



Luchtverontreiniging in stedelijke megaregio's

CONCENTRATIEVERANDERINGEN 2000-2019

DOOR FLEUR WEIJER 2666674

SCRIPTIEBELEIDER: ERIC KOOMEN

24 JUNI 2022

Abstract

In deze studie is er gekeken naar de verandering van luchtverontreiniging in een periode van 2000-2019. Er wordt gekeken naar drie stoffen 2,5 PM, NO₂ en SO₂. Deze stoffen hebben allemaal een grote invloed op de gezondheid van de mens. 2,5PM is het gevaarlijkst voor de gezondheid, omdat deze een verhoogde kans op hart- en vaatziekten en kanker kan veroorzaken. Naar schatting overleiden er zo'n 4,2 miljoen mensen vroegtijdig in Zuidoost Azië. 2,5PM bestaat uit een mengsel van verschillende emissies. Een groot deel van 2,5 PM is secundair fijnstof en deze ontstaat uit secundaire anorganische en organische aerosolen. Secundaire anorganische aerosolen komen weer voort uit onder andere NO₂ en SO₂. Hierdoor zijn deze stoffen aan elkaar gelinkt. Als er veel uitstoot is van NO₂ en SO₂ is er ook een grotere kans op vorming van 2,5PM. De concentraties van deze 3 stoffen zijn in een tijdsperiode van 2000-2019 bekeken in drie stedelijke regio's: de Randstad, Londen en Greater Bay Area China (GBAC). Er is gekeken hoe de concentraties zich verhouden tot de advieswaarde van de Europese Commissie (= max 25 µg/m³ voor 2,5 PM) en de advieswaardes van de WHO (= max 5 µg/m³ voor 2,5PM). In de resultaten is duidelijk te zien dat de luchtkwaliteit verbeterd. De jaargemiddelde concentraties van alle drie de stoffen dalen, maar de gemiddeldes van GBAC liggen nog minimaal 14 µg/m³ boven de gemiddeldes van de Randstad en Londen. De concentraties 2,5PM in de Randstad en Londen zijn van 25-15 µg/m³ (2000) naar 20-10 µg/m³ (2019) gegaan. In China blijft het grootste gebied boven de 25 µg/m³, maar is er in het oosten een gebied bijgekomen die een jaargemiddelde concentratie heeft tussen 20-25 µg/m³. Wel is de populatie in de stedelijke gebieden flink toegenomen. Dit betekent dat er in GBAC nu 11 miljoen meer mensen in risico gebied wonen boven de 25 µg/m³. In 2019 behalen alle drie de gebieden nog niet de streefwaarden van de WHO (5 µg/m³).

Inhoudsopgave

Abstract	1
1. Introductie	3
2. Theoretisch kader	5
2.1 Fijnstof (2,5PM)	5
2.2 Gasvormige verontreinigers	6
2.3 Aandeel secundaire fijnstof	6
3. Methode	7
3.1 Bepalen onderzoeksgebieden	7
3.2 Jaargemiddelde concentratie van fijnstof (2,5PM)	8
3.3 Jaargemiddelde concentratie van NO ₂ en SO ₂	8
3.4 Verandering exposure regio's	9
4. Resultaten	10
4.1.1 Jaargemiddelde concentratie van fijnstof (2,5PM)	10
4.1.2 Jaargemiddelde concentratie NO ₂	11
4.1.3 Jaargemiddelde concentratie SO ₂	12
4.1.4 Verhouding	12
4.2 Verandering van blootstelling aan fijnstof 2,5PM	13
5. Discussie	18
6. Conclusie	21
Referenties	22
Appendix 1: Concentratie NO ₂ China	25

1. Introductie

Luchtverontreiniging is een groot probleem en er worden al jaren maatregelen ingevoerd om de luchtkwaliteit te verbeteren. In 2018 is er berekend dat luchtverontreiniging tot een van de belangrijkste risicofactoren hoort voor de gezondheid, wel 3,5% van de ziektelast (RIVM, 2021) en de WHO schat dat dit nog veel hoger ligt, omdat deze schade ook bij lage blootstelling kan optreden. Volgens de WHO zal lange blootstelling aan luchtverontreiniging de kans op vroegtijdig sterven met 6% verhogen. Vooral in Zuidoost-Azië en de westelijke kant van de Stille oceaan overlijden er naar schatting 4,2 miljoen mensen vroegtijdig als gevolg van luchtverontreiniging (WHO, 2021). In 2013 was er in China in de industriële steden zo veel uitstoot dat er een noodtoestand werd uitgeroepen. De overheid moest maatregelen nemen om de PM_{2,5}-concentratie, een fijner type soort fijnstof, met een kwart omlaag te krijgen (Vervaeke, L., 2018). Het was nodig luchtreinigers aan te schaffen en mondkapjes te dragen als de bewoners naar buiten gingen. In Baoding, een van de meest vervuilde industriesteden nabij Beijing, was de dagelijkse concentratie soms wel 300 of 500 µg/m³, terwijl het bij een concentratie van 180 al zeer schadelijk was om naar buiten te gaan (Vervaeke, L., 2018). Door middel van het sluiten van mijnen en fabrieken kon China de concentratie van 2,5PM flink verminderen, in Baoding zelfs met 49%. Met deze vermindering zit de concentratie van Baoding nog op 84 µg/m³, terwijl de normen in de EU op 25 microgram per jaar ligt (European Commission, 2015). De WHO adviseert zelfs 5 µg/m³ als jaarlijks gemiddelde.

In de lucht kunnen vier soorten luchtverontreiniging onderscheiden worden (Kampa, M., 2008):

1. Gasvormige verontreiniging (SO₂, NO_x=NO+NO₂), ontstaat vooral bij het verbranden van fossiele brandstoffen.
2. Persistente organische verontreinigende stoffen (bijv. dioxines), ontstaan bij het volledig verbranden van producten die chloor bevatten, zoals plastic.
3. Zware metalen (bijv. lood, kwik), deze materialen bevinden zich al in de korst van de aarde en kunnen via het gebruik van grondstoffen of verbranding daarvan in het milieu terecht komen.
4. Fijnstof (PM), dit zijn kleine deeltjes bestaan uit een groot variërende mengsels met verschillende grootte (diameter kleiner dan 2,5 µm en 10 µm) en van antropogene afkomst.

In dit onderzoek zal er gefocust worden op de ontwikkeling van concentratie en verspreiding van fijnstof en van gasvormige verontreinigers. Fijnstof bestaat uit een mengsel van meerdere schadelijke stoffen die in de lucht komen. Fijnstof kan kleiner zijn dan 2,5 µm en dit betekent dat het in de longen en zelfs in bloed terecht kan komen, dit kan leiden tot hart en vaatziekte en verhoogt de kans op kanker (WHO, 2021). Door de blootstelling aan fijnstof wordt de kans op vroegtijdig overlijden door hart- en vaatziekten of kanker groter. Stoffen die zelf een verontreinigende werking hebben en een grote rol spelen in het ontstaan van fijnstof zijn stikstofoxide en zwaveldioxide (NO_x, SO₂) (Yang, S. et al, 2009). Deze komen vrij door verbranding van fossiele brandstoffen, met name in elektriciteitscentrales en motorvoertuigen. Er zal in dit onderzoek gekeken worden naar de invloed van deze stoffen op luchtverontreiniging en het ontstaan van fijnstof.

Vooral de uitstoot van motorvoertuigen komt vrij in stedelijke gebieden en aangezien hier mensen wonen, is het juist van belang dat de luchtkwaliteit in de steden zo goed mogelijk is. In een onderzoek van Andree et al, wordt er aangetoond dat er een trend te zien is tussen de dichtheidbevolktheid en luchtverontreiniging. Naarmate de bevolkingsdichtheid stijgt, stijgt de luchtverontreiniging. Dit gebeurt tot een bepaald punt nadert, als dit punt bereikt wordt stagneert of daalt de luchtverontreiniging zelfs (Andrée et al, 2019). Dit wordt verklaard doordat naarmate de stad groter wordt, een stad welvarender kan worden en er hierdoor meer reducerende maatregelen

getroffen worden (Andree et al, 2019). In de afgelopen 20 jaar is de luchtkwaliteit in stedelijke gebieden erg veranderd en hierom zal in dit onderzoek het verschil vastgelegd worden. De ontwikkeling van luchtverontreiniging zal bekeken worden in drie onderzoeksgebieden: Randstad, Londen en Greater Bay Area China (GBAC). Voor deze gebieden is gekozen, omdat de gebieden een verschillende geschiedenis hebben wat betreft luchtkwaliteit. De Randstad en Londen, bevinden zich dichtbij elkaar en in de EU zijn er al langer maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren. De vervuilde industrie is verplaatst van deze regio's naar Azië. Na China's implementatie van hervormings- en openstellingsbeleid heeft de GBAC-regio een snelle economische groei doorgemaakt. In de periode van 2000 tot 2009 groeide het bruto binnenlands product in de regio met 280%, maar ook het brandstofverbruik met 150% en het gebruik van personenauto's met 530% (Lu, Q et al, 2013). Door deze ontwikkelingen treft China niet alleen de economische gevolgen, maar ook de milieu-gerelateerde. China is, zoals hierboven vernoemd, flinke maatregelen aan het treffen om de luchtverontreiniging te reduceren, maar de concentraties bevinden zich nog steeds ver boven Europees niveau.

Aan de hand van de advieswaardes van de WHO (tabel 1) zal de verandering in luchtkwaliteit van de drie onderzoeksgebieden in kaart gebracht worden.

