



Vlaanderen
is omgeving

Actualisatie kaartmateriaal en GIS-analyse luchtverontreiniging, omgevingslawaai en hittestress in functie van het ruimtelijk beleid

Lauwaet Dirk, Poelmans Lien en Schillemans Luc
(VITO/Tractebel)

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

Actualisatie kaartmateriaal en GIS-analyse luchtverontreiniging, omgevingslawaaï en hittestress in functie van het ruimtelijk beleid

Dit onderzoek heeft tot doel om inzicht te creëren in de ruimtelijke variatie aan omgevingslawaaï, luchtverontreiniging en hittestress in Vlaanderen, maar ook in de gevolgen ervan voor de gezondheid, om afgewogen ruimtelijke keuzes te maken of om gerichte bronmaatregelen te nemen, op basis van eenvoudig te interpreteren kaartmateriaal.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever:

Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 20 bus 8
1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Bronverwijzing: Lauwaet D., Poelmans L., Schillemans L. (2018), Actualisatie kaartmateriaal en GIS-analyse luchtverontreiniging, omgevingslawaaï en hittestress in functie van het ruimtelijk beleid, uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving.

D/2018/

PARTNERS



Managementsamenvatting

Deze studie 'Actualisatie kaartmateriaal en GIS-analyse luchtverontreiniging, omgevingslawaai en hittestress in functie van het ruimtelijk beleid' heeft tot doel om inzicht te creëren in de ruimtelijke variatie aan omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress in Vlaanderen, maar ook in de gevolgen ervan voor de gezondheid, om afgewogen ruimtelijke keuzes te maken of om gerichte bronmaatregelen te nemen. Hiervoor is eenvoudig te interpreteren kaartmateriaal ontwikkeld dat een eerste inzicht kan geven in deze thematiek voor niet-experten zoals lokale beleidsmakers en ruimtelijke planners. De bedoeling is om ruimtelijke ontwikkelingen en -beleid in een vroeg stadium te kunnen screenen op gezondheidseffecten. Hierdoor kan gezondheid een volwaardige plaats krijgen in de besluitvorming over de inrichting van de leefomgeving en kan een afweging ten opzichte van andere belangen worden gemaakt.

Hiervoor is gebruik gemaakt van de Gezondheids Effect Screening (GES) methodiek die in Nederland is ontwikkeld. Voor elk van de drie meegenomen factoren is een GES-kaart aangemaakt voor heel Vlaanderen op basis van een geselecteerde indicatorkaart, en daarnaast een combinatiekaart met de slecht scorende gebieden. Het gaat hierbij enkel om een indicatie van potentiële gezondheidseffecten (die ook door andere factoren worden beïnvloed) op basis van een beperkt aantal indicatoren die een eerste inzicht in de problematiek geven (signaalfunctie). Op basis van de GES-kaarten kunnen probleemgebieden worden geïdentificeerd, om daarna door experts ter zake gedetailleerde analyses te laten uitvoeren om de situatie lokaal te bestuderen of in kaart te brengen en eventuele maatregelen uit te werken.

In een tweede luik van de studie zijn de GES-kaarten gekruist met beschikbare data en kaartmateriaal dat relevant is voor het Vlaamse ruimtelijke beleid. Globaal bracht het onderzoek volgende bevindingen aan het licht:

- Bijna 11% van de Vlamingen woont op een locatie die een onvoldoende score behaalt voor 2 van de 3 onderzochte hindereffecten. Hierbij dient te worden genuanceerd dat de kaart voor omgevingslawaai niet gebiedsdekkend is en dat het werkelijke aantal Vlamingen dat hinder ondervindt van meer dan 1 van de onderzochte effecten potentieel nog iets hoger kan liggen.
- Ook bijna 11% van de kwetsbare instellingen zijn gelegen op een locatie die een onvoldoende score behaalt voor 2 van de 3 onderzochte hindereffecten.
- De blootstelling aan luchtverontreiniging en hittestress is het hoogst voor de inwoners in de verstedelijkte gebieden (volgens eender welke gebiedsindeling).
- De gebieden die het slechtst scoren voor hittestress en luchtkwaliteit vertonen gemiddeld gezien de hoogste walkabilityscore.
- De potentiële woonuitbreidingsgebieden scoren over het algemeen goed volgens de huidige GES-kaarten. Indien ontwikkeld kan de situatie lokaal en in de omgeving natuurlijk wel verslechteren door een stijging van de hittestress, of indien de ontwikkeling een hoger autogebruik zou veroorzaken kunnen de gezondheidseffecten door luchtverontreiniging en geluidshinder ook verhogen in de toekomst.

Het ruimtelijke beleid in Vlaanderen kan zeker een rol spelen bij het creëren van een meer kwalitatieve woonomgeving voor wat betreft lucht, geluid en hittestress, waarbij prioritair de milieudruk verlaagd wordt in de gebieden waar het grootst aantal mensen zijn blootgesteld. Volgende aanbevelingen worden naar voor geschoven:

- Het actief verspreiden van deze GES-kaarten bij ruimtelijk planners, architecten en lokale overheden zodat hier bij de opmaak van ruimtelijke uitvoeringsplannen, beleidsplannen of concrete projecten rekening mee gehouden kan worden.
- Een ruimtelijk gedifferentieerd omgevingsbeleid voeren om de lokale blootstelling te verminderen:
 - Als onderdeel van een beleidskader leefomgevingskwaliteit binnen het beleidsplan ruimte Vlaanderen.



- Als onderdeel van het lokaal klimaatbeleid
- Binnen lokale mobiliteitsplannen
- Bij de inrichting van het openbaar domein
- Bij het voeren van een gericht beleid op belaste locaties voor kwetsbare groepen (bv scholen, crèches,...) – bv door groen speelplaatsen, het beperken van gemotoriseerd verkeer in schoolstraten,..
- Door gebied specifieke maatregelen rond verminderen van hinder door gemotoriseerd verkeer, het investeren in geluidisolatie, nemen van hittemaatregelen of verminderen van de luchtvervuiling, het verbeteren van ventilatie...
- In gebieden met hoge walkabilityscore en hoge GES-scores:
 - het verminderen van het gemotoriseerd verkeer ten voordele van traag verkeer
 - voorzien van bijkomende schaduwrijke groenzones op de wandel- en fietslocaties
- Bijkomende aandacht voor ruimtelijke ontwikkelingen in minder goed scorende gebieden.
- Blijvend inzetten op mitigatie-maatregelen:
 - verminderen van autoafhankelijkheid door ruimtelijke ontwikkelingen te concentreren in gebieden met een voldoende hoog voorzieningen niveau op fietsafstand en in de buurt van knooppunten van hoogwaardig openbaar vervoer.
 - bijkomend autoverkeer beperken door functies te verweven, kantoren en handelscentra in te planten op collectieve knooppuntlocaties en nieuwe bedrijventerreinen maximaal te enten op multimodale locaties



Inleiding

Omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress zijn factoren die een grote invloed hebben op het welzijn en de gezondheid in een leefomgeving, zeker voor kwetsbare doelgroepen (65-plussers, jonge kinderen of mensen met een lagere sociaal economische status). Schadelijke stoffen in de lucht die we inademen hebben vooral invloed op de luchtwegen en het stelsel van hart en bloedvaten. Omgevingslawaai zorgt voor slaapproblemen en stress, die op hun beurt kunnen leiden tot een verhoogde bloeddruk. Hoge temperaturen, of hittestress, zijn in eerste instantie verantwoordelijk voor oversterfte (een hoger aantal sterfgevallen dan normaal te verwachten) als gevolg van problemen met hart, bloedvaten en luchtwegen. Bovendien geven zulke weercondities ook aanleiding tot hogere concentraties aan ozon en andere schadelijke stoffen in de lucht.

Hoewel verschillende bronnen verantwoordelijk zijn voor omgevingslawaai en luchtverontreiniging in Vlaanderen, is gemotoriseerd verkeer een belangrijke oorzaak. Verhoogde temperaturen worden vooral waargenomen in sterk bebouwde omgevingen. In deze gebieden wordt meer warmte geabsorbeerd en terug afgegeven, is er minder wind, en zorgen menselijke activiteiten (bedrijvigheid, verkeer, airconditioning,...) voor bijkomende warmte.

De Vlaamse overheid verzamelt en modelleert data voor vele indicatoren rond deze hinderaspecten. De geproduceerde kennis wordt ook via diverse kanalen ter beschikking gesteld (bijvoorbeeld via klimaat.vmm.be en leefkwaliteitvlaanderen.be). Analyse van de data leert dat er duidelijke ruimtelijke verschillen bestaan tussen de blootstelling aan hittestress en aan verkeer gerelateerde luchtverontreiniging en omgevingslawaai. Vooral verstedelijkte omgevingen kennen een verhoogde kans op blootstelling, aan de ene kant omdat de hinder ten gevolge van deze aspecten er groter is, maar uiteraard ook omdat er daar nu eenmaal meer mensen wonen.

Zowel in bestaande als in te ontwikkelen omgevingen is het belangrijk om inzicht te hebben in de ruimtelijke variatie aan omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress, maar ook in de gevolgen ervan voor de gezondheid, om afgewogen ruimtelijke keuzes te maken of om gerichte bronmaatregelen te nemen. Toch wordt er op vandaag binnen het (lokale) ruimtelijke beleid en ruimtelijke planning slechts beperkt aandacht besteed aan deze problematiek. Een recente bevraging door het agentschap voor Zorg en Gezondheidszorg geeft aan dat de kennis over de verschillende beschikbare informatiebronnen en methodieken om de gezondheidseffecten van bijvoorbeeld luchtverontreiniging en geluidshinder mee te nemen in het lokale mobiliteits- en ruimtelijkeordeningsbeleid, zeer laag is, zeker bij de kleinere gemeenten. Er wordt onder andere aangegeven dat de techniciteit van de beschikbare info en tools vaak te hoog is, waardoor ze niet ter hand genomen worden.

Het ontwikkelen van eenvoudig te interpreteren kaartmateriaal dat een eerste inzicht kan geven in de ruimtelijke variatie van aspecten rond omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress is voor 'leken' zoals ruimtelijke planners dus bijzonder zinvol. Dit soort kaartmateriaal maakt van hen geen milieu of gezondheid experts, maar geven wel een eerste beeld van de gezondheidkundige knelpunten en kansen wat betreft omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress. Het vermijdt hierdoor dat mogelijke knelpunten te laat in een ruimtelijk proces meegenomen worden, of zelfs niet gedetecteerd worden, en zorgt er voor dat technische experts tijdig kunnen worden betrokken. Op die manier ondersteunt deze studie het uitbouwen van een lokaal omgevingsbeleid, waarbij ruimtelijke keuzes bijdragen tot de ontwikkeling van kwaliteitsvolle leefomgevingen in Vlaanderen.

In 2015 werd in opdracht van het departement Ruimte Vlaanderen een eerste verkenning gemaakt van de situatie in Vlaanderen. In de studies die hieruit volgden werd de beschikbare data geselecteerd en

gepresenteerd op een eenvoudige en hanteerbare manier in functie van ruimtelijk beleid. Het onderzoek toonde echter ook aan dat de toenmalig geproduceerde kaarten moeilijk te interpreteren bleven omwille van onvolledige basisdata en/of gebrek aan degelijke modellering (op lokale schaal).

Ondertussen werden de beschikbare basisdata sterk verbeterd, zodat er een beter ruimtelijk inzicht in de materie kan worden verkregen. Op basis hiervan worden in deze studie geactualiseerde Gezondheids Effecten Screenings kaarten (GES-kaarten) opgemaakt, bruikbaar voor ruimtelijke planners en lokale besturen. Het kruisen van GES-kaarten met andere (ruimtelijke) data, levert daarnaast ook op het Vlaamse niveau ruimtelijke inzichten in de problematiek op. Deze kunnen bijdragen om, naast Vlaanderen-brede maatregelen, ook ruimtelijk gedifferentieerde of strategische acties te ondernemen. Daarnaast leveren ze input voor de ontwikkeling van ruimtelijk beleid dat het verbeteren van de kwaliteit van leefomgevingen in Vlaanderen vooropstelt.

GES kaarten

De Gezondheids Effect Screening (GES) is een methodiek die in Nederland wordt toegepast om de gezondheidsimpact van verschillende negatieve factoren (bv. lawaai, luchtverontreiniging) op een eenvoudige en eenduidige manier in kaart te brengen (Fast et al. 2012). Het doel van de kaarten is om informatie over gezondheidseffecten in een vroeg stadium mee te kunnen nemen bij (ruimtelijke) besluitvorming. Via een beperkt aantal indicatoren wordt een eerste inzicht in de problematiek gegeven, waarna ruimtelijke planners en beleidsmakers op basis van deze screening bijkomende gezondheid en milieu experts kunnen inroepen, in functie van eventuele verdere acties. Hierdoor kan gezondheid een volwaardige plaats krijgen in de besluitvorming over de inrichting van de leefomgeving en kan een afweging ten opzichte van andere belangen worden gemaakt.

De methodiek wordt in deze studie toegepast om de gezondheidseffecten van omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress in kaart te brengen voor heel Vlaanderen. Als basisdata worden de meest recente en accurate kaarten gebruikt die er tijdens het uitvoeren van de studie (2018) voorhanden waren. Iedere basiskaart is op basis van goed onderbouwde drempelwaarden omgezet in scores van 0 tot 8, die corresponderen met de standaard legende voor GES-kaarten die in Nederland wordt gebruikt (Figuur 1). Ook de kleurschaal is in deze studie overgenomen. Naast de drie basiskaarten is er ook een combinatiekaart aangemaakt die aangeeft op welke locaties de scores voor 1, 2 of alle 3 de factoren onvoldoende zijn (score van 0 tot 3).

Het doel van deze kaarten is om een duidelijk overzicht te geven van de situatie in Vlaanderen, en om eventuele probleemgebieden te kunnen identificeren. Het is niet de bedoeling om de verschillende factoren onderling te vergelijken of uitspraken te doen over hun onderlinge belang.

Figuur 1: Standaard legende en kleurenpallet GES kaarten

GES-score	Milieugezondheidskwaliteit		
0	Zeer goed	Lichtgroen	Groen
1	Goed	Groen	
2	Redelijk	Lichtgeel	Geel
3	Vrij matig	Geel	
4	Matig	Lichtoranje	Oranje
5	Zeer matig	Oranje	
6	Onvoldoende	Rood	Rood
7	Ruim onvoldoende	Neonrood	
8	Zeer onvoldoende	Paars	

BRON: Fast et al. 2012.

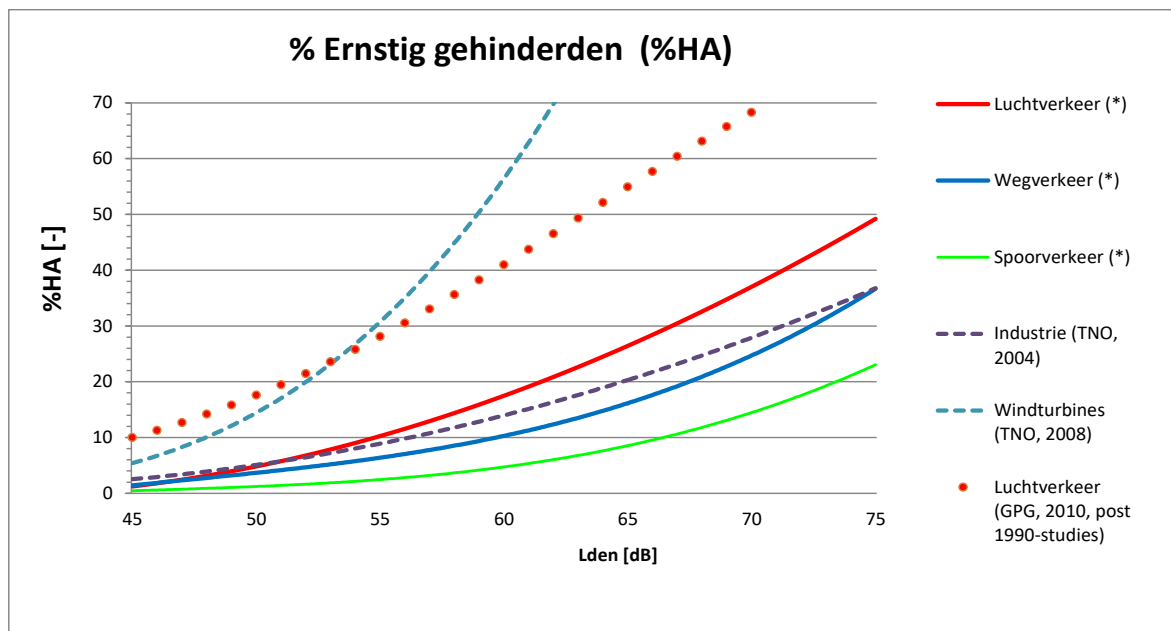


Geluid

De opzet is om te komen tot een evaluatie van een gelijk effect op hinder en dit voor verschillende geluidsbronnen. Niet alle mensen zijn even gevoelig naar lawaai toe. In een groep van 100 personen zullen meerdere personen zich gehinderd voelen naarmate het geluidsniveau toeneemt, de blootstelling dus. Een gradatie van de subjectieve waarneming van hinder ifv de blootstelling wordt bepaald door de Miedema curves die de dosis-effect relatie weergeeft. Deze relatie is afhankelijk van de bron zoals weg-, spoor- en luchtverkeer¹ én voor industrielawaai. Voor industrielawaai bestaan er weliswaar nog geen internationaal aanvaarde dosis-responsrelaties, behalve een preliminaire relatie afgeleid door TNO (TNO-PG, 2004), waaruit blijkt dat industriegeluid over het algemeen hinderlijker is dan wegverkeer bij eenzelfde geluidsniveau².

