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) fijn stof (PM10) concentratie voor de eerste 19 weken in 2020. De blauwe stippellijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde PM10 concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties.*



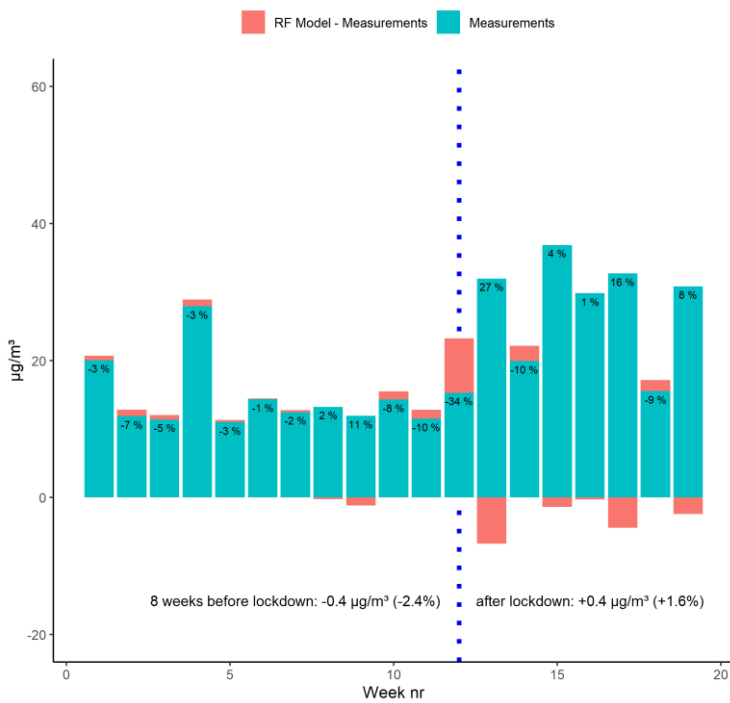
PM10 weekly mean 2020, R701



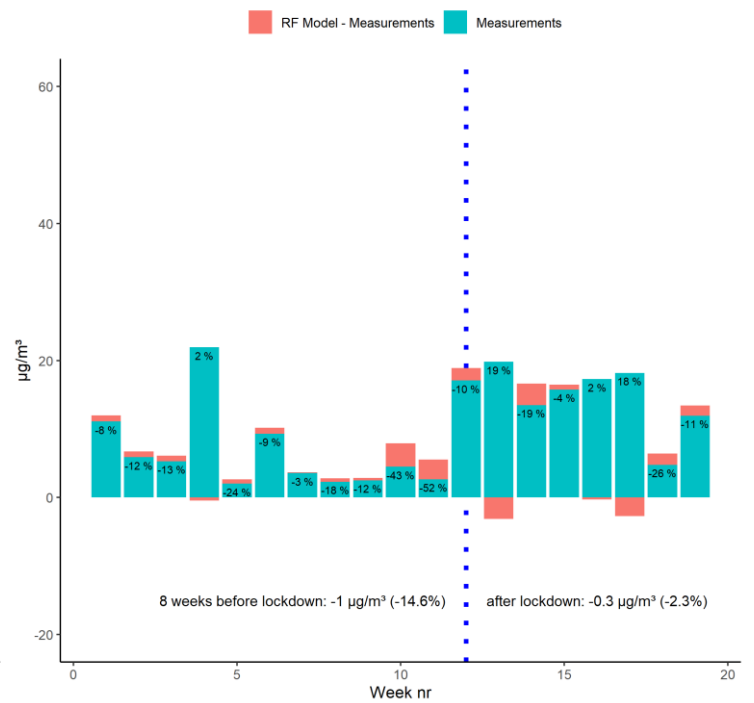
PM10 weekly mean 2020, R401



PM10 weekly mean 2020, N029



PM10 weekly mean 2020, N100

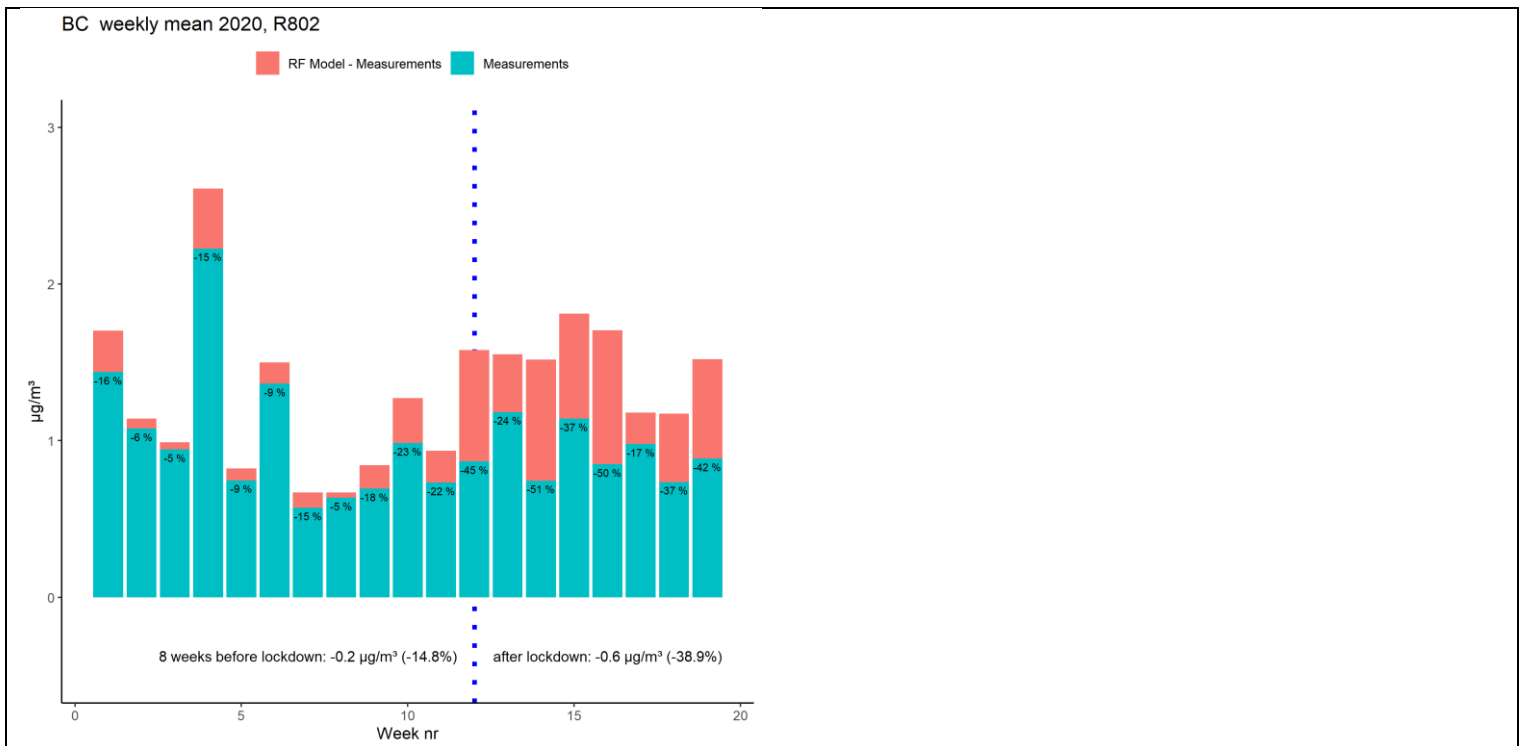




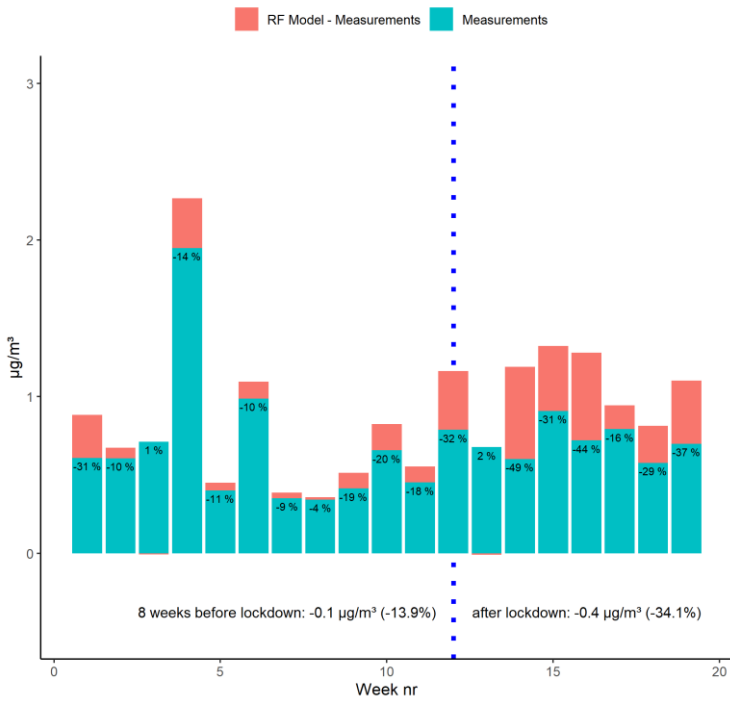
## 4.5. BC

Voor BC ("Black Carbon") een maat voor (diesel)roet is de impact van de coronamaatregelen sterk vergelijkbaar met die voor stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>). BC en NO<sub>2</sub> zijn immers sterk met elkaar gecorreleerd. Net zoals voor NO<sub>2</sub> (en NO<sub>x</sub>) worden de grootste dalingen genoteerd in de verkeersdrukke meetstations. De impact is lager op stedelijke achtergrond en voorstedelijke meetplaatsen. Op achtergrondmeetplaatsen ver van verkeersbronnen is de impact het laagst (zie figuur 9).