Tabel 1: Maximale concentraties (WHO, 2021)

	2,5 PM	NO2	SO2
Maximale concentratie gemiddeld over 24 uur	15 µg/m ³	25 µg/m ³	40 µg/m ³
Maximale concentratie gemiddeld over een jaar	5 µg/m ³	10 µg/m ³	-

In de afgelopen 20 jaar zijn niet alleen de maatregelen wat betreft luchtverontreiniging veranderd, maar ook de populatie. Wereldwijd strekken 1,3 miljoen mensen per week naar een stad en dit is al ongeveer 50 jaar zo. Dit heeft er voor gezorgd dat nu meer dan de helft van de wereldbevolking woont in een stedelijke omgeving (VN, 2018). Doordat luchtverontreiniging vaak optreedt in stedelijke gebieden betekent dit dat door de trek van de populatie naar steden en de populatie groei in de afgelopen 20 jaar invloed heeft op de blootstelling van luchtverontreiniging. De hoofdvraag luidt dan ook:

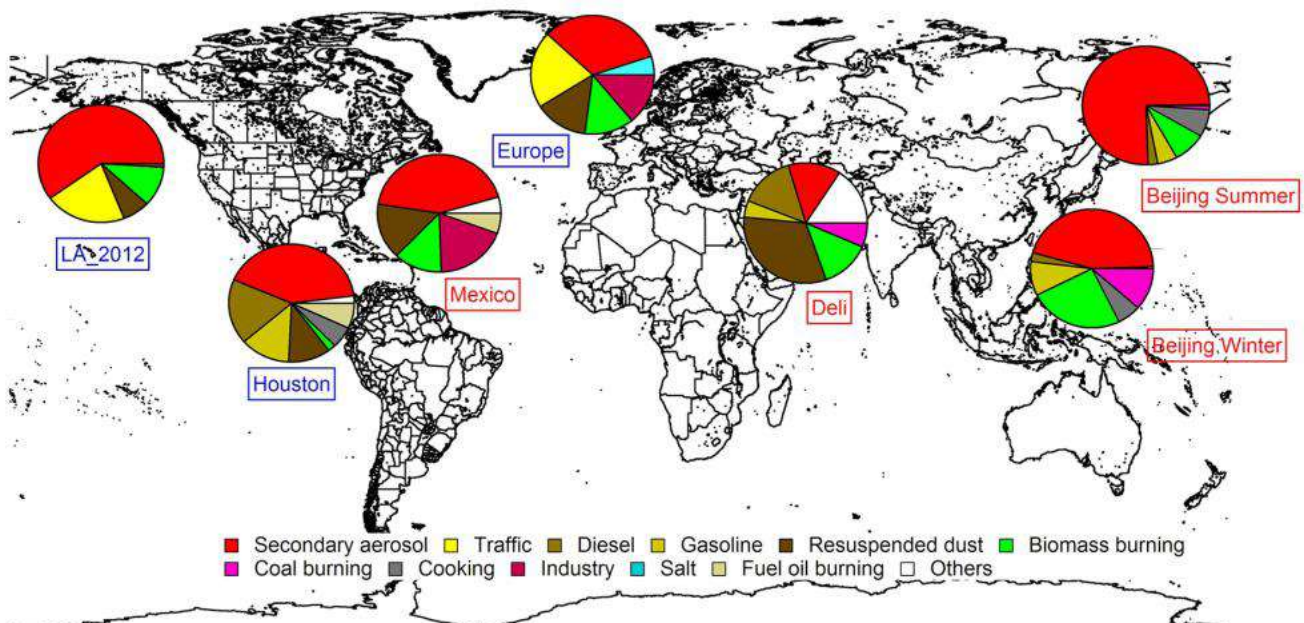
Hoe is de blootstelling aan luchtverontreiniging in de afgelopen 20 jaar veranderd in de stedelijke mega-regio's Randstad, Londen en Pearl River Delta Greater bay area China (GBAC)?

2. Theoretisch kader

2.1 Fijnstof (2,5PM)

Fijnstof ontstaat door een proces in de atmosfeer. Fijnstof wordt voor een deel direct uitgezonden naar de atmosfeer (primair) of in de atmosfeer gevormd door conversie van gas naar deeltjes (secundair). Eerst zijn er emissies van droog-, bebost-, urbaan- en kustgebieden en deze emissies worden getransporteerd in de lucht. Hierdoor gaat het gas zich clusteren. Dit geclusterde gas met verschillende kernen van atomen of moleculen vormen zich tot een nieuwe fase om stabiel te blijven (=nucleatie). Hieruit ontstaan nieuwe deeltjes. In de atmosfeer bevinden zich nu de primaire deeltjes en de nieuwe deeltjes en onder invloed van zonlicht kan er groei en veroudering optreden en wordt er fijn fijnstof gecreëerd. Dit is ook mogelijk in de formatie van een wolk. Hierna dalen de deeltjes in vorm van natte en droge depositie (Zhang, R et al, 2015). Primair fijnstof wordt gevormd door wel 70 mogelijke bronnen, maar de grootste bijdragers bestaan uit verkeersemissies en biomassaverbranding (figuur 1). Uit dit primaire fijnstof ontstaat secundair fijnstof. In figuur 1 zijn de bronnen waaruit het fijnstof bestaat afgebeeld per regio. In elke regio is er een groot aandeel rood, secundaire aerosolen. In de Europa is het aandeel van secundair aerosolen ongeveer een kwart (figuur 1) en in Beijing verschilt dit, in de winter is het ongeveer de helft en in de zomer bijna driekwart. Secundaire aerosolen (Secundair fijnstof) bestaan uit secundaire organische- en anorganische stoffen en ontstaan vanuit een reactie tussen precursoren (voorloper) van verontreinigende stoffen of met de omgeving. Secundair fijnstof ontstaat als moleculen van verzurende stoffen binden tot zouten. Denk dan aan stoffen als stikstofoxiden (NO_x), zwaveldioxide (SO₂) en ammoniak (NH₃). Dit kan ook bijdragen aan het versnellen van 2,5PM, maar de oorzaak is hier nog niet helemaal duidelijk van (Zhang, R et al, 2015). Een zo'n voorbeeld is de zuur-base-reactie tussen organische zuren en basische soorten om stabilere ammonium- en aminiumcarboxylaatzouten te vormen, waardoor het gas-deeltjesevenwicht verschuift en de secundaire organische aerosol vorming toeneemt (Zhang, R et al, 2015).

Fijnstof is dus een mengsel van verschillende emissies, die door meerdere reacties microscopisch klein worden. Dit betekent dat wind een grote invloed heeft op de verspreiding van deze fijnstof. De primaire fijnstof kan een transportafstand hebben van 20 tot 30 km, maar secundaire fijnstof kan zich nog later vormen in het proces, waardoor deze vanuit honderden kilometers benedenwinds kunnen ontstaan (Zhang, R et al, 2015). Verder worden de reacties in de lucht bevorderd door hoge relatieve luchtvochtigheid. NO_x en SO₂ zijn soorten deeltjes die water oplosbare chemische verbindingen hebben en als de relatieve vochtigheid wat hoger is, kan dit er voor zorgen dat er sneller secundair fijnstof wordt gevormt (Yang, S et al, 2009).



Figuur 1 : Bronnen fijnstof (2,5PM) (Zhang, R et al, 2015)

2.2 Gasvormige verontreinigers

Stikstofdioxide en zwaveldioxide spelen een grote rol bij de vorming van secundair fijnstof en hebben buiten dat ook zelf een verontreinigende werking. In tegenstelling tot de 70 verschillende bronnen bij het ontstaan van PM, is de bron voor SO₂ en NO_x wat duidelijker te bepalen.

SO₂ komt vrij bij het verbranden van zwavelhoudende stoffen zoals olie of kool. Zwavelverbindingen kunnen veel gevolgen hebben voor op de gezondheid en heeft in het milieu een verzurende werking (RIVM (1)).

Als er in een motor een reactie is tussen stikstof uit de lucht en zuurstof uit verbranding van fossiele brandstoffen bij een hoge temperatuur ontstaat er NO_x. NO_x is een verzamelnaam voor twee componenten. Een deel komt vrij als NO, stikstofmonoxide en een ander deel komt vrij als NO₂, stikstofdioxide. NO wordt in de atmosfeer ook omgezet in NO₂. NO₂ is een vetmestende stof die hierdoor schade aan het milieu kan brengen (RIVM (1)).

Verspreiding en verdunning van SO₂, NO₂ en ander luchtverontreinigende stoffen worden sterk beïnvloed door meteorologische condities zoals dus windsterkte en -richting, temperatuur, vochtigheid en atmosferische druk (RIVM (2)). Door de uitstoot komen deze stoffen in de lucht en verspreiden ze zich, waardoor er verdunning optreedt. Dit proces heet dispersie. Wind heeft een groot aandeel in het verspreiden, denk bijvoorbeeld al aan landinrichting (RIVM (2)). In dit onderzoek wordt er gefocust op dichtbevolkte stedelijke gebieden. In deze gebieden is de windinvloed kleiner, waardoor luchtverontreinigers langer blijven hangen.

2.3 Aandeel secundaire fijnstof

Uit NO_x en SO₂ bestaan de drie hoofdcomponenten in secundair fijnstof: NO₃, SO₄ en NH₄. Dit zijn secundaire anorganische stoffen. Door uitlaatgassen komt NO₂ in de lucht, als reageert met waterdeeltjes wordt er HNO₃ (salpeterzuur) gevormd. Uit de veehouderij komt NH₃ vrij en als dit reageert met HNO₃, ontstaat er NH₄NO₃ (ammoniumnitraat) (RIVM (2)). Met SO₂ uitstoot gebeurt ongeveer hetzelfde. SO₂ reageert met waterdeeltjes in de lucht, hieruit wordt H₂SO₃ (waterstofsulfiet) gevormd en dit reageert weer met zuurstof. Dan ontstaat er H₂SO₄ (zwavelzuur). Dit reageert met NH₃ en dan vormt zich (NH₄)₂SO₄ (ammoniumsulfaat) (RIVM (2)).

Ammoniumnitraat en ammoniumsulfaat zijn ongeveer 40 of 45% van de 2,5PM (RIVM (2)). In Europa ligt het aandeel van deze stoffen op ongeveer 49%. Een ander deel van secundair fijnstof ontstaat uit secundair organisch aerosol. Dit ontstaat door reacties in de lucht met organische stoffen, maar verder is dit minder goed bekend, omdat er een groot aandeel is van onbekende chemische deeltjes (RIVM (2)). Het wijst er uiteindelijk op dat meer dan de helft van 2,5PM uit secundair fijnstof bestaat (RIVM (2)). In Guangzhou (stad in GBAC) is de verhouding tussen secundaire anorganische en secundaire organische aerosolen ongeveer 59% en 18,1% (de overige 32,9% zijn andere stoffen) (Huang et al, 2014). Zoals te zien is in figuur 1 varieert het aandeel van secundair fijnstof in 2,5PM van 25% tot 75% in de onderzoeksgebieden. Dat betekent dat een groot deel van de schadelijke luchtverontreiniging gevormd wordt door secundaire organische en anorganische aerosolen. Dit wijst op als er een hogere concentratie NO_x of SO₂ is er een grote kans is op de vorming van secundaire anorganische aerosolen en hierbij de hoeveelheid van 2,5PM.