Blootstellingskaarten voor industrie zijn echter enkel voorhanden voor de belangrijke agglomeraties. In Vlaanderen wordt het maximum toegelaten geluid voortgebracht door de industrie (milieukwaliteitswaarden) vastgelegd in Vlarem. Deze zijn zone- en afstandafhankelijk en zouden gekarteerd kunnen worden. Let wel, de eigenlijke "toepasselijke waarde" is afhankelijk van het achtergrondgeluid, een tonaal karakter, bestaande of nieuwe situaties, de aard van het geluid (continu, fluctuerend, impuls, ...), de aard van de bron (industrieel, windturbines, schietstanden, ...).

Figuur 2: Dosis-effectrelaties geluid ifv type bron



Merk op dat de gemiddelde afwijking tussen het %HA van industrielawaai en wegverkeer circa 3 dB bedraagt. Dit heeft men blijkbaar kennelijk in de Nederlandse rekenmethode RMV als constante waarde voor alle blootstellingsniveaus aangehouden in de equivalente relatie voor industrielawaai.

$$\%HA_{weg} = 9.868 * 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 1.436 * 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0.5118 (L_{den} - 42)$$

$$\%HA_{spoor} = 7.239 * 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 7.851 * 10^{-3} (L_{den} - 42)^2 + 0.1695 (L_{den} - 42)$$

¹ Voor luchtverkeer zijn de Miedema-relaties uit 2002, overgenomen in de EU-position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance (2002), eerder conservatief. Inmiddels zijn er in de EU Good Practice Guide (2010) door het EU- Expert Panel on Noise (EPoN) herziene dosis-responsrelaties opgenomen gebaseerd op een meta-analyse van post 1990 - studies. Deze geven een beduidend groter aantal %HA. De hinder-equivalente relaties voor luchtverkeer in de GES-handleiding, RMG 2012 en GPG steunen echter nog steeds op de dosis-responsrelaties voor luchtverkeer uit 2002.

² Ook voor windturbinegeluid bestaan er door TNO afgeleide preliminaire dosis-responsrelaties, maar deze bron wordt in het kader van deze studie niet in beschouwing genomen.

$$\%HA_{lucht} = -9.199 * 10^{-5} (L_{den} - 42)^3 + 3.932 * 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0.2939 (L_{den} - 42)$$

Hier staat HA voor "Highly Annoyed" ofwel ernstig gehinderd (op basis van $L_{den} > 42$ dB(A)). Op een analoge manier kan men ook de slaapverstoring in kaart brengen. HSD staat dan voor "Highly Sleep Disturbance" ofwel ernstige verstoring van de slaap (op basis van L_{nacht} tussen 45 en 65 dB(A)).

$$\begin{aligned} \%HSD_{weg} &= 20.8 - 1.05 * L_{nacht} + 0.01486 * L_{nacht}^2 \\ \%HSD_{spoor} &= 11.3 - 0.55 * L_{nacht} + 0.00759 * L_{nacht}^2 \\ \%HSD_{lucht} &= 18.147 - 0.956 * L_{nacht} + 0.01482 * L_{nacht}^2 \end{aligned}$$

Een hogere blootstelling impliceert een hoger aantal potentieel ernstig gehinderden. Let wel, de blootstelling van een grotere groep bewoners aan een lager geluidsniveau kan toch aanleiding geven tot een groter aantal potentieel ernstig gehinderden. Ernstig potentieel gehinderden kunnen eveneens gezondheidseffecten hebben.

In oktober 2018 publiceerde de WGO Wereldgezondheidsorganisatie nieuwe geluid richtlijnen voor Europa (kortweg WHO2018). Hierin valt op te merken dat de dosis-effect relatie van spoorweglawaai groter is dan de relatie van Miedema aangeeft en aldus het aantal ernstig gehinderden door spoorweglawaai hoger ligt dan nu ingeschat. Het is echter nog niet duidelijk of andere milieuorganisaties, zoals bij voorbeeld het EEA European Environment Agency, hier mee zullen omgaan. Ook is er zeker nog geen aangepast kader hoe men dit zou inpassen in een herzien GES berekeningsschema. Om deze redenen werd hier dan ook verder geen rekening mee gehouden, ook gezien het al gevorderde stadium van het lopende project.

De opzet is om te komen tot een geaggregeerde kaart waarbij de impact van verschillende milieueffecten afkomstig van verschillende bronnen op een en dezelfde manier wordt voorgesteld. Vandaar dat men afstapt van enige fysische dimensie en enkel werkt in klassen zonder een dimensie. Het is de opzet om deze op die manier ook te kunnen vergelijken tussen bij voorbeeld lucht en geluid en andere. Op het niveau van geluid gaat men trachten het effect van het geluid van verschillende bronnen op te tellen in één parameter. Andere methodieken om dit resultaat te bekomen naast de (Nederlandse) gezondheidseffectscreening (GES) liggen niet voor.

Deze effecten worden in klassen (scores) ingedeeld volgens een gezondheidseffectscreening (GES)³. De score 6 is een specifiek gezondheidsrijkpunt gerelateerd aan het optreden van hart- en vaatziekten. De ondergrens stemt hierbij overeen met het maximaal toegestaan (gezondheids)risico (MTR). Voor wegverkeerslawaai - waarvoor voldoende evidentie op grond van epidemiologisch onderzoek kon vastgesteld worden - werd het MTR gesteld op L_{den} 63 dB voor wegverkeerslawaai (en werd overgenomen voor spoorverkeer, industrielawaai en luchtverkeer met dien verstande dat omwille van de hoge hinderlijkheid van luchtverkeer in vergelijking met andere bronnen dit nog verder werd verlaagd naar L_{den} 58 dB).

De onderstaande tabel is geldig indien het geluid van elk type bron apart in GES-klassen wordt ingedeeld en beoordeeld. De GES-methodologie voorziet niet enkel een GES-score waar er per brontype afzonderlijk dient beoordeeld te worden maar ook bij een bij een gecombineerde geluidbelasting (van verschillende typen van bronnen).

³ "Gezondheidseffectscreening - Gezondheid en milieu in ruimtelijke planvorming, Handboek voor een gezonde inrichting van de leefomgeving", 2018, GGD Nederland.

$$L^*_{VLIEG} = 0.98 L_{DEN,VLIEG} + 7.03$$

$$L^*_{BEDRIJVEN} = L_{DEN,BEDRIJVEN} + 3.00$$

Met als gecumuleerde belasting:

$$L_{CUM} = 10 \log(10^{L_{WEG}/10} + 10^{L^*_{RAIL}/10} + 10^{L^*_{VLIEG}/10} + 10^{L^*_{BEDRIJVEN}/10})$$

Tabel 2 GES-score geluid voor gelijke hinder voor verschillende type bronnen

$L_{den,weg}$ Wegverkeer	%HA Ernstig gehinderden	GES-score	$L_{den,spoor}$ Spoorverkeer	$L_{den,lucht}$ Luchtverkeer	$L_{den,industrie}$ Industrie
- 43 -	- 0% -	0	- 47 -	- 37 -	- 40 -
- 48 -	- 3% -	1	- 52 -	- 42 -	- 45 -
- 53 -	- 5% -	2	- 57 -	- 47 -	- 50 -
- 58 -	- 9% -	4	- 63 -	- 52 -	- 55 -
- 63 -	- 14% -	5	- 68 -	- 57 -	- 60 -
- 68 -	- 21% -	6	- 73 -	- 62 -	- 65 -
- 73 -	- 31% -	7	- 78 -	- 67 -	- 70 -
		8			

In het kader van deze studie wordt een geaggregeerde kaart opgesteld met slechts één indicator voor omgevingsgeluid. In die optiek is het aangewezen om alleen de gecumuleerde geluidbelasting (bepaald volgens hinder-equivalente relaties als hoger aangegeven) in beschouwing te nemen. Bijgevolg is alleen de score-indeling voor wegverkeer relevant. De precieze score-indeling van de andere bronnen (spoor, lucht en industrie) is dan ook niet relevant aangezien deze naar een hinder-equivalente waarde voor wegverkeer teruggerekend worden (volgens hoger genoemde equivalentierelaties). Informatief wordt deze nog wel vermeld al is het maar om de verschillen te duiden tussen de evaluatie van een ander type lawaai dan verkeerslawaai én de indeling hiervan volgens de GES-score. Deze tabelwaarden voor spoorverkeer, luchtverkeer en industrie zijn aldus verschillend van de GES klassen voor elke type lawaai afzonderlijk (zie vorige tabel).

Wat betreft beschikbare data zijn de L_{den} -waarden voor luchtverkeer hoger of gelijk aan 55 dB voorhanden (als lijnenbestand). Voor spoor- en wegverkeerslawaai zijn in principe de rasterwaarden betrouwbaar voor waarden hoger dan 55 dB. Niet alle punten met waarden lager dan 55 dB werden meegenomen in de berekening van de geluidskarten.

Om te komen tot een geluidskart worden de karten voor spoorverkeer, luchtverkeer en in voorkomend geval industrie teruggerekend naar de niveaus van gelijke hinder die gelden voor wegverkeer. In principe wordt dan een cumulatieve belasting bepaald of minstens wordt voor elke locatie de waarde van die bron weerhouden die op die plaats de meeste hinder veroorzaakt.

De volgende brongegevens werden gebruikt voor het berekenen van de finale GES-kaart:

- Voor de belangrijke wegen (> 3.000.000 voertuigpassages / jaar) en aanvullende wegen:
Strategische geluidsbelastingskaart, referentiejaar 2016, belangrijke en aanvullende wegen, Lden, Vlaamse Overheid - Dep. Omgeving (BJO) en AWV (Afdeling Wegenbouwkunde) - rasterversie (10x10 m)

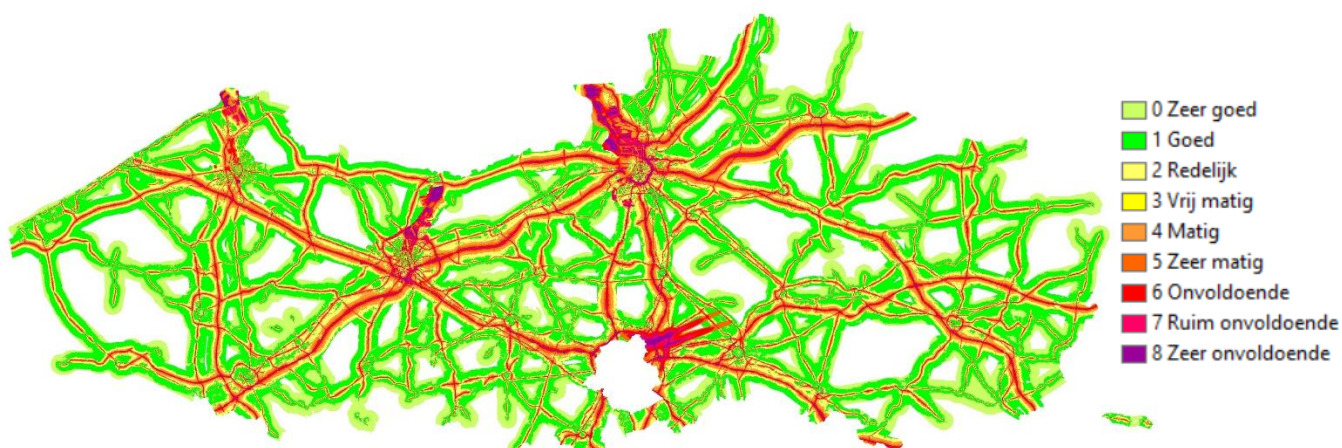
- Voor de belangrijke spoorwegen (> 30.000 treinpassages / jaar) en aanvullende spoorwegen:
Strategische geluidsbelastingskaart, referentiejaar 2016, belangrijke en aanvullende spoorwegen, Lden, rasterversie (10x10 m), Vlaamse Overheid - Dep. Omgeving (BJO) en AWV (Afdeling Wegenbouwkunde) - rasterversie (10x10 m)

- Voor de belangrijke luchthaven(s) (> 50.000 vliegbewegingen/jaar exclusief oefenvluchten met lichte vliegtuigen):
Strategische geluidsbelastingskaart, referentiejaar 2016, belangrijke luchthaven, Lden, Vlaamse Overheid - Dep. Omgeving (BJO) – polygonen

- Voor de belangrijke agglomeraties (> 100.000 inwoners):
 - Strategische geluidsbelastingskaart, referentiejaar 2016, agglomeratie Antwerpen, Lden, Stad Antwerpen - rasterversie (10x10 m)
 - Strategische geluidsbelastingskaart, referentiejaar 2016, agglomeratie Gent, Lden, Stad Gent - rasterversie (10x10 m)
 - Strategische geluidsbelastingskaart, referentiejaar 2011, agglomeratie Brugge, Lden, Stad Brugge - rasterversie (10x10 m)

Finaal resulteert dit in de GES-kaart voor omgevingslawaai die wordt voorgesteld in Figuur 3. Deze kaart is niet gebiedsdekkend voor heel Vlaanderen omdat niet alle infrastructures gekarteerd zijn. De informatie uit de gebruikte (strategische) geluidsbelastingskaarten heeft immers enkel maar betrekking op de belangrijke wegen (en aanvullende gewestwegen), belangrijke (en aanvullende) spoorwegen, belangrijke agglomeraties (Antwerpen, Brugge en Gent) en belangrijke luchthaven(s), zoals gedefinieerd in de EU-richtlijn 2002/49/EG betreffende de evaluatie en beheersing van omgevingslawaai.

Figuur 3: GES-kaart geluid

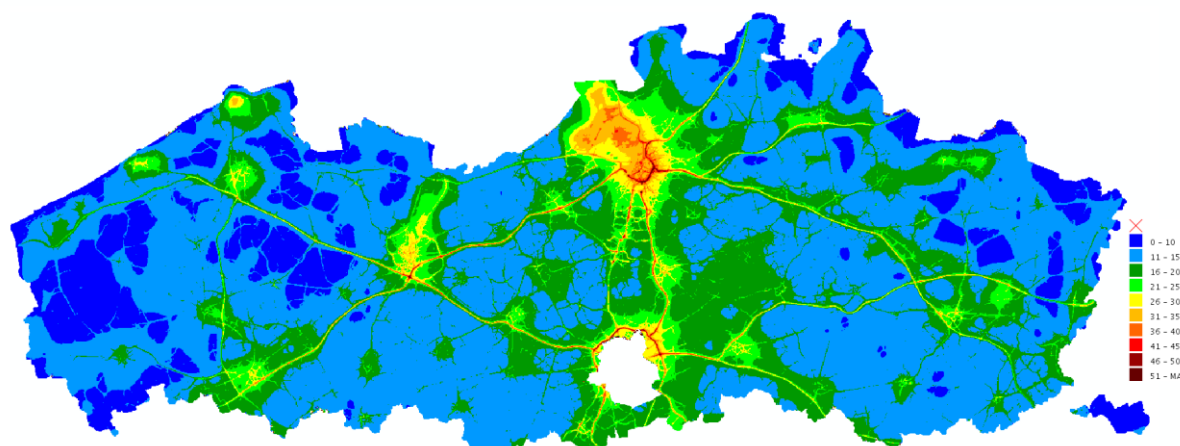


Luchtkwaliteit

Voor de indicator luchtkwaliteit ligt de focus in dit project op de jaargemiddelde NO₂ (stikstofdioxide) concentraties. In een voorgaande studie is geopteerd om te werken met deze indicator omwille van zijn grote ruimtelijke variatie, sterke link met lokale emissies en goed gedocumenteerde gezondheidseffecten (Technum-VITO, 2015). Ook fijn stof en ozon zijn belangrijke polluenten in Vlaanderen, maar vertonen veel minder ruimtelijke variatie en zijn moeilijk te beïnvloeden met lokaal beleid.

Voor de kartering kan gebruik gemaakt worden van de recent door VITO ontwikkelde RIO-IFDM-OSPM modelketen (ATMOStreet-model) die door IRCEL wordt toegepast om de jaargemiddelde NO₂ concentraties in kaart te brengen met een ruimtelijke resolutie van 10m, en waarin ook zogenaamde 'street canyon' effecten in rekening worden gebracht (Figuur 4). In dit project maken we gebruik van de meest recente officiële NO₂-kaart, die van 2017. Het ATMOStreet-model is in het verleden uitgebreid gevalideerd (bv. <http://www.ircel.be/nl/documentatie/modellen/validatie/validatie-rio-ifdm-ospm-no2-2016/view>).

Figuur 4: Jaargemiddelde NO₂ concentraties in 2017



BRON: IRCEL

Deze kaart dient vervolgens vertaald te worden naar GES-scores. Vooral de drempelwaarde voor een score van 6 (onvoldoende) is hierbij van belang. In Nederland is deze nogal arbitrair op 30 µg/m³ gelegd om de NO₂ kaart beter te laten overeen komen met de fijn stof kaarten (GES 2018). In deze studie wordt geopteerd om de grens op 20 µg/m³ te leggen, de advieswaarde in het luchtbeleidsplan. 20µg/m³ is ook de gezondheidsadvieswaarde die door Agentschap Zorg & Gezondheid wordt voorgesteld voor jaargemiddelde NO₂-concentraties. Deze gezondheidsadvieswaarde (GAW) wordt ook al gehanteerd in het MER-richtlijnenboek Mens-Gezondheid⁷. Momenteel hanteren WHO en de Europese Commissie nog een drempelwaarde van 40 µg/m³, die hier (en in Nederland) gebruikt wordt als grens voor de score van 8 (zeer onvoldoende). Verder wordt gewerkt met sprongen van 10 µg/m³, omdat er momenteel geen wetenschappelijke basis is om een fijnere onderverdeling te verantwoorden. Hierdoor heeft deze GES-kaart slechts een beperkt aantal klassen en komen niet alle waarden tussen 0 en 8 voor op de kaart. De finale indeling is weergegeven in Tabel 3.

