

Welriekend* maar toch bereikbaar? Over het verband tussen luchtkwaliteit, bereikbaarheid en leefbaarheid in Brussel

Kobe Boussauw – VUB Cosmopolis – kobe.boussauw@vub.be

Nicola da Schio – VUB Cosmopolis – nicola.da.schio@vub.be

Joren Sansen – VUB Cosmopolis – joren.sansen@vub.be

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 23 en 24 november 2017, Gent

Samenvatting

Geïnspireerd door stadseconomische theorieën die stellen dat vastgoedprijzen positief beïnvloed worden door een betere bereikbaarheid, en negatief beïnvloed worden door blootstelling aan milieueffecten zoals vervuilde lucht, gaan we in deze paper op zoek naar de mogelijke associatie van luchtvervuiling en bereikbaarheid in het Brusselse hoofdstedelijke gewest.

We ontwikkelen een tweeledige onderzoekshypothese. Het eerste deel van de hypothese stelt dat de blootstelling aan door het verkeer veroorzaakte luchtvervuiling in Brussel in sterke mate gecorreleerd is met de geografische bereikbaarheid van de plek. Het tweede deel van de hypothese stelt dat de ruimtelijke variatie van de vastgoedprijzen beter verklaard wordt door de geografische bereikbaarheid dan door de blootstelling aan door het verkeer veroorzaakte luchtvervuiling.

De analyse baseert zich op de Atmosys luchtkwaliteitskaarten, een eigen bereikbaarheidsmaat voor het autoverkeer, verkoopprijsgegevens van het Kadaster, en de Brusselse wijkmonitor, en maakt gebruik van cartografische methoden en regressieanalyse.

Uit de resultaten blijkt dat bereikbaarheid en slechte luchtkwaliteit in Brussel wel degelijk met elkaar geassocieerd zijn, maar dat er geen eenduidig verband bestaat met de vastgoedprijzen. De buurten die een relatief hoge bereikbaarheidsscore combineren met een lager dan verwachte mate van blootstelling, kunnen zowel door een lage als door een hoge sociaaleconomische status gekenmerkt worden, en dit geldt eveneens voor buurten die een relatief lage bereikbaarheidsscore combineren met een hoger dan verwachte mate van blootstelling.

Hoewel er in termen van bereikbaarheid en blootstelling aan vervuilde lucht in Brussel duidelijk sprake is van ruimtelijke onrechtvaardigheid, weerspiegelt deze niet de sociaaleconomische structuur van het gewest. Bovendien is er in Brussel wel degelijk een luchtkwaliteitsprobleem dat sterk geconcentreerd is rond de meest centraal gelegen verkeersaders.

** De Welriekende Dreef was tot voor enkele jaren het referentiepunt dat door de verkeersredactie van de Vlaamse openbare radio gebruikt werd om het begin van de files richting Brussel mee aan te duiden. Paradoxaal genoeg staat de Welriekende Dreef daarom symbool voor uitlaatgassen en bereikbaarheidsproblemen.*

1. Inleiding

Stadseconomische theorieën verklaren het bestaan van steden als de ruimtelijke manifestatie van een evenwicht tussen positieve en negatieve agglomeratie-effecten. Onder positieve agglomeratie-effecten, ook wel agglomeratievoordelen genoemd, vallen de winsten die gemaakt worden dankzij de ruimtelijke nabijheid van vraag en aanbod, waardoor te overbruggen afstanden per definitie klein zijn en de functionele integratie van mensen, bedrijven en infrastructuur geoptimaliseerd wordt (Glaeser, 1998). Negatieve agglomeratie-effecten, of agglomeratienadelen, worden vaak gelijkgesteld met congestie en met negatieve leefbaarheids- en milieueffecten die veroorzaakt worden door overconcentratie van activiteiten. Congestie wijst op efficiëntieverlies als gevolg van beperkingen in capaciteit (Fennell, 2015), met name in het verkeer, maar ook in termen van tal van andere economische interacties. Leefbaarheids- en milieueffecten zijn het duidelijkst waarneembaar in de vorm van door het verkeer veroorzaakte luchtvervuiling en geluidshinder, maar ook verkeersongevallen, waterverontreiniging, of de afwezigheid van stedelijk groen vallen hieronder.

In de voorliggende paper focussen we op twee in het oog springende agglomeratie-effecten, namelijk bereikbaarheid (positief) en luchtvervuiling (negatief). Beide eigenschappen variëren doorheen de ruimte, en worden in tal van onderzoeken verondersteld een effect te hebben op de aantrekkelijkheid van een buurt, die vaak gekwantificeerd wordt met de vastgoedprijs als een typische indicator. Opvallend genoeg is literatuur die het effect van beide karakteristieken tegelijkertijd bestudeert schaars tot onbestaande. Op het niveau van een stedelijke agglomeratie is het dan ook niet duidelijk in hoeverre bereikbaarheid gecorreleerd is met blootstelling aan luchtvervuiling, hoe deze variabelen zich verhouden tot de vastgoedprijzen, en of er buurten bestaan die erin slagen een bovengemiddelde mate van bereikbaarheid te combineren met een lager dan verwachte blootstelling aan luchtvervuiling. De laatste vraag houdt verband met de kwestie van ruimtelijke rechtvaardigheid: het zou wel eens kunnen dat kansarmere groepen zich enkel kunnen permitteren om in relatief slecht bereikbare en vervuilde buurten te wonen.

In de voorliggende paper willen we bovenstaande kwesties verkennen met betrekking tot het Brusselse hoofdstedelijke gewest.

2. Onderzoekshypothese

Sinds de jaren '60 wordt luchtkwaliteit als een belangrijk, zij het vaak onzichtbaar, aspect van de stedelijke woonkwaliteit beschouwd. In dezelfde periode werd gesuggereerd dat kennis en perceptie van luchtkwaliteitsproblemen een negatieve impact zou kunnen hebben op de vraag, en bijgevolg op de prijzen van woningen in stedelijke vastgoedmarkten. Verschillende econometrische studies, waaronder Ridker & Hanning (1967), Harrison & Rubinfeld (1978), Nelson (1978), en Anselin & Lozano-Gracia (2008) toonden in verschillende contexten inderdaad een negatieve elasticiteit aan. Maar ook in de literatuur rond milieugerelateerde rechtvaardigheid werd reeds verwezen naar mogelijke verbanden tussen sociale segregatie en blootstelling aan luchtvervuiling, met vastgoedprijzen als intermediaire variabele.

