

Luftföroreningar och covid-19

OLOF BLUME 2024
MVEK12 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



Luftföroreningar och covid-19

Pandemins påverkan på halterna av kvävedioxid (NO_2), marknära ozon (O_3) och grova partiklar (PM_{10}) i luften

Olof Blume

2024



LUNDS
UNIVERSITET

Olof Blume

MVEK12 Miljövetenskap: Examensarbete för kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet

Handledare: Ullrika Sahlin, Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet

CEC - Centrum för miljö- och klimatvetenskap
Lunds universitet
Lund 2024

Abstract

Air pollution is a major environmental and health problem globally, with traffic emissions being a significant source of many pollutants. The aim of this study is to investigate whether the levels of nitrogen dioxide (NO₂), ground-level ozone (O₃) and coarse particles (PM₁₀) in air changed during the covid-19 pandemic in Sweden, and whether the change varied between urban and rural areas and depending on traffic volume. From an environmental perspective, this is relevant to understanding the role of traffic in air pollution and whether traffic interventions could be effective in improving air quality.

A statistical analysis of measurement data of NO₂, O₃ and PM₁₀ was conducted by comparing the spring of 2015–2019 and 2020. Meteorological parameters were also analysed to evaluate their potential impact on the results.

This study shows that the levels of NO₂ and PM₁₀ decreased in areas with usually intense traffic during the covid-19 pandemic, whereas the levels did not change significantly in other areas. This highlights the significant impact of traffic emissions on the levels of these pollutants. However, unlike many previous studies globally have shown, the levels of O₃ during the covid-19 pandemic in Sweden did not increase but instead decreased, albeit to a lesser extent or with no change at all in urban areas. This suggests that the covid-19 pandemic and traffic are not responsible for this decrease and that other factors, such as meteorology, are of greater importance for this pollutant.

Overall, this study suggests that for PM₁₀, NO₂ and similar pollutants, traffic interventions and reductions can significantly improve air quality and that such traffic transitions are feasible. Further studies are needed to evaluate epidemiological effects of traffic interventions and how effective different traffic interventions are in improving air quality in practice.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Luftföroreningar är ett välkänt globalt miljö- och hälsoproblem med över fyra miljoner dödsfall som följd varje år. Ursprunget till luftföroreningar varierar, men vägtrafikens utsläpp är en särskilt viktig källa för många ämnen. En ökad förståelse av orsakerna bakom luftföroreningar, och i vilken mån trafiken påverkar halterna, är en viktig del i att kunna implementera effektiva åtgärder för en bättre luftkvalitet. Covid-19-pandemin gav ett unikt tillfälle att undersöka detta då människor förändrade sina vanor och vägtrafiken minskade i Sverige.

I denna studie undersöker jag om halterna av kvävedioxid (NO_2), ozon (O_3) och grova partiklar (PM10) förändrades under covid-19-pandemin i Sverige, samt om det finns skillnader i förändringen mellan landsbygd och städer samt mellan områden med olika mängd trafik. För att besvara mina frågeställningar jämför jag mätdata av NO_2 , O_3 och PM10 för olika mätstationer i Sverige under våren 2020 med motsvarande data från tidigare år. Dessutom undersöker jag förändringar i olika väderparametrar för att se om dessa kan ha påverkat luftföroreningarna under perioden.

Mina resultat bekräftar att trafiken är en viktig utsläppskälla för NO_2 och PM10. Detta syns i att halterna av NO_2 och PM10 minskade i områden med mycket trafik i Sverige under covid-19-pandemin. I urbana områden med lite trafik och i landsbygdsområden fanns dock ingen tydlig minskning av dessa ämnen. Däremot visar resultaten att halterna av O_3 generellt minskade under covid-19-pandemin, om än i mindre utsträckning eller inte överhuvudtaget i städer. Minskningen är oväntad eftersom flera tidigare studier i andra delar av världen har visat att halterna av O_3 ökade under pandemin. Sammantaget tyder detta på att trafik är en mindre betydande källa för O_3 och att andra faktorer, exempelvis meteorologiska, är viktigare.

Resultaten från studien belyser vikten av att minska utsläppen från vägtrafik för att förbättra luftkvaliteten i städer. De visar också att sådana omställningar är möjliga att genomföra, även om de bör göras av andra skäl än under covid-19-pandemin. Det behövs dock mer forskning på om den förbättrade luftkvaliteten i Sverige under covid-19-pandemin kan ha fört med sig hälsovinster hos Sveriges befolkning. Vi behöver också utvärdera hur effektiva olika styrmedel som rör vägtrafik, exempelvis miljözoner, är för att förbättra luftkvaliteten i praktiken och minska riskerna för människors hälsa.

Innehållsförteckning

Abstract 5

Populärvetenskaplig sammanfattning 7

Innehållsförteckning 9

Inledning 11

Bakgrund 11

Syfte och frågeställningar 13

Hypoteser 13

Avgränsningar 14

Miljövetenskaplig relevans 14

Etisk reflektion 14

Metod 15

Empiriskt material och studieområde 15

Statistisk analys 17

Meteorologisk analys 18

Resultat 19

Ozon (O₃) 19

Grova partiklar (PM₁₀) 22

Kvävedioxid (NO₂) 24

Meteorologisk analys 27

Summering av resultat 27

Diskussion 29

Trafikens betydelse **29**

Covid-19-pandemin **30**

Implikationer och applicerbarhet **31**

Begränsningar och vidare studier **32**

Slutsats 35

Tack 37

Referenser 39

Appendix 43

Inledning

Luftföroreningar är ett globalt hälsoproblem och att förstå dess orsaker är centralt för att kunna förbättra luftkvaliteten. I denna studie undersöks covid-19-pandemin i Sverige och förändringen i halterna av kvävedioxid (NO₂), marknära ozon (O₃) och grova partiklar (PM₁₀) i luft under denna period.

Bakgrund

Luftföroreningar är en av de mest omfattande miljöriskerna för människors hälsa globalt (Galán-Madruga, 2022). Astma, lungcancer och hjärt- och kärlsjukdomar är några av föroreningarnas långsiktiga hälsoeffekter (Manisalidis, 2020), som årligen leder till över fyra miljoner förtida dödsfall i (Världshälsoorganisationen, u.å.).

I Sverige finns miljö kvalitetsnormer för utomhusluft, med gränsvärden som syftar till att skydda miljö och människors hälsa (Naturvårdsverket, 2024). År 2022 överskreds dock gränsvärdena för både PM₁₀ och NO₂ i sex respektive två svenska städer (Naturvårdsverket, 2023).

Källorna till luftföroreningar är både naturliga, till exempel sandstormar och skogsbränder, och antropogena, där industri och vägtrafik är några av de mest betydande orsakerna (Bitta et al., 2021). I urbana miljöer kan vägtrafik, genom avgasemissioner samt väg- och däckslitage, orsaka särskilt höga halter i omgivningen (Ghose et al., 2004; Matthaios et al., 2022). Till exempel kommer NO₂ i hög utsträckning från vägtrafikens avgasemissioner, även om det också kan släppas ut från industrier eller bildas genom reaktion mellan kväveoxid (NO) och O₃ (Carslaw, 2005; Europeiska miljöbyrån [EEA], 2020). Även PM₁₀ härstammar från vägtrafik, då även från däckslitage, grus och vägsalt, men har också naturliga källor såsom damm från sand eller partiklar från havet (Salvador et al., 2004; Furusjö et al., 2007). Marknära ozon bildas däremot vid reaktion mellan kvävedioxid och kolväteföreningar från antropogena eller naturliga källor (Gamelas et al., 2021; Paoletti et al., 2014). Halterna av alla luftföroreningar påverkas dock även av meteorologiska faktorer såsom vind, temperatur, relativ luftfuktighet och regn (Bitta et al., 2021; Qiao et al., 2019). Dessa faktorer har bland annat betydelse för i vilken mån luftföroreningar bildas, sprids och ansamlas (Qiao et al., 2019; Zeng & Zhang, 2017).

Covid-19-pandemin och dess medföljande beteendeförändringar i samhället möjliggjorde ett naturligt experiment av vägtrafikens betydelse för luftföroreningshalter. Ett stort antal studier i olika delar av världen har visat att halterna av bland annat PM10, små partiklar (PM2.5), kväveoxider (NO_x) och sot minskade under covid-19-pandemin (Górka-Kostrubiec & Dudzisz, 2023; Ravindra et al. 2021; Hudda et al., 2020). Till exempel kunde Moreda-Piñeiro et al. (2021) påvisa att halterna av NO₂ och PM10 i två spanska kuststäder minskade med 22–69 % respektive 10–38 % vid olika mätstationer efter att pandemirestriktionerna hade införts. I en studie i tre italienska medelstora städer av Donzelli et al. (2020) kunde dock en minskning i halterna av PM10 och PM2.5 under covid-19-pandemin enbart påvisas i områden med mycket tung trafik. Däremot minskade halterna av NO₂ i alla urbana områden medan O₃-halterna var oförändrade. En studie i Barcelona, Spanien, av Tobías et al. (2020) visade också att effekterna av pandemirestriktionerna kunde variera mellan olika föroreningar. I det fallet minskade sot och NO₂ med omkring hälften, medan PM10 minskade i betydligt mindre utsträckning och O₃-halterna ökade. För O₃ har flera studier kunnat visa att halterna ökade till följd av covid-19-pandemin (Baghel et al. 2023; Gamelas et al. 2021; Sicard et al., 2020a).

Betydligt färre studier har undersökt om covid-19-pandemins påverkan på halterna av luftföroreningar varierade mellan tätbebyggda och glesbebyggda områden. Slezakova och Pereira (2021) undersökte skillnaderna mellan urbana, förorts- och landsbygdsområden i halter av PM10, PM2.5, NO₂, svaveldioxid (SO₂) och O₃ före och under covid-19-pandemin i Portugal. Studien visade att NO₂-halterna minskade i alla områden, medan halterna av PM10 och PM2.5 minskade mest i urbana områden och landsbygdsområden, men betydligt mindre i förortsområden. En studie i Madrid, Spanien, av Bañuelos-Gimeno et al. (2023) visade att effekterna av pandemirestriktionerna på halterna av NO_x, PM10, PM2.5 och O₃ var större i urbana områden än i förortsområden.