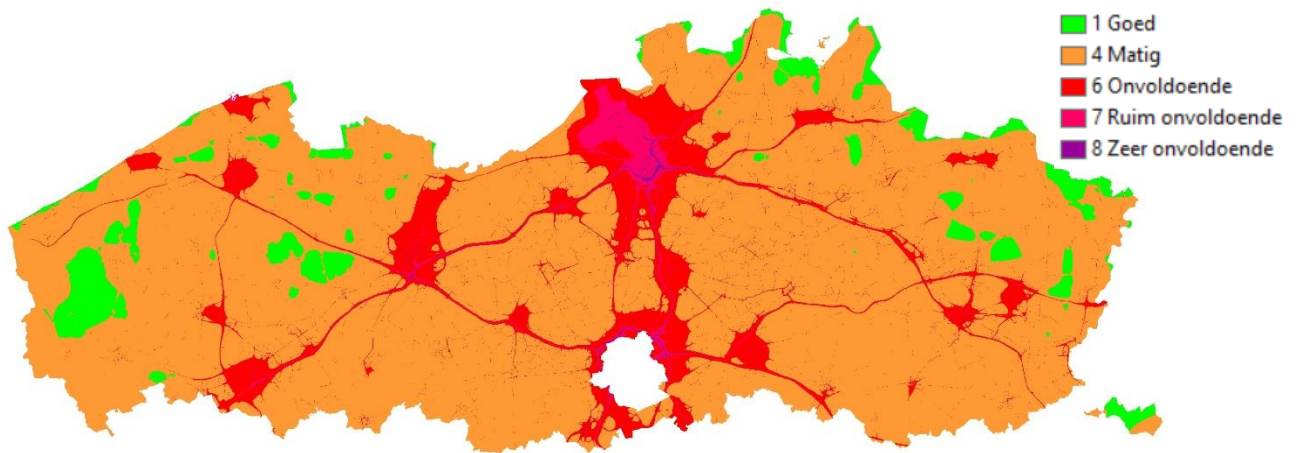
⁷ <https://www.zorg-en-gezondheid.be/sites/default/files/atoms/files/finaal%20rapport%20ontwikkeling%20protocol%20RV%2021Jan2016.pdf>.

Tabel 3 GES-scores luchtkwaliteit

GES-score	Jaargemiddelde NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Interpretatie
1	0 - 10	goed
4	10 - 20	matig
6	20 - 30	onvoldoende
7	30 - 40	ruim onvoldoende
8	> 40	zeer onvoldoende

Wanneer deze indeling toegepast wordt op de NO₂ kaart van 2017 resulteert dit in een GES-kaart voor luchtkwaliteit zoals weergegeven in Figuur 5. Er zijn weinig gebieden in Vlaanderen die 'goed' scoren voor deze indicator, het grootste deel van Vlaanderen behoort tot de categorie 'matig'. In en rond alle grote steden en op en vlak naast de drukke wegen is de score 'onvoldoende'. In het Antwerpse en op de drukste snelwegen loopt dit op tot 'zeer onvoldoende'.

Figuur 5: GES-kaart luchtkwaliteit



Hittestress

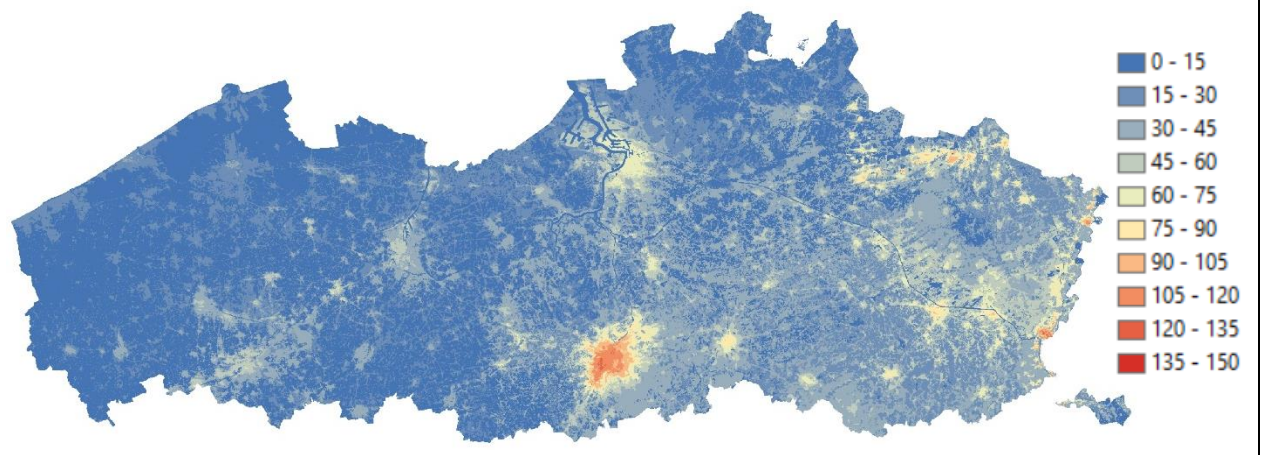
Hittestress is een gezondheidsprobleem dat recent onderzocht en in kaart is gebracht voor heel Vlaanderen door VMM-MIRA (Lauwaet et al., 2018). Als gevolg van de klimaatopwarming zal dit probleem enkel maar aan belang winnen in de toekomst, maar ook nu al vallen er jaarlijks enkele honderden tot duizenden doden in Vlaanderen als gevolg van hittestress. Er bestaat een duidelijke link tussen lucht temperaturen en mortaliteit, die ook in Vlaanderen onderzocht is (e.g. Sanchez-Martinez et al., 2018). In de studie van VMM-MIRA wordt de 'hittegolfgaaddagen' (HGD) indicator gebruikt om de hittestress in kaart te brengen. Deze indicator geeft aan wanneer en met hoeveel graden Celsius de drempelwaarden voor minimum en maximum temperaturen, aangegeven door de FOD Volksgezondheid, worden overschreden. Opgeteld over een heel jaar resulteert dit dan in een aantal hittegolfgaaddagen:

$$HGD = \sum_i \left[(T_{\min,i} - 18.2 \text{ } ^\circ\text{C})^+ + (T_{\max,i} - 29.6 \text{ } ^\circ\text{C})^+ \right] h_i,$$

met $h_i = 1$ dag indien dag i deel uitmaakt van een hittegolf.

Voor het aanmaken van de GES-kaart maken we gebruik van de HGD kaart van 2003, een erg warm jaar dat ook als referentie wordt gebruikt in de VMM-MIRA studie (Figuur 6). Er is geopteerd om te werken met de kaart voor een extreem jaar i.p.v. een jaargemiddelde kaart, omdat de gezondheidsproblemen zich voornamelijk voordoen tijdens dit soort zomers, en op die manier de potentiële probleemlocaties goed in beeld worden gebracht en niet worden onderschat. De ruimtelijke resolutie van deze kaart is 100m, hetgeen een zeer goed beeld geeft van de variatie in lucht temperaturen, die buitenshuis niet of nauwelijks kunnen variëren over afstanden kleiner dan 100m.

Figuur 6: Het aantal hittegolfgaaddagen [°C.dag] in 2003



In de VMM-MIRA studie wordt een drempelwaarde van 60 HGD aangenomen als grens voor 'onaanvaardbare' hittestress. Dit is de waarde die zich in Antwerpen voor doet tijdens het jaar 2003, waarvan geweten is dat er veel slachtoffers vielen als gevolg van hittestress. Deze waarde wordt aangenomen als drempel voor de GES-score van 6 (onvoldoende). Aangezien hittestress een probleem is dat zich eender waar kan voordoen in Vlaanderen, zeker naar de toekomst toe⁸, opteren we ervoor om als laagste waarde de score 2 toe te kennen (redelijk). Verder worden de scores toegekend in sprongen van 20 HGD om tot een realistisch uitzijnde kaart te komen (Tabel 4).

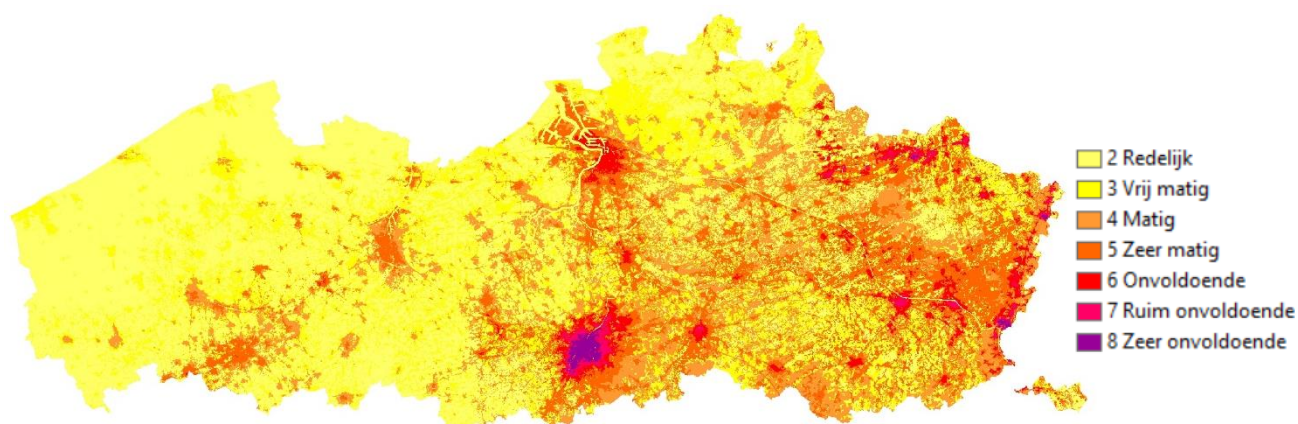
⁸ <https://klimaat.vmm.be/nl/web/guest/hittestress>.

Tabel 4 GES-scores hittestress

GES-score	Aantal hittegolfgaaddagen in 2003 [°C.dag]	Interpretatie
2	0 – 20	redelijk
3	20 - 30	vrij matig
4	30 - 40	matig
5	40 - 60	zeer matig
6	60 – 80	onvoldoende
7	80- 100	ruim onvoldoende
8	>100	zeer onvoldoende

Wanneer deze indeling toegepast wordt op de HGD kaart van 2003 resulteert dit in een GES-kaart voor hittestress zoals weergegeven in Figuur 7. Er zit een duidelijke west-oost gradiënt in de kaart, als gevolg van de sterke verschillen in zomerse lucht temperaturen tussen kust en binnenland, met de Kempen als warmste zone van Vlaanderen. Brussel en de stedelijke kernen in de Maasvallei zijn duidelijk de hotspots met de slechtste score (zeer onvoldoende). Zowat alle stedelijke kernen ten oosten van de as Antwerpen-Brussel scoren ‘onvoldoende’, en in de Kempen ook alle grote industriegebieden of blote zandgronden. Ten westen van Brussel komt de score ‘onvoldoende’ nog amper voor, maar hierbij dient wel opgemerkt te worden dat mensen zich sterk aanpassen aan de ‘normale’ temperaturen op de locatie waar ze leven. Mensen in West en Oost-Vlaanderen zullen allicht al last krijgen van hittestress bij lagere lucht temperaturen dan mensen in de Kempen omdat ze een andere standaard hebben. Het is daarom aangewezen om in deze provincies de gebieden met score 4 of 5 toch ook voldoende aandacht te geven.

Figuur 7: GES-kaart hittestress



Wet Bulb Globe Temperature in Oud Berchem

Bovenstaande kaart geeft een goed beeld van de potentiële probleemgebieden in Vlaanderen en is de beste kaart die momenteel beschikbaar is om hittestress te kwantificeren voor grote gebieden. Echter, zoals hiervoor reeds aangehaald zijn lucht temperaturen moeilijk te beïnvloeden met ruimtelijk beleid, en ze vertellen ook niet het volledige verhaal over hittestress die mensen ervaren. Ook de stralingsbelasting (zowel kortgolvig als langgolvig), luchtvochtigheid en windsnelheid zijn belangrijke factoren in het bepalen van hittestress en humaan thermisch comfort.

Een indicator die al deze effecten in rekening brengt is de zogenaamde ‘Wet Bulb Globe Temperature’ (WBGT), de ISO-standaard voor het kwantificeren van thermisch comfort (ISO 1989). Deze indicator wordt

gebruikt door de Belgische overheid (FOD Volksgezondheid en FOD Werk) om te bepalen wanneer werknemers worden blootgesteld aan overmatige hittestress⁹. Ook internationaal heeft de WBGT een lange traditie als thermische comfort index, en wordt ze gebruikt door tal van instanties (Willett and Sherwood, 2012). Het is de enige index die ingedeeld is in categorieën op basis van een groot aantal observaties, uitgevoerd door het U.S. Army (2003).

Tabel 5 Heat stress category limits of the U.S. Army

Category	WBGT [°C]
1	≤ 25.6-27.7
2	27.8-29.4
3	29.4-31.0
4	31.1-32.1
5	≥ 32.2

De standaard WBGT formule is:

$$WBGT=0.7 \times Tw + 0.2 \times Tg + 0.1 \times Ta$$

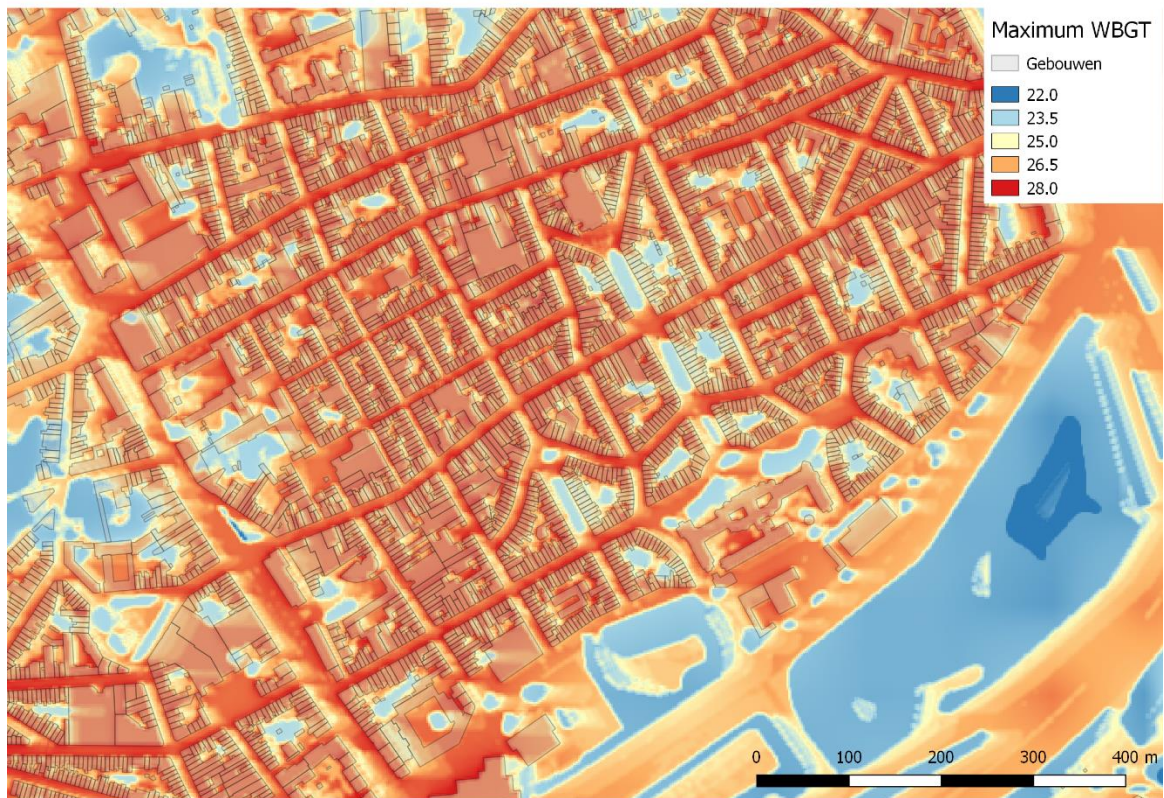
met Tw = de natte bol temperatuur, Tg = de zwarte bol temperatuur en Ta= de lucht temperatuur.

Door de resultaten van VITO's stedelijke klimaatmodel UrbClim (De Ridder et al., 2015) te combineren met gedetailleerde stralingsberekeningen op basis van 3D gebouw- en vegetatiemodellen, is het mogelijk om de WBGT te berekenen met een zeer hoge ruimtelijke resolutie (1m). De methodologie die VITO hiervoor gebruikt is beschreven in de paper van Liljegren et al. (2008), de aanbevolen manier om de buitenshuis WBGT te bepalen (Lemke and Kjellstrom 2012). Aangezien de gedetailleerde schaduwberekeningen erg lang duren en de output kaarten erg groot zijn, is het momenteel nog niet mogelijk om de WBGT te berekenen voor grote gebieden of lange tijdperiodes.