Een andere, meer uitgebreide, onderzoekslijn, vertrekt echter van de veronderstelde impact van bereikbaarheid op vastgoedprijzen, waarbij de basishypothese stelt dat een

betere bereikbaarheid zich vertaalt in hogere vastgoedprijzen. Ook deze hypothese werd in een ruime diversiteit aan contexten bewezen, onder meer door Srouf et al. (2002), wat niet hoeft te verbazen gezien de directe impact van locatiegebonden bereikbaarheid op de mogelijkheid om aan allerhande activiteiten deel te nemen.

Hedonische prijsmodellen zijn zowel theoretisch als praktisch vaak erg complex opgebouwd, en zijn doorgaans niet gericht op het modelleren van effecten op geografisch microniveau. Bovendien zijn heel wat studies, in het bijzonder die over de impact van luchtvervuiling, in Noord-Amerika gesitueerd. In een West-Europese context, waar steden compacter zijn en de lokale dichtheid aan voorzieningen en jobs vaak meer bepalend zijn voor het aanwezige ruimtelijke interactiepotentieel dan de structuur van het wegennetwerk en de snelheid van het verkeer, is het echter niet denkbeeldig dat die woningen die het meeste blootgesteld worden aan door het verkeer veroorzaakte luchtvervuiling ook de best bereikbare zijn. Dit geldt in het bijzonder op microniveau, waar woningen die goed ingebed zijn in het stedelijk weefsel, en dus erg centraal gelegen zijn, een hoge bereikbaarheidsscore lijken te combineren met een hoge mate van blootstelling aan luchtvervuiling. Het valt bovendien op dat sommige wijken, die bekend staan als 'duur', zich in de buurt van een snelwegoprit bevinden, en dat er anderzijds goedkopere binnenstedelijke wijken zijn die doorsneden worden door drukke verkeersaders. In de duurdere wijken is er mogelijk sprake van een afruil tussen bereikbaarheid en blootstelling aan luchtvervuiling (wie bereikbaarheid belangrijk vindt is bereid om de luchtvervuiling erbij te nemen), terwijl er in de goedkopere wijken mogelijk sprake is van ruimtelijke onrechtvaardigheid (een deel van de bevolking zit 'gevangen' in een vervuilde buurt omdat ze het zich niet kunnen permitteren om naar een duurdere buurt te verhuizen).

We willen deze vermoedens onderzoeken voor het Brusselse hoofdstedelijke gewest, waarbij we onze onderzoekshypotheses als volgt specificeren:

- a) De blootstelling aan door het verkeer veroorzaakte luchtvervuiling is in sterke mate gecorreleerd met de geografische bereikbaarheid van de plek.
- b) De ruimtelijke variatie van de vastgoedprijzen wordt beter verklaard door de geografische bereikbaarheid dan door de blootstelling aan door het verkeer veroorzaakte luchtvervuiling.

3. Data

Voor wat betreft luchtkwaliteit baseren we ons op de Atmosys luchtkwaliteitskaarten. Atmosys is een computermodel dat de gemiddelde blootstelling over de duur van een jaar in kaart brengt voor het volledige Belgische grondgebied, voor de volgende polluenten: PM_{10} , $PM_{2,5}$, O_3 , en NO_2 . Atmosys is een model dat gevoed wordt door luchtkwaliteitsmetingen op een beperkt aantal meetpunten, maar waarbij de meetresultaten geëxtrapoleerd worden naar het volledige Brusselse (en in feite Belgische) grondgebied. Hoewel het Atmosys-model behoorlijk geavanceerd is, is het belangrijk te vermelden dat het hier om een tweedimensionaal model gaat, wat betekent dat mogelijke effecten van 'street canyons' en de topografie niet in rekening gebracht worden. Het model wordt beheerd door VITO en IRCeline.

Voor onze analyses gebruiken we enkel NO_2 (stikstofdioxide, dat als een representatieve indicator wordt beschouwd voor uitstoot veroorzaakt door het wegverkeer) en $PM_{2,5}$ (fijn stof bestaande uit deeltjes kleiner dan $2,5 \mu m$), dat van de vier gemodelleerde

indicatoren als het meest schadelijk voor de gezondheid wordt beschouwd. De modelwaarden voor zowel NO₂ als PM_{2,5} werden geaggregeerd naar statistische sectoren, de geijkte geografische indeling die in België gebruikt wordt om gegevens op buurniveau te verzamelen. Het Brusselse hoofdstedelijke gewest omvat 720 statistische sectoren. Het aspect bereikbaarheid wordt in eerste instantie gedefinieerd als autobereikbaarheid, waarbij het interactiepotentieel tussen bewoners werd gemodelleerd via het Brusselse wegennetwerk. Ook hier werden statistische sectoren als basis gebruikt, en werd de reistijd berekend tussen elk koppel statistische sectoren. De bereikbaarheid van een statistische sector wordt dan gedefinieerd als de totale som (over alle statistische sectoren van het Brusselse hoofdstedelijke gewest) van het quotiënt van de bevolking van elke andere statistische sector en de reistijd om deze sector te bereiken, bekeken vanuit de statistische sector in kwestie. De gehanteerde reistijd is gebaseerd op de gemiddelde snelheid die nodig is om dit traject op een werkdag af te leggen (dus niet tijdens de spits, maar ook niet congestievrij). We kunnen de gehanteerde bereikbaarheidsmaat ook als volgt weergeven:

$$ACC_i = \sum_{j=1}^m \frac{POP_j}{D_{ij}}$$

Daarin is i de statistische sector in kwestie, j tot en met m zijn de andere statistische sectoren, POP is de bevolking en D is de reistijd.

Tenslotte nemen we ook de gemiddelde verkoopprijs van de gewone woningen (rijwoningen in gesloten bebouwing) en appartementen in de analyse op. Deze gegevens werden ter beschikking gesteld door het Kadaster voor de verkopen van beide types woningen in 2010 en 2011. Het spreekt vanzelf dat deze gegevens maar tot op zekere hoogte representatief zijn, aangezien er in sommige statistische sectoren slechts sprake is van een zeer klein aantal verkopen, en er bovendien geen informatie wordt vrijgegeven over de eigenschappen van het verkochte vastgoed.