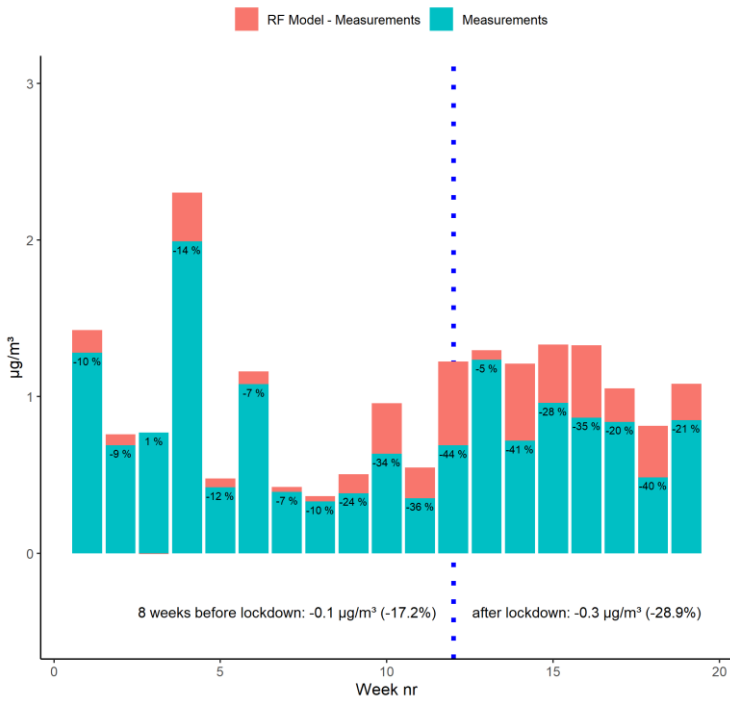
*Figuur 9: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) BC concentratie voor de eerste 19 weken in 2020 in een verkeersstation (Antwerpen-Borgerhout-42R802), een voorstedelijk station (Antwerpen-Wilrijk-42R817), twee stedelijke-achtergrondstations (Gent-44R701 en Namen-43R401) en een achtergrondmeetplaatsen (Veurne-44N029). De blauwe stippelijnduidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde BC concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties.*