Under covid-19-pandemin valde Sverige en annorlunda och mindre restriktiv strategi med större fokus på rekommendationer jämfört med andra länder (Pierre, 2020). Flertalet studier har dock visat att svenskar generellt har hög tilltro till myndigheter och därför i hög utsträckning följde de rekommendationer som meddelades och anpassade sina vanor (Helsing et al., 2020; Kuhlmann et al., 2021). Veckan efter att det första dödsfallet till följd av covid-19 rapporterats i Sverige den 11 mars 2020 meddelades ett antal rekommendationer av Folkhälsomyndigheten om social distansering, bland annat genom att möjliggöra hemarbete, bedriva distansundervisning i gymnasier samt undvika kollektivtrafik och icke-nödvändiga resor (Folkhälsomyndigheten, 2023). Dessa togs successivt bort i samband med att smittspridningen avtog (Folkhälsomyndigheten, 2023).

Rekommendationerna och svenskars förändrade vanor under covid-19-pandemin märktes bland annat i vägtrafiken. Enligt Eliasson et al. (2024) minskade personbilstrafiken under 2020 och 2021 med 6–8 % jämfört med föregående år, även om mängden lastbilstrafik var konstant. Från mitten av mars till juni 2020 var effekten

särskilt påtaglig, då den totala trafiken på det statliga vägnätet i Sverige per vecka minskade med 11–27 % och den tunga trafiken med 1–12 % jämfört med motsvarande period 2019 (Trafikverket, 2021).

Luftföroreningar är generellt ett större problem i mer tätbebyggda områden där trafik utgör en starkt bidragande utsläppskälla (Yang et al., 2020). Förändrade trafikflöden såsom under covid-19-pandemin kan därför tänkas leda till större förändringar i luftkvalitet i städer än på landsbygden.

Syfte och frågeställningar

Syftet med studien är att undersöka om halterna av NO₂, O₃ och PM₁₀ i luft förändrades under covid-19-pandemin till följd av förändrade trafikmönster. Vidare undersöker studien om denna eventuella förändring under covid-19-pandemin skiljer sig mellan urbana områden och landsbygd samt beroende på om ett område har mycket eller lite vägtrafik. Studiens frågeställningar är följande:

- Förändrades halterna av NO₂, O₃ och PM₁₀ i luft under covid-19-pandemin i Sverige?
- Finns det skillnader i förändringen av NO₂, O₃ och PM₁₀ under covid-19-pandemin mellan urbana- och landsbygdsområden, samt mellan områden med olika mängd vägtrafik?

Hypoteser

Studiens nollhypotes är att det inte är någon skillnad i luftföroreningshalterna innan och under covid-19-pandemin eller mellan urbana- och landsbygdsområden samt mellan områden med mycket och lite trafik. Den alternativa hypotesen är att det finns en skillnad i halterna av luftföroreningar under covid-19-pandemin jämfört med perioden innan, samt att det finns en skillnad mellan urbana områden och landsbygd, samt mellan områden med mycket och lite vägtrafik. Den alternativa hypotesen är vald för att upptäcka en förändring, positiv eller negativ, eftersom det inte är entydigt åt vilket håll luftkvaliteten bör ha förändrats. Hypoteserna testas separat för respektive förorening.

Avgränsningar

Studien genomförs i Sverige och är begränsad till luftföroreningarna NO₂, O₃ och PM10, som direkt eller indirekt härrör från vägtrafik (Carslaw, 2005; Manisalidis, 2020; Salvador et al., 2004). Det grundas i att NO₂ och PM10 i Sverige är de luftföroreningar vars halter oftast överskrider miljö kvalitetsnormer för luft (Naturvårdsverket, 2023), medan förekomsten av O₃ enligt flera tidigare studier globalt har ökat under covid-19-pandemin (Baghel et al. 2023; Gamelas et al. 2021; Sicard et al., 2020a). Vidare är studien tidsmässigt avgränsad till inledningen av covid-19-pandemin, från 15 mars till 13 juni 2020, och motsvarande period under våren 2015–2019 som referensperiod.

Miljövetenskaplig relevans

Luftföroreningar är ett stort miljöproblem såväl globalt som i Sverige, främst med hänsyn till dess hälsoeffekter för människor (Manisalidis, 2020). Genom att studera hur förändrade trafikmönster till följd av covid-19-pandemin påverkade halterna av luftföroreningar kan vi öka kunskapen kring i vilken mån trafiken kan regleras för att förbättra luftkvaliteten (Speranza & Caggiano, 2022). Att studera skillnader mellan stads- och landsbygdsområden kan också bidra till att öka förståelsen för var trafikminskningar kan ge störst effekt och åtgärder bör prioriteras. På så sätt kan exponering för luftföroreningar och riskerna för människors hälsa reduceras.

Etisk reflektion

Studien använder data som Statens meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) har sammanställt. Det innebär enligt deras licensvillkor att jag har tillstånd att använda, kopiera, distribuera och bearbeta denna data (SMHI, 2021). Däremot ska jag tydligt ange SMHI som källa och vilken bearbetning av datamaterialet som har gjorts i arbetet (SMHI, 2021).

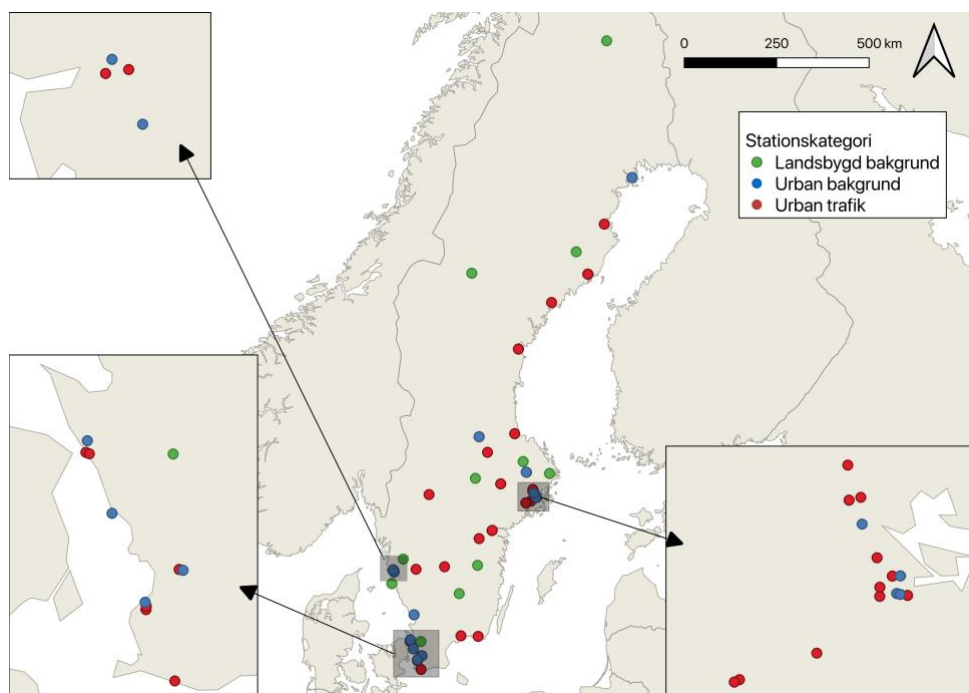
Studien baseras på analys och tolkning av data vilket medför ett ansvar för hur resultaten kommuniceras. Därmed blir det viktigt med transparens kring hur dataanalysen har genomförts, vilka data som har exkluderats och vilka brister metoden har. Tolkningen av resultaten bör göras med varsamhet och tydlighet, särskilt om resultaten skulle användas i praktiken som stöd eller underlag för trafikåtgärder för att minska halter av luftföroreningar.

Metod

För att besvara frågeställningarna utfördes en dataanalys i form av en kontrollerad före-efter-studie med pandemirestriktionernas införande som gräns. Områden med mycket trafik fungerade som påverkansområden medan områden med bakgrundsmätningar utgjorde kontrollområden. Därtill genomfördes ett test av meteorologiska data för att avgöra om dessa kunde ha orsakat en förändring i halterna av NO₂, O₃ och PM₁₀.

Empiriskt material och studieområde

Som empiriskt material har befintliga mätdata för NO₂, O₃ och PM₁₀ inhämtats från SMHI:s öppna databas för luftkvalitetsdata. Där finns en sammanställning av halter av olika luftföroreningar som bland annat kommuner och myndigheter har samlat in från mätstationer i olika delar av Sverige mellan 1959 och 2024 (SMHI, u.å.a). Mätstationerna är klassificerade enligt områdeskategori; om det är landsbygd, förort eller urban miljö, samt om den primära källan till utsläpp är bakgrund, industri eller trafik (SMHI, u.å.a). Kategorin bakgrund innebar att det är mindre vägtrafik i området, medan kategorin trafik syftar till att området är mer vältrafikerat. Tidsupplösningen för mätvärdena i databasen varierar (SMHI, u.å.a), men i denna studie inkluderades endast mätstationer med data per timme, för att kunna beräkna dagliga maxvärden. De mätstationer som ingick i studien, då de uppfyllde kriterierna för studieperiod och tidsupplösning och hade mätdata för NO₂, O₃ och PM₁₀, utgjorde ungefär en tiondel av alla mätstationer i databasen och visas i Figur 1. Inga mätstationer med industri som primär utsläppskälla hade mätdata för studieperioden.



Figur 1.

De utvalda mätstationernas geografiska spridning indelat i stationskategorier. Kartan är skapad i QGIS med hjälp av information om mätstationernas lokalisering från SMHI (u.å.a).

