# IMPACT VAN 'NATURE-BASED SOLUTIONS' OP DE BLOOTSTELLING VAN STADSBEWONERS AAN LUCHTVERVUILING, LAWAAI OF HOGE TEMPERATUREN

Overzicht van de algemene kennis en aanbevelingen
voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

28 oktober 2020

| | |
|---|---|
| Project | Impact van Nature Based Solutions in het Brussels hoofdstedelijk gewest |
| Opdrachtgever | Brussels Instituut voor Milieubeheer |
| Document | Eindrapportage |
| Status | Gecontroleerd |
| Datum | 28 oktober 2020 |
| Auteur(s) | Dirk Lauwaet, Stijn Vranckx, Stefanie Dens, Thomas Hawer |


Adres

VITO N.V.
Boeretang 200
2400 Mol
België
+32 (0)14 33 55 11
www.vito.be
RPR Turnhout

Witteveen+Bos Belgium N.V.
Maatschappelijke zetel: Posthoflei 5-1
2600 Antwerpen-Berchem
België
+32 (0)3 286 75 75
www.witteveenbos.be
RPR Antwerpen



Afbeelding cover: © la Compagnie du Paysage

# INHOUDSTAFEL


**SAMENVATTING** **5**

**RESUME** **9**

**LITERATUURSTUDIE** **13**

1 Methodologie 15
2 Inleiding 18
3 Impact 21
3.1 Hittestress 21
3.2 Luchtvervuiling 25
3.3 Geluidsoverlast 32
4 Voorbeelden uit de praktijk 38
4.1 Publieke groene ruimte 38
4.2 Introduceren van verticaal groen 39
4.3 Slimme implementatie van groene daken 41
5 Synthese 42

**KWETSBAARHEIDSANALYSE** **44**

1 Inleiding 46
2 Hittestress 47
3 Luchtvervuiling 49
4 Geluidsoverlast 51
5 Combinatiekaart 53

**CASES MET AANBEVELINGEN** **56**

1 Case 1: Place Bizet - Anderlecht 60
2 Case 2: Boulevard Léopold II ter hoogte van de Pierstraat in Molenbeek 67
3 Case 3: Rue Bara in Anderlecht 73
4 Case 4: Zeepkruidhoek – woonwijk 79

**ALGEMEEN AFWEGINGSKADER VOOR INZET NBS** **84**

**BIBLIOGRAFIE** **90**

# SAMENVATTING

Deze studie behandelt het potentieel van nature-based solutions (NBS) om de blootstelling van stadsbewoners aan geluidoverlast, luchtverontreiniging en hittestress te reduceren in de Brusselse context. In het eerste hoofdstuk wordt een uitgebreid overzicht gegeven van de inzichten uit de algemene literatuur wat betreft de relatie tussen NBS en deze problematieken. Daarnaast worden de biofysische mechanismen achter de NBS uitgelegd en hun impact besproken per problematiek. Voor een goed overzicht en technische fiches van een heel uitgebreide set aan NBS wordt verwezen naar het handboek van UNalab[1]. Een belangrijke bron voor algemene impact cijfers van NBS is de Groentool die VITO heeft uitgewerkt voor stad Antwerpen[2].

Om een goed gedetailleerd beeld te krijgen van de locaties in Brussel waar geluidoverlast, luchtverontreiniging en hittestress momenteel voor problematische omstandigheden zorgen en die best prioritair aangepakt worden, maken we gebruik van een Gezondheids- Effect Screening (GES) in Hoofdstuk 2. Als basisdata worden de meest recente en accurate kaarten gebruikt die er voorhanden zijn. Voor hittestress is dat de maximale Wet Bulb Globe Temperature (°C) tijdens een typische hete zomerdag, voor luchtverontreiniging is dat de jaargemiddelde NO2-concentratie (µg/m³) van 2018 en voor geluidoverlast is dat de kaart van 2016 voor wegverkeer en spoorverkeer (Lden). Deze kaarten worden op basis van wetenschappelijk onderbouwde drempelwaarden omgezet in kaarten die de impact op de gezondheid inschatten van geluidoverlast door weg- en spoorverkeer, NO2-concentraties en extreme hitte. Deze gezondheidseffectkaarten kunnen een hulpmiddel zijn bij het bepalen van prioritair aan te pakken locaties.

In Hoofdstuk 3 worden voor 4 concrete Brusselse cases waar de situatie wat betreft hittestress, luchtkwaliteit en/of geluidoverlast problematisch is, nature-based solutions voorgesteld en hun impact zo goed als mogelijk gekwantificeerd door een expert inschatting. Er is gekozen voor 4 typische situaties in het Brusselse (een plein, brede street canyon, smalle street canyon en wijk naast de autostrade), zodat de voorgestelde maatregelen zo generiek mogelijk toepasbaar zijn op andere locaties. Voor iedere case worden twee scenarios bekeken en worden deze vergeleken met een verregaande vermindering van het gemotoriseerd verkeer.

De resultaten van deze studie kunnen als volgt worden samengevat per problematiek:

**Hittestress**
Groenmaatregelen zijn een efficiënte manier om hittestress problemen te verhelpen doordat ze zorgen voor een afname van de lucht temperaturen (door evaporatie en evapotranspiratie), maar vooral door schaduwvorming, aangezien straling een belangrijke factor is voor thermisch comfort (zie Deel 1 H 3.1.1). Het belangrijkste en efficiëntste middel hiervoor is schaduwvorming door bomen. Deze worden best gecombineerd met andere vergroeningsmaatregelen, en toevoeging van een waterelement (fontein, spuitertjes of schaduwrijke rivier). Voor de waterelementen is het van belang dat het water makkelijk kan verdampen, dan zal het verkoelend effect het grootst zijn (zie Deel 1 H 3.1.2). Ondiepe, stilstaande wateroppervlakken zijn af te raden, aangezien deze hun opgeslagen warmte ’s nachts afgeven en zo het stedelijk hitte-eiland nog kunnen versterken.

De groen-blauwe maatregelen worden best in zo groot mogelijke, aaneengesloten gebieden toegepast om een maximaal effect te hebben. Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt dat dit soort maatregelen op een warme zomerdag kan zorgen voor een verkoeling van de lucht temperatuur tot 3°C (zie Deel 1 H 3.1.2). Dit verkoelend effect is wel vooral lokaal voelbaar. Om de hele stad significant te verkoelen is dus een heel dens en grootschalig netwerk van groengebieden nodig. Groengebieden kunnen ook windopwaarts van de stad aangelegd worden zodat de wind de koele lucht optimaal ken verspreiden in de stad.

Bij de maximale inzet van NBS voor de 4 bestudeerde case studies in Hoofdstuk 3 wordt hun impact op de gevoelstemperatuur (WBGT) ingeschat op 1 tot 2.5°C. Dit is voldoende om de hittestress waarden op warme dagen te laten dalen tot onder het drempelniveau waar er gezondheidsproblemen beginnen opduiken.

[1] *https://unalab.eu/index.php/documents/unalab-technical-handbook-nature-based-solutions*
[2] *https://groentool.antwerpen.be/docs/kennistabellen_public.xlsx*

**Geluidoverlast**
Vegetatie en groenmaatregelen bieden zeker de mogelijkheid om geluidshinder te reduceren door reflectie, diffractie, verstrooiing of absorptie van geluidsgolven (zie Deel 1 H 3.3.2). Het effect is wel erg variabel in de ruimte (bv. een bomenrij met goed ontwikkelde kruinen in een street canyon heeft een licht negatief effect voor mensen die onder de boom staan, maar een positief effect voor de gevels boven de kruin). Afschermende maatregelen zoals hagen en bomenrijen zijn het meest efficiënt en hun efficiëntie neemt toe naarmate de bomen en hagen groter en dichter begroeid zijn. Als de geluidbron dicht bij de ontvanger is gelegen dan is hun impact niettemin beperkt. Daarnaast kunnen groene bodembedekkers zoals gras of andere kruidachtige vegetatie extra porositeit en dispersie veroorzaken. Door de verspreiding van geluidsgolven zal de interactie van de golven met de grond toenemen, waardoor meer van het geluid wordt geabsorbeerd (zie Deel 1 H 3.3.2). Dit is echter niet het geval als de grond nat is. In de wetenschappelijke literatuur worden effecten tot maximum 3 dBa gerapporteerd van hagen en bodembekkers naast drukke wegen (zie Deel 1 H 3.3.2).

In de meeste gevallen worden nature-based solutions best gecombineerd met harde infrastructuur (bv. geluidsmuren, schermgebouwen) om een optimaal effect te bekomen dat vergelijkbaar is met verregaande bronmaatregelen. In de 4 bestudeerde case studies wordt de impact van een maximale inzet van NBS ingeschat op 2.5 tot 5 dBa op basis van de Lden indicator. Ter indicatie: 5 dB komt ongeveer overeen met een vermindering van het verkeersvolume in een drukke straat met twee rijstroken met twee derde (zie Deel 1 H 3.3.1). De impact loopt zelfs op tot 15 dBa bij het gebruik van schermgebouwen in de Zeepkruidhoek case. Dit zijn gevoelige reducties, maar voor deze stedelijke cases meestal onvoldoende om de geluidoverlast te doen dalen tot onder de drempelwaarde waar er gezondheidsproblemen beginnen opduiken. Daarvoor zijn meestal ook bijkomende bronmaatregelen nodig.

**Luchtverontreiniging**
Nature-based solutions hebben een impact op de lokale luchtkwaliteit door hun filterende werking (depositie, absorptie door de cuticula en opvang van aerosolen door de stomata), en het beïnvloeden van de luchtcirculatie (zie Deel 1 H 3.3.2). De bijdrage van vegetatie aan het filteren van vervuilende componenten is afhankelijk van het type vegetatie (en het seizoen), het type verontreiniging, de locatie en inplanting van de vegetatie. Van alle vegetatietypes zijn bomen het meest effectief in het vastleggen van schadelijke stoffen, in volgorde van dalende effectiviteit gevolgd door respectievelijk heesters, kruidachtigen en gras. Naaldbomen of kleinbladige loofbomen scoren het beste om fijnstof aan te laten adsorberen (grotere oppervlakte). Voor de opname van gasvormige polluenten scoren loofbomen (wanneer ze bladeren dragen) beter dan naaldbomen. Daarnaast kunnen groenelementen een buffer vormen tussen bron en ontvanger (bijvoorbeeld wanneer ze worden aangeplant langs wegen met veel verkeer of fabrieken), maar ze kunnen de situatie lokaal ook verslechteren door de ventilatie te verhinderen (bijvoorbeeld in smalle straten met druk verkeer) en dus de evacuatie en verdunning van vervuilende stoffen tegen te gaan. Uit case studies in de wetenschappelijke literatuur blijkt dat groenmaatregelen de bijdrage van de lokale emissies aan polluentconcentraties met 15 à 20% kunnen laten afnemen (zie Deel 1 H 3.3.2).

In sommige gevallen, zoals in de case van de Zeepkruidhoek, worden nature-based solutions best gecombineerd met harde infrastructuur (bv. schermgebouwen) om een optimaal effect te bekomen. In de 4 bestudeerde case studies wordt de impact van een maximale inzet van NBS ingeschat op 6 tot 11% van de totale NO2-concentraties, en zelfs 20 tot 42% van de lokale bijdrage aan de NO2-concentraties. Maar ook al zijn deze verminderingen significant, de NBS maatregelen zijn over het algemeen onvoldoende om de luchtvervuiling te laten dalen tot een aanvaardbaar niveau, en altijd ondergeschikt aan verregaande bronmaatregelen zoals een aanzienlijke vermindering van het gemotoriseerd verkeer.

Ter conclusie van deze studie wordt een eenvoudig afwegingskader opgesteld voor de inzet van nature-based solutions in de Brusselse context. Het doel van dit afwegingskader is om een aanpak voor te stellen voor het integreren van nature-based solutions wanneer er een concrete stedelijke ontwikkelingscase beoordeeld moet worden, en of de inzet van nature-based solutions kan bijdragen tot het vermijden/oplossen van een bepaalde problematiek. Er worden ook een aantal algemene aanbevelingen gedaan die we hier oplijsten:

- De impact van NBS is context afhankelijk en ruimtelijk variabel. De effecten en interacties met de omgeving zijn complex en sterk afhankelijk van het type vegetatie, de locatie, de grootte, etc. Vooral op het vlak van luchtkwaliteit (depositie en aerodynamica) en geluid (reflectie, diffractie, verstrooiing en absorptie) interageren verschillende effecten met elkaar. Daarom is het voor iedere case belangrijk om goed doordacht te werk te gaan en indien mogelijk de hulp in te roepen van thematische experts die eventueel een bijkomende modellering kunnen uitvoeren. Het is ook aangeraden om de verschillende problematieken op verschillende schaalniveaus te bestuderen.
- Deze studie toont duidelijk het belang aan van het combineren van verschillende NBS en het ruimtelijk zo breed mogelijk toepassen ervan, om een maximale impact te bekomen.
- Naast het publieke domein is het ook van belang om het private domein (burgers, bedrijven) te activeren en overtuigen om nature-based solutions (bv. groengevels en groendaken) toe te passen.
- In een stedelijke context is de ruimte voor NBS en hun potentiële impact sterk gerelateerd aan de mobiliteitsinfrastructuur, die op haar beurt sterk is gelinkt aan de lokale geluidoverlast en luchtverontreiniging. Het verdient daarom de voorkeur om een mobiliteitsexpert in te schakelen bij het overwegen van het gebruik van NBS tijdens een stedenbouwkundig project.
- Het voorbeeld van de Zeepkruidhoek heeft laten zien dat de inplanting van bepaalde wijken ervoor zorgt dat de bewoners worden blootgesteld aan zeer hoge waarden van geluidoverlast en luchtverontreiniging, die bijna niet of helemaal niet kunnen worden teruggebracht tot acceptabele waarden met NBS. Deze situatie had voorkomen kunnen worden door andere keuzes te maken qua architectuur/stadsontwikkeling (verder weg bouwen van verkeersaders, oriëntatie/hoogte van gebouwen aanpassen, werken met schermgebouwen,…).
- Specifiek voor street canyons komen er uit deze studie volgende aandachtspunten naar boven:
    - Bij planningsoverwegingen moet indien mogelijk rekening worden gehouden met het feit dat de lijwaartse gevels meer worden blootgesteld aan luchtvervuiling en lawaai wanneer de dominante wind loodrecht op de as van de straat staat.
    - Bij het aanplanten van bomen wordt er best op gelet dat ze de lokale ventilatie niet teveel verhinderen waardoor de luchtverontreiniging onder de kruinen blijft hangen. Daarom worden bomen best maar aan één kant van de weg geplaatst in plaats van aan beide kanten. Kies best voor bomen met een open kruinstructuur. Bomen met een warrige takstructuur zullen fijnstof beter capteren.
    - Bij een keuze van kant voor het aanplanten van bomen wordt best de noordzijde gekozen (indien de straat een oost-west oriëntatie heeft) omdat de gebouwen aan de zuidzijde al voor schaduw zorgen op de warmste momenten van de dag.
    - Het is beter om loofbomen te kiezen dan naaldbomen, omdat deze hun bladeren verliezen in de winter waardoor de ventilatie dan minder wordt gehinderd en de zon de straat en gebouwen kan verwarmen.
    - Combineer bomen met een ondergroei van kruidachtigen en struiken om effectief blad te hebben op de verschillende niveaus.
    - Gevelgroen is efficiënt in het verminderen van het lawaai aan de achterzijde van de gebouwen in street canyons, omdat het de reflectie van geluid tussen de gevels aan de straatzijde verhindert.

Deze studie toont aan dat nature-based solutions verregaand kunnen bijdragen aan een oplossing voor lokale problemen in verband met hittestress, luchtkwaliteit en geluidoverlast. De ontwikkeling van groene en blauwe ruimtes kan daarnaast ook positieve effecten hebben in termen van biodiversiteit, de strijd tegen overstromingen, de verfraaiing van de stad en ook op sociaal vlak (welzijn, ontmoetingsplekken, sportactiviteiten, vrije tijd, etc.). Het zijn uiteraard geen mirakel-oplossingen en in sommige gevallen is het effect van nature-based solutions wel beperkt of zelfs zeer beperkt. We willen hier nog eens benadrukken dat de impact cijfers heel context gevoelig zijn aangezien iedere case van elkaar verschilt (intensiteit van het wegverkeer, breedte van de straat, hoogte van de gebouwen, oriëntatie, ligging in de stad, reliëf,…). Dit zorgt ervoor dat de impact van NBS variabel is in de ruimte en er bij onzekerheid best een expert wordt geraadpleegd en/of een bijkomende modellering uitgevoerd.

# RÉSUMÉ

Cette étude examine le potentiel des 'nature-based solutions' (NBS), solutions fondées sur la nature, à réduire l'exposition des citadins aux nuisances sonores, à la pollution de l'air et au stress thermique dans le contexte bruxellois. Le premier chapitre donne un aperçu détaillé des connaissances provenant de la littérature générale en ce qui concerne la relation entre les NBS et ces questions. De plus, les mécanismes biophysiques soutenant les NBS sont expliqués et leur impact est discuté par problèmes étudiés. Pour obtenir un bon aperçu d'un ensemble très complet de NBS accompagnée chacune de fiches techniques, veuillez vous référer au manuel UNalab[1]. Le 'Groentool' que le VITO a développé pour la ville d'Anvers constitue une source importante de chiffres d'impact pour les NBS[2].

Afin d'obtenir une image détaillée des lieux où les niveaux de bruit, de pollution de l'air et de température en Région bruxelloise s'avèrent particulièrement problématiques et qui devraient être traités en priorité, nous utilisons un 'Gezondheids-Effect Screening' (GES), ou 'Dépistage des Effets de Santé', au chapitre 2. Les cartes les plus récentes et précises actuellement disponibles sont employées comme données de base. En ce qui concerne le stress thermique, l'indice utilisé est l'indice de température au thermomètre-globe mouillé (°C) au cours d'une journée d'été chaude typique. En ce qui concerne la pollution de l'air, nous employons la concentration moyenne annuelle en NO2 (µg/m³) pour l'année 2018. Pour la pollution sonore, il s'agit de la carte du trafic routier et ferroviaire de l'année 2016 (Lden). Sur base de valeurs seuils établies scientifiquement, ces cartes sont converties en cartes reflétant les impacts plus ou moins grands sur la santé du bruit routier et ferroviaire, de la pollution au NO2 et des chaleurs extrêmes. Ces cartes constituent un outil aidant à identifier les zones à traiter en priorité.

Au chapitre 3, des NBS sont proposées pour 4 études de cas concrets, localisés en Région bruxelloise, où la situation en matière de stress thermique, de qualité de l'air et/ou de nuisance sonore est problématique. L'impact des NBS proposés a été quantifié le mieux possible par une estimation d'expert. Quatre situations typiques à Bruxelles ont été choisies (une place, une rue canyon large, une rue canyon étroite et un quartier à proximité d'une autoroute), afin que les mesures proposées puissent être appliquées de manière aussi générique que possible à d'autres endroits. Pour chacun des cas, deux scénarios sont examinés et comparés à une situation de réduction forte du trafic motorisé.

