

Hoe de coronacrisis de luchtkwaliteit wereldwijd heeft beïnvloed

Maite Bauwens, Jenny Stavrakou en Jean-François Müller



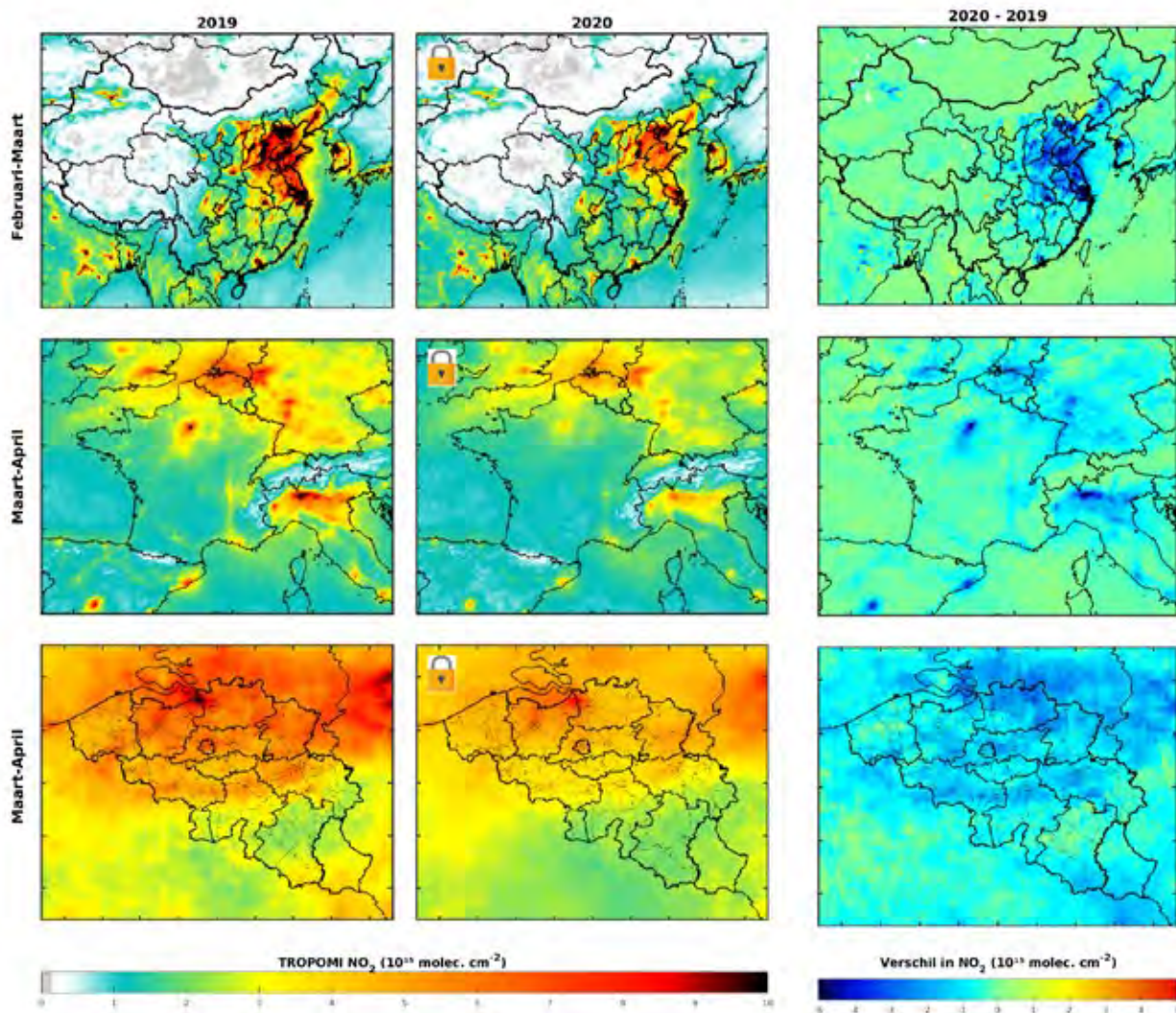
Een uitzonderlijk jaar

De COVID-19-pandemie heeft al bijna twee jaar de hele wereld in haar macht. Gezaghebbers zagen zich wereldwijd genoodzaakt om maatregelen te treffen om de verspreiding van het virus in te dijken. Overal ter wereld werd het leven in en buiten de steden in meer of mindere mate lamgelegd. Zelf na het versoepelen van de meest strikte maatregelen bleef de dreiging van het virus ons gedrag beïnvloeden. 'Zoveel mogelijk thuisblijven' en 'je zo weinig mogelijk verplaatsen' hebben 2020 gekenmerkt. Omdat het autoverkeer in stedelijke omgeving de voornaamste bron is van luchtvervuiling verwachten we dat deze gedragsveranderingen een positieve impact op de luchtkwaliteit hebben. Nooit eerder werden simultaan overal ter wereld dergelijke inspanningen geleverd die de luchtkwaliteit in die mate beïnvloedden. Wetenschappers van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA-IASB) hebben de atmosferische situatie sinds het begin van de crisis op de voet gevolgd door gebruik te maken van de satellietwaarnemingen van NO₂.

Wat zegt NO₂ over de luchtkwaliteit?

Hoge concentraties aan stikstofdioxiden (NO₂) kunnen de luchtwegen aantasten, vooral mensen met chronische longaandoeningen (bijv. met astma). Uiteraard is NO₂ niet de enige parameter die de luchtkwaliteit beïnvloedt. In Europa worden de concentraties van 6 stoffen gemonitord om de luchtkwaliteitsindex te berekenen: NO₂, O₃, SO₂, CO en fijnstof. NO₂ is erg reactief en zal de atmosferische samenstelling sterk beïnvloeden. De vorming van ozon (O₃) en fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}), allebei nog schadelijker voor de menselijke gezondheid, zullen bijvoorbeeld sterk beïnvloed worden door