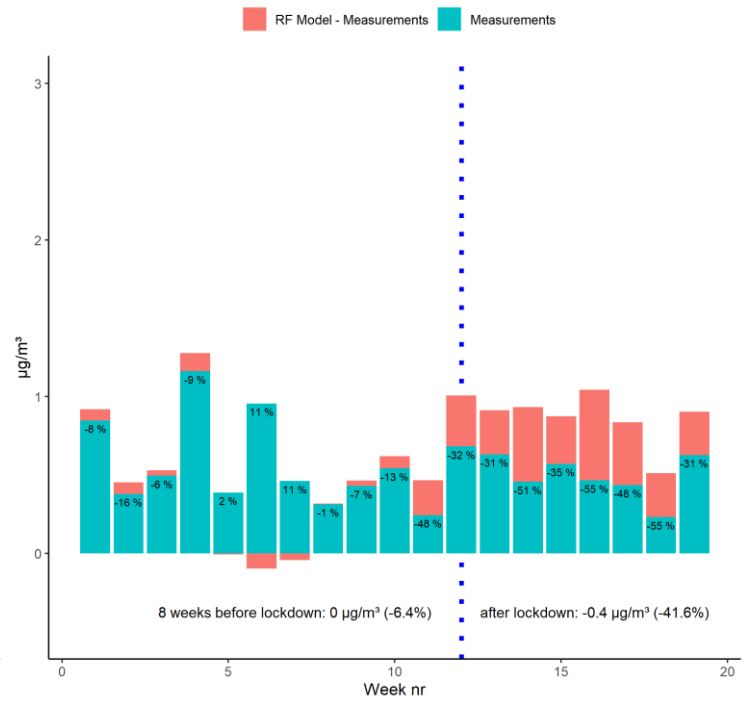
BC weekly mean 2020, R817

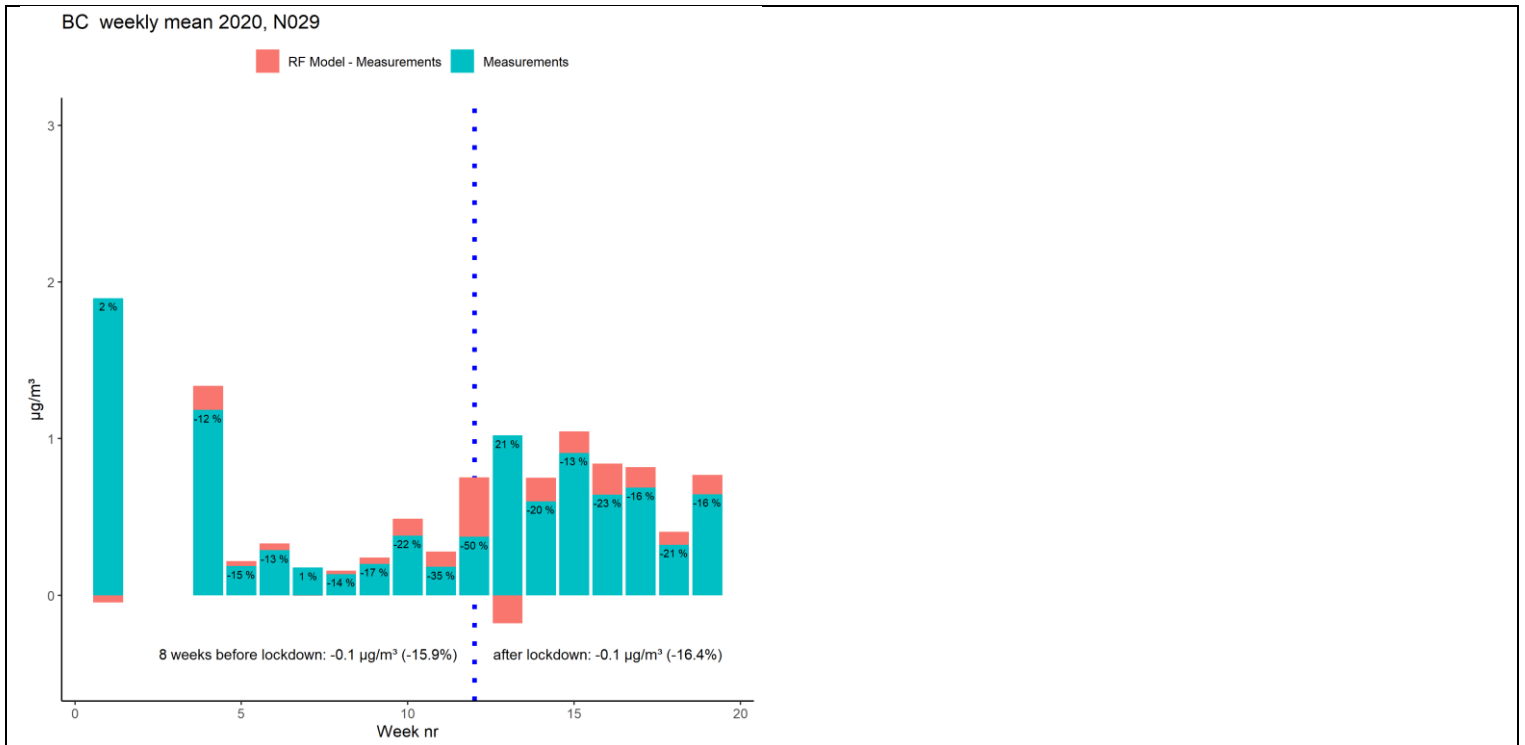


BC weekly mean 2020, R701



BC weekly mean 2020, R401





## 4.6 Ozon (O<sub>3</sub>)

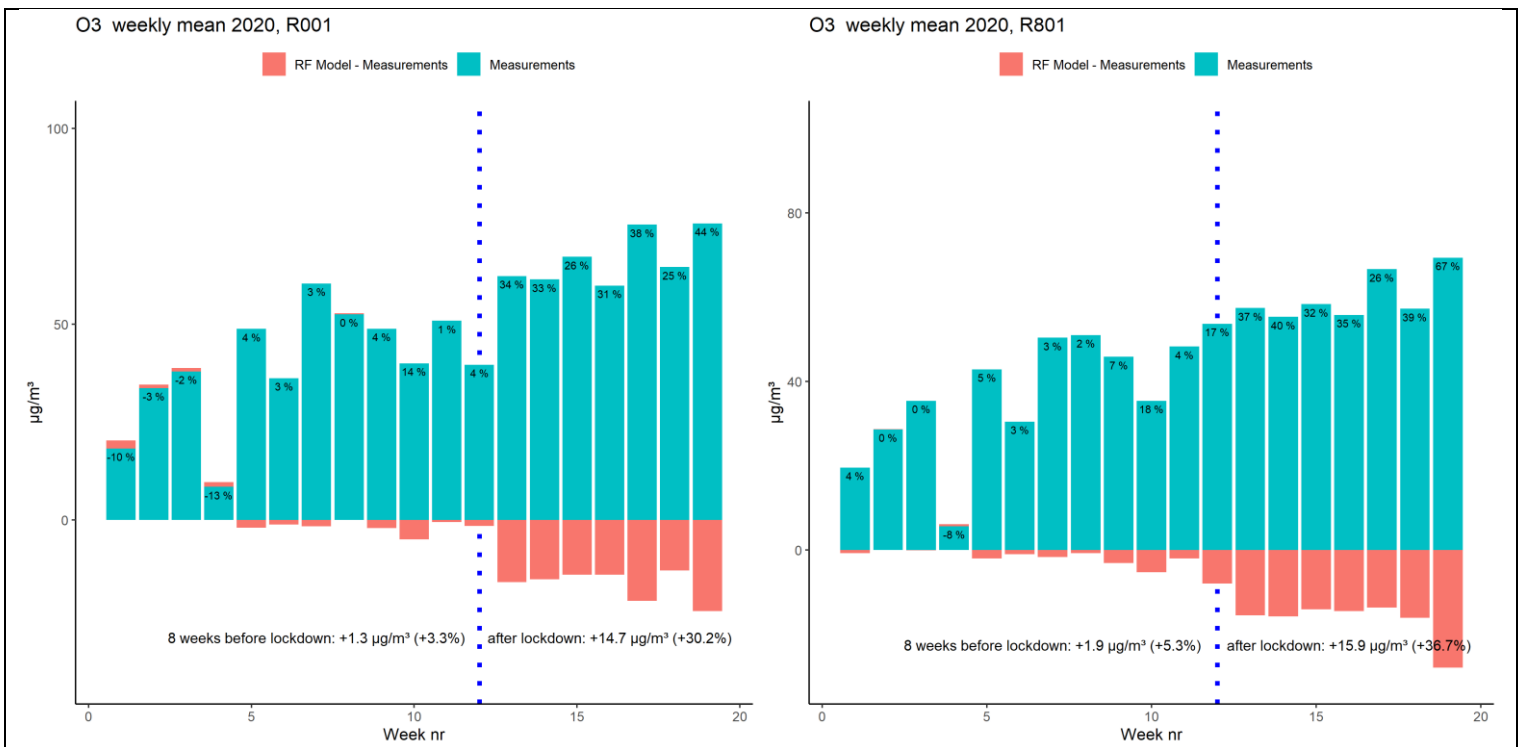
Ozon is een 100% secundaire pollutant: ozon wordt niet rechtstreeks uitgestoten maar ontstaat in de atmosfeer uit reacties tussen stikstofoxides en vluchtige organische componenten ( "ozonprecursoren"). De hoogste ozonconcentraties komen voor op warme en zonnige dagen. De chemische reactie die zorgt voor ozon in de troposfeer (het onderste deel van de atmosfeer) is een evenwichtsreactie: ozon wordt gevormd maar kan ook opnieuw terug afgebroken worden. Bij chemisch evenwicht wordt er evenveel ozon gevormd als afgebroken. De vormingsreactie van ozon wordt bepaald door de hoeveelheid (en verhouding van) stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) en vluchtige organische stoffen in de lucht, de temperatuur en de intensiteit van zonlicht (UV-straling). Ozonafbraak wordt vooral bepaald door de concentratie aan stikstofmonoxide (NO). Op plaatsen met veel verkeer (veel NO) overheerst meestal de ozonafbraak waardoor er in stedelijke omgevingen en op plaatsen met veel verkeer over het algemeen *lagere* ozonconcentraties worden gemeten. Dit wordt ook wel eens de "ozonparadox" genoemd.