Considérant chacune des problématiques, les résultats se résument comme suit:

**Stress thermique**
La végétation est capable de répondre efficacement aux problèmes de stress thermique par une diminution de la température de l'air (évaporation et évapotranspiration), mais surtout par la création d'ombre, car le rayonnement est un facteur important pour le confort thermique (Partie 1 Ch 3.1.2). L'ombrage des arbres constitue la façon la plus importante et la plus efficace pour atteindre cet effet. Le mieux est de combiner l'implantation d'arbres avec d'autres mesures de verdurisation et d'y ajouter éventuellement une composante aquatique (fontaine ou pulvérisateurs, rivière ombragée). Pour les éléments aquatiques, il est important que l'eau puisse s'évaporer facilement ce qui induit un effet de refroidissement plus grand (Partie 1 Ch 3.1.2). Les surfaces d'eau peu profondes et stagnantes sont déconseillées, car elles libèrent leur chaleur stockée la nuit et renforcent ainsi l'îlot de chaleur urbain.

Pour obtenir un effet optimal, il est important que les mesures « vertes et –bleues » soient appliquées dans des zones contiguës les plus grandes possibles. La littérature scientifique montre que des mesures de ce type peuvent refroidir la température de l'air jusqu'à 3 ° C par une chaude journée d'été (Partie 1 Ch 3.1.2). Cet effet de refroidissement se fait principalement sentir localement. Un réseau d'espaces verts très dense et à grande échelle est donc nécessaire pour refroidir de manière significative l'ensemble de la ville. Des espaces verts peuvent également être aménagés au vent de la ville afin que le vent puisse répartir de manière optimale l'air frais dans la ville.

Dans les 4 études de cas considérées dans chapitre 3, l'impact sur la de température au thermomètre-globe mouillé d'une utilisation optimale des NBS a été estimé entre 1 et 2,5 °C. Cela suffit pour permettre aux valeurs de stress thermique par temps chaud de descendre en dessous du seuil où les problèmes de

[1] *https://unalab.eu/index.php/documents/unalab-technical-handbook-nature-based-solutions*
[2] *https://groentool.antwerpen.be/docs/kennistabellen_public.xlsx*

santé deviennent apparents.

**Pollution sonore**
Les végétaux ou aménagements végétalisés offrent certainement la possibilité de réduire la pollution sonore par réflexion, diffraction, diffusion ou absorption d'ondes sonores (Partie 1 Ch 3.3.2). L'effet est très variable dans l'espace. Par exemple une rangée d'arbres dont la couronne est assez développée dans une rue canyon a un effet légèrement négatif pour les personnes se trouvant sous un arbre mais un effet positif au niveau des façades au-dessus de la couronne. Les mesures de protection telles que les haies et les rangées d'arbres sont les plus efficaces ; cette efficacité sera d'autant plus grande que les troncs sont gros et que la plantation est dense et large. Si la source sonore est située à proximité du récepteur, leur impact sera néanmoins limité. Lorsque le sol est recouvert d'herbe ou d'une autre végétation herbacée, cela peut provoquer une porosité supplémentaire et une dispersion. La diffusion des ondes sonores va augmenter l'interaction des ondes avec le sol, de sorte qu'une plus grande partie du son sera absorbée (Partie 1 Ch 3.3.2). Ce n'est cependant pas le cas si le sol est mouillé. Dans la littérature scientifique, des effets jusqu'à un maximum de 3 dBa sont rapportés sur les haies et la végétation herbacée à côté des routes fréquentées (Partie 1 Ch 3.3.2).

Dans la plupart des cas, le mieux est de combiner les NBS avec des infrastructures matérielles (par exemple des murs antibruit ou des bâtiments écran) pour obtenir un effet optimal comparable à celui obtenu avec des mesures importantes de réduction du bruit à la source. Dans les 4 études de cas considérées, l'impact d'une utilisation maximale des NBS est estimé à 2,5 à 5 dBa (à titre indicatif 5 dB correspond grosso modo à une réduction d'un trafic dense dans une rue à 2 bandes par trois, (Partie 1 Ch 3.3.1) selon l'indicateur Lden. Dans le cas du Clos des Saponaires, l'utilisation de bâtiments écran permettrait d'atteindre une réduction allant jusqu'à 15 dBa. Il s'agit de réductions importantes, mais – pour les cas étudiés – généralement insuffisantes pour réduire les nuisances sonores en dessous des seuils où les problèmes de santé apparaissent. Cela nécessite généralement des mesures supplémentaires au niveau de source.

**La pollution de l'air**
Les NBS ont un impact sur la qualité de l'air local par leur effet filtrant (dépôt, adsorption par la cuticule, éventuellement capture de polluants gazeux par les stomates) et par leur influence sur la circulation de l'air (Partie 1 Ch 3.3.2). La contribution de la végétation au filtrage des composants polluants dépend du type de végétation (et de la saison), du type de pollution, de l'emplacement et de l'implantation de la végétation. De tous les types de végétation, les arbres sont les plus efficaces pour filtrer l'air, par ordre d'efficacité décroissante, suivis respectivement par les arbustes, les plantes herbacées et l'herbe. Les conifères ou les feuillus à petites feuilles obtiennent les meilleurs résultats pour permettre aux matières particulaires de s'adsorber (plus grande surface). Les arbres à feuilles caduques (lorsqu'ils portent des feuilles) obtiennent de meilleurs résultats que les conifères pour l'absorption de polluants gazeux.

Les éléments verts peuvent former un tampon entre la source et le récepteur (par exemple lorsqu'ils sont plantés le long de voiries à circulation dense ou d'industries) mais ils peuvent également aggraver la situation localement, par exemple en empêchant la ventilation (en particulier dans les rues étroites avec beaucoup de trafic) et donc l'évacuation et la dilution des polluants. Des études de cas dans la littérature scientifique montrent que les mesures vertes peuvent réduire la contribution des émissions locales aux concentrations de polluants de 15 à 20% (Partie 1 Ch 3.3.2).

Dans certains cas, comme c'était le cas pour le Clos des Saponaires, il est avantageux de combiner les NBS avec des infrastructures matérielles (par exemple des bâtiments écran) pour obtenir un effet optimal. Dans les 4 études de cas considérées, l'impact d'une utilisation optimale des NBS est estimé permettre une réduction de 6 à 11% des concentrations totales en $NO_2$, voire 20 à 42% de la contribution locale à la pollution en NO2. Néanmoins, même si ces baisses ne sont pas négligeables, ces mesures type NBS ne permettent généralement pas de réduire la pollution de l'air à un niveau acceptable et sont toujours subordonnées à des mesures visant à réduire l'émission des polluants à la source, en particulier via une réduction significative du trafic motorisé.

En conclusion de cette étude, un cadre d'évaluation simple a été élaboré pour la mise en oeuvre de NBS dans le contexte bruxellois. Le but de ce cadre est de proposer une approche qui permette d'intégrer, pour des cas concrets d'aménagements urbains, une réflexion sur le recours à des NBS pour contribuer à éviter / résoudre une problématique particulière. Un certain nombre de recommandations générales sont également formulées:

- L'impact de NBS dépend du contexte et varie dans l'espace. Les effets et interactions avec l'environnement sont complexes et dépendent fortement du type de végétation, de l'emplacement, de la taille, etc. Notamment dans le domaine de la qualité de l'air (dépôt des polluants et circulation de l'air) et du bruit (réflexion, diffraction, diffusion et absorption) différents effets interagissent l'un avec l'un l'autre. C'est pourquoi il est important que chaque cas soit bien réfléchi et, si possible, de faire appel à des experts thématiques afin d'effectuer des modélisations complémentaires. Il est aussi conseillé d'étudier les différents aspects des nuisances à différentes échelles.
- Cette étude démontre clairement l'importance de combiner différentes NBS et de les appliquer dans des zones contiguës aussi larges que possible, afin d'obtenir un impact maximal.
- Outre le domaine public, il est également important d'activer et de convaincre le domaine privé (citoyens, entreprises) d'implémenter des NBS (façades et toitures vertes par exemple).
- Dans un contexte urbain, l'aspect spatial des NBS et leur impact potentiel sont fortement liés à l'infrastructure de mobilité, qui - à son tour - est fortement liée au bruit local et à la pollution atmosphérique. Il est donc préférable d'impliquer un expert en mobilité lorsqu'on envisage le recours à des mesures de type NBS lors d'un projet d'aménagement urbain.
- L'exemple du clos des Saponaires a montré que la localisation de certains quartiers expose ses habitants à des niveaux très élevés de nuisances sonores et de pollution de l'air, qu'il est difficile - voire impossible - de réduire à un niveau plus acceptable à l'aide de NBS. Des situations d'expositions aussi élevées devraient avant tout être évitées en faisant d'autres choix en termes d'architecture / d'aménagement urbain (construire des artères de circulation plus éloignées, ajuster l'orientation / hauteur des bâtiments, implanter des bâtiments écrans,…).
- Spécifiquement pour les rues canyons, les points d'attention suivants ressortent de cette étude:
    - Les réflexions d'aménagement doivent prendre si possible en compte le fait que lorsque les vents dominants sont perpendiculaires à l'axe de la rue,  les façades sous le vent sont plus exposées à la pollution de l'air et au bruit ;
    - Lors de la plantation d'arbres, il est préférable d'assurer que ceux-ci n'entravent pas trop la ventilation locale, afin de ne pas bloquer la pollution de l'air sous les couronnes. C'est pourquoi il est parfois opportun de placer les arbres d'un seul côté de la route plutôt que des deux côtés. Il est préférable de choisir des arbres avec une structure de canopée ouverte. Les arbres avec une structure de branche désordonnée absorberont mieux la poussière fine ;
    - Lors du choix du côté où planter ces arbres, il est préférable de choisir le côté nord (si la rue est orientée est-ouest) car les bâtiments du côté sud fournissent déjà de l'ombre aux heures les plus chaudes de la journée ;
    - Les feuillus sont préférables aux conifères, car en perdant leurs feuilles en hiver ils entravent moins la ventilation et permettent au soleil de chauffer la rue et les bâtiments sous-jacents ;
    - La combinaison d'arbres avec un sous-bois herbacé et des arbustes permet d'avoir un feuillage efficace (filtre) sur les différents niveaux;
    - La végétation de façade est efficace pour réduire le bruit à l'arrière des bâtiments dans les rues canyons, car il empêche la réflexion du son entre les façades côté rue.

Cette étude démontre que les NBS ont la capacité de contribuer de façon importante à la résolution de problèmes locaux liés au stress thermique, à la qualité de l'air et à la pollution sonore. Ces aménagement d'espaces verts et bleus peuvent en outre avoir des impacts positifs en terme de biodiversité, de lutte contre les inondations, d'embellissement de la ville ainsi que sur le plan social (bien-être , espaces de rencontre , activité de sport et loisir, etc.). Ce ne sont bien sûr pas des solutions miracles et, dans certains cas, l'effet des NBS est limité voire très limité. Nous tenons à souligner une fois de plus que les chiffres d'impact mentionnés sont très variables selon le contexte car chaque cas est différent (intensité du trafic routier, largeur de la rue, hauteur des bâtiments, orientation, implantation dans la ville, relief, ...). Cela a comme conséquence que l'impact des NBS est variable dans l'espace et qu'en cas d'incertitude, il est préférable de consulter un expert et / ou d'effectuer une modélisation supplémentaire.

# DEEL 1

# LITERATUURSTUDIE

# 1 METHODOLOGIE

De hiernavolgende literatuurstudie werd gebaseerd op verschillende bronnen die terug te vinden zijn in de bibliografie van deze studie. Bij de opbouw van het rapport dienden volgende referenties als inspiratie:

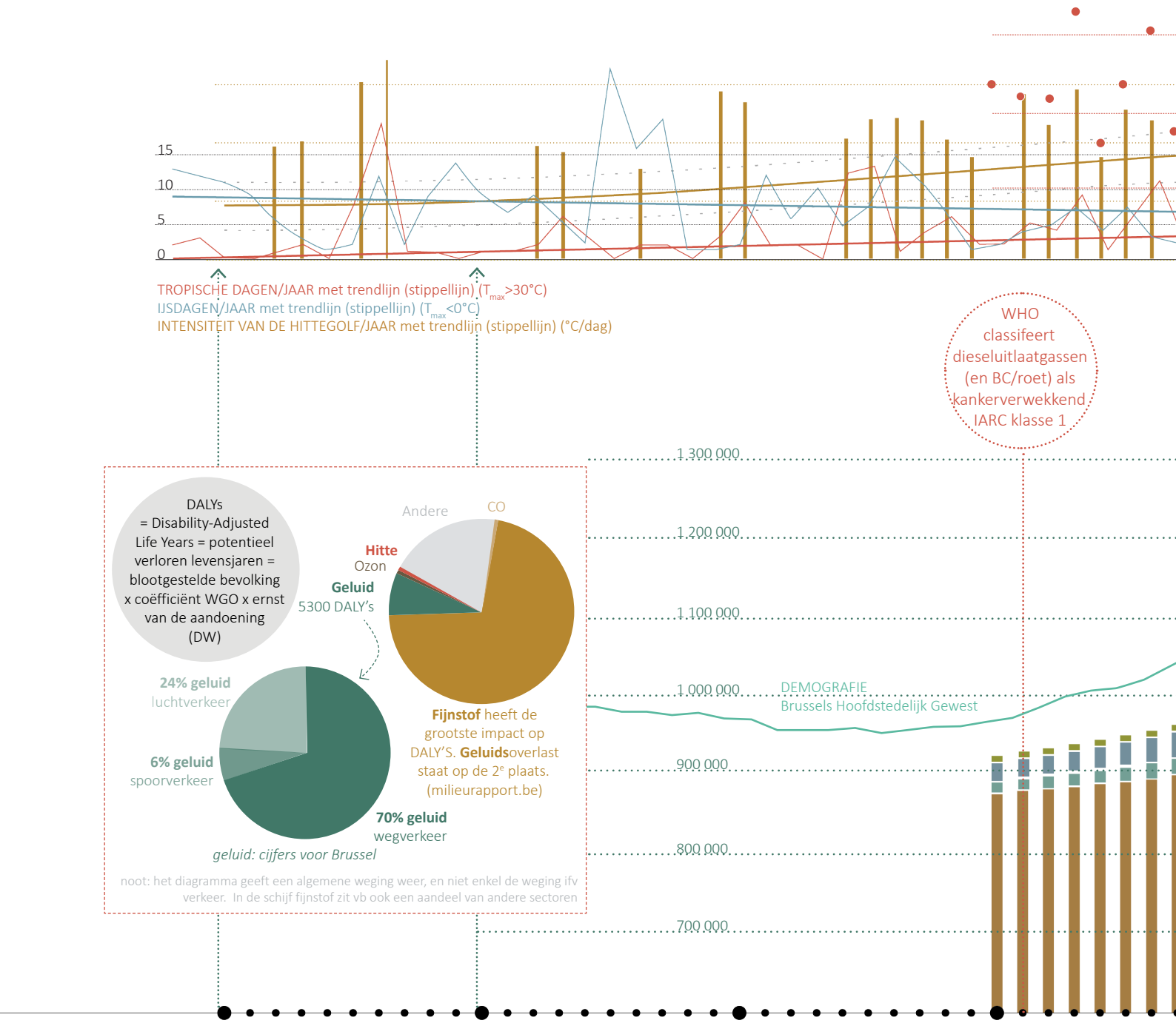
1 Nature-Based Solutions Handbook (Somarakis et al., 2019): een recent rapport dat werd opgemaakt in het kader van het horizon 2020 ThinkNature project[1]. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste en meest recente kennis omtrent Nature-based solutions (NBS). Dit rapport geeft een goed al-gemeen beeld van NBS en hoe ze kunnen worden ingezet op verschillende niveaus.

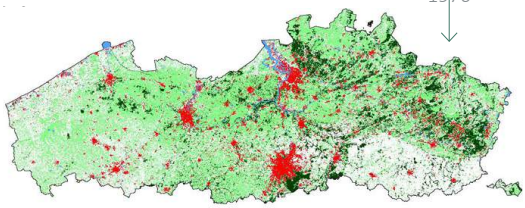
2 UNALAB technisch handboek voor Nature-based solutions (UNaLab, 2020): het Urban Nature Labs (UNALAB) project[2] wordt gefinancierd door de Europese unie en valt binnen horizon 2020. Het project streeft naar de ontwikkeling van slimme, inclusieve, veerkrachtige en duurzame steden door gebruik te maken van nature-based solution. Het technisch handboek werd op 17 februari 2020 vrijgegeven en wordt nog ver-der aangevuld in latere fases van het UNALAB project, het is dus een levend document. Het bevat de meest recente technische informatie omtrent verschillende potentiële nature-based solutions. Het handboek bevat goede voorbeelden uit de praktijk en onderbouwd deze ook met de nodige cijfers.

3 Ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen (Depauw et al., 2018): dit rapport werd opgemaakt in opdracht van Departement Omgeving (Vlaamse overheid). Het onderzoek had als doel om inzicht te krijgen in de strategieën om via ruimtelijk beleid en ruimtelijke inrichting de blootstelling van de bevolking aan omgevingslawaai, luchtverontreiniging en hittestress en de invloed op gezondheid te beperken in de stedelijke omgeving. Hoewel het rapport werd opgemaakt in opdracht van de Vlaamse overheid zijn de bevindingen ook van toepassing voor de Brusselse context. Het is één van de meest recente naslagwerken dat samenvat welke maatregelen steden en gemeenten kunnen nemen om de leefbaarheid te verbeteren. De focus ligt niet enkel op natuurlijke oplossingen, maar deze zijn wel deel van het rapport.

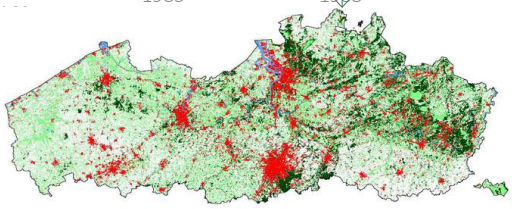
4 Uitwerken van een aanpak om vegetatiestructuren in te zetten met het oog op de verbetering van het stedelijk leefklimaat (Vranckx et al., 2016): dit is een literatuuroverzicht dat werd opgemaakt in kader van de ontwikkeling van de groentool[3] voor de stad Antwerpen. Het overzicht focust onder andere op de invloed van vegetatie op het stedelijke klimaat, luchtverontreiniging en geluidsoverlast. Deze informatie werd vervolgens doorvertaald in een groentool die inzicht geeft in de effecten van groen op de leefomgeving in functie van luchtkwaliteit, hittestress, waterhuishouding, geluidsperceptie, biodiversiteit en CO2-opname.