4. Methode

We vertrekken van een verkennende Pearson's correlatiematrix tussen de verschillende basisvariabelen. Statistisch significante verbanden worden vervolgens op hun robuustheid getest door middel van 'spatial lag'- en 'spatial error'-modellen die de impact van ruimtelijke autocorrelatie in rekening brengen.

Vervolgens worden een aantal kaarten ontwikkeld die inzicht zullen verschaffen in de eigenschappen van de verschillende Brusselse buurten met betrekking tot luchtkwaliteit, bereikbaarheid, en vastgoedprijzen. We ontwikkelen de volgende kaarten:

- Kaarten met lokale clusters van ruimtelijke autocorrelatie, die zowel voor luchtvervuiling, voor bereikbaarheid, en voor vastgoedprijzen aangeven welke clusters van statistische sectoren in statistisch significante mate afwijken van het gemiddelde.
- Residuenkaarten, die aangeven voor welke buurten de mate van blootstelling aan luchtvervuiling afwijkt van de verwachting, gegeven de bereikbaarheid van de buurt in kwestie.

- Een wenselijkheidskaart, die aangeeft welke buurten enerzijds een bovengemiddelde bereikbaarheidsscore combineren met een lager dan verwachte blootstelling aan luchtvervuiling, en anderzijds welke buurten een benedengemiddelde bereikbaarheidsscore combineren met een hoger dan verwachte blootstelling. Het gaat om een normatieve representatie van de Brusselse buurten die op basis van de combinatie bereikbaarheid-blootstelling het meest verkieslijk zijn ten opzichte van deze die het minst verkieslijk zijn als woonomgeving.

Vervolgens wordt door middel van regressieanalyse de vastgoedprijs gemodelleerd, met de bedoeling om de impact van bereikbaarheid en van blootstelling aan luchtvervuiling tegenover elkaar te stellen, en in te schatten welke van beide impacten het grootste is. De ruimtelijke distributie van de verkoopprijzen van respectievelijk rijwoningen en van appartementen worden weergegeven in Fig. 11 en Fig. 12.

Op basis van deze kaarten worden tenslotte vier prototype-buurten geselecteerd, die op een kwalitatieve manier besproken worden met de nadruk op de mogelijke verbanden tussen de sociaaleconomische karakteristieken van de buurt en enerzijds de bereikbaarheid en anderzijds de blootstelling aan luchtvervuiling.

5. Analyse

Tabel 1 omvat een Pearson's correlatiematrix waar alle vermelde variabelen in opgenomen zijn. Bereikbaarheid correleert in sterke mate met blootstelling, zowel aan NO₂ als aan PM_{2,5}. Logischerwijze zijn de beide blootstellingsmaten zelf ook in sterke mate met elkaar gecorreleerd. Correlaties met vastgoedprijzen zijn minder eenduidig, maar voor rijhuizen vinden we inderdaad statistisch significante verbanden: huizen in beter bereikbare buurten zijn duurder, waardoor deze ook duurder zijn in meer aan luchtvervuiling blootgestelde buurten. De eerste van beide bevindingen is consistent met de literatuur, terwijl de tweede dat niet is.

ONAFH\AFH		bereikbaarheid	blootstelling NO ₂	blootstelling PM _{2,5}	verkoopprijs rijwoning	verkoopprijs appartement
bereikbaarheid	R ²	1,000	0,454** (+)	0,529** (+)	0,012* (+)	0,015** (-)
	p	-	0,000	0,000	0,011	0,003
blootstelling NO ₂	R ²		1,000	0,813** (+)	0,008* (+)	0,015** (-)
	p		-	0,000	0,037	0,003
blootstelling PM _{2,5}	R ²			1,000	0,005 (+)	0,025** (-)
	p			-	0,102	0,000
verkoopprijs rijwoning	R ²				1,000	0,009* (+)
	p				-	0,036

verkoopprijs appartement	R ²					1,000
	p					-

** significantieniveau 0,01 (tweezijdig) ** significantieniveau 0,05

p-waarden en tekens hebben betrekking op de regressiecoëfficiënt van de onafhankelijke variabele, +/- duidt op het teken van de correlatie

Tabel 1. Pearson's correlatiematrix (omwille van de vergelijkbaarheid met Tabel 2 wordt R² gerapporteerd in plaats van r)

Omdat we vermoeden dat er ruimtelijke autocorrelatie in het spel is, voeren we een Moran's I-test uit, die voor alle combinaties een statistisch significant resultaat oplevert. Om te controleren voor ruimtelijke autocorrelatie, voeren we ook een 'spatial lag'- en een 'spatial error'-regressie uit, op basis van een 'rook weights matrix'. De resultaten blijken robuust te zijn: de correlaties blijven significant, en R² ligt steeds hoger in vergelijking met een eenvoudige Pearson's correlatie (Tabel 2).

ONAFH\AFH		bereikbaarheid	blootstelling NO ₂	blootstelling PM _{2,5}	verkoopprijs rijwoning	verkoopprijs appartement
bereikbaarheid	R ² _{SL}	1,000	0,813** (+)	0,934** (+)	0,284 (+)	0,019* (-)
	p _{SL}	-	0,000	0,000	0,127	0,021
	R ² _{SE}	1,000	0,817** (+)	0,936** (+)	0,283 (+)	0,019* (-)
	p _{SE}	-	0,000	0,000	0,172	0,019
blootstelling NO ₂	R ² _{SL}		1,000	0,974** (+)	0,284 (+)	0,015 (-)
	p _{SL}		-	0,000	0,120	0,053
	R ² _{SE}		1,000	0,994** (+)	0,284 (+)	0,014 (-)
	p _{SE}		-	0,000	0,141	0,060
blootstelling PM _{2,5}	R ² _{SL}			1,000	0,283 (+)	0,021** (-)
	p _{SL}			-	0,273	0,010
	R ² _{SE}			1,000	0,283 (+)	0,020 ** (-)
	p _{SE}			-	0,283	0,009
verkoopprijs rijwoning	R ² _{SL}				1,000	0,015 (+)
	p _{SL}				-	0,054
	R ² _{SL}				1,000	0,014 (+)
	p _{SL}				-	0,065

verkoopprijs appartement	R^2_{SL}					1,000
	p					-
	R^2_{SE}					1,000
	p_{SE}					-