de concentraties aan NO₂. Ook is het goed te weten dat andere schadelijke stoffen zoals fijnstof, SO₂ en CO in een stedelijke context gedeeltelijk dezelfde vervuilingbronnen hebben als NO₂. In die zin kan de NO₂-concentratie als een indicator dienen voor de algehele luchtkwaliteit, en bieden hoge resolutie NO₂-waarnemingen van het recent gelanceerde satelliet-instrument TROPOMI een unieke dataset om de luchtkwaliteit wereldwijd te monitoren.

>>



Figuur 1: Links: TROPOMI NO₂-concentraties (in 10¹⁵ moleculen per cm²) boven China, West-Europa en België in 2019 en in 2020 voor de maanden die overeenstemmen met het begin van de coronacrisis-maatregelen. Rechts: Absoluut verschil in NO₂-concentratie tussen 2019 en 2020.

Luchtkwaliteitsmonitoring uit de ruimte

Op 13 oktober 2017 werd een nieuwe satelliet, de Sentinel-5-precursor, op een hoogte van 824 km in een zonsynchrone baan, de ruimte in geschoten. Aan boord van de satelliet vindt men het meetinstrument TROPOMI dat onder andere NO_2 -concentraties meet. Rond de lokale tijd van (ongeveer) 13.35 uur scant het instrument iedere dag opnieuw het volledige aardoppervlak in een hoge ruimtelijke resolutie tot $3,5 \times 5,5 \text{ km}^2$. Het opmeten van NO_2 -concentraties met satellieten is niet nieuw. Maar in vergelijking met zijn voorgangers (SCIAMACHY, GOME-2 en OMI) is de ruimtelijke resolutie die TROPOMI biedt ronduit indrukwekkend. Het TROPOMI-instrument stelt ons voor het eerst in staat om van dag op dag luchtvervuiling op stedelijke schaal wereldwijd te monitoren vanuit de ruimte. Dankzij de 'near-real-time' beschikbaarheid van deze hoge resolutie data waren we in staat om de NO_2 -concentraties sinds het begin van de coronacrisis op de voet op te volgen en tot op stedelijk niveau te zien hoe 'stay-at-home-orders' overal ter wereld voor lagere NO_2 -concentraties hebben gezorgd.