[1] *https://platform.think-nature.eu/*
[2] *https://unalab.eu/*
[3] *https://groentool.antwerpen.be/*

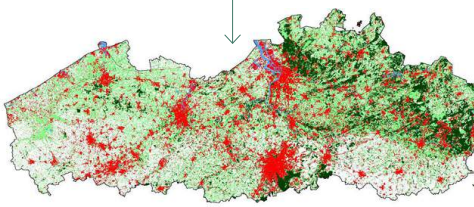


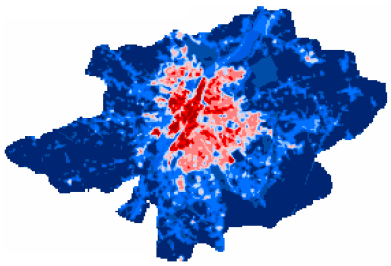
1976 - 4 à 5 % van Vlaanderen en Brussel verhard



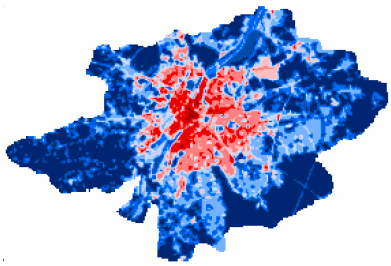
1988- 5 à 6 % van Vlaanderen en Brussel verhard



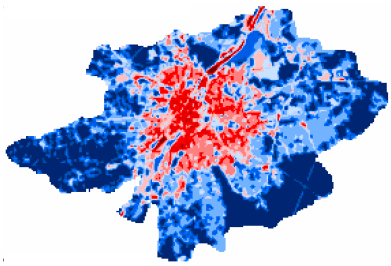
2000- 9 à 10 % van Vlaanderen en Brussel verhard



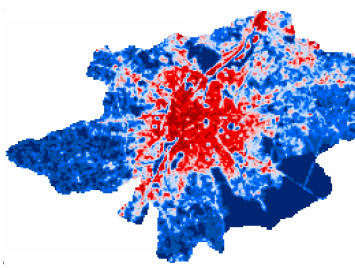
1955 - 18% van het Brussel Hoofdstedelijk Gewest verhard



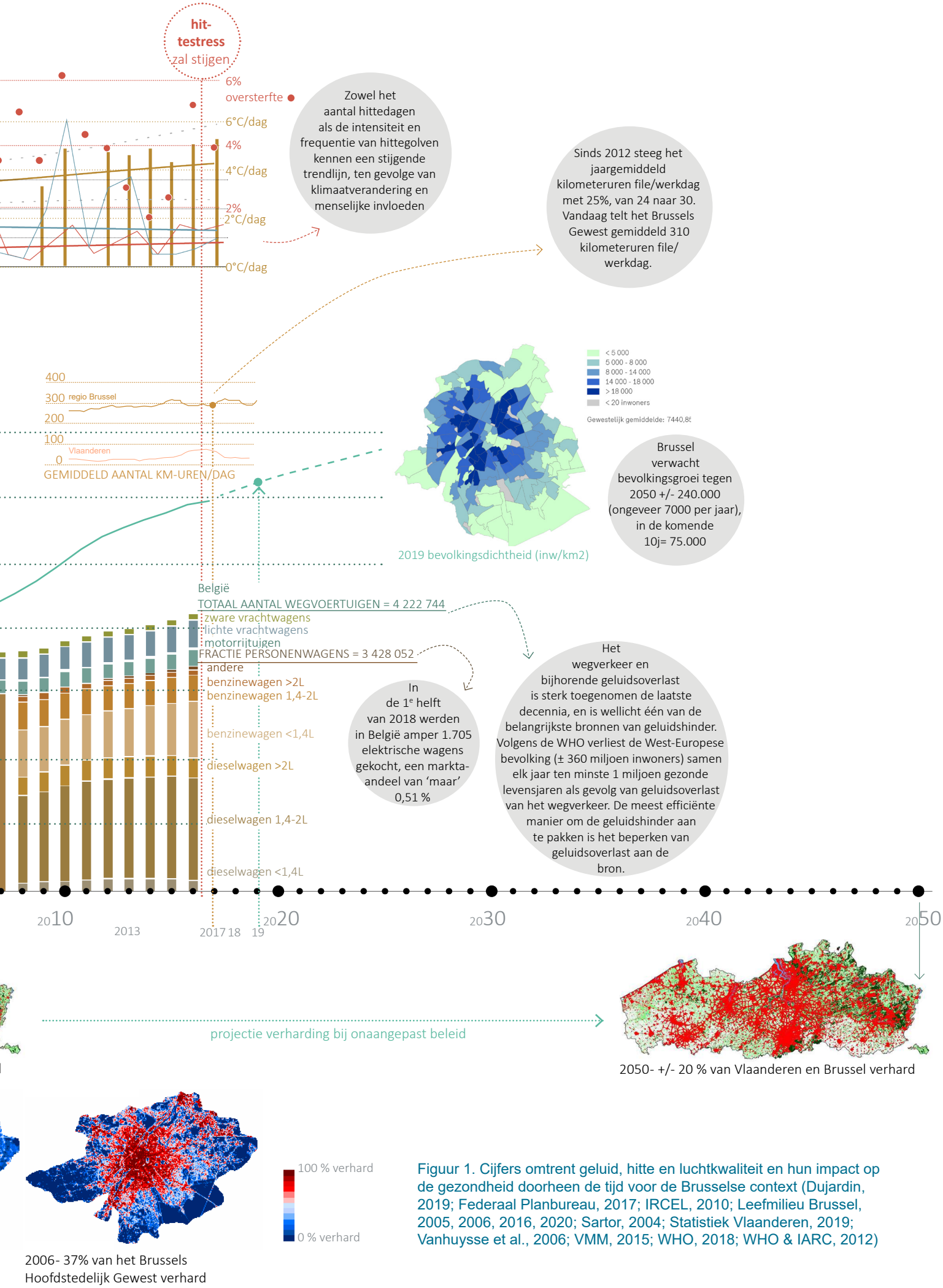
1970 - 26% van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest verhard



1985- 31% van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest verhard



1993- 34% van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest verhad




Figuur 1. Cijfers omtrent geluid, hitte en luchtkwaliteit en hun impact op de gezondheid doorheen de tijd voor de Brusselse context (Dujardin, 2019; Federaal Planbureau, 2017; IRCEL, 2010; Leefmilieu Brussel, 2005, 2006, 2016, 2020; Sartor, 2004; Statistiek Vlaanderen, 2019; Vanhuysse et al., 2006; VMM, 2015; WHO, 2018; WHO & IARC, 2012)

# 2 INLEIDING

Nature-based solutions zijn een relatief nieuw concept. In 2002 werd het concept gedefinieerd als ‘acties geïnspireerd door, ondersteund door of nagebootst uit de natuur’ (Cohen-Shacham et al., 2016; European Commission, 2015). Het is een verzameling van oplossingen om problemen met een antropogene oorsprong op een duurzame manier aan te pakken door gebruik te maken van natuurlijke elementen. Nature-based solutions streven altijd een multidisciplinaire oplossing na en proberen op verschillende vlakken een meerwaarde te bieden.

Er kunnen drie verschillende types van NBS worden onderscheiden (Somarakis et al., 2019) :

- Het beter gebruiken/inrichten van natuurlijke of beschermde ecosystemen, hierbij denken we bijvoorbeeld aan NATURA2000 projecten
- Het verbeteren van de duurzaamheid en multifunctionaliteit van beheerde ecosystemen (landbouw, kust,…)
- Het ontwerpen en beheren van nieuwe ecosystemen (stedelijke planning, watermanagement,…)

NBS hebben een multifunctionele rol waardoor er een enorm potentieel gecreëerd wordt om globale uitdagingen een hoofd te bieden. Zo werd het reeds duidelijk dat NBS een belangrijke rol spelen in de regeneratie en het verbeteren van de leefbaarheid in steden, maar ook bij het beschermen van de kustlijn en de restauratie van ecosystemen. Voornamelijk vinden ze een toepassing bij uitdagingen gerelateerd aan klimaatverandering, waterbeheersing en stedelijke planning (Bulkeley et al., 2017; Eggermont et al., 2015). Verder werd er ook al aangetoond dat er een belangrijke link bestaat tussen NBS en cultureel erfgoed. Deze link kan bijdragen aan een duurzame groei van steden, productiviteit en sociale innovatieve oplossingen. Het idee om natuurlijke oplossingen te gebruiken om globale problemen aan te pakken heeft zich gaandeweg ook vertaald in verschillende doelen en werd ook opgenomen in internationale rapporten zoals het eindrapport van de Horizon2020 experten panel over “Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities”. De belangrijkste doelen, in dit rapport beschreven, zijn (European Commission, 2015):

- Duurzame verstedelijking omdat meer dan de helft van de wereldbevolking in steden leeft en dagelijks af te rekenen krijgt met uitdagingen zoals luchtvervuiling, geluidsoverlast, etc.
- Herstel van gedegradeerde ecosystemen zoals landbouwsystemen en industriegebieden. Door de invloed van de mens zijn deze ecosystemen sterk gedegradeerd.
- Adaptatie aan en mitigatie van klimaatverandering omdat dit fenomeen een globale uitdaging is die niet enkel onze omgeving aantast, maar ook een belangrijke invloed uitoefent op de economie en de maatschappij.
- Risicomanagement en het verhogen van de veerkracht van onze omgeving, anno 2020 worden we als maatschappij blootgesteld aan diverse gevaren. Denk maar aan hittegolven, wateroverlast, extreme droogte, maar ook een slechte luchtkwaliteit etc. ... Indien we niet de juiste voorbereidingen treffen om te gaan met deze gevaren kunnen ze stuk voor stuk leiden tot grote verliezen voor de natuur en de maatschappij.

De focus van deze studie ligt voornamelijk op oplossingen in functie van duurzame verstedelijking, rekening houdend met de risico’s die Brussel beperken in haar leefbaarheid (zie Figuur 1). Deze studie legt een belangrijke link met diverse ecosysteemdiensten zoals de functie van ecosystemen omtrent de regulatie van het lokale klimaat, de luchtkwaliteit en geluidsoverlast. De juiste keuze van NBS kan echter ook bijdragen aan waterretentie, biodiversiteit, $CO_2$ sekwestratie, recreatie en een maatschappelijke bijdrage door verhogen van de leefkwaliteit.

Het Urban Nature lab bracht verschillende NBS samen in een technisch handboek[1] . Het handboek wordt regelmatig aangevuld met de laatste nieuwe NBS. Dit handboek deelt NBS op in 7 verschillende groepen:

1. Groene interventies: bij deze maatregelen ligt de focus op vergroenen door middel van straatbomen en bomen groepen in steden
2. Publieke groene ruimte waarbij zowel aandacht gaat naar parken en groene corridors
3. Verticaal groen met een brede waaier aan mogelijke maatregelen: groene gevels, vrijstaande levende muren, mosmuren en plantenconstructies.
4. Groendaken: intensieve, extensieve, slimme en wetland daken
5. Watersensitief stedelijk ontwerp[2]
6. Rivier restauratie[2]
7. Maatregelen gerelateerd aan bio-ingenieurstechnieken

In onderstaande tabel worden de NBS weergegeven in functie van de uitdagingen die ze aanpakken volgens het technisch handboek opgesteld door UNalab. Verder toelichting omtrent specifieke eigenschappen en invloed van de nature-based solutions in functie van hittestress, luchtkwaliteit en geluidsoverlast worden in volgende paragrafen uitgediept.

Tabel 1: NBS weergegeven in functie van de uitdagingen die ze aanpakken volgens het technisch handboek opgesteld door UNalab

| | Overstroming | Watertekort | Water/luchtvervuling | Hittestres | Snelle groei | Gezondheidsproblemen | Habitatverlies | Biodiversiteitsverlies | Geluidsoverlast |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Groene interventies** | | | | | | | | | |
| Straatbomen 1 kant van de straat | | | X | X | | X | X | X | X |
| Straatbomen beide kanten van de straat | | | X | X | | | X | X | X |
| Boomgroep | | | X | X | | X | X | X | X |
| **Publieke groene ruimte** | | | | | | | | | |
| Park | X | | X | X | | X | X | X | X |
| Groene assen | | | X | X | | X | X | X | X |
| **Verticaal groen** | | | | | | | | | |
| Groene gevel (zonder wortel in de grond) | | | X | X | | | X | X | |
| Groene gevel (bodem wortelend) | | | X | X | | | X | X | |
| Geluidsbarriére (bodem wortelend) | X | | X | X | | X | X | X | X |
| Vrijstaande levende muur | | | X | X | X | X | X | X | |
| Vrijstaande levende muur als geluidsbarriére | X | | X | X | | X | X | X | X |
| Mobiele groene leefruimte | | | | | | | X | | |
| Mosmuur (bv. city tree) | | | X | | | | | | |
| Levende planten contructie | (X) | | X | X | X | X | X | X | |
| **Groendaken** | | | | | | | | | |
| Intensief groendak | X | | X | | X | X | X | X | X |
| Extensief groendak | X | | X | | | X | | X | X |
| Slim dak | X | X | | | | | | X | X |
| Wetland dak | | | X | | | X | | X | |

[1] *Voor technische fiches van voorbeelden van NBS gelieve de volgende weblink te consulteren: https://unalab.eu/index.php/documents/unalab-technical-handbook-nature-based-solutions*

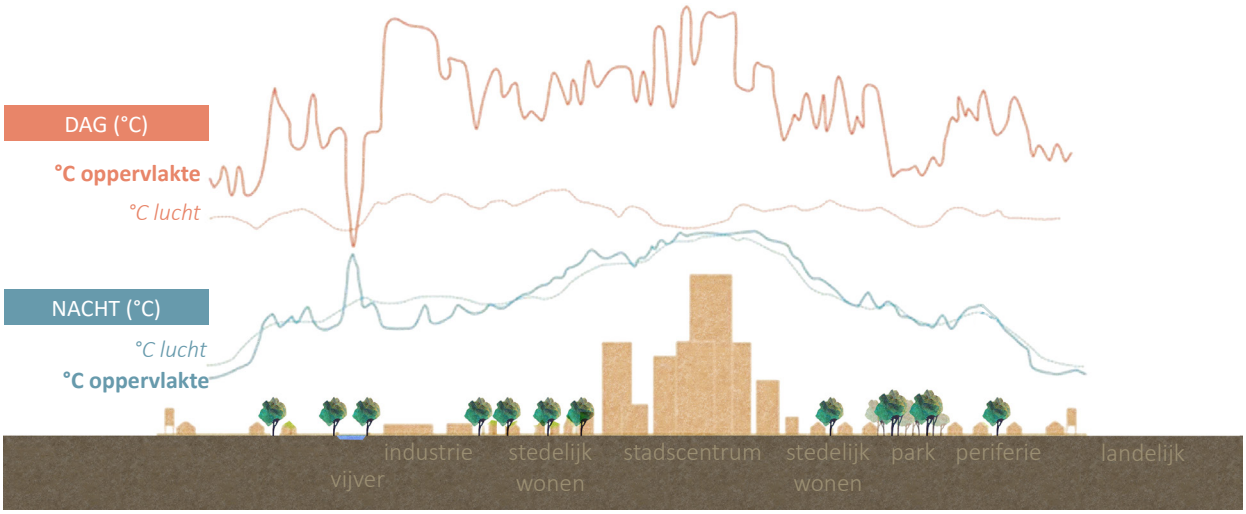
[2] *Groepen 5, 6 en 7 zijn in de context van deze studie minder relevant gezien hun focus op wateroverlast en biodiversiteit*

# 3 IMPACT

## 3.1 HITTESTRESS

### 3.1.1 Oorzaak

In de stad is het gemiddeld veel warmer dan op het platteland, we spreken hierbij van een stedelijk hitte-eiland (SHE) effect (Figuur 2). Dit fenomeen kan gedurende heel het jaar worden waargenomen maar zorgt voornamelijk voor problemen 's avonds en 's nachts tijdens de zomermaanden. In Brussel bijvoorbeeld bedraagt de grootte van het SHE 's nachts tijdens de zomer gemiddeld rond 3°C, met pieken tot 8 à 9 °C tijdens hittegolven (Lauwaet et al., 2016; Verdonck, 2018). De eigenschappen van een stad zorgen er niet enkel voor dat de tem-peratuur er 's avond en 's nachts hoger oploopt, ook overdag ondervinden mensen buitenshuis een hoger warmtebelasting. De zon warmt immers de straten, gebouwen en objecten in steden sterk op gedurende de dag (makkelijk tot 40°C en meer, zelfs op niet zo warme dagen). Door de hoge oppervlaktetemperaturen van deze materialen zal de door hen uitgezonden warmtestraling sterk toenemen en een extra stralingsbelasting creëren die duidelijk voelbaar is in een stad. Dit effect manifesteert zich voornamelijk tegen de avond en 's nachts wanneer de stad haar opgeslagen warmte probeert af te staan aan de atmosfeer. Door de lage sky view factor, kan echter een beperkt percentage van de opgenomen warmte weer worden afgestaan. De overige warmte blijft gevangen in het stedelijk weefsel en zorgt zo voor warme nachten gekarakteriseerd door hitte-stress.




*(Van Wetten, 2015; Voogt, 2000)*

Figuur 2. Grafische voorstelling van het Stedelijk Hitte Eiland Effect (SHE) overdag en 's nachts

De mate van hittestress wordt bepaald door (1) klimatologische factoren: het aandeel directe zonnestraling, luchttemperatuur, luchtvochtigheid en wind; (2) omgevingsfactoren: het aandeel groen, type materialen, het aandeel water en de morfologie van de stad (bv. smalle straten met veel schaduw); (3) de fysieke toestand van de mens die zich in de stad bevind. Hittestress is daarom het grootst in steden: (1) door het veelvuldig voorkomen van verhardingen die een groot warmte-absorberend vermogen hebben, (2) door een compacte structuur waardoor de geabsorbeerde warmte zeer traag wordt afgestaan, (3) door het gebrek aan verkoelende elementen zoals groen en water en (4) door de hoge bevolkingsdichtheid en de aanwezigheid van kwetsbare doelgroepen (ouderen, jonge kinderen).

Hoge temperaturen in steden kunnen een belangrijke negatieve impact hebben op de gezondheid van de inwoners. De omgevingstemperatuur is immers één van de belangrijkste factoren die de nachtrust beïnvloeden. Hitte verstoort het slaappatroon en aangezien alle mensen nood hebben aan slaap, kan de totale negatieve impact hiervan groot zijn. Daarnaast blijkt dat er duidelijk meer ziekenhuisopnames zijn gedurende hittegol-ven. Wanneer deze opwarming langdurig is, bijvoorbeeld tijdens een hittegolf, kan dit leiden tot hitte-gerelateerde ziekten zoals krampen, flauwtes en beroertes. In extreme gevallen leidt dit zelfs tot een verhoging van de sterfte. Vooral de leeftijdsgroepen beneden 4 jaar en boven 65 jaar zijn kwetsbaar, omdat ouderen en jonge kinderen minder hitte-regulerende mechanismen hebben en vaker te kampen heeft met chronische ziektes of een slechte gezondheid. Omwille van het, hierboven beschreven, stedelijk hitte-eiland effect zullen deze negatieve effecten zich meer voordoen in steden.

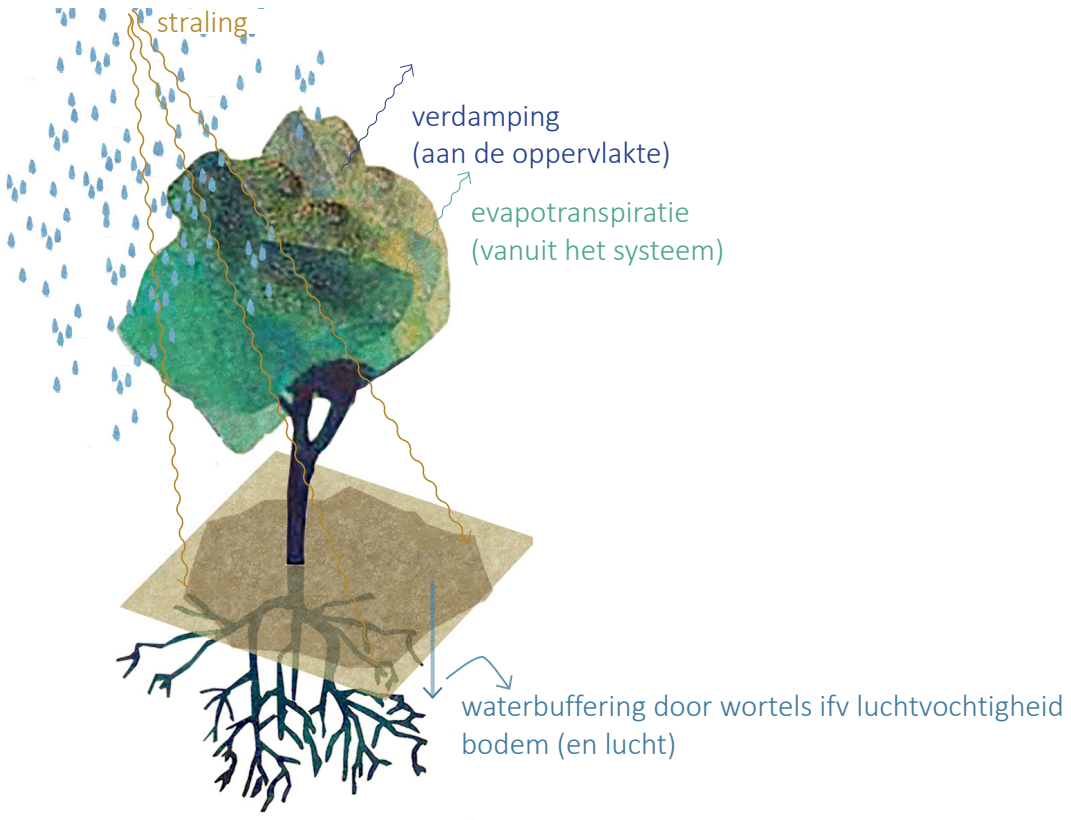
Luchttemperaturen vertellen echter niet het volledige verhaal over de hittestress die mensen in een stad ervaren. Zoals hierboven al aangehaald is ook de stralingsbelasting (zowel kortgolvig als langgolvig) een belangrijke factor in het bepalen van hittestress. Daarnaast spelen ook de luchtvochtigheid en de wind een rol in het bepalen van het 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 hittestress[1]. Ook internationaal heeft de WBGT een lange traditie als thermische comfort index, en wordt ze gebruikt door tal van instanties (Willett & 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 2).