** significantieniveau 0,01 (tweezijdig) ** significantieniveau 0,05

p-waarden en tekens hebben betrekking op de regressiecoëfficiënt van de onafhankelijke variabele, +/- duidt op het teken van de correlatie

Tabel 2. 'Spatial lag' en 'spatial error'-regressiematrix

6. Kaarten

6.1 Lokale clusters van ruimtelijke autocorrelatie

Fig. 2, 4 en 6 geven de lokale clusters van ruimtelijke autocorrelatie weer met betrekking tot de indicatoren bereikbaarheid, NO_2 , en $PM_{2,5}$. Rood betekent dat lokaal hoge waarden voorkomen binnen een cluster van hoge waarden, waarbij de ruimtelijke autocorrelatie statistisch significant is (p-waarde < 0,05). Blauw betekent dat er sprake is van lage waarden binnen een cluster van lage waarden. In de grijze gebieden is de ruimtelijke autocorrelatie niet statistisch significant.

Fig. 2 geeft aan dat het hele centrumgebied van het Brusselse gewest bestaat uit een cluster van wijken met een goede bereikbaarheidsscore. Dit gebied omvat het stadscentrum (dat genoegzaam bekend staat als 'de vijfhoek'), maar ook de zogenaamde 'eerste kroon', die onder meer een aantal meer gegoede buurten ten zuidoosten van het centrum omvat, alsook de Europese wijk, en de westelijke en zuidelijke volksbuurten. De clusters van wijken met een slechte bereikbaarheidsscore bevinden zich eerder aan de rand van het gewest, waarbij met name buurten met een lage bevolkingsdichtheid oplichten (met inbegrip van een aantal bossen en bedrijventerreinen). Het is belangrijk in te zien dat ook een aantal grenseffecten hier een rol spelen: in realiteit is het Brusselse gewest geen eiland, zelfs al neemt de bevolkingsdichtheid wel degelijk af naarmate de gewestgrens wordt genaderd.

Fig. 4 toont dat ook de blootstelling aan NO_2 een monocentrisch patroon vertoont, waarbij het patroon echter mee beïnvloed wordt door de aanwezigheid van een aantal belangrijke verkeersaders, waaronder de aanvoerwegen van de E40, en de kleine ring. De clusters van wijken met lage blootstelling situeren zich voornamelijk in de bosrijke gebieden in het zuidoosten van het gewest. Het is overigens opvallend dat de variatie in blootstelling aan NO_2 binnen het gewest vrij groot is: de zwaarste vervuilde buurten worden gekenmerkt door een ruim tweemaal zo hoge concentratie in vergelijking met de minst vervuilde buurten (Fig. 3). Merk verder op dat hier geen sprake is van grenseffecten, aangezien het Atmosys-model voor heel België werd ontwikkeld.

Fig. 6 toont een patroon dat sterk lijkt op dat van Fig. 4, op basis waarvan we kunnen concluderen dat de blootstelling aan NO_2 en $PM_{2,5}$ sterk met elkaar gecorreleerd zijn. Niettemin zijn de invalswegen en de industriële kanaalzone minder uitgesproken zichtbaar op deze kaart. De reden daarvoor is dat $PM_{2,5}$ een meer homogene spreiding vertoont in vergelijking met NO_2 . $PM_{2,5}$ wordt slechts gedeeltelijk door het verkeer geproduceerd, en een deel van de concentratie $PM_{2,5}$ bestaat uit zogenaamde

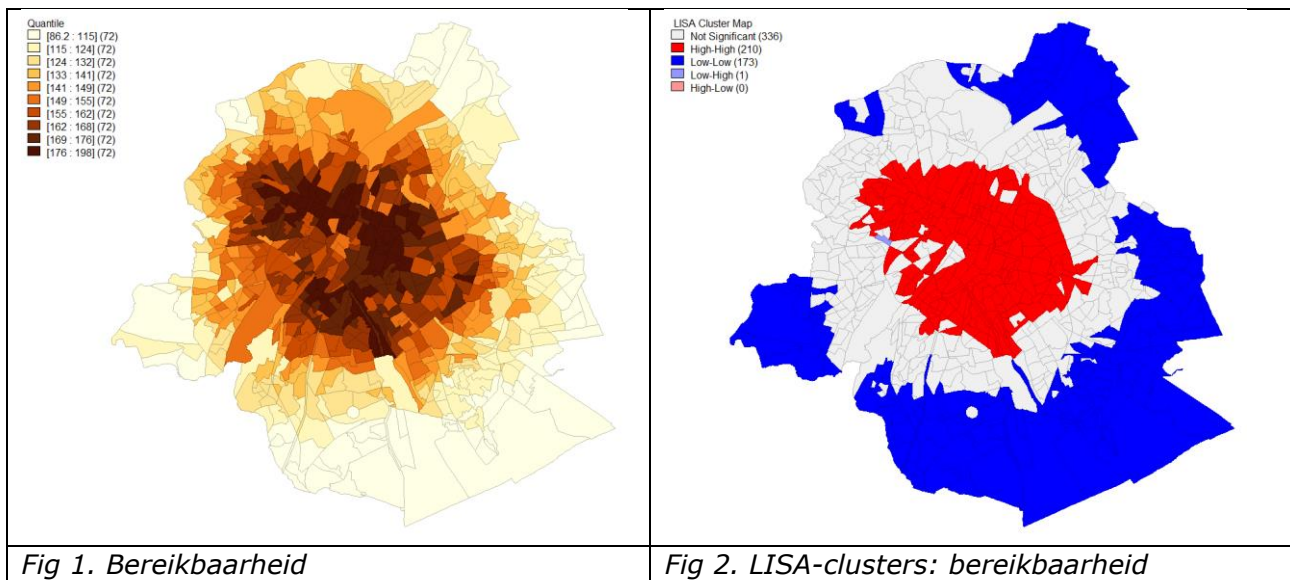
'achtergrondwaarden' of fijn stof dat buiten het Brusselse gewest wordt geproduceerd en is komen binnenwaaien. Hoewel ook voor $PM_{2,5}$ geldt dat er een belangrijke variatie zichtbaar is op de kaart (Fig. 5), is het contrast minder uitgesproken in vergelijking met NO_2 .