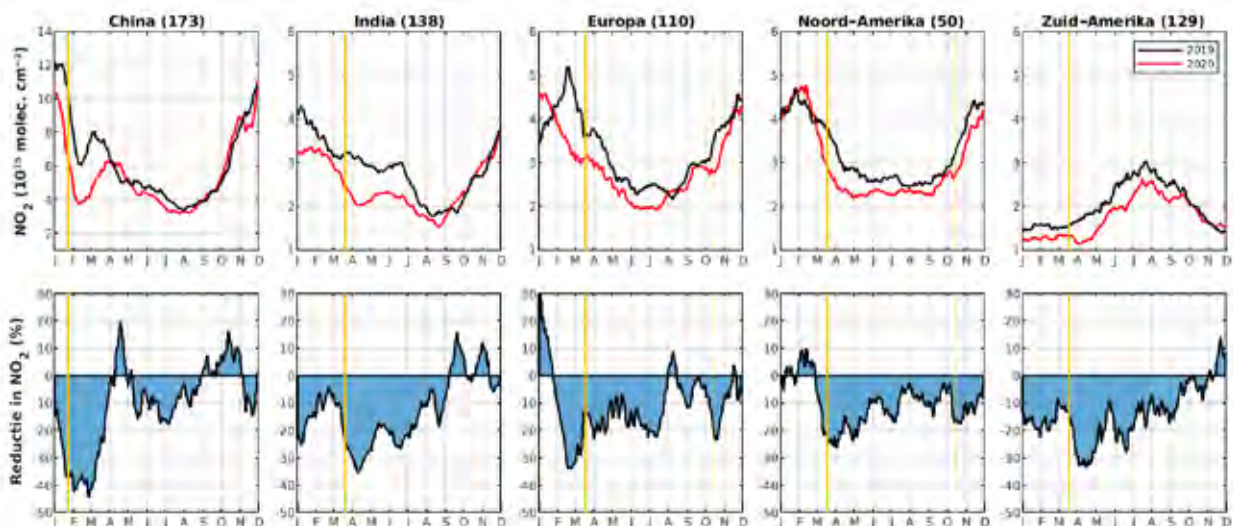
De coronacrisis in (satelliet)beeld

Figuur 1 toont hoe de NO_2 -concentraties in het drukbevolkte noordoosten van China bij het begin van de crisis in februari en maart 2020 tot 50% lager lagen dan in dezelfde periode in 2019. Een gelijkaardige situatie zien we een maand later boven Europa, waar we over alle grote steden sterke dalingen in de NO_2 -concentraties kunnen waarnemen. De satellietmetingen laten duidelijk zien dat zowel in China als in Europa de drukst bevolkte en meest vervuilde gebieden de sterkste NO_2 -daling ondervinden. Dit komt doordat in deze gebieden de belangrijkste bron van NO_2

van menselijke oorsprong is (vooral verkeer en industrie). In rurale gebieden is dit meestal niet het geval en verwachten we dus een veel kleinere impact van de crisis op de NO_2 -concentraties. Ter illustratie zoomen we in figuur 1 ook in op ons eigen land, waar we eveneens duidelijk zien dat de sterkste dalingen in NO_2 waar te nemen zijn boven de grote verkeersassen en boven industriële gebieden. Zo zien we NO_2 -reducties van ongeveer 20-30% boven de E42 tussen Bergen en Luik en boven de haven van Antwerpen, terwijl er nauwelijks reducties te zien zijn boven de rurale gebieden als de Polders en de Ardennen.