Om het potentieel van deze indicator voor ruimtelijk beleid te demonstreren, hebben we een case studie uitgevoerd voor een klein gebied in Antwerpen (Oud Berchem). De WBGT is hier berekend voor een typische hete zomerdag (24 juli 2012) die ook in de hittekaartstudie van Antwerpen is gebruikt (Lauwaet et al., 2013). We focussen op de maximale waarde die de WBGT bereikt tijdens deze dag (Figuur 8), die uiteraard liefst zo laag mogelijk is. De waarden op de kaart variëren tussen 22 en 28°C, iets lager dus dan normale lucht temperaturen die op deze dag opliepen tot boven 30°C. Het is vooral de schaduwvorming die op de heetste momenten van de dag een rol speelt. Op alle locaties in de zon lopen de WBGT waarden op tot boven de 25°C (de drempelwaarde om te spreken van hittestress). De hoogste waarden (tot 28°C, de drempel voor sterke hittestress) worden bereikt op open verharde locaties waar geen beschutting is tegen de zon en het beton en asfalt sterk opwarmen tijdens de dag. In de schaduw van gebouwen liggen de waarden iets lager (rond de 25°C), en enkel in de schaduw van bomen en bij wateroppervlakken zijn de waarden lager dan 25°C. Op de detailkaart is ook duidelijk te zien dat het koelte-effect van bomen en parken beperkt is tot de onmiddellijke omgeving, het is dus niet zo dat ze een ruime omgeving verkoelen op deze hete momenten, de mensen moeten zich echt in het park of onder een boom bevinden.

⁹ <http://www.werk.belgie.be/defaultTab.aspx?id=39434#WBGT>

Figuur 8: De maximum WBGT op 24 juli 2012 in Oud Berchem



Dit gedetailleerde kaartmateriaal laat toe om te bepalen welke locaties als (buitenshuis) koeltezone kunnen dienen. Daarvoor worden de zones geselecteerd waarin de WBGT altijd onder de 25°C blijft (de drempelwaarde voor hittestress) tijdens deze hete zomerdag. Het resultaat is te zien in Figuur 9. Zoals hierboven aangegeven gaat het om de schaduwgebieden in alle parken, en onder alle bomen met een dicht bladerdek (we zijn er bij de modellering van uit gegaan dat alle bomen voorzien waren van een gezonde hoeveelheid gebladerte).



Figuur 9: De geïdentificeerde koeltezones (WBGT altijd lager dan 25°C)



Nog een pluspunt van de WBGT is dat deze indicator vrij makkelijk te meten is. De modelresultaten kunnen dus gevalideerd en aangevuld worden. Zo is er tijdens de zomer van 2018 een burgermeetcampagne uitgevoerd in de wijk Sint-Andries in Antwerpen in het kader van het H2020 Ground Truth 2.0 project (<http://gt20.eu/>)¹⁰. Het doel was om de hittestress in deze sterk verharde en weinig groene wijk in beeld te brengen. De campagne liep van 6 tot en met 20 augustus 2018, een periode waarin er ook een aantal hete dagen (4) werden opgetekend, die min of meer vergelijkbaar zijn met de gemodelleerde hete zomerdag. Tabel 6 toont de gemeten gemiddelde maximale WBGT waarden voor verschillende type locaties in de wijk tijdens deze zomerdagen. De resultaten komen zeer goed overeen met de eerder getoonde modelresultaten, en geven een goed beeld van de variatie in WBGT in een stadswijk.

¹⁰ This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme under grant agreement No.689744.

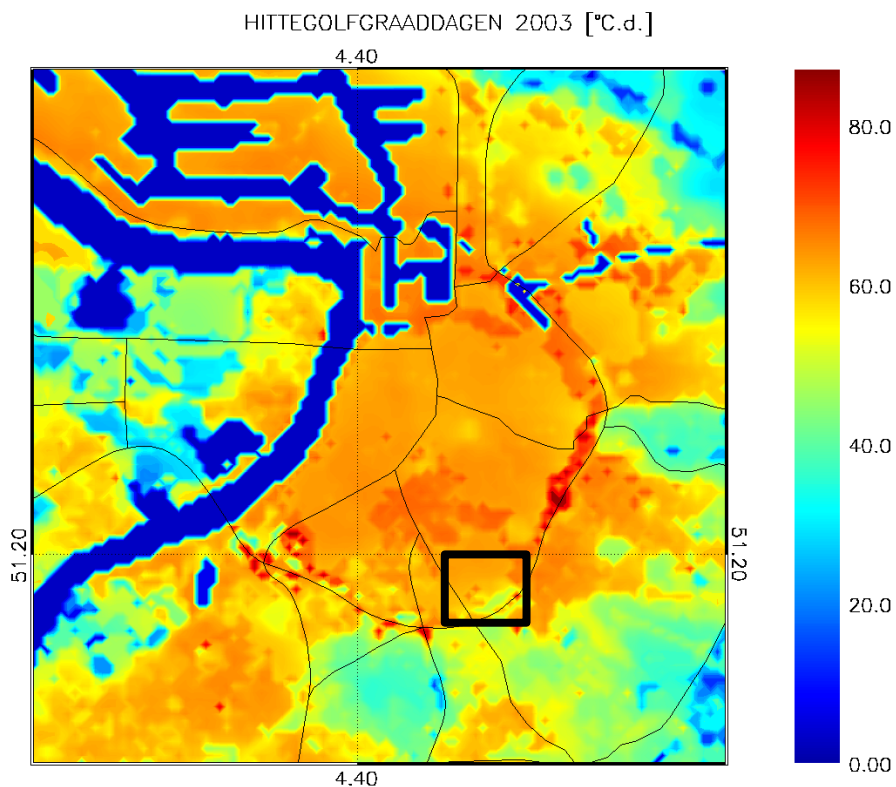


Tabel 6 Type locatie, maximum WBGT op hete zomerdagen [°C] en foto meetlocatie van de burgermeetcampagne in Sint-Andries

verhard plein in de zon	grasplein in de zon	smalle straat, zonkant	tuin met groen, halfschaduw	smalle straat, schaduwkant	onder bomen in de schaduw
27,6	26,1	25,3	23,7	23,5	23,5
					

Tot slot is het vrij eenvoudig om de link te leggen tussen de gedetailleerde WBGT kaart in Figuur 8 en de eerdere GES kaart in Figuur 7. Wanneer we gaan kijken naar de basiskaart met het aantal hittegolfgraaddagen in 2003 voor dit gebied (Figuur 10), dan zien we dat de heetste stedelijke locaties (WBGT > 25°) ook meer dan 60 HGD tellen en dus een GES-score van 6 (onvoldoende) hebben. Terwijl het grotere parkgebied ook qua aantal HGD beduidend lager scoort en dus een GES-score van 5 of lager heeft. Uiteraard zal deze vergelijking niet overal in Vlaanderen even goed op gaan, ook omdat de WBGT een sterkere link met schaduwvorming heeft dan de lucht temperatuur, maar er is wel degelijk een goed verband tussen de twee. Idealiter worden op basis van de GES-kaart probleemgebieden geïdentificeerd, om daarna gedetailleerde WBGT berekeningen of metingen te doen om de hittestress situatie lokaal in kaart te brengen en maatregelen door te rekenen.

Figuur 10: Het aantal hittegolfgraaddagen tijdens de zomer van 2003 in Antwerpen en Oud Berchem (zwart vierkant)

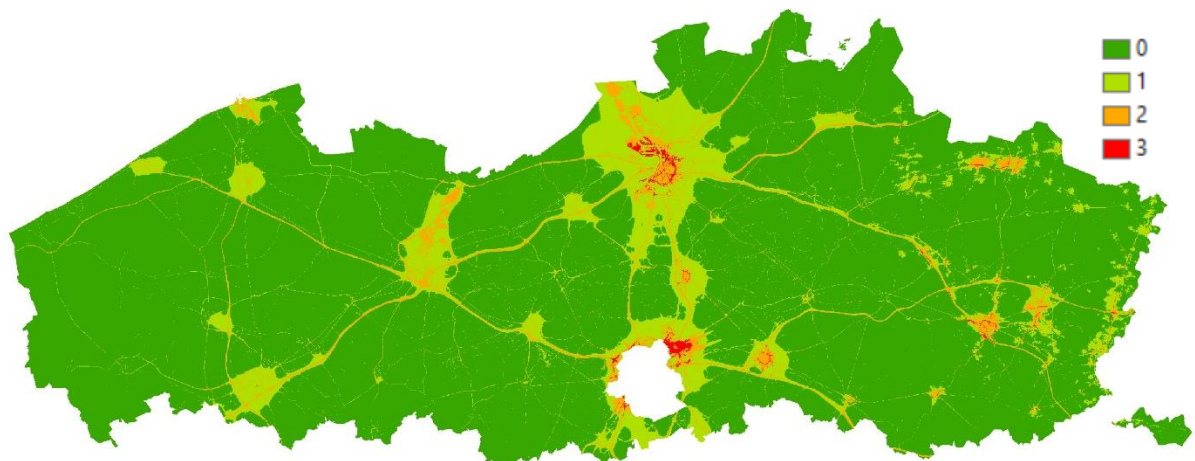


Combinatiekaart

Naast de 3 individuele GES-kaarten is het ook interessant om eens te kijken op welke locaties in Vlaanderen verschillende problemen zich samen voor doen. Daarom is een combinatiekaart aangemaakt (Figuur 11) waarop de gebieden met een GES-score van 6 of hoger (onvoldoende) bij elkaar worden opgeteld. De maximale score bedraagt dus 3, als de locatie voor alle gezondheidsfactoren onvoldoende scoort. Een kanttekening bij deze kaart is dat een heel aantal gebieden in Vlaanderen geen score voor geluid hebben gekregen omdat er daar geen data voorhanden was, en dus maximaal een score van 2 kunnen halen. Er is geopteerd om deze gebieden niet weg te laten uit de analyse, omdat het om een grote oppervlakte gaat, en het toch interessant is om te zien hoe deze gebieden gecombineerd scoren op de twee andere factoren.

Uit de kaart blijkt dat het grootste deel van Vlaanderen voldoet aan de GES-normen op basis van de gebruikte indicatoren in deze studie (score 0). Het is vooral in en rond de grotere stedelijke kernen en op en langs de grote wegen dat de GES-normen overschreden worden. Gebieden die onvoldoende scoren voor alle drie de factoren zijn gelukkig redelijk beperkt. Het meest opvallend zijn de Brusselse noordrand en het gebied rond de luchthaven in Zaventem, de omgeving van de ring in Antwerpen, en de omgeving van de ringwegen in Hasselt, Mechelen en Leuven.

Figuur 11: Cumulatieve combinatiekaart van de probleemgebieden (GES-score 6 of hoger)



GIS-analyse

In deze taak is het de bedoeling om de GES kaarten voor geluid, luchtkwaliteit en hittestress te kruisen met ander kaartmateriaal met als bedoeling inzicht te krijgen in de ruimtelijke uitdagingen en het formuleren van beleidsaanbevelingen voor het Vlaamse ruimtelijk beleid.

Hierbij worden twee types van analyses uitgevoerd:

- 1) Impactanalyses: hierbij wordt het aantal personen of (kwetsbare) functies berekend dat wordt blootgesteld aan de verschillende gezondheids- of hindereffecten volgens de berekende GES-scores in Vlaanderen.
- 2) Gebiedsanalyses: hierbij wordt nagegaan welke types van gebieden in meer of mindere mate zijn blootgesteld aan de verschillende gezondheids- of hindereffecten volgens de GES-kaarten berekend in deze studie.

Impactanalyse

Blootstelling van alle inwoners in Vlaanderen op basis van woonplaats

Op basis van de dataset van de bevolking werd de blootstelling van de Vlamingen aan de drie in kaart gebrachte hindereffecten berekend. Het gaat hierbij om de blootstelling op de woonplaats. De dataset van de bevolking beschrijft aan de hand van een puntenbestand de locatie en het aantal inwoners per adres. Dit bestand werd aangemaakt door Informatie Vlaanderen aan de hand van gegevens uit het Rijksregister (toestand 1 maart 2017). De locaties werden bepaald door een geocodering van de adressen op basis van CRAB (CRAB inwonersaantallen versie 0.1). Het totaal aantal inwoners in Vlaanderen volgens dit puntenbestand bedraagt 6.403.196. Dit is 1,7% lager dan het totale inwonersaantal gerapporteerd door de FOD Economie op 1/1/2017 (6.516.011 inwoners). Dit tekort kan worden verklaard doordat de koppeling van de adressen uit het Rijksregister met CRAB niet volledig kon worden uitgevoerd (ontbrekende of onbekende adressen in CRAB).

Voor de impactanalyse werden deze inwonerspunten vervolgens gekoppeld aan de bebouwde percelen uit het landgebruiksbestand, toestand 2013. Hierdoor vielen nog eens 449 inwoners weg uit de dataset. Het gaat hierbij om inwonerspunten die door CRAB aan een verkeerde locatie werden toegewezen (niet in een bebouwd perceel) omdat de best beschikbare adrespositie bijvoorbeeld geïnterpoleerd werd op basis van de nevenliggende huisnummers. Het totaal aantal geanalyseerde inwoners voor Vlaanderen in de impactanalyse bedraagt bijgevolg 6.402.747 inwoners. Deze inwoners werden gekruist met de 3 GES kaarten en met de combinatiekaart om het aantal blootgestelde inwoners te berekenen.

De resultaten geven aan dat 874.458 Vlamingen wonen op een locatie met een onvoldoende score (GES-score ≥ 6) wat betreft hittestress (Tabel 7), 2.530.717 Vlamingen op een locatie met een onvoldoende score wat betreft luchtkwaliteit (Tabel 8) en 441.504 Vlamingen op een locatie met een onvoldoende score wat betreft omgevingslawaai (Tabel 9). Bijlage 2 geeft het overzicht van de blootstelling van de inwoners op de woonlocatie per gemeente.

Wat betreft omgevingslawaai dient hierbij te worden opgemerkt dat dit niet op een gebiedsdekkende manier in kaart werd gebracht. 11,5% van de Vlamingen woont op een locatie waarvoor de geluidshinder niet werd ingeschat. Voor de gebieden die wel in kaart werden gebracht geldt bovendien dat niet alle verkeersinfrastructuren gekarteerd werden (zie hogere opmerking). Met andere woorden: ook voor de 88,5% van de Vlamingen waarvoor wel een GES-score voor omgevingslawaai werd ingeschat, geldt eerder als minimale waarde. Enkel voor de 3 beschouwde agglomeraties (Antwerpen, Gent, Brugge, zie boven) kon de impactanalyse met een zekere nauwkeurigheid uitgevoerd worden (m.n. alle beschouwde bronnen om een gebiedsdekkende manier in rekening gebracht) en zijn de resultaten dus volledig betrouwbaar.

Tabel 7 Aantal inwoners blootgesteld aan hittestress

GES-score hittestress	Aantal inwoners	% inwoners
2	467.851	7,31%
3	1.164.609	18,19%
4	1.729.822	27,02%
5	2.164.659	33,81%
6	753.861	11,77%
7	108.071	1,69%
8	12.526	0,20%
NoData	1.348	0,02%

Tabel 8 Aantal inwoners blootgesteld aan luchtverontreiniging

GES-score luchtkwaliteit	Aantal inwoners	% inwoners
1	55.158	0,86%
4	3.815.066	59,58%
6	1.913.995	29,89%
7	513.179	8,01%
8	103.543	1,62%
NoData	1.806	0,03%

Tabel 9 Aantal inwoners blootgesteld aan omgevingslawaai

GES-score geluid	Aantal inwoners	% inwoners
0	1.005.610	15,71%
1	2.257.542	35,26%
2	973.235	15,20%
4	603.407	9,42%
5	382.861	5,98%
6	284.231	4,44%
7	125.433	1,96%
8	31.840	0,50%
NoData	738.588	11,54%

Op basis van de combinatiekaart kan de blootstelling voor alle drie de effecten tegelijkertijd worden bepaald. Uit Tabel 10 blijkt dat een kleine 1% van de Vlamingen (63.317 inwoners) woont op een locatie die een onvoldoende score behaalt op elk van de drie onderzochte hindereffecten. Bijna 11% van de Vlamingen woont op een locatie die een onvoldoende score behaalt voor 2 van de 3 onderzochte hindereffecten. Hierbij dient te worden genuanceerd dat de meting voor omgevingslawaai niet gebiedsdekkend is en dat het werkelijke aantal Vlamingen dat hinder ondervindt van meer dan 1 van de onderzochte effecten potentieel nog iets hoger kan liggen.

Tot slot is het belangrijk om te vermelden dat het hier enkel gaat om de gezondheidseffecten die spelen op de locatie van de woonplaats. Tewelstellingslocaties en andere locaties waar mensen zich een groot gedeelte van de dag bevinden (bv. in de auto, tijdens het transport van en naar de woonplaats), werden niet onderzocht (met uitzondering van enkele locaties van kwetsbare functies, zoals scholen, ziekenhuizen en rust- en verzorgingstehuizen, zie volgende paragraaf). Voor de blootstelling aan luchtverontreiniging speelt daarnaast ook de luchtkwaliteit binnenshuis een grote rol. Ook hiervan wordt abstractie gemaakt bij de onderstaande analyses. Zoals reeds eerder werd aangehaald is bedoeling van de impactanalyses om een eerste indicatie te krijgen van de blootstelling, niet om een gedetailleerde analyse van de werkelijke blootstelling te berekenen.