Voor beide indicatoren geldt dat deze geen betrekking hebben op mensen, maar enkel op geografische locaties. Het is dus niet zo dat wie in een 'schone' buurt woont ook nauwelijks blootgesteld wordt aan vervuilde lucht: iemands persoonlijke activiteitenpatroon en de manier waarop iemand zich verplaatst spelen daarin ook een belangrijke rol, die niet van onze kaarten kan worden afgelezen.

6.2 Residuelenkaarten

Fig. 7 brengt de residuen in kaart van de regressievergelijking ('ordinary least squares' of OLS) waarbij de blootstelling aan NO_2 als afhankelijk van de bereikbaarheid wordt gezien. De rode gebieden zijn die wijken die, gegeven hun bereikbaarheidsscore, slechter dan verwacht scoren met betrekking tot blootstelling aan NO_2 . De groene gebieden worden, gegeven hun bereikbaarheid, minder blootgesteld aan NO_2 dan verwacht. Opvallend is dat de wijken die door een of meerdere belangrijke verkeersaders doorsneden worden, systematisch minder goed scoren dan de wijken die iets verderaf gelegen zijn. Een aantal wijken van de 'eerste gordel', zowel duurdere als goedkopere, worden echter relatief weinig blootgesteld aan NO_2 , gegeven hun relatief goede score in termen van bereikbaarheid.

Fig. 8 brengt de residuen in kaart van een gelijkaardige regressievergelijking, maar nu met de blootstelling aan $PM_{2,5}$ als afhankelijke variabele. De kaart lijkt sterk op Fig. 8, maar zoals verwacht zijn de contrasten minder uitgesproken.