Figuur 2 illustreert hoe de gemiddelde NO_2 -concentraties in verschillende grote gebieden evolueerden in 2020. Hiervoor werden enkel satellietwaarnemingen geselecteerd in een gebied van ongeveer $25 \times 25 \text{ km}^2$ rondom stadscentra met meer dan 300 000 inwoners, dit met de bedoeling om te focussen op stedelijke gebieden waar we de grootste impact van de crisis verwachten. De onderste panelen van figuur 2 tonen de relatieve reductie van NO_2 in 2020 ten opzichte van de waarnemingen over dezelfde periode in 2019, over dezelfde gebieden. Men kan opmerken dat op het hoogtepunt van de crisis gemiddelde NO_2 -reducties tot 50% waargenomen werden boven Chinese steden, terwijl in India, Europa, Noord- en Zuid-Amerika de NO_2 -reducties varieerden tussen 20 en 35% in de eerste weken na de crisis. Gedeeltelijke versoepelingen van de COVID-19-maatregelen leidden tot een geleidelijke toename in NO_2 . In China duurde het gemiddeld slechts 2 maanden om de NO_2 -niveaus van 2019 te bereiken, terwijl in de andere regio's de gemiddelde NO_2 -concentraties meer dan 4 maanden lager bleven dan in 2019. In Europa en Noord-Amerika hebben de opkomst van een tweede COVID-19-golf en de daaropvolgende aanscherping van de restricties in oktober 2020 geleid tot nieuwe NO_2 -reducties, die echter relatief zwak zijn in vergelijking met de eerste pandemiegolf.

Figuur 2: De bovenste figuren tonen de 28-daagse lopende gemiddelden van NO_2 -concentraties waargenomen door TROPOMI in een cel van $25 \times 25 \text{ km}^2$ rond alle steden met een bevolking van meer dan 300 000 inwoners. Het aantal steden gebruikt om de gemiddelden te berekenen wordt voor elke regio tussen haakjes weergegeven. De onderste panelen geven de relatieve afname van NO_2 in 2020 ten opzichte van 2019. De oranje lijnen geven het begin van een periode van strengere restricties aan; merk op dat die datum vaak niet voor alle steden binnen een regio hetzelfde is, en dat de lijn dus een benadering is.