Enligt Tabell 1 återfanns flest mätstationer för NO₂ och PM₁₀ i urbana områden med trafik som huvudsaklig utsläppskälla, medan O₃ hade en övervikt av bakgrundsstationer.

Tabell 1.

Antal mätstationer som inkluderats i analysen för kvävedioxid (NO₂), ozon (O₃) och grova partiklar (PM₁₀) i respektive stationskategori för område och primär källa.

Områdeskategori	Primär källa	Antal mätstationer för NO ₂	Antal mätstationer för O ₃	Antal mätstationer för PM ₁₀
Urban	Trafik	32	3	28
	Bakgrund	12	13	5
Landsbygd	Bakgrund	1	11	5

Förortsstationerna, som enbart var fyra till antalet och hade mätdata för O₃, inkluderades i den likartade gruppen urban bakgrund. I de fall där det fanns flera mätstationer för samma gata och områdeskategori har bara en av stationerna tagits med i analysen för att undvika överrepresentation.

För PM10 återfanns 13 stationer i Götaland, 19 i Svealand och 4 i Norrland. För NO₂ var fördelningen likartad med 18 stationer i Götaland, 20 i Svealand och 8 i Norrland. O₃ hade däremot en större övervikt av mätstationer söderut med 15 i Götaland, 5 i Svealand och 4 i Norrland.

Som undersökningsperiod för covid-19-pandemin har den 15 mars till 13 juni 2020 använts, eftersom såväl pandemirestriktionerna som trafikminskningarna var särskilt omfattande under denna period (Folkhälsomyndigheten, 2023; Trafikverket, 2021). Motsvarande datum under åren 2015–2019 har använts som referensperiod för att beakta årstidsvariationer till följd av meteorologiska förändringar. Referensperioden ansågs tillräckligt lång för att ta hänsyn till årliga variationer i trafikbeteende och meteorologiska faktorer, men inte i den grad att långsiktiga förändringar såsom klimatförändringar påverkar resultatet. Några av mätstationerna hade enbart data för vissa av referensåren, men har ändå inkluderats i analysen.

Statistisk analys

Efter att ha inhämtat mätdata från SMHI, validerades och sammanställdes den med hjälp av programvaran R (version 4.4.0; R Core Team, 2024) och R Studio (version 2023.12.1.402.1; RStudio Team, 2023) som integrerad utvecklingsmiljö. Av medelvärdena per timme användes det högsta värdet för respektive dag i analysen, eftersom dessa dagliga maxvärden i högre utsträckning kan tänkas ha påverkats av trafikmängden. Avvikande värden över 1000 µg/m³, som sannolikt orsakats av mätfel eller liknande, exkluderades från analysen. All data kombinerades till en datamatrix för att kunna analyseras. Kolumner lades till för områdeskategori (urban/landsbygd) och primär utsläppskälla (trafik/bakgrund) för varje mätstation samt om tidpunkten för varje mätning inföll under covid-19-pandemin eller inte.

Som statistiskt test genomfördes först en regressionsanalys med utökad varians. Två modeller skapades med hjälp av lme4 paketet (version 1.1.35.3) till R (Bates et al., 2023) för att undersöka sambandet mellan luftföroreningshalterna och variablerna områdes- och källkategori. I den ena modellen ingick även pandemin som en förklarande variabel, det vill säga en regressionskoefficient för om mätningen inföll under 2020. Därtill inkluderades en slumpmässig varians i intercept mellan mätstationer och år i båda modellerna för att representera variation i föroreningshalter som inte kunde förklaras av övriga variabler. Som signifikansnivå valde jag 0,05 vilket motsvarar en gräns på teststorheten på $t > 1,96$ eller $t < -1,96$.

Vidare genomfördes en variansanalys av modellerna med teststorheten χ^2 i R (version 4.4.0; R Core Team, 2024). Syftet var att avgöra om pandemin som ytterligare en variabel i modellen gav signifikant bättre passform till mätvärdena, för att fastställa om pandemin gav någon signifikant skillnad på luftföroreningshalterna, samt vilken betydelse områdeskategori och trafik hade för halterna och eventuella förändringar.

Här valde jag en signifikansnivå på 0,05, vilket innebär att jag förkastar nollhypotesen om $p < 0,05$ och kan dra slutsatsen att det finns en statistiskt signifikant förändring.

Meteorologisk analys

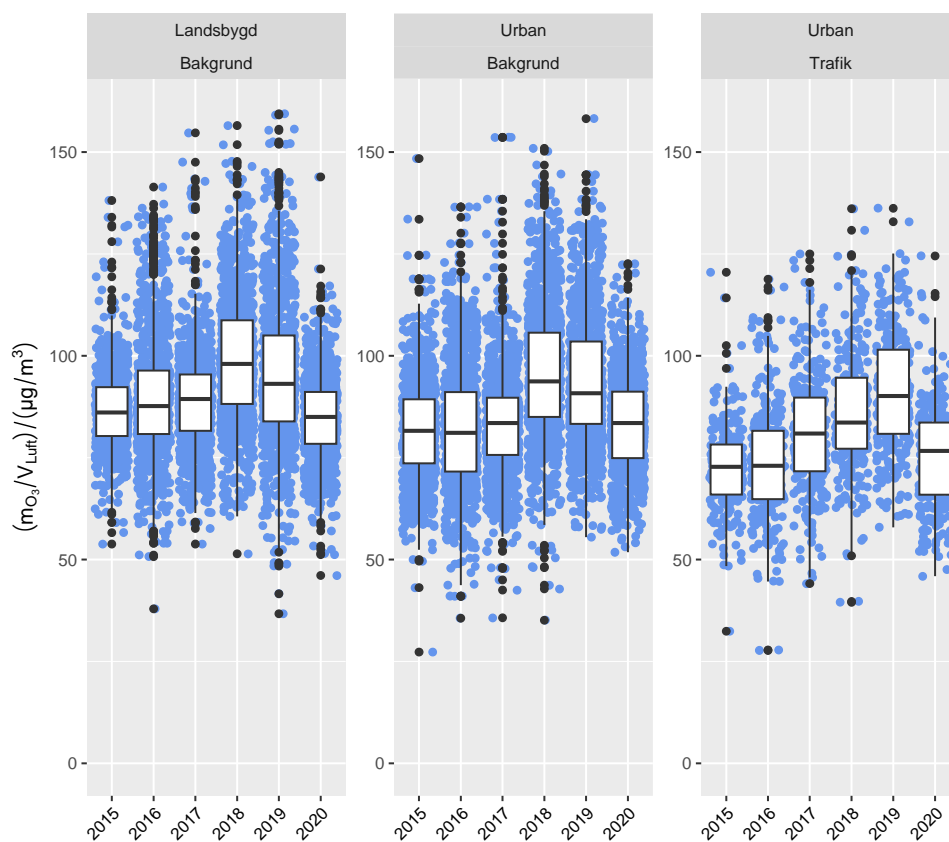
För att kontrollera för eventuella orsaker till en förändring i partikelhalter undersökte jag om det fanns en skillnad i väder före respektive under pandemin i Enköping, genom en statistisk analys av meteorologiska data. Dagliga medelvärden för nederbörds mängd, lufttemperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet från 15 mars till 13 juni jämfördes mellan 2015–2019 och 2020. Mätdata inhämtades genom SMHI (u.å.b) från Försvarmaktens mätstation i Enköping (Stationsnummer 97370). Denna station valdes på grund av dess centrala läge i förhållande till luftföroreningsstationernas geografiska fördelning (Figur 1) och att den hade data för utvalda meteorologiska parametrar och år. Mätdata för relativ luftfuktighet och vindhastighet fanns enbart med tidsupplösningen per timme och omvandlades därför till dagliga medelvärden. Welchs t-test genomfördes i syfte att avgöra om det finns en statistiskt signifikant skillnad mellan 2015–2019 och 2020.

Resultat

I detta avsnitt presenteras för varje förorening en figur över de dagliga maxhalterna 2015–2020 samt resultat från regressionsanalys och variansanalys. Avvikande värden i Figur 2, 4 och 6, alltså inte de avvikande värden som helt exkluderades från analysen, definieras i det här fallet som värden som är minst en och en halv gånger interkvartilavståndet större än övre kvartilen eller mindre än nedre kvartilen. I regressionsanalysen nämns enbart värdena från modellen med pandemivariablerna, eftersom modellerna hade liknande värden vad gäller storlek och signifikans. Värdet på koefficienterna från regressionsanalyserna representeras av β . Samtliga värden från regressionsanalyserna återfinns i Tabell 5, 6 och 7 i appendix. Avslutningsvis presenteras resultat från den meteorologiska analysen.

Ozon (O_3)

Trenden för dagliga maxvärden av O_3 (Figur 2) visar en tydlig nedgång under 2020 jämfört med motsvarande period 2018–2019 för alla områdes- och källkategorier. Däremot syns ingen stor skillnad jämfört med åren 2015–2017 för någon av kategorierna. Vid jämförelse av stationskategorierna i Figur 2 kan något högre halter urskiljas för landsbygdsområden och miljöer med mindre trafik.