Tabel 10 Aantal inwoners die wonen op een locatie die voor 1, 2 of 3 van de effecten een onvoldoende GES-score behaalt

Score combinatiekaart	Aantal inwoners	% inwoners
0	3.557.342*	55,56%
1	2.075.820**	32,42%
2	702.239***	10,97%
3	63.317	0,99%
NoData	4.029	0,06%

* Hiervan wonen 637.594 inwoners op een locatie waarvoor geen analyse wat betreft omgevingslawaai werd uitgevoerd

** Hiervan wonen 96.748 inwoners op een locatie waarvoor geen analyse wat betreft omgevingslawaai werd uitgevoerd

*** Hiervan wonen 2.706 inwoners op een locatie waarvoor geen analyse wat betreft omgevingslawaai werd uitgevoerd

Blootstelling van ouderen en jongeren

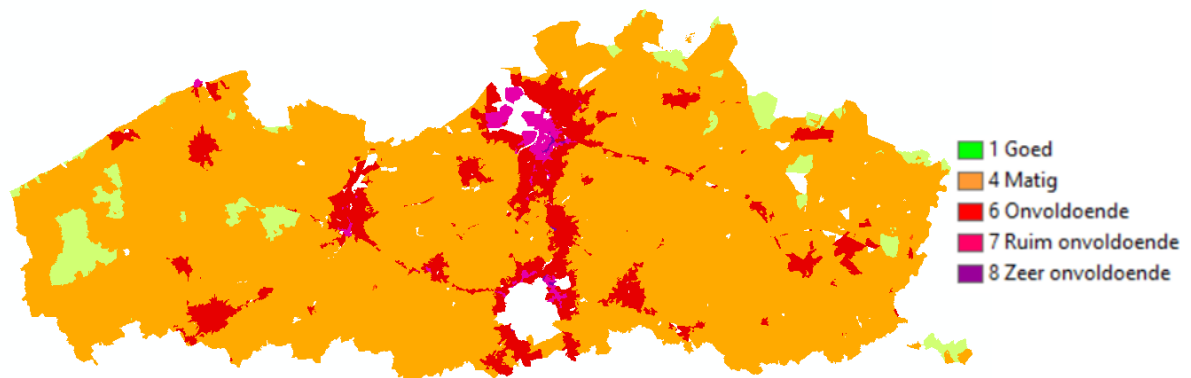
Wat betreft de locatie van ouderen (65+) en jongeren (15-) is de best beschikbare data in Vlaanderen op het niveau van de statistische sectoren (Census data, toestand 2011). De impact voor deze bevolkingsgroepen kan dus niet op hetzelfde detailniveau worden berekend als de impact op de alle inwoners (zie boven). Wel werd er getracht om na te gaan welke statistische sectoren, met een hoog aandeel jongeren of ouderen over het algemeen worden blootgesteld aan de slechtste gezondheidseffecten. Voor een aantal specifieke kwetsbare functies waar veel jongeren (scholen, kinderopvang) of ouderen (rust- en verzorgingstehuizen) aanwezig zijn, wordt de blootstelling wel op een hoger detailniveau beschreven (zie verder). Hiervoor werd eerst aan iedere statistische sector een GES-score gekoppeld op basis van de mediane score voor alle inwoners binnen deze statistische sector. Met andere woorden aan iedere statistische sector werd de maximale GES-score toegekend waaraan minstens 50% van de inwoners is blootgesteld. Deze kaarten zijn geïllustreerd in Figuur 12, Figuur 13 en Figuur 14.

Figuur 12 GES-score voor hittestress per statistische sector

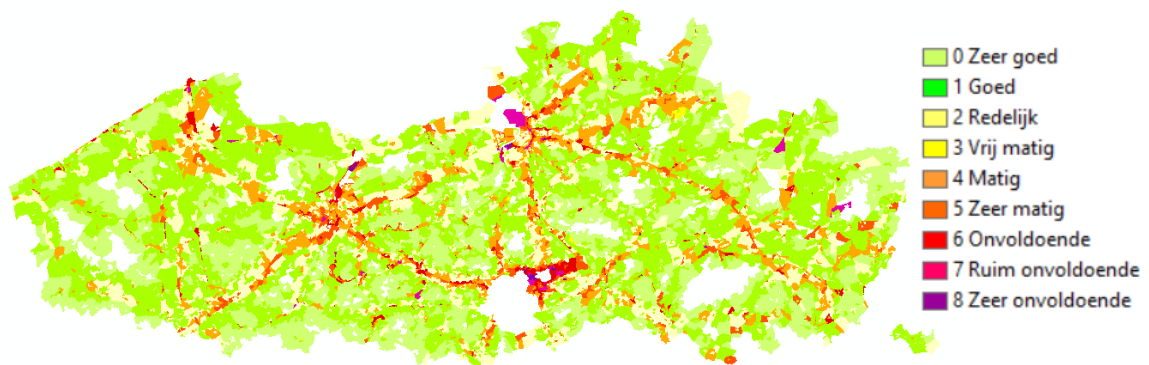


////////////////////////////////////

Figuur 13 GES-score voor luchtkwaliteit per statistische sector



Figuur 14 GES-score voor omgevingslawaai per statistische sector



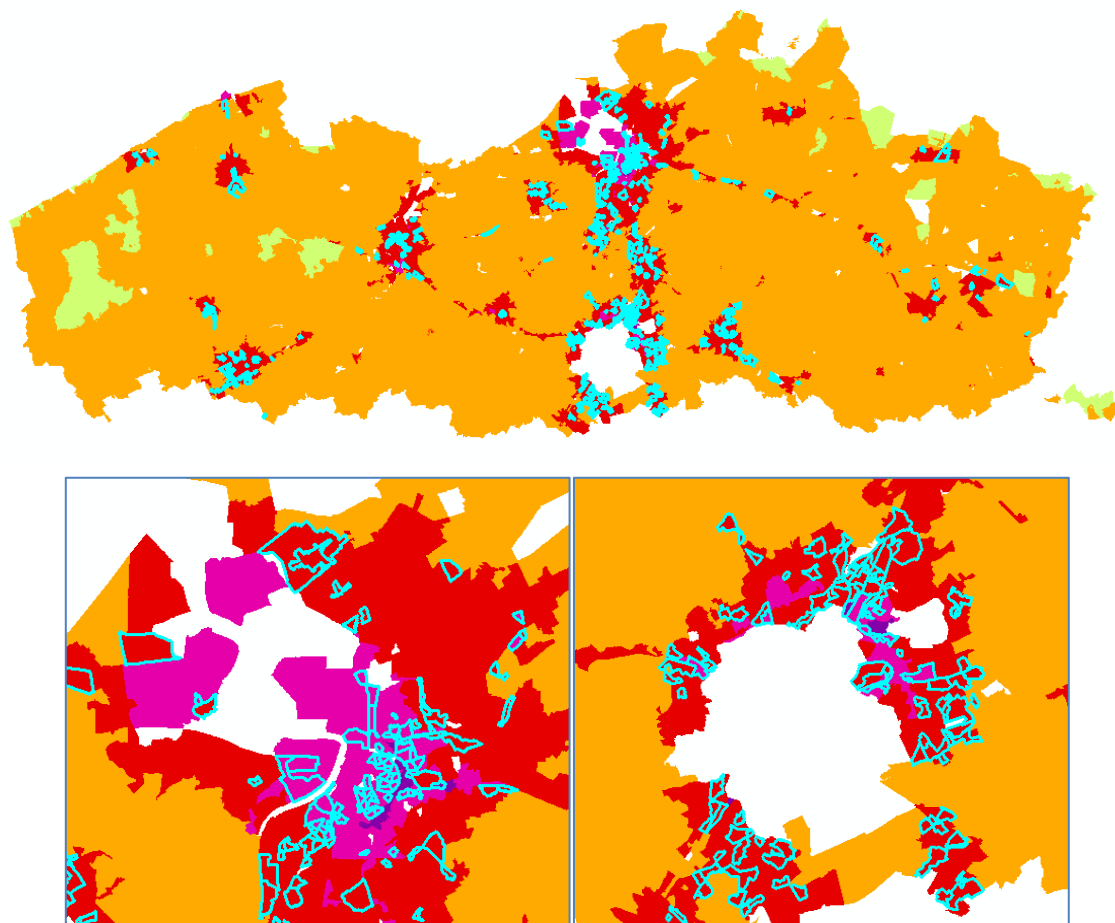
Vervolgens werd gecheckt hoeveel ouderen en jongeren volgens de CENSUS 2011 woonden binnen de statistische sectoren met een 'gemiddelde' onvoldoende GES-score (GES >= 6). Tabel 11 geeft deze resultaten. In totaal wonen 14% van de jongeren en 12% van de ouderen in een statistische sector met een hoge blootstelling aan hittestress, 36% van de jongeren en 35% van de ouderen in een statistische sector met een hoge blootstelling aan een slechte luchtkwaliteit en 1% van de ouderen en jongeren in een statistische sector met een hoge blootstelling aan omgevingslawaai.

Figuur 15 toont in blauw de statistische sectoren waar de gemiddelde blootstelling aan een slechte luchtkwaliteit onvoldoende tot zeer onvoldoende is en waar een hoog aandeel jongeren wonen (> 20% jongeren). Het gaat hier vooral om de statistische sectoren in de kernen van enkele (grotere) steden en in de rand rondom Brussel. Figuur 16 toont in blauw de statistische sectoren waar de gemiddelde blootstelling aan hittestress onvoldoende tot zeer onvoldoende is en waar een hoog aandeel ouderen wonen (> 20% ouderen). Het gaat hierbij enerzijds om een aantal stadskernen in de oostelijke helft van Vlaanderen (Antwerpen, Leuven, Hasselt) als om een groot deel van de Maasvallei in het oosten van de provincie Limburg.

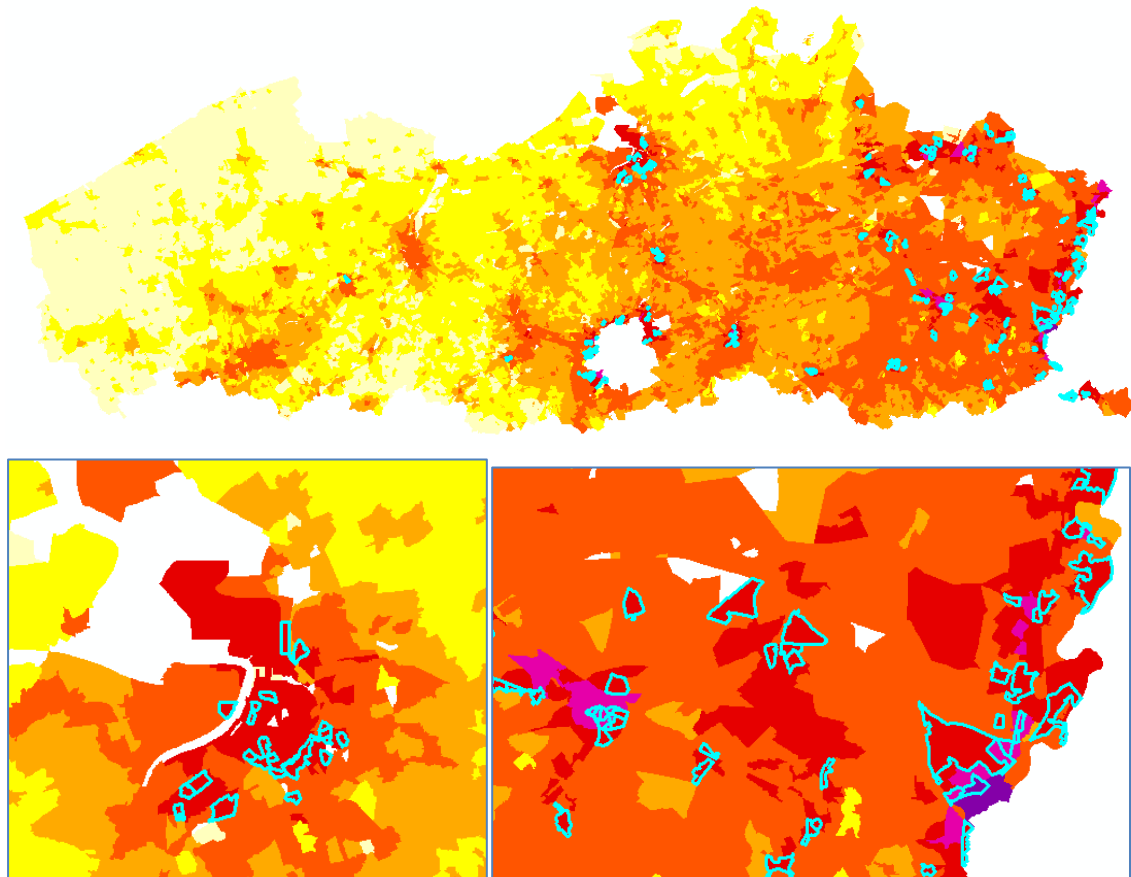
Tabel 11 Aantal jongeren en ouderen in statistische sectoren met een onvoldoende tot zeer onvoldoende GES-score voor de 3 hindereffecten

Onvoldoende tot zeer onvoldoende GES-score voor...	Totaal aantal jongeren (-15 jaar)	Totaal aantal ouderen (65+)
Hittestress	144.426 (14%)	144.007 (12%)
Luchtkwaliteit	368.955 (36%)	410.123 (35%)
Omgevingslawaai	11.856 (1%)	13.294 (1%)
Totaal aantal jongeren/ouderen in Vlaanderen	1.026.032	1.155.329

Figuur 15 Statistische sectoren met een onvoldoende tot zeer onvoldoende GES-score voor luchtkwaliteit en een hoog aandeel jongeren (> 20%), detailuitsnede Antwerpen (linksonder) en Brusselse rand (rechtsonder)



Figuur 16 Statistische sectoren met een onvoldoende tot zeer onvoldoende GES-score voor hittestress en een hoog aandeel ouderen (> 20%), detailuitsnede Antwerpen (linksonder) en zone Hasselt-Maasmechelen (rechtsonder)



Blootstelling van kwetsbare instellingen in Vlaanderen

Ter aanvulling van de woonplaats en gevoelige bevolkingsgroepen analyse werd de blootstelling van kwetsbare instellingen zoals kinderopvang, scholen en ziekenhuizen/bejaardenhuizen onderzocht. Zeker de gevoelige bevolkingsgroepen spenderen dagelijks een aanzienlijke tijd op deze locaties.

De dataset van de kwetsbare instellingen werd overgenomen uit het Klimaatportaal Vlaanderen van de VMM (klimaat.vmm.be). De volgende types kwetsbare instellingen werden in rekening gebracht:

- instellingen voor kinderopvang (bron: Kind en Gezin)
- instellingen voor onderwijs (bron: Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming)
- ziekenhuizen en verzorgingstehuizen (Vlaams Agentschap Zorg en Gezondheid)

Deze kwetsbare instellingen werden eveneens gekruist met de 3 GES-kaarten en met de combinatiekaart om de blootstelling van kinderopvangen, scholen, ziekenhuizen en bejaardenhuizen te berekenen.

De resultaten tonen dat 899 (11%) kinderopvangen, 719 (17%) scholen en 237 (13%) ziekenhuizen & bejaardenhuizen gelegen zijn op een locatie met hoge blootstelling (GES-score ≥ 6) aan hittestress (Tabel 12). Verder zijn er 2762 (33%) kinderopvangen, 1584 (36%) scholen en 661 (42%) ziekenhuizen & bejaardenhuizen gesitueerd zijn op een locatie met hoge blootstelling aan luchtverontreiniging (Tabel 13). Tot slot zijn 550 (6%) kinderopvangen, 191 (4%) scholen en 106 (7%) ziekenhuizen & bejaardenhuizen gesitueerd op een locatie met hoge blootstelling aan omgevingslawaai (Tabel 14). Omdat omgevingslawaai niet op een gebiedsdekkende manier in kaart werd gebracht liggen afhankelijk van

instellingstype 10 tot 13% van de kwetsbare instellingen op een locatie waarvoor de geluidshinder niet werd ingeschat. Bijlage 3 geeft het overzicht van de blootstelling van deze instellingen aan de drie beschouwde GES-kaarten per gemeente.

Tabel 12 Aantal kwetsbare instellingen blootgesteld aan hittestress

GES-score hittestress	Kinderopvang	Scholen	Ziekenhuis & Bejaardenhuis
2	502 (6%)	182 (4%)	69 (4%)
3	1649 (20%)	718 (17%)	293 (19%)
4	2396 (30%)	1071 (25%)	428 (28%)
5	2628 (33%)	1660 (38%)	552 (35%)
6	786 (10%)	598 (14%)	199 (11%)
7	101 (1%)	109 (3%)	33 (2%)
8	12 (< 0,5%)	12 (< 0,5%)	5 (< 0,5%)
<i>NoData</i>			
Totaal aantal instellingen	8074	4350	1579

Tabel 13 Aantal kwetsbare instellingen blootgesteld aan luchtverontreiniging

GES-score luchtkwaliteit	Kinderopvang	Scholen	Ziekenhuis & Bejaardenhuis
1	78 (1%)	34 (1%)	14 (1%)
4	5234 (65%)	2732 (63%)	904 (57%)
6	2135 (26%)	1232 (28%)	508 (32%)
7	515 (6%)	309 (7%)	136 (9%)
8	110 (1%)	43 (1%)	17 (1%)
<i>NoData</i>	2 (<0,5%)		
Totaal aantal instellingen	8074	4350	1579

Tabel 14 Aantal kwetsbare instellingen blootgesteld aan omgevingslawaai

GES-score geluid	Kinderopvang	Scholen	Ziekenhuis & Bejaardenhuis
0	1245 (15%)	705 (16%)	222 (14%)
1	2800 (35%)	1611 (37%)	545 (35%)
2	1187 (15%)	689 (16%)	260 (16%)
4	736 (9%)	436 (10%)	178 (11%)
5	474 (6%)	217 (5%)	116 (7%)
6	356 (4%)	130 (3%)	64 (4%)
7	168 (2%)	43 (1%)	34 (2%)
8	26 (< 0,5%)	18 (< 0,5%)	8 (1%)
<i>No data</i>	1082 (13%)	501 (12%)	152 (10%)
Totaal aantal instellingen	8074	4350	1579

Op basis van de combinatiekaart kan de blootstelling voor alle drie de effecten tegelijkertijd worden bepaald. Uit Tabel 15 blijkt dat een kleine 1% van de kwetsbare instellingen gelegen is op een locatie die een onvoldoende score behaalt op elk van de drie onderzochte hindereffecten. Bijna 11% van de kwetsbare instellingen zijn gelegen op een locatie die een onvoldoende score behaalt voor 2 van de 3 onderzochte hindereffecten. Hierbij dient te worden genuanceerd dat de meting voor omgevingslawaai niet gebiedsdekkend is en dat het werkelijke aantal Vlamingen dat hinder ondervindt van meer dan 1 van de onderzochte effecten potentieel nog iets hoger kan liggen.