Tabel 2: Heat stress category limits of the U.S. Army (2003)

| *Category* | *WBGT [°C]* |
|---|---|
| *1* | *≤ 25.6 - 27.7* |
| *2* | *27.8 - 29.4* |
| *3* | *29.5 - 31.0* |
| *4* | *31.1 - 32.1* |
| *5* | *≥ 32.2* |

### 3.1.2 Nature based solutions in functie van hittestress

Vegetatie en/of water in stedelijke context kan het lokale klimaat echter aanzienlijk verbeteren dankzij 2 mechanismen: (1) het beperken van invallende zonnestraling door schaduwvorming; (2) door evaporatie van de vegetatie: de verdamping vergt energie die dan niet meer gebruikt kan worden voor het opwarmen van het oppervlak en de lucht (Figuur 3).




Figuur 3 Verkoelende effect vegetatie (Depauw et al., 2018)

[1] *http://www.werk.belgie.be/defaultTab.aspx?id=39434#WBGT*

### *Het verkoelend effect van vegetatie*

Nature-based solutions voor klimaatregulatie kunnen onderverdeeld worden in verschillende types (een park, grasplein, bomen in een straat, groendaken en gevelgroen). Idealiter wordt dit groen niet alleen geconcentreerd op enkele plekken, maar gespreid langs 'klimaatassen' die de basis vormen van een geconnecteerd groen blauw netwerk. Dit netwerk moet een beter 'doorluchten' van de stad mogelijk maken en eventueel de stad verbinden met het meer koele ommeland, het kan echter ook zorgen voor corridors in functie van biodiversiteitsverbetering.

Uit metingen blijkt dat groene gebieden steeds koeler zijn dan andere urbane locaties, maar dit effect blijft wel lokaal en heeft weinig tot geen impact op de temperaturen in nabijgelegen gebieden (Harlan et al., 2006; Verdonck et al., 2019; Zoulia et al., 2009). Hoe groter het groengebied, hoe beter met andere woorden, het blijft echter noodzakelijk om ook kleine groene zones en zoveel mogelijk schaduw te implementeren: met andere woorden een geconnecteerd groen- blauw netwerk doorheen de stad. De locatie van de groengebieden speelt ook een belangrijke rol op het stadsniveau. Hierbij kunnen grote groengebieden best worden aangelegd windopwaarts van een stad, zodat de wind de koele lucht optimaal kan verspreiden in de stad. Verder bleek uit de resultaten van de hittekaartstudie voor Antwerpen (Lauwaet et al., 2013) dat schaduwvorming door bomen op het microschaal niveau erg belangrijk is voor het beperken van de lokale hittestress overdag.

Voor de kwantificering van de impact van stedelijk groen op het lokale klimaat kunnen we bouwen op de meetcampagne die VITO heeft uitgevoerd in Antwerpen tijdens de zomer van 2013 in het kader van de hittekaartstudie. Het stadspark kwam hierbij duidelijk naar voren als meest koele locatie in het stadscentrum. Op een warme zomeravond bleek de luchttemperatuur er 3°C lager te liggen dan in de nabije omgeving. Over een hele zomer bekeken was het stadspark 1°C koeler 's avonds en 's nachts (=30% van het SHE) en 0.5°C koeler overdag. De oppervlaktetemperatuur in het stadspark lag 15°C lager (=100% van het SHE) dan in de stedelijke omgeving op een warme zomerdag.

Deze cijfers komen goed overeen met de resultaten van internationaal wetenschappelijk onderzoek. In een studie voor Manchester vonden Gill et al., (2007) dat de oppervlaktetemperaturen in het stadscentrum 13°C hoger lagen dan in een nabijgelegen bos op een warme zomerdag. Uit een gevoeligheidsanalyse bleek dat een toename van 10% (op de totale oppervlakte) van de hoeveelheid groen in de stad de oppervlaktetemperaturen met 4°C zou verlagen, terwijl een afname van 10% het omgekeerde effect heeft. Wat betreft de luchttemperaturen vonden Fallmann et al., (2013) dat de inplanting van een park in Stuttgart lokaal tot 1.5°C verkoeling brengt. Het inplanten van 1 groot park bleek ook net iets efficiënter te zijn dan het inplanten van verschillende kleine parkjes met dezelfde totaaloppervlakte. Schubert & Grossman-Clarke, (2013) bestudeerden een potentiële vergroening van Berlijn. Zij kwamen tot de conclusie dat 15% vergroening overeenkomt met een luchttemperatuurdaling van 0.5°C.

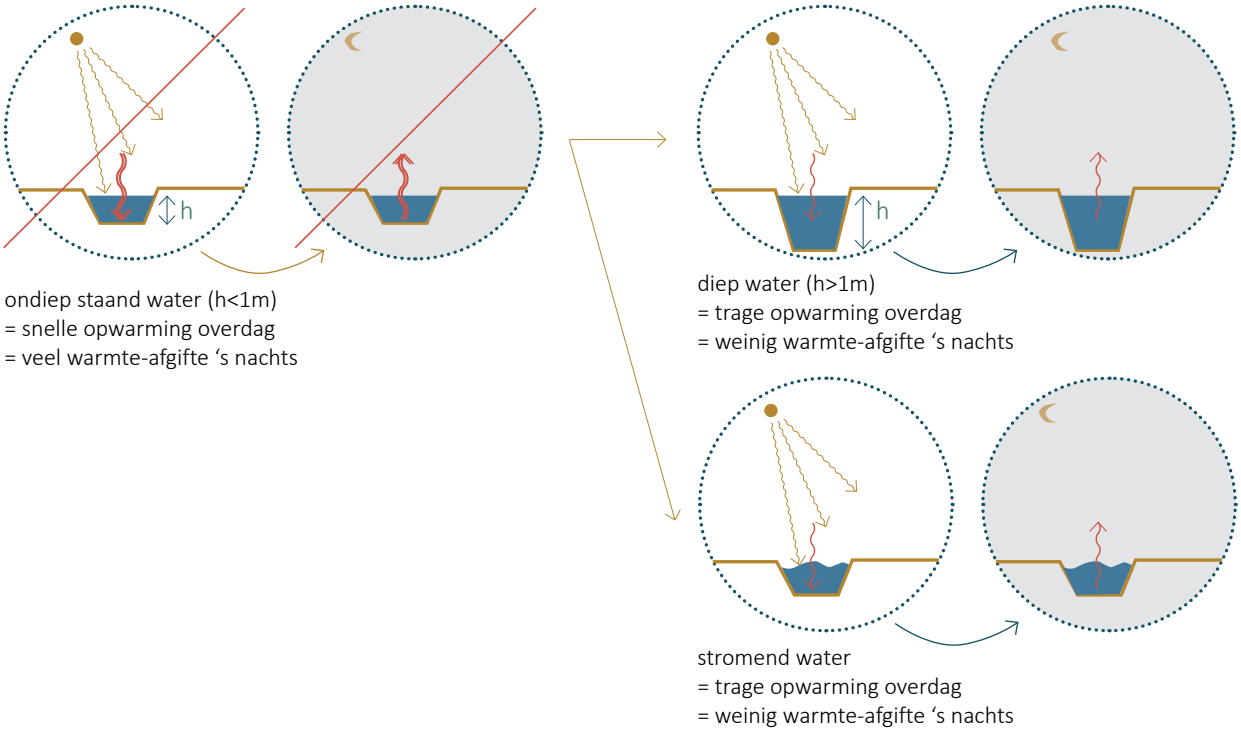
Op meer lokaal niveau onderzochten Gromke et al., (2015) het effect van bomenrijen, groengevels en groendaken op de luchttemperatuur in een straat met behulp van CFD-simulaties. Op een warme dag bleken bomenrijen het meest efficiënt de straat te verkoelen, lokaal tot 1.5°C. Gevelgroen en groendaken bleken een beperkte winst van ongeveer 0.5°C op te leveren. De auteurs merkten op dat de effecten zich enkel in de buurt van het aangebrachte groen lieten voelen, dus een stad moet al op zeer grote schaal een dicht netwerk van vegetatie aanbrengen om een significante temperatuurdaling op stadsniveau te bekomen.

### *Het verkoelend effect van water*

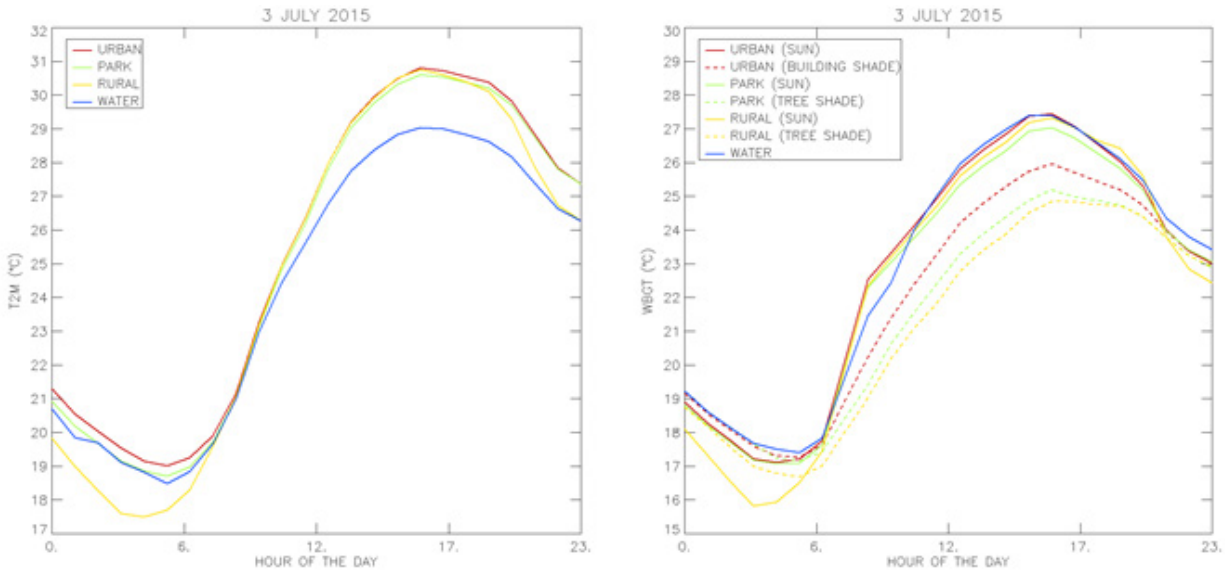
Ook waterpartijen kunnen ingezet worden om het klimaat in steden aangenamer te maken. Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt wel dat water best in combinatie met vegetatie wordt ingezet, omdat vegetatie efficiënter het water evaporeert en ook voor belangrijke schaduweffecten kan zorgen (Coutts et al., 2013). Hoe makkelijker het water kan verdampen, hoe groter het verkoelend effect. Een spuitende fontein zal bv. voor meer verkoeling zorgen dan stilstaand water (Kimoto et al., 1998). Coutts et al. (2013) schatten in dat open water windafwaarts een verkoelend effect van 1-2°C brengt. Stromend water van grote rivieren, zoals de Schelde, blijken nog efficiënter te zijn: daarbij werd aan de oever een koeling van 3-5°C gemeten. Ook uit de hittekaartstudie bleek trouwens dat de oppervlaktetemperatuur van de Schelde en de havendokken maar liefst 3°C lager lag dan in het stadscentrum van Antwerpen. Voor waterrijke grasgebieden werd een verkoelend effect van 0.5-1°C gerapporteerd. Kimoto et al. (1998) meldden dat het verkoelend effect van een spuitende fontein in Tokyo 1-2°C verkoeling gaf in de nabijgelegen windafwaartse zone. Het effect bleek duidelijk groter te zijn wanneer de fontein aan stond.

Water op straat heeft een verkoelende werking, maar enkel als het correct ingericht en gedimensioneerd is (Figuur 4). Bij ondiep water geldt: hoe breder het waterlichaam, hoe meer verdamping overdag, hoe groter het verkoelingseffect. ‘s Nachts is ondiep water erg problematische door de hoge warmtecapaciteit van water. Overdag zal het water dus verkoelend werken door het evaporatie effect, maar ‘s nachts zal de opgenomen warmte traag worden afgegeven aan de omgeving wat tot een lokaal warmte eiland kan leiden. In dit opzicht is het van belang om water zoveel mogelijk te beschaduwen en zonne-instraling te vermijden.

Dat blijkt ook uit de analyse van (Lauwaet et al., 2020) van de impact van verschillende land gebruik types op de lucht temperaturen en de WBGT waarden tijdens een typisch hete zomerdag in Gent (Figuur 5). Bij water oppervlakken is de lucht temperatuur beduidend koeler in de namiddag, maar door de ongehinderde zonnestraling en de hogere luchtvochtigheid zijn de WBGT waarden er toch niet echt koeler. Tijdens de warmste momenten van de dag is vooral schaduwvorming van doorslaggevend belang.




Figuur 4 verschil in verkoelend effect van water door het correct inrichten ervan (Depauw et al., 2018)

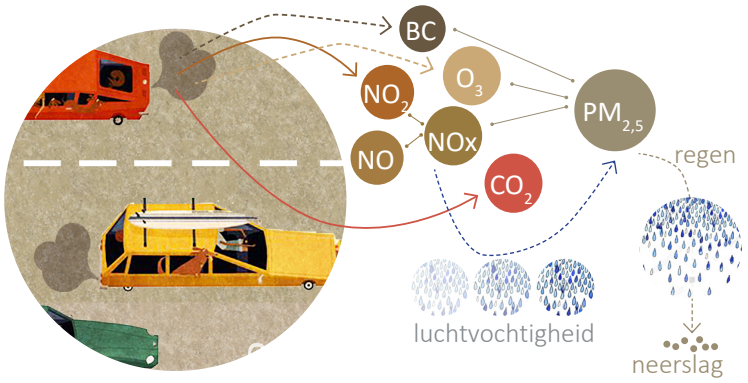



Figuur 5. De dagelijkse gang van gemodelleerde 2m lucht temperaturen (links) en WBGT (rechts) tijdens een hete zomerdag in Gent voor verschillende land gebruik klassen (Lauwaet et al., 2020)

## 3.2 LUCHTVERVUILING

### 3.2.1 Oorzaak

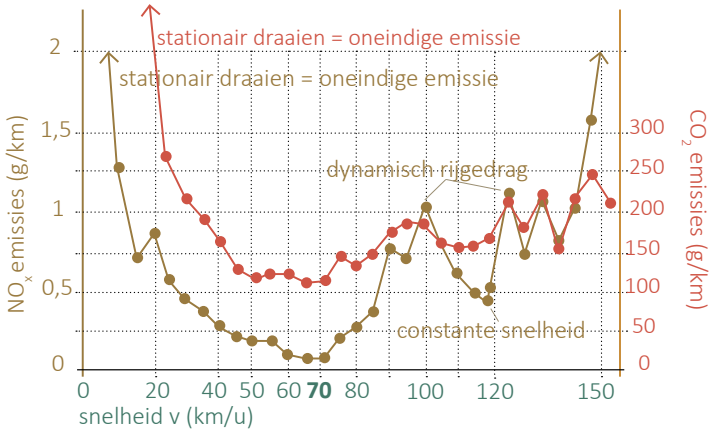
Luchtvervuiling bestaat uit verschillende componenten (Figuur 6): fijnstof, NO2 en Ozon. Fijnstof is de verzamelnaam voor alle stofdeeltjes (particulate matter) met een diameter gelijk aan of kleiner dan 10 micrometer, kortweg PM10 genoemd. Voor deze studie wordt enkel naar PM2,5 gekeken, daar het die fractie fijnstof is die het schadelijkst is voor de mens en aan de basis ligt voor ongeveer 60% van de ziektelast die veroorzaakt wordt door milieuverontreiniging (hoe kleiner de deeltjes, hoe dieper ze kunnen doordringen in de longen) (Buekers et al., 2012). Het is tevens de fractie die voor het grootste deel ontstaat door het menselijk handelen. De grootste massafractie in PM2.5 is afkomstig van (secundaire) ammoniumzouten, afkomstig van stikstof(mon)oxiden (NO) van verkeer, ammoniak (NH3) uit o.a. de bio-industrie, en stikstofdioxide SO2.




Figuur 6. Uitlaatgassen en een aantal van de belangrijkste polluenten. (IRCEL, 2020; Leefmilieu Brussel, 2018c)

Er bestaat geen veilige waarde voor PM2,5 waaronder absolute bescherming van de gezondheid kan gegarandeerd worden. Evenwel is het zo dat een studie voor Vlaanderen concludeerde dat als het PM2,5-jaargemiddelde zou dalen van 16 µg/m3 (2010) tot de gezondheidsrichtwaarde van 10 µg/m3 (Vandevenne, 2010; WHO, 2016), dat één vierde van de DALY's kan vermeden worden (Vandevenne, 2010).

NO2 is een gas dat in de atmosfeer terecht komt bij allerlei verbrandingsprocessen, zoals bijvoorbeeld in de motor van een auto, in verwarmingsketels, in de industrie of in elektriciteitscentrales. NO2 is een goede indicator voor luchtverontreiniging door het verkeer. In Brussel zou 35% van de in de lucht gemeten NO2-concentratie afkomstig zijn van buiten het Gewest en 62,65% van de NOx-uitstoot is afkomstig van wegvervoer en 5,01% van andere vervoerswijzen (spoor, rivier, offroad, gasdistributie) (Leefmilieu Brussel, 2018a, 2019). Verder draagt NO2 ook bij aan de productie van fijnstof en ozon (O3) in de atmosfeer, en andere stoffen die schadelijk zijn voor mens en natuur (VMM, 2018). Onderstaande grafiek (Figuur 7) plot de NOx emissies in functie van de snelheid van een wagen. Een personenwagen stoot heeft in zijn lage snelheden en bij stationair draaien de hoogste emissies. Bij het schakelen vertoont de grafiek een piek, en rond de 70 km/uur is de uitstoot van een personenwagen het laagst. Bij hoge maar constante snelheden zakken de NOx emissies opnieuw.