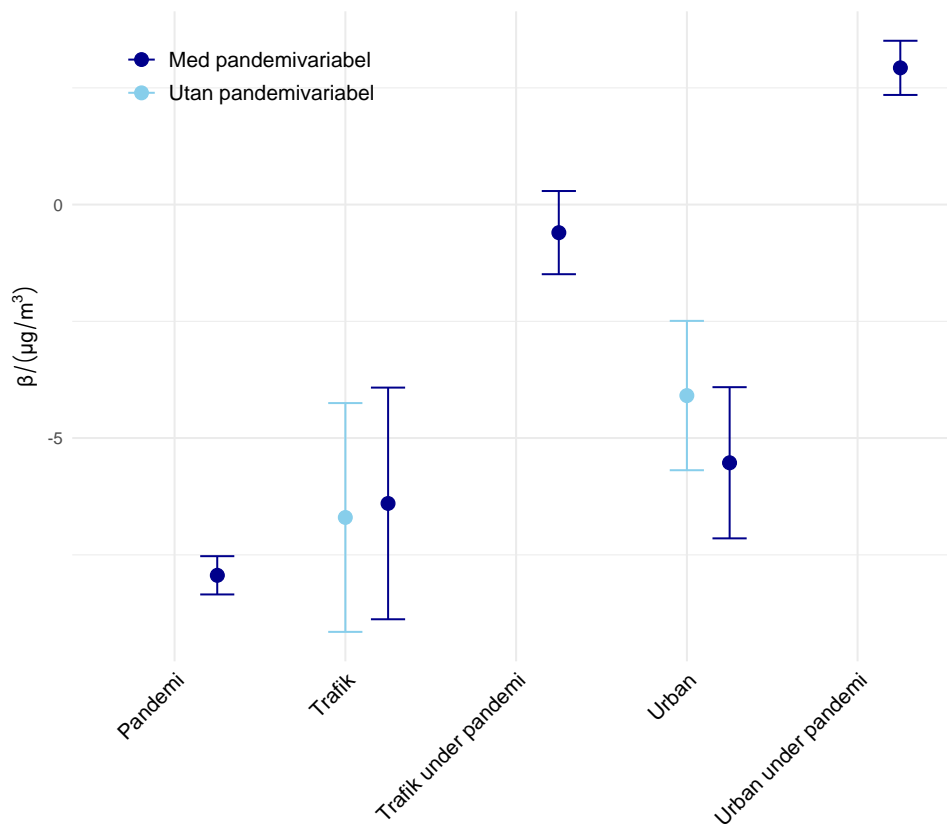


Figur 2.

Dagliga maxhalter (blå) för ozon (O_3) i $\mu\text{g}/\text{m}^3$, även visade som lådagram och avvikande värden (svarta), för olika stationskategorier under studieperioden.

Det finns enligt Figur 3 och Tabell 5 signifikant lägre halter i hårt trafikerade (Trafik) jämfört med icke-hårt trafikerade miljöer ($\beta = -6,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 2,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -2,58$). Även urbana områden (Urban) har signifikant lägre halter än landsbygdsområden ($\beta = -5,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 1,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -3,41$).

Covid-19-pandemin (Pandemi) innebär enligt Figur 3 och Tabell 5 en signifikant minskning av O_3 -halterna överlag ($\beta = -7,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 0,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -19,52$), men minskningen är signifikant mindre i urbana miljöer (Urban under pandemi) jämfört med landsbygdsområden ($\beta = 2,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 0,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = 5,07$). Det finns ingen skillnad i förändringen under pandemin mellan hårt och mindre trafikerade miljöer (Trafik under pandemi) ($\beta = -0,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 0,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -0,68$).



Figur 3.

Regressionskoefficienter (β) och standardfel (SE) i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ för regressionsanalysens variabler för ozon (O_3), både för modellen med (mörkblå) och utan (ljusblå) pandemi som en variabel.

Den slumpmässiga variabeln för enskilda mätstationer har ett medelvärde på $-1,26 \cdot 10^{-9} \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SD = $3,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Medelvärdet för den slumpmässiga variabeln för olika år är $-2,28 \cdot 10^{-13} \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SD = $2,20 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Variansanalysen av nästade modeller (Tabell 2) visar att pandemin förklarar en stor del av variationen i mätvärden för O_3 och att det finns en statistiskt signifikant skillnad i modellerna med och utan pandemin ($\chi^2 = 36,77$, $\text{df} = 3,00$, $p = 5,14 \cdot 10^{-8}$).

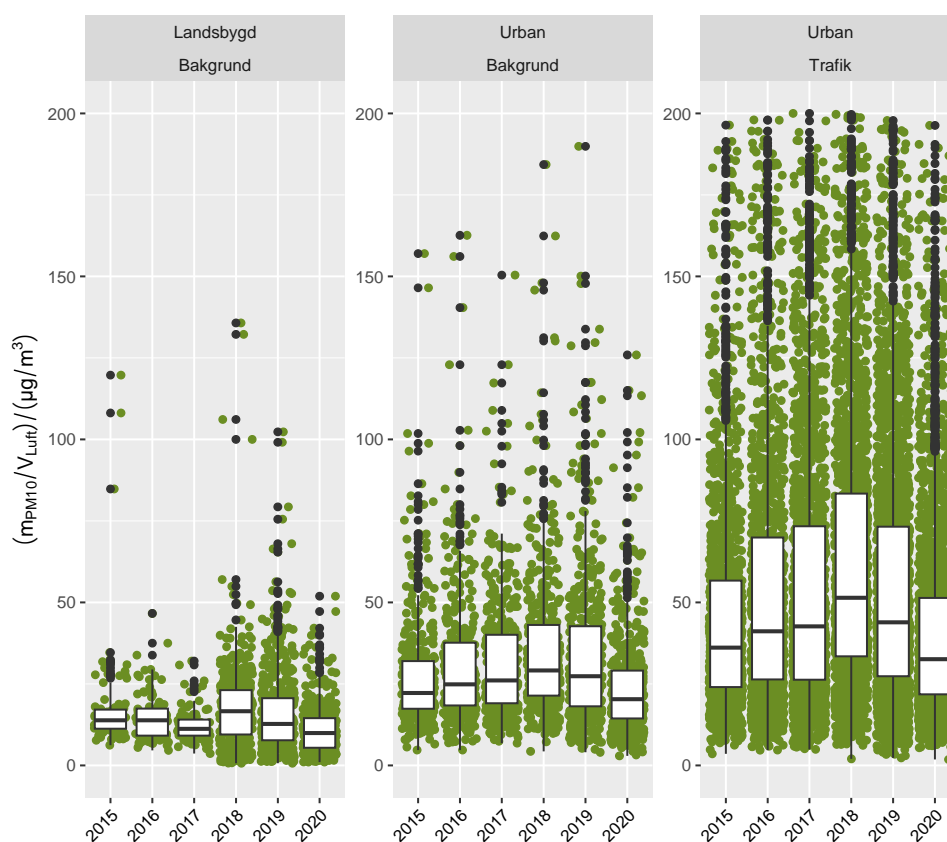
Tabell 2.

Resultat från variansanalys av modeller för ozon (O_3) med teststorheten χ^2 , antal frihetsgrader (df) och p-värde för testet som jämför modeller med och utan pandemi som förklarande variabler.

Modell	Antal parametrar	χ^2	df	p
Utan pandemivariabel	6,00	36,77	3,00	$5,14 \cdot 10^{-8}$
Med pandemivariabel	9,00			

Grova partiklar (PM10)

De dagliga maxvärdena av PM10 är enligt Figur 4 generellt lägre under pandemiåret 2020 jämfört med samtliga referensår 2015–2019 för alla tre stationskategorier. Detta gäller i synnerhet jämfört med 2018 och 2019 då halterna av PM10 är särskilt höga. Överlag är halterna av PM10 högre vid urbana områden än landsbygdsområden samt högre vid områden med mycket trafik.



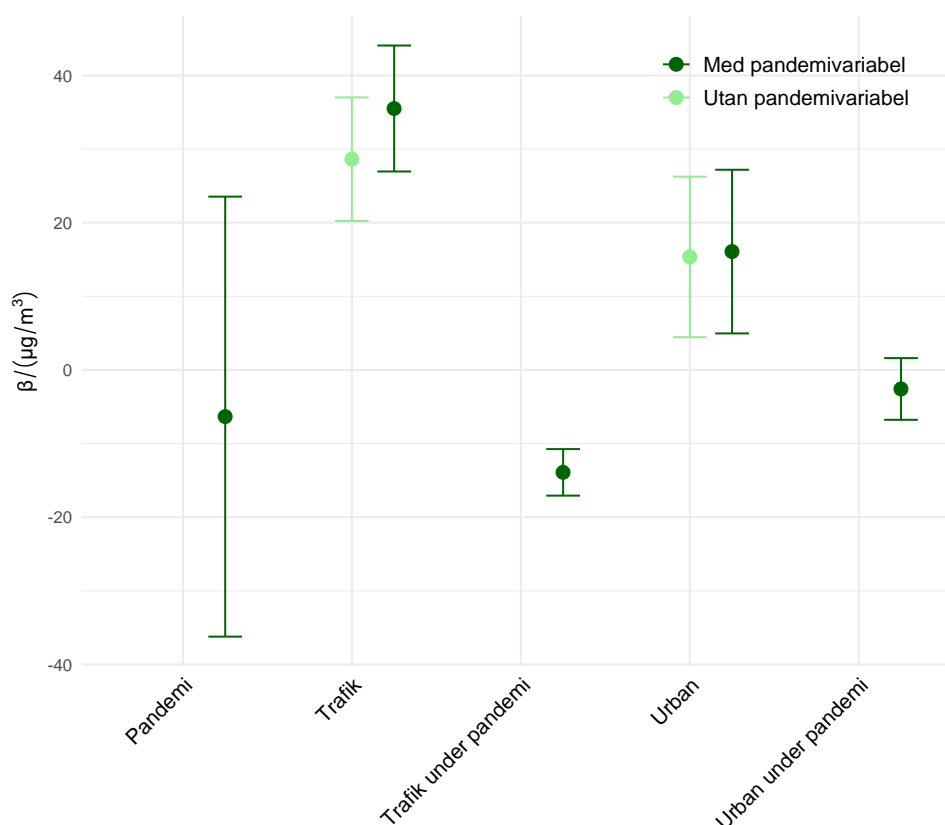
Figur 4.

Dagliga maxhalter (gröna) för grova partiklar (PM10) i $\mu\text{g}/\text{m}^3$, även visade som lådagram och avvikande värden (svarta), för olika stationskategorier under studieperioden. Notera att värden över $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ har exkluderats.