Tabel 15 Aantal kwetsbare instellingen op een locatie die voor 1, 2 of 3 van de effecten een onvoldoende GES-score behaalt

GES-score luchtkwaliteit	Kinderopvang	Scholen	Ziekenhuis & Bejaardenhuis
0	4834 (60%)	2381 (55%)	826 (52%)
1	2471 (31%)	1459 (34%)	554 (35%)
2	714 (9%)	484 (11%)	181 (11%)
3	51 (1%)	26 (1%)	18 (1%)
<i>NoData</i>	4 (< 0,5%)	0	0
Totaal aantal instellingen	8074	4350	1579



Gebiedsindelingen

Naast de impactanalyses worden de GES-kaarten ook gekruist met verschillende kaarten waarbij de Vlaamse ruimte is ingedeeld in verschillende gebiedstypes. Doel van deze analyse is om na te gaan welke types van gebieden in meer of mindere mate zijn blootgesteld aan de verschillende gezondheids- of hindereffecten. Hiervoor werden verschillende types van gebiedsindelingen bestudeerd (Tabel 16). Deze types van gebiedsindelingen werden op verschillende manieren geanalyseerd.

- De ontwikkelingskanskaart, de verstedelijkte/randstedelijke/landelijke gebieden en de kernen/linten/verspreide bebouwing werden met elkaar gekruist en werden geanalyseerd aan de hand van beslisbomen (*decision trees*).
- De spreiding van de waarde van de walkabilityscore werd vergeleken voor locaties met een bepaalde GES-score op basis van boxplots
- De WUG (Woonuitbreidingsgebieden) en ROP (Register van Onbebouwde percelen binnen woongebied) kregen een GES-score toegekend op basis van de dominante GES-score binnen het gebied

Tabel 16 Overzicht van de gebruikte gebiedsindelingen

Gebiedsindeling	Beschrijving	Bron
Ontwikkelingskanskaart op basis van knooppuntwaarde en voorzieningenniveau	Opgemaakt in het kader van gelijknamig onderzoek (2016) en gekend bij en vaak gebruikt door groot publiek. Kruising met kaarten relevant en interessant om binnen ontwikkelingskansencategorieën ook 'gezondste' locaties te vinden.	Verachtert, E., I. Mayeres, L. Poelmans, M. Van der Meulen, M. Vanhulsel, G. Engelen (2016), Ontwikkelingskansen op basis van knooppuntwaarde en nabijheid voor-zieningen, eindrapport, studie uitgevoerd in opdracht van Ruimte Vlaanderen. https://www.ruimtelijkeordening.be/NL/Diensten/Onderzoek/Studies/articleType/ArticleView/articleId/8954
Verstedelijkte, randstedelijke en landelijke gebieden	Wordt ingezet in alle hoofdstukken van het RURA (RuimteRapport Vlaanderen) om ruimtelijke indicatoren voor Vlaanderen samen te vatten. Interessant om te analyseren of in stad versus platteland hogere/lagere gezondheidseffecten worden vastgesteld.	Vermeiren, K., Loris, I., Pisman, A., Vanacker, S., Willems, P., & Engelen, G. (2017). Verstedelijkte, randstedelijke en landelijke gebieden in Vlaanderen. Indeling op basis van statistische sectoren - studie uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving.
Kernen, linten en verspreide bebouwing	Opgemaakt in het kader van het lopend onderzoek 'Monetarisatie van urban sprawl in Vlaanderen', op basis van ruimtelijke morfologie wordt elk perceel ingedeeld in kern/lint/verspreide bebouwing. Interessant om te analyseren of in linten versus kernen hogere/lagere gezondheidseffecten worden vastgesteld.	Karolien Vermeiren, Lien Poelmans, Ann Pisman, Stijn Vanacker, Peter Willems en Guy Engelen (2018), Kernen, linten, verspreide bebouwing in Vlaanderen. Morfologische indeling van bebouwing in Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving.
Walkabilityscore	De walkabilityscore geeft inzicht in de mogelijkheden om zich via voetpaden te verplaatsen naar bv. voorzieningen. Walkabilityscore is een combinatie van 3 factoren: woondichtheid (bevolking), functiemix (voorzieningen) en stratenconnectiviteit. Interessant om na te gaan of in gebieden met een hoge walkabilityscore hogere/lagere gezondheidseffecten worden vastgesteld.	https://www.gezondleven.be/sectoren/gezonde-gemeente/gezonde-publieke-ruimte/walkability-tool
Woonuitbreidingsgebieden (WUG) en Register van onbebouwde percelen (ROP)	Juridisch aanbod aan woongebied. Interessant om voor het juridisch aanbod de 'gezondste' optie te vinden.	



Ontwikkelingskansen op basis van knooppuntwaarde en voorzieningenniveau

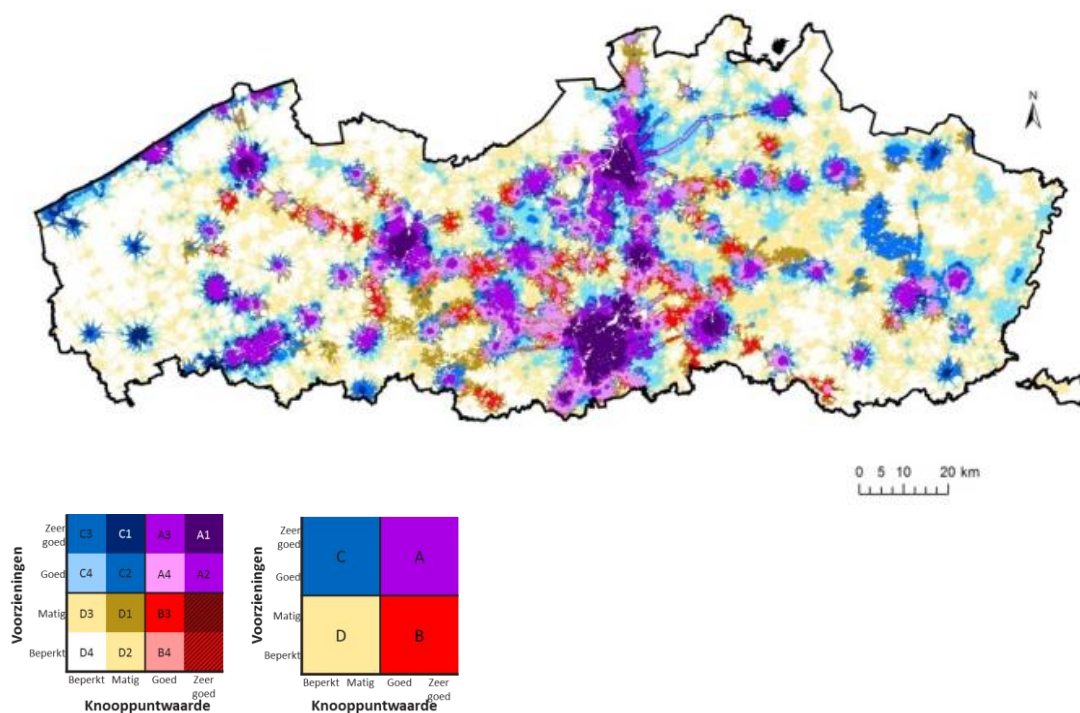
De studie 'Ontwikkelingskansen op basis van knooppuntwaarde en nabijheid voorzieningen' uit 2016 werd uitgevoerd in de ontwerpfase van het witboek Beleidsplan Ruimte Vlaanderen in functie van de operationalisering van enkele van de ruimtelijke principes uit het Witboek BRV, namelijk deze die samenhangen met de begrippen 'knooppuntwaarde' en 'voorzieningenniveau'.

De studie had tot doel om gedifferentieerde ontwikkelingskansen (voor wonen, werken, voorzieningen) te lokaliseren in Vlaanderen, rekening houdend met:

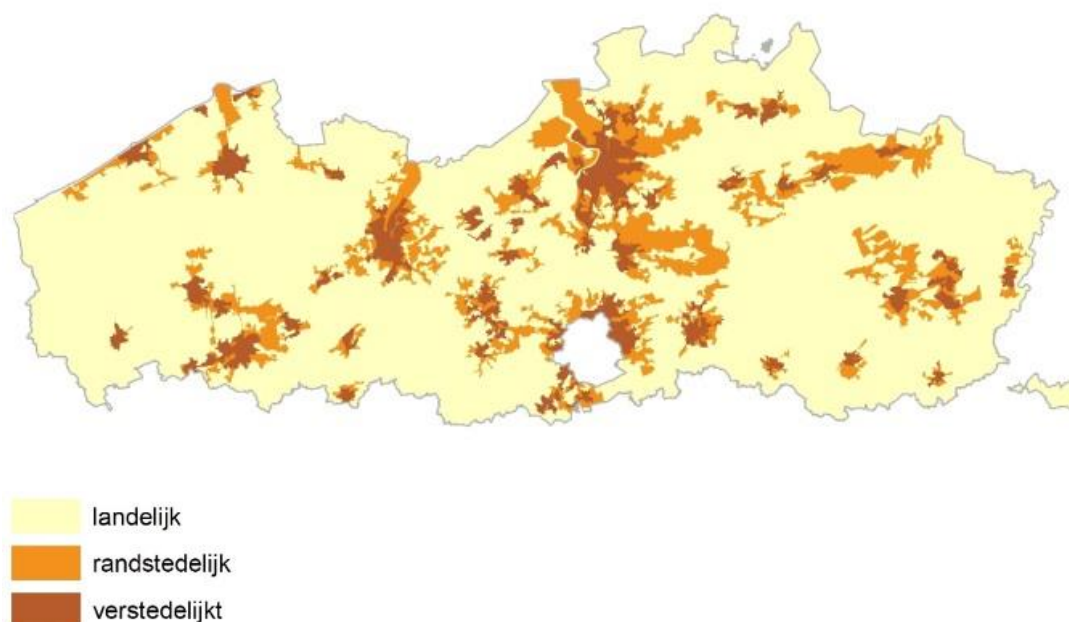
1. de knooppuntwaarde van locaties op basis van de ligging in het systeem van collectieve vervoer (spoor netwerk en een selectie van bushaltes die eenzelfde rol kunnen vervullen als het spoor netwerk)
2. en de nabijheid van het aanbod aan voorzieningen.

Figuur 17 toont de synthese kaart, waarbij de totaalkaarten van voorzieningen en knooppuntwaarde werden opgedeeld in 4 categorieën en met elkaar werden gekruist. De synthese kaart geeft de totale score op basis van knooppuntwaarde en voorzieningenniveau van iedere locatie in Vlaanderen (op niveau van 1ha rastercellen) in 16 verschillende categorieën of types. Voor het behoud van overzicht in de cartografische output en de analyse ervan, wordt er ook gewerkt met een meer geaggregeerde typering, uitgaande van een tweedeling 'goed' en 'beperkt' van de beide kenmerken. Zo ontstaan 4 kwadranten, die elk een groepering zijn van 4 van de oorspronkelijke types. Zo kunnen er locaties worden afgebakend die goed voorzien zijn van knooppuntwaarde en op het vlak van hun voorzieningenniveau (kwadrant A), locaties die eerder beperkt scoren wat betreft hun voorzieningenniveau (kwadrant B), locaties waar het collectief vervoer in gebreke blijft (kwadrant C) en locaties die beperkt scoren op beide kenmerken (kwadrant D).

Figuur 17 Ontwikkelingskansen op basis van knooppuntwaarde en voorzieningenniveau



Figuur 18 Verstedelijkte, randstedelijke en landelijke gebieden in Vlaanderen



Kernen, linten en verspreide bebouwing in Vlaanderen

In het kader van de studie 'Monetarisatie van urban sprawl in Vlaanderen' (Vermeiren et al., 2019) is een typologie uitgewerkt waarbij Vlaanderen wordt opgedeeld in kernen, linten en verspreide bebouwing. Voor de indeling van de bebouwing in kernen, linten en verspreide bebouwing wordt maximaal uitgegaan van een morfologische benadering op basis van gebouwen waarin een bestaande toestand wordt geanalyseerd. De opdeling is niet gerelateerd aan juridische bestemmingen of aan toekomstig te voeren beleid. Sommige percelen die gesitueerd zijn in 'linten', zullen een woonbestemming hebben, maar andere zijn wellicht zonevreemd. De analyse is niet gebiedsdekkend voor Vlaanderen. Militaire domeinen en de juridisch bestemde bedrijventerreinen van meer dan 3 ha, die niet volledig omsloten zijn door kernen, zijn niet opgenomen in de typologie.

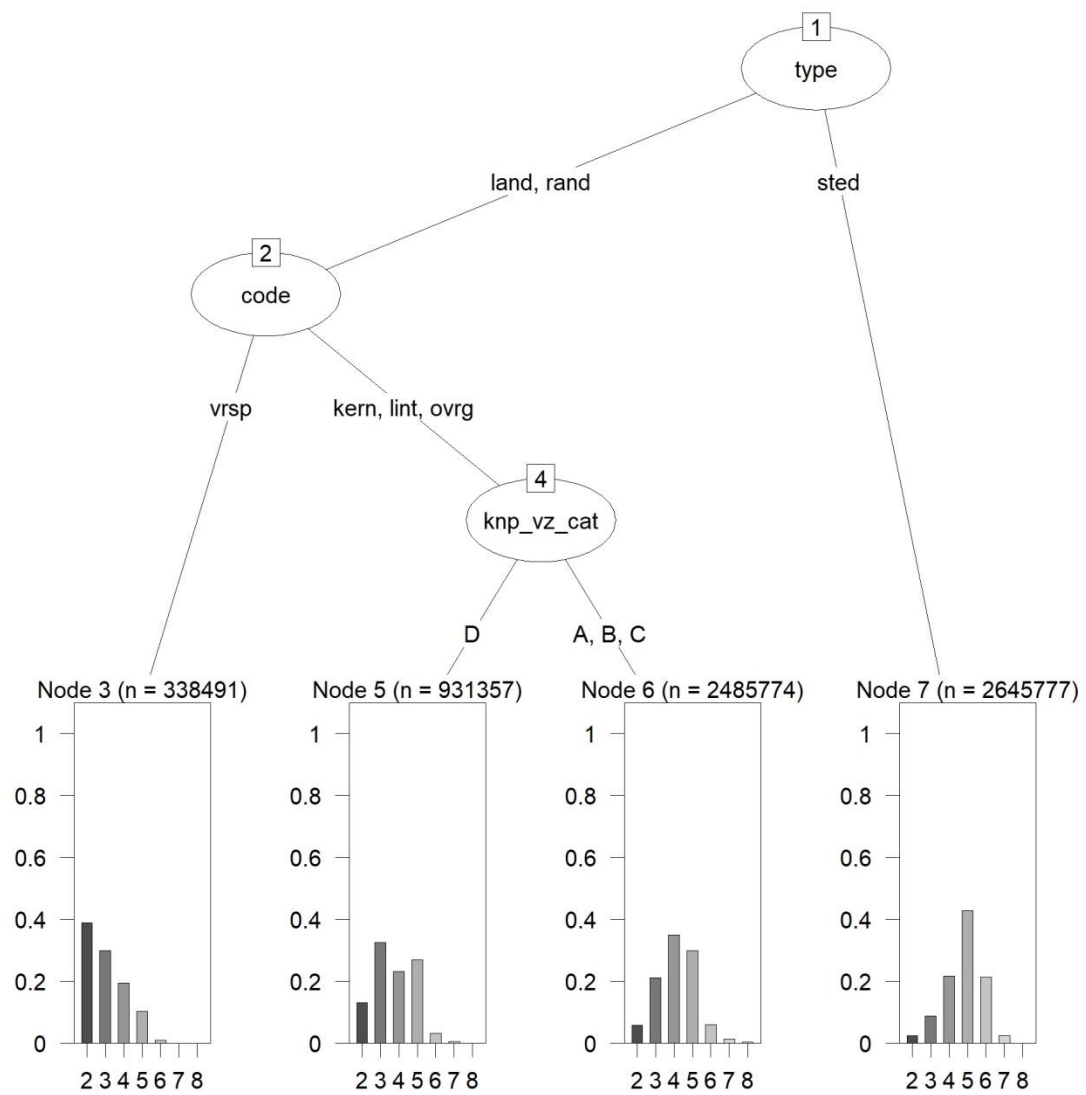
De drie types van gebieden vertonen de volgende kenmerken:

- De kernen worden gekenmerkt door een voldoende hoge dichtheid aan gebouwen (> 30 gebouwen binnen een straal van 100m), een voldoende hoge oppervlakte aan gebouwen (> 9500 m² binnen een straal van 100m) of een voldoende hoge dichtheid aan huishoudens (> 60 huishoudens binnen een straal van 100m). Kernen hebben een minimale oppervlakte van 5 ha, en worden bewoond door minimaal 20 huishoudens.
- De linten zijn lineaire bebouwingspatronen die gelegen zijn buiten de kernen. Concreet gaat het om straatsegmenten die minimum 200 meter lang zijn, en die aan één zijde of aan beide zijden bebouwd zijn. De bebouwing langsheen de straat bevindt zich op minder dan 25 meter van de straatzijde en op maximum 50 meter van elkaar. Hierdoor ontstaat de indruk van een bebouwde straatwand en is het doorzicht naar het achterliggend gebied beperkt.
- De verspreide bebouwing omvat alle hoofdgebouwen die niet opgenomen zijn in de kernen of linten van Vlaanderen. In de praktijk komen ze verspreid voor in de open ruimte, of in kleine concentraties die niet voldoen aan de kenmerken van een kern, of ze zijn op grotere afstand van elkaar opgericht en worden daardoor niet als lint ervaren.