Deze ozonparadox komt ook tot uiting tijdens de lockdownperiode (zie figuur 10): de ozonconcentraties namen toe. Deze toename is het meest uitgesproken in de verkeersstations. Opvallend is dat het RF-model inschat dat deze toename van de ozonconcentraties over een periode van 8 weken blijft aanhouden. Dit zou betekenen dat er ondanks gevoelig minder verkeer gedurende een lange periode toch nog voldoende "precursoren" (NO<sub>2</sub> en vluchtige organische stoffen) in de lucht aanwezig blijven om ozon te vormen, maar dat de lagere stikstofmonoxide (NO) concentraties op verkeersdrukke meetplaatsen zorgen dat de gevormde ozon minder wordt afgebroken. Vroegere analyses met "CTM"

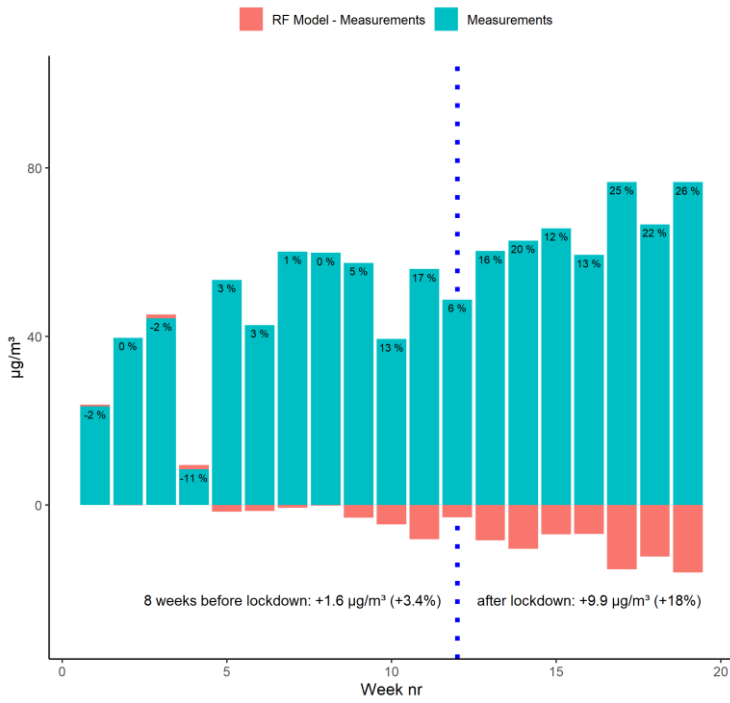
modellen gaven ook al aan dat de (gemiddelde) ozonconcentraties in West-Europa toenemen zelfs na drastische uitstootreducties van stikstofoxides.

Opvallende vaststelling was ook dat op zaterdag 9 mei, bij maximumtemperaturen tot slechts 25°C, zeer hoge ozonconcentraties werden gemeten. Met 174 µg/m<sup>3</sup> in Gent werd de ozoninformatiedrempel van 180 µg/m<sup>3</sup> net niet overschreden. Dat de ozonconcentraties, zelfs na een lange periode met minder verkeer toch blijven toenemen geeft aan dat de ozonproblematiek alleen kan opgelost worden door de ozonvormende stoffen (precursoren) verder duurzaam en drastisch te reduceren.