3. Methode

3.1 Bepalen onderzoeksgebieden

De begrenzing van de onderzoeksgebieden zal via QGIS gemaakt worden. Om de grenzen te verduidelijken, wordt er gekeken naar FUA's, dit zijn Functional Urban Areas. Functional Urban area's zijn gebaseerd op woon-werkverkeer als belangrijke informatie, bestaat een FUA uit een dichtbevolkte stad en een omgeving (pendel-zone) waarvan de arbeidsmarkt sterk geïntegreerd is met de stad (OECD, 2012). Samen met de Europese commissie heeft de OECD deze gebieden vastgesteld en hier shapefiles van gemaakt. Als deze shapefiles geopend worden in QGIS kan er onderscheid gemaakt worden tussen twee lagen, namelijk core en core commuting. Core staat voor de kern van de FUA en core commuting is de omliggende regio die qua arbeidsmarkt sterk verbonden is met de core-regio (OECD, 2012), voor het bepalen van de onderzoeksgebieden zal er gebruik gemaakt worden van de core commuting shapefiles.

Omdat de Randstad bestaat uit meerdere stedelijke regio's, zullen er meerdere FUA's gebruikt worden voor het maken van de begrenzing. De FUA's die gebruikt gaan worden zal bestaan uit: Amsterdam, Utrecht, Rotterdam, Den Haag, Leiden, Alphen aan de Rijn, Soest en Amersfoort. Om deze shapfiles zal een gebied getrokken worden om de omtrek van de Randstad te bepalen. Bij de FUA van Amsterdam wordt ook een deel water meegenomen, maar in dit onderzoek is er besloten alleen naar de stedelijke gebieden te kijken. Hierom wordt er via basemaps deze grens bepaald. De basemaps die gebruikt worden zijn:

- Openstreetmap: via XYZ-tiles
- Google Hybrid map: via WEB-> Quickmapservices-> Google-> Google hybrid.

Voor de regio Londen is er al een shapefile en het is hierbij niet nodig gebruik te maken van verschillende FUA's. Hierom zal er een gebied getrokken worden om de shapefile van Londen core commuting.

Voor het bepalen van het onderzoeksgebied voor de Greater bay area China, wordt er gebruik gemaakt van datamaps van BCL, Beijing City Lap (Long, 2020). Het lap focust zich op het gebruik van interdisciplinaire methodes om de urbane dynamiek te kwantificeren en zich in te zetten voor duurzame ontwikkeling (BCL, 2020). In de gehele regio zijn ook meerdere FUA's te zien en hiervan zullen 4 FUA's gekozen worden: Guangzhou_Shenzhen Area, Xiangzhou District, Zhongshan en Zhuhai Main District. Via de attributentabel worden deze regio's geselecteerd en zal hiervan een laag gemaakt worden:

- Attributentabel-> objecten selecteren-> kopiëren naar klembord
- Plakken in de nieuwe laag door: Bewerken-> Objecten plakken als-> Nieuwe vectorlaag

Hierdoor zijn de geselecteerde gebieden nu een aparte laag. Xiangzhou District en Zhuhai Main District liggen beide aan de zee en zijn niet verbonden met de andere twee FUA's, omdat het gaat over de gemiddelde jaarlijkse concentratie van luchtverontreiniging over het gehele gebied zullen de gebieden met elkaar verbonden worden. Deze grenzen worden gebaseerd op een shapefile van het gehele delta gebied. Deze is ontwikkeld in een project over deltagebieden (Global deltarisk) van de universiteit van New York.

3.2 Jaargemiddelde concentratie van fijnstof (2,5PM)

Door middel van QGIS maps van *Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC)*, *A Data Center in NASA's Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS)*, kan de 2,5 PM concentratie over de hele wereld van 1998 tot 2019 opgehaald worden. SEDAC maakt gebruik van verschillende satellietalgoritmen en het GEOS-Chem chemisch transportmodel om deze totale kolommaat van aerosol te relateren aan de PM_{2,5}-concentratie vlak bij het oppervlak in een resolutie van 0,01 graden. Om de gemiddelde concentratie per jaar te vinden zal er door middel van deze kaart gekeken worden, welke waardes er voor komen in de onderzoeksgebieden. De jaarlijkse gemiddelde concentratiewaarden zal van de jaren 2000,2005,2010,2015 en 2019 bepaald worden via QGIS. In QGIS zal de tool gebiedsstatistieken worden gebruikt en onder het kopje gemiddelde staan de benodigde waardes. Hier zal via Excel een grafiek van gemaakt worden. Deze waardes zullen gevonden worden door in QGIS een gebiedsstatistiek uit te voeren voor elk jaar.

3.3 Jaargemiddelde concentratie van NO₂ en SO₂

Om de verandering in jaargemiddelde concentratie van NO₂ en SO₂ te bepalen zal er gebruik gemaakt worden van verschillende rapporten en statistieken:

- Randstad: Er zal gebruik gemaakt worden van gegevens van het Compendium voor de Leefomgeving (CLO, Rijksoverheid). In deze data wordt onderscheid gemaakt tussen regionale achtergrond, stedelijke achtergrond en verkeer belast. Aangezien dit onderzoek gaat over stedelijke gebieden, zullen de cijfers van stedelijke achtergrond gebruikt worden
- Londen: Hier zullen cijfers van de *Department for Environment Food Rural Affairs (DEFRA)*, *air quality statistics* gebruikt worden. In deze gegevens wordt er onderscheid gemaakt tussen landelijke achtergrond concentraties en urbane achtergrond concentraties. Ook hier wordt gebruik gemaakt van de urbane cijfers. De cijfers gaan terug tot 2008 voor SO₂ en hierom is er voor gekozen deze als basis getal te nemen in 2005.
- GBAC: Er zal gebruik gemaakt worden van rapporten van *ministry of ecology and environment (MEE)*. De rapporten van 2000,2005,2010, 2015 en 2019 zullen gebruikt worden. In de rapporten worden eerst de gemiddelde concentraties van 337 steden weergegeven en daarna van 168 steden. De gemiddelden van 168 steden zullen gebruikt worden, omdat deze vooral de oostelijke steden bevatten, onder andere Beijing, Yangtze River Delta en GBAC. Deze gemiddelden zullen meer vergelijkbaar zijn. Als de rapporten verder terug in de tijd gaan wordt er steeds minder data gegeven. Hierom zal er ook gekeken worden naar rapporten uit 2006 en 2002. Hier staan vergelijkingen met jaren ervoor en deze cijfers zullen gebruikt worden.

Als al deze cijfers verzameld zijn in ug/m³, zullen deze in Excel gezet worden en zal er een grafiek van gemaakt worden. Door deze trend te observeren zal ook het aandeel van secundair fijnstof bepaald worden. Als de trend van een van deze stoffen bijvoorbeeld erg daalt, kan er aangenomen worden dat het aandeel in secundair fijnstof ook afneemt (*zie kopje aandeel gasvormige verontreinigers*).

3.4 Verandering exposure regio's

Om de verandering in exposure in kaart te brengen zal er gekeken worden naar 2 verschillende jaren, 2000 en 2019. Op basis van de grenswaardes van de WHO en de Europese Commissie is er een legenda opgesteld:

Tabel 2: legenda voor de concentraties fijnstof in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Kleur	Waarde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Luchtkwaliteit
	< 6	Erg goed
	6-10	Goed
	10-15	Matig
	15-20	Zeer matig
	20-25	Slecht
	>25	Zeer slecht

Aan deze waardes worden kleuren gekoppeld van groen naar donkerrood. In de gebieden zullen de verschillende regio's van elkaar geschieden worden door de aanmaak van een begrenst gebied op QGIS op basis van de legenda. Elke kleur in de legenda is een bepaald blootstellingsgebied. Hierna zal er gekeken worden hoe groot de populatie is in deze regio's. Dit zal gedaan worden aan de hand van de GHSL, Global Human Settlement Layer. De GHSL-laag is gemaakt door 12,4 miljard afzonderlijke beeldgegevensrecords in de afgelopen 40 jaar te verzamelen en deze zijn vergeleken met de opgebouwde structuur. Deze beeldgegevensrecords zijn gemaakt door middel van satellietsensoren. Er is dus geschat hoe veel mensen er zijn op basis van gebouwen en menselijke activiteit (EDGAR, 2015). Deze is verkregen via EDGAR in een resolutie van 250 meter. Hiervan is er gekozen voor de laag uit 2015 en de laag uit 2000, om te vergelijken hoe veel meer mensen in de risicogebieden wonen. De begrensde gebieden uit het jaar 2000 zal geclipt worden aan de GHSL uit 2000 en de begrensde gebieden uit het jaar 2019 aan de laatst verkrijgbare GHSL-laag, 2015. Hiervan zal de totale populatie in dit blootstellingsgebied berekend worden. Dit wordt gedaan door de tool: gebiedsstatistieken en onder SOM zal de totale populatie voor dat bepaalde gebied staan. Deze gegevens zullen daarna in een tabel weergegeven worden. Er zullen drie tabellen gemaakt worden:

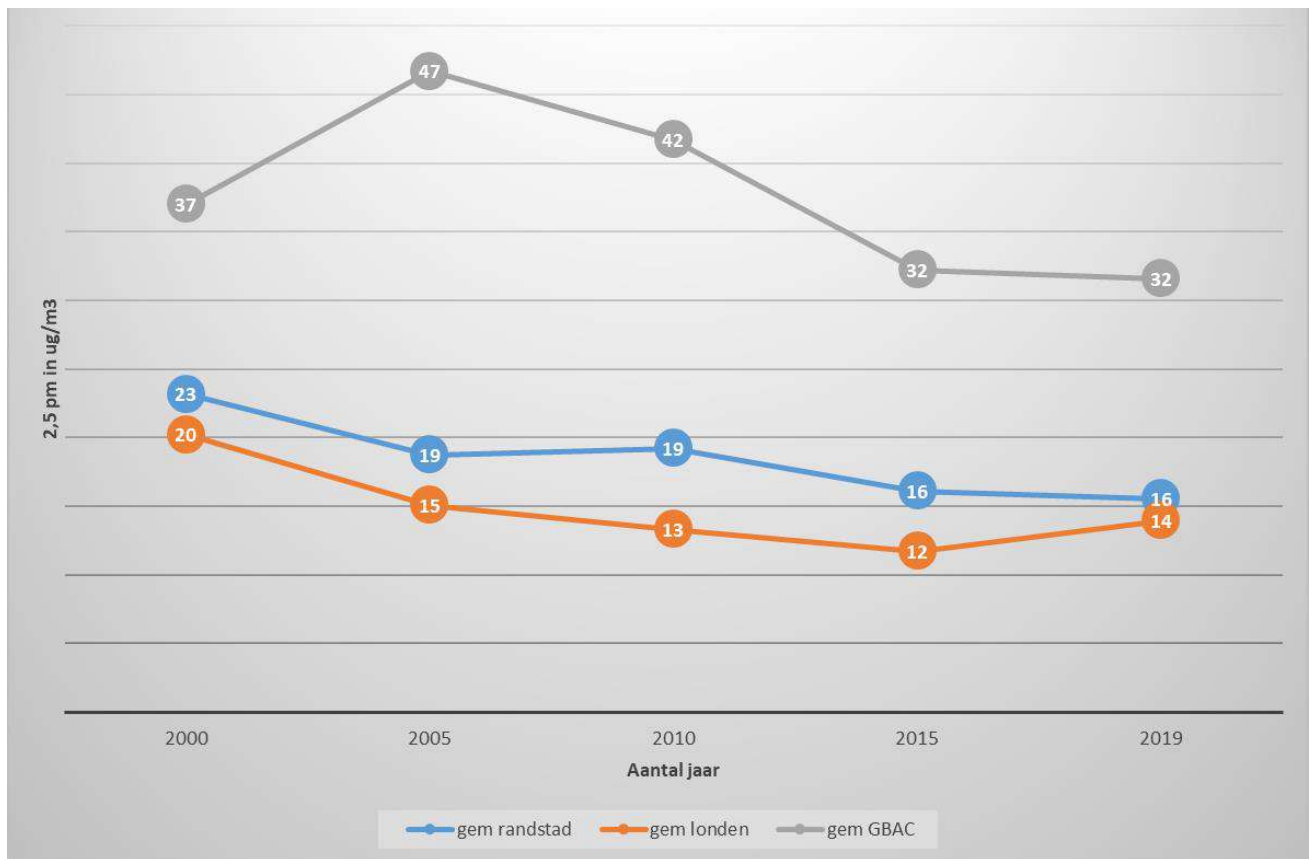
- Populatie uit 2000 en de procentuele aandelen per blootstellingsgebied
- Populatie uit 2019 en de procentuele aandelen per blootstellingsgebied
- Procentuele verschillen tussen 2000 en 2019