Figuur 19 toont de kernen, linten en verspreide bebouwing in Vlaanderen en voor 2 detail uitsneden rondom Leuven. Op de kaart valt in eerste instantie het verspreide bebouwingspatroon op. In totaal telt Vlaanderen 1.485 kernen, variërend in grootte van 6 tot 7.435 ha, en in bevolkingsaantal van 54 tot



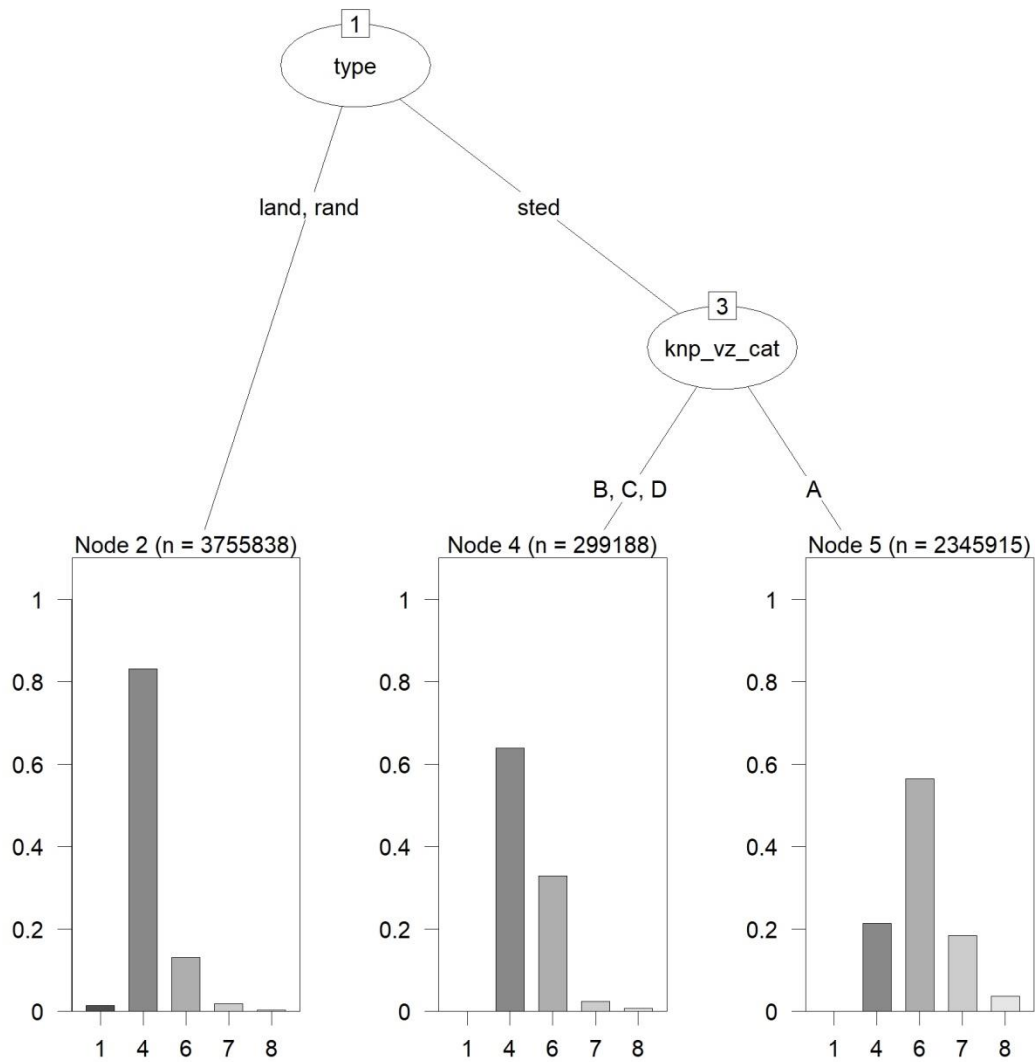
Figuur 20 Beslisboom op basis van CART-algoritme voor hittestress



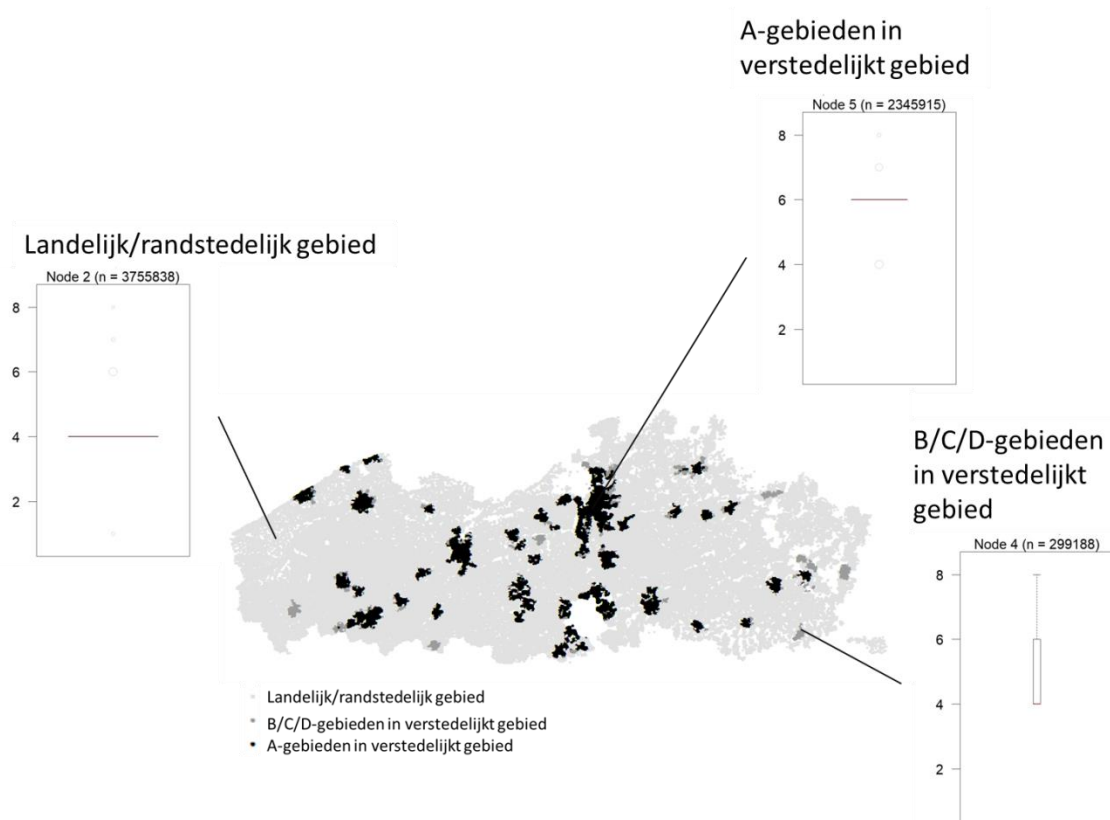
luchtkwaliteit (GES-score = 6). Daarnaast wordt meer dan 20% blootgesteld aan GES-scores die ruim onvoldoende en zeer onvoldoende zijn (GES-score = 7 of 8).

De rest van de inwoners (1.806) kon niet worden toegewezen aan deze indeling wegens ontbrekende waarden op één of meerdere variabelen. Figuur 23 toont de locatie van de inwoners, toegekend aan deze drie groepen.

Figuur 22 Beslisboom op basis van CART-algoritme voor luchtkwaliteit



Figuur 23 Boxplots voor de klassen uit de beslisboom en locatie van de inwoners toegekend aan de verschillende klassen voor het criterium luchtkwaliteit



Figuur 23 toont verder ook de spreiding van de GES-score voor deze 4 categorieën aan de hand van boxplots. Deze boxplots bevestigen bovenstaande bevindingen per groep: de hoogste mediane waarde kan worden gevonden in de A-knooppunten in het verstedelijkt gebied (Node 5), de laagste waarde in het landelijk/randstedelijk gebied (Node 2). In het gehele verstedelijkt gebied (Node 4 en Node 5) is er zelfs geen enkele observatie die een goede score haalt (GES-score = 2 of lager).

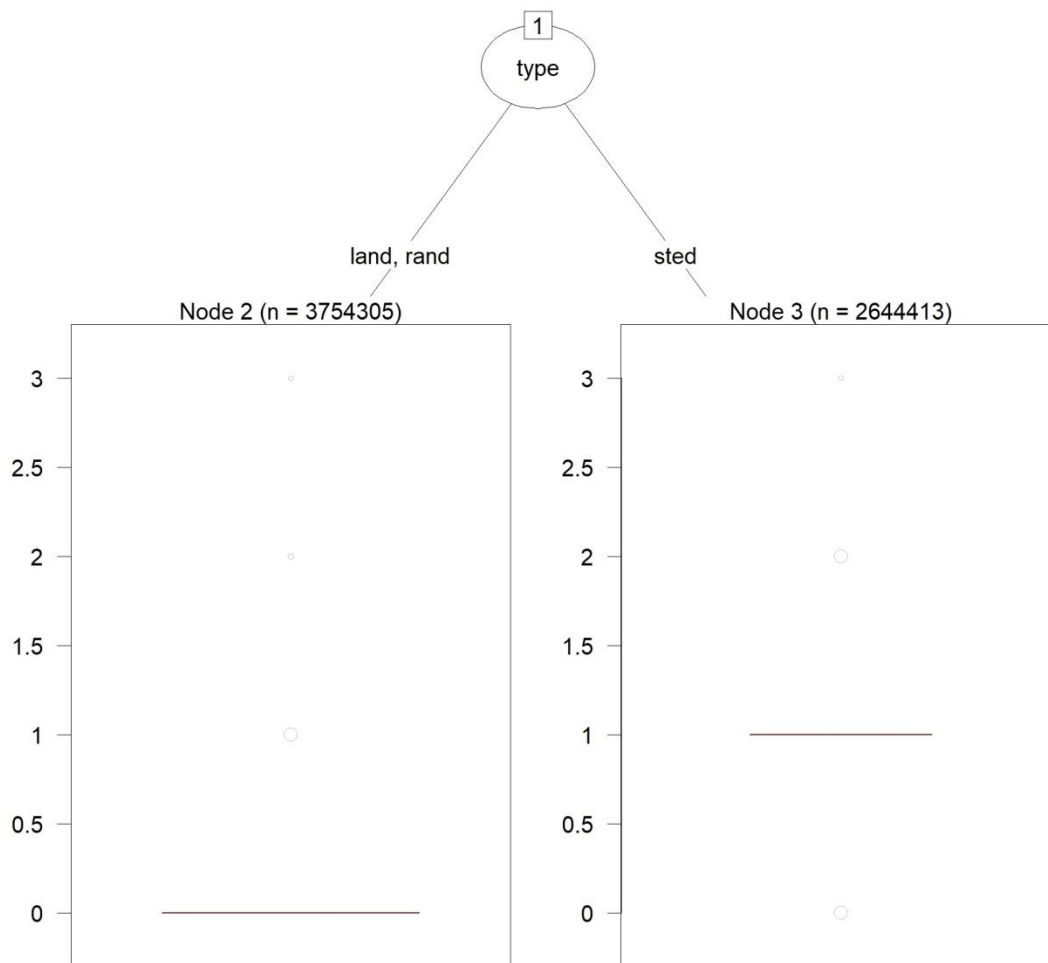
→ Omgevingslawaai

Wat betreft de GES-score voor omgevingslawaai bleek geen enkele van de geteste gebiedsindelingen over voldoende verklarende waarde te beschikken om een zinvolle splitsing te maken in de beslisboom. Dit kan te wijten zijn aan de onvolledigheid van de GES-kaart (niet gebiedsdekkend).

→ Conclusies

De verstedelijkte gebieden blijken voor 2 van de 3 onderzochte hindereffecten de slechtst scorende locaties te zijn. Dit bevestigt de bevindingen uit eerder onderzoek dat werd uitgevoerd in Vlaanderen (Lauwaet et al., 2018). De blootstelling van de inwoners in de verstedelijkte gebieden aan de verschillende gezondheids- of hindereffecten is dus het hoogst. Dit wordt bevestigd door de beslisboom die werd opgesteld op basis van de score op de combinatiekaart (Figuur 24): enkel de ligging in verstedelijkt gebied vs. landelijk/randstedelijk gebied biedt een verklaring voor de spreiding van de scores op de combinatiekaart. De andere types van gebiedsindelingen bieden hierbij geen bijkomende verklarende waarde.

Figuur 24 Beslisboom op basis van CART-algoritme voor score op de combinatiekaart



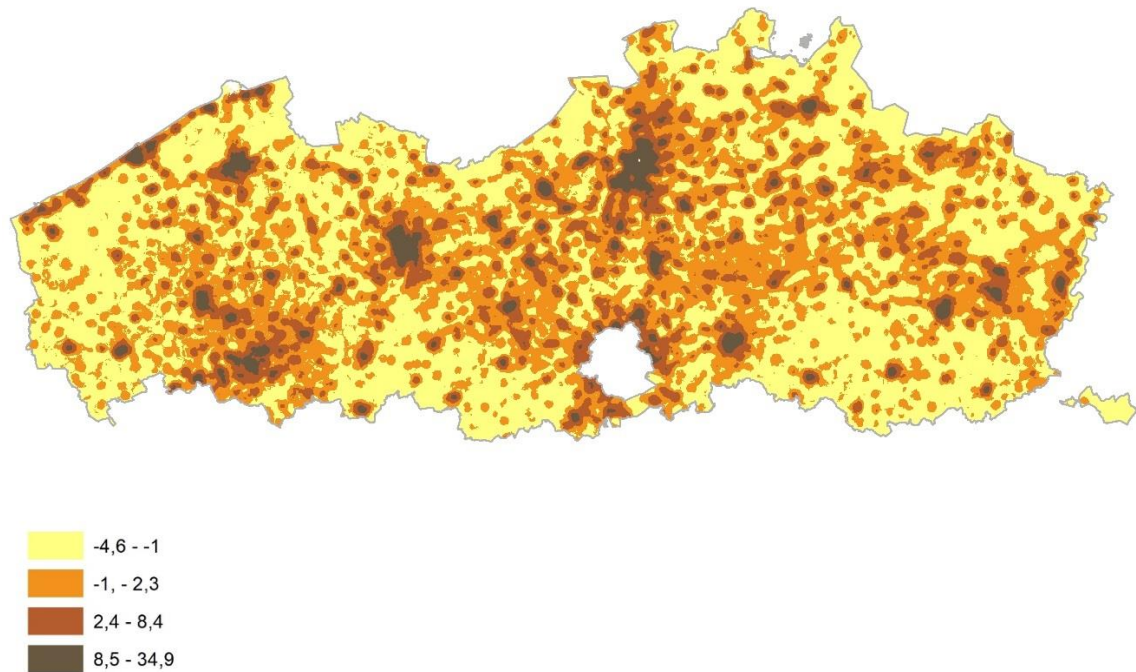
Walkabilityscore

De walkabilityscore is een internationaal concept dat aangeeft hoe wandelvriendelijk een bepaalde omgeving is. Hoe hoger de score in een buurt, hoe meer er zal bewogen worden in die buurt. Dit concept werd voor Vlaanderen in kaart gebracht door de Universiteit Gent (vakgroep Geografie). De walkabilityscore is gebaseerd op een combinatie van 3 factoren: de woondichtheid, de functiemix en de stratenconnectiviteit. Hoe hoger de score op deze drie factoren, hoe hoger de walkabilityscore. De walkabilityscore is een relatieve score. Dit wil zeggen dat ze berekend werd als een z-score ten opzichte van de gemiddelde score in Vlaanderen en Brussel: positieve waarden geven een hogere walkabilityscore dan gemiddeld in Vlaanderen en Brussel, negatieve waarden geven een lagere walkabilityscore dan het gemiddelde in Vlaanderen en Brussel.

Figuur 25 toont de walkabilityscore in Vlaanderen. Vooral de centra van stedelijke kernen, zoals Antwerpen en Gent, maar ook kleinere centra zoals Tienen en Maasmechelen hebben een hoge walkabilityscore. De landelijke gebieden hebben de laagste walkabilityscore.



Figuur 25 Walkabilityscore in Vlaanderen



De spreiding van de walkabilityscore werd onderzocht op basis van de locatie van de inwoners. Hiervoor werd in de databank met de invoergegevens voor de 6.402.747 inwoners hun walkabilityscore toegevoegd. Vervolgens werden boxplots opgesteld die de spreiding van de walkabilityscore voor iedere GES-score weergeven. Figuur 26 toont het resultaat voor de GES-combinatiekaart. Deze toont aan dat de score op GES en de walkabilityscore een duidelijk tegengesteld beeld geven: locaties met de meeste blootstelling aan hindereffecten vertonen gemiddeld gezien een hogere walkabilityscore. Locaties die weinig tot niet zijn blootgesteld op het vlak van omgevingslawaai, luchtkwaliteit en hittestress scoren daarentegen gemiddeld gezien het slechtst wat betreft de walkabilityscore.