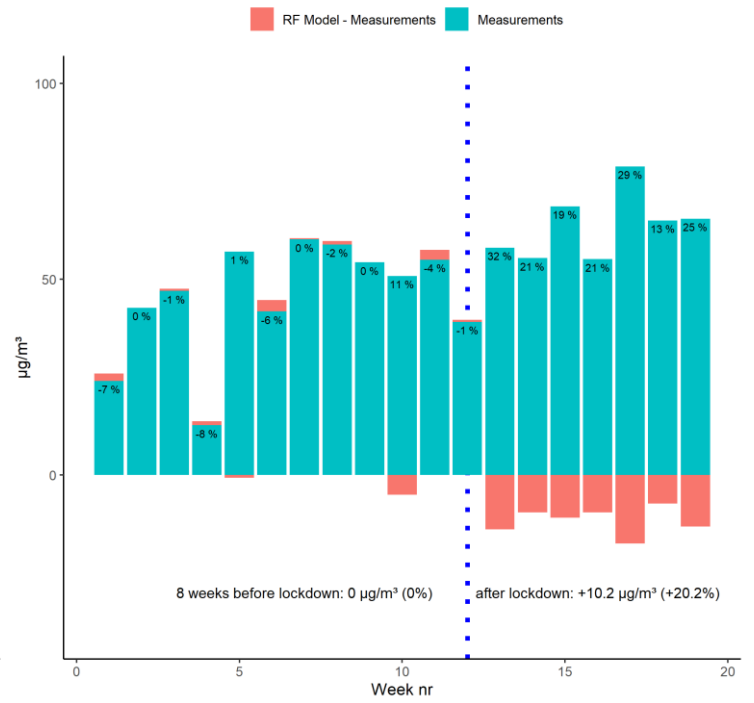
*Figuur 10: gemeten weekgemiddelde (blauw) en het verschil tussen de verwachte (RF model) en de gemeten (rood) ozon (O3) concentratie voor de eerste 19 weken in 2020 in het verkeersstation (Molenbeek-41R001), de stedelijke achtergrondstations (Anwerpen-Borgerhout-42R801, Gent-44R701 en Luik-43R222) en twee achtergrondmeetplaatsen (Veurne-44N029 en Dourbes-43N100). De blauwe lijn duidt week 12 aan, de start van de corona lockdownmaatregelen. De percentages in de blauwe balken geven de daling (of stijging) van de weekgemiddelde O3 concentratie t.o.v de door het RF model berekende (verwachte) concentraties.*



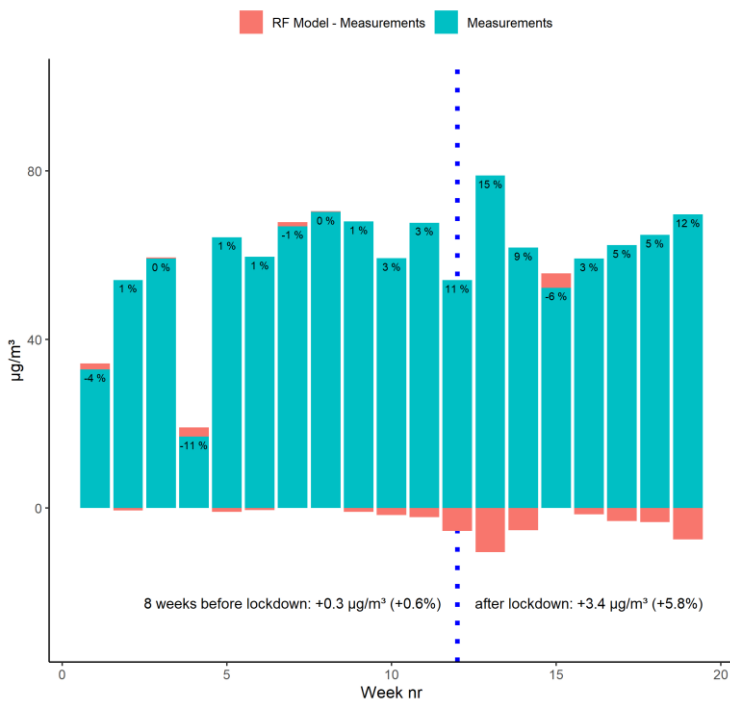
O3 weekly mean 2020, R701



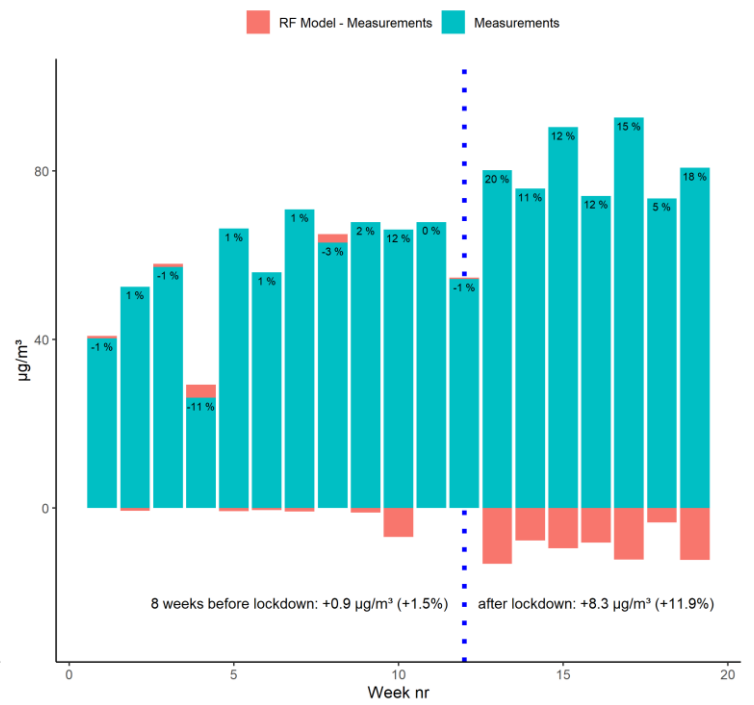
O3 weekly mean 2020, R222



O3 weekly mean 2020, N029



O3 weekly mean 2020, N100



Tabel 4: Absolute ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) impact van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit (week 12 tem 19) op de verschillende meetplaatsen zoals ingeschat door het RF-model.