De gebieden verschillen van grootte en hierdoor ook in populatie, om de resultaten tussen de drie onderzoeksgebieden te kunnen vergelijken zullen de gegevens omgezet worden in procenten. Het procentuele aandeel van de populatie die worden blootgesteld aan een bepaalde concentratie ten opzichte van de totale bevolking zal weergegeven worden in een grafiek. Hierdoor wordt duidelijk hoe veel van de bevolking zich in welk blootstellingsgebied bevindt. Dit zal voor elk jaar apart gedaan worden voor het verschil tussen 2000 en 2019.

Ook zal het verschil weergegeven worden tussen 2000 en 2019. De populatie is flink gegroeid, dus zal er naar de verandering gekeken worden in het aantal blootgestelde mensen ten opzichte van het basisjaar. Hierdoor kan er gezien worden hoe veel mensen zijn verbeterd of zijn verslechterd qua blootstelling.

4. Resultaten

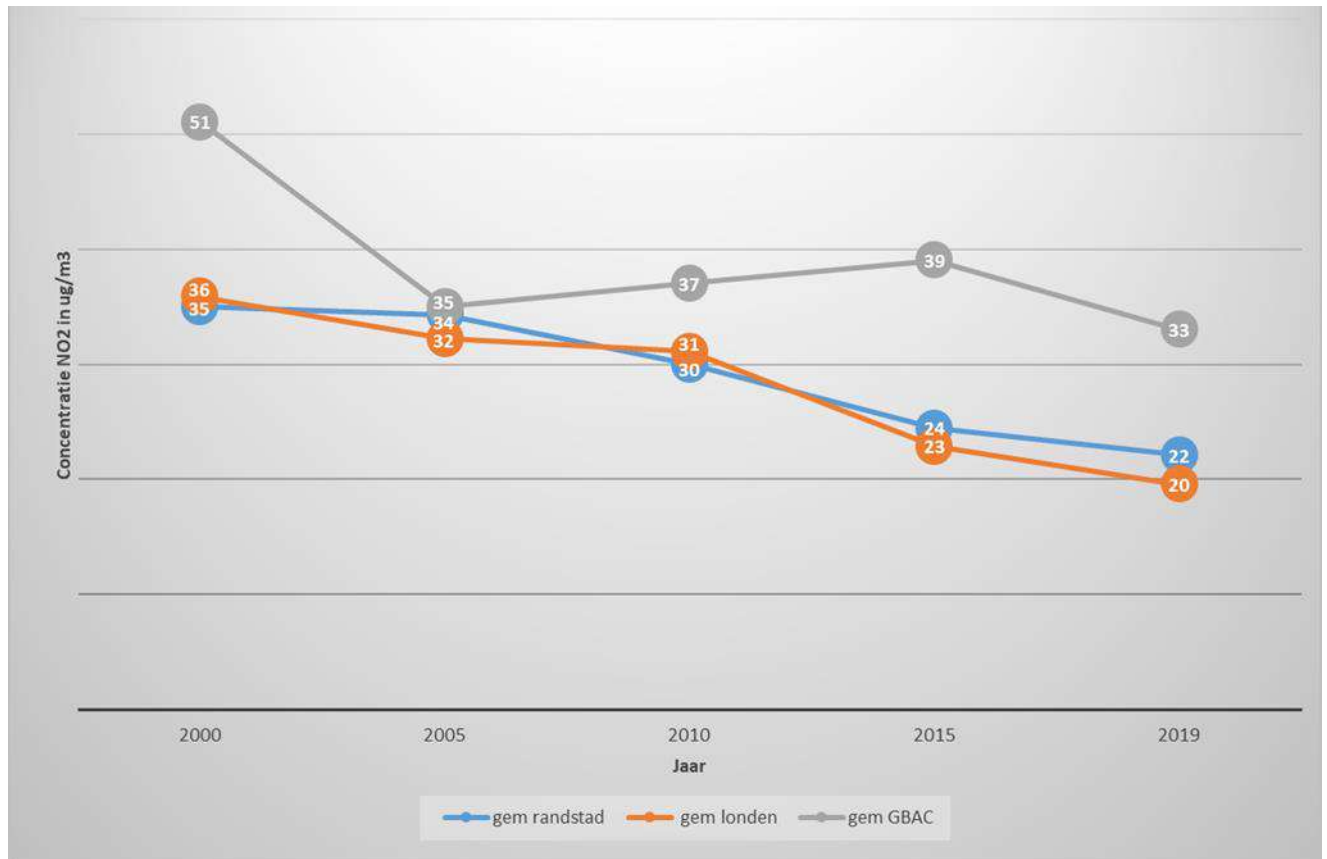
4.1.1 Jaargemiddelde concentratie van fijnstof (2,5PM)



Figuur 2: weergave van de gemiddelde trends van 2,5PM concentratie over een tijdsperiode van 2000-2019

In figuur 2 hierboven zijn trendlijnen te zien van de concentraties fijnstof. Hoewel de concentraties in China tot 2005 fors oplopen is er na dit jaar gelijk al een daling te zien van ongeveer 5 µg/m³. De daling daarna is nog opmerkelijker, deze neemt af met ongeveer 10 µg/m³. In China waren de dagelijkse concentraties tussen de periode 2005-2015 zo hoog dat er maatregelen getroffen moesten worden (Vervaeke, L., 2018) en dit is duidelijk terug te zien in de grafiek. De gemiddelde jaarlijkse concentratie is in 2015 gedaald met 14,5 µg/m³. Echter, in de periode 2015-2019 is de daling afgezwakt. In de Randstad en Londen is er eenzelfde patroon te zien. De geobserveerde daling in de periode 2005-2015 is alle drie de onderzoeksgebieden gestopt en hiervoor is een lichte daling of zelfs een stijging van 2,23 µg/m³ in Londen voor in de plaats gekomen. De Randstad en Londen zitten vanaf 2000 al onder de maximale concentratiewaarde van de Europese Commissie (25 µg/m³), GBAC zit er in 2019 nog steeds 7 µg/m³ boven. Echter, halen alle drie de gebieden de advieswaarde van 5 µg/m³ (WHO, 2021) tot aan 2019 niet.