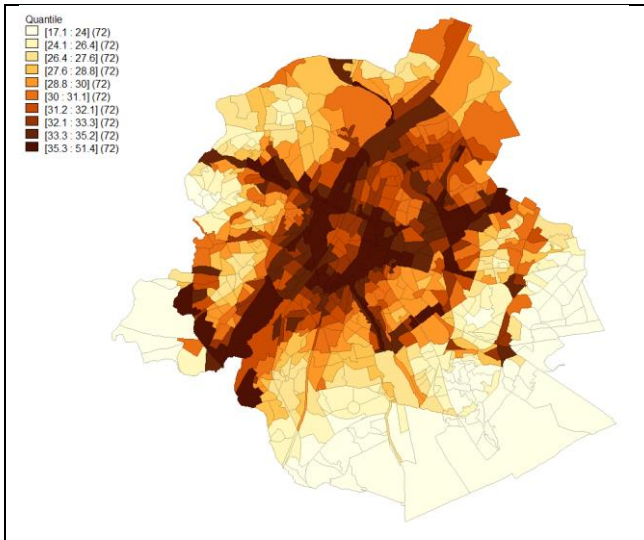


Fig 3. NO₂

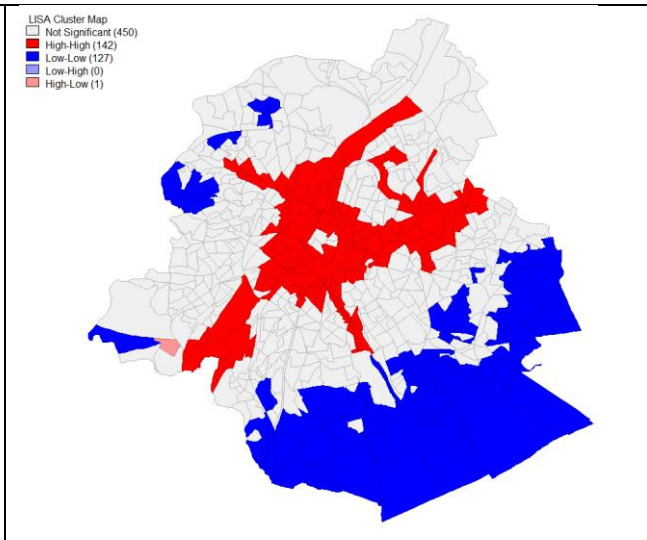


Fig 4. LISA-clusters NO₂

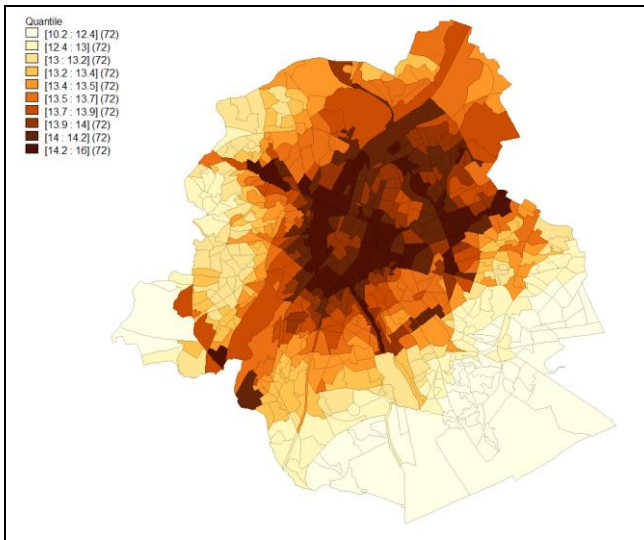


Fig 5. PM_{2,5}

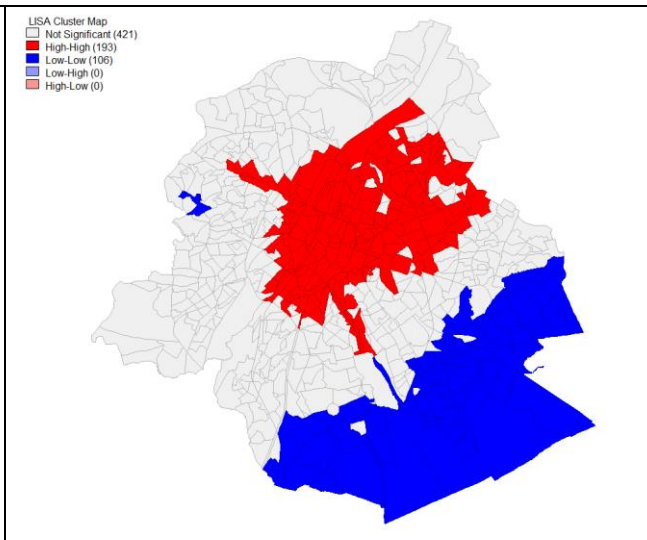


Fig 6. LISA-clusters PM_{2,5}

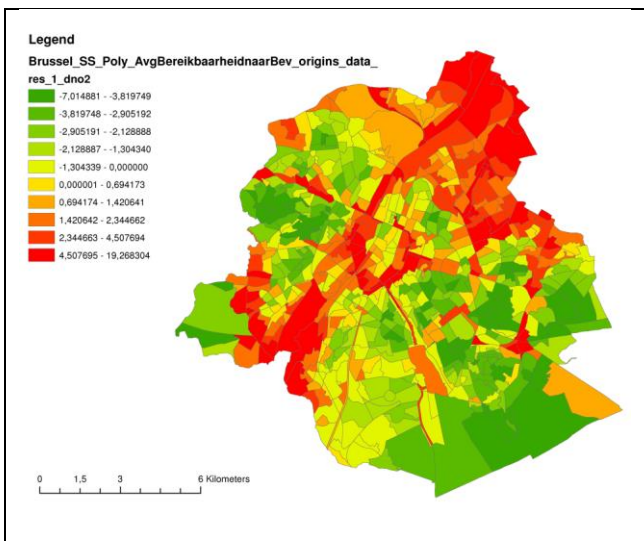


Fig 7. Residuelen NO₂

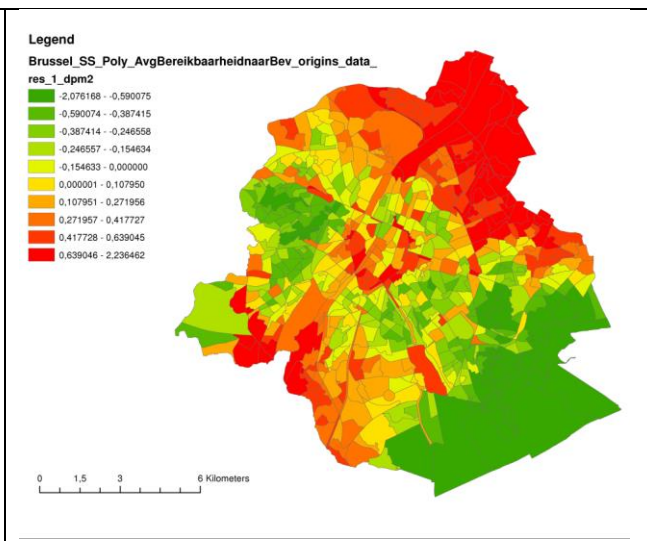


Fig 8. Residuelen PM_{2,5}

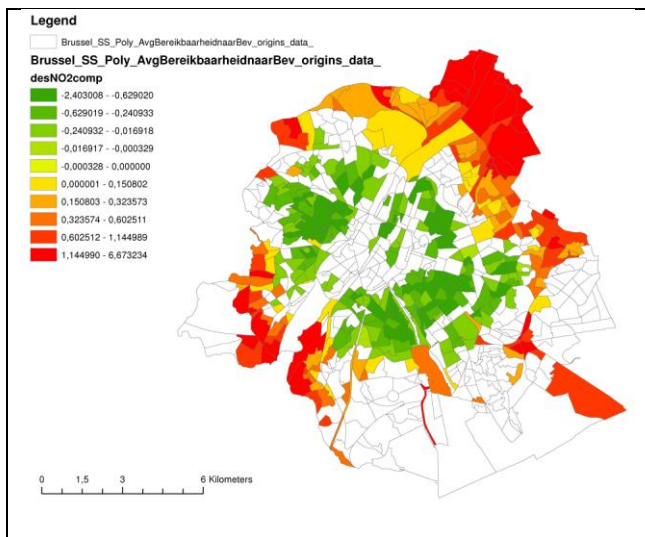


Fig 9. Wenselijkheid

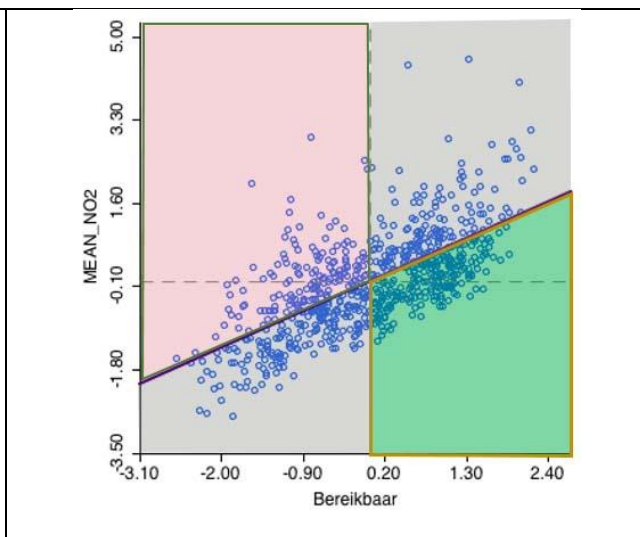


Fig. 10. Regressielijn NO₂-bereikbaarheid

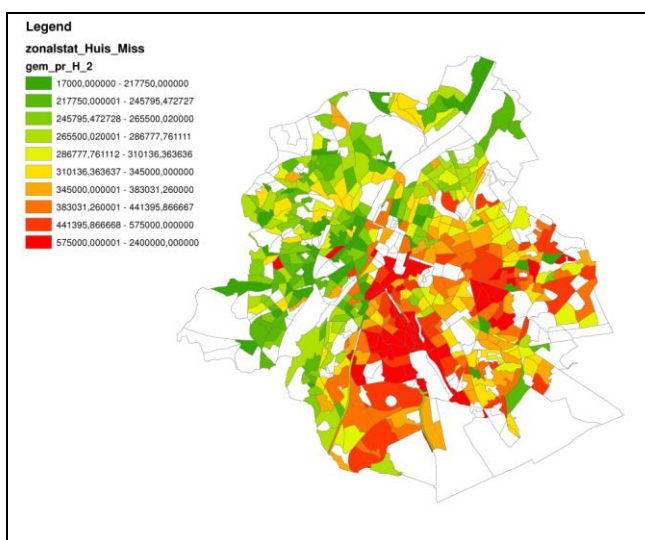


Fig 11. Verkooprijzen rijwoningen 2010-2011

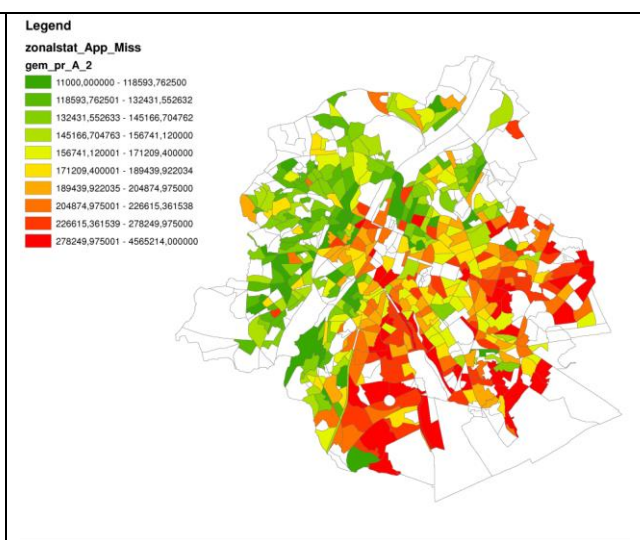


Fig 12. Verkooprijzen appartementen 2010-2011

6.3 Wenselijkheidskaart

Fig. 9 brengt enkel die wijken in kaart die hetzij een bovengemiddelde bereikbaarheidsscore combineren met een lager dan verwachte blootstelling aan NO₂ (groen), hetzij een benedengemiddelde bereikbaarheidsscore combineren met een hoger dan verwachte blootstelling aan NO₂. De gekarteerde waarden werden bekomen door de residuen te normaliseren (z-score) en deze te vermenigvuldigen met de genormaliseerde bereikbaarheidsindicator (z-score), waarbij enkel de betekenisvolle combinaties (zoals hierboven vermeld) werden behouden.

De groene zones kunnen dus als de meest geschikte woonbuurten worden beschouwd voor gezinnen die een compromis zoeken tussen bereikbaarheid en blootstelling, terwijl de rode zones buurten zijn die ondermaats presteren voor beide indicatoren. De niet ingekleurde zones vertonen geen uitgesproken profiel: het zijn zones die ofwel een bovengemiddelde bereikbaarheid combineren met een hoger dan verwachte blootstelling,

of zones die een benedengemiddelde bereikbaarheid combineren met een lager dan verwachte blootstelling.

Opvallend is enerzijds dat het grootste gedeelte van het stadscentrum niet als een bijzonder geschikte omgeving oplicht, terwijl dat wel het geval is voor een belangrijk deel van de zogenaamde eerste gordel en een deel van de tweede gordel. Het groene gebied omvat zowel armere (in het westen) als rijkere wijken (in het zuidoosten). De wijken die rood oplichten en dus als weinig aantrekkelijk worden voorgesteld, bevinden zich eerder decentraal en grenzen vaak aan een belangrijke verkeersader, waaronder de grote ring (R0).

7. Bespreking