code	meetplaats	classificatie meetplaats	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	PM2.5	PM10	BC	O3
<b>Vlaanderen</b>								
42R801	Antwerpen (Borgerhout)	stedelijk-achtergrond	-27.6	-12.8	-0.8	-1.6	-0.6	15.9
42R802	Antwerpen (Borgerhout straat)	stedelijk-verkeer	-37.4	-15	-2	-1.7	-0.6	
42R803	Antwerpen (Park Spoor Noord)	stedelijk-achtergrond	-18.7	-9.5	-1.4	0.5	-0.4	
42R804	Antwerpen (Ring)	stedelijk-verkeer	-39.4	-14.8	-2.2	-1	-0.8	
42R805	Antwerpen (Belgiëlei)	stedelijk-verkeer	-33.2	-13.5	-1.2	0	-0.8	
42R817	Antwerpen (Wilrijk)	voorstedelijk	-16.9	-8.9	0	2.6	-0.4	
44R701	Gent (Baudelo)	stedelijk-achtergrond	-12.5	-5.9	-1.4	-0.5	-0.3	9.9
44R702	Gent (Gustaaf Callier)	stedelijk-verkeer	-31.1	-14.4	-0.5	1.1	-0.6	
44R703	Gent (Lange Violettestraat)	stedelijk-verkeer					-0.9	
44N029	Veurne (Houtem)	achtergrond	-1.8	-1.8	-1.8	0.4	-0.1	3.4
42N040	Sint-Pieters-Leeuw	achtergrond	-8.7	-6.2				7.7
42N016	Dessel	achtergrond	-7.4	-5.3	-1.4	1.8	-0.2	11.5
42N046	Lanaken (Gellik)	achtergrond	-7.8	-4.3				9.5
<b>Brussel</b>								
41B001	Brussel (Kunst-Wet)	stedelijk-verkeer	-52.1	-22.1				
41R001	Molenbeek	stedelijk-verkeer	-29.7	-13.9	-2.1	-1	-0.3	14.7
41B004	Brussel (Katelijne)	binnenstedelijk	-24.2	-12.3				21.4
41R012	Ukkel	stedelijk-achtergrond	-12.2	-9.4	-1	0.9	-0.1	11.7
<b>Wallonië</b>								
45R501	Charleroi	stedelijk-achtergrond	-25.4	-10.3	0.5	2.5		
45R502	Charleroi (Lodelinsart)	stedelijk-achtergrond	-15.1	-7.4	-0.1	1.6		8.9
43R401	Namen	stedelijk-achtergrond	-24	-11.2	0.8	1.2	-0.4	
43R222	Luik	stedelijk-achtergrond	-20.2	-9	-0.4	-7.9		10.2
43N060	Havannes	achtergrond	-4.2	-3	-2.5	-3.2		4.7
43N063	Coroy-Le-grand	achtergrond	-9.2	-5.8	-2.8	-0.7		12.4
43N100	Dourbes	achtergrond	-1.1	-1.1	-1.6	-0.3		8.3

Tabel 5: Relatieve (%) impact van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit (week 12 tem 19) op de verschillende zoals ingeschat door het RF-model.

code	meetplaats	classificatie meetplaats	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	PM2.5	PM10	BC	O3
<b>Vlaanderen</b>								
42R801	Antwerpen (Borgerhout)	stedelijk-achtergrond	-50.5	-36.3	-4.5	-5.1	-40.1	36.7
42R802	Antwerpen (Borgerhout straat)	stedelijk-verkeer	-53.7	-37.7	-10.9	-5.3	-38.9	
42R803	Antwerpen (Park Spoor Noord)	stedelijk-achtergrond	-42.6	-31.9	-8	1.8	-34.2	
42R804	Antwerpen (Ring)	stedelijk-verkeer	-50	-35	-12.1	-3.6	-43.3	
42R805	Antwerpen (Belgiëlei)	stedelijk-verkeer	-49.9	-35.7	-6.9	0.1	-50.4	
42R817	Antwerpen (Wilrijk)	voorstedelijk	-42.8	-32.1	-0.2	10.8	-34.1	
44R701	Gent (Baudelo)	stedelijk-achtergrond	-33.1	-21.2	-7.8	-1.5	-28.9	18
44R702	Gent (Gustaaf Callier)	stedelijk-verkeer	-56	-41.9	-3.1	4	-41.7	
44R703	Gent (Lange Violettestraat)	stedelijk-verkeer					-55.8	
44N029	Veurne (Houtem)	achtergrond	-9.9	-11.4	-10.3	1.6	-16.4	5.8
42N040	Sint-Pieters-Leeuw	achtergrond	-42	-38.2				12.9
42N016	Dessel	achtergrond	-37.3	-32.7	-8.6	7.1	-21	19.1
42N046	Lanaken (Gellik)	achtergrond	-29.6	-22.9				17.3
<b>Brussel</b>								
41B001	Brussel (Kunst-Wet)	stedelijk-verkeer	-55.8	-42.9				
41R001	Molenbeek	stedelijk-verkeer	-46.9	-37.7	-14.1	-4	-19.3	30.2
41B004	Brussel (Katelijne)	binnenstedelijk	-46.2	-37.5				49.8
41R012	Ukkel	stedelijk-achtergrond	-45.4	-50.1	-8.3	5.2	-23.8	19.2
<b>Wallonië</b>								
45R501	Charleroi	stedelijk-achtergrond	-44	-30.9	3.6	9.9		
45R502	Charleroi (Lodelinsart)	stedelijk-achtergrond	-40.9	-30.2	-0.7	6.7		17.4
43R401	Namen	stedelijk-achtergrond	-52.9	-39.9	6.1	5	-41.6	
43R222	Luik	stedelijk-achtergrond	-46.6	-33.8	-2.8	-23.9		20.2
43N060	Havannes	achtergrond	-25.5	-22.1	-17.5	-14.5		8.4
43N063	Coroy-Le-grand	achtergrond	-39.4	-31.7	-21.3	-3.5		21
43N100	Dourbes	achtergrond	-16.5	-16.5	-16.5	-2.3		11.9