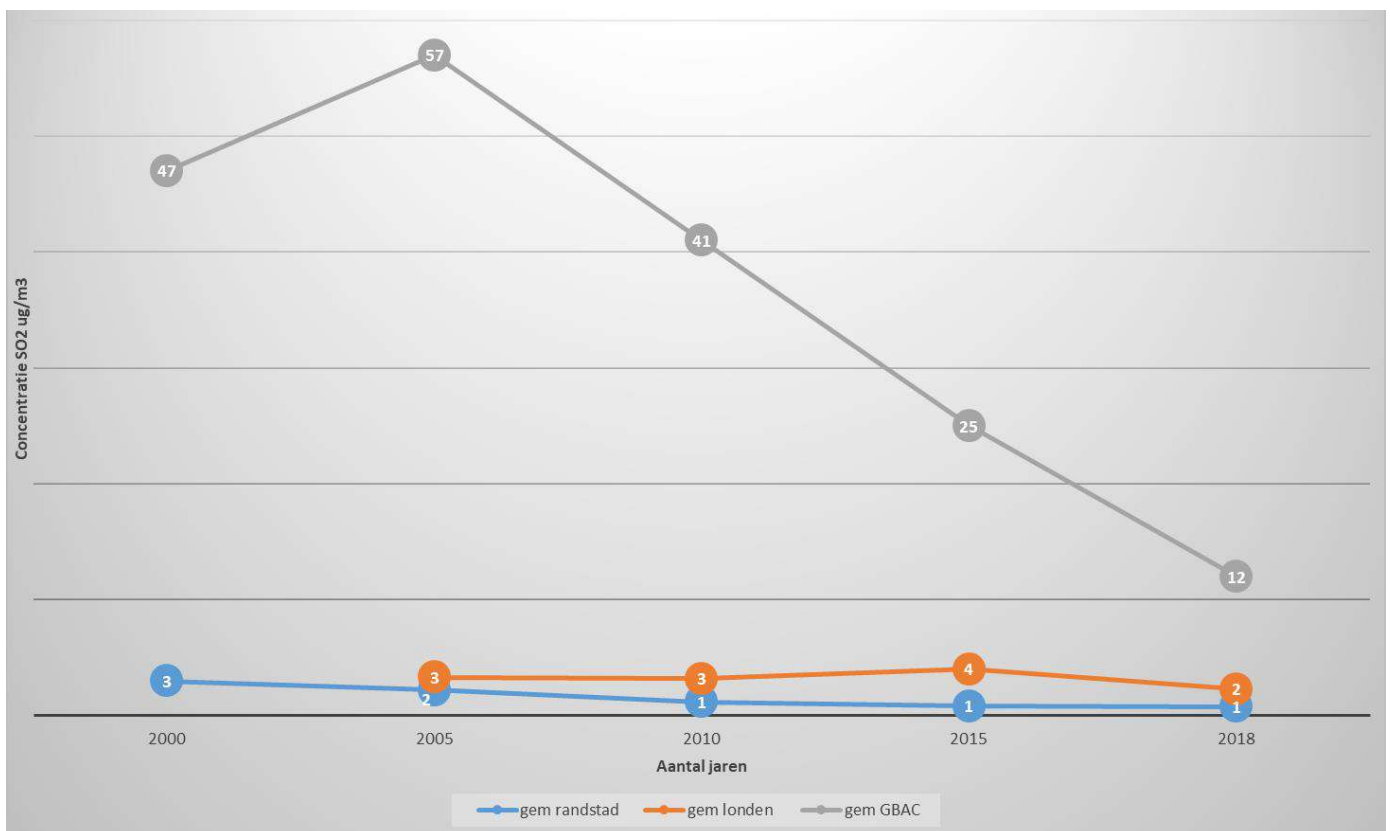
4.1.2 Jaargemiddelde concentratie NO₂



Figuur 3: Jaargemiddelde NO₂ concentraties

In figuur 3 is te zien dat de waardes minder ver uit elkaar liggen dan de concentraties in 2,5PM. De waardes van de Randstad en Londen bewegen zich om elkaar heen, het ene jaar is de concentratie in de Randstad hoger het andere jaar in Londen. Sinds 2010 begint de concentratie sneller te dalen in Londen dan in de Randstad. Het verschil blijft klein. In GBAC is er een andere trend te zien. Hier daalt de NO₂ concentratie tussen 2000 en 2005. Hierna stijgt deze weer tot 2015 en tussen 2015 en 2019 is er een daling. De maximale waarde van de Europese Commissie ligt voor NO₂ op een jaarlijks gemiddelde van 40 µg/m³. Alle drie de onderzoeksgebieden voldoen hieraan. De WHO adviseert een waarde van 10 µg/m³ en daar voldoen de onderzoeksgebieden niet aan.

4.1.3 Jaargemiddelde concentratie SO₂



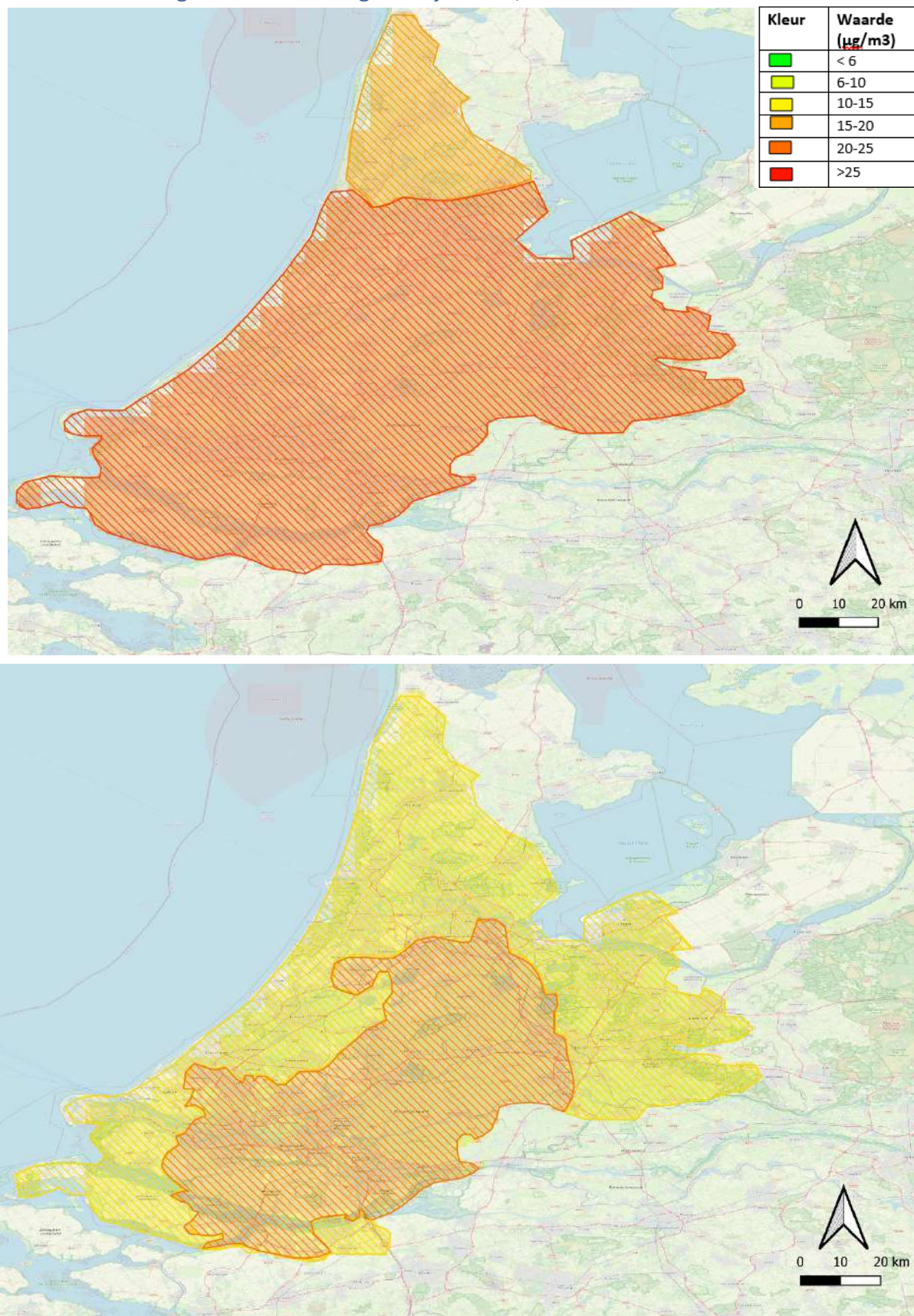
Figuur 4: Jaargemiddelde SO₂ concentraties

In figuur 4 is te zien dat de waarden in de Randstad en Londen al lang erg laag zijn, maar in de randstad lager. Verder is er een groot verschil te zien tussen GBAC en Londen en de Randstad. GBAC heeft een piek in 2005 en de SO₂ waarden dalen hierna met 45 ug/m³, maar zitten nog steeds ongeveer 10 ug/m³ boven de Randstad en Londen. De maximale waarde voor SO₂ is volgens de WHO 40 ug/m³ per dag, maar er zijn geen gegevens per jaar.

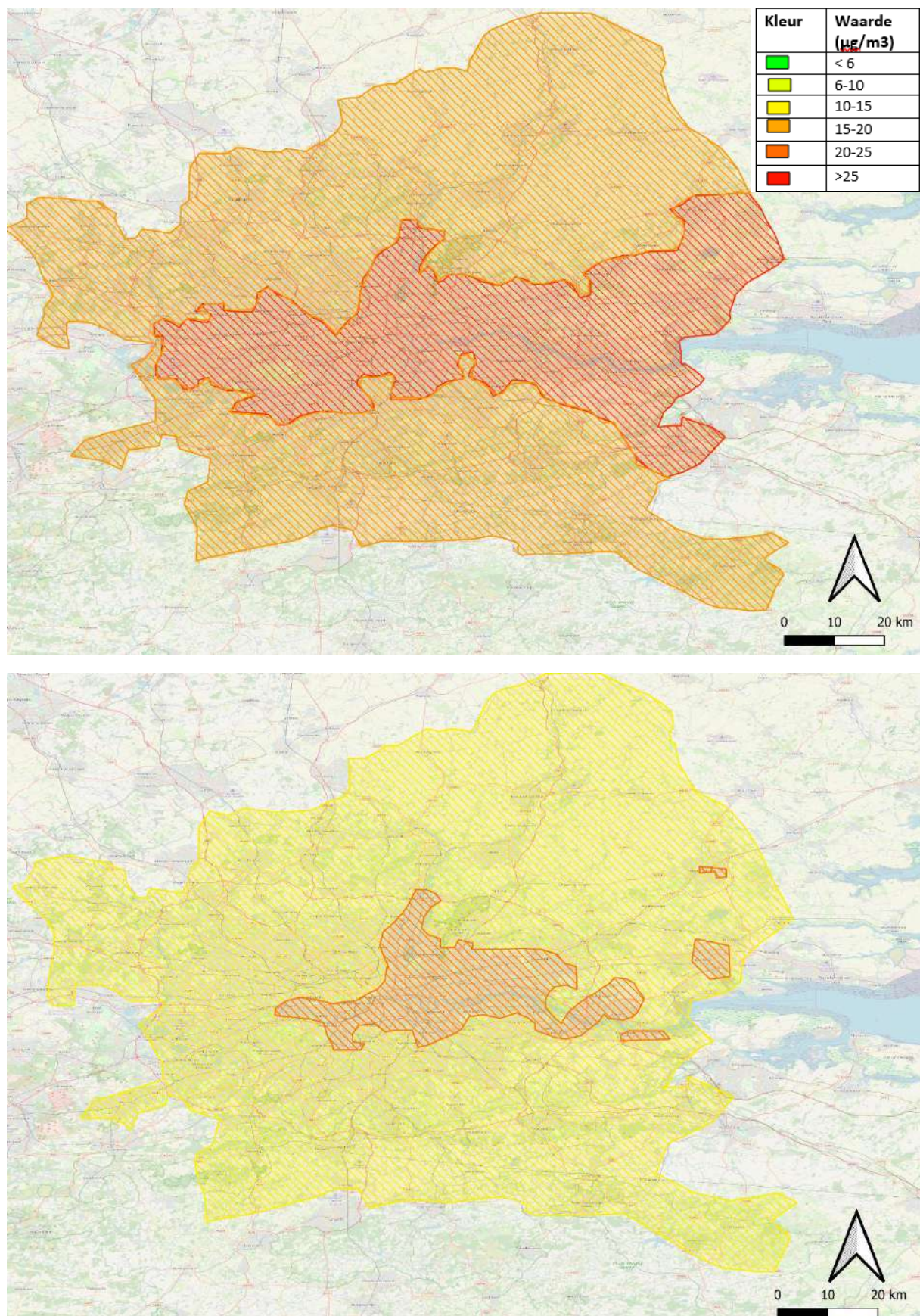
4.1.4 Verhouding

In de drie grafieken is er bij alle stoffen een daling te zien. Aangezien 2,5PM afhankelijk is van de uitstoot van NO₂ en SO₂ zal hier een bepaald verband te zien moeten zijn. De stijging die bij GBAC tussen 2000 en 2005 zichtbaar is, is niet terug te zien in NO₂. In GBAC tussen 2000 en 2005 is er zelf een flinke daling te zien die niet te verklaren is. Wel laat de loop van de SO₂ concentratie zien dat deze wel eenzelfde trend volgt. De grafieken voor Londen en de Randstad lopen redelijk gelijk. De NO₂ waarden liggen over het algemeen iets lager in Londen, maar de SO₂ waarden liggen lager in de Randstad. Ondanks het kleine verschil tussen Londen en de Randstad, liggen de concentratiewaarden van 2,5PM wel altijd hoger in de Randstad. Dit zal kunnen komen door het aanwezig zijn van meer veehouderijen. Via uitstoot van veehouderijen kunnen er secundaire anorganische aerosolen vormen, die vaak een groot onderdeel zijn van 2,5 PM (RIVM (2)).