Figuur 7. NOx en CO2 emissies voor een personenwagen in functie van de snelheid. Lage en hoge snelheden hebben een hoge uitstoot; bij een snelheid van 70 km/uur is de uitstoot het laagste (Klok, 2011)

Black Carbon (BC) of zwarte koolstof, beter gekend als roet, is een fractie fijnstof die de verkeersgerelateerde luchtverontreiniging duidt. Ze is tevens de tweede grootste climate forcer: door haar zwarte kleur heeft ze een laag albedo (m.a.w. een lagere capaciteit tot reflectie en een hogere capaciteit tot absorptie van zonlicht) en daalt de reflectiviteit van wolken, de ijskappen, … wat voor opwarming zorgt. BC is als kankerverwekkend bestempeld door het WHO. De concentraties BC stijgen proportioneel in functie van de verkeersintensiteit. Er bestaat geen veilige waarde voor PM2,5 waaronder absolute bescherming van de gezondheid kan gegarandeerd worden.

NO2 is een gas dat in de atmosfeer terecht komt bij allerlei verbrandingsprocessen, zoals bijvoorbeeld in de motor van een auto, in verwarmingsketels, in de industrie of in elektriciteitscentrales. NO2 is een goede indicator voor luchtverontreiniging door het verkeer en een belangrijke precursor voor fijnstof. In Brussel zou 35% van de in de lucht gemeten NO2-concentratie afkomstig zijn van buiten het Gewest en 62,65% van de NOx-uitstoot is afkomstig van wegvervoer en 5,01% van andere vervoerswijzen (spoor, rivier, offroad, gasdistributie) (Leefmilieu Brussel, 2018a, 2019). Verder draagt NO2 ook bij aan de productie van fijnstof en ozon (O3) in de atmosfeer, en andere stoffen die schadelijk zijn voor mens en natuur (VMM, 2018). Onderstaande grafiek plot de NOx emissies in functie van de snelheid van een wagen.

Een personenwagen stoot heeft in zijn lage snelheden en bij stationair draaien de hoogste emissies. Bij het schakelen vertoont de grafiek een piek, en rond de 70 km/uur is de uitstoot van een personenwagen het laagst. Bij hoge maar constante snelheden zakken de NOx emissies opnieuw.

In de uitlaatgassen zitten tegelijk gassen die ozon produceren (stikstofdioxiden – NO2) én afbreken (stikstof-monoxide - NO). Als het verkeer stilvalt, merkt men meteen een verandering in de concentratieniveaus: er zit dan minder NO dan $NO_2$ in de omgevingslucht, met als gevolg dat er minder ozon wordt afgebroken dan geproduceerd. Zodra het verkeer weer op gang komt, stijgt de NO-concentratie en dat veroorzaakt een belangrijke daling van de hoeveelheid ozon in de lucht.

Figuur 8. Ozon productie (IRCEL, 1996, 2020)

Dit bewijst dat noodmaatregelen – zoals het stilleggen van het verkeer tijdens een ozonpiek met de bedoeling om de ozon te doen dalen – op korte termijn contraproductief werken. Als we ozonpieken in de zomer willen vermijden, is het nodig om structurele maatregelen te nemen en de uitstoot van $NO_2$ aan de bron en op lange termijn in te dijken. Dit verklaart ook waarom er op het platteland meer ozonvervuiling is dan in de stad (IRCEL, 2020).

### 3.2.2 Nature-based solutions in functie van luchtvervuiling

Enerzijds is er het filterende proces waarbij luchtverontreinigende stoffen uit de atmosfeer worden afgevangen. Anderzijds is er de impact van vegetatie op de luchtstroming zelf waarbij de windsnelheid, windrichting en turbulentie van de atmosfeer lokaal worden gewijzigd en die op hun beurt een invloed kunnen hebben op de concentraties in de atmosfeer. In het kader van het INTERREG project Functioneel Groen heeft VITO het effect van stadsgroen op de lokale luchtkwaliteit reeds uitgebreid onderzocht (Vos et al., 2013). Met behulp van CFD (Computational Fluid Dynamics) modellen werd de verspreiding van fijnstof en uitlaatgassen gemodelleerd in de aan- en afwezigheid van verscheidene soorten stadsgroen (binnenstedelijke, industriële en snelweg locaties). Algemeen kan worden gesteld dat groenelementen een zekere bufferende werking hebben wanneer ze langs belangrijke verkeers- of industriële bronnen aangeplant worden. Groenschermen zorgen voor verlaagde concentraties achter het groenscherm door enerzijds verdunning van de verontreinigde lucht en anderzijds filtering. Ook andere groenelementen zoals gevelgroen of groendaken kunnen via hun filtering een positieve bijdrage leveren aan de stedelijke luchtkwaliteit. Wanneer bomen in nauwe straten met veel verkeer worden aangeplant, kunnen ze echter ook voor een negatief effect zorgen op de luchtkwaliteit t.g.v. de verminderde ventilatie van de street canyon. Het dient echter vermeld te worden dat dit negatieve effect in de eerste plaats veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van gemotoriseerd verkeer en dat de aanwezigheid van de vegetatie slechts een secundair effect veroorzaakt. Algemeen kan worden gesteld dat de relatie tussen vegetatie en luchtkwaliteit complex is door samengaan van depositie en aerodynamische effecten en de nodige aandacht en nuancering verdient. Beide effecten worden hieronder kort beschreven.

***Het filterende effect van vegetatie***

Vegetatie filtert verschillende verontreinigende componenten uit de lucht. Zwevend fijnstof komt in contact met bladeren en takken, slaat daar op neer en zal vervolgens door de regen afspoelen naar de bodem (Pryor et al., 2008). De bladeren kunnen via de huidmondjes ook gasvormige polluenten zoals ozon en stikstofoxiden opnemen. Een waslaagje (de cuticula) op de bladeren kan door middel van adsorptie vluchtige componenten, zoals PCB's en dioxinen, opnemen. Ammoniak (NH3) wordt in de vorm van ammonium (NH4+) afgezet op de bladeren, spoelt daar bij regen af en wordt in de bodem omgezet tot salpeterzuur, waardoor de bodem verzuurt. De filterende werking van vegetatie zorgt voor een afname van de concentraties in de atmosfeer. De grootte van de afname schaalt hierbij in zekere mate met de hoeveelheid vegetatie of totaal bladoppervlak. Naaldbomen of kleinbladige loofbomen scoren daarom het beste omwille van de grotere oppervlakte om fijnstof aan te laten adsorberen. Voor de opname van gasvormige polluenten scoren loofbomen (wanneer ze bladeren dragen) beter dan naaldbomen.

De bijdrage van vegetatie aan het filteren van vervuilende componenten is afhankelijk van het type vegetatie, het type verontreiniging, de locatie en inplanting van de vegetatie (Figuur 9). Van alle vegetatietypes zijn bomen het meest effectief in het vastleggen van schadelijke stoffen, in volgorde van dalende effectiviteit gevolgd door respectievelijk heesters, kruidachtigen en gras.

| HEESTERS | | in/uit heems | $PM_{2.5}$ | $NO_2$ NO | $O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| *Amelanchier lamarckii* | Krentenboompje | u | + | + | + |
| *Berberis xfrikartii* | Zuurbes Amstelveen | i | ++ | ++ | ++ |
| *Chaenomeles* | Dwergkwee | u | + | ++ | ++ |
| *Corylus colurna* | Boomhazelaar | u | ++ | +++ | +++ |
| *Euonymus (bladverl.)* | Kardinaalsmuts | i | + | +++ | +++ |
| *Euonymus (bladhoud.)* | Kardinaalsmuts | i | ++ | + | + |
| *Hedera* | Klimop | i | ++ | ++ | ++ |
| *Ilex xmeserveae* | Blauwe hulst | i | ++ | + | + |
| *Lonicera (bladervl.)* | Struikkamperfoelie | i | + | + | |
| *Lonicera (bladhoud.)* | Struikkamperfoelie | i | ++ | ++ | ++ |
| *Mahonia* | Mahoniestruik | u | ++ | ++ | ++ |
| *Potentilla fruticosa* | Struikganzerik | u | ++ | ++ | ++ |
| *Rosa* | Stamroos | - | ++ | ++ | ++ |
| *Spiraea* | Spierstruik | u | + | ++ | ++ |

| KLIMPLANTEN | | | $PM_{2.5}$ | $NO_2$ NO | $O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| *Clematis vitalba* | Wilde bosrank | i | + | + | + |
| *Fallopia* | Bruidssluier | i | + | +++ | +++ |
| *Hedera helix* | Klimop | i | +++ | + | + |
| *Lonicera xylosteum* | Rode amperfoelie | | + | ++ | ++ |
| *Parthenocissus* | Wilde wingerd | | + | ++ | ++ |
| *Pyracantha* | Vuurdoorn | | ++ | +++ | +++ |
| *Rosa* | Klimroos | | ++ | ++ | ++ |
| *Wisteria* | Blauwe regen | | + | ++ | ++ |

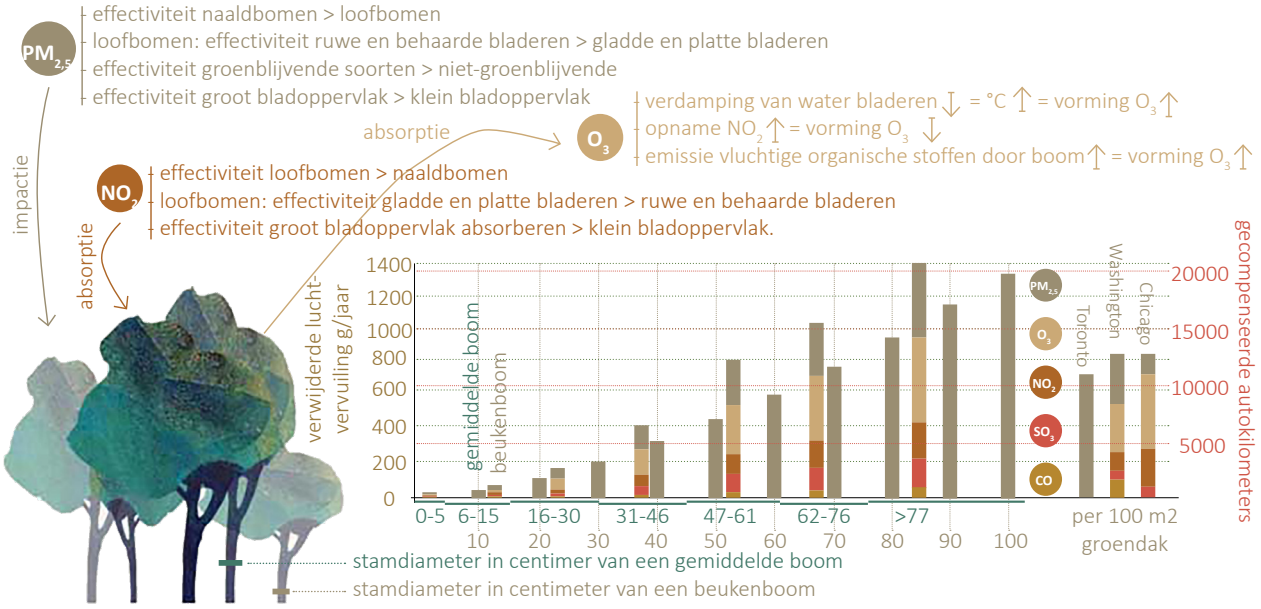
| HAGEN | | | $PM_{2.5}$ | $NO_2$ NO | $O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| *Carpinus betulus* | Haagbeuk | i | ++ | +++ | +++ |
| *Fagus sylvaticus* | Beukenhaag | i | ++ | +++ | +++ |
| *Ligustrum vulgare* | Ligusterhaag | i | ++ | +++ | +++ |

| NAALDBOMEN | | in/uit heems | $PM_{2.5}$ | $NO_2$ NO | $O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| *Ginkgo bilboa* | Japanse notenboom | | + | +++ | +++ |
| *Metasequoia glyptostroboides* | Chinese moerascipres | | +++ | + | + |
| *Pinus nigra* | Oostenrijkse den | | +++ | + | + |
| *Pinus sylvestris* | Grove den | | +++ | + | + |
| *Taxus* | Venijnboom | | +++ | + | + |

| LOOFBOMEN | | in/uit heems | $PM_{2.5}$ | $NO_2$ NO | $O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|
| *Acer platanoides* | esdoorn | u | + | +++ | +++ |
| *Acer pseudoplatanus* | Gewone esdoorn | u | + | +++ | +++ |
| *Aesculus* | Paardenkastanje | u | ++ | +++ | +++ |
| *Ailanthus altissima* | Hemelboom | u | + | +++ | +++ |
| *Alnus cordata* | Hartbladige els | u | + | +++ | +++ |
| *Alnus glutinosa* | Zwarte els | i | + | +++ | +++ |
| *Alnus xspaethii* | Els | u | ++ | +++ | +++ |
| *Betula ermanii* | Goudberk | u | ++ | +++ | +++ |
| *Betula nigra* | Zwarte berk | u | ++ | +++ | +++ |
| *Betula pendula* | Ruwe berk | i | ++ | +++ | +++ |
| *Betula utilis* | Witte himalayaberk | u | ++ | +++ | +++ |
| *Carpinus betulus* | Haagbeuk | i | ++ | +++ | +++ |
| *Crataegus xpersimilis* | Pruimbladige meidoorn | u | + | +++ | +++ |
| *Fagus sylvatica* | Beukenhaag | i | ++ | +++ | +++ |
| *Fraxinus angustifiola* | Smalbladige es | u | + | +++ | +++ |
| *Fraxinus excelsior* | Gewone es | i | + | +++ | +++ |
| *Fraxinus pennsylvanica* | Zachte es | u | + | +++ | +++ |
| *Fraxinus ornus* | Pluimes | u | ++ | +++ | +++ |
| *Gleditsia triacanthos* | Valse christusdoorn | u | ++ | +++ | +++ |
| *Koelreuteria paniculata* | Blaasjesboom | u | + | +++ | +++ |
| *Liguidambar styraciflua* | Amberboom | u | ++ | +++ | +++ |
| *Liriodendron tulipifera* | Amerikaanse tulpenboom | u | + | +++ | +++ |
| *Magnolia kobus* | Beverboom | u | + | ++ | ++ |
| *Malus sylvestris* | Wilde appelboom | i | ++ | +++ | +++ |
| *Parrotia persica* | Perzisch ijzerhout | u | ++ | + | + |
| *Platanus xhispanica* | Plataan | u | ++ | +++ | +++ |
| *Populus* | Populier | - | ++ | +++ | +++ |
| *Prunus persica* | Perzikboom | u | ++ | +++ | +++ |
| *Pyrus calleryana* | Sierpeer | u | + | +++ | +++ |
| *Quercus palustris* | Moeraseik | u | ++ | +++ | +++ |
| *Quercus robur* | Zomereik | i | + | +++ | +++ |
| *Salix alba* | Schietwilg | i | ++ | +++ | +++ |
| *Sophora japonica* | Honingboom | u | ++ | +++ | +++ |
| *Sorbus* | Lijsterbes | i | ++ | +++ | +++ |
| *Tilia cordata* | Winterlinde | i | ++ | +++ | +++ |
| *Tilia europaea* | Hollandse linde | u | + | +++ | +++ |
| *Ulmus* | Iep | - | ++ | +++ | +++ |

Figuur 9. Deze figuur toont de filterende werking van vegetatie voor verschillende polluenten, relatief ten opzichte van elkaar afgewogen (1 tot 3 plusjes). (Donovan et al., 2005; Nowak et al., 2002; Samson et al., 2010; Stewart et al., 2002; Takahashi et al., 2005)

Onderstaande infographic (Figuur 10) plot de verwijderde luchtvervuiling (PM2.5, O3, NO2, SO3 en CO) in gram per jaar in functie van de stamdiameter op borsthoogte (DBH) van een gemiddelde boom (enkel fijnstof) en een beukenboom. In het rood zet de infographic tevens de luchtvervuiling veroorzaakt door auto's uit die door de filtering kunnen gecompenseerd worden. Een gemiddelde boom met DBH tussen 31 en 46 centimeter kan dus tot 300 gram fijnstof per jaar uit de lucht halen, en compenseert daarmee het fijnstof geproduceerd door 5000 gereden autokilometers. Voor een beuk is de berekening specifieker gemaakt en kan er per polluent nagegaan worden welke fractie gezuiverd wordt. De grafiek wijst ook op het feit dat 1 beukenboom met DBH 80 cm meer gram vervuilde lucht kan zuiveren als 100 vierkante meter groendak in Chicago. Er zit echter wel een verschil in de soort luchtverontreiniging die wordt afgevangen. Let wel: het aantal kilometers dat per jaar doorheen een straat gereden wordt, ligt nog steeds tientallen malen hoger dan de gecompenseerde kilometers per jaar die een boom kan zuiveren. Bomen zijn efficiënt, maar uitstoot aan de bron reduceren blijft de meest succesvolle maatregel.



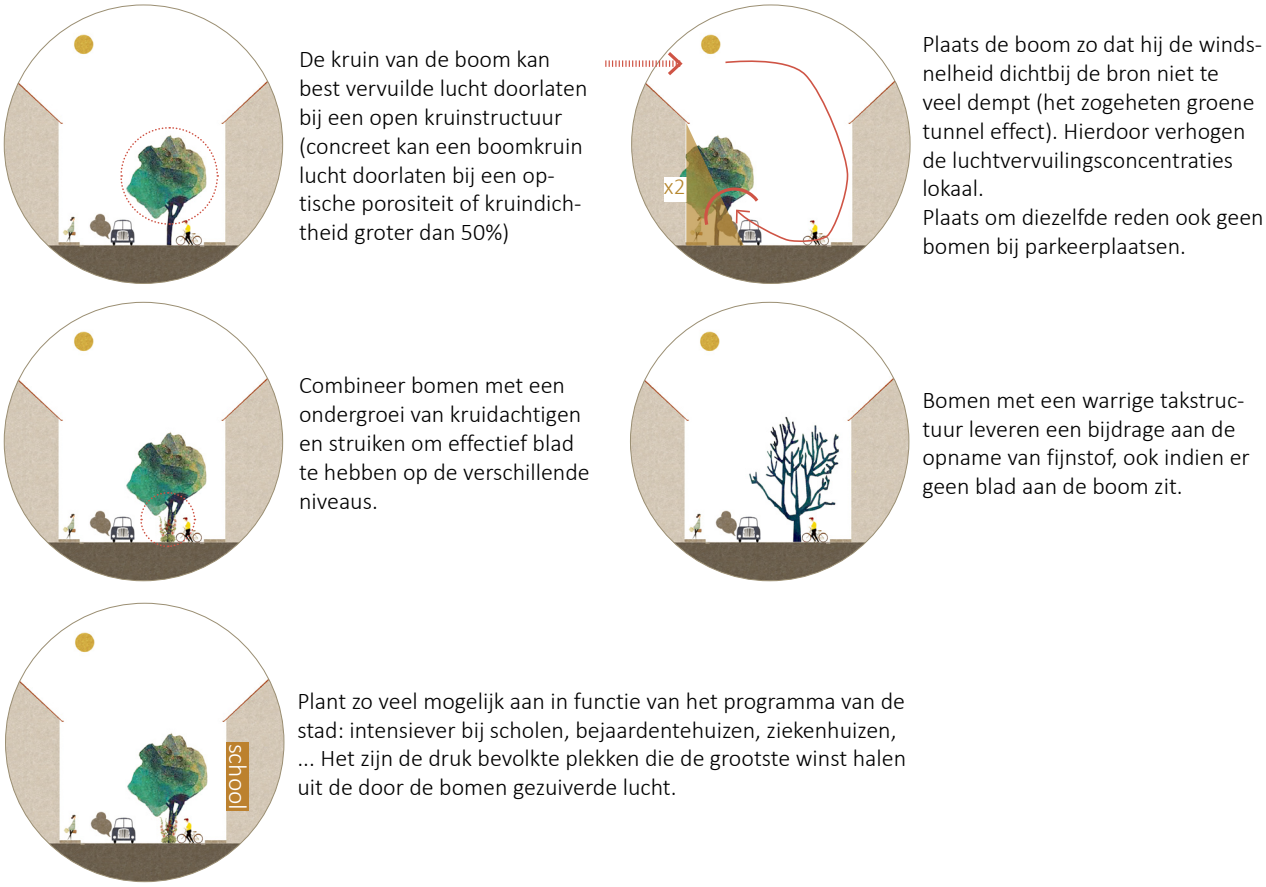

Figuur 10. De figuur toont enerzijds de filterende werking van bomen in functie van fijnstof, NO2 en O3, anderzijds toont de grafiek hoeveel fijn stof per jaar (linker verticale as) een boom kan afvangen in relatie tot DBH van een beuk (grijsgroene waarden op de horizontale as) en een gemiddelde boom (blauwgroene waarden op de horizontale as) met bijhorende gecompenseerde autokilometers op de rechter verticale as. (Samson et al., 2010; Van Wetten, 2015)

De impact van filtering op heel korte afstanden wordt begroot op één tot enkele percenten (Litschke & Kuttler, 2008); 2% lijkt een redelijke waarde. Verderaf van de boom neemt de impact (exponentieel) af (Baldauf et al., 2008; Lefebvre & Vranckx, 2013). Wanneer een boom in een street canyon wordt geplaatst, treedt hetzelfde effect op, de boom vangt immers ook deeltjes en gassen af.