Enligt Figur 5 och Tabell 6 har områden med mycket trafik (Trafik) signifikant högre halter av PM10 än områden med mindre trafik ($\beta = 35,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 8,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = 4,15$). En mätstations områdeskategori (Urban) har däremot ingen signifikant

betydelse för PM10-halterna ($\beta = 16,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 11,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = 1,45$), även om en viss högre halt i urban miljö kan urskiljas.

Modellen visar enligt Figur 5 och Tabell 6 en nedgång av halterna vid stationer med mycket trafik under pandemin (Trafik under pandemi) ($\beta = -13,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 3,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -4,41$), men i övrigt ingen effekt överlag (Pandemi) ($\beta = -6,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 29,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -0,21$) eller i urbana områden (Urban under pandemi) ($\beta = -2,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SE} = 4,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -0,62$).



Figur 5.

Regressionskoefficienter (β) och standardfel (SE) i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ för regressionsanalysens variabler för grova partiklar (PM10), både för modellen med (mörkgrön) och utan (ljusgrön) pandemi som en variabel.

För de slumpmässiga variablerna är medelvärdet för mätstationer $-2,78 \cdot 10^{-11} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{SD} = 16,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$) och medelvärdet för olika år $-2,39 \cdot 10^{-11} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{SD} = 21,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Variansanalysen av nästade modeller (Tabell 3) visar att pandemin förklarar en stor del av variationen i mätvärden för PM10 och att det finns en statistiskt signifikant skillnad i modellerna med och utan pandemin ($df = 3,00$, $\chi^2 = 47,46$, $p = 2,78 \cdot 10^{-10}$).

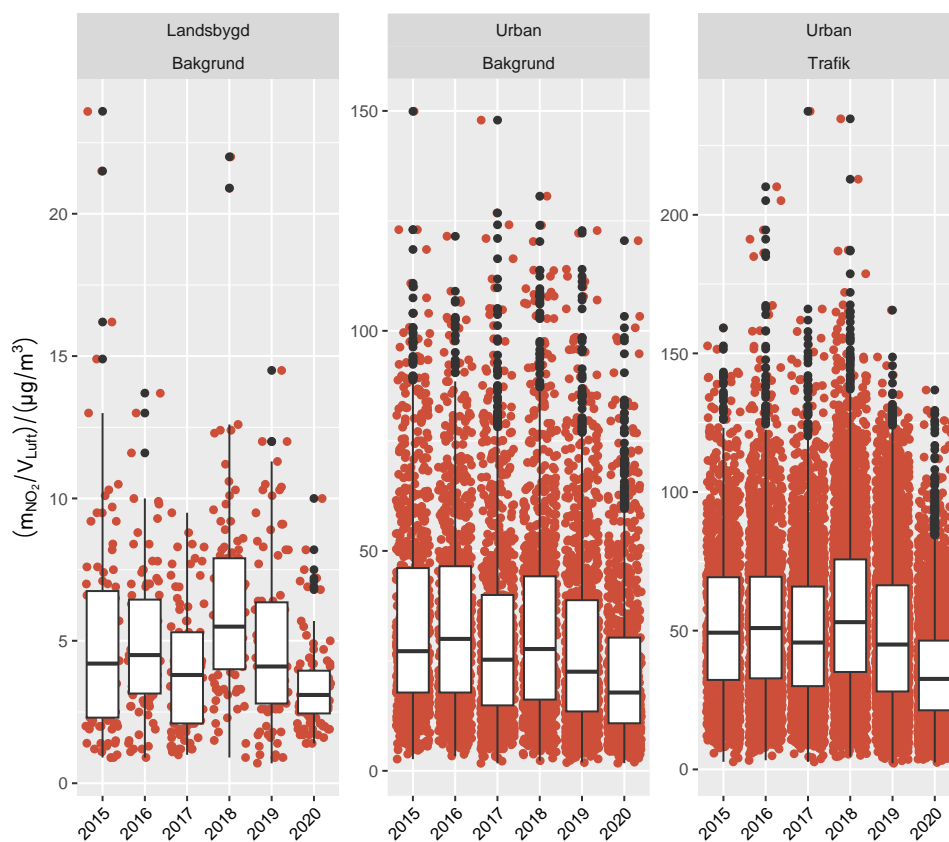
Tabell 3.

Resultat från variansanalys av modeller för grova partiklar (PM10) med teststorheten χ^2 , antal frihetsgrader (df) och p-värde för testet som jämför modeller med och utan pandemi som förklarande variabler.

Modell	Antal parametrar	χ^2	df	p
Utan pandemivariabel	6,00	47,46	3,00	$2,78 \cdot 10^{-10}$
Med pandemivariabel	9,00			

Kvävedioxid (NO₂)

Halterna av NO₂ är generellt lägre under 2020 jämfört med alla år under referensperioden 2015–2019 enligt Figur 6. Överlag är halterna av NO₂ högst i urbana miljöer med mycket trafik (Urban trafik) och lägst i landsbygdsområden med lite trafik (Urban bakgrund).

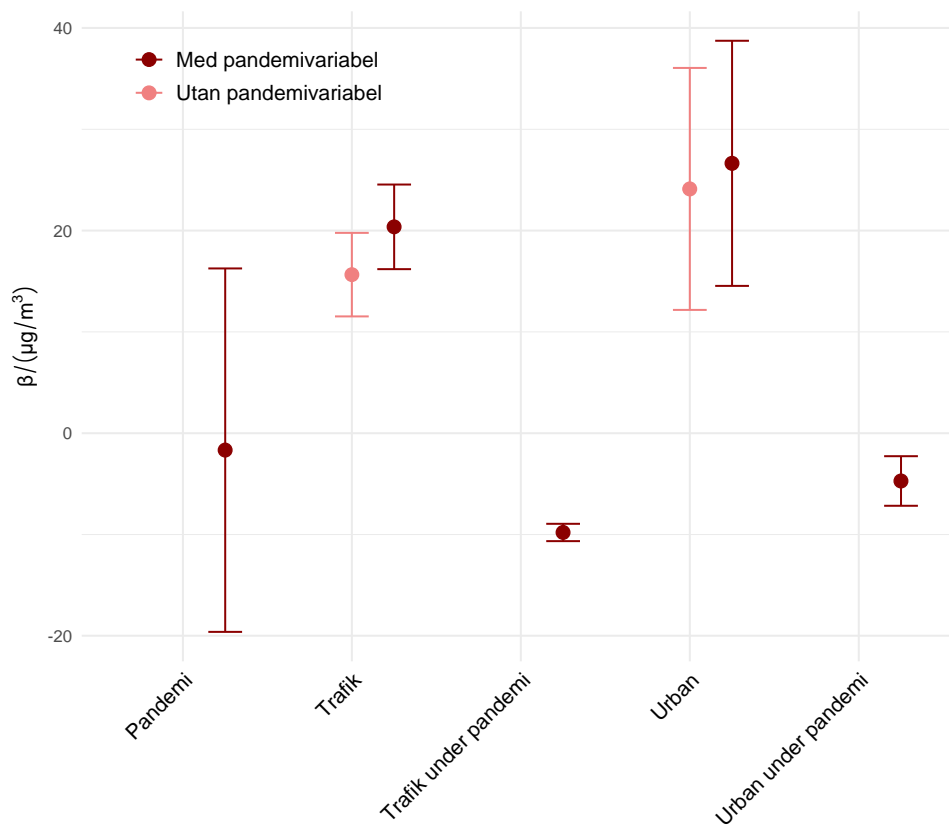


Figur 6.

Dagliga maxhalter (röda) för kvävedioxid (NO₂) i µg/m³, även visade som lådagram och avvikande värden (svarta), för olika stationskategorier under studieperioden. Notera att skalorna på y-axeln varierar mellan kategorierna.

Enligt Figur 7 och Tabell 7 uppmäter mätstationer i miljöer med mycket trafik (Trafik) signifikant högre halter av NO₂ jämfört med stationer i mindre trafikerade områden under perioden 2015–2020 ($\beta = 20,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SE = $4,18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = 4,87$). Detta gäller även för urbana områden (Urban) jämfört med landsbygdsområden ($\beta = 26,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SE = $12,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = 2,20$).

Covid-19-pandemin (Pandemi) har ingen signifikant effekt på halterna av NO₂ ($\beta = -1,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SE = $17,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -0,09$) enligt Figur 7 och Tabell 7. Däremot innebär covid-19-pandemin en signifikant minskning av halterna i områden med mycket trafik (Trafik under pandemi) ($\beta = -9,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SE = $0,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -11,42$). Ingen signifikant effekt finns för urbana områden (Urban under pandemi) jämfört med landsbygdsområden under pandemin ($\beta = -4,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SE = $2,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $t = -1,93$).



Figur 7.

Regressionskoefficienter (β) och standardfel (SE) i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ för regressionsanalysens variabler för kvävedioxid (NO_2), både för modellen med (mörkröd) och utan (ljusröd) pandemi som en variabel.

Den slumpmässiga variabeln för enskilda mätstationer är i genomsnitt $-6,70 \cdot 10^{-13} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{SD} = 11,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Medelvärdet för den slumpmässiga variabeln för olika år är $3,38 \cdot 10^{-12} \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{SD} = 12,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Enligt variansanalysen av nästade modeller (Tabell 4) förklarar pandemin en betydande del av variationen i NO_2 -mätvärden och det finns en statistiskt signifikant skillnad mellan modellerna med och utan pandemivariabel ($\chi^2 = 166,75$, $\text{df} = 3,00$, $p = 2,20 \cdot 10^{-16}$).

Tabell 4.

Resultat från variansanalys av modeller för kvävedioxid (NO₂) med teststorheten χ^2 , antal frihetsgrader (df) och p-värde för testet som jämför modeller med och utan pandemi som förklarande variabler.