Op het ruimtelijke schaalniveau van het Brusselse hoofdstedelijke gewest is er duidelijk sprake van een correlatie tussen autobereikbaarheid en blootstelling aan luchtvervuiling. Op het eerste zicht is deze vaststelling intuïtief correct en zelfs enigszins triviaal: goed bereikbare plekken in een stedelijke agglomeratie zijn die plaatsen waar veel interactie mogelijk is, en waar zich dus veel mensen naartoe begeven. Gezien de dominantie van het autoverkeer in Brussel gaat het logischerwijze ook over de plaatsen waar zich veel auto's bevinden, en er bijgevolg sprake is van een verhoogde concentratie aan uitlaatgassen.

Nochtans gaat het hier niet om een ijzeren wet: ook in Brussel zijn er buurten te vinden die een bovengemiddelde bereikbaarheid combineren met een lager dan verwachte blootstelling. Bovendien zou het plaatje er mogelijk anders uitzien wanneer we in plaats van autobereikbaarheid bereikbaarheid met het openbaar vervoer zouden bestuderen. Een dergelijke analyse valt buiten het bestek van deze paper, maar vormt deel van het vervolgonderzoek. Nog een andere manier om naar de kwestie te kijken is de vraag hoe de analyse eruit zou zien indien er een gericht luchtkwaliteitsbeleid gevoerd zou worden op die plaatsen die geografisch gesproken het best bereikbaar zijn, bijvoorbeeld door sommige van deze goed gelegen plaatsen autovrij te maken, de wegcapaciteit lokaal drastisch te reduceren, of enkel voertuigen met lage uitstoot toe te laten. Het is niet denkbeeldig dat een dergelijk sturend beleid de concentraties van binnenstedelijke luchtvervuiling niet enkel zou reduceren, maar deze ook zou verplaatsen.

Bovendien is de relatie met de vastgoedprijzen ambiguer dan wat op basis van de literatuur kon worden vermoed. Correlaties zijn slechts zwak significant en zijn niet erg consistent (Tabel 1 en 2), wat tot gevolg heeft dat wijken die een bovengemiddelde bereikbaarheid combineren met een lager dan verwachte blootstelling zowel te vinden zijn in de duurdere bovenstad als in de goedkopere benedenstad. De ruimtelijke distributie van de vastgoedprijzen, zoals weergegeven in Fig. 11 en 12, doet vermoeden dat hier heel andere mechanismen domineren, die relatief weinig met bereikbaarheid of blootstelling aan luchtvervuiling te maken hebben. Hoewel de zuidooststrand van het Brusselse gewest inderdaad groener en minder vervuild is, scoort dit gebied relatief slecht in termen van bereikbaarheid. En zoals gezegd zijn de wijken die hoog scoren op de 'wenselijkheidskaart' (Fig. 9) zowel te vinden in de duurdere zuidoostelijke regio als in de goedkopere westelijke zone. De stadseconomische theorieën waar we in de inleiding van deze paper naar verwezen lijken dus nauwelijks van toepassing te zijn op Brussel. Om de onafhankelijkheid ten opzichte van de sociaaleconomische status (SES) van de wijken in kwestie te illustreren, hebben we in Tabel 3 hieronder vier buurten

geselecteerd, waarbij een lage respectievelijk hoge sociaaleconomische status wordt gecombineerd met een hoge respectievelijk lage score volgens Fig. 9. Ter verduidelijking: buurten met een hoge score volgens deze kaart (groen), zijn in Fig. 10 te vinden in het derde (groene) kwadrant, en combineren een relatief hoge bereikbaarheidsscore met een relatief lage mate van blootstelling. Buurten met een lage score volgens Fig. 9 (rood), zijn in Fig. 10 te vinden in het eerste (rode) kwadrant, en combineren een relatief lage bereikbaarheidsscore met een relatief hoge mate van blootstelling.

We geven voor elk van deze vier representatieve buurten enkele sociaaleconomische karakteristieken, afkomstig van de Brusselse Wijkmonitor (BISA, 2017).

SES→ wense- lijkheid ↓	laag	hoog
hoog	<p>Stijns</p> <p>bereikbaarheidsscore: 166 score blootstelling NO₂: 29 werkloosheid: 21,5% gemiddeld inkomen: 20 000 € ontevreden met netheid buurt: 22% niet in goede gezondheid: 36% gemiddelde huurprijs app.: 551 €</p>	<p>Fernand Neuray</p> <p>bereikbaarheidsscore: 166 score blootstelling NO₂: 29 werkloosheid: 11,2% gemiddeld inkomen: 42 700 € ontevreden met netheid buurt: 17% niet in goede gezondheid: 19% gemiddelde huurprijs app.: 720 €</p>
laag	<p>Katanga</p> <p>bereikbaarheidsscore: 130 score blootstelling NO₂: 33 werkloosheid: 19,5% gemiddeld inkomen: 21 500 € ontevreden met netheid buurt: 27% niet in goede gezondheid: 32% gemiddelde huurprijs app.: 638 €</p>	<p>Lenneke Mare</p> <p>bereikbaarheidsscore: 125 score blootstelling NO₂: 31 werkloosheid: 6,3% gemiddeld inkomen: 62 500 € ontevreden met netheid buurt: 10% niet in goede gezondheid: 24% gemiddelde huurprijs app.: 741 €</p>

8. Conclusie

Voorafgaand aan de bovenstaande analyse ontwikkelden we een tweeledige onderzoekshypothese. Het eerste deel van de hypothese, waarin gesteld wordt dat de blootstelling aan door het verkeer veroorzaakte luchtvervuiling in Brussel in sterke mate gecorreleerd is met de geografische bereikbaarheid van de plek, kan op basis van onze analyse bevestigd worden.

Het tweede deel van de hypothese, die stelt dat de ruimtelijke variatie van de vastgoedprijzen beter verklaard wordt door de geografische bereikbaarheid dan door de blootstelling aan door het verkeer veroorzaakte luchtvervuiling, wordt echter niet eenduidig bevestigd. Afhankelijk van de toegepaste regressieanalyse lijkt er een zwak positief verband te bestaan tussen bereikbaarheid en de verkoopprijs van rijwoningen, terwijl er voor appartementen een negatief verband lijkt te bestaan met de blootstelling aan vervuilde lucht. Een blik op de kaart met de ruimtelijke distributie van de vastgoedprijzen toont echter dat deze verbanden ondergeschikt zijn aan heel andere mechanismen die te maken hebben met historische structuren, sociale segregatie, en

padafhankelijkheid. De stadseconomische theorieën die aan de basis liggen van de analyse lijken in Brussel nauwelijks van toepassing, al zeker niet op het niveau van de buurt.

Wanneer we naar de sociaaleconomische status van de bestudeerde buurten kijken, dan zien we een relatief sterke onafhankelijkheid ten aanzien van zowel bereikbaarheid als blootstelling aan slechte luchtkwaliteit. Buurten die een relatief hoge bereikbaarheidsscore combineren met een relatief lage mate van blootstelling kunnen zowel laag als hoog scoren binnen het spectrum van sociaaleconomische status. Hoewel er in termen van bereikbaarheid en blootstelling aan vervuilde lucht in Brussel duidelijk sprake is van ruimtelijke onrechtvaardigheid, weerspiegelt deze niet de sociaaleconomische structuur van het gewest.

Verder onderzoek zal zich toespitsen op bereikbaarheid met het openbaar vervoer en bereikbaarheid met de fiets, en op het ontwikkelen van beleidsmaatregelen die de luchtkwaliteit op de meest vervuilde plaatsen in Brussel kan inperken.

Referenties

- Anselin, L., & Lozano-Gracia, N. (2008). Errors in variables and spatial effects in hedonic house price models of ambient air quality. *Empirical Economics*, 34(1), 5–34.
- BISA (20147). De Wijkmonitoring van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Bezocht op 7 juli 2017, <https://wijkmonitoring.brussels/>
- Davoudi, S., & Brooks, E. (2014). When does unequal become unfair? Judging claims of environmental injustice. *Environment and Planning A*, 46(11), 2686 – 2702.
- Fennell, L. A. (2015). Agglomerama. *Brigham Young University Law Review*, 1373.
- Glaeser, E. L. (1998). Are cities dying? *The Journal of Economic Perspectives*, 12(2), 139–160.
- Harrison, D., & Rubinfeld, D. L. (1978). Hedonic housing prices and the demand for clean air. *Journal of Environmental Economics and Management*, 5(1), 81–102.
- Nelson, J. P. (1978). Residential choice, hedonic prices, and the demand for urban air quality. *Journal of Urban Economics*, 5(3), 357–369.
- Ridker, R. G., & Hanning, J. A. (1967). The determinants of residential property values with special reference to air pollution. *The Review of Economics and Statistics*, 49(2), 246–257.
- Srour, I. M., Kockelman, K. M., & Dunn, T. P. (2002). Accessibility indices: a connection to residential land prices and location choices. *Transportation Research Record*, 1805, 25–34.