Stedelijk niveau

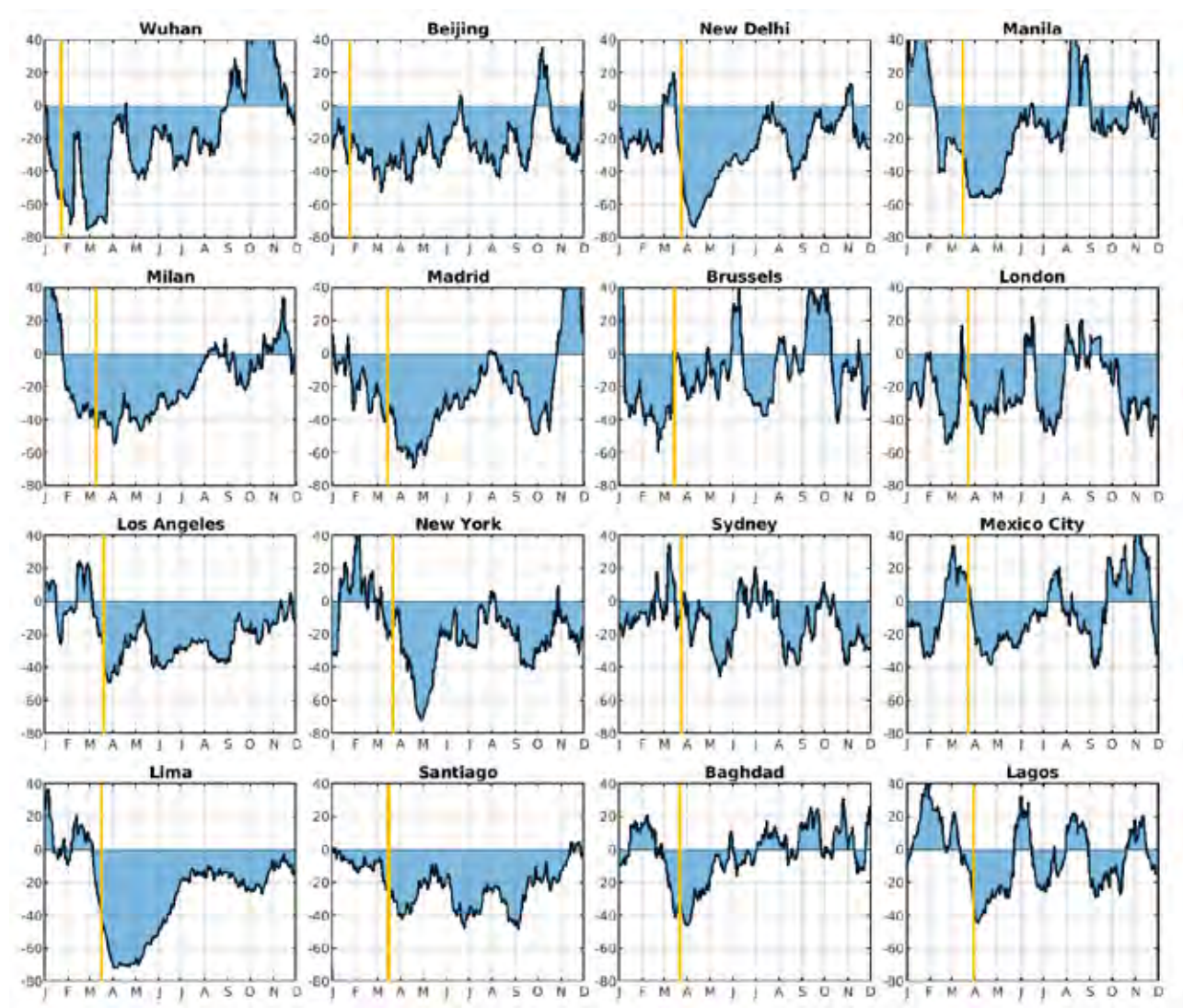
Het is interessant om in te zoomen op enkele individuele steden, om zo de kracht van de hoge ruimtelijke resolutie van het TROPOMI-instrument te illustreren. Figuur 3 laat de relatieve reductie van NO₂-concentraties zien over 16 grote steden over de hele wereld. Op de figuur staat aangeduid op welk ogenblik de meest strikte maatregelen werden ingevoerd. Het is duidelijk dat het aankondigen van 'stay-at-home-orders' overal ter wereld een impact hadden op de NO₂-concentraties. Wel is te zien dat er sterke verschillen zijn tussen verschillende steden. In steden waar heel strikte maatregelen werden opgelegd zoals in Wuhan, New Delhi, Manila, Lima en Madrid zien we onmiddellijk na de aankondiging van een lockdown een zeer sterke daling in de NO₂-concentraties van 60 tot 80%. Anderzijds zien we in steden waar de eerste golf van de pandemie minder voelbaar was, zoals bijvoorbeeld in Sydney, Bagdad en Lagos een meer bescheiden daling van ongeveer 40%, gevolgd door een zeer snelle nivellering van de concentraties. In de meeste steden ziet men echter een daling in de

NO₂-concentraties van 40 tot 50%, gevolgd door een lange periode waarin de concentraties lager lagen dan in 2019. Uiteindelijk zien we in steden zoals Brussel en Londen dat de NO₂-daling die volgt op de aankondiging van 'stay-at-home-orders' in dezelfde grootteorde ligt dan de natuurlijke variaties die ook in de rest van het jaar voorkomen. Dit is niet enkel het gevolg van minder strikte maatregelen maar ook van specifieke weersomstandigheden, wat illustreert dat het interpreteren van satellietbeelden niet altijd eenvoudig is.

Satellietwaarnemingen interpreteren, niet zo eenvoudig

De verleiding is groot om de verschillen in de NO₂-observaties tussen 2019 en 2020 enkel te verklaren als een gevolg van de coronacrisis. Maar in werkelijkheid worden de NO₂-concentraties door vele factoren beïnvloed: meteorologische en chemische processen en lokale politieke en maatschappelijke beslissingen. >>

Figuur 3: Relatieve afname van TROPOMI NO₂ in 2020 ten opzichte van 2019 over grote steden. De oranje lijnen geven het begin van een periode van strengere restricties aan.