Modell	Antal parametrar	χ^2	df	p
Utan pandemivariabel	6,00	166,75	3,00	2,20·10 ⁻¹⁶
Med pandemivariabel	9,00			

Meteorologisk analys

Av Tabell 5 kan utläsas att mellan före (2015–2019) och under (2020) covid-19-pandemin finns det i Enköping inte någon statistiskt signifikant skillnad i nederbörds mängd ($p = 0,14$) eller lufttemperatur ($p = 0,41$). Däremot finns det i Enköping en statistiskt signifikant skillnad i vindhastighet mellan perioderna ($t = -4,20$, $p = 5,24 \cdot 10^{-5}$), från i genomsnitt 2,23 m/s (SD = 0,84 m/s) 2015–2019 till 2,67 m/s (SD = 0,91) 2020, liksom i relativ luftfuktighet ($t = 3,53$, $p = 5,78 \cdot 10^{-4}$), från i genomsnitt 70,63 % 2015–2019 (SD = 12,74 %) till 65,70 % 2020 (SD = 11,72 %).

Tabell 5.

Medelvärde (M) och standardavvikelse (SD) av nederbörds mängd (mm), lufttemperatur (°C), relativ luftfuktighet (%) och vindhastighet (m/s) från Enköpings mätstation under 2015–2019 och 2020, samt antal frihetsgrader (df), t-värde och p-värde från t-testen. Enheterna gäller endast för M och SD.

Parameter	2015-2019		2020		df	t-test	
	M	SD	M	SD		t	p
Nederbörds- mängd / mm	1,02	2,48	0,66	1,95	153,93	1,49	0,14
Lufttemperatur / °C	8,46	5,79	7,99	4,69	150,39	0,82	0,41
Relativ luftfuktighet / %	70,63	12,74	65,70	11,72	130,31	3,53	5,78·10 ⁻⁴
Vindhastighet / (m/s)	2,23	0,84	2,67	0,91	117,49	-4,20	5,24·10 ⁻⁵

Summering av resultat

Sammanfattningsvis visar resultaten att covid-19-pandemin innebar en nedgång i halterna av NO₂, O₃ och PM₁₀ i luften i vissa områden. För PM₁₀ och NO₂ minskade halterna enbart i vanligtvis hårt trafikerade miljöer under covid-19-pandemin och inte

i övriga urbana miljöer eller landsbygdsområden. För O_3 minskade halterna på landsbygd under covid-19-pandemin, medan förändringen i urbana miljöer var mindre eller obefintlig, och det finns ingen skillnad i förändringen mellan hårt och mindre trafikerade miljöer. Den relativa luftfuktigheten minskade och vindhastigheten ökade i Enköping under covid-19-pandemin, medan lufttemperaturen och nederbördsmängden var oförändrade, jämfört med referensperioden.

Diskussion

Covid-19-pandemin och dess implikationer för mobiliteten i samhället gav en unik möjlighet att studera trafikens inverkan på luftföroreningar på lokal nivå. Denna studie har kunnat kartlägga förändringen i halterna av NO₂, O₃ och PM10 under covid-19-pandemin, samt skillnader i förändringen mellan urbana- och landsbygdsområden, samt mellan vältrafikerade och mindre trafikerade områden.

Trafikens betydelse

Resultaten synliggör genom regressionsanalysen att trafik är en viktig variabel för halterna av alla tre studerade luftföroreningar. För PM10 har områden med mycket trafik signifikant högre halter, vilket kan förklaras av att PM10 i viss utsträckning härrör från vägslitage och avgasemissioner (Salvador et al., 2004; Furusjö et al., 2007). Samma samband gäller för NO₂. Där har bland annat Górká-Kostrubiec & Dudzisz (2023) visat att avgasemissioner från vägtrafik är den faktor som har störst påverkan på de lokala halterna. Varför samtliga urbana områden, även de med mindre trafik, har högre halter än landsbygdsområden är svårare att avgöra. En möjlig förklaring är att andra urbana utsläppskällor för NO₂, exempelvis industrier, samt lokala förutsättning kan påverka halterna i stor utsträckning (Carslaw, 2005; Zeng & Zhang, 2017).

O₃ skiljer sig från de övriga ämnena genom att vältrafikerade områden har generellt lägre halter i luft. Därtill är halterna högre i landsbygdsområden jämfört med urbana områden, vilket är i linje med vad tidigare studier har visat (Paoletti et al., 2014). En förklaring är höga halter av kväveoxider (NO_x) i stadsmiljö. NO_x kan bidra till att bilda O₃ genom reaktion med exempelvis flyktiga organiska ämnen (VOC) eller kolmonoxid och syre (Gamelas et al., 2021; Paoletti et al., 2014), men också reducera halterna genom att O₃ reagerar med NO_x (Baghel et al., 2023). I städer är tillgången till flyktiga organiska ämnen oftast mer begränsad än tillgången till NO_x, vilket gör att den senare processen relativt dominerar så att halterna av O₃ är lägre i urbana områden (Sicard et al., 2020b). Utöver trafiken kan det finnas andra bakomliggande faktorer som har större betydelse för halterna av O₃.

Covid-19-pandemin

Resultatet från variansanalyserna, med signifikanta skillnader mellan modellerna i regressionsanalyserna, åskådliggör att covid-19-pandemin hade en inverkan på samtliga studerade luftföroreningar. Därmed kan den första delen av nollhypotesen, att det inte fanns någon skillnad i halterna av PM10, NO₂ och O₃ innan och under covid-19-pandemin, förkastas. Resultatet stödjer istället att den alternativa hypotesen är riktig.

Genom regressionsanalyserna syns en minskning av luftföroreningshalterna i alla eller vissa av områdeskategorierna under covid-19-pandemin. För PM10 och NO₂ kan en minskning enbart fastställas i hårt trafikerade områden. Det är i linje med vad bland annat Donzelli et al. (2020) kunde visa i italienska städer för PM10, men gäller i det här fallet även för NO₂. Andra studier såsom Sicard et al. (2020a) har dock kunnat visa på större minskningar av NO₂ i vältrafikerade områden under covid-19-pandemin. Därtill kunde Moreda-Piñeiro et al. (2021) påvisa en direkt korrelation mellan trafikminskningar under pandemin och halter av NO₂. Således tyder resultaten i denna studie på att minskningen av NO₂- och PM10-halterna under covid-19-pandemin orsakades av minskade trafikvolym, sannolikt till följd av pandemirekommendationerna, även om ett sådant orsakssamband inte kan fastställas genom denna studie. Resultaten innebär att nollhypotesen, att det inte finns någon skillnad i förändringen under covid-19-pandemin mellan stationer med trafik eller bakgrund som primär källa, kan förkastas för NO₂ och PM10. Det går däremot inte att förkasta nollhypotesen att det inte finns någon skillnad i förändringen mellan urbana- och landsbygdsområden

O₃ skiljer sig från PM10 och NO₂ då halterna minskade i landsbygdsområden under covid-19-pandemin. Om halterna av O₃ minskade eller var oförändrade i urbana områden under pandemin går inte att avgöra utifrån resultatet, men om halterna minskade var det i lägre utsträckning än i landsbygdsområden. Den andra delen av nollhypotesen kan således delvis förkastas. Resultatet för O₃ i är oväntat. Dels med tanke på de ökningarna som har påträffats globalt i flera tidigare studier (Baghel et al. 2023; Gamelas et al. 2021; Sicard et al., 2020a), dels för att NO₂-halterna ökade i Sverige i vältrafikerade områden, vilket borde leda till en minskning av O₃-nedbrytning och därmed högre halter av O₃. Den mindre påtagliga förändringen i urban miljö kan tyda på att trafiken eller andra urbana utsläppskällor på något sätt påverkade halterna av O₃ genom förändrade utsläpp av ämnena som bildar och bryter ned det.

En potentiell orsak till den signifikanta minskningen av O₃ under 2020 är ovanligt höga halter under 2018 och 2019. Om halterna för 2020 enbart jämförs med 2015–2017 kan ingen tydlig ökning eller minskning urskiljas för någon av områdeskategorierna. En annan möjlig förklaring är minskade halter av andra ämnen som krävs för att bilda O₃ såsom VOC eller kolmonoxid (Sicard et al., 2020a), vilka inte har undersökts i denna studie.

Vidare kan meteorologiska förändringar vara en orsak till nedgången i halterna av O_3 under 2020 jämfört med 2015–2019. Meteorologiska faktorer kan ha påverkat även PM_{10} och NO_2 under covid-19-pandemin i viss utsträckning. Resultatet, med en signifikant minskning enbart i vältrafikerade områden, stödjer dock att trafiken oavsett har stor inverkan på halterna av dessa ämnen. Dessutom går det utifrån den meteorologiska analysen inte att avgöra om och hur vädret förändrades i Sverige under covid-19-pandemin jämfört med referensperioden, eftersom endast en mätstation ingår i analysen och resultatet därmed inte kan appliceras på hela Sverige.

Implikationer och applicerbarhet

Resultaten indikerar att reducerade utsläpp genom minskade trafikvolymen bidrar till lägre halter av såväl NO_2 som PM_{10} . Det går dock inte att genom denna studie fastställa att det är trafiken som har orsakat nedgången av halterna, bland annat eftersom data över trafikmängder inte ingår i studien. Vidare synliggör covid-19-pandemin att vi genom åtgärder och minskningar i trafikvolym och utsläpp kan åstadkomma tydliga förbättringar i luftkvalitet och folkhälsa, särskilt i områden med mycket vägtrafik. Denna studies resultat tyder även på att relativt begränsade restriktioner, såsom i Sverige under covid-19-pandemin, har en effekt. Det är dock svårt att jämföra effekten i Sverige med studier i andra länder, eftersom dessa studier oftast kvantifierat förändringen av luftföroreningshalterna procentuellt till skillnad från denna studie. Andra studier har dock visat att länder med förhållandevis begränsade restriktioner under covid-19-pandemin, såsom Tyskland och Belgien, också hade tydliga förbättringar i luftkvalitet, om än mindre än i länder med mer långtgående restriktioner (Bauwens et al. 2020). Resultatet i denna studie kan dock inte ge någon tydlig indikation att trafikmängderna påverkar halterna av O_3 .