### *Het aerodynamisch effect van vegetatie*

Vegetatie, en dan vooral bomen, hebben een belangrijke lokale invloed op de luchtstroming rondom de kruin. De windsnelheid, de windrichting en turbulentie worden in belangrijke mate beïnvloed (Buccolieri et al., 2009; Gromke & Ruck, 2012; Vos et al., 2013). Deze lokale verandering van de atmosfeer kan een belangrijke impact hebben op de concentraties van verontreinigende stoffen in de atmosfeer, zeker wanneer de vegetatie zich in de onmiddellijke omgeving van een bron bevindt. Het meest bekende en uitgesproken effect treed op in zogenaamde street canyons met druk verkeer waar bomen met een dicht bladerdak de ventilatie van de street canyon belemmeren en lokaal een concentratieverhoging veroorzaken. Deze verhoging van de verontreiniging bedraagt typisch gemiddeld 15%, afhankelijk van de dimensies van de street canyon en de windrichting, maar manifesteert zich enkel in de street canyon (Buccolieri et al., 2009; Gromke & Ruck, 2007, 2008, 2012; Vos et al., 2013).

De aerodynamische effecten van vegetatie hebben een positieve bijdrage wanneer dit zorgt voor een afscherming van emissies. Een groenbuffer langs bijvoorbeeld een drukke verkeersader schermt de omgeving deels af van emissies van polluenten. De luchtstroming over de groenbuffer zorgt er voor dat de polluent concentraties dalen door snellere menging met hogere (en zuivere) luchtlagen. Deze effecten zijn onder meer bestudeerd in het Innovatie Programma Luchtkwaliteit (de Vries & Kuypers, 2008) en recente CFD-studies uitgevoerd door VITO. Uit case-studies blijkt dat groenbuffers de bijdrage van de lokale emissies aan polluentconcentraties met maximaal 15 à 20% kunnen laten afnemen. Dit effect wordt hoofdzakelijk teweeg gebracht door de invloed van vegetatie op de luchtstroming en in mindere mate het filterend effect zoals eerder in dit hoofdstuk werd aangegeven (de Vries & Kuypers, 2008). Het aanplanten van groen is dus voordelig voor de luchtkwaliteit als het op een correcte manier gebeurt en ten aller tijde windspoeling blijft garanderen. Figuur 11 duidt een aantal vuistregels.

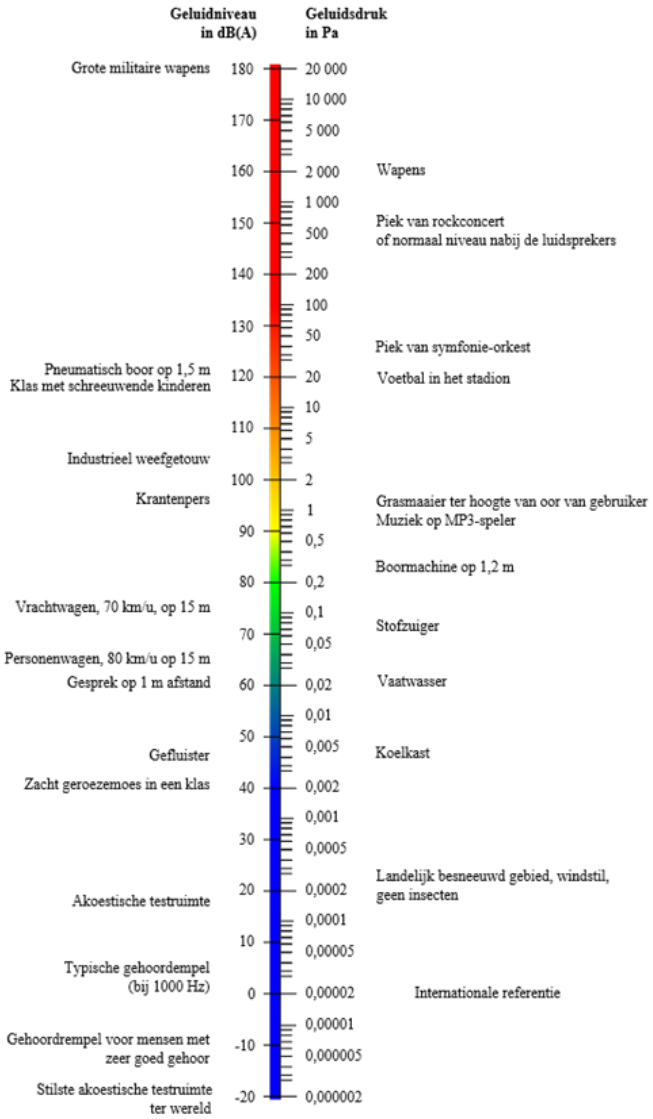



Figuur 11. Samenvattende vuistregels omtrent het aanplanten van een boom in een straat (Samson et al., 2010; Van Wetten, 2015)

## 3.3 GELUIDSOVERLAST

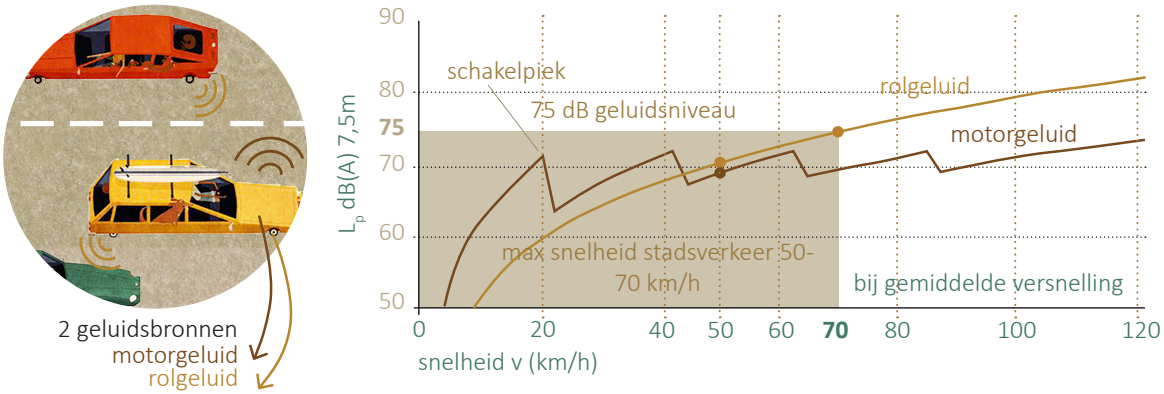
### 3.3.1 Oorzaak

Het geluidsniveau wordt gedefinieerd als de logaritmische verhouding van de absolute waarde van de geluidsintensiteit en een referentiewaarde (de gehoordrempel). Het geluidniveau wordt uitgedrukt in decibel (dB) en volgt een logaritmische schaal (Figuur 12). Het geluidsniveau in een normale omgeving varieert tussen ca. 30 en 120 decibel.




Figuur 12. Decibel-schaal met typische voorbeelden. Bron: Wikipedia.

Geluid afkomstig van verkeer heeft twee bronnen: het motorgeluid en het rolgeluid afkomstig van de banden over het wegdek. Onderstaande grafiek beschrijft de verhouding tussen het motorgeluid en het rolgeluid op dicht asfalt, waar bij het duidelijk is dat tot snelheden van ongeveer 43 km/uur het motorgeluid samenvalt met het rolgeluid en dit aan een waarde van ongeveer 70 dB.




Figuur 13. Ogenblikkelijk geluidsniveau afkomstig van motorgeluid en rolgeluid in functie van de snelheid van een voertuig. Vanaf 40 km/h overheerst het rolgeluid (Leefmilieu Brussel, 2018b; Nijland, 2004).

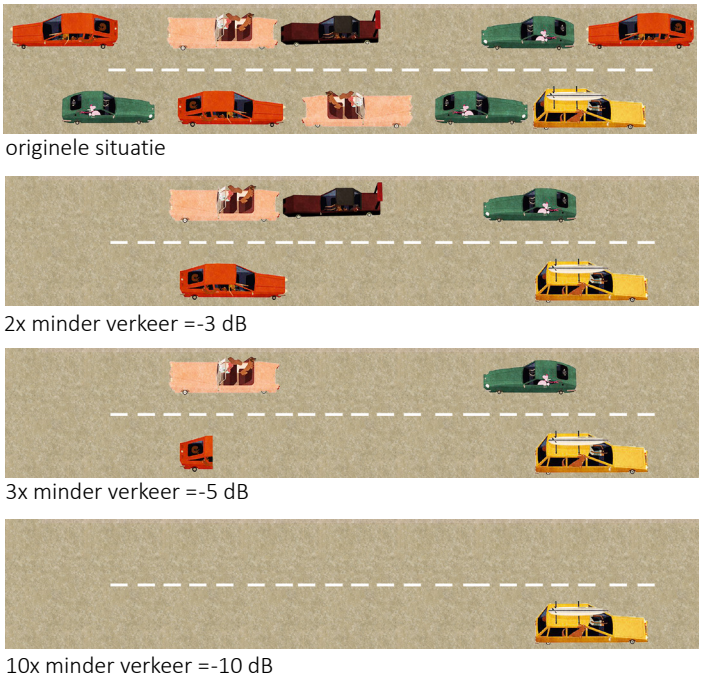
Beperking van geluid bij de bron is veruit de meest kostenefficiënte maatregel in de strijd tegen het wegverkeerslawaai. Wanneer men de geluidsproductie wil beperken aan de bron, moet men dus op zowel rol- als motorgeluid ingrijpen, waarbij de omstandigheden (snelheid, rijstijl) bepalen op welke component de grootste geluidswinst te behalen is (LNE, 2010). Naast de beperking van de geluidsbron zijn er andere invloeden die een impact hebben op het geluidsniveau: de verkeersintensiteit en straatinrichting, afstand tot de bron en de meteorologische omstandigheden.

### *De invloed van verkeersintensiteit*

Het personenauto-equivalent (PAE) geeft aan hoeveel ruimte een gemotoriseerd voertuig inneemt in vergelijking met een personenauto. Zo staat een auto voor 1, een bestelwagen voor 1, een vrachtwagen voor 2 en een bus voor 2. Stel dat per uur elk van deze voertuigen één keer door de straat passeert, dan heeft die straat een waarde van 6 pae/u. Onderzoek van Crow, (2017) toont aan dat vanaf zo'n 250 gemotoriseerde voertuigen per uur het minder aangenaam wordt om een gesprek te voeren op het voetpad, waardoor de sociale samenhang in een straat vermindert. Het druktegevoel hangt ook af van de weginrichting en de breedte van een straat. Hoe breder, hoe meer je straat aankan. Onderstaande tabel geeft aan hoe we pae kunnen vertalen naar de drukte van een straat. In Figuur 14 wordt de afname van het aantal decibels weergegeven in functie van de verkeersintensiteit.

Tabel 3: Verkeersdrukte uitgedrukt in pae

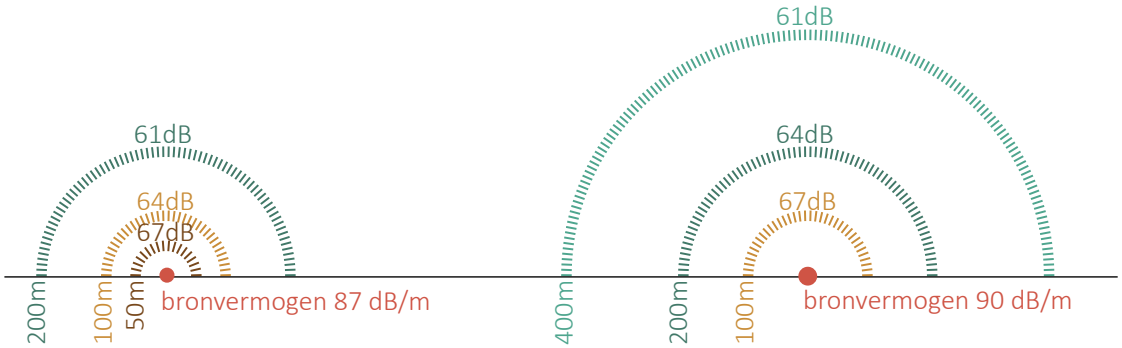
| | |
|---|---|
| < 125 pae/u | zeer weinig gemotoriseerd verkeer |
| 125 - 250 pae/u | weinig gemotoriserd verkeer |
| 250 - 500 pae/u | gemiddeld gemotoriseerd verkeer |
| 500 - 1 000 pae/u | veel gemotoriseerd |
| > 1 000 pae/u | zeer veel gemotoriseerd verkeer |




Figuur 14. Invloed van verkeersintensiteit op geluidsoverlast (gebaseerd op (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2018)

***De invloed van de afstand tot de bron***

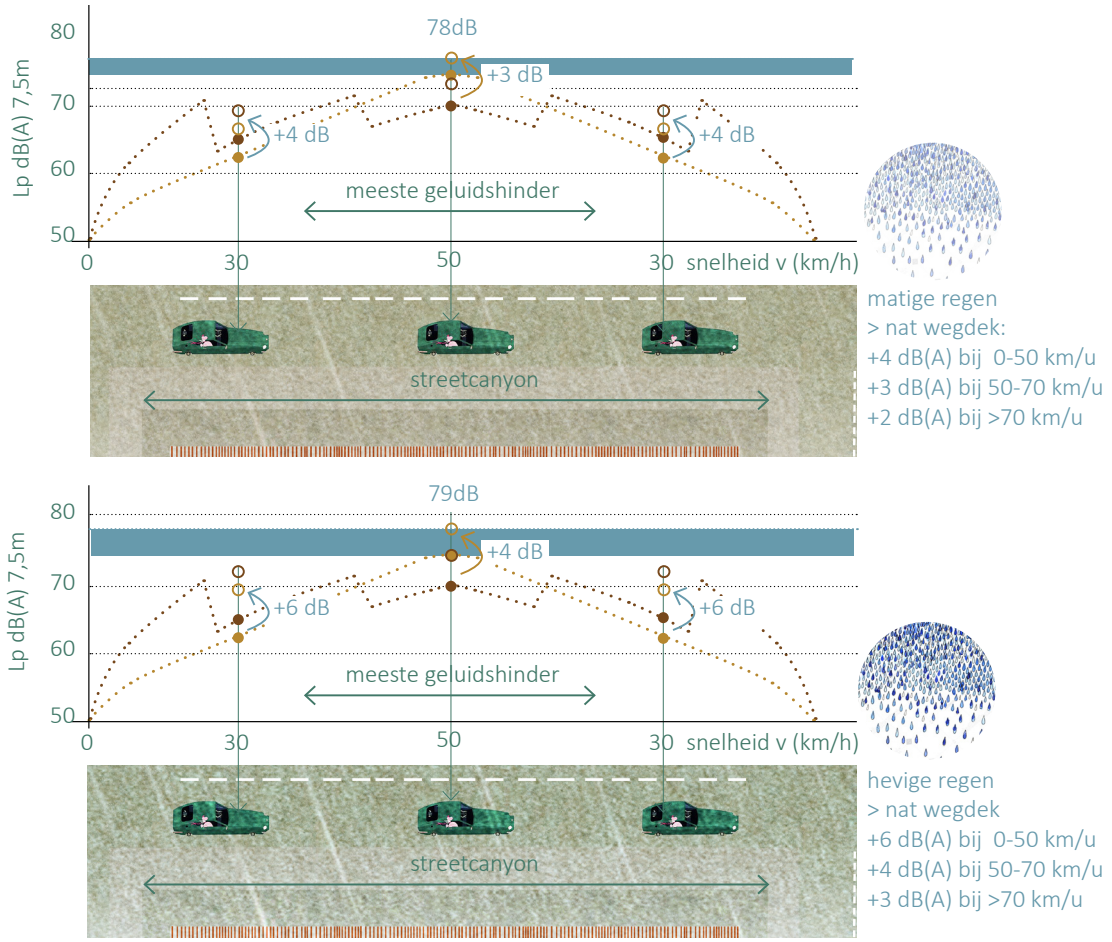
Geluidsniveaus kunnen uitgezet worden tegen hun afstand, daar geluid van de weg beschouwd wordt als een lijnbron. Door de geometrische spreiding van het geluid vanaf één lijn, ontstaat er een vermindering van 3 dB per afstandsverdubbeling (Figuur 15). Anders gezegd: als het brongeluid vermindert met 3 dB, dan halveren de afstanden van de geluidscontouren (AWV, 2010).




Figuur 15. Geluidsniveaus in functie van de afstand tot de weg en bronvermogen/m (AWV, 2010)

### *De invloed van de meteorologische omstandigheden*

Bij regen vult het wegdek zich met water, met als gevolg dat de geluidsniveaus bij lage snelheden significant stijgen. Hoe meer regen, hoe groter de stijging van het geluidsniveau (Figuur 16).

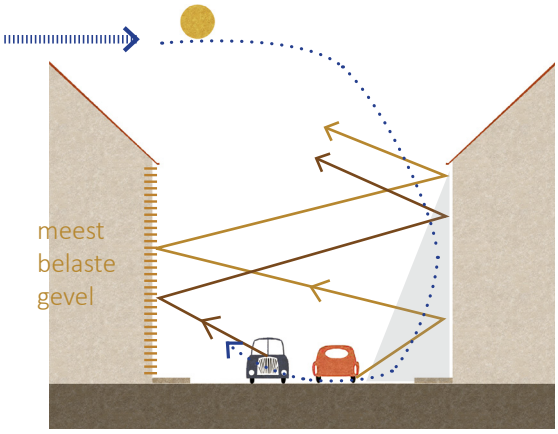



Figuur 16. Impact van regen op geluidsniveau voor een street canyon; het geluidsniveau van motorgeluid en rolgeluid worden respectievelijk weergegeven door een donker- en lichtbruine stippellijn in functie van de snelheid van het voertuig bij matige (bovenaan) en hevige regen (onderaan). Het snelheidpatroon dat wordt weergegeven komt overeen met starten - optrekken tot 30 km/u - doorrijden tot 50 km/u - uitbollen tot 30 km/u - stoppen vanaf 30 km/u (Leefmilieu Brussel, 2018b; Nijland, 2004)

Andere meteorologische omstandigheden, en in het bijzonder wind en temperatuur, kunnen ook een belangrijke rol spelen wanneer de afstand tussen bron en waarnemer meer dan 50 m bedraagt: hoe groter deze afstand, des te groter de mogelijke invloed van de meteo-omstandigheden. Dit is voornamelijk van toepassing bij geluid in een vrij veld, maar kan ook bijdragen op de lengterichting van een street canyon.