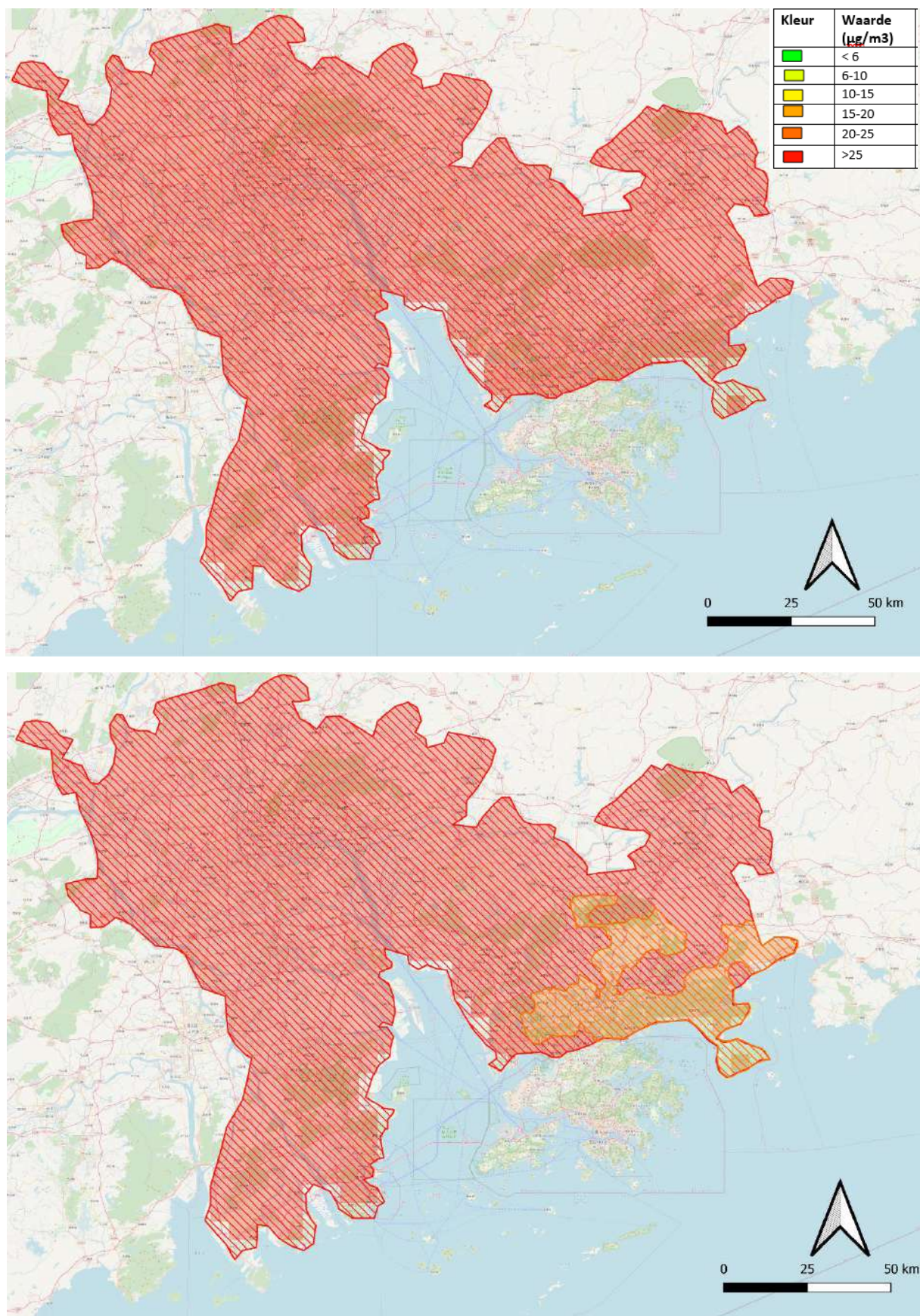
4.2 Verandering van blootstelling aan fijnstof 2,5PM



Figuur 5: Verandering in exposure gebied van 2000 naar 2019, Randstad (QGIS, SEDAC)



Figuur 6: Verandering van exposure gebied van 2000 naar 2019, Londen (QGIS, SEDAC)



Figuur 7: Verandering in exposure gebied van 2000 naar 2019, GBAC (QGIS, SEDAC)

In alle drie de gebieden is er een verbetering te zien, de rode gebieden worden kleiner en de oranje en gele gebieden worden groter. De legenda (zie methode) koppelt de kleuren aan de luchtkwaliteit. De jaarlijkse concentratie die wordt aanbevolen ligt voor 2,5PM onder de 5 µg/m³ (WHO,2021). De maximale uitstoot mag volgens de EU 25 µg/m³ zijn. Alles wat rood is ligt boven deze 25 µg/m³. GBAC is het enige gebied wat nog niet voldoet aan deze richtlijnen. In de onderstaande grafiek zal de hoeveelheid populatie weergegeven worden per luchtverontreinigingen-classificatie:

Tabel 3: populatie in risicogebieden 2000

2000	Rood (>25)	Donkeroranje (20-25)	Oranje (15-20)	Geel (10-15)	Totale gebied
Randstad	-	6.064.038 (91,16%)	588.109 (8,84%)	-	6.652.148
Londen	-	6.232.995 (62,28%)	3.775.782 (37,72%)	-	10.008.777
GBAC	35.695.096 (100%)	-	-	-	35.695.096

Tabel 4: populatie in risicogebieden 2019

2019	Rood (>25)	Donkeroranje (20-25)	Oranje (15-20)	Geel (10-15)	Totale gebied
Randstad	-	-	2.842.899 (39,14%)	4.420.571 (60,86%)	7.263.470
Londen	-	-	4.002.198 (34,06%)	7.746.876 (65,94%)	11.749.074
GBAC	46.949.709 (91,67%)	4.267.947 (8,33%)	-	-	51.217.656

In de bovenstaande tabellen (3 en 4) zijn de verschillen in blootstelling te zien. Het is duidelijk dat GBAC de meeste luchtverontreiniging heeft, wel is er een beweging naar rechts te zien en dit betekent dat de luchtkwaliteit in alle gebieden aan het verbeteren is. Er is een daling te zien, waardoor 8,33% van de populatie nu onder de Europese maatregelen leeft. In de Randstad en Londen is er ook verbetering te zien. Beide verschuiven ze van donkeroranje/oranje naar oranje/geel. In de Randstad leefde eerst ongeveer 91% in donkeroranje en slechts ongeveer 9% in oranje, terwijl het in Londen een verdeling was van ongeveer 60%/40%. Deze verdeling is in 2019 meer gelijk aan die van Londen.

Tabel 5: procentuele verschillen in blootstelling

2000/2019 Verskil in %	Rood (>25)	Donkeroranje (20-25)	Oranje (15-20)	Geel (10-15)
Randstad	-	-100%	+33,78%	+66,22%
Londen	-	-100%	+2,84%	+97,16%
GBAC	+72,5%	+27,5%	-	-

In 15 jaar is de populatie gegroeid, ook in de drie onderzoeksgebieden. Dit betekent dat er meer mensen in het risicogebied kunnen wonen. Hoewel GBAC nu een oranje zone heeft met minder luchtvervuiling betekent dit niet per se verbetering in blootstelling. Van de nieuwe populatie woont nu 72,5% in het rode gebied en 27,5 in het donkeroranje gebied. Dit is een stijging van ongeveer 11 miljoen (22%) mensen ten opzichte van de populatie in 2000. In de Randstad verandert het nieuwe deel van de populatie van donkeroranje naar oranje en geel, het oranje deel krijgt er ongeveer 34% bij en het gele deel 67%. Londen heeft de beste verschuiving laten zien, waarbij de nieuwe populatie

bijna allemaal in geel terecht komt. Dit is ook duidelijk te zien op figuur 6 De oranje zone is het kleinst en de gele zone het grootst.

Resultierend kan er gesteld worden dat de luchtkwaliteit in China verbeterd is, maar door de populatiestijging is de blootstelling aan schadelijke 2,5PM concentraties alsnog verhoogd. In de Randstad en Londen zitten de gemiddelde jaarlijkse concentraties onder de streefwaarde van de Europese commissie, echter is dit nog steeds niet wat de WHO adviseert en is dit nog steeds slecht voor de gezondheid. Een groot deel van de nieuwe populatie in de Randstad komt in de gele zone terecht, maar dit is het best gelukt in Londen hier is 97% procent in de gele zone beland.

5. Discussie

De resultaten geven een duidelijke uitkomst, de luchtkwaliteit is in elk onderzoeksgebied verbeterd. In elke grafiek van jaarlijkse gemiddelde concentraties is een daling te zien. De grootste daling vindt plaats in GBAC, hier is de concentratie van SO₂ gedaald met 45 µg/m³. Toch blijft het verschil in de concentraties van alle stoffen tussen de Randstad en Londen zeer klein en springt GBAC erbovenuit met in 2019 nog steeds verschillen van 10 tot 15 µg/m³. Ook is de populatie in de afgelopen 20 jaar gegroeid en zijn er meer mensen in de onderzoeksgebieden komen wonen. Hierdoor is de kans op blootstelling vergroot. In GBAC wonen nu ongeveer 11 miljoen meer mensen in het gebied met een concentratie hoger dan 25 µg/m³ 2,5PM. In de Randstad en Londen wonen nu meer mensen in het gebied met een concentratie van 10-15 µg/m³.