Vidare indikerar resultaten att åtgärder som minskar trafikvolymen i stadsmiljö, till exempel trängselskatter och miljözoner, har en positiv effekt på luftkvaliteten. Möjligheterna att nå miljö kvalitetsnormer för luft och minimera risker för överskridanden torde öka om sådana åtgärder genomförs. Covid-19-pandemin illustrerar att stora omställningar och förbättringar kan göras, rimligtvis även med andra drivkrafter och tillvägagångssätt än under covid-19-pandemin.

Resultaten torde i viss mån även vara applicerbara för andra luftföroreningar som hyser risker för människors hälsa. Det gäller i synnerhet för föroreningar som till stor del släpps ut från vägtrafik, till exempel sot och kolmonoxid (EEA, 2020). För föroreningar, exempelvis svaveldioxid, som i Sverige i högre utsträckning härrör från andra källor såsom industrier (Naturvårdsverket, u.å), är resultaten troligen inte applicerbara.

Huruvida resultatet kan generaliseras till att gälla utanför Sverige är osäkert. Lokala variationer förekommer och olika förutsättningar mellan olika länder gör att

trenderna varierar, vilket särskilt har påvisats för O₃. Det torde däremot vara mer allmängiltigt globalt att en minskning i vägtrafik såsom under covid-19-pandemin bidrar till lägre halter av PM10 och NO₂.

Begränsningar och vidare studier

Till skillnad från flera tidigare studier på området är detta en före-efter-studie med kontrollområden i form av bakgrundsmätningar. Det gör det möjligt att avgöra trafikens betydelse för luftföreningshalterna och förändringen under covid-19-pandemin. Studien kan dock inte kvantifiera hur stora trafikförändringar som orsakar specifika förändringar i luftkvalitet, enbart att de gör det, eftersom data saknas för storleken på lokala trafikmängder under studieperioden. Istället har SMHI:s kategoriseringen av mätstationerna legat till grund för analysen. Det bör också påpekas att kategorierna av mätstationer inte är homogena i termer av i vilken utsträckning de är urbana och hur stora de närliggande trafikflödena är.

På grund av studiens design går det inte heller att helt utesluta att ytterligare faktorer utöver trafik och meteorologi kan ha påverkat luftföreningshalterna. Dessutom har enbart en väderstation inkluderats i den meteorologiska analysen, vilket inte fångar de regionala skillnader som påverkar luftföreningar lokalt. Således går det inte att dra några slutsatser om hur vädret generellt var i Sverige under covid-19-pandemin och hur eventuella förändringar jämfört med referensperioden kan ha påverkat luftföreningshalterna. Fler mätstationer i olika delar av Sverige hade behövts för att kunna applicera den meteorologiska analysen på hela Sverige.

Däremot används ett stort urval av mätstationer för luftföreningshalter i studien, vilket gör de resultaten mer tillförlitliga och generaliserbara. Emellertid kan resultaten ha påverkats av en snedfördelning av mätstationer, både vad gäller fördelningen mellan stationskategorier (Tabell 1) och geografiskt med en övervikt av stationer i storstadsområdena, särskilt för urbana bakgrundsstationer (Figur 1). Det kan vara en orsak till att statistiskt signifikant förändring under covid-19-pandemin påträffas i de stationskategorier med flest mätstationer och därmed mest mätdata, men inte i de kategorier med färre mätstationer.

Vidare ingår det inte i denna studie att undersöka om förbättringarna i luftkvalitet kan ha bidragit till förändrad påverkan på människors hälsa. Där finns ett behov av vidare epidemiologiska studier, exempelvis med fokus på förändring och luftföreningsrelaterade sjukdomar hos Sveriges befolkning under covid-19-pandemin, vilka kan dock vara svåra att genomföra med tanke på de i övrigt förändrade sjukdomstalen under pandemin. Även människors förändrade rörelsemönster under covid-19-pandemin kan ha påverkat exponeringen för luftföreningar, vilket skulle kunna studeras.

Det har inte heller ingått i denna studie att undersöka i vilken mån luftkvalitetsförbättringarna bibehålls efter covid-19-pandemin, vilket skulle kunna vara föremål för vidare studier. Slutligen ger denna studie en bra grund för hur trafikinterventioner kan studeras. Olika trafikåtgärder, exempelvis så kallade miljözoner som har implementerats i flera svenska städer, skulle kunna undersökas på liknande sätt som covid-19-pandemin med en kontrollerad före-efter-studie, för att se hur effektiva de är för att förbättra luftkvaliteten.

Slutsats

Denna studie av NO₂, O₃ och PM₁₀ har bidragit till ökad förståelse för covid-19-pandemins påverkan på halterna av luftföroreningar, med hjälp av mätdata från SMHI:s databas för luftkvalitet. Halterna av NO₂ och PM₁₀ i luft minskade i vältrafikerade områden under covid-19-pandemin i Sverige, sannolikt till följd av minskade trafikvolym, men förblev oförändrade i landsbygdsområden eller mindre trafikerade urbana miljöer. O₃-halterna i luft minskade oväntat i landsbygdsområden och minskade lite eller inte alls i urbana områden under pandemin, troligen på grund av andra faktorer än vägtrafik. Överlag indikerar studien att det är möjligt att förbättra luftkvaliteten i städer genom att minska mängden vägtrafik. Vidare studier behövs för att epidemiologiskt utvärdera trafikförändringarnas effekter samt fastställa hur effektiva olika styrmedel för trafik är för att förbättra luftkvaliteten i praktiken.

Tack

Denna studie kunde genomföras tack vare tillgången till luftkvalitetsdata från SMHI och insamlingen av luftkvalitetsdata av Sveriges kommuner och myndigheter. Jag vill också tacka min handledare Ullrika Sahlin för vägledning i statistik och med utformningen av studien samt för återkoppling under arbetets gång. Tack till Agnes, Indre, Moa och Ylva i min grupphandledningsgrupp och vår grupphandledare Nina Reistad för värdefull respons och givande diskussioner. Slutligen vill jag tacka mina andra klasskamrater, inte minst Liam, för deras stöd, kloka råd och goda sällskap under våra gemensamma studiestunder.

Referenser

- Baghel, N., Kumari, S., Lakhani, A., Satsangi, A. & Kumari, K. M. (2023). Impact of COVID-19 pandemic lockdown on atmospheric concentrations of particulate matter, trace gases and volatile organic compounds at a suburban site of Agra. *Journal of Earth System Science*, 134, Artikel 169. <https://doi.org/10.1007/s12040-023-02181-3>
- Bauwens, M., Compennolle, S., Stavrakou, T., Müller, J.-F., van Gent, J., Eskes, H., Levelt, P. F., van der A., R., Veeffkind, J. P., Vlietinck, J., Yu, H. & Zehner, C. (2020). Impact of coronavirus outbreak on NO₂ Pollution assessed using TROPOMI and OMI observations. *Geophysical Research Letters*, 47(11), Artikel e2020GL087978. <https://doi.org/10.1029/2020GL087978>
- Bitta, J., Svozilík, V. & Svozilíková Krakovská, A. (2021). Aneta effect of the COVID-19 lockdown on air pollution in the Ostrava region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), Artikel 8265. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168265>
- Bañuelos-Gimeno, J., Sobrino, N. & Arce-Ruiz, R. M. (2023). Effects of mobility restrictions on air pollution in the Madrid region during the COVID-19 pandemic and post-pandemic periods. *Sustainability*, 15, Artikel 12702. <https://doi.org/10.3390/su151712702>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2014). *lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4* (Version 1.1.35.3) [Datorprogram]. The Comprehensive R Archive Network. <http://cran.r-project.org/web/packages/lme4/index.html>
- Carslaw, D. C. (2005). Evidence of an increasing NO₂/NO_x emissions ratio from road traffic emissions. *Atmospheric Environment*, 39(26), 4793–4802. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.06.023>
- Donzelli, G., Cioni, L., Cancellieri, M., Llopis Morales, A. & Morales Suárez-Varela, M. M. (2020). The effect of the covid-19 lockdown on air quality in three Italian medium-sized cities. *Atmosphere*, 11, Artikel 1118. <https://doi.org/10.3390/atmos11101118>
- Eliasson, J., Berglund, S. & Sundberg, M. (2024, 15 januari,). *Transporterna i Sverige – nuläge och prognoser. Underlagsrapport till inriktningsunderlag 2026–2037* (Rapport 2024:010). Trafikverket. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1827888/FULLTEXT01.pdf>
- Europeiska miljöbyrån. (2020, 23 juli). *European Union emission inventory report 1990–2018 under the UNECE convention on long-range transboundary air pollution (LRTAP)* (Rapport 05/2020). <https://doi.org/10.2800/233574>
- Folkhälsomyndigheten. (2023, 13 juni). *När hände vad under pandemin?*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/utbrott/aktuella-utbrott/covid-19/nar-hande-vad-under-pandemin/>