Hieronder wordt de complexiteit van de atmosferische chemie geïllustreerd aan de hand van een aantal concrete voorbeelden, die aantonen dat voor een correcte interpretatie van satellietmetingen chemische transportmodellen noodzakelijk zijn. Enkel deze computermodellen brengen alle gekende chemische reacties in rekening en houden simultaan rekening met de uitstoot van precursoren, de samenstelling van de atmosfeer, en de meteorologische variabelen.

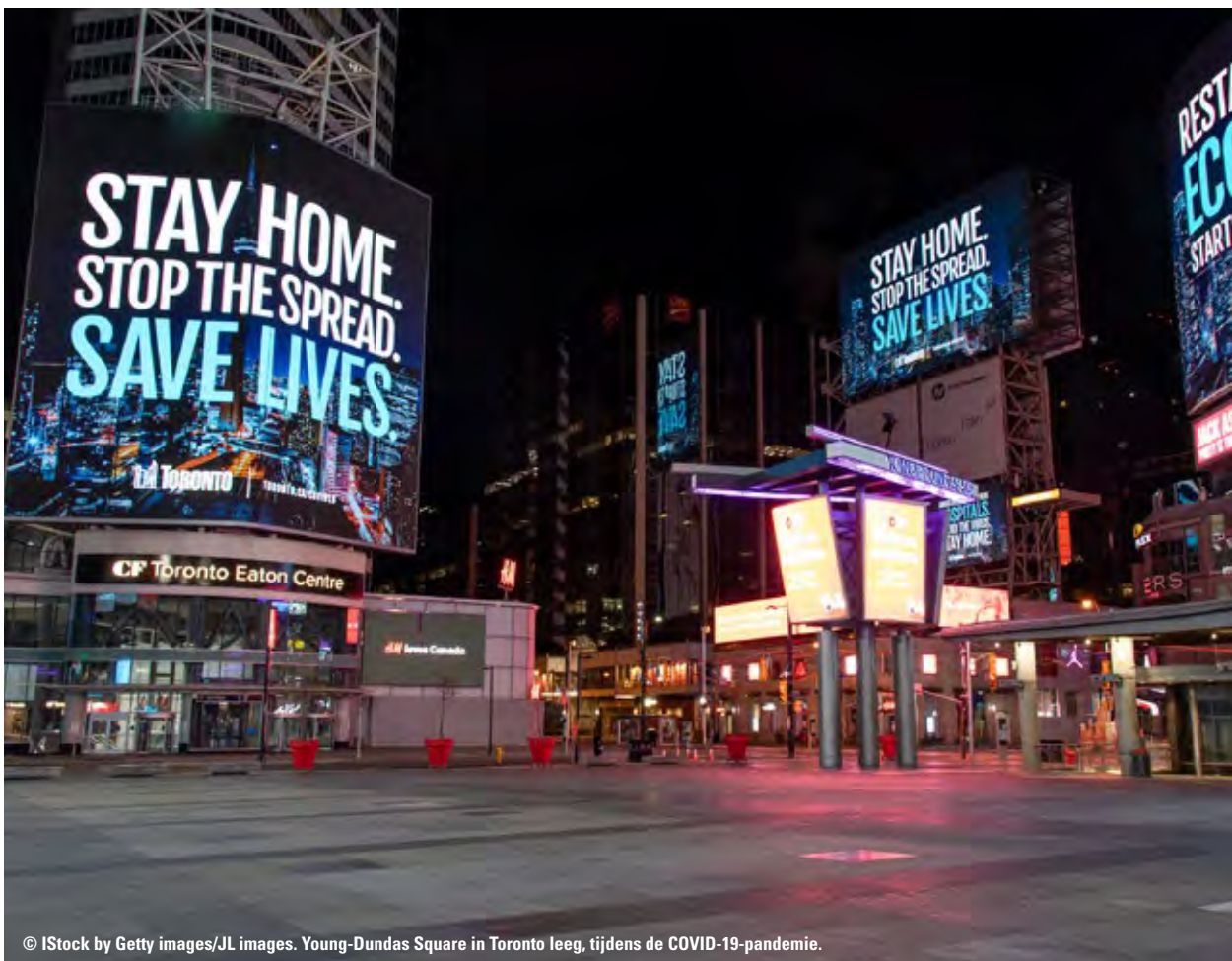
Het weer

Wie goed naar figuur 2 kijkt ziet in Europa al een sterke reductie in NO_2 , twee maanden *vóór* de crisis begon. In figuur 3 zien we dat dit het geval is in Brussel, Londen en Milaan. De waargenomen NO_2 -reductie is hier niet het gevolg van gedragsveranderingen. De lagere NO_2 -concentraties hadden we te danken aan een erg zonnige periode in een groot deel van Europa tussen januari en maart 2020. Omdat zonlicht verschillende chemische reacties stimuleert die leiden tot de afbraak van NO_2 , is er gedurende zonnige perioden minder accumulatie van NO_2 , en zijn er bijgevolg lagere concentraties. Het zijn ook deze fotochemische reacties die verantwoordelijk zijn voor de seizoenscyclus die je in figuur 2 kan zien waarbij de NO_2 -concentraties overal ter wereld in de zomer

merkbaar lager liggen dan in de winter. Naast zonlicht hebben ook andere weersomstandigheden een impact. De wind zorgt voor een verplaatsing en verdunning van de concentraties. Temperatuurveranderingen beïnvloeden ook de concentraties. Zeker als we individuele steden bestuderen zoals in figuur 3 kunnen lokale meteorologische parameters voor sterke variaties in de NO_2 -concentraties zorgen, die niet altijd eenvoudig te interpreteren zijn. In Europa zou naar schatting 10 tot 20% van de NO_2 -schommelingen het gevolg zijn van natuurlijke variaties. Het is dus belangrijk te beseffen dat zeker de kleinere en lokale schommelingen in de NO_2 -concentraties niet verklaard moeten worden door veranderingen in de NO_2 -emissies.