## Conclusies

Met RF-modellen kan de impact van de coronamaatregelen op de luchtkwaliteit becijferd worden.

De impact van de coronamaatregelen is het grootst voor de typische verkeersgerelateerde pollutanten ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  en BC). Op verkeersdrukte plaatsen lopen de dalingen van de  $\text{NO}_x$  concentraties op tot meer dan 50%, voor  $\text{NO}_2$  en BC is dit 35 -40%. De dalingen zijn iets lager op stedelijke achtergrond-, binnenstedelijke en voorstedelijke meetplaatsen afhankelijk van de verkeersdrukte in de buurt van deze stations. In meer rurale gebieden zijn de dalingen (afhankelijk van de meetplaats) van de verkeersgerelateerde componenten duidelijk minder uitgesproken.

De coronamaatregelen lijken weinig impact te hebben op de concentraties van fijn stof. De fijnstofconcentraties namen tijdens de lockdownperiode toe in vergelijking met de periode van 8 weken ervoor. Dit omwille van de ongunstigere meteorologische omstandigheden in de periode met lockdown. Deze toename zou tijdens een aantal weken, in het geval er geen lockdown was geweest, iets hoger geweest zijn maar dit is niet voor alle weken het geval. Bij de interpretatie van de resultaten dient men wel rekening te houden met het feit dat het RF-model de concentraties voor fijn stof minder goed kan voorspellen. Dat de lockdown volgens het model een negatieve impact zou gehad hebben op de fijnstofconcentraties is erg onwaarschijnlijk.

De ozonconcentraties namen na de lockdown toe. Dit is het meest uitgesproken op de meest verkeersdrukte meetplaatsen en komt omdat er minder NO werd uitgestoten waardoor ozon lokaal minder werd afgebroken. Dit geeft aan dat de ozonproblematiek alleen kan opgelost worden door de ozonvormende stoffen (precursoren) verder duurzaam en drastisch te reduceren.



## Referenties

- Breiman L. 2001. Random forests. Mach. Learn. 45 (1), 5-32.  
<https://doi.org/10.1023.A:1010933404324>
- Grange SK, Carslaw D. 2019. Using meteorological normalisation to detect interventions in air quality time series. Sci. Tot. Environ. 653, 578-88.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.344>.
- <https://medium.com/@williamkoehrsen/random-forest-simple-explanation-377895a60d2d>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Random\\_forest](https://en.wikipedia.org/wiki/Random_forest)
- <https://CRAN.R-project.org/package=rmweather>.

## BIJLAGE: Statistische validatie indicatoren

- Pearsons Correlatie Coëfficiënt (**R**)

Deze indicator geeft informatie 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 indicator nul is wil dit zeggen dat er geen correlatie is tussen de metingen en de modelwaarden.

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

$M_i$  en  $O_i$  zijn respectievelijk de individuele model- en meetresultaten.  $\bar{M}$  en  $\bar{O}$  zijn de gemiddelde model- en meetresultaten.  $N$  is het aantal dataparen.

Dikwijls wordt in validatieoefeningen het kwadraat van de correlatiecoëfficiënt ( $R^2$ ) of de determinatiecoëfficiënt gebruikt. De  $R^2$  wordt als percentage voor de “verklarende variantie” gehateerd.

- 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 indicator naar nul gaat, hoe beter de algemene prestaties van het model. De RMSE kan sterk beïnvloed worden door uitschieters.

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

Naast de RMSE wordt ook de **RRMSE** of de “Relatieve” RMSE gebruikt.

$$RRMSE = RMSE / \bar{O}$$

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

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

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

Naast de MB wordt ook de **NMB** of de “genormaliseerde” MB gebruikt.

$$NMB = MB / \bar{O}$$

Samenvattend kan gesteld worden dat hoe meer de regressierechte samenvalt met de bissectrice ( $y=x$ ) in de grafiek met als y-as de gemodelleerde concentraties en als x-as de gemeten concentraties, hoe beter het model de metingen kan voorspellen. Een model presteert beter naarmate R (en  $R^2$ ) meer naar 1 gaat en naarmate de MB en de RMSE meer naar nul gaan.