In de resultaten zijn een paar opvallende trends waargenomen. Ten eerste, is er een stagnering te zien van de daling van 2,5PM. De stagnering van het dalingsproces zal te maken kunnen hebben met verschillende bronnen. Een verklaring zal kunnen zijn dat eerst de relatief simpelere oplossingen aangepakt werden. Bijvoorbeeld, China heeft huishoudens rondom de gebieden Beijing en Fei Wei Plain met schone brandstof in plaats van met kolen verwarmd (MEE, 2020). Ook zijn er 39.000 ovens geïnspecteerd, waardoor er een ultra lage emissie is bereikt van 950 miljoen KWh aan kolencentrales (MEE, 2020). Dit zijn maatregelen die redelijk snel te implementeren zijn en ook goede resultaten met zich meebrengen. Hierdoor kan de concentratie makkelijk snel dalen. Ook is er een stijging te zien in Londen in de laatste 5 jaar, terwijl de Randstad en GBAC afneemt. Dit had te maken met meteorologische condities, zoals wind en de vorming van secundair fijnstof. Door wind kan er fijnstof juist wegwaaien of blijven hangen, in 2015 was er boven het landoppervlak van Europa vorming van fijnstof die door de wind boven Engeland terecht kwamen. Hierna volgde een periode van weinig wind waardoor de fijnstof in de atmosfeer bleef hangen, hierdoor is de gemiddelde jaarlijkse concentratie uit balans gehaald (DEFRA, 2022).

Ten tweede, is er een grote daling te zien in de NO₂ concentratie in GBAC tussen 2000 en 2005. Dit zal niet logisch zijn aangezien het gebruik van personenauto's tussen 2000 en 2009 met 530% (Lu, Q et al, 2013). Dit zal kunnen liggen aan gebrek van informatie. In het rapport van MEE (2006) worden de steden ingedeeld in drie verschillende gradiënten, waarbij een waarde van luchtverontreiniging hoort. Dit is vaak in procentuele verandering gegeven. De tabel waar de waardes uitgehaald zijn wordt minder uitgebreid besproken (MEE, 2006) (appendix 1).

Ten derde, liggen de concentraties van SO₂ ver uit elkaar. In de Randstad en Londen zijn de concentraties erg laag terwijl in GBAC ze nog hoog lagen. Na 2005 is er een flinke daling. In Nederland is het al verboden zwavelhoudende brandstoffen te gebruiken in het wegverkeer. Verder zijn er meerdere emissiebeperkende maatregelen in de industrie voor binnen- en buitenland (CLO, 2019). Hierdoor is de concentratie van deze stof al jaren laag. In Londen is dit ook het geval. In 1952 was er in Londen een van de eerst erkende meest ernstige luchtvervuilingsperiodes van de wereld (Zhang, R et al, 2015). Deze bestond voornamelijk uit SO₂ en fijnstof. Dit zorgde voor 4.000 mensen die vroegtijdig stierven en 10.000 mensen die ziek werden. Londen heeft hierdoor de eerste maatregelen tegen SO₂ al in 1956 genomen (Zhang, R et al, 2015). In de Randstad en Londen zijn er dus al erg lang martelen over de uitstoot van SO₂. In China begon de economische groei erg op te komen in 2000, maar hierdoor ook de luchtvervuiling (Lu, Q et al, 2013). De SO₂-emissie was van 2000 tot 2005 met 10 µg/m³ gestegen, maar al snel kwam hier een oplossing voor. Er wordt namelijk gebruik gemaakt van brandstof-ontzwaveling. Dit zorgde er voor dat de SO₂ emissie daalde met 19% (Lu, Q et al, 2013).

Het doel van dit onderzoek was om de concentratieverschillen van drie verschillende stoffen in kaart te brengen en om te kijken hoe de blootstelling aan 2,5PM was veranderd tussen de jaren 2000 en 2019. Wellicht ook om waar te nemen of dit met elkaar in verhouding stond. Er is in het onderzoek gebruikt gemaakt van verschillende bronnen. Voor de gegevens van 2,5PM is er gebruik gemaakt van een satellietkaart van de hele wereld (SEDAC) en voor NO₂ en SO₂ zijn de concentratiewaardes van de rapporten van overheden van land of gebied zelf gebruikt. Er zal gesteld kunnen worden dat dit niet 100% te vertrouwen is. Als de cijfers van SEDAC worden vergeleken met de cijfers uit de rapporten komen hier net andere cijfers uit. Voor Nederland zijn er drie verschillende meetstations (CLO, 2017): regionale stations, stadstations en straatstations. De waardes liggen voor de regionale en stadsstations lager dan de waardes van SEDAC, maar de straatwaardes lopen redelijk gelijk. In Londen wordt er onderscheid gemaakt tussen regionaal en urbaan en deze waardes zijn beschikbaar vanaf 2009 (DEFRA, 2022 (2)) en deze waardes lopen ook gelijk met een maximaal verschil van 1 ug/m³. Alleen in 2019 is er een groter verschil van bijna 4 ug/m³. In China wordt er gebruik gemaakt van rapporten waarin er een onderscheid gemaakt wordt tussen alle steden en de oostelijke steden. In het rapport uit 2019 staat dat de concentratie gemiddeld op 44 ug/m³ lag. In de resultaten van dit onderzoek ligt dit aanzienlijk lager met 31 ug/m³ in 2019. Dit zal kunnen liggen aan dat er in dit rapport ook gegeven uit vervuilde gebieden meegenomen worden, zoals Beijing. Dezelfde bronnen zijn gebruikt voor het ophalen van de gegevens over NO₂ en SO₂. In het geval van GBAC kan het zo zijn dat ook deze waardes te hoog zijn uitgevallen.

Ook is er gebruik gemaakt van de GHSL laag van EDGAR. Dit is een populatiekaart op basis van satellietgegevens, waarbij er aan de hand van gebouwen en menselijke activiteit de populatie wordt gemeten (EDGAR, 2015). Hierdoor komt de grote van de populatie niet precies overeen. Echter, zal dit niet een grote invloed hebben op dit onderzoek aangezien het gaat over het verschil tussen 2000 en 2019. Als de populatie voor beide jaren op dezelfde manier is gemeten zal de groei in verhouding hetzelfde zijn.

In een vergelijkbare studie over exposure in China zijn er andere resultaten gevonden (Zou et al, 2020). Deze studie combineert Chinees onderzoek van menselijke activiteitspatronen en 2,5PM concentratiekaarten om de ruimtelijke blootstellingsrisico's aan luchtverontreiniging van 2013 tot 2017 weer te geven. In de resultaten komt er uit dat de blootstellingsrisico's zijn verminderd met 5,3% (Zou et al, 2020). In dit onderzoek is echter aangetoond dat er meer mensen in het risicogebied wonen, waardoor de blootstelling eigenlijk is vergroot. Dit zal kunnen komen door het gebruik van verschillende maximale concentratiewaardes. In het onderzoek van Zou et al (2020) is de maximale waarde 75 ug/m³, terwijl er in dit onderzoek is uitgegaan van de advieswaarde van de Europese Commissie (25 ug/m³). Wel zal het zo kunnen zijn dat de waardes boven de 25 ug/m³ flink zijn gedaald, maar deze zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

Om een volledig beeld te krijgen van de luchtverontreiniging zal er in volgend onderzoek ook naar de blootstelling van NO₂ en SO₂ gekeken moeten worden. Als deze gegevens in kaart gebracht worden, zullen de blootstellingsgebieden meer volledig zijn. Verder is uit de resultaten gebleken dat SO₂ in alle gebieden onder de grenswaarde valt en hierbij een minder grote invloed heeft op de luchtverontreiniging dan hypothetisch was vastgesteld. Stoffen die een grotere rol spelen in luchtverontreiniging zijn VOS's en O₃. In de cijfers van RIVM, CLO, DEFRA (Imperial College London) en MEE bleken de waardes voor O₃ ook vele malen hoger dan NO₂ en SO₂. VOS's zijn Vluchtige Organische Stoffen die bij kamertemperatuur vanuit allerlei producten (zoals verf- en schoonmaakmiddelen) in de atmosfeer terecht kunnen komen. Verder spelen NO₂ en VOS's een grote rol in de productie van ozon (O₃) (Sayegh et al, 2016). O₃ wordt in de atmosfeer gecreëerd door een reactie van stoffen en ultraviolet licht. Als NO₂ en VOS's in de atmosfeer komen worden

reageren deze met het zonlicht waardoor er fotochemische smog, overmatige productie van O₃, ontstaat. Overmatige O₃ concentratie kan leiden tot irritatie van luchtwegen long functiedaling en vroegtijdige sterfte (Sayegh et al, 2016).

Verder zal het in vervolg onderzoek interessant zijn om dieper op secundaire anorganische- en secundaire organische aerosolen in te gaan. Deze twee onderdelen spelen een grote rol in het vormen van fijnstof. Het is in dit onderzoek nog niet naar voren gekomen hoe veel van de totale uitstoot van NO₂ en SO₂ wordt omgezet in secundaire anorganische en organische aerosolen. Secundair fijnstof is erg ingewikkeld en kan door de wind beïnvloed worden door gebeurtenissen 100 kilometer verderop.

Al met al, de dalende trends in luchtverontreiniging terug te zien in meerdere onderzoeken. Er kan met zekerheid gezegd worden dat de luchtkwaliteit aan het verbeteren is, maar er is nog tijd nodig om de advieswaardes van het WHO te halen.

6. Conclusie

Concluderend, in de loop van ongeveer 20 jaar is de luchtkwaliteit verbeterd. De jaargemiddelde concentratie van 2,5PM daalt in GBAC met 15 ug/m³, in de Randstad met 7,81 ug/m³ en in Londen met 6,26 ug/m³ (figuur 5,6,7). Ook zijn de risico gebieden verkleint en bevinden de meeste mensen in de Randstad en Londen zich in een gebied met een gemiddelde concentratie van 10-15 ug/m³ 2,5PM. Zelfs in China, is er in het oosten een blootstellingsgebied ontstaan met waardes tussen de 20-25 ug/m³ 2,5PM. Dit gebied valt hiermee onder de grenswaarde van de Europese Commissie. Ook zijn de waardes van NO₂ en SO₂ flink gedaald. In China was er een daling van SO₂ van 45 ug/m³ van 2005 tot 2018. De waardes van NO₂ liggen dicht bij elkaar, maar ook deze waardes zijn minimaal gedaald met 14 ug/m³. In 20 jaar is de wereldbevolking gegroeid en is de populatie in de onderzoeksgebieden toegenomen. Hierdoor is de blootstelling in GBAC toch verslechterd, meer mensen bevinden zich in het gebied boven de 25 ug/m³. De jaarlijkse concentratie van alle stoffen valt in de Randstad en Londen binnen de grenswaarde van de Europese uni. Dit geldt ook voor NO₂ en SO₂ in GBAC. Alleen 2,5PM-concentratie in GBAC zit nog boven de maximale concentratie. Echter, worden alle streefwaardes van het WHO niet gehaald (5 en 10 ug/m³). Om antwoord te geven op de hoofdvraag: *“Hoe is de blootstelling aan luchtverontreiniging in de afgelopen 20 jaar veranderd in de stedelijke mega-regio's Randstad, Londen en Pearl River Delta Greater bay area China (GBAC)?”* De luchtkwaliteit is verbeterd, maar door het wonen van meer mensen in de onderzoeksgebieden worden er meer mensen blootgesteld aan luchtverontreiniging. Verder kan er gesteld worden dat de luchtkwaliteit verbeteren, tijd vergt. De Europese onderzoeksgebieden hebben al eerder te maken gekregen met luchtverontreiniging en hebben al eerder maatregelen toegepast. In China begon dit later en het verschil is duidelijk te zien. Wel heeft China laten zien dat er in een tijdsverloop van 20 jaar, waarin zij economisch opbloede, tegelijkertijd veel luchtverontreiniging gereduceerd kan worden. Aangezien 2,5PM het meest gevaarlijk is voor de gezondheid, zal er in vervolgonderzoek gekeken kunnen worden naar de aandelen van andere verontreinigende stoffen in secundaire anorganische en organische aersolen. Uit de gegevens van het onderzoek kan er gesteld worden, als er minder uitstoot is van NO₂ en SO₂ zal dit resulteren in minder secundaire fijnstof en dus minder vorming van 2,5PM. Als hier meer over bekend zal zijn zal de impact van 2,5PM sneller aangepakt kunnen worden.