A war on air pollution

Daarnaast moet men ook in het achterhoofd houden dat dalingen van de NO_2 -emissies niet altijd het gevolg zijn van de coronacrisis. Politieke en maatschappelijke inspanningen om de luchtkwaliteit te verbeteren hebben uiteraard ook een impact op de NO_2 -uitstoot. De impact van deze inspanningen werd al eerder gekwantificeerd op basis van 10 jaar NO_2 -waarnemingen van de eerder gelanceerde satelliet OMI. In Noord-Amerika en in Europa, waar men al enkele decennia de luchtkwaliteit tracht te verbeteren,



© IStock by Getty images/JL images. Young-Dundas Square in Toronto leeg, tijdens de COVID-19-pandemie.

leren deze satellietobservaties ons dat de jaarlijkse reducties in NO_2 -concentraties in de grootteorde van 2% per jaar liggen, en dus klein zijn in vergelijking met de reducties van 20-40% die werden waargenomen tijdens de eerste periode van de coronacrisis. Als gevolg van de Chinese 'war on air pollution' zijn de jaarlijkse NO_2 -reducties in China sinds 2011 ongeveer tweemaal zo sterk dan in Europa. Ook hier draagt de jaarlijkse reductie van ongeveer 4% als gevolg van het beleid om de luchtkwaliteit te verbeteren dus slechts voor een klein deel bij tot de 50-80% lagere NO_2 -concentraties die in de figuren te zien zijn.

NO_2 en luchtkwaliteit, toch niet zo eenvoudig

Ook al is NO_2 een goede indicator voor de algehele luchtkwaliteit, toch kan men niet veronderstellen dat alle pollutanten in dezelfde richting evolueren als NO_2 . Vooral voor zogenaamde secundaire pollutanten zoals ozon en fijnstof, die niet rechtstreeks worden uitgestoten maar die ontstaan na chemische reacties in de atmosfeer, is voorzichtigheid geboden. Vele van deze chemische reacties zijn namelijk niet lineair van aard en worden door meerdere parameters tegelijk beïnvloed.