De windsnelheid neemt toe met toenemende hoogte. Ten gevolge van deze gradiënt van de windsnelheid worden geluidsgolven die in dezelfde richting van de wind lopen naar het aardoppervlak gebogen en zorgen windafwaarts voor een geluidsdrukverhoging (Figuur 17). In het andere geval worden de geluidsgolven van het aardoppervlak weggeleid, wat windopwaarts zorgt voor een geluidsarme “schaduwzone”.

Bij normale meteo-omstandigheden neemt de temperatuur af met stijgende hoogte. Omdat de snelheid van de geluidsgolven afhankelijk is van de temperatuur, worden de geluidsgolven naar boven afgebogen en zorgen voor een verlaging van het geluidsdrukniveau op het aardoppervlak. Bij temperatuursinversie worden de geluidsgolven naar het aardoppervlak toegebogen en wordt daar een verhoging van het geluidsdrukniveau veroorzaakt. Wegens het ontbreken van cijfergegevens wordt dit effect enkel kwalitatief behandeld (Ademloos, 2012; Leefmilieu Brussel, 2005).




Figuur 17. Geluidsbelasting afhankelijk van wind; wind leidt tot een meest belaste gevel aan de wind-luwe zijde (Depauw et al. 2018)

### 3.3.2 Nature-based solutions in functie van geluidsoverlast

Stedelijk groen biedt de mogelijkheid om maatregelen te treffen om geluidshinder te reduceren. Zo werd in het verleden in detail gekeken op welke manier bomenrijen de efficiëntie van een geluidsscherm kunnen verbeteren bij wind, en hoe dit geoptimaliseerd kan worden naar soortkeuze en kruinvorm. Het gebruik van groendaken om een stille zijde te creëren rond een woning, wat een belangrijk aspect is m.b.t. geluidshinder-reductie en beperking van slaapverstoring in de stedelijke omgeving, is een andere onderzoekslijn. Verder werd in detail gekeken hoe een klassieke (smalle) bomengordel zou moeten ontworpen worden om significante geluidsreductie te verkrijgen. Nieuwe simulatietechnieken duiden aan dat bij een goed ontwerp geluidsreductie wel degelijk mogelijk is. Ook werden recent studies verricht naar een optimale natuurlijke berm als geluidsreducerende oplossing, zowel wat betreft begroeiing als profielvorm. Vegetatie kan op twee manie-ren bijdragen aan het reduceren van geluidsoverlast: geluid kan worden doorgestuurd in een andere richting via reflectie, diffractie of verstrooiing, of het geluid kan effectief geabsorbeerd worden door het plantmateriaal.

In het kader van het HOSANNA project (“HOlistic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combi-nations of Natural and Artificial means”, EU FP7 project, 2009-2012), dat specifiek handelde rond het gebruik van vegetatie/groene oplossingen om geluidsproblemen te beperken, werd heel wat ervaring opgebouwd door Universiteit Gent.

***De invloed van bodembedekking en wateroppervlakken***

Wanneer de bodem bedekt is met gras of andere kruidachtige begroeiing, kan dit zorgen voor extra porositeit en verstrooiing. De verstrooiing van de geluidsgolven zal zorgen voor een grotere interactie van de golven met de grond, zodat een groter deel van het geluid zal absorberen. De groei van bovengenoemde vegetatie kan echter ook een negatieve invloed uit oefenen op de absorptie door de bodem, bijvoorbeeld door verandering van het vochtgehalte (L. Depauw, 2013; Horoshenkov & Mohamed, 2006). Een natte bodem zorgt ervoor dat geluid niet in de bodem kan dringen en hierdoor gaat het grondeffect grotendeels verloren.

Een ander mogelijks positief effect is het reliëfaspect, dat kan zorgen voor een (zeer) beperkte geluidsreductie. Bij kleine waterstructuren met een verdieping in het landschap werd daarom voor een nul-effect gekozen (bijv. greppel). Grote waterstructuren en kunstmatige wateroppervlakken werken als een perfecte spiegel voor geluidsgolven en zorgen bij alle geluidsfrequenties voor constructieve interferentie dus stijging van de geluidsniveaus. Er wordt dus een duidelijk negatief effect verwacht.

### *De invloed van bomen*

Voor een groep bomen zijn het grondvlak ("basal area", procentuele inname van de stamdoorsnedes bij loodrechte projectie op de bodem) en de breedte van de bomengroep de relevante parameters. Het grondvlak houdt zowel rekening met stamomtrek als dichtheid. Hoe groter het grondvlak, hoe sterker de afscherming. Bij een niet-geoptimaliseerde aanplanting is het grondvlak typisch beperkt (< 100 m2/ha). Bij een bos is dit nog kleiner maar is de breedte dan weer groot. Bij beperktere breedte van aanplantingen van bomen zijn toch relatief hoge waarden mogelijk wanneer naar maximale dichtheden wordt gegaan (L. Depauw, 2013; Fang & Ling, 2005; Nilsson et al., 2014; Van Renterghem & Botteldooren, 2008, 2012, 2013; Wunderli & Salomons, 2009).

Een enkele bomenrij heeft een licht negatief effect voor ontvangers die zich onder de boomkruin bevinden (neerwaartse verstrooiing), een licht positief effect in een street canyon voor de gevelbelasting op hogere verdiepingen wanneer de kruinmassa voldoende geluid kan afblokken. Bovendien heeft dit een licht positief effect voor ontvangers in een naburige street canyon. Daarom wordt netto een klein positief effect aangenomen maar dit geldt dus niet voor elke waarnemer (Jang et al., 2015; Lyon et al., 1977). Anderzijds creëren bomen een strooisel laag en kunnen ze zo de porositeit van en het vochtgehalte van de bodem negatief beïnvloeden (Reethof et al., 1977).

### *De invloed van struiken en hagen*

Struiken hebben vooral een positief effect op hogere frequenties gezien het gehalte houtige bestanddelen beperkt is. Significante reductie voor wegverkeerslawaai is daarom moeilijk, tenzij de struikenlaag zeer dicht is zoals bijvoorbeeld bij een haag. Hagen kunnen zorgen voor continue geluidsabsorptie tegen rolgeluid. Inclusief een stukje bodemeffect blijft dit echter beperkt tot maximum 3 dBA volgens een reeks metingen (Horoshenkov et al., 2013; Van Renterghem & Botteldooren, 2014).

### *De invloed van dakoppervlakken*

Het geluidsreducerende effect van een groendak hangt af van het soort substraat dat gebruikt wordt. Op basis van de huidige literatuur is er onvoldoende kennis m.b.t. verschillende substraattypes (gebroken bakstenen, vulkanisch materiaal, rubber-kruimels, enz.) en wat de impact hiervan is op geluidsgolven die over een groendak diffracteren. Vanuit onderzoek m.b.t. het akoestisch gedrag van (poreuze) materialen blijkt echter heel wat variatie mogelijk, en dit geldt vermoedelijk ook voor de samenstelling van het substraat van groendaken (Van Renterghem & Botteldooren, 2008, 2014). Dit geluidsreducerende effect van een groendak hangt sterk af van de dakvorm. Bij een zadeldak/gebogen dakoppervlak is er meer winst te halen door het plaatsen van een groendak dan bij een plat dak. Eén van de redenen is dat een hard zadeldak voor minder afscherming zorgt dan een hard plat dak (op voorwaarde dat het interne volume identiek is). Dit hangt bovendien af van de straatconfiguratie (bijv. street canyon) en de afmetingen. Een belangrijke voorwaarde opdat een groendak nuttig kan zijn, is dat het dominante geluidspad moet interageren met het groendak. Een groendak zal daarom weinig nut hebben bij open bebouwing, aangezien het geluid dan in hoofdzaak rond het gebouw zal propageren en niet over het dak. Een groendak op een uitbouw van een woning (aan de straatzijde) is steeds nuttig om een voorgevel stil te krijgen. Dit hangt voor een stuk af van de specifieke configuratie van het gebouw en de bronontvanger afstand. Een groendak zal nuttiger zijn in een street canyon dan bij individuele huizenrijen. In dit laatste geval is er typisch reeds een sterke afscherming door het gebouw zelf bij propagatie van geluid naar de achterzijde van de woning. In een street canyon zullen door de talrijke reflecties op de gevels toch nog relatieve hoge niveaus waargenomen worden aan de achterzijde van een woning.

### *De invloed van absorptiewanden*

Wind buigt geluidgolven in een street canyon af. Hierdoor wordt de luwe zijde het meeste belast. Geluidabsorptie op deze zijde kan dus een significant verschil in geluidoverlast maken. Een groengevel, met alle mogelijke varianten en detailleringen, wordt hiervoor vaak ingezet, maar ook hoogtechnologische ontwikkelingen vinden hun weg. Zo zijn er gecombineerde lucht- en geluidschermen op de markt die het fijnstof opvangen en doen neerslaan en tegelijkertijd inzetten op een geluidsluwe gevel door specifieke perforatie of door een combinatie met beplanting.

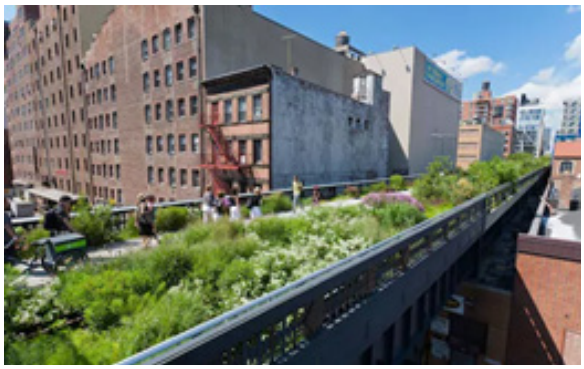
# 4 VOORBEELDEN UIT DE PRAKTIJK

Goede voorbeelden worden gekarakteriseerd door hun multidisciplinair karakter. Zo zullen ze inspelen op meerdere aspecten van een gezonde leefomgeving en bieden ze optioneel ook kansen voor het verhogen van de biodiversiteit en kunnen ze ook bijdragen aan sociale cohesie. Daarnaast bieden ze ook een lange termijn oplossing en pakken ze de bron van het probleem aan. Minder goede voorbeelden zijn voorbeelden van strategieën of maatregelen die zich slechts toespitsen op een enkelvoudig probleem of niet de oorzaak van het probleem aanpakken maar enkel de symptomen bestrijden. Het zijn dus niet per definitie slechte maatregelen, maar kunnen in principe niet als NBS beschouwd worden. We beperken ons hier echter tot goede voorbeelden toegespitst op de drie thema's die centraal staan in deze studie: hittestress, verbeteren van de luchtkwaliteit en verminderen van geluidsoverlast.

## 4.1 PUBLIEKE GROENE RUIMTE

### 4.1.1 The high line in New York

New York is een van de dichtstbevolkte steden ter wereld en wordt daarnaast gekarakteriseerd door een lage fractie groen. In 2009 werd het High Line Park geopend in New York. Dit lineaire park van ongeveer 2.3km lang connecteert dichtbevolkte wijken door middel van het vergroenen van een oud treinspoor. In plaats van het oude treinspoor op te offeren voor ontwikkelingsprojecten koos de stad om het oude spoor een nieuw leven te geven. Sinds de opening in 2009 wordt de High Line geprezen als een icoon voor innovatief design, een bepalend kenmerk in zijn buurt, een krachtige katalysator voor investeringen en een inspiratiebron voor steden over de hele wereld. Het totale kostenplaatje van de implementatie van het park is ongeveer 153 miljoen €, de voordelen zijn moeilijker te kwantificeren. Het staat echter wel vast dat deze groene corridor zorgt voor een groene rustplek in de stad. De hogere ligging zorgt ook voor afscherming van slechte luchtkwaliteit en geluidsoverlast op straatniveau.



Figuur 18. Voor en na foto van het high line park in New York (Corner, n.d.)

### 4.1.2 Het Canòpia urbana (urban canopy) project in Barcelona

Figuur 19. Corridor van Sant Joan (OPPLA, 2020b)

Barcelona wordt zoals zoveel steden gekarakteriseerd door een hoge bevolkingsdichtheid, slechte luchtkwaliteit, hoge temperaturen tijdens hittegolven en een tekort aan ruimte om oplossingen te bieden voor deze problemen. De stad probeert echter om met haar "Green infrastructure and biodiversity plan" meer natuur en biodiversiteit in de stad te brengen om de leefkwaliteit van de bevolking te verhogen (OPPLA, 2020b). Eén van de acties die werd ondernomen is de ontwikkeling van groene corridors op de locatie van een belangrijke transportlijnen om het citadelpark te connecteren met de Coliserola bergketen. Op Figuur 18 is de passage van Sant Joan te zien die deel uitmaakt van een nieuwe corridor van 13ha. Voor dit project moesten rijvakken en parkeerplaatsen wijken voor nieuwe groene publieke ruimte. De ruimte schermt de trage weggebruiker af van hoge concentraties van luchtvervuiling en geluidsoverlast, daarnaast creëert de ruimte ook schaduwrijke rustplekken die verkoeling kunnen voorzien tijdens warme dagen.

## 4.2. INTRODUCEREN VAN VERTICAAL GROEN

### 4.2.1 Adlershof campus in Berlijn[1]

De campus van het institute of physics van de Humbolt universiteit in Berlijn werd opgeleverd in 2003. Bij het ontwerp van het gebouw werd er gebruik gemaakt van groengevels in functie van verkoeling en ventilatie van het gebouw (OPPLA, 2020a). Het project geldt als een pilootproject om kennis te vergaren op het vlak van verticale groenstructuren en hun effecten. De totale kostprijs van het project was om en bij de 5 miljoen €. Deze vorm van NBS draagt voornamelijk bij aan de creatie van een aangenaam binnenklimaat, door gebruik te maken van de verticale groen elementen zullen de binnenruimtes minder snel opwarmen.

Figuur 20. Weergave van Adlershof campus in Berlijn (OPPLA, 2020a)

### 4.2.2 Green living room in Ludwigshaven

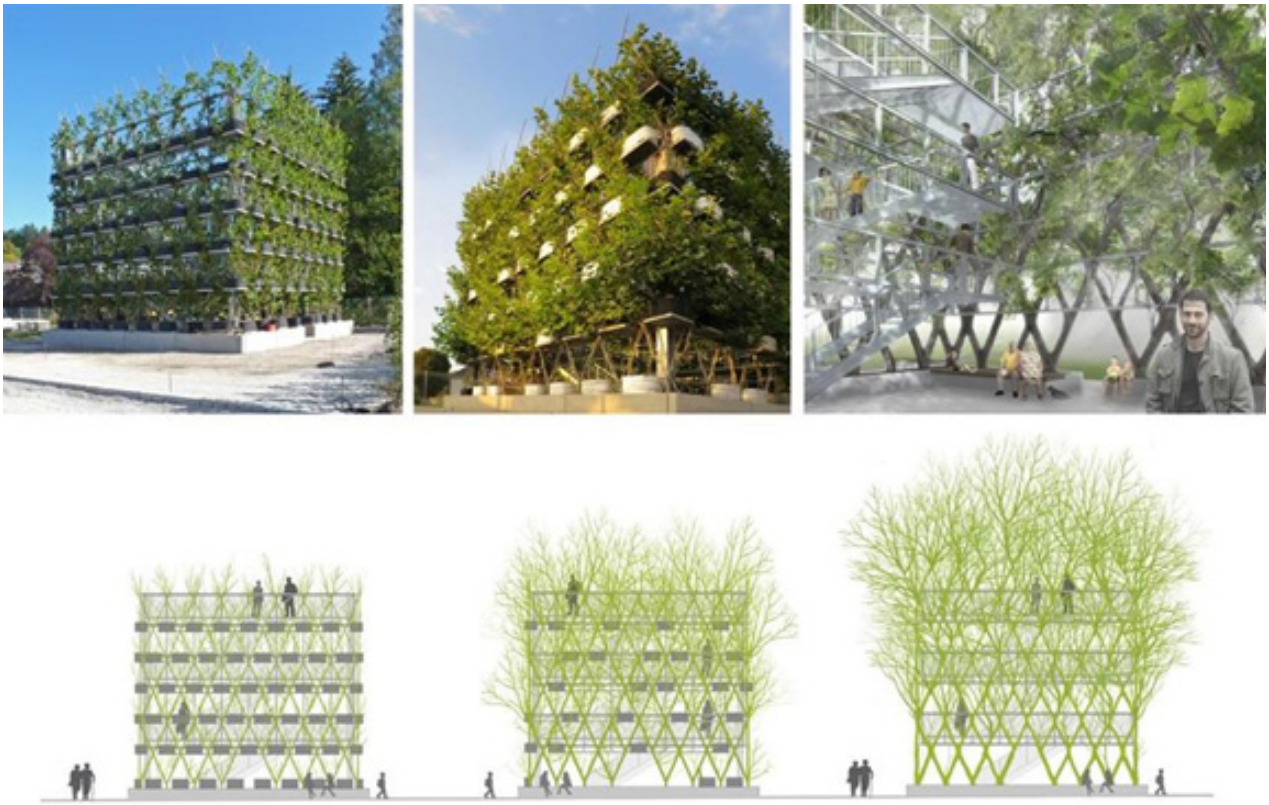
Het doel van een Green living room is het creëren van multifunctionele groene ruimtes om het stadsklimaat te verbeteren in sterk verstedelijkte gebieden. Eén van de beste voorbeelden van dit concept werd uitgevoerd in Ludwigsburg, Duitsland in samenwerking met de Universiteit van Stuttgart. De stad koos specifiek een locatie waar het thermale comfort zeer laag was. Op de korte termijn creëert de green living room een aangename en aantrekkelijke buitenruimte, op langere termijn hoop de stad Ludwigsburg dat dit project als uithangbord kan dienen voor de inrichting van de publieke ruimte in functie van het stedelijk hitte eiland.

Figuur 21. Green living room in Ludwigshaven (OPPLA, 2020c)

[1] *Gebaseerd op OPPLA, (2020a)*

### 4.2.3 Constructies met levende bomen

De plataan-kubus in Nagold, Duitsland, is een baubotanical gebouw (Figuur 21) (Ludwig, 2012). Dit betekent dat het gebouw bestaat uit levende planten, in tegenstelling tot verticale groenstructuren zoals gevelgroen of living walls, maakt de boom hier echt deel uit van de constructie. Aanvankelijk wordt de constructie gedragen door een metalen frame dat kan verwijderd worden wanneer de boom volgroeid is en voldoende stevigheid heeft om zijn kroon te dragen. Op termijn zal de boom dus de structurele functie overnemen en deel uitmaken van de dragende structuur. Door gebruik te maken van bomen als structureel element bij bouwen kunnen zowel luchtkwaliteit, geluidsoverlast en hittestress aangepakt worden. Resultaten kunnen pas verwacht worden op middellange tot lange termijn. Dichter bij huis vinden we ook voorbeelden van constructies met levende bomen zoals bv. wilgenconstructies, opgetrokken uit snoeiafval (Stad Antwerpen, 2017). Wilgenhutten en wilgentunnels zijn een gemakkelijke en goedkope manier om speelnatuur op een schoolspeelplaats of in de publieke ruimte te brengen. Maar ook voor de eigen tuin, kinderopvang of speelplek is een wilgencreatie een aanrader.