- Furusjö, E., Sternbeck, J. & Palm Cousins, A. (2007). PM10 source characterization at urban and highway roadside locations. *Science of The Total Environment*, 387(1-3), 206–219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.021>
- Galán-Madruga, D. (2023) Urban air quality changes resulting from the lockdown period due to the COVID-19 pandemic. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 7083–7098. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04464-6>
- Gamelas, C., Abecasis, L., Canha, N. & Almeida, S. M. (2021). The impact of COVID-19 confinement measures on the air quality in an urban-industrial area of Portugal. *Atmosphere*, 12(9), Artikel 1097. <https://doi.org/10.3390/atmos12091097>
- Gao, J. (2020). P-values – a chronic conundrum. *BMC Medical Research Methodology*, 20, Artikel 167. <https://doi.org/10.1186/s12874-020-01051-6>
- Ghose, M. K., Paul, R. & Banerjee, S. K. (2004). Assessment of the impacts of vehicular emissions on urban air quality and its management in Indian context: the case of Kolkata (Calcutta). *Environmental Science & Policy*, 7(4), 345–351. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2004.05.004>
- Górka-Kostrubiec, B. & Dudzisz, K. (2023). Effect of COVID-19 pandemic restrictions on air pollution at a local scale in urban areas affected by high-intensity vehicle traffic in Poland. *Acta Geophysica*, 71, 1085–1097. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-01005-0>
- Helsingen, L. M., Refsum, E., Gjøstein, D. K., Løberg, M., Bretthauer, M., Kalager, M. & Emilsson, L. (2020). The COVID-19 pandemic in Norway and Sweden – threats, trust, and impact on daily life: a comparative survey. *BMC Public Health*, 20, Artikel 1597. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09615-3>
- Hudda, N., Simon, M. C., Patton, A. P. & Durant, J. L. (2020). Reductions in traffic-related black carbon and ultrafine particle number concentrations in an urban neighborhood during the COVID-19 pandemic. *Science of The Total Environment*, 742, Artikel 140931. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140931>
- Kuhlmann, S., Hellström, M., Ramberg, U. & Reiter, R. (2021). Tracing divergence in crisis governance: responses to the COVID-19 pandemic in France, Germany and Sweden compared. *International Review of Administrative Sciences*, 87(3), 556–575. <https://doi.org/10.1177/0020852320979359>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulou, A. & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Environmental health and Exposome*, 8, Artikel 14. <https://doi.org/10.3389/eh.2020.00014>
- Matthaios, V. N., Lawrence, J., Martins, M. A. G., Ferguson, S. T. Wolfson, J. M., Harrison, R. M. & Koutrakis, P. (2022). Quantifying factors affecting contributions of roadway exhaust and non-exhaust emissions to ambient PM10–2.5 and PM2.5–0.2 particles. *Science of The Total Environment*, 835, Artikel 155368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155368>
- Moreda-Piñeiro, J., Sánchez-Piñeiro, J., Fernández-Amado, M., Costa-Tomé, P., Gallego-Fernández, N., Piñeiro-Iglesias, M., López-Mahía, P. & Muniategui-Lorenzo, S. (2021). Evolution of Gaseous and Particulate Pollutants in the Air: What changed after five lockdown weeks at a Southwest Atlantic European region (Northwest of Spain) due to the SARS-CoV-2 pandemic?. *Atmosphere*, 12(5), Artikel 562. <https://doi.org/10.3390/atmos12050562>

- Naturvårdsverket. (u.å.). *Svaveldioxid (SO₂)*. Utsläpp i siffror. Hämtat den 20 maj 2024 från <https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/sv/Amnen/Andragaser/Svaveldioxid/?epslanguage=sv&selectedCountryCode=sv¤tPage=956>
- Naturvårdsverket. (2023, 20 november). *Överskridanden av miljökvalitetsnormerna*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/overskridanden-av-miljokvalitetsnormerna/>
- Naturvårdsverket. (2024, 2 februari). *Miljökvalitetsnormer för utomhusluft*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/>
- Paoletti, E., De Marco, A., Beddows, D. C. S., Harrison, R. M. & Manning, W. J. (2014). Ozone levels in European and USA cities are increasing more than at rural sites, while peak values are decreasing. *Environmental Pollution*, 192, 295–299. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.04.040>
- Pierre, J. (2020). Nudges against pandemics: Sweden’s COVID-19 containment strategy in perspective. *Policy and Society*, 39(3), 478–493. <https://doi.org/10.1080/14494035.2020.1783787>
- R Core Team. (2024). R: *A language and environment for statistical computing* (Version 4.4.0). R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- Ravindra, K., Singh, T., Biswal, A., Singh, V. & Mor, S. (2021). Impact of COVID-19 lockdown on ambient air quality in megacities of India and implication for air pollution control strategies. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 21621–21632. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11808-7>
- RStudio Team. (2023). *RStudio: Integrated Development for R* (Version 2023.12.1.402.1). RStudio. <http://www.rstudio.com/>
- Qiao, Z., Wu, F., Xu, X., Yang, J. & Liu, L. (2019). Mechanism of spatiotemporal air quality response to meteorological parameters: A national-scale analysis in China. *Sustainability*, 11(14), Artikel 3957. <https://doi.org/10.3390/su11143957>
- Salvador, P., Artuñano, B., Alonso, D. G., Querol, X. & Alastuey, A. (2004). Identification and characterisation of sources of PM₁₀ in Madrid (Spain) by statistical methods. *Atmospheric Environment*, 38(3), 435–447. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.09.070>
- Sicard, P., De Marco, A., Agathokleous, E., Feng, Z., Xu, X., Paoletti, E., Diéguez Rodríguez, J. J. & Calatayud, V. (2020a). Amplified ozone pollution in cities during the COVID-19 lockdown. *Science of The Total Environment*, 735, Artikel 139542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139542>
- Sicard, P., Paoletti, E., Agathokleous, E., Araminiené, V., Proietti, C., Coulibaly, F. & De Marco, A. (2020b). Ozone weekend effect in cities: Deep insights for urban air pollution control. *Environmental research*, 191, Artikel 110193. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110193>
- Slezakova, K. & Pereira, M. C. (2021). 2020 COVID-19 lockdown and the impacts on air quality with emphasis on urban, suburban and rural zones. *Scientific Reports*, 11, Artikel 21336. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99491-7>
- Speranza, A. & Caggiano, R. (2022). Impacts of the COVID-19 lockdown measures on coarse and fine atmospheric aerosol particles (PM) in the city of Rome (Italy):

- compositional data analysis approach. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 15, 2035–2050. <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01235-7>
- Statens meteorologiska och hydrologiska institut. (u.å.a). *Halter i luft* [Dataset]. Datavärdskap luft. Hämtat den 18 april 2024 från <https://datavardluft.smhi.se/portal/concentrations-in-air>
- Statens meteorologiska och hydrologiska institut. (u.å.b). *Ladda ner meteorologiska observationer* [Dataset]. Hämtat den 25 april 2024 från <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airHumidity,stations=active,stationid=97370>
- Statens meteorologiska och hydrologiska institut. (2021, 11 november). *Villkor för användning*. <https://www.smhi.se/data/oppna-data/villkor-for-anvandning-1.30622>
- Tobías, A., Carnerero, C., Reche, C., Massagué, J., Via, M., Cruz Minguillón, M., Alastuey, A. & Querol, X. (2020). Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Science of The Total Environment*, 726, Artikel 138540. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138540>
- Trafikverket. (2021, 19 mars). *Trafikförändringar per vecka på det statliga vägnätet*. <https://bransch.trafikverket.se/tjanster/trafiktjanster/Vagtrafik--och-hastighetsdata/trafikarbetets-forandring-pa-det-statliga-vagnatet-tf/trafikforandringar-per-vecka-pa-det-statliga-vagnatet/>
- Världshälsoorganisationen. (u.å.). *Exposure & health impacts of air pollution*. Hämtat den 28 mars 2024 från <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-energy-and-health/health-impacts/exposure-air-pollution>
- Yang, J., Shi, B., Shi, Y., Marvin, S., Zheng, Y. & Xia, G. (2020). Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form. *Sustainable Cities and Society*, 54, Artikel 101941. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101941>
- Zeng, S. & Zhang, Y. (2017). The effect of meteorological elements on continuing heavy air pollution: A case study in the Chengdu area during the 2014 spring festival. *Atmosphere*, 8(4), Artikel 71. <https://doi.org/10.3390/atmos8040071>

Appendix

I följande avsnitt finns tabeller för regressionsanalyserna av O₃ (Tabell 5), PM10 (Tabell 6) och NO₂ (Tabell 7).

Tabell 5.

Regressionskoefficienter (β) och standardfel (SE) i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ samt t-värde för regressionsanalysens variabler för O₃, både för modellen med och utan pandemi som en variabel.

<i>Variabel</i>	Utan pandemivariabel			Med pandemivariabel		
	$\beta /$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SE / ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	t	$\beta /$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SE / ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	t
<i>Pandemi</i>				-7,94	0,41	-19,52
<i>Trafik</i>	-6,70	2,45	-2,74	-6,40	2,48	-2,58
<i>Urban</i>	-4,09	1,60	-2,55	-5,53	1,62	-3,41
<i>Trafik under pandemi</i>				-0,60	0,89	-0,68
<i>Urban under pandemi</i>				2,93	0,58	5,07

Tabell 6.

Regressionskoefficienter (β) och standardfel (SE) i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ samt t-värde för regressionsanalysens variabler för PM10, både för modellen med och utan pandemi som en variabel.

<i>Variabel</i>	Modell utan pandemi			Modell med pandemi		
	$\beta /$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SE / ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	t	$\beta /$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SE / ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	t
<i>Pandemi</i>				-6,34	29,87	-0,21
<i>Trafik</i>	28,62	8,39	3,41	35,50	8,56	4,15
<i>Urban</i>	15,35	10,90	1,41	16,07	11,11	1,45
<i>Trafik under pandemi</i>				-13,91	3,15	-4,41
<i>Urban under pandemi</i>				-2,58	4,19	-0,62

Tabell 7.

Regressionskoefficienter (β) och standardfel (SE) i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ samt t-värde för regressionsanalysens variabler för NO_2 , både för modellen med och utan pandemi som en variabel.

<i>Variabel</i>	Utan pandemivariabel			Med pandemivariabel		
	$\beta /$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SE/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	t	$\beta /$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SE / ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	t
Pandemi				-1,67	17,94	-0,09
Trafik	15,65	4,12	3,79	20,37	4,18	4,87
Urban	24,11	11,94	2,02	26,64	12,10	2,20
Trafik under pandemi				-9,80	0,86	-11,42
Urban under pandemi				-4,72	2,44	-1,93



LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund