Gezondheidsimpact van geluidshinder door wegverkeer in de stad Antwerpen

Michael Rooman, Universiteit Antwerpen

Promotor: prof. Hans Keune, Universiteit Antwerpen

Master of Family Medicine

Masterproef Huisartsgeneeskunde
Academiejaar: 2022 – 2023

Deze masterproef is een examendocument dat niet werd gecorrigeerd voor eventueel vastgestelde fouten. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen tot of informatie i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, wendt u tot de universiteit waaraan de auteur is ingeschreven.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in dit afstudeerwerk beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

Abstract

Gezondheidsimpact van geluidshinder door wegverkeer in de stad Antwerpen

Huisarts in opleiding: Michael ROOMAN, Universiteit Antwerpen
Promotor: prof. Hans KEUNE, Universiteit Antwerpen

Context: Geluidshinder komt de laatste jaren toenemend onder de aandacht als bron van ziektelast. De WHO schat dat in Europa er ten minste 1 miljoen DALY (disability adjusted life years) verloren gaan door verkeersgerelateerde geluidshinder. Dit gebeurt bijvoorbeeld via ernstige hinder (betreft onder andere psychische problemen), slaapverstoring en coronaire ischemie. Deze impact wordt nog vaak onderschat.

Onderzoeksvraag: Voor de inwoners van de stad Antwerpen, welke ziektelast kan toegeschreven worden aan geluidsbelasting door wegverkeer? Waar bevindt zich geografisch de grootste gezondheidsimpact hiervan? In welke mate volgt het beleid de wetenschappelijke evidentie hierrond, en welke rol kan de huisarts hierin spelen?

Methode: In de E-HIS (Environmental Health Impact Simulator) van de Vlaamse Overheid is voor elke statistische sector berekend hoeveel extra ziektelast door geluidshinder van wegverkeer verwacht kan worden. Dit is gebeurd met gegevens van de meest recente MIRA strategische geluidsbelastingskaarten en bevolkingsdata, op basis van de dosis-responscurve uit de Environmental Noise Guidelines for the European Region. Deze gemodelleerde gezondheidskosten worden vergeleken tussen de verschillende postcodes van Antwerpen, in een *one-way* ANOVA.. De sectoren met de hoogste verwachte kosten op de verschillende berekeningswijzen worden ook kwalitatief besproken. Hiernaast wordt een bespreking gemaakt van de maatregelen in het huidige geluidsactieplan van Stad Antwerpen.

Resultaten: De incidentie van extra hospitalisaties voor ischemisch hartlijden veroorzaakt door geluidshinder door wegverkeer wordt geschat op 1 431 per jaar. De prevalentie van slaapverstoorde inwoners wordt geschat op 33 422. De prevalentie van ernstig gehinderde inwoners wordt geschat op 101 168. De totale verwachte gezondheidskosten hierdoor bedragen €451 617 044. Deze absolute waarden dienen voorzichtig geïnterpreteerd te worden, gezien het een extrapolatie betreft op basis van gemodelleerde geluidsgegevens. Er is een significant verschil tussen stadsdelen in de verwachte gezondheidskosten per inwoner ($p<0,001$). Deze zijn het hoogst voor postcode 2000 en 2600. Er is een significant verschil in de verwachte gezondheidskosten per oppervlakte ($p<0,001$). Deze zijn het hoogst voor postcode 2060 en 2140.

Conclusie: De stad Antwerpen maakt sinds een aantal jaren werk van een geluidsactieplan. Er blijft volgens de meest recente gegevens een hoge ziektelast door geluidshinder bestaan in de stad door wegverkeer. Onze analyse stipt een aantal interessante knelpunten aan, en toont ook belangrijke beperkingen voor het gebruik van de E-HIS in stedelijke context. Een berekening van ziektelast op een fijnere resolutie is nuttig. Ideaal gebeurt dit per individueel adres en op basis van de meest recente strategische geluidsbelastingskaarten opgeleverd door Stad Antwerpen. Op een aantal vlakken volgt het beleid reeds de richtlijnen uit de literatuur, op andere vlakken is verdere verbetering mogelijk. Gezien de hoge geschatte ziektelast lijkt bijkomende educatie van huisartsen rond dit onderwerp nuttig, omdat zij een rol spelen in preventie maar ook een signaalfunctie kunnen hebben naar de bevoegde overheden.

1 INLEIDING 1
1.1 Relevantie als huisarts 1
1.2 Probleemstelling 2
1.2.1 Ziektelast door geluidshinder 2
1.2.2 Pathogenese 3
1.2.3 Lokale context 2
1.3 Onderzoeksvraag 4
1.3.1 PICO 5
1.4 Terminologie en afkortingen 5
2 MATERIAAL EN METHODES 5
2.1 Verkennend literatuuronderzoek 5
2.2 Onderzoekspopulatie 7
2.2.1 In- en exclusiecriteria 7
2.3 Uitkomsten 7
2.3.1 Ischemische hartziekten 7
2.3.2 Slaapverstoring 7
2.3.3 Ernstige hinder 7
2.4 Dataverwerking en analyse 7
2.4.1 Dataverzameling 7
2.4.2 Analyse 8
2.4.3 In- en exclusiecriteria 9
2.4.4 Variabelen 10
2.5 Weergave van resultaten 10
2.6 Toetsing van de resultaten aan het huidige geluidsactieplan 11
3 RESULTATEN 12
3.1 Karakteristieken populatie 12
3.2 Ziektelast door geluidshinder van wegverkeer 12
3.2.1 Totale ziektelast 12
3.2.2 Bespreking per postcode (ANOVA) 12
3.2.3 Kwalitatieve bespreking van de sectoren met de hoogste verwachte gezondheidskosten 18
4 DISCUSSIE 32
4.1 Sterkte-zwakte analyse 32
4.2 Toetsing van de resultaten en literatuur aan het huidige geluidsactieplan 33
4.2.1 Gehanteerde bronnen in het geluidsactieplan 33
4.2.2 Maatregelen uit het geluidsactieplan 34
5 CONCLUSIE 40
6 REFERENTIES 41
7 DANKWOORD 43

Lijst van tabellen en figuren

Tabel 1. Verdeling van de sectoren over de postcodes 9
Tabel 2. Aantal inwoners per postcode..... 12
Tabel 3. Aangedane inwoners en totale ziektelast 12
Tabel 4. Gezondheidskosten per inwoner per postcode 13
Tabel 5. Post-hoc vergelijking van de kosten per inwoner tussen de verschillende postcodes 14
Tabel 6. Gezondheidskosten per oppervlakte per postcode 15
Tabel 7. Post-hoc vergelijking van de kosten per oppervlakte tussen de verschillende postcodes 16

Figuur 1. Detail uit de MIRA geluidsbelastingskaart 2018, Lden wegverkeer..... 8
Figuur 2. Detail uit uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018) 8
Figuur 3. Overzicht van het geïncludeerde gebied, verdeeld in statistische sectoren 9
Figuur 4. Sectoren in postcode 2050, met ster gemarkeerd sector 'Galgeweel' 10
Figuur 5. Gezondheidskosten per inwoner, gerangschikt van hoog naar laag 13
Figuur 6. Gezondheidskosten per oppervlakte, gerangschikt van hoog naar laag. 16
Figuur 7. Sectoren in postcode 2000, met ster gemarkeerd 'Museumwijk', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 18
Figuur 8. Sectoren in postcode 2170, met ster gemarkeerd 'Lambrechtshoeken', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 19
Figuur 9. Sectoren in postcode 2018, met ster gemarkeerd 'Bell', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 20
Figuur 10. Sectoren in postcode 2100, met ster gemarkeerd 'Ten Eekhove', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 21
Figuur 11. Sectoren in postcode 2018, met ster gemarkeerd 'Dageraadplaats-Ooststatie', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden,wegverkeer 22
Figuur 12. Sectoren in postcode 2600, met een ster gemarkeerd 'Vesten', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 23
Figuur 13. Sectoren in postcode 2600, met ster gemarkeerd 'Oostkwartier', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 24
Figuur 14. Sectoren in postcode 2020, met ster gemarkeerd 'Nachtegalenpark (Wilrijksplein)', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart Lden, wegverkeer..... 25
Figuur 15. Sectoren in postcode 2140, met ster gemarkeerd 'E3 - E39', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 26
Figuur 16. Sectoren in postcode 2020, met ster gemarkeerd 'Blokken-Kruishofstraat', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 27
Figuur 17. Sectoren in postcode 2018, met ster gemarkeerd 'C. Teichmannplaats', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 28
Figuur 18. Sectoren in postcode 2060, met ster gemarkeerd 'De Zavel', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 29
Figuur 19. Sectoren in postcode 2060, met ster gemarkeerd 'St.-Amandus', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 30
Figuur 20. Sectoren in postcode 2140, met ster gemarkeerd 'St.-Anna', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 31
Figuur 21. Sectoren in postcode 2610, met ster gemarkeerd 'De Bruynlaan-Noord', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen Lden, wegverkeer 32

1 Inleiding

1.1 Relevantie als huisarts

Als huisarts hebben wij een belangrijke rol in preventie: zowel primaire, secundaire als tertiaire preventie. Ook bewustmaking rond de verschillende risicofactoren vind ik een belangrijke rol hierbinnen. Dat is waarom ik gekozen heb om voor mijn masterthesis rond gezondheidsimpact van geluidshinder door wegverkeer te werken.

Rond luchtkwaliteit en de mogelijke gezondheidsimpact hiervan is de laatste jaren het bewustzijn erg toegenomen, maar geluidshinder is iets dat qua gezondheidsimpact (zelfs bij veel artsen) erg onderschat wordt, of als noodzakelijk kwaad aanvaard wordt voor wie in stedelijke omgeving woont. Ik tracht met dit onderzoek bij te dragen aan het bewustzijn rond geluidshinder bij huisartsen en beleidsmakers.

Veel aanpassingen om geluidshinder door wegverkeer te verminderen zijn beleidsmatig te organiseren, en bijgevolg niet rechtstreeks het vakgebied van de huisarts. Die richt zich in de dagelijkse praktijk voornamelijk op preventie voor de individuele patiënt, maar kan voor onderschatte gezondheidsproblemen als geluidshinder ook een belangrijke signaalfunctie hebben.

Hierin zie ik een belangrijke rol weggelegd voor de netwerken waarin huisartsen nu al verbonden zijn: huisartsenkring, lokale kwaliteitsgroep (LOK), … Deze netwerken kunnen gebruikt worden om aan huisartsen toe te lichten hoe geluidshinder als gezondheidsprobleem ook relevant is voor hen. Wanneer zij zich bewust zijn van de belangrijkste knelpunten qua geluidshinder, kunnen ze de knelpunten, maar ook evidence-based adviezen als groep communiceren naar de bevoegde overheid (gemeentelijk, maar ook gewestelijk en provinciaal), zodat zij in hun beleid hier rekening mee kunnen houden. Ook via de navormingen voor huisartsen kan er educatie rond geluidshinder gegeven worden, een voorbeeld uit de regio is Updates Huisartsen Provincie Antwerpen.

Verder is er de loco-regionale gezondheidsoverleg en -organisatie (LOGO). Daarbinnen geven voornamelijk medisch milieukundigen vorm aan de uitwerking van het preventiebeleid van de Vlaamse Overheid. Zij kunnen bijvoorbeeld vanuit de Environmental Health Impact Simulator (E-HIS) regionaal een rapport uitbrengen dat in de huisartskringen kan besproken worden.

Maar met de beschikbare gegevens is het ook haalbaar om dit in de dagelijkse praktijk toe te passen. Op basis van de patiëntgegevens zou het programma waarin patiëntendossiers bijgehouden worden, bijvoorbeeld een melding aan de arts kunnen geven over de relevante risicofactoren op de woonplaats van de patiënt.

Specifiek voor geluidshinder zou dit er kunnen uitzien als volgt:

1) De patiënt consulteert de huisarts in het kader van een slaapprobleem
2) De arts krijgt bij het coderen van het slaapprobleem melding dat de patiënt op een plaats woont met een hoge (nachtelijke) geluidsbelasting
3) De arts heeft nu een bijkomende niet-medicamenteuze optie om de patiënt te helpen door het treffen van maatregelen die zich op de aanpak van de geluidshinder richten

Gezien er in België nog steeds erg veel slaap- en kalmeermedicatie gebruikt wordt, worden voor de aanpak hiervan veel middelen ingezet. Zeer recent nog werd er nomenclatuur ingevoerd voor de afbouw van deze medicatie via de apotheker. (1)

Primaire preventie van deze problematiek door bijkomende niet-medicamenteuze interventies voor de aanpak van slaapproblemen is dus zeer welkom. Ook in de primaire preventie van cardiovasculaire problemen neemt het beperken van geluidshinder een belangrijke plaats in.

Iets dat voor deze laatste toepassing wel dient overwogen te worden, is of de patiënt met deze informatie in staat is om iets te ondernemen om de situatie te verbeteren. Als dit niet het geval is, creëert deze kennis vooral frustratie zonder gezondheidswinst, mogelijk zelfs met gezondheidsverlies door bijkomende stress.

1.2 Probleemstelling

1.2.1 Ziektelast door geluidshinder

Gelijklopend met globale verstedelijking, is omgevingslawaai de laatste jaren toenemend onder de aandacht gekomen als een mogelijke factor die ziektelast kan veroorzaken. Zowel lokaal als internationaal is hier in de vakliteratuur en populaire media meer en meer aandacht voor. (2)

Heel wat steden bekijken nu op een gestructureerde manier hoe ze de belasting door omgevingslawaai kunnen beperken, en zo een gezondere leefomgeving kunnen creëren. In Parijs worden bijvoorbeeld sinds 2021 drastische maatregelen genomen om de geluidshinder voor inwoners te verminderen. (3) Ook Antwerpen beschikt al sinds 2014 over een geluidsactieplan.

Het onderzoeken van de gezondheidsimpact van geluidshinder past binnen de One Health-benadering, waarbij de interactie tussen de gezondheid van mens en dier en hun omgeving vanuit verschillende perspectieven onderzocht worden. Dit omdat een groot deel van de uitdagingen waar we voor staan qua gezondheid, een gecoördineerde aanpak vanuit verschillende hoeken vraagt. Een recent en bekend voorbeeld hiervan is de recente COVID-19 pandemie, die een zoönose betreft. (4)

Sciensano benoemt hierbinnen drie prioriteiten:

- Antimicrobiële resistentie
- Zoönosen
- Gezondheidsrisico's te wijten aan blootstelling aan omgevingsbronnen

Deze studie past binnen het derde prioriteitsgebied, meer precies de link tussen geluidshinder door wegverkeer en de gezondheidseindpunten coronaire ischemie, slaapverstoring en ernstige subjectieve hinder. Deze laatste omvat bijvoorbeeld stressklachten, psychosomatiek, …

Zoals in het gedeelte 'Relevantie als huisarts' reeds toegelicht werd, is gezondheidsimpact door geluidshinder niet alleen voor de huisarts relevant. Het is bij uitstek een probleem dat transdisciplinair aangepakt moet worden. (5) Een optimale aanpak bundelt zowel academische als niet-academische experts. Academisch betreft dit het medische, maar ook onder andere experts in omgevingsakoestiek. Voor de vertaling naar de praktijk leveren andere *stakeholders* zoals beleidsmakers en patiënten- of bewonersgroepen dan weer hun bijdrage.

1.2.2 Lokale context

De Europese richtlijn 2002/49/EG bepaalt dat lidstaten om de 5 jaar strategische geluidsbelastingskaarten moeten opmaken voor de agglomeraties met meer dan 100 000 inwoners op hun grondgebied. (6)

Het huidige geluidsactieplan van Stad Antwerpen is gebaseerd op de derde ronde van deze strategische geluidsbelastingskaarten. (7) Dit plan stipt een aantal knelpunten aan, en formuleert ook heel wat maatregelen die in de periode 2019 – 2023 verwacht worden uitgevoerd te zijn. Het betreft enkel maatregelen die binnen de bevoegdheden vallen van het stadsbestuur. Daarnaast bevat ook

het Vlaamse geluidsactieplan voor de belangrijke wegen maatregelen met impact op het Antwerpse geluidsklimaat. De maatregelen op Vlaams niveau worden niet besproken in voorliggende thesis.

Deze studie probeert mee een *evidence-based* aanzet te zijn voor het volgende geluidsactieplan voor de stad Antwerpen. In 'Discussie' zal ook beschreven worden in hoeverre het huidige geluidsactieplan reeds de conclusies uit deze studie en de richtlijn van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) toepast, en welke aanbevelingen niet op de meest recente wetenschappelijke evidentie gebaseerd zijn.

1.2.3 Pathogenese

Op welke manieren kan geluidshinder ziektelast veroorzaken? Deze mechanismen zijn nog niet volledig gekend, maar uit onderzoek komen een aantal plausibele hypotheses naar voor. Een uitgebreide beschrijving van de recente literatuur is terug te vinden in 'Biological mechanisms related to cardiovascular and metabolic effects by environmental noise'. (8) De belangrijkste conclusies hieruit worden hieronder beschreven.

1.2.3.1 Acute effecten

De acute effecten bij geluidsblootstelling zijn het meest bestudeerd. Deze studies tonen ook dat het gehoor tijdens de slaap actief blijft, voornamelijk omdat het een belangrijke waarschuwingsfunctie heeft.

De fysiologische respons op acute geluidsblootstelling verloopt via 2 mechanismen:

- Orthosympatisch zenuwstelstel – bijnier as
- Hypothalamus – hypofyse – bijnier as (HPA-as)

Deze mechanismen maken beide deel uit van de 'fight or flight'-respons die het lichaam klaarmaakt om te reageren op dreigend gevaar. Door orthosympatische activatie stelt het bijniermerg adrenaline en noradrenaline vrij.

Deze adrenaline en noradrenaline zorgen voor:

- Hypertensie door vasoconstrictie van perifere bloedvaten
- Tachycardie en verhoogd slagvolume
- Verhoogde glycemie
- Verhoogde stollingsneiging door trombocyt-aggregatie

Door activatie vanuit de hypothalamus, produceert de hypofyse adreno-corticotroop hormoon (ACTH). Dit ACTH stimuleert de productie van glucocorticoïden (bv. cortisol) in de bijnieren.

Deze glucocorticoïden zorgen voor:

- Hyperglycemie door glycogenolyse, lipolyse en verminderde perifere opname van glucose
- Immuunsuppressie
- Hypertensie door vasoconstrictie en zoutretentie in de nier

1.2.3.2 Chronische effecten

De mechanismen die bij chronische geluidsblootstellingen slechtere gezondheidsuitkomsten veroorzaken zijn tot op heden minder bestudeerd. De meest waarschijnlijke hypothesen zijn gebaseerd op een combinatie van directe en indirecte effecten.

De beschreven directe effecten zijn tweeledig.

Door herhaalde of langdurige orthosympatische activatie is er een langdurig verhoogde catecholaminespiegel. Dit leidt tot:

- Hypertensie door vasoconstrictie

- Atherosclerose en verhoogde stollingsneiging

Door herhaalde of langdurige activatie van de HPA-as is er een langdurig verhoogde cortisolspiegel. Dit leidt tot:

- Hypertensie door verhoogde gevoeligheid van de adrenerge receptoren
- Verlaagde hoeveelheid circulerende geslachts- en groeihormonen
- Verhoogd risico op abdominale obesitas. Dit komt zowel door verhoogd cortisol als verlaagde spiegels van geslachts- en groeihormonen.
- Insulineresistentie in perifeer spierweefsel. Dit is ook een belangrijke risicofactor in de ontwikkeling van type 2 diabetes en cardiovasculaire aandoeningen.
- Verhoogde activiteit van lipoproteïne lipase. Dit zorgt voor een omzetting van triglyceriden in vrije vetzuren. Deze zorgen op hun beurt voor inhibitie van het glucosemetabolisme en hyperinsulinemie.

Als indirect causaal mechanisme in het ontstaan van gezondheidsproblemen door geluidshinder komt uit de literatuur voornamelijk slaapverstoring naar voren.

Tijdens de slaap is normaalgezien de HPA-as minder actief en is er een verhoogde blootstelling van groeihormoon. De mechanismen die geactiveerd worden bij verminderde slaapduur en -kwaliteit vertonen een belangrijke overlap met deze die geactiveerd worden bij geluidsbelasting.

Tot op heden zijn beschreven:

- Verhoogde orthosympatische activatie
- Verhoogde activiteit van de HPA-as
- Metabole effecten: verlaagde glucosetolerantie en insulinesensitiviteit, verhoogd risico op type 2 diabetes
- Gewichtstoename door verlaagde leptine- en verhoogde ghrelinespiegels
- Verhoogde systemische inflammatie, gemeten aan de hand van bloedspiegels van IL-6, TNF-alfa en CRP. Deze systemische inflammatie is een bijkomende risicofactor voor cardiovasculaire, metabole en andere chronische aandoeningen.

Een andere factor die bestudeerd is als indirect mechanisme van fysieke ziektelast is de subjectieve hinder die men van geluidsoverlast ondervindt. De hypothese is daarbij dat bij grotere subjectieve hinder er een verhoogde activatie is van bovenstaande mechanismen. Anderzijds kan deze verhoogde subjectieve hinder ook een beschermende factor zijn, als deze leidt tot probleemgerichte coping-mechanismen, bijvoorbeeld het plaatsen van bijkomende geluidsisolatie.

Hier zijn de resultaten dan ook niet conclusief: er is zowel een versterkte, verzwakte of onveranderde relatie tussen subjectieve hinder en hypertensie beschreven, voor vergelijkbare blootstelling aan wegverkeer.

1.3 Onderzoeksvraag

Deze studie tracht bij te dragen aan de kennis betreffende geluidsbelasting door wegverkeer, en de daarmee geassocieerde gezondheidsuitkomsten. Dit specifiek voor de inwoners van de stad Antwerpen, op basis van de meest recente gegevens die beschikbaar zijn.

Onze hypothese is dat er in de Antwerpse context een significante ziektelast is door geluidshinder van wegverkeer.

Wij proberen hierbij deze ziektelast te berekenen, volgens de dosis-responsrelaties beschreven in de Environmental Noise Guidelines for the European Region van de WHO (9), alsook te preciseren waar de grootste knelpunten zich bevinden.

Hiernaast trachten wij een analyse te maken in hoeverre het huidige beleid reeds de adviezen uit onze analyse en de literatuur volgt om de geluidshinder te verbeteren.

Onze onderzoeksvraag luidt dan ook: voor de inwoners van de stad Antwerpen, welke ziektelast kan toegeschreven worden aan geluidsbelasting door wegverkeer? Waar bevindt zich geografisch de grootste gezondheidsimpact hiervan? In welke mate volgt het beleid de wetenschappelijke evidentie hierrond, en welke rol kan de huisarts hierin spelen?

1.3.1 PICO

P: inwoners van de stad Antwerpen in 2018

I: geluidshinder door wegverkeer

C: vergelijking tussen de verschillende postcodes

O: totale ziektelast, beschreven als kosten in euro per jaar, per inwoner en per oppervlakte, voor:
- Hospitalisaties in het kader van ischemisch hartlijden, en
- Slaapverstoring, en
- Ernstige hinder

1.4 Terminologie en afkortingen

dB(A): decibel, gecorrigeerd voor waarneming door het menselijke oor

E-HIS: Environmental Health Impact Simulator

HPA-as: hypothalamus – hypofyse – bijnier as (hypothalamic – pituitary – adrenal axis)

L_{day}: gemiddelde geluidsblootstelling tussen 7u00 en 19u00, uitgedrukt in dB(A)

$L_{evening}$: gemiddelde geluidsblootstelling tussen 19u00 en 23u00, uitgedrukt in dB(A)

L_{night}: gemiddelde geluidsblootstelling tussen 23u00 en 7u00, uitgedrukt in dB(A)

L_{den}: gewogen gemiddelde van L_{day}, $L_{evening}$ en L_{night}, gewogen volgens het aantal uren dat elk bestrijkt, uitgedrukt in dB(A), en waar bij $L_{evening}$ en L_{night} een verzwarende term van respectievelijk 5 dB(A) en 10 dB(A) wordt toegepast.

L_{dn}: gewogen gemiddelde van L_{day} en L_{night}, gewogen volgens het aantal uren dat elk bestrijkt, uitgedrukt in dB(A), en waar bij L_{night} een verzwarende term van 10 dB(A) wordt toegepast.

Statistische sector: kleinste administratieve eenheid in België zonder privacygevoelige informatie

2 Materiaal en methodes

2.1 Verkennend literatuuronderzoek

Om in de literatuur te verkennen welk relevant onderzoek er al was voor onze onderzoeksvragen, werd gezocht in de Medline en PMC database, op artikels gepubliceerd in 2000 of later.

De zoekopdracht bestond uit de volgende MeSH termen: ‘noise, transportation’ AND (‘belgium’ OR ‘environmental health’ OR ‘urban health’). Dit leverde 84 artikels op, waarvan er na lezing van het abstract er 14 relevante overbleven voor onze onderzoeksvragen. Hiernaast werden de richtlijnen rond geluidshinder van de WHO geraadpleegd, in het bijzonder de ‘Environmental Noise Guidelines for the European Region’. (9)

Er komen verschillende conclusies naar voren. Een aantal studies richten zich op de individuele ziektelast geassocieerd met geluid van wegverkeer. Dit betreft vaak bevragingen getoetst aan geluidsmetingen. Botteldooren et al. 2011 (10) toont dat verhoogde geluidshinder in een wijk geassocieerd is met een slechtere zelf gerapporteerde levenskwaliteit. Bluhm et al. (11) toonde in 2004 dat in Stockholm geluidshinder een toenemend probleem is, dat er voor slaapproblemen een zekere gewenning aan geluidshinder gerapporteerd wordt maar voor hinder niet. Ook wijzen zij erop dat een belangrijke protectieve factor de aanwezigheid van een stille zijde van de woning is. Deze conclusie wordt bevestigd door Van Renterghem et al. (12) en de Kluizenaar et al. (13)

Een interessante vaststelling door Jakovljevic et al. in 2006 (14), is dat ook na correctie voor persoonlijke factoren, er in luide straten een verhoogde prevalentie van slaapverstoring vastgesteld wordt. Vermoedelijk is er dus ook bij personen die geen subjectieve hinder rapporteren, slaapverstoring ten gevolge van geluid. In de richtlijn van de WHO uit 2018 wordt deze conclusie ook gevolgd, op basis van een grotere literatuurstudie.

Een ander belangrijk gezondheidseindpunt is de maatschappelijke ziektelast die geassocieerd is met geluidshinder. De meeste gegevens zijn er voor cardiovasculaire eindpunten. Deze worden onder andere bestudeerd door Babisch et al. (15). In de richtlijn van de WHO is er rond deze eindpunten ook een systematic review uitgevoerd. Davies et al. (16) en Fuks et al. (17) benoemen hierbij dat metingen bij voorkeur zowel voor geluid als luchtvervuiling gedaan worden, omdat deze een additief effect lijken te hebben voor cardiovasculaire eindpunten. Nieuwenhuijsen et al. (18) concludeert dat stadsplanning een belangrijke invloed kan hebben op deze cardiovasculaire uitkomsten, zowel via blootstelling aan geluidshinder en luchtvervuiling, alsook door invloed op de gebruikte transportmodi.

Ook voor andere eindpunten worden studies uitgevoerd om te toetsen of er een link met geluidshinder is. Een voorbeeld dat uit deze literatuurstudie naar voren komt, is een studie van Diaz et al. uit 2018 (19), waarin zij een verhoogde zorgvraag van patiënten met de ziekte van Parkinson vaststellen op dagen met verhoogde L_{den}- en L_{night}-belastingen.

Belangrijke uitdagingen om hier verdere vooruitgang in te boeken zijn de nauwkeurigheid van modellen, en verfijning hiervan met metingen. Braubach et al. 2015 (20) zoekt een methode om interventies qua geluid en hun invloed op populatiewelzijn te meten, en toont een aantal valkuilen en beperkingen. Can et al. 2011 (21) toont een methode om gemodelleerde gegevens met korte metingen nauwkeuriger te maken. Gezien deze metingen in een andere Belgische stad gebeurden (Gent), is deze bijzonder relevant voor de Antwerpse context.

Hiernaast zijn er ook persoonlijke factoren (bv. verschil in subjectieve geluidsgevoeligheid), die nauwkeurige meting en rapportering van een aantal eindpunten bemoeilijken. Paunovic et al. (22) benoemt een aantal factoren die geassocieerd zijn met hogere of lagere gerapporteerde hinder.

Aletta et al. 2018 (23) is de enige studie uit het literatuuronderzoek die in Antwerpen is uitgevoerd. Het betreft een case study over het Ringfietspad. Zij concluderen dat persoonlijke factoren een belangrijke impact hebben op de ervaren geluidshinder door gebruikers. Voor sommige gebruikers maakt de visuele aanwezigheid van groen rondom het fietspad de hoge geluidsbelasting minder storend, voor andere gebruikers is de invloed hiervan zeer beperkt.

2.2 Onderzoekspopulatie

2.2.1 In- en exclusiecriteria

Geïncludeerd worden alle inwoners van de stad Antwerpen op het moment van de oplevering van de meest recente strategische geluidsbelastingskaarten van de agglomeratie Antwerpen (2018), van 20 jaar en ouder. De leeftijdsgrens is gekozen omdat deze reeds gehanteerd werd in de E-HIS.

2.3 Uitkomsten

In deze studie is bewust gekozen om de gezondheidsimpact van wegverkeer en de eruit voortvloeiende kosten uit te drukken in absolute waarden per jaar (aantal gevallen en euro). Deze kosten worden dan geëvalueerd volgens het aantal inwoners binnen en de oppervlakte van een statistische sector.

Een berekening per aantal inwoners volgt nauwer de geluidskaarten en absolute geluidsbelasting, maar gaat voorbij aan het gegeven of het gebied rondom een grote geluidsbron dichtbevolkt is of niet. Dit maakt qua absolute gezondheidsimpact echter een groot verschil, en kan bepalend zijn of de kosten-batenverhouding van een ingreep om de geluidshinder te verminderen gunstig is of niet.

Anderzijds gaan dichtbevolkte statistische sectoren sneller een grote geschatte gezondheidsimpact door geluidshinder hebben bij een berekening per oppervlakte, maar de potentiële gezondheidswinst op bevolkingsniveau door het aanpakken van deze hinder is evenzeer groter voor dichtbevolkte statistische sectoren.

De analyse per oppervlakte is dus een belangrijke aanvulling op deze per inwoner, door te bekijken welke postcodes een grote gezondheidsimpact dragen die met een relatief kleine ruimtelijke ingreep kan aangepakt worden.

2.3.1 Ischemische hartziekten

Deze uitkomst zal worden beschreven als incidentie (aantal ziekenhuisopnames per jaar) en verwachte kosten voor de ziekteduur (euro per jaar).

2.3.2 Slaapverstoring

Deze uitkomst zal worden beschreven als prevalentie (aantal aangedane inwoners) en verwachte kosten voor de ziekteduur (euro per jaar).

2.3.3 Ernstige hinder

Deze uitkomst zal worden beschreven als prevalentie (aantal aangedane inwoners) en verwachte kosten voor de ziekteduur (euro per jaar).

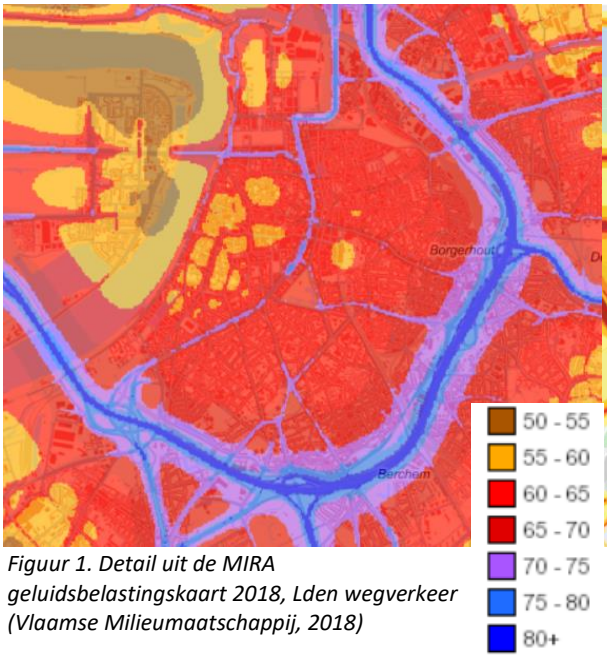
2.4 Dataverwerking en analyse

2.4.1 Dataverzameling

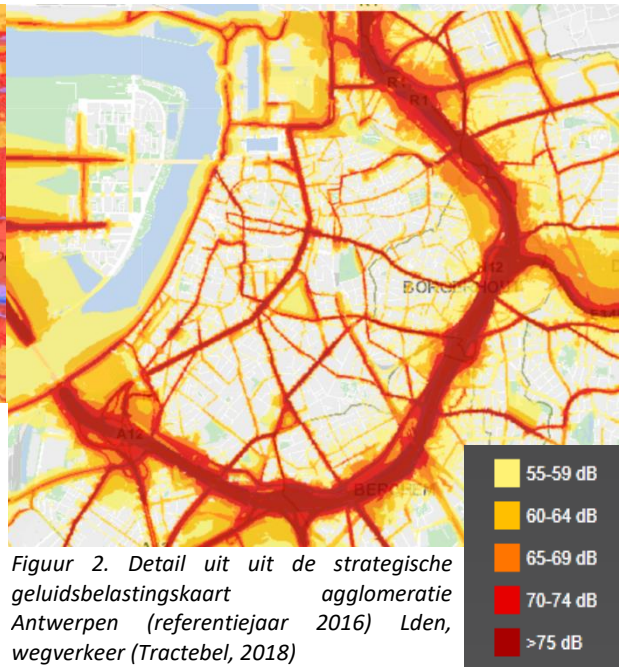
De gezondheidsdata is geëxtraheerd uit de E-HIS tool (Environmental Health Impact Simulator) van het Agentschap Zorg en Gezondheid van de Vlaamse Overheid.

Zij hebben hiervoor op basis van de MIRA strategische geluidsbelastingskaarten voor wegverkeer en geanonimiseerde inwonersgegevens per statistische sector een gemiddelde gezondheidsdruk berekend. De resultaten zijn om privacy redenen niet per individueel adres gepubliceerd, maar vermoedelijk zijn de berekeningen per adres om complexiteitsredenen ook niet gemaakt.

Een belangrijke beperking om rekening mee te houden is dat de berekeningen in de E-HIS gebaseerd zijn op de MIRA geluidsbelastingskaarten van 2018. (24) Deze zijn voor heel Vlaanderen opgemaakt, maar zijn niet even fijnmazig gemodelleerd als deze voor de agglomeratie Antwerpen. (6)



Figuur 1. Detail uit de MIRA geluidsbelastingskaart 2018, Lden wegverkeer (Vlaamse Milieumaatschappij, 2018)



Figuur 2. Detail uit uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

De dosis-responscurves die in E-HIS gebruikt worden om op basis van de MIRA geluidsbelastingskaarten en de bevolkingsgegevens tot een geschatte ziektelast te komen, zijn afkomstig van de systematic reviews van de WHO, respectievelijk voor ernstige hinder (25), slaapverstoring (26) en ischemisch hartlijden (27).

De extrapolaties qua gezondheidsimpact van geluidshinder zijn in de E-HIS tot op heden enkel voor scenario 2018 beschikbaar, en deze vloeien voort uit geluidskaarten op basis van metingen in 2016.

Het belangrijkste verschil tussen een berekening per statistische sector (zoals in de E-HIS) en een berekening per individueel adres is de assumptie dat de bevolkingsdichtheid binnen de statistische sectoren gelijk verdeeld is over de oppervlakte. In de E-HIS zijn de gezondheidsgegevens voor geluidshinder enkel voor wegverkeer beschikbaar, dus onderstaande kwantitatieve analyse is enkel van toepassing voor wegverkeer.

Omwille van deze beperkingen zijn de absolute waarden (zowel in aantal patiënten als in euro) met zeer grote voorzichtigheid te interpreteren, en hebben zij vooral waarde om verschillende gebieden ten opzichte van elkaar te vergelijken.

De bevolkings- en oppervlaktedata van de statistische sectoren is afkomstig van de *open data* van Statbel, ook voor 2018. (28) Er is voor 2018 gekozen omdat de oplevering van de gebruikte strategische geluidsbelastingskaarten dan gebeurde. Deze zijn wel gebaseerd op metingen uit 2016.

Om de analyse per oppervlakte te beperken tot effectief bewoonde gebieden, is ervoor gekozen om alle sectoren met minder dan 20 inwoners te excluderen uit de analyse. Dit betreft voornamelijk parken, havengebied, andere bedrijventerreinen en grote verkeersknooppunten zonder woongebied.

2.4.2 Analyse

Hier zal enkel de analyse gedaan worden voor totale gezondheidskosten, gezien dit de belangrijkste factor is die in kosten-batenanalyse van maatregelen gehanteerd wordt. Ook kunnen deze kosten tussen de verschillende problemen opgeteld worden en het aantal aangedane patiënten niet.

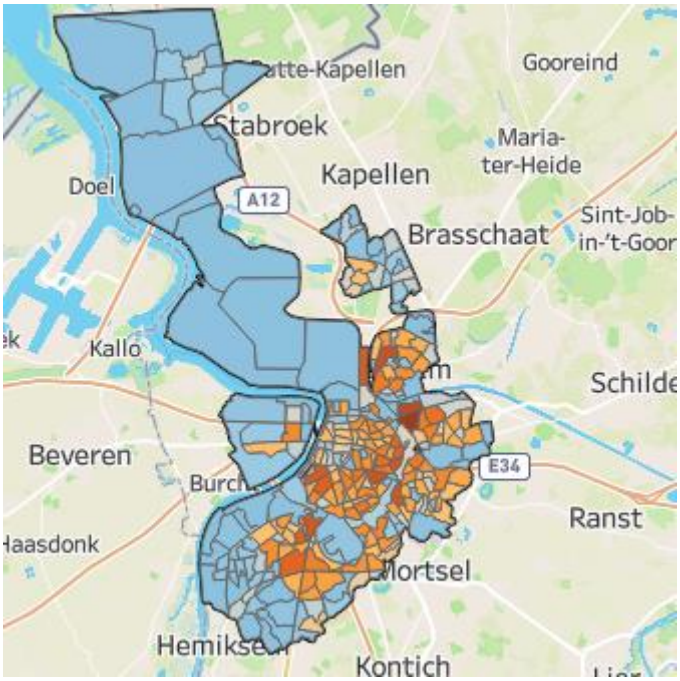
Hiervoor wordt een ANOVA gebruikt, met de verschillende postcodes als *fixed factor* en de gezondheidskosten per oppervlakte en gezondheidskosten per inwoner als afhankelijke variabelen.

2.4.3 In- en exclusiecriteria

Alle statistische sectoren op het grondgebied van de stad Antwerpen worden geïncludeerd. Dit betreft de volgende stadsdelen.

Postcode	Aantal sectoren (n)	Naam
2000	21	Antwerpen (Centrum)
2018	23	Antwerpen (Zuid)
2020	14	Kiel
2030	3	Luchtbal
2040	9	Berendrecht Zandvliet Lillo
2050	9	Linkeroever
2060	16	Antwerpen (Borgerhout)
2100	33	Deurne
2140	15	Borgerhout
2170	21	Merksem
2180	22	Ekeren
2600	25	Berchem
2610	20	Wilrijk
2660	20	Hoboken
Totaal	251	

Tabel 1. Verdeling van de sectoren over de postcodes

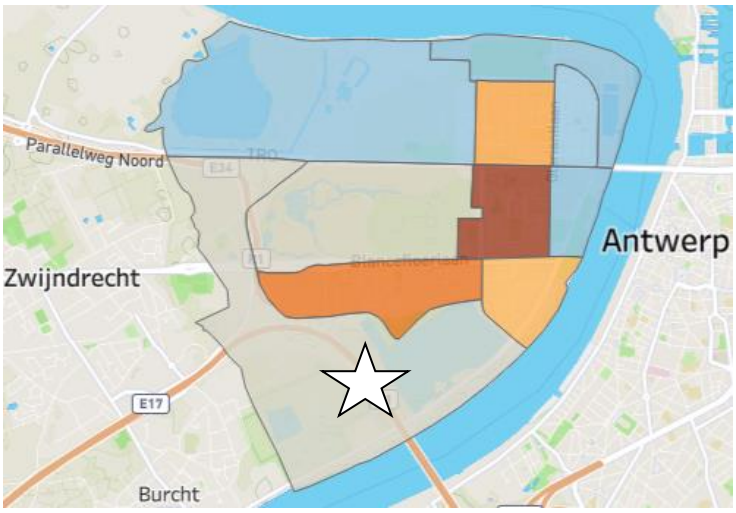


Figuur 3. Overzicht van het geïncludeerde gebied, verdeeld in statistische sectoren

Alle sectoren met minder dan 20 inwoners worden geëxcludeerd, daar deze makkelijk *outliers* kunnen vormen (voornamelijk in de berekening van de kosten per inwoner) en slechts een zeer kleine bijdrage hebben aan de totale gezondheidskosten.

Eén bijkomende sector wordt geëxcludeerd, omdat deze bij inspectie van de box plots per postcode een belangrijke *outlier* vormde. Dit betreft sector 'Galgeweel', in postcode 2050.

Een hoge absolute geluidsbelasting (het knooppunt Antwerpen-West maakt deel uit van deze sector) in combinatie met een laag aantal inwoners (57 inwoners), maakt dat de gezondheidskosten voor deze sector geschat worden op €5303 per inwoner, waar deze in de volgende 'slechtste' sector (Vestingen, 2600) €1274 per inwoner bedragen.



Figuur 4. Sectoren in postcode 2050, met ster gemarkeerd sector 'Galgeweel'

De bevolkingsdichtheid binnen deze sector is ook niet homogeen verdeeld. De meeste inwoners bevinden zich aan de Beatrijslaan, met name in het Rode Kruis Opvangcentrum en het Forensisch Psychiatrisch Centrum. Dit is een gebied binnen deze statistische sector dat een lagere geluidsbelasting kent dan het gemiddelde voor deze sector. (29) Hieruit kan aangenomen worden dat de berekende gezondheidskosten een overschatting van de reële gezondheidskosten zijn.

2.4.4 Variabelen

2.4.4.1 Fixed factor: postcodes

Als *fixed factors* zullen de verschillende postcodes onderling vergeleken worden, om te bekijken welke statistisch significant verschillende gezondheidskosten door geluidshinder dragen.

Dit om een aantal verschillende redenen. Enerzijds is er het belang van de postcodes als regionaal budget- en beslisniveau. Anderzijds vermijdt dit dat bij de statistische analyse enkele *outliers* het resultaat bepalen in plaats van een tendens per buurt te tonen.

2.4.4.2 Afhankelijke variabelen

De afhankelijke variabelen in de ANOVA zijn:

- De totale gezondheidskosten per inwoner
- De totale gezondheidskosten per oppervlakte

2.4.4.3 Post-hoc analyse

Indien uit de ANOVA blijkt dat er een significant verschil is tussen de verschillende postcodes, zal voor elk paar van postcodes bekeken worden of deze onderling significant verschillen.

Deze post-hoc vergelijking zal gebeuren met LSD correctie.

2.5 Weergave van resultaten

De volledige resultaten zullen weergegeven worden in tabellen, en de significante verschillen tussen postcodes zullen beschreven worden.

Naast de vergelijking tussen de verschillende postcodes, zal ook een oplijsting en kwalitatieve bespreking van de sectoren met de hoogste verwachte gezondheidskosten gemaakt worden. Dit zowel voor de totale kosten, kosten per inwoner als kosten per oppervlakte. Voor elke sector zal een

korte toelichting gemaakt worden voor de straten met een L_{den} boven de 70 dB(A) volgens de gemodelleerde geluidskaarten van de agglomeratie Antwerpen, opgemaakt door Tractebel.

Deze zijn op een andere manier gemodelleerd, op een kleinere resolutie, en houden rekening met de bebouwing. Er kan dus voor individuele straten een belangrijk verschil bestaan tussen de MIRA-kaarten en de door Tractebel gemodelleerde kaarten. Onder 'Dataverzameling' is als voorbeeld het centrum van Antwerpen terug te vinden op de verschillende gemodelleerde geluidsbelastingskaarten. Deze tonen dat de verschillende methodes een belangrijk verschil in resultaat opleveren.

De resultaten van deze verschillende analyses werden mondeling besproken met experts van de afdeling Klimaat en Leefmilieu van Stad Antwerpen, tijdens een vergadering op 13 april 2023. Wanneer in de resultaten gerefereerd wordt aan deze experts, betreft het de geschreven weerslag van ons overleg op 13 april. Zij gaven daar ook belangrijke toelichting over de methodiek achter de verschillende geluidsbelastingskaarten en bijhorende beperkingen, waarover meer uitleg in 'Discussie'.

2.6 Toetsing van de resultaten aan het huidige geluidsactieplan

Na de bespreking van de resultaten zullen de conclusies uit de literatuur en onze analyse getoetst worden aan het huidige geluidsactieplan van de stad Antwerpen.

De doelstellingen die de stad opstelt worden ingedeeld in 4 pijlers, en hierbinnen per maatregel, en krijgen elk een titel in het formaat PxMy: pijler x, maatregel y.

De 4 pijlers die de stad gebruikt zijn:

- Pijler 1: Beleidsvorming omgevingslawaai
- Pijler 2: Stille geluidsbronnen
- Pijler 3: Beschermen en verbeteren geluidsklimaat bestaande situaties
- Pijler 4: Waarborgen geluidsklimaat nieuwe situaties

3 Resultaten

3.1 Karakteristieken populatie

De geïncludeerde sectoren bedragen samen een oppervlakte van 10 138,68 hectare.

Op basis van de gegevens uit 2018 wonen er op dat moment 522 692 inwoners in de geïncludeerde sectoren. Het totaal aantal inwoners van de stad Antwerpen bedraagt op dat moment 522 819, er worden dus slechts 127 inwoners geëxcludeerd. De geïncludeerde inwoners zijn als volgt verdeeld over de postcodes.

Postcode	Aantal inwoners (n)
2000	35 358
2018	62 202
2020	27 811
2030	6 681
2040	9 923
2050	16 089
2060	43 572
2100	79 306
2140	41 518
2170	44 168
2180	27 848
2600	48 123
2610	41 106
2660	38 987
Totaal	522 692

Tabel 2. Aantal inwoners per postcode

3.2 Ziektelast door geluidshinder van wegverkeer

3.2.1 Totale ziektelast

De totale berekende gezondheidskosten door geluidshinder in de stad Antwerpen worden weergegeven in onderstaande tabel.

	Aantal per jaar (n)	Ziektekost per jaar (euro)
Ischemisch hartlijden (hospitalisatie)	1 431	399 080 639
Slaapverstoring	33 422	8 403 840
Ernstige hinder	101 168	44 132 566
Totaal	n.v.t.	451 617 044

Tabel 3. Aangedane inwoners en totale ziektelast

Voor het aantal aangedane inwoners is geen totaal beschikbaar, gezien dezelfde inwoner meerdere van bovenstaande problemen kan hebben. De ziektekost die uit deze verschillende problemen voortvloeit, kan wel opgeteld worden.

De absolute aantallen, zowel voor aantal aangedane inwoners als voor kosten, dienen uiterst voorzichtig geïnterpreteerd te worden, en zijn hoofdzakelijk nuttig om regionale verschillen te interpreteren.

3.2.2 Bespreking per postcode (ANOVA)

Na exclusie van de sectoren met minder dan 20 inwoners en sector ‘Galgeweel’ wegens een belangrijke *outlier*, blijven in totaal 251 statistische sectoren over voor analyse. Deze zijn als volgt verdeeld over de postcodes.

3.2.2.1 Gezondheidskosten per inwoner

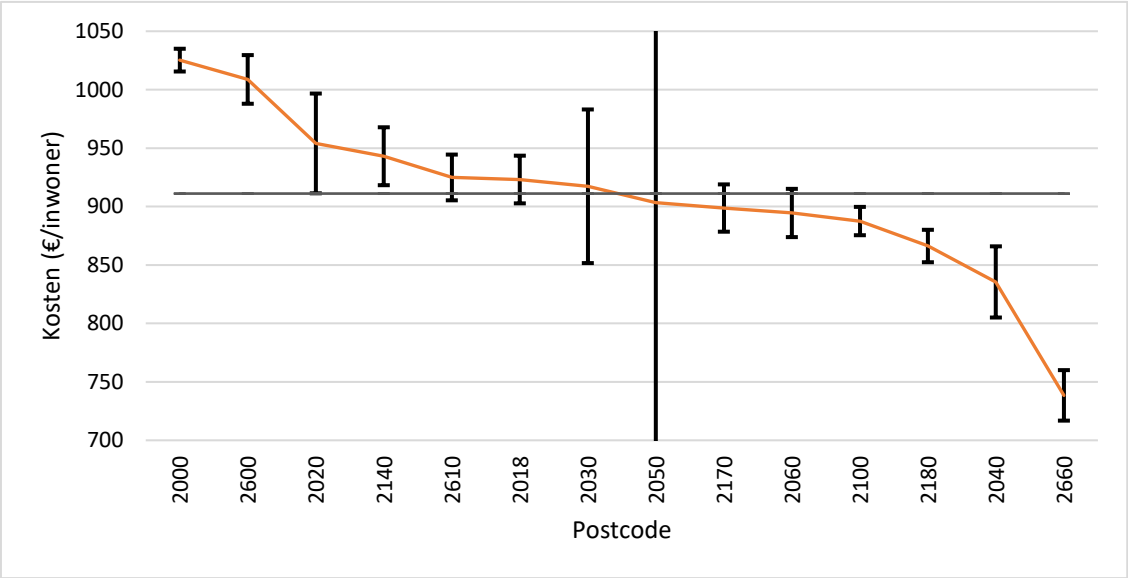
De steekproef wijkt nergens ver af van de normaalverdeling op basis van de inspectie van probability-probability plots.

Een *one-way* ANOVA werd uitgevoerd om de gezondheidskosten per inwoner te vergelijken tussen de verschillende postcodes. Deze ANOVA toonde dat er een significant verschil is in gezondheidskosten tussen ten minste 2 postcodes ($F(13, 238)=[2,879]$, $p<0,001$).

Onderstaande tabel en grafiek tonen de descriptieve statistiek per postcode. Alle significante p-waarden zijn te vinden in Tabel 5.

Postcode	Gemiddelde (euro/inwoner)	Standard error (euro/inwoner)
2000	1025,29	9,74
2018	923,14	20,82
2020	954,02	42,69
2030	917,35	24,78
2040	835,52	19,58
2050	903,28	20,41
2060	894,51	65,73
2100	887,60	442,36
2140	943,06	20,24
2170	898,73	20,64
2180	866,24	12,11
2600	1008,78	13,87
2610	924,91	30,45
2660	738,45	21,6
Totaal	911,10	7,33

Tabel 4. Gezondheidskosten per inwoner per postcode



Figuur 5. Gezondheidskosten per inwoner, gerangschikt van hoog naar laag, met 95% betrouwbaarheidsinterval. De horizontale lijn geeft het gemiddelde weer.

Post-code	2000	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2100	2140	2170	2180	2600	2610	2660
2000	/	<,001	,029	/	<,001	,001	<,001	<,001	,010	<,001	<,001	/	<,001	<,001
2018	<,001	/	/	/	,019	/	/	/	/	/	,043	,002	/	<,001
2020	,029	/	/	/	,003	/	/	,028	/	/	,007	/	/	<,001
2030	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	,002
2040	<,001	,019	,003	/	/	/	/	/	,007	/	/	<,001	,019	,011
2050	,001	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	,004	/	<,001
2060	<,001	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	<,001	/	<,001

2100	<,001	/	,028	/	/	/	/	/	/	/	/	<,001	/	<,001
2140	,010	/	/	/	,007	/	/	/	/	/	,015	,033	/	<,001
2170	<,001	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	<,001	/	<,001
2180	<,001	,043	,007	/	/	/	/	/	,015	/	/	<,001	,044	<,001
2600	/	,002	/	/	<,001	,004	<,001	<,001	,033	<,001	<,001	/	,003	<,001
2610	<,001	/	/	/	,019	/	/	/	/	/	,044	,003	/	<,001
2660	<,001	<,001	<,001	,002	,011	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	/

Tabel 5. Post-hoc vergelijking van de kosten per inwoner tussen de verschillende postcodes

Legende:

- Rood: postcode van de kolom slechter dan postcode van de rij
- Groen: postcode van de kolom beter dan postcode van de rij

De sectoren in postcode 2000 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in alle andere postcodes, met uitzondering van 2030 en 2600. Met deze postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2018 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2040, 2180 en 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcode 2000 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2020 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcode 2040, 2100, 2180 en 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2000. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2030 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcode 2660. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2040 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcode 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2000, 2018, 2020, 2140, 2600 en 2610. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2050 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcode 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2000 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2060 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcode 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2000 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2100 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcode 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2000, 2020 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2140 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2040, 2180 en 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2000 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2170 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcode 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2000 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2180 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcode 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2000, 2018, 2020, 2140, 2600 en 2610. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2600 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in alle andere postcodes, met uitzondering van 2000, 2020 en 2030. Met deze postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2610 dragen een significant hogere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2040, 2180 en 2660, en een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in postcodes 2000 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2660 dragen een significant lagere gezondheidskost per inwoner dan deze in alle andere postcodes.

3.2.2.2 Gezondheidskosten per oppervlakte

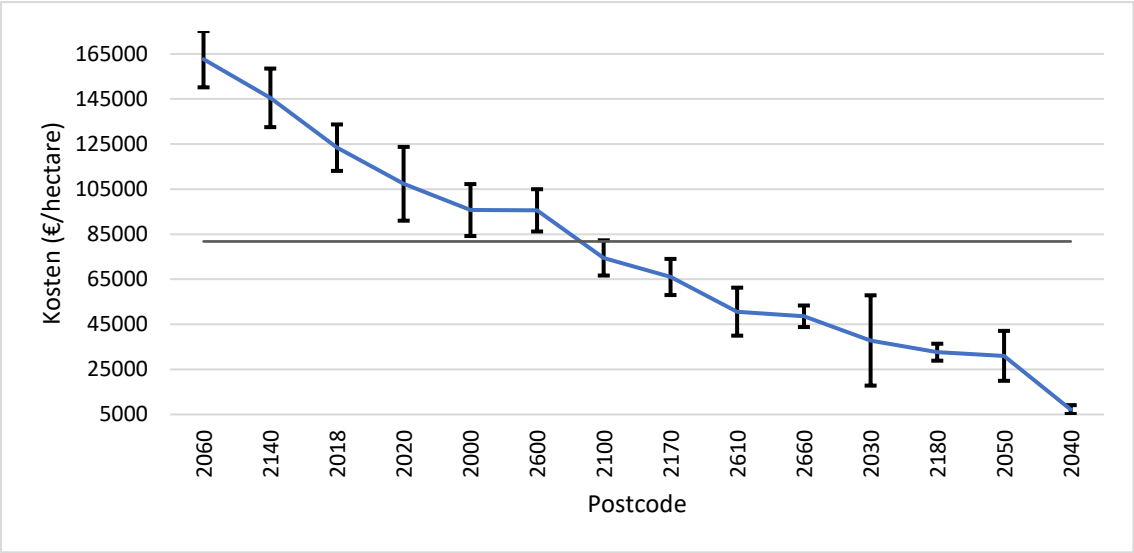
De steekproef wijkt nergens ver af van de normaalverdeling op basis van de inspectie van P-P plots.

Een one-way ANOVA werd uitgevoerd om de gezondheidskosten per oppervlakte te vergelijken tussen de verschillende postcodes. Deze ANOVA toonde dat er een significant verschil is in gezondheidskosten tussen ten minste 2 postcodes ($F(13, 238)=[16,802]$, $p<0,001$).

Onderstaande tabel en grafiek tonen de descriptieve statistiek per postcode. Alle significante p-waarden zijn te vinden in Tabel 7.

Postcode	Gemiddelde (euro/ha)	SE (euro/ha)
2000	95 718	12 488
2018	123 407	13 002
2020	107 381	10 312
2030	37 846	16 384
2040	7 178	11 528
2050	31 024	9 382
2060	162 663	7 815
2100	74 471	8 022
2140	145 521	10 661
2170	66 011	4 787
2180	32 635	20 036
2600	95 589	3 765
2610	50 630	11 084
2660	48 580	1 967
Totaal	81 794	3 680

Tabel 6. Gezondheidskosten per oppervlakte per postcode



Figuur 6. Gezondheidskosten per oppervlakte, gerangschikt van hoog naar laag, met 95% betrouwbaarheidsinterval. De horizontale lijn geeft het gemiddelde weer.

Post	2000	2018	2020	2030	2040	2050	2060	2100	2140	2170	2180	2600	2610	2660
2000	/	,035	/	,032	<,001	<,001	<,001	/	<,001	,027	<,001	/	,001	<,001
2018	,035	/	/	,001	<,001	<,001	,006	<,001	/	<,001	<,001	,027	<,001	<,001
2020	/	/	/	,012	<,001	<,001	<,001	,018	,019	,006	<,001	/	<,001	<,001
2030	,032	,001	,012	/	/	/	<,001	/	<,001	/	/	,030	/	/
2040	<,001	<,001	<,001	/	/	/	<,001	<,001	<,001	<,001	/	<,001	,013	,018
2050	<,001	<,001	<,001	/	/	/	<,001	,008	<,001	,044	/	<,001	/	/
2060	<,001	,006	<,001	<,001	<,001	<,001	/	<,001	/	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
2100	/	<,001	,018	/	<,001	,008	<,001	/	<,001	/	<,001	/	/	,036
2140	<,001	/	,019	<,001	<,001	<,001	/	<,001	/	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
2170	,027	<,001	,006	/	<,001	,044	<,001	/	<,001	/	,012	,022	/	/
2180	<,001	<,001	<,001	/	/	/	<,001	<,001	<,001	,012	/	<,001	/	/
2600	/	,027	/	,030	<,001	<,001	<,001	/	<,001	,022	<,001	/	<,001	<,001
2610	,001	<,001	<,001	/	,013	/	<,001	/	<,001	/	/	<,001	/	/
2660	<,001	<,001	<,001	/	,018	/	<,001	,036	<,001	/	/	<,001	/	/

Tabel 7. Post-hoc vergelijking van de kosten per oppervlakte tussen de verschillende postcodes

Legende:

- Rood: postcode van de kolom slechter dan postcode van de rij
- Groen: postcode van de kolom beter dan postcode van de rij

De sectoren in postcode 2000 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2030, 2040, 2050, 2170, 2180, 2610 en 2660, en een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2018, 2060 en 2140. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2018 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2000, 2030, 2040, 2050, 2100, 2170, 2180, 2600 2610 en 2660, en een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2060. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2020 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2030, 2040, 2050, 2100, 2170, 2180, 2610 en 2660, en een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2060 en 2140. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2030 dragen een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2000, 2018, 2020, 2060, 2140 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2040 dragen een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2000, 2018, 2020, 2060, 2100, 2140, 2170, 2600, 2610 en 2660. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2050 dragen een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2000, 2018, 2020, 2060, 2100, 2140, 2170 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2060 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan alle andere postcodes met uitzondering van 2140. Met de sectoren in postcode 2140 is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2100 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2040, 2050, 2180 en 2660, en een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2018, 2020, 2060 en 2140. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2140 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan alle andere postcodes met uitzondering van 2018 en 2060. Met de sectoren in postcodes 2018 en 2060 is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2170 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2040, 2050 en 2180, en een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2000, 2018, 2020, 2060, 2140 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2180 dragen een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2000, 2018, 2020, 2060, 2100, 2140, 2170 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2600 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2030, 2040, 2050, 2170, 2180, 2610 en 2660, en een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2018, 2060 en 2140 . Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

De sectoren in postcode 2610 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2040, en een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2000, 2018, 2020, 2060, 2140 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

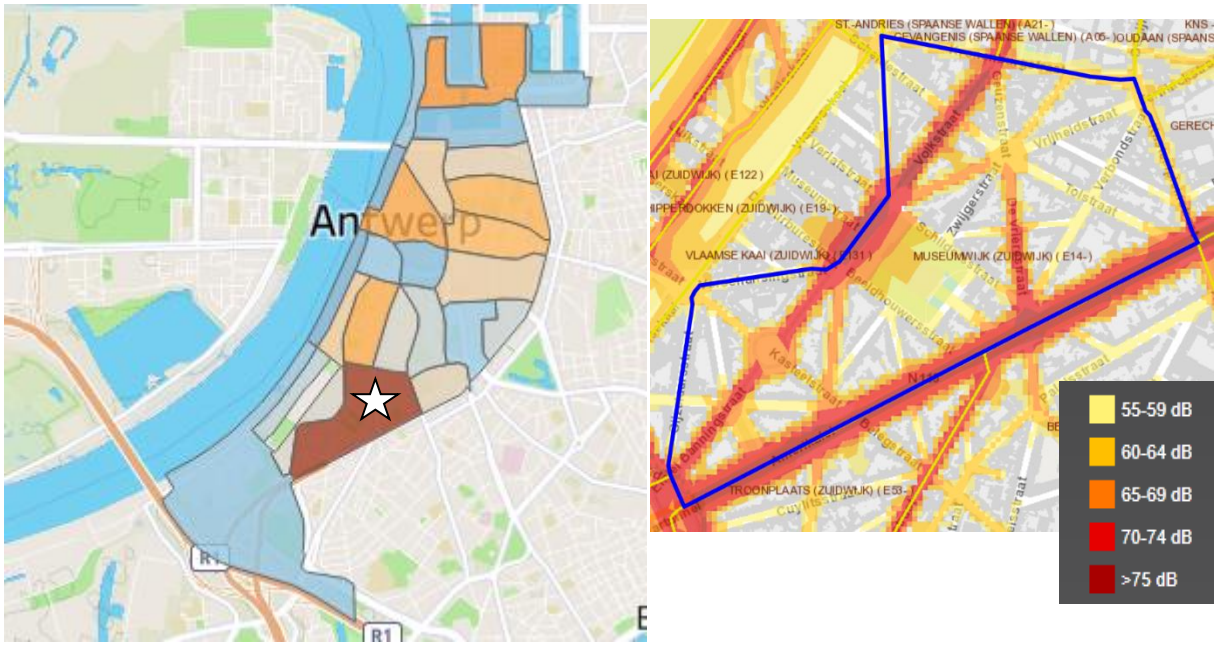
De sectoren in postcode 2660 dragen een significant hogere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2040, en een significant lagere gezondheidskost per oppervlakte dan deze in postcode 2000, 2018, 2020, 2060, 2100, 2140 en 2600. Met de andere postcodes is er geen significant verschil.

3.2.3 Kwalitatieve bespreking van de sectoren met de hoogste verwachte gezondheidskosten

3.2.3.1 Totale kosten

Gerangschikt volgens hoogste totale kosten, zijn de 5 meest belaste statistische sectoren:

1. Museumwijk, 2000



Figuur 7. Sectoren in postcode 2000, met ster gemarkeerd 'Museumwijk', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

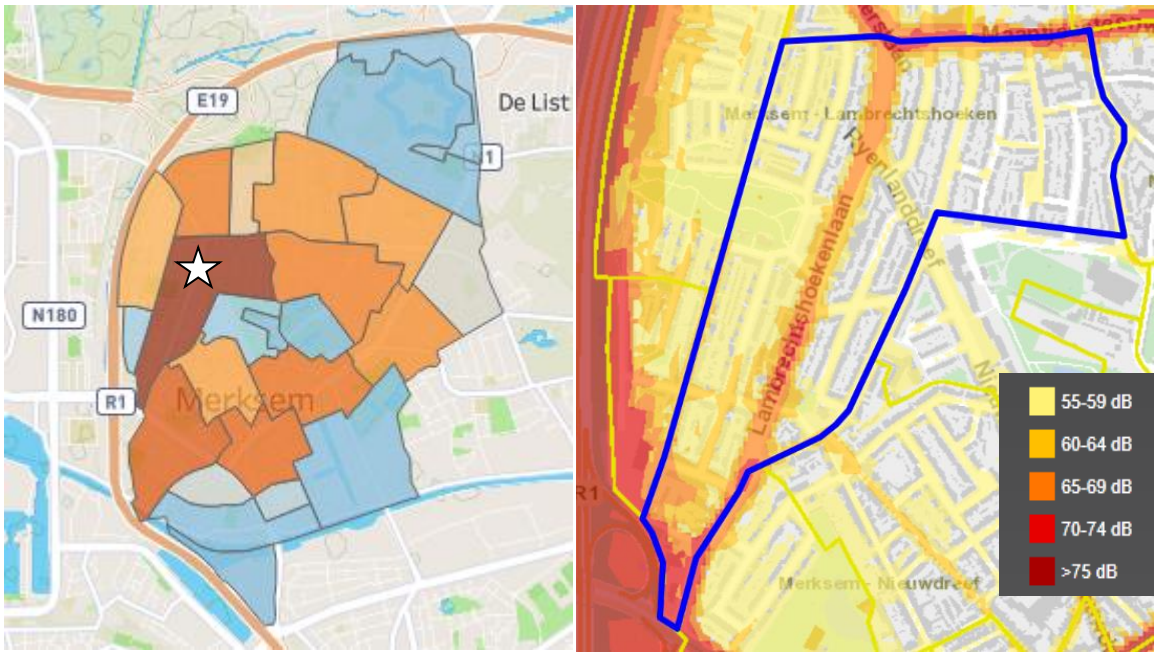
De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de Emiel Banningstraat, Lambermontplaats, Leopold de Waelstraat, Leopold de Waelplaats, Volkstraat, De Vrièrestraat en Amerikalei.

Voor al deze straten met uitzondering van de Amerikalei en de De Vrièrestraat is het belangrijkste knelpunt een groot volume wegverkeer over bolle kasseien. Het verbeteren van het geluidsklimaat in deze straten hangt dus af van heraanleg met een ander type wegdek of een drastische verlaging van het volume wegverkeer door deze straten.

De Amerikalei en de De Vrièrestraat zijn beide geasfalteerd, maar trekken hoge volumes wegverkeer. Zowel op de Amerikalei als in de De Vrièrestraat is er onvoldoende plaats beschikbaar om afschermende maatregelen te realiseren, en lijken een snelheidsverlaging en een verlaging van het volume wegverkeer de meest aangewezen oplossingen. Voor deze beide straten kan ook geëvalueerd worden of er reeds een stil wegdek ligt, of dat dit in de toekomst kan geplaatst worden.

Welke van deze maatregelen kosteneffectief, haalbaar en wenselijk zijn hangt af van een aantal andere factoren, die buiten het onderzoeksgebied van deze studie liggen.

2. Lambrechtshoeken, 2170



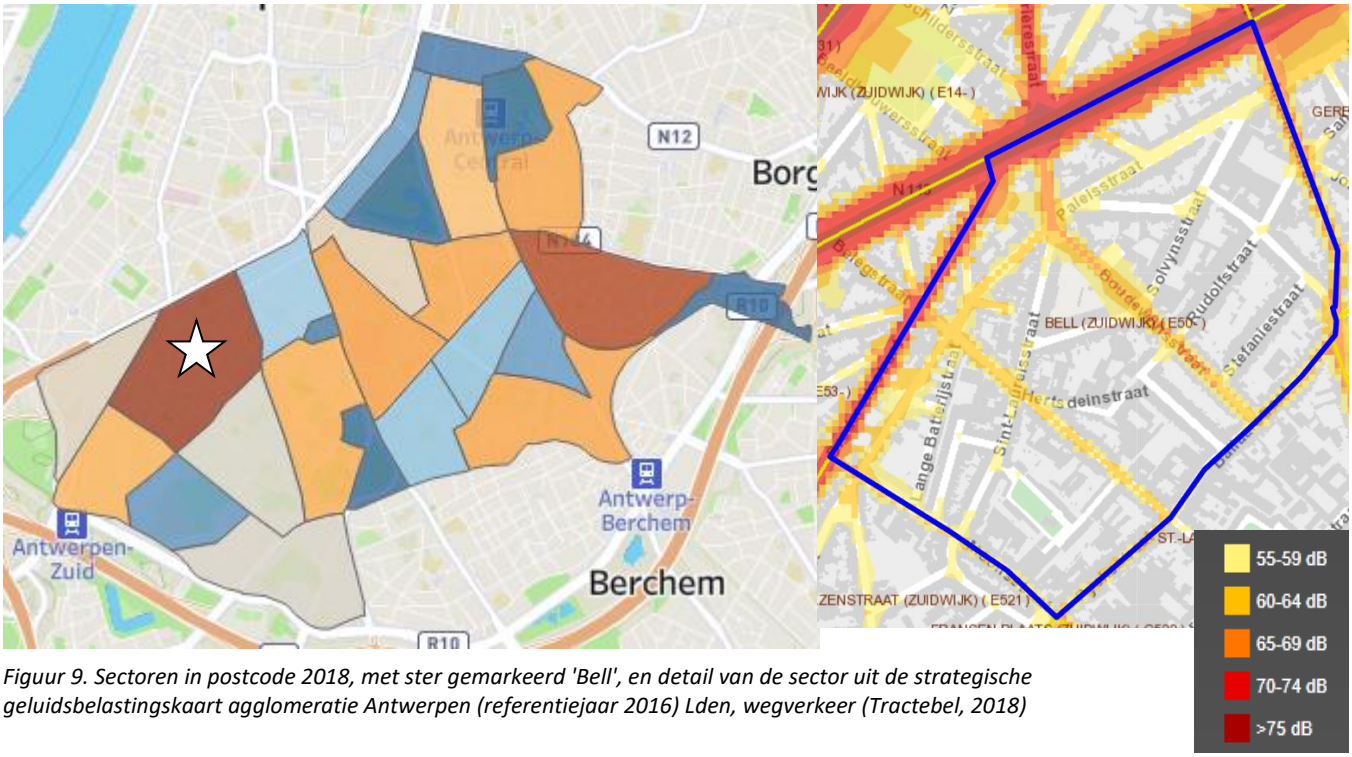
Figuur 8. Sectoren in postcode 2170, met ster gemarkeerd 'Lambrechtshoeken', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de Lambrechtshoekenlaan, Maantjessteenweg en Schoordijk.

Enerzijds is deze geluidshinder afkomstig van de R1/E19, en dit het meest uitgesproken in het zuidelijke deel, waar het afrittencomplex het dichtst bij de bebouwing komt. Ook in het noordelijkere deel van deze statistische sector heeft de R1/E19 een impact qua geluidshinder, maar deze is beperkter dan in het zuidelijk gedeelte van de statistische sector. De L_{den}-belasting ligt in veel van deze straten tussen 55 en 60 dB(A). Ter hoogte van Schoordijk komt een park dat ook een afschermende functie heeft. (30)

De andere belangrijke bron van geluidshinder zijn de Lambrechtshoekenlaan en Maantjessteenweg zelf. Dit zijn lokale verbindingswegen met hoge volumes wegverkeer en een maximumsnelheid van 50 km/u. Gezien de beperkte breedte van deze straten lijkt afscherming moeilijk haalbaar, en zijn de opties beperkt tot stiller wegdek, lagere maximumsnelheid en verlaagd verkeersvolume.

3. Bell, 2018



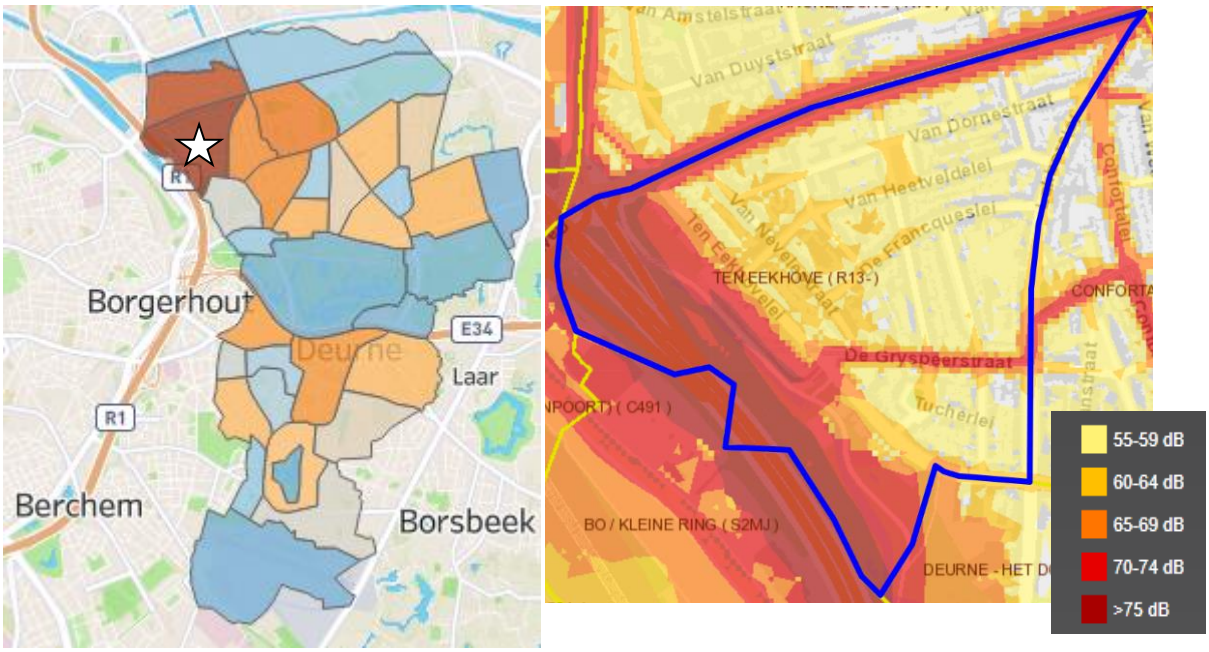
Figuur 9. Sectoren in postcode 2018, met ster gemarkeerd 'Bell', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de Brederodestraat en de Amerikalei. De bespreking van de Amerikalei is terug te vinden bij sector 'Museumwijk'.

De Brederodestraat is een relatief smalle straat met veel woon- en winkelfuncties. Voor veel toegangswegen vanuit het zuiden van de stad is dit echter ook de snelste verbinding om aan te sluiten op de Amerikalei richting noorden. Veel van de geluidsbelasting is dan ook afkomstig van de grote hoeveelheid doorgaand verkeer, zowel personen- als vrachtverkeer, en ook een aantal verbindingen van het openbaar vervoer, zowel meerdere tram- als buslijnen.

De maximumsnelheid bedraagt reeds 30 kilometer per uur, het wegdek is geasfalteerd. Er kan geëvalueerd worden of dit in de toekomst door een stiller type vervangen kan worden, maar de grootste winst qua geluidshinder kan verwacht worden van het omleiden van doorgaand verkeer langs straten met meer opties om het geluid af te schermen van omwonenden. De meest voor de hand liggende optie hier is de Singel en de Amerikalei, waar in beide gevallen al een hoge geluidsbelasting is, maar door de grotere oppervlakte mogelijk meer opties qua afscherming.

4. Ten Eekhove, 2100



Figuur 10. Sectoren in postcode 2100, met ster gemarkeerd 'Ten Eekhove', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de R1/E19, Bisschoppenhoflaan, De Gryspeerstraat en Lakborslei.

De impact van de R1/E19 en het bijhorende afrittencomplex Sportpaleis wordt reeds aangepakt als deel van de Oosterweelverbinding. Hier zal het huidige viaduct vervangen worden door sleuven en tunnels, en kan verwacht worden dat de geluidsbelasting (na afronding van de werken) lager ligt. (30)

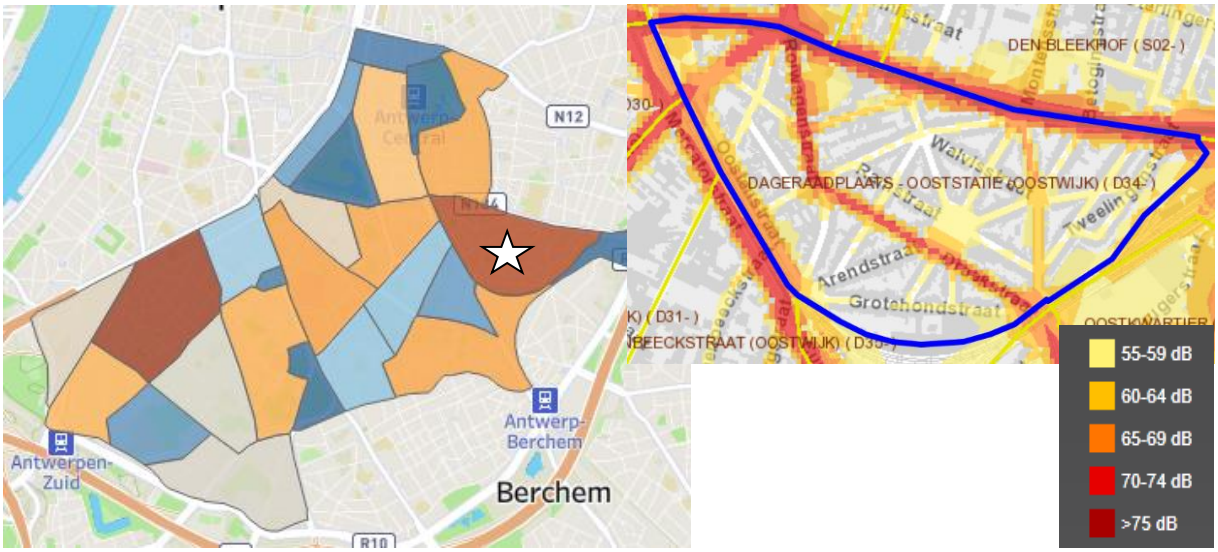
De Bisschoppenhoflaan is een van de drukste invalswegen naar de Antwerpse binnenstad. Over deze weg is al meerdere jaren discussie tussen lokale en gewestelijke overheden, over onder andere maximumsnelheid en weginrichting. De beslissingsbevoegdheid over deze weg ligt bij het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). Binnen deze statistische sector heeft de weg een maximumsnelheid van 50 kilometer per uur. (31) Gezien het AWV vasthoudt aan de functie als toegangsweg, en het bijhorende volume gemotoriseerd verkeer, lijken de meest haalbare maatregelen een evaluatie van het wegdek en het bekijken van afschermingsmaatregelen. Dit is echter een complexe problematiek, want door de vele zijstraten en uitritten zal een eventuele geluidsafscherming op veel plaatsen onderbroken moeten worden, waardoor het effect sterk beperkt wordt.

De De Gryspeerstraat en Lakborslei zijn lokale verbindingswegen waar voor een groot deel het wegdek nog uit kasseien bestaat. Ook hebben zij beiden nog een maximumsnelheid van 50 kilometer per uur. Naast de significante geluidsbelasting door wegverkeer loopt er door deze straten ook een tramlijn die op de Lakborslei twee draaibewegingen maakt.

Er is in 2022 een definitief ontwerp opgemaakt voor de Lakborslei. In het volledige ontwerp wordt geluidshinder geen enkele keer vermeld. (32) Er worden wel een aantal maatregelen getroffen die het geluidsklimaat op deze plaats gaan verbeteren na het uitvoeren:

- Nieuw (mogelijk geluidsdempend) wegdek
- Promoten van stillere vervoersmodi: ruimer voetpad, afgescheiden éénrichtingsfietspad aan beide zijden
- Groene buffer tussen het wegdek met tramsporen en de bebouwing

5. Dageraadplaats-Ooststatie, 2018



Figuur 11. Sectoren in postcode 2018, met ster gemarkeerd 'Dageraadplaats-Ooststatie', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de Plantin en Moretuslei, Van den Nestlei, Rolwagenstraat, Kleine Beerstraat en Draakstraat.

De Plantin en Moretuslei en Van den Nestlei zijn deel van één van de grootste toegangswegen voor wegverkeer vanuit het oosten naar de binnenstad. Als dusdanig hebben zij beide een maximumsnelheid van 50 kilometer per uur. Beide straten zijn relatief recent opnieuw aangelegd, qua wegdek is dus weinig beterschap te verwachten. Deze heraanleg dateert wel van na opmaak van de geluidsbelastingskaarten en is hier nog niet in opgenomen. De opties om het geluidsklimaat langs deze straten te verbeteren, zijn voornamelijk een verlaging van de maximumsnelheid (zoals in de omliggende straten reeds het geval is), alsook een verlaging van het volume gemotoriseerd verkeer.

Met de beschikbare breedte is het ook een optie om afschermende maatregelen te treffen, maar deze zullen door het hoge aantal zijstraten, garagepoorten, etc. op veel plaatsen onderbroken worden, waardoor de te verwachten verbetering hiervan beperkt is.

De Rolwagenstraat, Kleine Beerstraat en Draakstraat maken deel uit van dezelfde lokale verbindingsweg. De belangrijkste factoren die in deze straten geluidsbelasting veroorzaken zijn het wegdek in bolle kasseien en in mindere mate de aanwezigheid van een tramlijn.

De bolle kasseien gaan ook bij de lage maximumsnelheid van 30 kilometer per uur een grote hoeveelheid rolgeluid genereren, dus om dit te verbeteren zijn de belangrijkste opties een vervanging door een ander wegdek of het verlagen van het aantal voertuigen door de straat.

Gezien het beperkt aantal alternatieven voor het tramverkeer, en de grote hoeveelheid ander verkeer die het wegnemen van de tram zou genereren, lijkt het nuttig om in te zetten op optimaal onderhoud van rollend materieel en afschermingsmaatregelen rondom de grootste knelpunten van de tramsporen (bv. bochten).

3.2.3.2 Kosten per inwoner

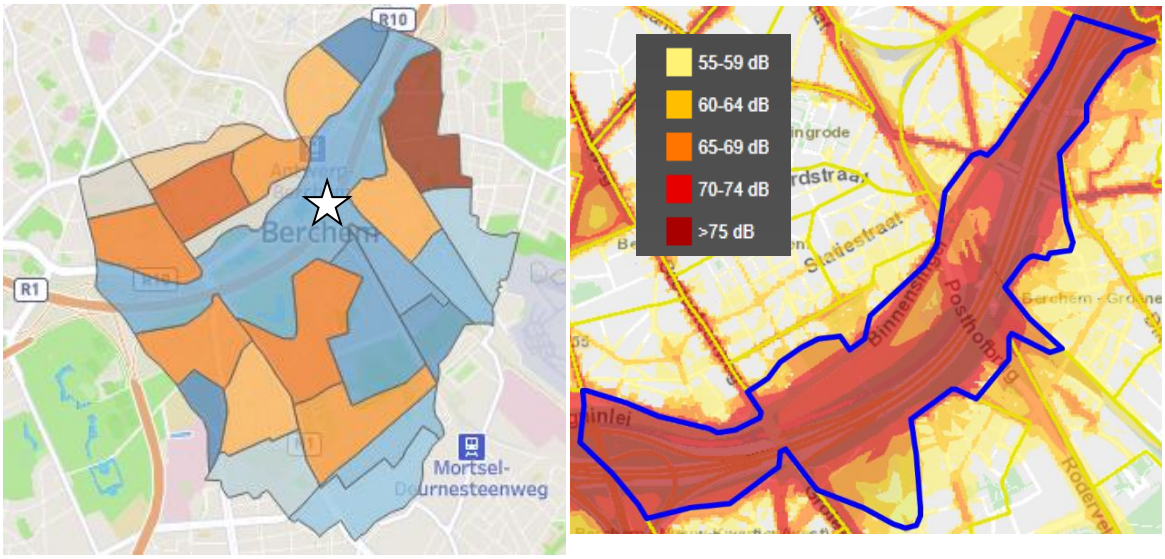
De sectoren die hier het hoogste resultaat hebben, zijn over het algemeen sectoren met een hoge absolute geluidsbelasting (vb. snelweg, grote verbindingsweg) en een laag aantal inwoners. Qua absolute gegenereerde gezondheidskosten hebben deze sectoren vaak eerder een beperkte impact.

Door de hoge absolute geluidsbelasting zijn dit echter vaak de sectoren die veel aandacht, projecten en budget naar zich toe trekken, ook wanneer dit niet de meest kosteneffectieve maatregelen zijn om de gezondheidsimpact van geluidshinder terug te dringen.

De sector 'Galgeweel' werd geëxcludeerd omwille van een belangrijke *outlier*. De toelichting hierbij is te vinden onder 'Materiaal en methodes'.

Gerangschikt volgens hoogste kosten per inwoner, zijn de 5 meest belaste statistische sectoren:

1. Vestingen, 2600



Figuur 12. Sectoren in postcode 2600, met een ster gemarkeerd 'Vesten', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de R1, E19, Binnensingel, Uitbreidingstraat, Mechelsebrug, Posthofbrug, Borsbeekbrug, Zurenborgbrug.

Dit is een van de sectoren met de hoogste absolute geluidsbelastingen in de stad Antwerpen. Hij omvat een groot deel van de R1 en een aantal bruggen over deze snelweg. Van de 465 inwoners van 20 jaar en ouder zijn er geschat 188 (40%) ernstig gehinderd door geluidshinder van wegverkeer.

Aan de binnenzijde (zijde van het stadscentrum) van de R1 valt bij inspectie van de geluidskaarten op dat een groot deel van de geluidshinder afkomstig is van de lokale verbindingsweg (Binnensingel – Uitbreidingstraat) en maar in mindere mate van de R1, passend bij de bevindingen van VITO uit 2011 dat het volledig wegnemen van de geluidsimpact van de R1 slechts een beperkte impact zou hebben (zie maatregel P4M1 onder 'Toetsing van de resultaten en literatuur aan het huidige geluidsactieplan').

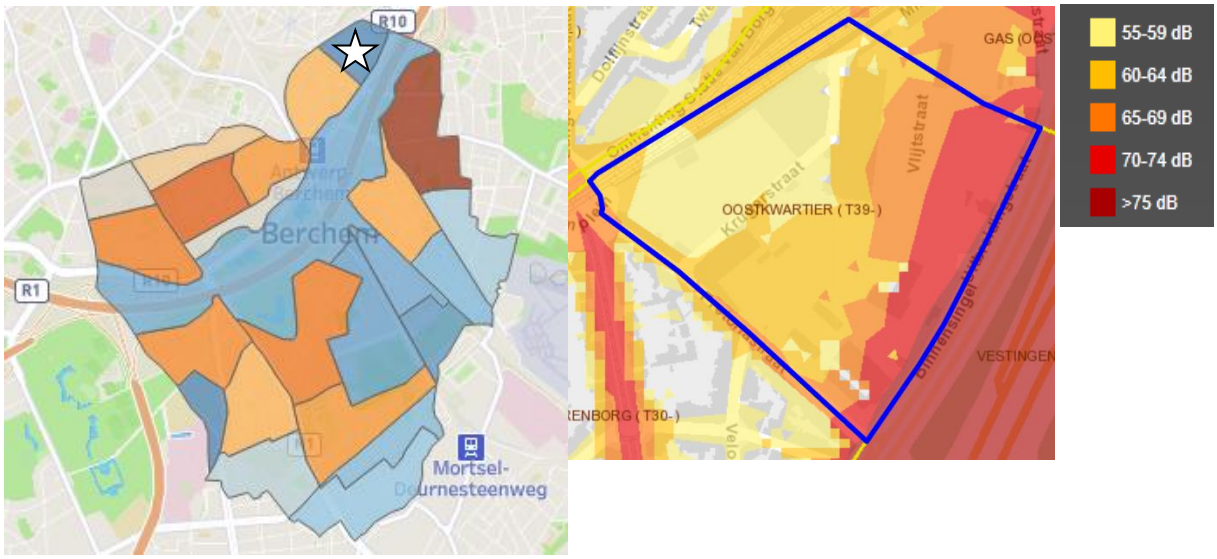
Deze beperkte gezondheidsimpact komt in belangrijke mate door de grotere afstand tussen de R1 en de bebouwing aan de zijde van het stadscentrum. Op de oppervlakte hiertussen bevinden zich een lokale verbindingsweg (die ook belangrijke geluidsimpact genereert) en een aantal parken (Park Brialmont, Wolvenberg).

Aan de buitenzijde van de R1 is de gezondheidsimpact van de R1 binnen deze sector erg beperkt doordat een groot deel aangrenzend aan de snelweg is ingenomen door zones met weinig bewoning, onder andere een aantal parken. Dit betreft bijvoorbeeld Leeuwerikpark en Brilschanspark.

Een belangrijke valkuil om rekening mee te houden, is het feit dat een belangrijk deel van de gezondheidsimpact van geluid gegenereerd binnen deze sector, zich in andere sectoren bevindt. Dit is een van de beperkingen van het werken met statistische sectoren.

In dit voorbeeld betreft dit L_{den}-belastingen boven 70 dB(A) in straten in aangrenzende sectoren, maar gegenereerd door de R1. Voorbeelden hiervan zijn de Coremansstraat, Polygoonstraat, Edgar Tinelstraat, Corneel Jaspersstraat, Diksmuidelaan en Rodekruislaan. Deze bevinden zich in de donkerrode sector rechtsboven op de kaart, die in absolute verwachte gezondheidskosten een grotere impact heeft dan 'Vesten'.

2. Oostkwartier, 2600



Figuur 13. Sectoren in postcode 2600, met ster gemarkeerd 'Oostkwartier', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

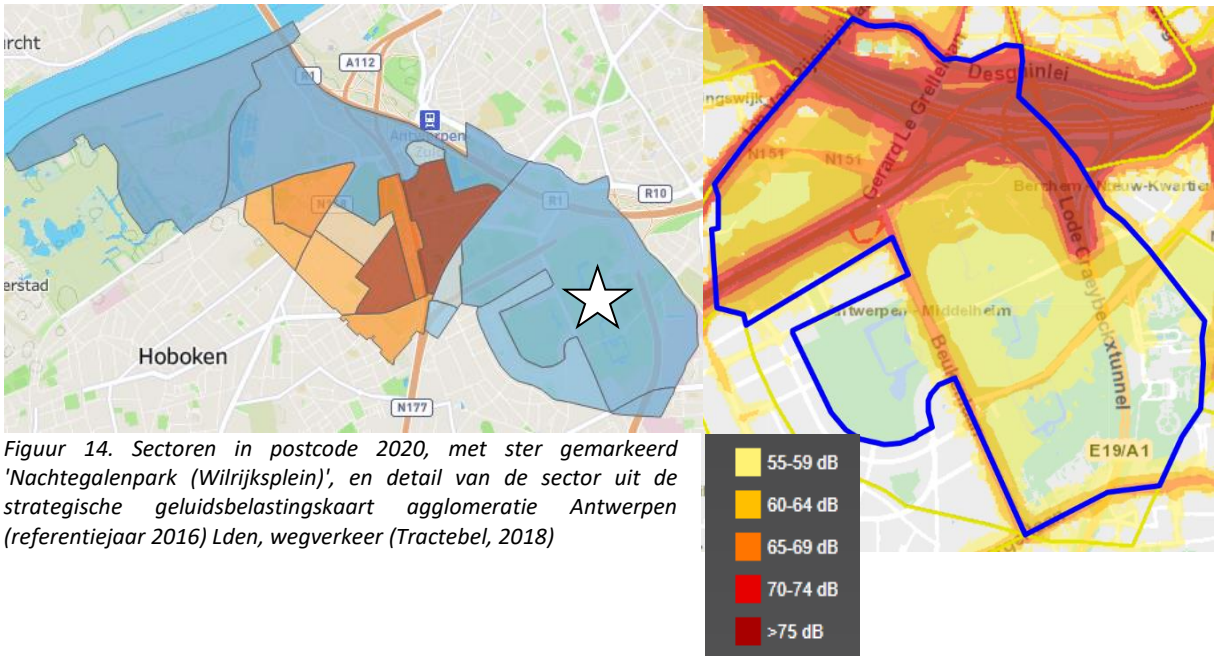
De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de Binnensingel, Uitbreidingsstraat en Vlijtstraat.

Naast de geluidsbelasting door wegverkeer (de enige belasting die voor deze oplijsting gehanteerd is) is er in deze sector ook een belangrijke belasting door spoorverkeer te verwachten van het Ringspoor. Op heden is de absolute gezondheidsimpact hiervan zeer beperkt door het laag aantal inwoners van deze statistische sector, 21 inwoners in 218 conform de gegevens van Statbel. Naar de toekomst toe zijn er plannen waardoor dit aantal inwoners sterk kan stijgen.

Deze site omvat op heden een voormalige gasfabriek, een busstelplaats van openbaar vervoersmaatschappij De Lijn en een aantal aangrenzende woningen. Het project wordt door AG Vespa (Autonoom gemeentebedrijf voor vastgoed en stadsprojecten in Antwerpen) Nieuw Zurenborg genoemd, en is momenteel in gebruik door Zomer van Antwerpen, volwassenenonderwijs voor anderstaligen en projecten voor samentuinen. (33)

Er zijn echter plannen om deze site in de toekomst de herbestemmen tot een woonwijk en park. Om van deze nieuwe wijk een gezonde leefomgeving te maken, zal in het ontwerp rekening moeten gehouden worden met de op heden significante geluidsbelasting. Zo niet zal er voor de inwoners van deze wijk een significante ziektelast door geluidshinder te verwachten zijn.

3. Nachtegalenpark (Wilrijksplein), 2020



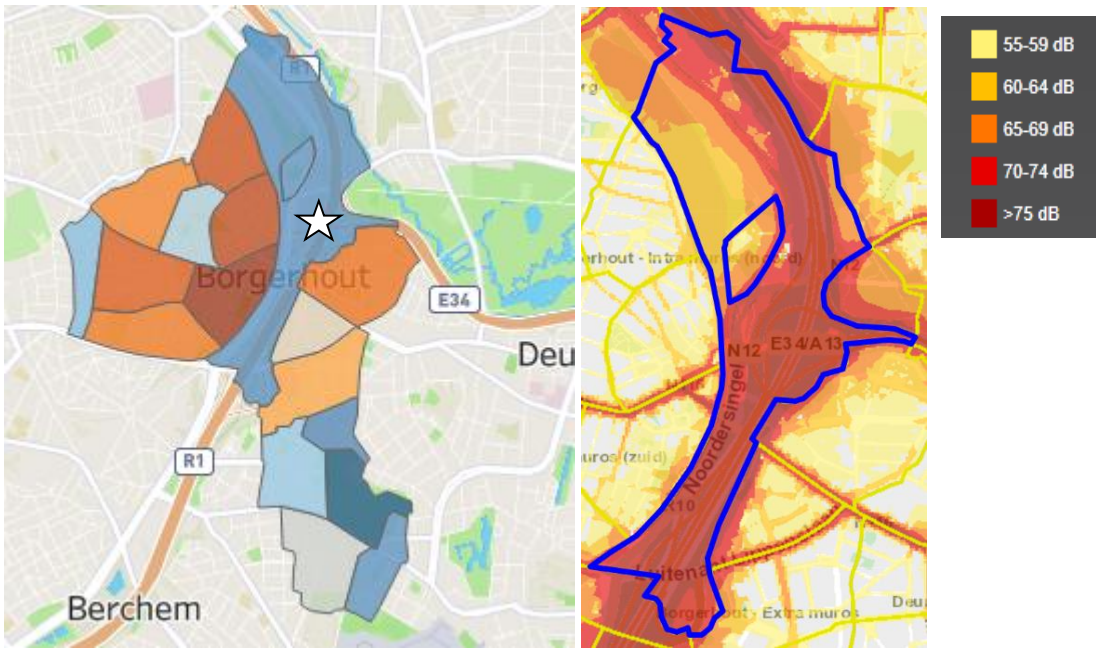
Figuur 14. Sectoren in postcode 2020, met ster gemarkeerd 'Nachtegalenpark (Wilrijksplein)', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de R1, A12 (Bevrijdingstunnel), E19 (ten noorden van de Lode Craeybeckxtunnel), Jan Van Rijswijcklaan, Gerard Le Grellelaan en Beukenlaan.

Ook dit betreft een sector met grote verschillen in absolute geluidsbelasting, maar ook grote verschillen qua bevolkingsdichtheid. De snelwegen in deze statistische sector (R1, E19 en A12) zorgen voor de hoogste absolute geluidsbelastingen, maar grenzen op weinig plaatsen aan bewoonde gebieden. Op de meeste plaatsen grenzen zij aan parken, sportvelden of gebouwen voor ander gebruik (expohallen, hotel, tankstation, ...). Door deze heterogeniteit betreft de berekende gezondheidskost vermoedelijk een overschatting van de reële gezondheidskost binnen deze sector.

Een belangrijke uitzondering hierop is de Jan Van Rijswijcklaan: dit is een weg met een hoge absolute geluidsbelasting, zowel binnen deze sector als een aantal aangrenzende sectoren, maar met ook een hoge bevolkingsdichtheid op korte afstand. De maximumsnelheid bedraagt hier reeds 50 kilometer per uur, de hoge geluidsbelasting is hoofdzakelijk afkomstig van het hoge volume aan wegverkeer. Een stil wegdek en afschermende maatregelen kunnen hier overwogen worden.

4. E3 – E39, 2140



Figuur 15. Sectoren in postcode 2140, met ster gemarkeerd 'E3 - E39', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de Noordersingel, Luitenant Lippenslaan, Stenenbrug, Turnhoutsebaan en Buurtspoorweglei.

Zoals besproken bij sector ‘Vestingen’, dient ook hier in acht genomen te worden dat een relevant deel van de geluidshinder uit deze sector gezondheidskosten in de omliggende sectoren veroorzaakt.

De rechtstreekse impact van de R1 wordt in de toekomst reeds aangepakt door het verhoogde deel van deze snelweg te vervangen door een sleuf met op enkele plaatsen overkappingen. (30)

Een ander belangrijk knelpunt om binnen deze sector te bekijken is de Noordersingel. Door de aansluiting van het afrittencomplex Antwerpen-Oost op de lokale verbindingswegen trekt deze weg een hoog verkeersvolume. Voor de Noordersingel zelf fungeert het Ringspoor een groot deel als geluidsbuffer tussen de weg en de binnenstad, en is het huidige ruimtegebruik errond weinig geluidsgevoelig.

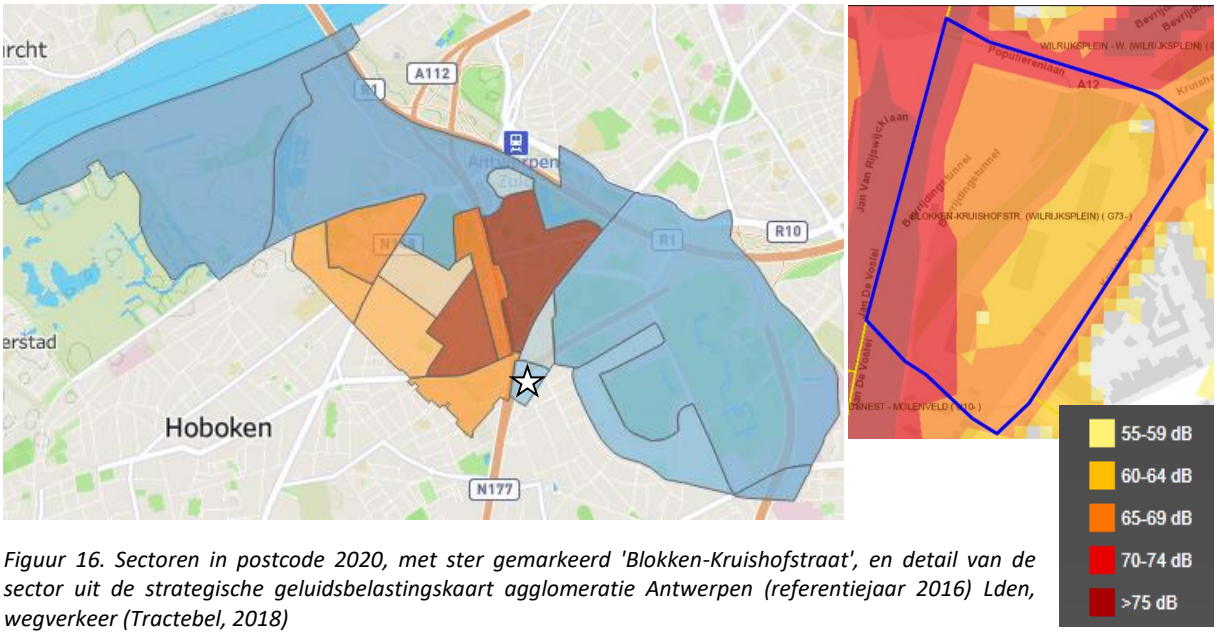
De aansluitingen op de Schijnpoortweg en Slachthuislaan in het noorden en Turnhoutsebaan in het zuiden liggen veel dichter bij dicht bewoonde gebieden, en blijven ook na het afronden van de Oosterweelverbinding locaties die grote volumes wegverkeer gaan verwerken.

Met die vooruitblik is het erg verrassend dat in 2017 een nieuwbouwproject met 104 appartementen afgerond werd aan het kruispunt van de Noordersingel en Turnhoutsebaan. (34) Technisch gezien betreft deze bebouwing een aparte statistische sector, ‘Foorplein’, maar deze wordt volledig omringd door bovengenoemde statistische sector en kent dezelfde geluidsbronnen als voornaamste belastingen. Deze zullen dan ook samen besproken worden.

Deze appartementen worden gepromoot als een toekomstgerichte investering met de Oosterweelverbinding in gedachten. Het betreft echter een locatie met aan weerszijden van het project belangrijke geluidsbronnen. Aan de westelijke zijde bevindt zich het Ringspoor, en aan de oostelijke zijde het kruispunt Noordersingel – Turnhoutsebaan, alsook verderop het knooppunt R1 – E34, dat in de huidige versie van de Oosterweelverbinding niet overkapt wordt.

Men kan dus verwachten dat voor de inwoners van deze appartementen een belangrijke ziektelast door geluidshinder zal bestaan. Het stadsbestuur ontwikkelde het mechanisme ‘stedelijke ontwikkelingskost’ om een deel van de maatschappelijke lasten die door grote projecten gegenereerd wordt, te verhalen op de projectontwikkelaar die het project realiseert. (35) Dit betreft bijvoorbeeld infrastructuur voor openbaar vervoer, onderwijs, vrijetijdsruimte, … Ziektelast door bouwen in geluidsgehinderd gebied is ook een mogelijke kost die hieronder kan vallen, maar het is onduidelijk of daar voor dit project maatregelen rond getroffen zijn.

5. Blokken – Kruishofstraat, 2020



Figuur 16. Sectoren in postcode 2020, met ster gemarkeerd 'Blokken-Kruishofstraat', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

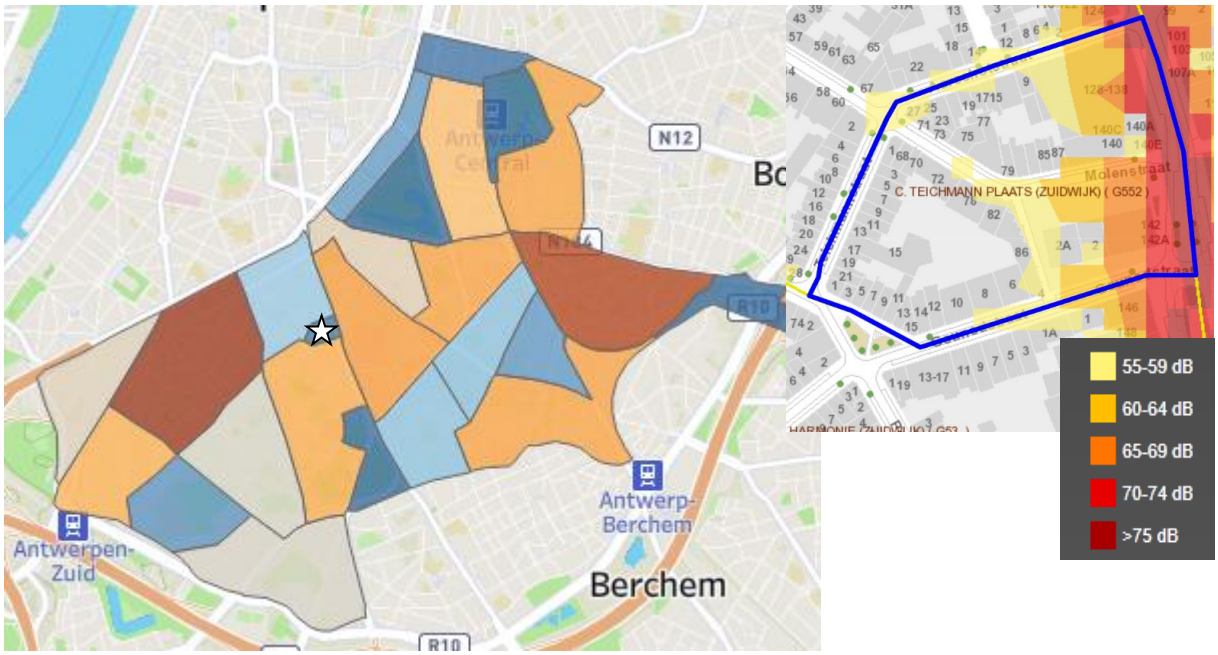
De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de A12 (Boomsesteenweg), A12 (Bevrijdingstunnel), Jan Van Rijswijcklaan en Populierenlaan.

Dit betreft een complex probleem, gezien de geluidsbelasting zowel van de A12 afkomstig is, als van de Boomsesteenweg aan weerszijden. Gezien het een verbindingsweg betreft die via de Jan de Vostunnel en Bevrijdingstunnel aansluit op de R1 is een duidelijke verlaging van het verkeersvolume moeilijk te realiseren en lijken vooral afschermingsmaatregelen opportuun. Meer hierover onder maatregel P3M6.

3.2.3.3 Kosten per oppervlakte

Gerangschikt volgens hoogste kosten per oppervlakte (uitgedrukt in hectare), zijn de 5 meest belaste statistische sectoren:

1. C. Teichmann plaats, 2018



Figuur 17. Sectoren in postcode 2018, met ster gemarkeerd 'C. Teichmannplaats', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

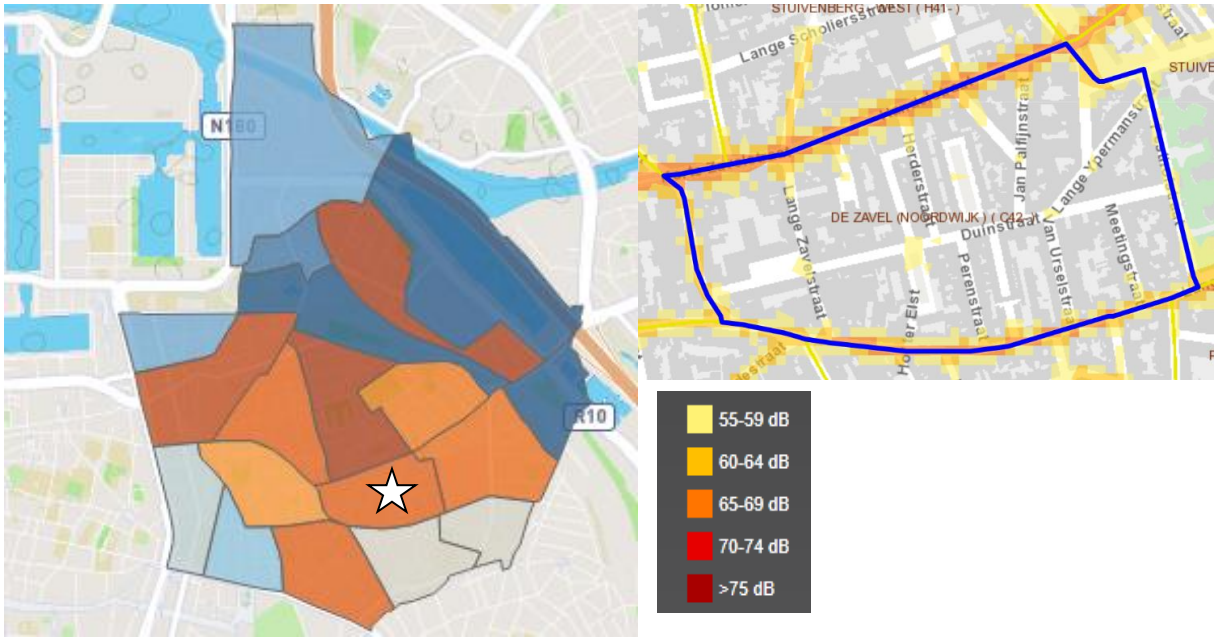
De enige straat binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) is de Mechelsesteenweg. Het betreft niet het gedeelte van de Mechelsesteenweg waar het autoverkeer over bolle kasseien rijdt.

Naast het gemotoriseerde wegverkeer is er ook een tramlijn over de Mechelsesteenweg die bijdraagt aan de geluidsbelasting. De Lijn, de bevoegde openbaar vervoersmaatschappij, is recent wel gestart met het aanbrengen van een smeermiddel dat de geluidshinder van trams voornamelijk in bochten moet verbeteren. (36) Bovenstaande locatie wordt op heden nog niet genoemd, maar wanneer de resultaten van de uitgevoerde ingrepen positief zijn, kan verwacht worden dat deze aanpak uitgebreid wordt naar de andere tramsporen in de stad.

De hoge verwachte gezondheidskosten zijn in deze sector voornamelijk te wijten aan de hoge bevolkingsdichtheid in combinatie met een hoge absolute geluidsbelasting op de Mechelsesteenweg. Gezien dit gedeelte van de Mechelsesteenweg erg smal is, fungeert het als *street canyon*, een mechanisme dat zowel qua luchtkwaliteit als qua geluidsklimaat erg nadelig kan zijn.

Mogelijke opties om hier de geluidsbelasting te verlagen zijn: verlaagd verkeersvolume, stiller wegdek, snelheidsverlaging (op heden nog 50 km/u) en ontwerpmaatregelen die het effect van de *street canyon* kunnen beperken. Hierover is vanuit de Universiteit Gent recent beloftevol onderzoek naar gedaan, maar zij verduidelijken hierbij ook dat het grootste voordeel kan gehaald worden bij aanbouw van nieuwe infrastructuurprojecten. (37)

2. De Zavel, 2060



Figuur 18. Sectoren in postcode 2060, met ster gemarkeerd 'De Zavel', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

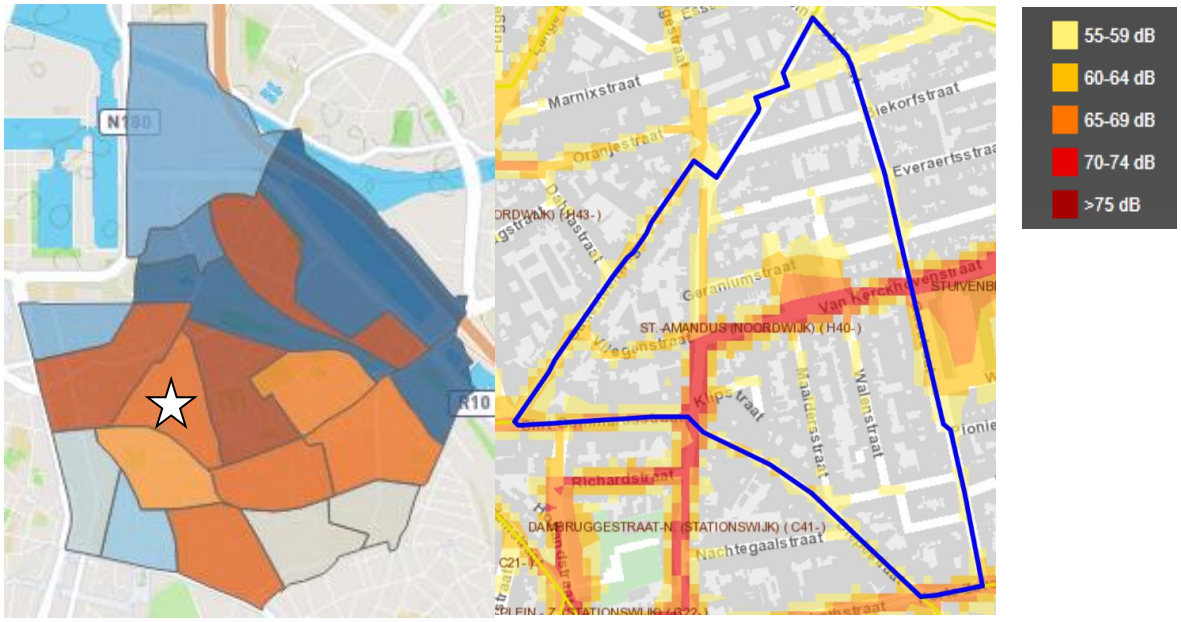
Deze sector is vermoedelijk het beste voorbeeld dat een hoge absolute geluidsbelasting niet altijd nodig is om een significante gezondheidslast door geluidshinder te veroorzaken, en dat een matige geluidsbelasting in een gebied met hoge bevolkingsdichtheid een even groot probleem kan zijn.

Binnen deze sector bevindt zich namelijk geen enkele straat met een een L_{den}-belasting boven 70 dB(A). De straten met een een L_{den}-belasting tussen 65 en 69 dB(A) zijn de Korte Zavelstraat, Handelsstraat en Lange Beeldekensstraat. De straten met een een L_{den}-belasting tussen 60 en 65 dB(A) zijn de Diepestraat en de Lange Stuivenbergstraat. Dit zijn allemaal smalle straten, die in veel gevallen enkelrichting zijn en voornamelijk lokaal verkeer trekken.

Zij vallen allen onder de noemer *street canyon*, dus de adviezen bij bovenstaande sector die qua *street canyons* verbetering kunnen bieden zijn ook hier van toepassing. Gezien de belangrijke lokale functies (wonen, winkelen, …) en het feit dat er voor doorgaand verkeer voldoende alternatieven zijn, dient zelfs bekeken worden of een aantal van deze straten niet autovrij of autoluw kan gemaakt worden.

De straten binnen deze sector zijn goede voorbeelden waar een tuinstraat de geluidsdruk kan verlagen. Dit is een straatontwerp dat in het Geluidsplan reeds aangehaald wordt als manier om met straatontwerp de geluidsbelasting te verlagen, maar dat tot nog toe enkel werd toegepast in straten waar voordien reeds een goed geluidsklimaat was (zie maatregel P3M3).

3. St.-Amandus, 2060



Figuur 19. Sectoren in postcode 2060, met ster gemarkeerd 'St.-Amandus', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

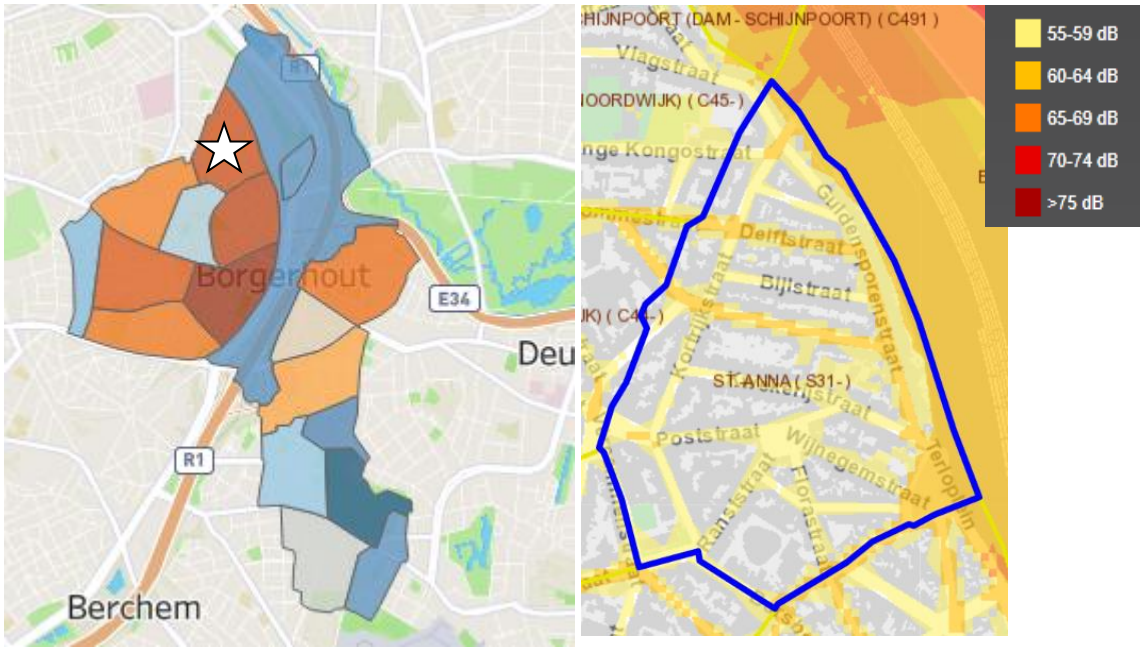
De straten binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) zijn de Van Kerckhovenstraat, Dambruggestraat en Sint-Gummarusstraat. In het zuiden grenst deze sector ook aan de Korte Zavelstraat, deze is reeds besproken in bovenstaande sector.

De Van Kerckhovenstraat en Dambruggestraat kennen een heel aantal gelijkaardige problemen qua geluidsbelasting: het zijn smalle *street canyons*, die grote volumes wegverkeer trekken, met een wegdek uit tegels, en een tramlijn die verschillende bochten moet maken.

Gezien de L_{night} in zowel de Dambruggestraat als de Van Kerckhovenstraat nauwelijks lager ligt dan de L_{den} (in beide gevallen ook nachtelijk meer dan 70 dB(A)), is deze geluidhinder vermoedelijk hoofdzakelijk afkomstig van wegverkeer, gezien tijdens deze uren er amper tramverplaatsingen over deze lijn zijn. Op andere delen van het traject van de tramlijn zien we dan ook verlaagde L_{night}-belastingen.

Voor deze straten kan het weren van (een deel van) het wegverkeer dus een aanzienlijke vooruitgang qua geluidshinder betekenen. Om de geluidsbelasting door tramverkeer overdag te verbeteren, kan er van de verbeteringen die door De Lijn elders geprobeerd worden, ook hier een goed resultaat verwacht worden. (36)

4. St-Anna, 2140



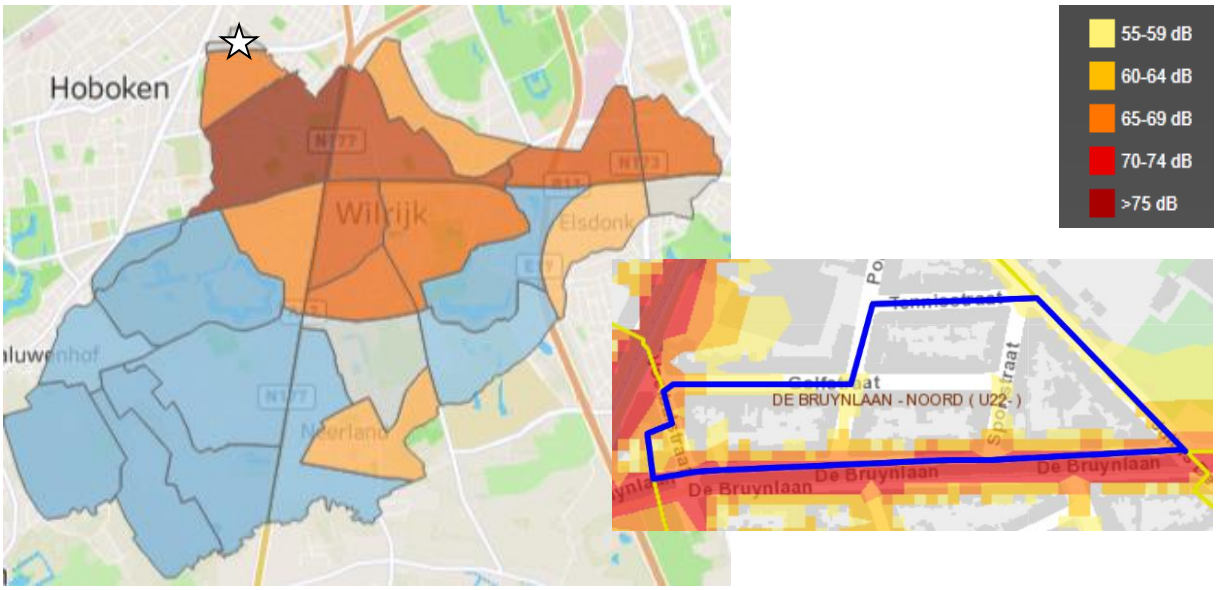
Figuur 20. Sectoren in postcode 2140, met ster gemarkeerd 'St.-Anna', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

Analoog aan sector 'De Zavel', bevindt zich binnen deze sector ook geen enkele straat met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A), maar heeft deze sector toch een hoge geschatte ziektelast door geluidshinder.

Dit komt voornamelijk door de combinatie van een hoge bevolkingsdichtheid en het ontbreken van straten met een 'goed' geluidsklimaat (L_{den} < 55 dB(A)). Alle straten in deze sector hebben namelijk een L_{den} tussen 55 en 64 dB(A). Een andere factor die bijdraagt aan de grote last door geluidshinder is de aanwezigheid van een aantal straten waar ook de L_{night} hoger ligt dan 60 dB(A), met name de Delftstraat, Guldensporenstraat en Terlostraat.

Hierbij dient een beperking van de methode benoemd te worden. Op basis van de strategische geluidsbelastingskaarten 'L_{den} alle geluidsbronnen' valt te verwachten dat een aantal straten ook aan de achterzijde van de woning hoge geluidsbelastingen door spoorverkeer kennen. De experts van de afdeling Klimaat en Leefmilieu van Stad Antwerpen lichten echter toe dat zij voor metingen in het kader van testing van diffractoren, vastgesteld hebben dat de treinen op die plaats een stuk trager rijden dan in het model aangenomen wordt. Bijgevolg ligt ook de geluidsbelasting zonder enige ingreep een stuk lager dan volgens de modellering.

5. De Bruynlaan-Noord, 2610



Figuur 21. Sectoren in postcode 2610, met ster gemarkeerd 'De Bruynlaan-Noord', en detail van de sector uit de strategische geluidsbelastingskaart agglomeratie Antwerpen (referentiejaar 2016) Lden, wegverkeer (Tractebel, 2018)

De enige straat binnen deze sector met een L_{den}-belasting boven 70 dB(A) is de De Bruynlaan.

De belangrijkste reden waarom deze sector een hoge geschatte ziektelast door geluidshinder kent, is de combinatie van een hoge geluidsbelasting zeer dicht bij een dichtbevolkt woongebied. Bij deze specifieke statistische sector valt dit extra op, omdat er weinig rustige straten in deze statistische sector zitten, die het effect van de drukke straat minder zichtbaar zouden maken. De andere delen van de De Bruynlaan en VIIe Olympiadelaan kennen vergelijkbare geluidsbelastingen en bevolkingsdichtheid, maar maken deel uit van grotere statistische sectoren waardoor dit 'gecompenseerd' wordt door stillere woonwijken in de aangrenzende straten.

De belangrijkste geluidsbronnen op de De Bruynlaan zijn het hoge volume wegverkeer, aan een hogere maximumsnelheid van 50 kilometer per uur, en de aanwezigheid van tramlijnen.

Gezien er wel wat oppervlakte beschikbaar is, kunnen afschermende maatregelen overwogen worden. Gezien de functie als lokale verbindingsweg is het verkeersvolume voldoende verlagen om een verbetering qua geluidshinder te bereiken vermoedelijk niet haalbaar.

4 Discussie

4.1 Sterkte-zwakte analyse

Het gebruik van de E-HIS vereenvoudigt sterk de analyse van de gezondheidsimpact van een aantal stressoren waarvoor dosis-responsrelaties gekend zijn. Voor geluidshinder is dit de eerste tool die het mogelijk maakt op grote schaal vergelijkingen tussen wijken, postcodes, steden, … te maken. Dit is ook op basis van de meest recente gegevens die voor deze regio beschikbaar zijn. (38) De oplevering van deze gegevens dateert echter al van 2018. De nieuwe strategische geluidsbelastingskaarten voor de agglomeratie Antwerpen worden later dit jaar verwacht. Door aanpassingen in het beleid en verbeterde modellering is een nieuwe analyse op dat moment nuttig.

Het grootste verschil tussen de berekening per statistische sector (zoals in de E-HIS) en een berekening per individueel adres is de assumptie dat de bevolkingsdichtheid binnen de statistische

sectoren gelijk verdeeld is over de oppervlakte. In de E-HIS zijn qua geluidshinder enkel gezondheidsgegevens voor wegverkeer beschikbaar.

Een belangrijke beperking van werken met de E-HIS is dat de gebruikte geluidskaarten gemodelleerd zijn, en niet gebaseerd zijn op metingen. Ook zijn de gebruikte kaarten (MIRA) voor de stedelijke context onvoldoende nauwkeurig zijn om over specifieke straten conclusies te trekken.

De door Tractebel (op vraag van Stad Antwerpen) opgeleverde strategische geluidsbelastingskaarten zijn veel fijnmaziger, maar nog steeds op basis van modellen die bij voorkeur met metingen bevestigd worden. Om de foutenmarge zo klein mogelijk te maken, is op dit moment de 'meest juiste' manier om deze berekening te doen per individueel adres en op basis van de meest recente strategische geluidsbelastingskaarten opgeleverd door de stad. Dit is echter een zeer arbeidsintensieve methode. Ook op deze fijnmazige modellering is een belangrijke foutenmarge ten opzichte van metingen, zoals reeds beschreven bij een meetcampagne rondom de R1. (39)

In deze studie is bewust gekozen om de gezondheidsimpact en de gezondheid-economische kosten die daarmee gepaard gaan, uit te drukken in absolute waarden per jaar (aantal gevallen en euro). Deze worden nadien geëvalueerd volgens het aantal inwoners, maar ook volgens de oppervlakte van de sectoren. Een berekening per aantal inwoners volgt nauwer de geluidskaarten en absolute geluidsbelasting, maar gaat voorbij aan het gegeven of het gebied rondom een grote geluidsbron dichtbevolkt is of niet. Dit maakt qua absolute gezondheidsimpact echter een groot verschil, en kan bepalend zijn of de kosten-batenverhouding van een ingreep om de geluidshinder te verminderen gunstig is of niet.

Bij een berekening per oppervlakte gaan dichtbevolkte statische sectoren snel een grote geschatte gezondheidsimpact door geluidshinder hebben, maar de potentiële gezondheidswinst op bevolkingsniveau door het aanpakken van deze hinder is evenzeer groter voor dichtbevolkte statistische sectoren. Voor zover mij bekend, is dit de eerste studie die op deze manier een vergelijking maakt tussen de verschillende delen van de stad Antwerpen.

De kwalitatieve bespreking van de meest aangedane sectoren volgens elke berekeningswijze toont daarnaast hoe verschillend de resultaten per berekeningswijze zijn, en dat in een dichtbevolkte wijk zelfs een 'beperkte' absolute geluidsbelasting een grote gezondheidsimpact kan hebben.

Een zwakte van deze studie om rekening mee te houden, is de beperkte ervaring van de auteur binnen de epidemiologie en de omgevingsakoestiek.

4.2 Toetsing van de resultaten en literatuur aan het huidige geluidsactieplan

4.2.1 Gehanteerde bronnen in het geluidsactieplan

In het geluidsactieplan van de stad Antwerpen wordt een samenvatting gemaakt van de gegevens die zij hanteren qua gezondheidsimpact van geluidshinder, en de publicaties waarop deze gebaseerd zijn. Er zijn twee publicaties waar herhaaldelijk naar gerefereerd wordt.

De eerste is 'Burden of disease from environmental noise' (40). Dit is de vorige versie (uit 2011) van de WHO-richtlijn uit 2018 waarnaar in deze studie meermaals gerefereerd wordt. Deze nieuwe richtlijn wordt op geen enkel moment vermeld in het geluidsactieplan, ondanks de publicatie meer dan 4 maanden voor de goedkeuring van het geluidsactieplan door het college van de stad Antwerpen, respectievelijk op 30 januari en 7 juni 2019.

De tweede is 'Impact van geluid op welzijn, leefmilieu en volksgezondheid, in Vlaanderen' van het Instituut Samenleving & Technologie (IST). Het IST was een autonome instelling verbonden aan het Vlaams Parlement, die onder andere adviezen formuleerde voor het Vlaams Parlement, gebaseerd

op wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen. Hiermee wilden zij bijdragen aan een beter onderbouwd besluitvormingsproces. Het IST als aparte instelling is kort na publicatie van dit rapport opgeheven, de Technology Assessment-functie is opgenomen binnen VITO. (41)

4.2.2 Maatregelen uit het geluidsactieplan

Gezien dit een zeer uitgebreid onderwerp is, zal ik mij in deze bespreking beperken tot toetsing van de concrete maatregelen aan literatuur. Welke concrete maatregelen optimaal zijn voor de specifieke context van de stad Antwerpen, bijvoorbeeld hoe de stad de *modal split* die ze als doel gesteld heeft kan halen, valt buiten het onderzoeksgebied van deze studie. Op de Universiteit Antwerpen wordt dit onderzoek voornamelijk verenigd in de onderzoeksgroep Infrastructuur en Mobiliteit. (42)

De maatregelen specifiek voor wegverkeer zijn:

- P1M4: Jaarlijkse meetcampagne R1 Antwerpen

Zoals besproken in 'Resultaten' toont deze studie dat de R1 een grote absolute geluidsbelasting veroorzaakt ter plaatse, maar dat deze zich minder vertaalt in slechtere gezondheidsuitkomsten voor inwoners dan andere knelpunten in de stad.

Een studie uit 2011 door VITO in opdracht van het toenmalige stadsbestuur schatte reeds dat de geluidsimpact van de Ring volledig wegnemen slechts zou resulteren in een verlaging van het aantal inwoners met blootstelling L_{den} >70 dB(A) van ongeveer 5%. (43)

Wanneer men de meest aangedane statistische sectoren over de geluidskaarten legt, toont dit dat vooral een aantal lokale verbindingswegen met grote volumes wegverkeer een grote weerslag hebben qua geluidshinder die gezondheidsproblemen veroorzaakt. Dit bevestigt de conclusies van de studie door VITO uit 2011.

In dezelfde studie worden een aantal maatregelen besproken, die wanneer ze allen toegepast worden, een geschatte verlaging van 56% in het aantal inwoners blootgesteld aan L_{den} > 70 dB(A) meebrengen.

Dat de gezondheidsimpact van de geluidshinder door de R1 beperkt is, komt met één belangrijke uitzondering: de inwoners aan de westkant van de Ten Eekhovelei. Dit specifieke knelpunt wordt in de huidige plannen voor de Oosterweelverbinding aangepakt: in de plaats van het viaduct van Merksem komt er een deels overdekte sleuf. (30)

- P2M1: Antwerpen anders mobiel

Hier stelt de stad een *modal split* van 50/50 voorop als doel, en refereert naar Routeplan 2030. Dit is een overkoepelende naam waar alle inspanningen van Vervoersregio Antwerpen, een overlegorgaan opgericht door de Vlaamse Overheid, gebundeld worden. (44) Hier worden ook de realisaties van vorige bestuursperiodes beschreven, maar geen concrete projecten ter verbetering genoemd, bijvoorbeeld budgetten die van wegverkeer naar duurzame vervoersmodi verplaatst worden.

Het stadsbestuur zelf is optimistisch over het realiseren van deze *modal split*, en rapporteerde in 2022 een daling van 40% van het autoverkeer op 5 jaar. Deze conclusie trekken zij op basis van de ANPR-camera's aan de grens van de lage-emissiezone. Straatvinken, een onderzoeksproject van burgerbeweging Ringland en de Universiteit Antwerpen, zien op basis van hun metingen nog geen daling, en benadrukken het opvallende verschil in de resultaten. (45)

- P2M2: Stiller stedelijk openbaar vervoer

Hier worden een aantal maatregelen beschreven die het huidige voertuigenbestand van De Lijn, de maatschappij verantwoordelijk voor openbaar vervoer in Vlaanderen, stiller maken. Hier heb ik op basis van de bestudeerde literatuur geen informatie aan toe te voegen. Er wordt ook benoemd dat maatregelen binnen dit gebied een additief effect hebben bovenop de *modal split*: verhoogd gebruik van openbaar vervoer verlaagt de geluidsdruk bij een gelijk aantal verplaatsingen, dit openbaar vervoer stiller maken verbetert verder het geluidsklimaat.

- P2M3: Stillere logistiek

Hier worden voornamelijk maatregelen beschreven die onder de *modal split* vallen, om bijvoorbeeld vrachtvervoer meer via duurzame vervoersmodi te organiseren, bijvoorbeeld gebruik maken van cargobikes in plaats van bestelwagens. Recente modellen tonen dat voornamelijk voor korte afstanden en kleine pakketten dit ook een kostenbesparende maatregel kan zijn. (46)

Belangrijk om te overwegen is dat de geluidshinder van zwaar vrachtvervoer nauwelijks afneemt bij lagere snelheden, zowel qua rolgeluid als motorgeluid. Meer hierover bij P2M5. Voor zwaar vrachtvervoer is heden voornamelijk het aantal zware voertuigen verlagen een effectieve oplossing om de geluidsbelasting te verminderen.

Ook elektrisch vrachtvervoer kan hier een verschil in maken in de nabije toekomst. Uit een studie van TNO uit 2022 blijkt dat voor ‘rigid urban delivery trucks’ het gebruik van elektrische aandrijving met batterij reeds haalbaar en kosteneffectief is. Zij concluderen dat, ook voor vrachtvervoer over langere afstanden, elektrische vrachtvoertuigen de komende jaren de meest voordelige optie worden. (47)

Hierbij dient men wel op te merken dat deze voertuigen qua rolgeluid een vergelijkbare geluidsbelasting gaan veroorzaken als vrachtvervoer met verbrandingsmotor. Een potentieel voordeel qua geluidsbelasting is dus enkel van toepassing in omstandigheden waar motorgeluid het probleem is, in praktijk dus voornamelijk bij lage snelheden.

- P2M5: Snelheid en ritdynamiek optimaliseren

Hier worden aanpassingen qua maximumsnelheid en hun weerslag op de geluidsbelasting beschreven. Daarbinnen zijn 2 grote onderdelen te onderscheiden:

Het eerste zijn de snelwegen door de agglomeratie, voornamelijk de R1. Hier benoemt het geluidsactieplan een verlaging van de maximumsnelheid op de R1 naar 70 km/u, zowel voor personenwagens als voor vrachtvervoer. Daar wordt een verlaging van de geluidsbelasting van 2,2 dB(A) van verwacht, met 20% zwaar verkeer op de R1.

Het tweede zijn de invalswegen naar de binnenstad en straten in woonwijken. Sinds 2019 is een groot deel van de binnenstad zone 30 geworden, met onder andere verkeersveiligheid en geluidshinder in het achterhoofd.

Belangrijk om hierbij te vermelden is dat veel van de invalswegen, die ook dicht bewoond zijn, nog steeds 50 km/u als maximumsnelheid behouden en bijgevolg geen verbetering qua geluidshinder kennen van deze maatregel. Daarnaast staat de handhaving van deze zone 30 als concreet actiepunt in het geluidsplan, maar volgens oppositiepartij Groen en bewonersgroep 30Max laat deze te wensen over. (48) Onafhankelijk onderzoek hierover is nodig.

- P2M6: Overkappingen over de Ring rond Antwerpen

De impact qua geluidshinder van een overkapping van de R1 is beperkt. Een meer uitgebreide beschrijving is te vinden bij maatregel P1M4.

Er zijn een heel aantal andere factoren dan geluidshinder die ook in acht moeten genomen worden om de kosten-baten van een overkapping te evalueren. Dit betreft onder andere luchtkwaliteit, vrijgekomen ruimte voor ander gebruik, doorstroming, … Deze zaken vallen buiten het onderzoeksgebied van deze studie.

- P3M1: Stille wegdekken

Hier wordt door het stadsbestuur veel aandacht aan besteed. Er zijn op heden ook onderzoeksprojecten lopende om te onderzoeken welke geluidsverminderende deklagen optimaal zijn voor welke situatie. Zowel uit de analyses van VITO en van het IST komt een stil wegdek naar voren als een effectieve manier om de geluidsbelasting te verlagen. Dit het meeste op plaatsen waar de snelheid hoger ligt (50 km/u of meer) en waar het verkeersvolume moeilijk te verlagen is. Goede voorbeelden hiervan zijn de R1 (Antwerpse Ring) of grote invalswegen (Plantin en Moretuslei, Belgiëlei, Bredabaan, Groenendaallaan, Bisschoppenhoflaan, Lambrechtshoekenlaan, …).

Gezien bij lagere snelheden (bv. 30 km/u) motorgeluid dominant is, is de toepassing van een stil wegdek minder kosteneffectief. De enige belangrijke uitzondering hierop is als het huidige wegdek bestaat uit bolle kasseien. Bij bolle kasseien is zelfs bij lage snelheden het rolgeluid dominant. Dit toont zich in een aantal duidelijke knelpunten, waar ongeacht de snelheid belangrijke geluidshinder bestaat. Voorbeelden hiervan zijn:

- Leopold de Waelstraat en -plaats
- Rolwagenstraat – Kleine Beer straat

Op deze punten is elk ander wegdek een vooruitgang qua geluidshinder. Hier engageert het stadsbestuur om waar mogelijk deze wegdekken te vervangen door asfalt of platte kasseien wanneer het historisch karakter van de straat kasseien vereist.

- P3M2: het Vlaamse wegverhardingenbeleid houdt rekening met akoestische eigenschappen

Hieronder wordt vooral een beschrijving gemaakt van de criteria die het Vlaams Gewest hanteert om te bepalen waar stille wegdekken aangewezen zijn, en de wegen die onder Vlaamse bevoegdheid vallen en waarvoor bij heraanleg een stil wegdek (type splitmastiekasfalt-D) zal gebruikt worden.

- P3M3: Doordacht straatontwerp om wegverkeerslawaai te beperken

Hieronder wordt een theoretische beschrijving gemaakt van welke aspecten allemaal invloed hebben op de geluidsperceptie in een straat, en wordt de tuinstraat naar voor geschoven als positieve straatindeling voor straten met voornamelijk een woonfunctie. Dit is een correcte analyse, en veel kenmerken van een tuinstraat maken het een aangenamere plaats om te wonen: lagere snelheden, meer groen, goede waterhuishouding, betere koeling op warme dagen, …

De gegeven voorbeelden horen echter niet thuis in een geluidsactieplan: het betreft enkel straten die reeds voor de implementatie een gunstig geluidsklimaat hadden, op geen enkel punt overschrijdt de L_{den} door wegverkeer in deze staten 60 dB(A).

Tuinstraten kunnen qua geluidshinder een meerwaarde zijn als ze de geluidsbelasting in een straat kunnen reduceren, waar voor de inplanting van de tuinstraat een belangrijke geluidsbelasting is door

in de straat geproduceerd geluid (bv. sluipverkeer doorheen een straat met voornamelijk een woonfunctie). Een voorbeeld hiervan is de Lange Kievitstraat, een smalle straat met voornamelijk woonfunctie en enkele lokale winkels, met op heden L_{den}-belastingen van 70-75 dB(A).

- P3M5: Akoestische sanering van geluidsknelpunten

Hier wordt gerefereerd aan de lijst van geluidsknelpunten die in 2011 door Lefebvre et al. werd opgesteld. Deze lijst omvat op dat moment 75% van de inwoners die blootgesteld worden aan L_{den} > 70dB(A), en 85% van de inwoners blootgesteld aan L_{den} > 75 dB(A).

Er wordt ook dadelijk aangegeven dat het niet haalbaar is om al deze knelpunten opnieuw aan te leggen, en dat in het Mobiliteitsplan de geactualiseerde prioriteiten beschreven zijn. Dit Mobiliteitsplan dateert uit 2015, en bevat slechts 1 korte alinea over geluidshinder, waarin de doelstelling wordt aangegeven tegen 2020 geen enkele inwoner nog bloot te stellen aan L_{den} > 70 dB(A). (49) Deze reductie hoopt men te bereiken met een snelheidsreductie naar 30 km/u in de woonstraten, geluidsschermen op de grote verkeersassen, en uitgebreid gebruik van stille wegdekken.

Deze doelstelling en aanpak is niet realistisch: wanneer men op de huidige geluidskaarten kijkt, is de conclusie dat men voor een dergelijke verlaging van de geluidsbelasting drastische maatregelen nodig heeft.

- P3M6: Geluidsafscherming langs bestaande woongebieden naast grote verkeersinfrastructuren

Hier wordt zowel een overzicht gegeven van de prioriteiten op Vlaams niveau als lokaal. In het Mobiliteitsdecreet uit 2009 is de mogelijkheid opgenomen om een geluidsafscherming deels of volledig door het Vlaams Gewest te laten financieren. Zij nemen de kosten volledig op zich bij een geluidsblootstelling boven 80 dB(A), en tussen 65 en 80 dB(A) is er een verdeelsleutel opgemaakt voor de kosten voor aanleg van een geluidsscherm.

Op de Vlaamse prioriteitenlijst staan 2 zones in de agglomeratie Antwerpen:

1. De oostelijke zijde van de A12 en Boomsesteenweg tussen de Populierenlaan en het zuidelijke einde van het viaduct

Dit betreft een erg complex probleem, gezien verdere studies hier tonen dat plaatsing van een geluidsscherm naast de A12 een merkbare daling van het geluidsniveau zou opleveren, maar dit nog steeds boven 60dB(A) zou blijven. Ook is het technisch op heden niet mogelijk om op het viaduct bijkomende geluidsafscherming te plaatsen. Hiernaast is er het probleem dat de Boomsesteenweg (N177), aan weerszijden van het viaduct, ook een significante geluidsbelasting veroorzaakt.

2. De noordelijke zijde van de afrit Kleine Bareel aan de E19

Hier wordt reeds de conclusie getrokken dat plaatsing van een geluidsscherm hier niet effectief gaat zijn, gezien een belangrijk deel van de geluidsbelasting hier afkomstig is van de Kapelsesteenweg, waar geen schermen geplaatst kunnen worden.

Hier plant men in de toekomst evaluatie van andere mogelijke maatregelen voor een effectieve verlaging van de geluidsniveaus: stille wegdekken, snelheidsverlaging, verlaging van het verkeersvolume, …

De prioriteiten die de stad in het geluidsplan zelf stelt zijn:

1. Het onderzoeken welke locaties prioritair in aanmerking komen voor de plaatsing van geluidsschermen, en deze al dan niet in samenwerking met het Vlaamse Gewest plaatsen
2. De aanvraag voor geluidsbuffering rond de noordelijke A12 in Berendrecht en Zandvliet, op basis van het RUP Afbakening Zeehavengebied Antwerpen

Dit betreft een aanvulling op een geluidsbuffer ten zuiden en zuidoosten van het natuurgebied Opstalvallei, ten zuiden van de kern van Berendrecht. Deze schermt de kern en het natuurgebied afschermen van industrie- en verkeersgeluid rond het Delwaidedok.

Zowel in het natuurgebied als in de kern van Berendrecht is er geen L_{den} > 55 dB(A) door industrie of ander geluid vanuit het Delwaidedok, en is er dus geen schadelijk effect te verwachten van eventuele geluidshinder van het Delwaidedok. Er kan dus geen verminderde gezondheidsimpact door geluidshinder verwacht worden na afwerking van deze drempel. Het betreft ook reeds een beslissing uit 2013. Deze twee zaken maken dat gesteld kan worden dat de buffer aan het Delwaidedok niet thuishoort in het huidige geluidsactieplan. (50)

Naast de rechtstreekse impact van het Delwaidedok benoemt men hier de intentie om prioritair langs de A12 ter hoogte van Berendrecht en Zandvliet te plaatsen, en bij de Vlaamse Overheid aanvraag te doen om tussen te komen in de kosten.

Op basis van onze gegevens blijkt echter dat 2040 (de postcode van Berendrecht, Zandvliet en Lillo) in de analyse per oppervlakte de postcode is met de laagste verwachte gezondheidskosten per oppervlakte, en ook qua gezondheidskosten per inwoner significant onder het gemiddelde zit. Bij verdere inspectie van de geluidskaarten, stelt men ook vast dat slechts een heel klein deel van de bewoning in Berendrecht en Zandvliet blootgesteld is aan L_{den} > 65 dB(A), zoals hierboven besproken de plandrempel die de Vlaamse Overheid hanteert om tussen te komen in de kosten.

Gezien de stad Antwerpen de hoge kosten (afscherming van ten minste 1,5 kilometer autosnelweg) volledig zelf zal moeten dragen, en de verwachte gezondheidswinst klein is, lijkt dit een zeer weinig kosteneffectieve maatregel.

3. Onderzoek naar de toepasbaarheid van diffractoren in stedelijke context

Dit is een innovatieve technologie die nog in een onderzoeksfase is. Het kernidee is een rooster naast de weg, op dezelfde hoogte of een beperkte afstand hoger (1 meter in de meeste studies), dat geluidsgolven naar boven afleidt. De mogelijke meerwaarde van deze diffractoren is vooral te vinden op de plaatsen waar om praktische, esthetische of veiligheidsredenen het gebruik van klassieke geluidsschermen niet haalbaar is. Diffractoren zijn ook kosten-effectiever dan klassieke geluidsafscherming. (51)

Deze resultaten zijn voor de bestudeerde opstellingen veelbelovend. De meeste zijn uitgevoerd door 4Silence, een Nederlands bedrijf dat met Europese steun diffractoren onderzoekt en ondertussen in een aantal landen ook plaatst.

Zij stelden op Euronoise, één van de grootste congressen in Europa rond dit onderwerp, een studie voor waar bij veel opstellingen een verlaging van meer dan 5 dB(A) bereikt werd door een diffractor op 1 meter hoogte naast een dubbel treinspoor te monteren. Daarna werd op verschillende afstanden en hoogtes gemeten welke verbetering bereikt werd. (52)

Voor de metingen op 15 en 25 meter afstand van het treinspoor waren de metingen overwegend positief, met op geen enkele hoogte een duidelijke toename van het geluid, en de beste verbeteringen op 1,2 en 2 meter hoogte. Bij een afstand van 25 meter van het spoor wordt zelfs op 5

meter hoogte een verbetering van 5 dB(A) waargenomen wanneer de trein over de spoorlijn het dichtste bij de diffractor rijdt, en geen significant verschil wanneer de trein over het verste spoor rijdt.

De meest relevante metingen voor toepassing in de stad zijn echter deze op 7,5 meter afstand van het spoor. Deze zijn minder positief:

- Op 1,2 meter hoogte wordt nog een duidelijke verbetering gemeten, de grootste van de hele studie, meer dan 10 dB(A) voor het dichtste spoor, en 9 dB(A) voor het verste spoor
- Op 2 meter hoogte is er enkel bij het dichtste spoor nog een verbetering, en is er meer geluid door treinen op het verste spoor
- Op 3 en 5 meter hoogte wordt voor beide sporen geen verbetering bereikt, en is de impact voor geluid van het verste spoor zelfs negatief

Diffractoren zijn dus veelbelovend op plaatsen waar de afstand tussen het spoor of wegdek groot genoeg is, en de bebouwing bij voorkeur laag, zodat de diffractie van het geluid op 5 meter of hoger geen bijkomende hinder kan veroorzaken.

In stedelijke context betreft het probleem echter vaak straten waar zelfs de ruimte voor de kleinste testopstelling (7,5 meter vanaf het midden van het dichtste rijvak) niet beschikbaar is.

Vanuit de huidige resultaten valt te verwachten dat bij kleinere afstanden enkel op zeer beperkte hoogtes verbetering gerealiseerd wordt, potentieel ten koste van het geluidsklimaat op de bovengelegen verdiepingen. Bijkomend onderzoek met nog kleinere afstanden is bijgevolg geïndiceerd alvorens een conclusie kan getrokken worden of diffractoren in stedelijke context een goed alternatief zijn voor klassieke geluidsafscherming.

Experts van de afdeling Klimaat en Leefmilieu van Stad Antwerpen bevestigen dat er op dit moment verder onderzoek gevoerd wordt naar diffractoren, zowel voor wegverkeer als spoorverkeer, maar dat er belangrijke beperkingen zijn om deze toe te kunnen passen in stedelijke context. In studiecontext tonen zich onder andere plaatsgebrek, verminderde effectiviteit bij bredere geluidsbronnen zoals autosnelwegen, … De gedetailleerde resultaten van deze onderzoeken zijn nog niet gepubliceerd.

- P4M3: Geluidsafscherming langs nieuwe woonontwikkelingen en gevoelige gebouwen naast grote verkeersinfrastructuren

Hier stelt men terecht vast dat de huidige regelgeving voor een patstelling zorgt in een aantal steden. Voor bestaande woongebieden naast grote verkeersinfrastructuren is er een verdeelsleutel tussen de lokale overheid en de Vlaamse Overheid voor de kosten van de plaatsing van geluidsafscherming.

Om nieuwe woonontwikkelingen naast grote verkeersassen te ontraden is op Vlaams niveau beslist om deze verdeelsleutel niet voor nieuwe woonontwikkelingen te doen gelden. In meer landelijke gebieden is dit nuttig, gezien verdere versnippering van het landschap met lintbebouwing langs grote verkeersassen niet wenselijk is.

In stedelijke context ligt dit anders, gezien nieuwe woonontwikkelingen voornamelijk ‘indichting’ van reeds bebouwde zones bedragen. Ook is in de stad wonen op veel andere vlakken erg duurzaam (veel vervoersmodi beschikbaar, korte afstanden voor dagelijkse verplaatsingen, …), en kan een nieuwe woonontwikkeling dicht bij een grote verkeersas zeker wenselijk zijn, mits er adequate afschermingsmaatregelen getroffen worden.

Een goed voorbeeld hierbij is de statistische sector 'Oostkwartier', waar AG Vespa werkt aan het project 'Nieuw Zurenborg'. Meer uitleg hierover is er bij de kwalitatieve bespreking van deze sector. Dit is een gebied dat qua ligging en bereikbaarheid veel potentieel heeft voor nieuwe inwoners in de stad, maar op heden door de grote verkeersassen errond een grote geluidsbelasting kent.

Hier benoemt men het systeem van 'stedenbouwkundige lasten', waarbij men de maatschappelijke lasten die door een project gegenereerd worden, kan doorrekenen aan de projectontwikkelaar. Bij de kwalitatieve bespreking van sector 'E3 – E39' wordt een bouwproject besproken waar dit voor geluidsafscherming van toepassing kan zijn. Tot op heden vind ik echter geen project terug waarvoor deze kosten als 'stedelijke ontwikkelingskost' zijn doorgerekend aan de projectontwikkelaar.

- P4M4: Milderende maatregelen bij aanleg nieuwe spoor- en weginfrastructuur

Hieronder beschrijft men de regelgeving en grenswaarden die op Vlaams niveau voor nieuwe infrastructuur gelden. Deze zijn volledig te bekijken in het MER-richtlijnenboek 'Geluid en Trillingen'.

5 Conclusie

Dat geluidshinder een grote gezondheidsimpact heeft in de stad Antwerpen, wordt reeds een aantal jaren erkend. In Antwerpen wordt het grootste deel van de gezondheidsimpact door geluidshinder veroorzaakt door wegverkeer.

Ik heb in deze studie geprobeerd deze ziektelast te berekenen, op basis van de gegevens uit de E-HIS tool van de Vlaamse overheid en de dosis-responscurves van de Environmental Noise Guidelines for the European Region.

Hiernaast heb ik getracht een aantal knelpunten te bespreken, alsook maatregelen die deel uit kunnen maken van het verminderen van de ziektelast door geluidshinder. De verschillende berekeningswijzen die hiervoor gebruikt zijn, geven ook een resultaat dat de verschillende manieren weergeeft waarop geluidshinder gezondheidskosten kan veroorzaken.

De berekening 'kosten per inwoner' geeft een resultaat dat voornamelijk de individuele gezondheidskosten weergeeft: in welke postcodes en sectoren worden de inwoners blootgesteld aan een hoge absolute geluidsbelasting? Hieruit komen de postcodes 2000 en 2600 als meest belaste delen van de stad op basis van onze gegevens.

De berekening 'kosten per oppervlakte' geeft een resultaat dat voornamelijk de maatschappelijke gezondheidskosten weergeeft: op welke plaatsen wordt op weinig oppervlakte veel ziektelast gegenereerd door geluidshinder? Hieruit komen de postcodes 2060 en 2140 als meest belaste delen van de stad op basis van onze gegevens.

Bij onze analyse werd ook duidelijk dat een analyse per statistische sector belangrijke beperkingen inhoudt, omdat hierin heel wat straten vervat zitten en geluidshinder (meer dan luchtvervuiling) bij uitstek een lokaal probleem is. Om een meer gedetailleerde berekening van de ziektelast door geluidshinder te maken, is een berekening per individueel adres en op basis van de meest recente en meest nauwkeurige strategische geluidsbelastingskaarten, aangewezen. Later dit jaar worden de nieuwe strategische geluidsbelastingskaarten voor agglomeratie Antwerpen verwacht.

De stad Antwerpen heeft in uitvoering van Europese richtlijn 2002/49/EG een geluidsactieplan, waarin al naar een aantal oplossingen gekeken wordt: een *modal split* van 50% in de vervoersregio Antwerpen (zelfs 60-40 in de stad), aangepaste wegdekken en banden, elektrische wagens, geluidsdempende architectuur rondom het wegdek, snelheidsverlaging tot 30 kilometer per uur, strengere regelgeving voor de aanleg van nieuwe infrastructuur voor wegverkeer, …

Uit het huidige geluidsactieplan spreekt heel wat ambitie om het geluidsklimaat te verbeteren op plaatsen waar grote infrastructuurwerken gepland zijn, of waar technologische innovatie een verbetering kan betekenen. Er zijn ook nog belangrijke mogelijkheden voor verdere toepassing van de wetenschappelijke literatuur. Een voorbeeld is op het vlak van circulatie, zoals snelheidsverlaging op middelgrote assen en het weren van doorgaand verkeer uit dicht bewoonde gebieden.

Nochtans zijn ook deze maatregelen duidelijk onderbouwd in de literatuur, en lijkt uit onze analyse dat deze maatregelen ook voor Antwerpen een belangrijke gezondheidswinst kunnen opleveren. Een factor die wel de mogelijkheden van het stadsbestuur beperkt is de aanwezigheid van gewestwegen, die onder Vlaamse bevoegdheid (Agentschap Wegen en Verkeer) vallen.

Door hun centrale rol in preventie is dit ook een relevant onderwerp voor de huisarts. Met correcte informatie kunnen zij educatie naar de patiënt rond dit onderwerp in handen nemen, alsook een signaalfunctie naar de bevoegde overheden wanneer zij belangrijke knelpunten opmerken.

Vanuit deze thesis zijn er een aantal interessante mogelijkheden voor verder onderzoek: een berekening per individueel adres van de gemodelleerde ziektelast door geluidshinder van wegverkeer, eventueel ook voor andere geluidsbronnen. Een andere nuttige onderzoeksrichting om deze kennis toe te passen is een onderzoek naar de attitudes van huisartsen rond geluidshinder, om een goed startpunt te bepalen voor de informatie naar hen toe. Door hun centrale rol in de uitwerking van infrastructuurplannen, kan ook een onderzoek naar de attitudes van stedenbouwkundigen rond geluidshinder nuttig zijn.

6 Referenties

1. RIZIV. Honoraria, prijzen en vergoedingen - Afbouwprogramma voor benzodiazepines en aanverwante producten (Z-drugs) 2023 [Available from: https://www.inami.fgov.be/nl/themas/kost-terugbetaling/door-ziekenfonds/individuele-verzorging/honoraires/Paginas/afbouwprogramma-benzodiazepines-aanverwante-producten.aspx.
2. Draulans D. Cardioloog Marc Goethals strijdt tegen geluidsoverlast: 'De effecten op je lichaam zijn funest. Knack. 2021.
3. Climat VdPDdlTÉed. Plan d'amélioration de l'environnement sonore. 2021.
4. Sciensano. Sciensano & One Health Brussel2023 [Available from: https://www.sciensano.be/nl/gezondheidsonderwerpen/one-health/rol#steen-per-steen-bouwen-aan-een-one-health-benadering.
5. University U. What is transdisciplinary research? 2023 [Available from: https://www.uu.nl/en/research/transdisciplinary-field-guide/get-started/what-is-transdisciplinary-research.
6. Luc S. Opmaak strategische geluidsbelastingskaarten agglomeratie Antwerpen 3e ronde. Antwerpen: Tractebel Engineering; 2018.
7. Omgeving D. Geluidsactieplan 2019-2023 agglomeratie Antwerpen. 2019.
8. Eriksson C, Pershagen G, Nilsson M. Biological mechanisms related to cardiovascular and metabolic effects by environmental noise. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe; 2018 2018. Contract No.: WHO/EURO:2018-3009-42767-59666.
9. World Health Organization. Regional Office for E. Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe; 2018 2018.
10. Botteldooren D, Dekoninck L, Gillis D. The influence of traffic noise on appreciation of the living quality of a neighborhood. Int J Environ Res Public Health. 2011;8(3):777-98.
11. Bluhm G, Nordling E, Berglind N. Road traffic noise and annoyance--an increasing environmental health problem. Noise Health. 2004;6(24):43-9.

12. Van Renterghem T, Botteldooren D. Focused study on the quiet side effect in dwellings highly exposed to road traffic noise. Int J Environ Res Public Health. 2012;9(12):4292-310.
13. de Kluizenaar Y, Salomons EM, Janssen SA, van Lenthe FJ, Vos H, Zhou H, et al. Urban road traffic noise and annoyance: the effect of a quiet façade. J Acoust Soc Am. 2011;130(4):1936-42.
14. Jakovljević B, Belojević G, Paunović K, Stojanov V. Road traffic noise and sleep disturbances in an urban population: cross-sectional study. Croat Med J. 2006;47(1):125-33.
15. Babisch W. Transportation noise and cardiovascular risk: updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. Noise Health. 2006;8(30):1-29.
16. Davies HW, Vlaanderen JJ, Henderson SB, Brauer M. Correlation between co-exposures to noise and air pollution from traffic sources. Occup Environ Med. 2009;66(5):347-50.
17. Fuks K, Moebus S, Hertel S, Viehmann A, Nonnemacher M, Dragano N, et al. Long-term urban particulate air pollution, traffic noise, and arterial blood pressure. Environ Health Perspect. 2011;119(12):1706-11.
18. Nieuwenhuijsen MJ. Influence of urban and transport planning and the city environment on cardiovascular disease. Nat Rev Cardiol. 2018;15(7):432-8.
19. Díaz J, Martínez-Martín P, Rodríguez-Blázquez C, Vázquez B, Forjaz MJ, Ortiz C, et al. Short-term association between road traffic noise and healthcare demand generated by Parkinson's disease in Madrid, Spain. Gac Sanit. 2018;32(6):553-8.
20. Braubach M, Tobollik M, Mudu P, Hiscock R, Chapizanis D, Sarigiannis DA, et al. Development of a quantitative methodology to assess the impacts of urban transport interventions and related noise on well-being. Int J Environ Res Public Health. 2015;12(6):5792-814.
21. Can A, Van Renterghem T, Rademaker M, Dauwe S, Thomas P, De Baets B, et al. Sampling approaches to predict urban street noise levels using fixed and temporary microphones. J Environ Monit. 2011;13(10):2710-9.
22. Paunović K, Jakovljević B, Belojević G. Predictors of noise annoyance in noisy and quiet urban streets. Sci Total Environ. 2009;407(12):3707-11.
23. Aletta F, Van Renterghem T, Botteldooren D. Influence of Personal Factors on Sound Perception and Overall Experience in Urban Green Areas. A Case Study of a Cycling Path Highly Exposed to Road Traffic Noise. Int J Environ Res Public Health. 2018;15(6).
24. Omgeving D. MIRA Geluidsbelastingskaart wegverkeer, Toestand 2018. 2018.
25. Guski R, Schreckenberg D, Schuemer R. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2017;14(12):1539.
26. Basner M, McGuire S. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018;15(3):519.
27. Van Kempen E, Casas M, Pershagen G, Foraster M. WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018;15(2):379.
28. Statbel. Open Data, Bevolking per statistische sector 2018 [Available from: https://statbel.fgov.be/nl/open-data?category=209.
29. Omgeving D. Strategische geluidsbelastingskaart voor de agglomeratie Antwerpen volgens RL 2002/49/EG WEG + SPOOR + INDUSTRIE + LUCHT Lden. 2018.
30. Lantis. Oosterweelverbinding: De R1-Noord. 2023.
31. Stassijns J. District wil snelheid beperken tot 50 op Bisschoppenhoflaan. Het Nieuwsblad. 2017.
32. Antwerpen S. Definitief ontwerp Lakborslei 2022 [Available from: https://www.antwerpenmorgen.be/nl/projecten/lakborslei/media.
33. Vespa A. Nieuw Zurenborg: Plannen voor een nieuwe wijk tussen Zurenborg en de Singel.
34. Architects B. Park Oost Borgerhout2017 [Available from: https://www.binstarchitects.be/project/park-oost/.

35. schepenen Cvbe. Stedenbouwkundige lasten - Opheffing ex nunc principebesluit van 8 juli 2016 - Nieuwe regeling stedenbouwkundige ontwikkelingskosten - Goedkeuring. 2018.
36. Jasper S. Smeermiddel moet "piepende trams" in de bochten vermijden: "Antwerpenaars klagen erover". VRT NWS. 2023.
37. Echevarría Sánchez GMU, Van Renterghem TTW, Botteldooren DTW. The influence of urban canyon design on noise reduction for people living next to roads. 2015; 2015.
38. Omgeving D. Geluidsbelastingskaarten 2023 [Available from: https://omgeving.vlaanderen.be/nl/geluidsbelastingskaarten.
39. Omgeving D. Omgevingslawaai langsheen de Antwerpse Ring (R1), meetcampagne 2018. Antwerpen: Vlaamse Overheid; 2018.
40. World Health Organization. Regional Office for E. Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen: World Health Organization. Regional Office for Europe; 2011 2011.
41. Regering V. Beslissing van de Vlaams Regering over het behoud van de TA-functie van het IST (juli 2012) 2012 [Available from: Beslissing van de Vlaams Regering over het behoud van de TA-functie van het IST (juli 2012).
42. Stadsontwikkeling Ov. Infrastructuur en Mobiliteit: Universiteit Antwerpen; 2023 [Available from: https://www.uantwerpen.be/nl/onderzoeksgroep/onderzoeksgroep-stadsontwikkeling/onderzoek/infrastructuur-en-mobiliteit/.
43. Lefebvre S, Op 't Eyndt. Voorstel van maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren en de geluidshinder te beheersen in de stad Antwerpen. Antwerpen: Stad Antwerpen – Stadsontwikkeling/Milieu; 2011 Maart 2011.
44. Antwerpen TV. Routeplan 2030 2023 [Available from: https://routeplan2030.be/.
45. Academie SR. Straatvinken verontrust over Antwerpse verkeerscijfers Antwerpen2022 [Available from: https://mcusercontent.com/5aba03b865531f2f75a32233d/files/52f87956-3a0f-58fa-77a7-b4c07ab9b75d/Persbericht_Resultaten_Straatvinken_2022_Antwerpen.pdf.
46. Sheth M, Butrina P, Goodchild A, McCormack E. Measuring delivery route cost trade-offs between electric-assist cargo bicycles and delivery trucks in dense urban areas. European Transport Research Review. 2019;11(1):11.
47. Dennis Tol TF, Maarten Verbeek, Iddo Riemersma,, Mulder H. Techno-economic uptake potential of zeroemission trucks in Europe. TNO report. 2022.
48. Stassijns J. Zestien straten met zone 30 gecontroleerd, 3.600 overtredingen: Groen eist meer handhaving “want zone 30 is Wilde Westen”. Gazet van Antwerpen. 2022.
49. Verhaert J. Antwerpen actief en bereikbaar: mobiliteitsplan 2020 | 2025 | 2030. 2015.
50. GRUP afbakening Zeehavengebied Antwerpen (RUP_02000_212_00202_00001) Toelichtingsnota. In: Stadsvernieuwing, editor. Antwerpen2013.
51. BV S. WHISSPER - fighting traffic noise exposure by diffraction. In: SMEs CEIL-II, editor. 2019.
52. Wout Schwanen YW, Nils Yntema, editor Whisswall, a sound diffractor on a low height noise barrier: experimental testing. . Euronoise 2018; 2018; Crete.

7 Dankwoord

Eerst wens ik mijn promotor, prof. Hans Keune te bedanken, voor zijn interessante feedback, geduld en interessante invalshoeken. Daarnaast wens ik ook de experts van de afdeling Klimaat en Leefmilieu van Stad Antwerpen bedanken om zo grondig mijn thesis te willen bekijken, mij te informeren over de zaken die lopende zijn en de knelpunten die ik aangeef mee te nemen. Tot slot wil ik ook mijn verloofde Joni Vanhoecke bedanken voor haar hulp met het uitschrijven en nalezen van deze thesis.