Zo deed zich in het begin van de coronacrisis in het noorden van China een boeiend en contra-intuïtieve situatie voor. Ondanks de sterke reductie van menselijke emissies en de 50% lagere NO_2 -concentraties (figuur 1 en 2) werden in dezelfde periode in het noorden van China ozonconcentraties geobserveerd die tot 2 maal hoger lagen dan in de periode voor de lockdown. Om dit te begrijpen moet men inzien dat ozon gevormd wordt door verschillende chemische reacties. Welke reactie domineert, hangt af van de samenstelling van de atmosfeer. In een NO_2 -gelimiteerde atmosfeer, zoals in minder vervuilde steden, zal de concentratie aan O_3 afnemen met dalende NO_2 -concentraties. In een NO_2 -gesatureerde omgeving daarentegen zoals in noord China, zullen andere bijkomende reacties leiden tot stijgende ozonconcentraties. De ozon-chemie wordt al sinds het begin van de jaren 50 bestudeerd en is relatief goed begrepen, bijgevolg waren de observaties in China geen verrassing voor specialisten.

Net als ozon is fijnstof meestal een secundaire pollutant. De vorming van fijnstof daarentegen is veel complexer. Fijnstof is dan ook een verzamelnaam voor verschillende soorten aerosolen waaronder sulfaten, nitraten en organische aerosolen elk gevormd door verschillende chemische processen. Deze processen worden beïnvloed door onderlinge interacties, en door meteorologische variabelen waarbij transport een grotere rol speelt aangezien vele van de betrokken chemische stoffen minder snel worden afgebroken. Het onderzoek rond fijnstof is nog in volle ontwikkeling.

De coronacrisis als grootschalig atmosferisch experiment

De bovenstaande voorbeelden leren ons dat de coronacrisis overal ter wereld sterke dalingen heeft geïnduceerd in de NO_2 -emissies. We zagen echter ook dat deze inspanningen niet rechtstreeks resulteerden in een evenredige daling in secundaire pollutanten zoals O_3 en fijnstof. Als we in de toekomst maatregelen willen treffen om de luchtkwaliteit in haar geheel te verbeteren is een goede kennis van de atmosferische chemie cruciaal. Chemische transportmodellen kunnen op dit ogenblik met succes al heel wat observaties simuleren en dus verklaren. Sommige inconsistenties tussen modelresultaten en waarnemingen duiden op hiaten in ons begrip van atmosferische chemie, waarvan we hopen dat ze op een dag onze kennis zullen vergroten en modellen zullen verbeteren. In zekere zin kan de coronacrisis als een grootschalig atmosferisch experiment gezien worden dat, dankzij de satelliet en *in situ*-waarnemingen van de luchtkwaliteit, een schat aan data heeft opgeleverd. Dit zijn cruciale data die heel waarschijnlijk nieuwe inzichten zullen opleveren, en dusdanig zullen leiden tot betere maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren. Noodzakelijk, wetende dat in Europa naar schatting jaarlijks meer dan 400 000 vroegtijdige overlijdens het gevolg zijn van een slechte luchtkwaliteit...

Dankwoord

Dit onderzoek werd gefinancierd door het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo) in het kader van het PRODEX-programma (TROVA- en TROVA-E2-projecten), en door ESA in het kader van het COVAC-project. Wij danken onze internationale partners van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) en de Duitse Ruimtevaartorganisatie (DLR) voor het ter beschikking stellen van de TROPOMI NO_2 -data op <https://scihub.copernicus.eu>. TROPOMI NO_2 -data zijn eveneens publiek beschikbaar op <https://viewer.terrascope.be>.

Meer

Bauwens, M. et al., Impact of coronavirus outbreak on NO_2 pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geophysical Research Letters*, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2020GL087978>, 47(11), e2020GL087978, 2020.

Kroll, J. et al.: The complex chemical effects of COVID-19 shutdowns on air quality, *Nat. Chem.*, 12, 777-779, <https://www.nature.com/articles/s41557-020-0535-z>, 2020.