Referenties

- Andrée, B. (2019). *Revisiting the relation between economic growth and the environment; a global assessment of deforestation, pollution and carbon emission.*
<https://mail.google.com/mail/u/0?ui=2&ik=57c15f2abf&attid=0.1&permmsgid=msg-f:1731974785696635468&th=180935e425619a4c&view=att&disp=inline>
- CLO. (2017, 17 januari). Fijnere fractie van fijn stof (PM_{2,5}) in lucht, 2009–2015 | Compendium voor de Leefomgeving. Rijksoverheid. Geraadpleegd op 20 juni 2022, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0532-fijnere-fractie-van-fijn-stof-pm-25>
- CLO. (2022, 18 januari). Stikstofdioxide in lucht, 1992–2020 | Compendium voor de Leefomgeving. (Rijksoverheid). Geraadpleegd op 3 juni 2022, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0231-stikstofdioxide>
- CLO. (2019, 18 september). Zwaveldioxide in lucht, 1990–2018 | Compendium voor de Leefomgeving. Compendium voor de Leefomgeving. (Rijksoverheid). Geraadpleegd op 4 juni 2022, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0441-zwaveldioxide>
- Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) (1). (2022a, april 28). Concentrations of nitrogen dioxide. GOV.UK. Geraadpleegd op 24 juni 2022, van <https://www.gov.uk/government/statistics/air-quality-statistics/nitrogen-dioxide>
- Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) (2). (2022, 28 april). Concentrations of particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}). GOV.UK. Geraadpleegd op 24 juni 2022, van <https://www.gov.uk/government/statistics/air-quality-statistics/concentrations-of-particulate-matter-pm10-and-pm25>
- Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics (VN). (2018). World Urbanization Prospects - Population Division - United Nations. United Nations. Geraadpleegd op 15 juni 2022, van <https://population.un.org/wup/>
- Environmental Research Group, Imperial College London. (2008–2019). London Air Quality Network [Roadside and background average readings for Nitrogen Dioxide, Nitric Oxide, Oxides of

Nitrogen, Ozone, Particulate Matter (PM10 and PM2.5), and Sulphur Dioxide.]. Londenair.

<https://www.londonair.org.uk/LondonAir/>

European Commission. (2015). *GHSL - Global Human Settlement Layer* [Dataset].

European Commission. (2015). *Standards - Air Quality - Environment - European Commission*. EU.

Geraadpleegd op 11 mei 2022, van <https://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

Kampa, M. (2008, januari). *Human health effects of air pollution*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749107002849>

Lagen maken — QGIS Documentation documentatie. (2020, 5 juni). QGIS Documentation.

Geraadpleegd op 1 juni 2022, van

https://docs.qgis.org/3.4/nl/docs/user_manual/managing_data_source/create_layers.html

Long, Y. (2020). 44 Walk score of all main Chinese cities [FUA Pearl River Delta]. Beijing City Lab.

<https://www.beijingcitylab.com/data-released-1/>

Lu, Q. (2013, september). Emission trends and source characteristics of SO₂, NO_x, PM₁₀ and VOCs

in the Pearl River Delta region from 2000 to 2009. Elsevier. [https://www-sciencedirect-com.vu-](https://www-sciencedirect-com.vu-nl.idm.oclc.org/science/article/pii/S1352231012010448#fig4)

[nl.idm.oclc.org/science/article/pii/S1352231012010448#fig4](https://www-sciencedirect-com.vu-nl.idm.oclc.org/science/article/pii/S1352231012010448#fig4)

MEE. (2002, 8 juni tot en met 2022, 7 april). *Report on the State of the Ecology and*

Environment in China. MINISTRY OF ECOLOGY AND ENVIRONMENT THE

PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. Geraadpleegd op 19 juni 2022, van

<http://english.mee.gov.cn/Resources/Reports/soe/>

OECD. (2012). Functional urban areas by country [FUA Londen, Nederland]. OECD en European

Commission. [https://www-oecd-org.vu-nl.idm.oclc.org/regional/regional-statistics/functional-urban-](https://www-oecd-org.vu-nl.idm.oclc.org/regional/regional-statistics/functional-urban-areas.htm)

[areas.htm](https://www-oecd-org.vu-nl.idm.oclc.org/regional/regional-statistics/functional-urban-areas.htm)

SEDAC. (1998–2020). *Downloads » Annual PM_{2.5} Concentrations for Countries and Urban Areas*,

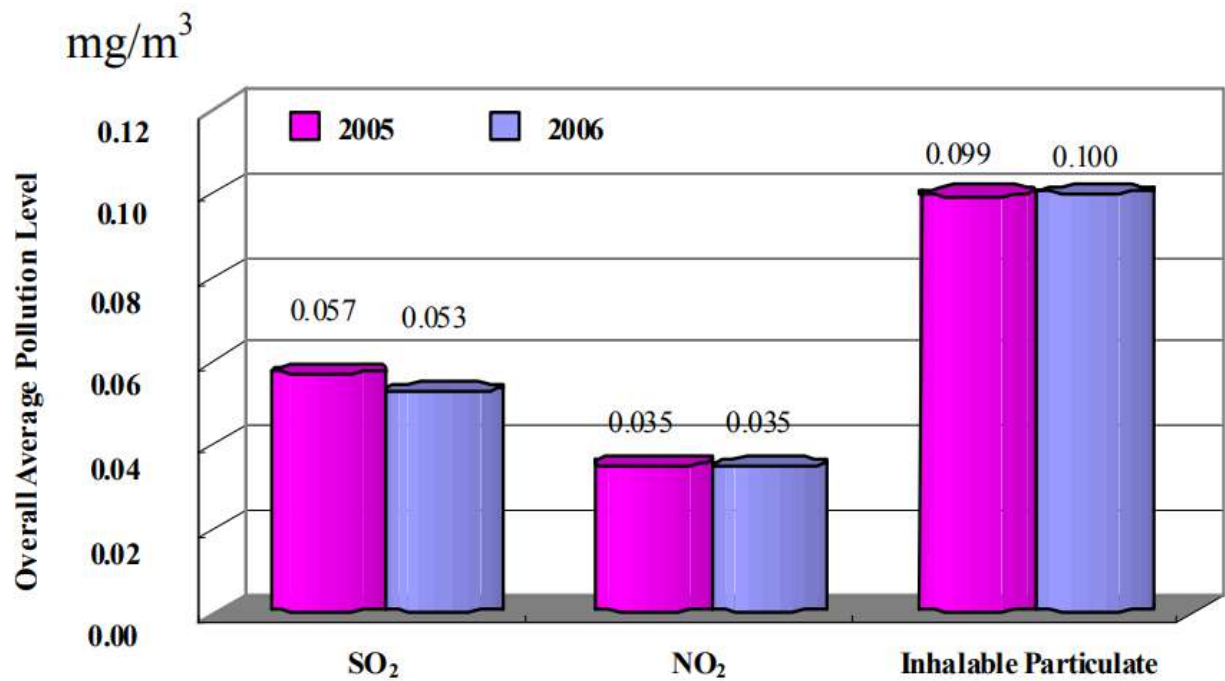
v1: Satellite-Derived Environmental Indicators | SEDAC [Dataset].

[https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/sdei-annual-pm2-5-concentrations-countries-urban-](https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/sdei-annual-pm2-5-concentrations-countries-urban-areas-v1-1998-2016/data-download#close)

[areas-v1-1998-2016/data-download#close](https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/sdei-annual-pm2-5-concentrations-countries-urban-areas-v1-1998-2016/data-download#close)

- Sayegh, A. (2016, februari). *Understanding how roadside concentrations of NO_x are influenced by the background levels, traffic density, and meteorological conditions using Boosted Regression Trees*. Elsevier. <https://www.sciencedirect-com.vu.nl.idm.oclc.org/science/article/pii/S1352231015305914>
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (z.d.) (1). Bronnen per component van luchtverontreiniging. RIVM. Geraadpleegd op 24 mei 2022, van <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/toelichting-en-tools-luchtkwaliteit/toelichting-en-tools-luchtkwaliteit/Bronnen-per-component> \
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. (z.d.-b) (2). Luchtverontreinigende stoffen reacties en atmosferische processen. RIVM. Geraadpleegd op 25 mei 2022, van <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/blootstelling-aan-luchtverontreiniging/luchtverontreinigende-stoffen-reacties-atmosferische-processen>
- The City University of New York. (2015). Deltas at Risk -- Data [Deltagebied: Pearl River]. Global Deltarisk. <https://www.globaldeltarisk.net/data.html>
- Vervaeke, L. (2018, 4 april). *Het succes van de Chinese aanpak van fijnstof*. Trouw. Geraadpleegd op 11 mei 2022, van <https://www.trouw.nl/duurzaamheid-natuur/het-succes-van-de-chinese-aanpak-van-fijnstof~b72aab873/>
- WHO. (2021, 22 september). *Ambient (outdoor) air pollution*. WHO. Geraadpleegd op 11 mei 2022, van [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Yang, S. (2009, januari). Measurement of the vertical profile of atmospheric SO₂ during the heating period in Beijing on days of high air pollution. Elsevier. <https://www.sciencedirect-com.vu.nl.idm.oclc.org/science/article/pii/S1352231008008364>
- Zou, B. (2020, april). Efforts in reducing air pollution exposure risk in China: State versus individuals. Elsevier. <https://www.sciencedirect-com.vu.nl.idm.oclc.org/science/article/pii/S0160412019331319>

Appendix 1: Concentratie NO2 China

**Average Annual Concentration of Major Pollutants in Key Cities**