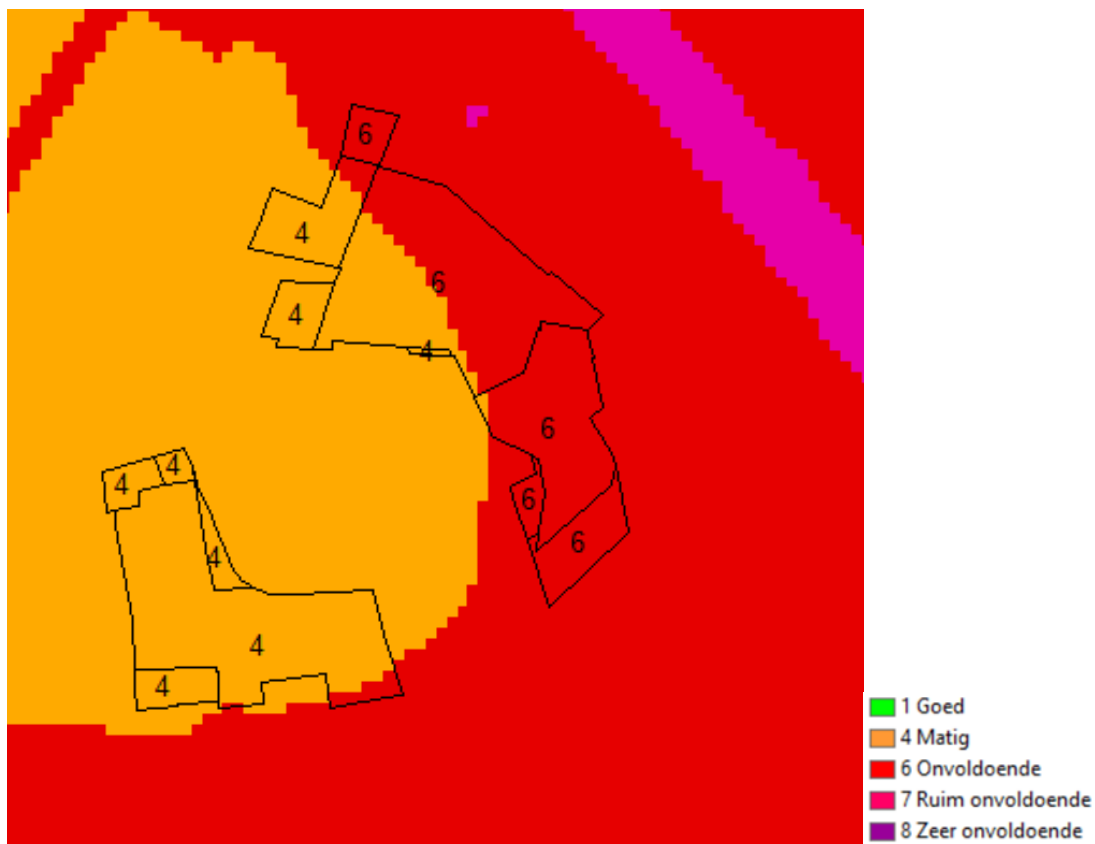
Dit effect is het duidelijkst voor de blootstelling aan hittestress en luchtkwaliteit: de locaties met een score groter dan 6 (onvoldoende tot zeer onvoldoende) vertonen gemiddeld gezien de hoogste walkabilityscore (Figuur 27).



Vervolgens werden de WUG-onderdelen, SWRG en ROP-clusters gekruist met de drie GES-kaarten. Doordat de zones soms groot zijn, is het mogelijk dat één WUG-onderdeel, SWRG of ROP-cluster overlapt met verschillende GES-score. In dat geval kreeg ieder gebiedje de GES-score toegekend die de grootste oppervlakte in het gebied inneemt (zie voorbeeld in Figuur 28). De resultaten zijn te vinden in Tabel 18, Tabel 19 en Tabel 20. De score van de gebieden voor de GES combinatiekaart is te vinden in Tabel 21.

Zes van de WUG-onderdelen en 11 van de ROP clusters zijn gelegen op een locatie die onvoldoende scoort voor alle drie de onderzochte gezondheidseffecten. Deze WUG-onderdelen zijn allen gelegen in de provincie Limburg: eentje in Hasselt, twee in Genk en drie in Overpelt. De 11 ROP-clusters zijn gelegen in Hasselt (2), Lommel (1), Machelen (3) en Antwerpen (5). Figuur 29 toont de ligging van deze gebieden. In totaal gaat het over een kleine 12 ha (2.15 ha WUG en 9.6ha ROP).

Figuur 28 Voorbeeld: bepaling GES-score voor luchtkwaliteit voor 13 WUG-onderdelen op basis van de grootste oppervlakte binnen het gebied. De cijfers geven de score per gebiedje aan, de kleuren geven de GES-score op de originele, gebiedsdekkende kaart aan.



Tabel 18 Score van de WUG-onderdelen, SWRG en ROP clusters op luchtkwaliteit

GES-score luchtkwaliteit	WUG		SWRG		ROP	
	Aantal	Oppervlakte (ha)	Aantal	Oppervlakte (ha)	Aantal	Oppervlakte (ha)
0	0	0	0	0	0	0
1	68	69.72	1	0.39	51	72.41
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	11965	10855.44	44	351.16	6347	7281.40
5	0	0	0	0	0	0
6	1413	1159.86	33	231.74	1453	1914.57
7	52	71.58	1	7.28	63	82.84
8	8	8.12	0	0.00	7	5.42
Totaal	13506	12164.72	79	590.57	7921	9356.64

Tabel 19 Score van WUG-onderdelen, SWRG en ROP clusters op hittestress

GES-score hittestress	WUG		SWRG		ROP	
	Aantal	Oppervlakte (ha)	Aantal	Oppervlakte (ha)	Aantal	Oppervlakte (ha)
0	0	0.00	0	0.00	0	0.00
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	1457	3193.28	12	152.89	825	1478.08
3	3196	3099.75	18	162.36	2038	2501.60
4	3816	2963.23	28	198.07	2340	2580.70
5	4160	2551.77	21	77.26	2235	2351.48
6	750	303.10	0	0.00	407	369.19
7	113	50.27	0	0.00	68	64.26
8	14	3.32	0	0.00	8	11.32
Totaal	13506	12164.72	79	590.57	7921	9356.64

Tabel 20 Score van WUG-onderdelen, SWRG en ROP clusters op geluidshinder

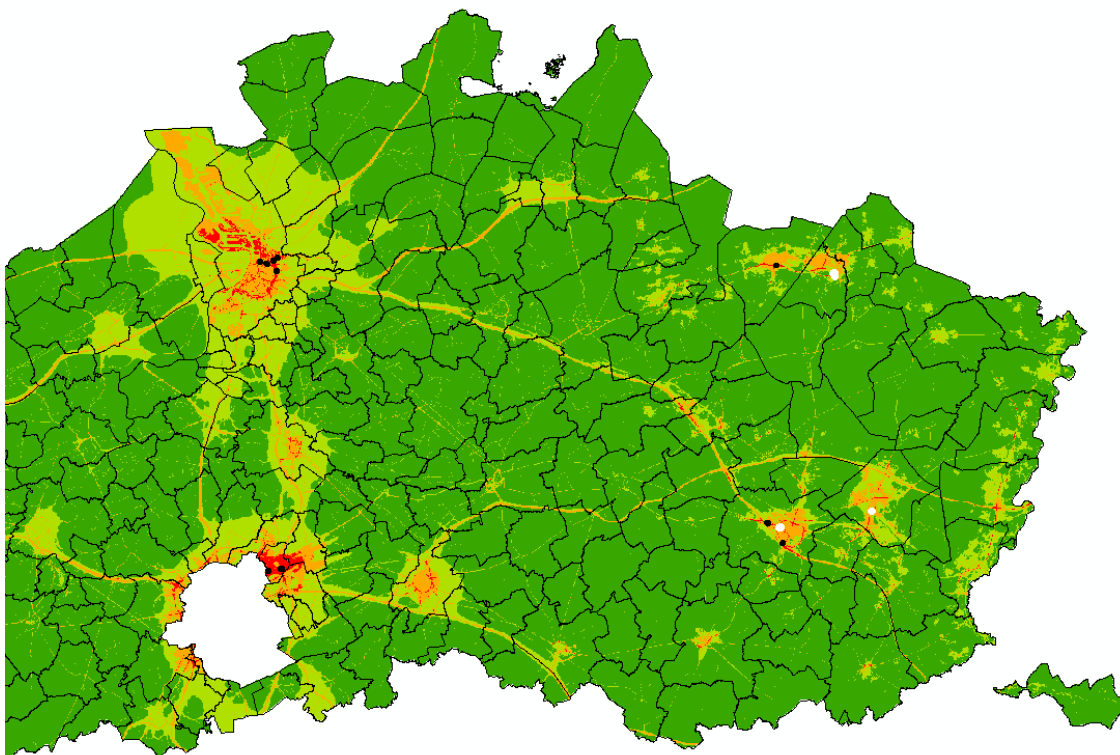
GES-score geluidshinder	WUG		SWRG		ROP	
	Aantal	Oppervlakte (ha)	Aantal	Oppervlakte (ha)	Aantal	Oppervlakte (ha)
0	1621	1578.00	12	58.65	888	1203.80
1	4949	4568.43	21	170.97	2585	3072.76
2	2422	2292.02	20	139.81	1426	1830.60
3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
4	1328	1268.40	11	156.92	965	1154.59
5	589	582.13	2	13.12	485	540.38
6	259	179.24	0	0.00	294	301.72
7	89	28.38	0	0.00	62	55.03
8	45	18.76	0	0.00	13	11.76
NoData	2204	1649.36	13	51.11	1203	1186.01
Totaal	13506	12164.72	79	590.57	7921	9356.64

////////////////////////////////////

Tabel 21 Score van WUG-onderdelen, SWRG en ROP clusters op de GES combinatiekaart

GES-score geluidshinder	WUG		SWRG		ROP	
	Aantal	Oppervlakte (ha)	Aantal	Oppervlakte (ha)	Aantal	Oppervlakte (ha)
0	11192	10582.08	46	363.47	5962	6962.69
1	2073	1486.32	33	227.10	1755	2205.59
2	235	94.18	0	0.00	193	178.75
3	6	2.15	0	0.00	11	9.60
Totaal	13506	12164.72	79	590.57	7921	9356.64

Figuur 29 Locatie van WUG-onderdelen (in wit) en ROP clusters (in zwart) die gelegen zijn op locaties met een onvoldoende GES score voor de drie onderzochte gezondheidseffecten



Conclusies en beleidsaanbevelingen

In deze studie is eenvoudig te interpreteren kaartmateriaal ontwikkeld dat een eerste inzicht kan geven in de ruimtelijke variatie van aspecten rond omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress, drie factoren die een grote invloed hebben op het welzijn en de gezondheid in een leefomgeving. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Gezondheids Effect Screening (GES) methodiek die in Nederland is ontwikkeld. Voor elk van de factoren is een GES-kaart aangemaakt voor heel Vlaanderen op basis van een geselecteerde indicatorkaart (bv. de jaargemiddelde NO₂-concentraties in 2017), en daarnaast een combinatiekaart met de slecht scorende gebieden. Deze kaarten geven een duidelijk overzicht van de situatie in Vlaanderen, het is niet de bedoeling om de verschillende factoren onderling te vergelijken of uitspraken te doen over hun onderlinge belang. Deze kaarten zijn een momentopname, die om de 5 à 6 jaar best geüpdatet worden.

Het eindresultaat is uiteraard erg afhankelijk van de gekozen indicatorkaart (bv. een kaart voor ultrafijn stof geeft een ander ruimtelijk beeld dan een NO₂-kaart), en in deze studie worden slechts drie factoren in rekening gebracht. Daarnaast kunnen ook andere omgevingsfactoren (bv. geurhinder, verkeersonveiligheid, straling,..) een effect hebben op de gezondheid. Gezondheid wordt ook door meer bepaald dan enkel de blootstelling aan deze factoren, bv. fysieke activiteit, voeding, roken, mentaal welbevinden, ... spelen ook een belangrijke rol. Er dient dus opgelet te worden met verregaande conclusies op basis van dit kaartmateriaal.

Het doel van dit kaartmateriaal is in de eerste plaats om lokale beleidsmakers en ruimtelijke planners toe te laten om een eerste grootschalige screening te kunnen doen van de relatie tussen ruimtegebruik en de gezondheidseffecten van omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress. Op basis van de GES-kaarten kunnen probleemgebieden worden geïdentificeerd, om daarna door experts ter zake gedetailleerde analyses te laten uitvoeren om de situatie lokaal te bestuderen of in kaart te brengen en eventuele maatregelen uit te werken. Hierdoor kan gezondheid een volwaardige plaats krijgen in de besluitvorming over de inrichting van de leefomgeving en kan een afweging ten opzichte van andere belangen worden gemaakt.

In een tweede deel van de studie zijn de GES-kaarten gekruist met beschikbare data en kaartmateriaal dat relevant is voor het Vlaamse ruimtelijke beleid. Uit een impactanalyse bleek dat bijna 11% van de Vlamingen woont op een locatie die een onvoldoende score behaalt voor 2 van de 3 onderzochte hindereffecten. Hierbij dient te worden genuanceerd dat de kaart voor omgevingslawaai niet gebiedsdekkend is en dat het werkelijke aantal Vlamingen dat hinder ondervindt van meer dan 1 van de onderzochte effecten potentieel nog iets hoger kan liggen. Ook de situatie wat betreft kwetsbare doelgroepen (ouderen en jongeren) en kwetsbare functies is onderzocht. Bijna 11% van de kwetsbare instellingen zijn gelegen op een locatie die een onvoldoende score behaalt voor 2 van de 3 onderzochte hindereffecten.

Het is belangrijk om te vermelden dat het hier enkel de locatie van de woonplaats werd bekeken. Tewerkstellingslocaties en andere locaties waar mensen zich een groot gedeelte van de dag bevinden (bv. in de auto, tijdens het transport van en naar de woonplaats), werden niet onderzocht (met uitzondering van de locaties van kwetsbare functies). Voor de blootstelling aan luchtverontreiniging speelt daarnaast ook de luchtkwaliteit binnenshuis een grote rol. Ook hiervan werd abstractie gemaakt bij de analyses. Zoals reeds eerder werd aangehaald is bedoeling van de impactanalyses om een eerste indicatie te krijgen van de blootstelling, niet om een gedetailleerde analyse van de werkelijke blootstelling te berekenen.

Daarnaast zijn de GES-kaarten ook gekruist met een aantal gebiedsindelingen, en geanalyseerd op basis van beslisbomen. Hieruit blijkt dat de blootstelling van de inwoners in de verstedelijkte gebieden (volgens eender welke indeling) aan de verschillende gezondheids- of hindereffecten het hoogst is. Enkel voor omgevingslawaai bleek geen enkele van de geteste gebiedsindelingen over voldoende verklarende waarde te beschikken om een zinvolle splitsing te maken in de beslisboom, hetgeen te wijten kan zijn aan de

Bijlage 1 – Lijst met opgeleverde kaartbestanden

Output	GES-scores voor omgevingslawaai	GES_geluid.tif
	GES-scores voor hittestress	GES_hittestress.tif
	GES-scores voor luchtkwaliteit	GES_luchtkwaliteit.tif
	Combinatiekaart	GES_combo.tif



Bijlage 2 – Blootstelling inwoners per gemeente

Gemeente	Aantal met GES_hittedstress > 6	Aantal met GES_luchtkwaliteit > 6	Aantal met GES_geluid > 6	Totaal aantal inwoners	% met GES_hittedstress > 6	% met GES_luchtkwaliteit > 6	% met GES_geluid > 6
Aartselaar		10343	187	10804	0%	96%	2%
Antwerpen	284447	499355	62574	499496	57%	100%	13%
Boechout		7279	973	12960	0%	56%	8%
Boom	733	16274	1379	17142	4%	95%	8%
Borsbeek	438	9504	748	9601	5%	99%	8%
Brasschaat		34708	2189	36014	0%	96%	6%
Brecht		9139	3037	27250	0%	34%	11%
Edegem	562	21775	1099	21775	3%	100%	5%
Essen		681	299	18888	0%	4%	2%
Hemiksem		8774	2	8779	0%	100%	0%
Hove		7027	315	8136	0%	86%	4%
Kalmthout		2707	1480	18380	0%	15%	8%
Kapellen		23480	1687	26399	0%	89%	6%
Kontich		15323	930	19947	0%	77%	5%
Lint		590	118	7952	0%	7%	1%
Mortsel	977	25550	1991	25550	4%	100%	8%
Niel		8365		10191	0%	82%	0%
Ranst		4876	1303	19433	0%	25%	7%
Rumst	73	9394	528	14708	0%	64%	4%



Peer	1069	491	848	16500	6%	3%	5%
Hamont-Achel	11329	602	665	14407	79%	4%	5%
Hechtel-Eksel	33	490	1050	12236	0%	4%	9%
Houthalen-Helchteren	1645	2537	1546	31073	5%	8%	5%
Meeuwen-Gruitrode	23	382	404	13108	0%	3%	3%
Dilsen-Stokkem	13216	835	1577	20562	64%	4%	8%
Alken	2452	390	203	11619	21%	3%	2%
Bilzen	15138	3419	3502	32177	47%	11%	11%
Borgloon		617	577	10727	0%	6%	5%
Heers		170	165	7095	0%	2%	2%
Herstappe				82	0%	0%	0%
Hoeselt	1953	299	718	9625	20%	3%	7%
Kortesseem	732	313	789	8369	9%	4%	9%
Lanaken	23761	3636	1389	25901	92%	14%	5%
Riemst	6821	1207	649	16463	41%	7%	4%
Tongeren	8424	3963	1472	28930	29%	14%	5%
Wellen	661	388		7362	9%	5%	0%
Maasmechelen	30069	3611	897	34512	87%	10%	3%
Voeren	2250	101	12	3954	57%	3%	0%
Totaal Vlaanderen	874458	2530717	441504	6402747	14%	40%	7%

////////////////////////////////////

n																					
Voeren	4	3	1	0	0	0	0	0	0	6	5	1	67%	60%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

////////////////////////////////////