Figuur 22. Voorstelling van de plataan kubus (Ludwig, 2012)

## 4.3 SLIMME IMPLEMENTATIE VAN GROENE DAKEN

Groendaken kunnen nieuwe ruimte creëren in de stad op een niveau waar de luchtkwaliteit en de geluidsoverlast over het algemeen beter is dan op het straatniveau. Er zijn verschillende vormen van groendaken. Een extensief groendak wordt voornamelijk ingezet voor het vertraagd afvoeren van regenwater om het rioleringsstelsel te ontlasten, daarnaast zorgt het ook voor een koeler en stiller binnenklimaat dankzij de goede isolerende kwaliteiten. Het zal echter slechts een kleine bijdrage leveren in functie van hittestress en geluidsoverlast buitenshuis en het verbeteren van de luchtkwaliteit (UNaLab, 2020). Intensieve groendaken kunnen echter wel sterk bijdragen in functie van hittestress, luchtkwaliteit en geluidsoverlast. Ze creëren nieuwe gebruiksruimte in de stad en omvatten opgaand groen dat kan zorgen voor actieve verkoeling door evaporatie, schaduw, afvang van luchtvervuiling en door de juiste oriëntatie kan het groen ook zorgen voor een geluidsluwe omgeving (UNaLab, 2020). Een mooi voorbeeld is het Dak van Pakt, Antwerpen[1], dit extensief groendak bied ruimte aan een dakboerderij voor de buurtbewoners van het groen kwartier in Antwerpen.

Figuur 23. Groendak PAKT, Antwerpen

[1] *https://www.pakt-antwerpen.be/t-dak-van-pakt*

# 5 SYNTHESE

Wanneer alle maatregelen overlopen worden is het duidelijk dat NBS kunnen inspelen op de oorzaak van hittestress (verminderde opwarming van de stad door schaduw en evaporatie), maar in termen van luchtkwaliteit en geluidshinder spelen ze voornamelijk in op het milderen van de negatieve effecten. Om de oorzaken van slechte luchtkwaliteit en geluidshinder aan te pakken dient Brussel in te zetten op het terugdringen van gemotoriseerd vervoer, het uitbreiden van het elektrisch wagenpark, het aanpassen van het parkeerbeleid en de ontwikkeling van een circulatieplan en mobiliteitsvisie (Depauw & Dens, 2018). Deze maatregelen oefenen geen negatieve invloed uit op de ontwikkeling van het stedelijk hitte eiland. Daarnaast zal het wegnemen van de bron van de vervuiling en de geluidsoverlast er ook voor zorgen dat mitigerende maatregelen zoals het aanplanten van bomen steeds een positieve werking heeft.

De mobiliteitstransitie zal natuurlijk niet van vandaag op morgen gerealiseerd zijn. Het is echter wel van belang om de toekomstige trends steeds mee te nemen in de beslissingen van vandaag. De afgelopen jaren heeft Brussel reeds sterk ingezet op het verminderen van autoverkeer in de stad: invoeren van een circulatieplan voor het stadscentrum en de uitbreiding van de voetgangerszone in 2015, installatie van een lage emissie zone in 2018, aangepast parkeerbeleid voor pendelaars in 2019 en de beslissing om een kwart van de straatparkeerplaatsen te schrappen tegen 2030. Met de goedkeuring van het Good Move initiatief op 5 maart 2020, kiest Brussel duidelijk voor zijn inwoners en probeert iedereen zoveel mogelijk te stimuleren om andere vervoersmodi te gebruiken (Brussel Mobiliteit, 2020). Deze plannen kaderen in het Brussels Wetboek van Lucht, Klimaat en Energiebeheersing dat als doel heeft om de uitstoot van broeikasgassen in het Brussels gewest te verminderen en het energieverbruik terug te dringen.

Hoewel de mobiliteitstransitie een positieve invloed zal hebben op de luchtkwaliteit en geluidsoverlast zal de invloed op het stedelijke hitte eiland beperkt zijn. Daarenboven hebben recente studies (Verdonck et al., 2019; Wouters et al., 2017) aangetoond dat de hoeveelheid hittestress, uitgedrukt in hittegolfdagen volgens de normen van de FOD Volksgezondheid, sterk zal toenemen in Brussel ten gevolge van klimaatverandering. Modelsimulaties door Verdonck et al., (2019) tonen aan dat de inwoners van de stad Brussel in 2040 zullen worden blootgesteld aan ongeveer 2.5x de hoeveelheid hittestress die ze vandaag ondervinden. Tegen 2090 kan dit zelfs oplopen tot een vertienvoudiging van de huidige hittestress indien de globale uitstoot van CO2 niet drastisch verminderd.

Hoewel er specifiek voor Brussel nog geen vergelijkende DALY studie werd uitgevoerd tonen verschillende bronnen voor vergelijkbare regio's aan dat aantal DALY's gelinkt aan luchtvervuiling en geluidsoverlast hoger dan de DALY's gelinkt aan hittestress (Buekers et al., 2012; IRCEL, 2010; Leefmilieu Brussel, 2020; Sartor, 2004). Er wordt echter verwacht dat de morbiditeit en mortaliteit ten gevolge van hitte sterk zal toenemen in de komende jaren (Verdonck et al., 2019). In dit opzicht is het dus van belang om geen maatregelen te nemen die een negatieve impact hebben op het stedelijke hitte eiland.

# DEEL 2

# KWETSBAARHEIDSANALYSE

# 1 INLEIDING

Om een goed gedetailleerd beeld te krijgen van de locaties in Brussel waar de behandelde thema's momenteel voor problematische omstandigheden zorgen en die best prioritair aangepakt worden, maken we gebruik van een Gezondheids- Effect Screening (GES). 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 & van de Weerdt, 2008). 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 in Brussel. Dit zijn uiteraard maar enkele van de milieuproblemen waarmee rekening gehouden moet worden bij de ruimtelijke planning en de dienstverlening van nature-based solutions (die omvat bv. ook biodiversiteit, waterhuishouding,…). Het doel van de aangemaakte kaarten is om een duidelijk overzicht te geven van de situatie in Brussel voor de 3 behandelde thema's, en om eventuele probleemgebieden te kunnen identificeren. Het is niet de bedoeling om de verschillende thema's onderling te vergelijken of uitspraken te doen over hun onderlinge belang. Deze oefening dient ook als input voor de selectie van de 4 case studies die in het volgende hoofdstuk aan bod zullen komen.

Als basisdata worden de meest recente en accurate kaarten gebruikt die er voorhanden zijn. 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 (Tabel 4). Ook de kleurenschaal is in deze studie overgenomen. Naast de drie basiskaarten wordt 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). Uiteraard is het eindresultaat van deze oefening erg afhankelijk van de gekozen drempelwaarden en dient de interpretatie van het kaartmateriaal in dit licht te gebeuren.

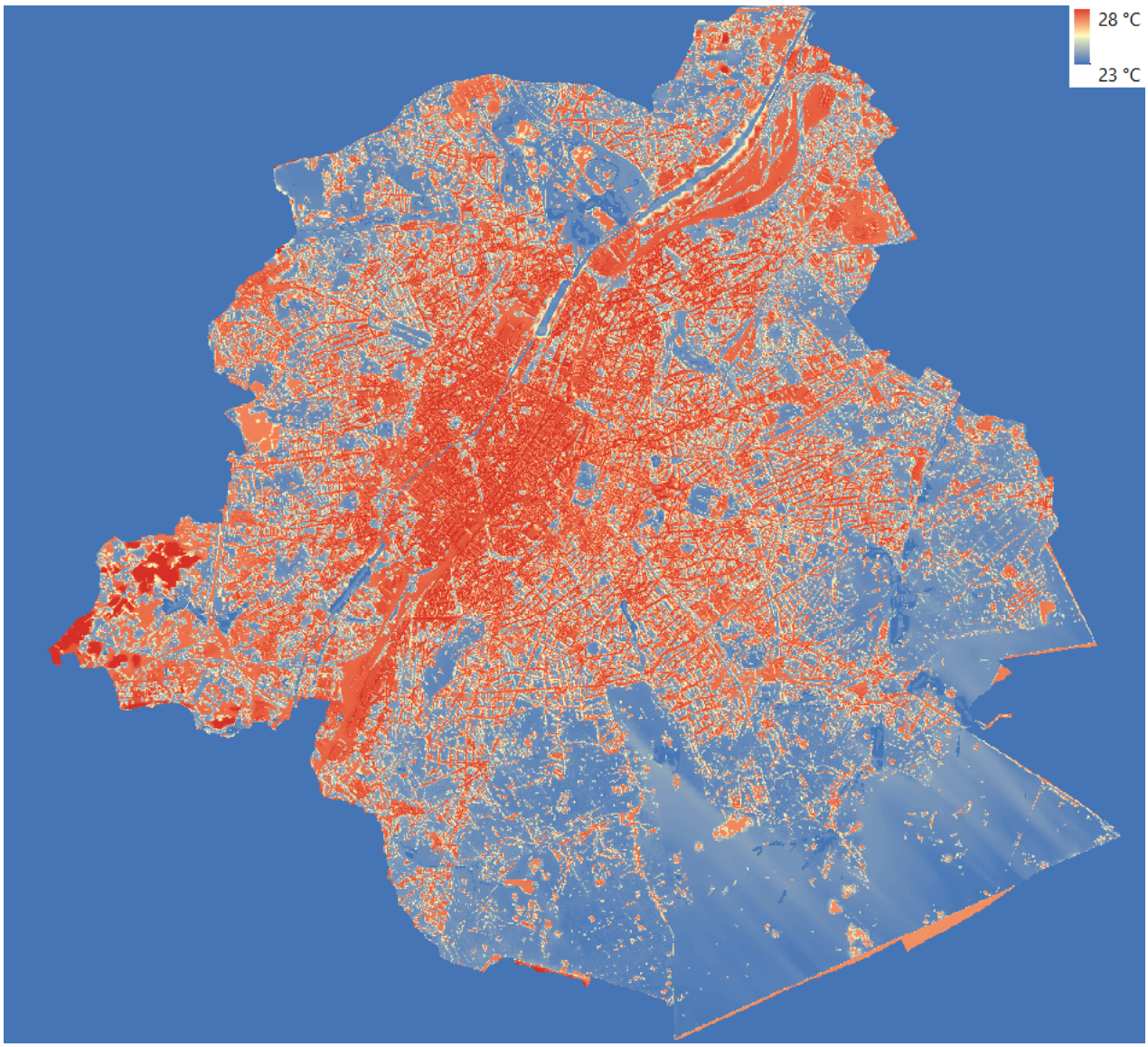
Tabel 4: Legende en kleurenpallet GES kaarten

| GES-score | Interpretatie | Kleurcode |
|---|---|---|
| 0 | Zeer goed | |
| 1 | Goed | |
| 2 | Redelijk | |
| 3 | Vrij matig | |
| 4 | Matig | |
| 5 | Zeer matig | |
| 6 | Onvoldoende | |
| 7 | Ruim onvoldoende | |
| 8 | Zeer onvoldoende | |

# 2 HITTESTRESS

Voor het opmaken van de GES kaart voor hittestress maken we gebruik van de Wet Bulb Globe Temperature kaarten die door VITO zijn aangemaakt in 2018. De WBGT is berekend voor een typische hete zomerdag (24 augustus 2016). We focussen op de maximale waarde die de WBGT bereikt tijdens deze dag (Figuur 24), die uiteraard liefst zo laag mogelijk is. De waarden op de kaart variëren tussen 23 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.

Opvallend zijn ook de hoge waarden die behaald worden in de westelijke uitloper van Brussel. Het gaat hier nochtans niet om verharde oppervlakken maar om open landbouwgebied. Toch kan ook daar de gevoelstemperatuur hoog oplopen omwille van zijn iets lagere ligging (hoe lager gelegen hoe hoger de lucht temperatuur), gebrek aan schaduw en vooral een lage ruwheidslengte waardoor de oppervlaktewarmte op windstille dagen kan ‘blijven plakken’. Op dit soort locaties koelt het wel snel af tijdens de avond en nacht, waardoor de gemiddelde gevoelstemperatuur er lager ligt dan in het centrum (zie Deel 1 Hoofdstuk 2.1).



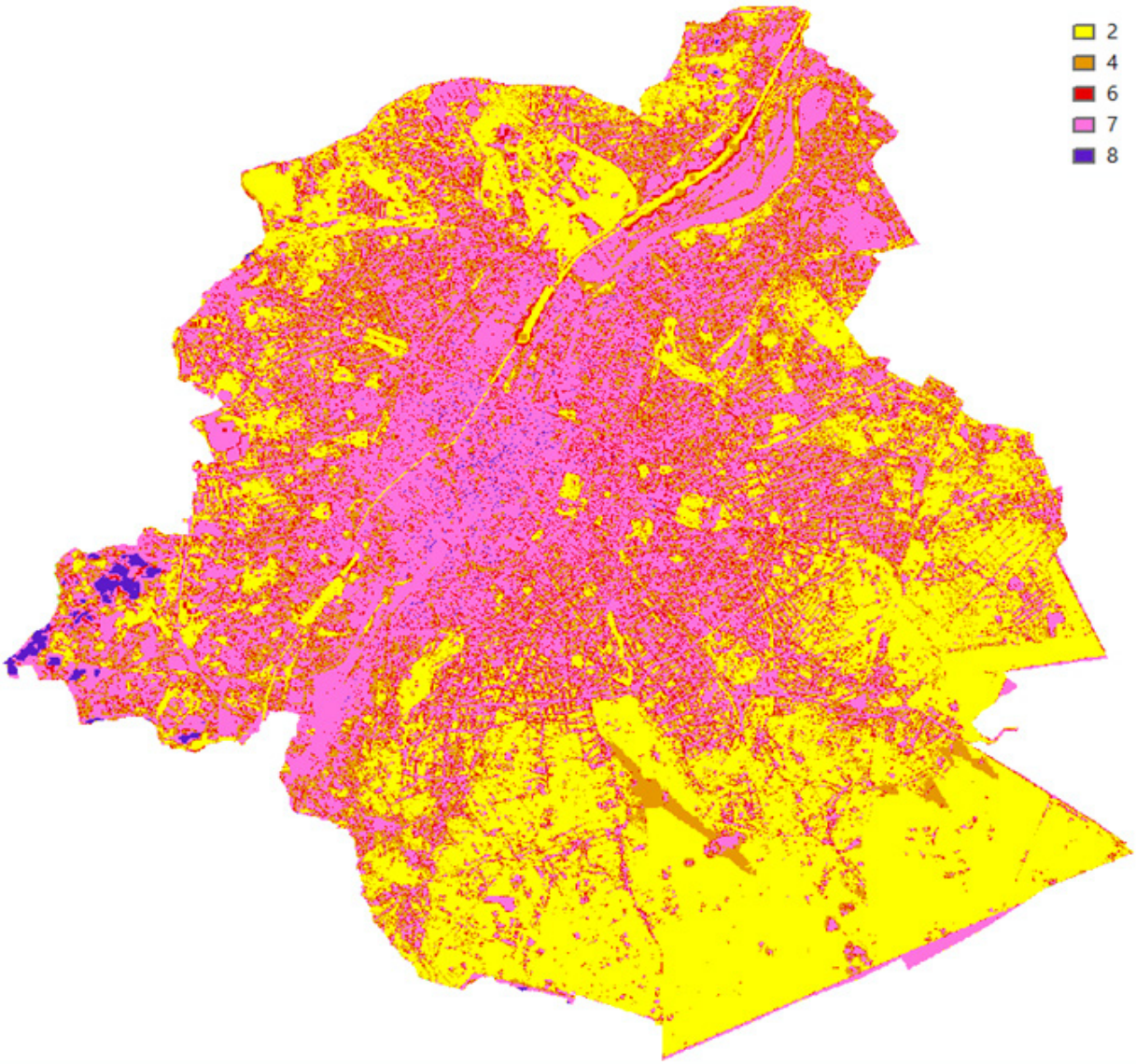

Figuur 24. Maximum WBGT op 24 augustus 2016 in Brussel.

In Deel 1 Hoofdstuk 2.1 is aangegeven dat in internationale studies een WBGT waarde van 25°C wordt aangenomen als grens om te spreken van hittestress. Deze waarde wordt hier aangenomen als drempel voor de GES-score van 6 (onvoldoende). Aangezien hittestress een probleem is dat zich eender waar kan voordoen in het sterk verstedelijkte Brussel, zeker naar de toekomst toe, opteren we ervoor om als laagste waarde de score 2 toe te kennen (redelijk). Verder worden de scores toegekend in sprongen van 1°C om tot een realistisch uitziende kaart te komen (Tabel 5).

Tabel 5 GES-scores hittestress

| GES - score | Maximum WBGT [°C] | Interpretatie |
|---|---|---|
| 2 | < 24 | redelijk |
| 4 | 24 - 25 | matig |
| 6 | 25 - 26 | onvoldoende |
| 7 | 26 - 27 | ruim onvoldoende |
| 8 | >27 | zeer onvoldoende |

Wanneer deze indeling toegepast wordt op de bovenstaande WBGT kaart, resulteert dit in een GES-kaart voor hittestress zoals weergegeven in Figuur 25. We zien dat grote gebieden in Brussel (verhard, weinig vegetatie of water) slecht scoren voor hittestress. Dit is uiteraard niet onverwacht, en gezien de verwachte hitte-problemen in de toekomst als gevolg van de klimaatverandering, lijkt het ons logisch dat dit thema overal in Brussel voldoende aandacht krijgt bij de opmaak van ruimtelijk beleid.




Figuur 25. GES-kaart hittestress

# 3 LUCHTVERVUILING

Voor de indicator luchtkwaliteit ligt de focus op de jaargemiddelde $NO_2$ (stikstofdioxide) concentraties. We kiezen voor deze variabele omwille van zijn grote ruimtelijke variatie, sterke link met lokale emissies en goed gedocumenteerde gezondheidseffecten. Ook fijnstof (PM10 en PM2.5) is een belangrijke polluentengroep in Brussel, maar deze vertoont veel minder ruimtelijke variatie en is moeilijk te beïnvloeden met lokaal beleid. Voor de kartering wordt gebruik gemaakt van de recent door VITO ontwikkelde RIO-IFDM-OSPM modelketen (ATMOStreet-model) die door IRCEL wordt toegepast om de jaargemiddelde $NO_2$ concentraties in kaart te brengen met een ruimtelijke resolutie van 10m, en waarin ook zogenaamde 'street canyon' effecten in rekening worden gebracht. In dit project maken we gebruik van de meest recente officiële $NO_2$-kaart, die van 2018. 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).

De $NO_2$-kaart dient vervolgens vertaald te worden naar GES-scores. Vooral de drempelwaarde voor een score van 6 (onvoldoende) is hierbij van belang. We opteren om de grens op 20 µg/m³ te leggen, de waarde die ook in Vlaanderen wordt gehanteerd[1] en als gezondheidsadvieswaarde door Agentschap Zorg & Gezondheid wordt voorgesteld voor jaargemiddelde $NO_2$-concentraties. Momenteel hanteren de WHO en de Europese Commissie nog een drempelwaarde van 40 µg/m³, maar in een komende revisie zal deze waarde verlaagd worden naar 20 µg/m³. De huidige Brusselse norm van 40 µg/m³ wordt gebruikt 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, die overeenkomt met de waarden in Vlaanderen en Nederland, is weergegeven in Tabel 6.

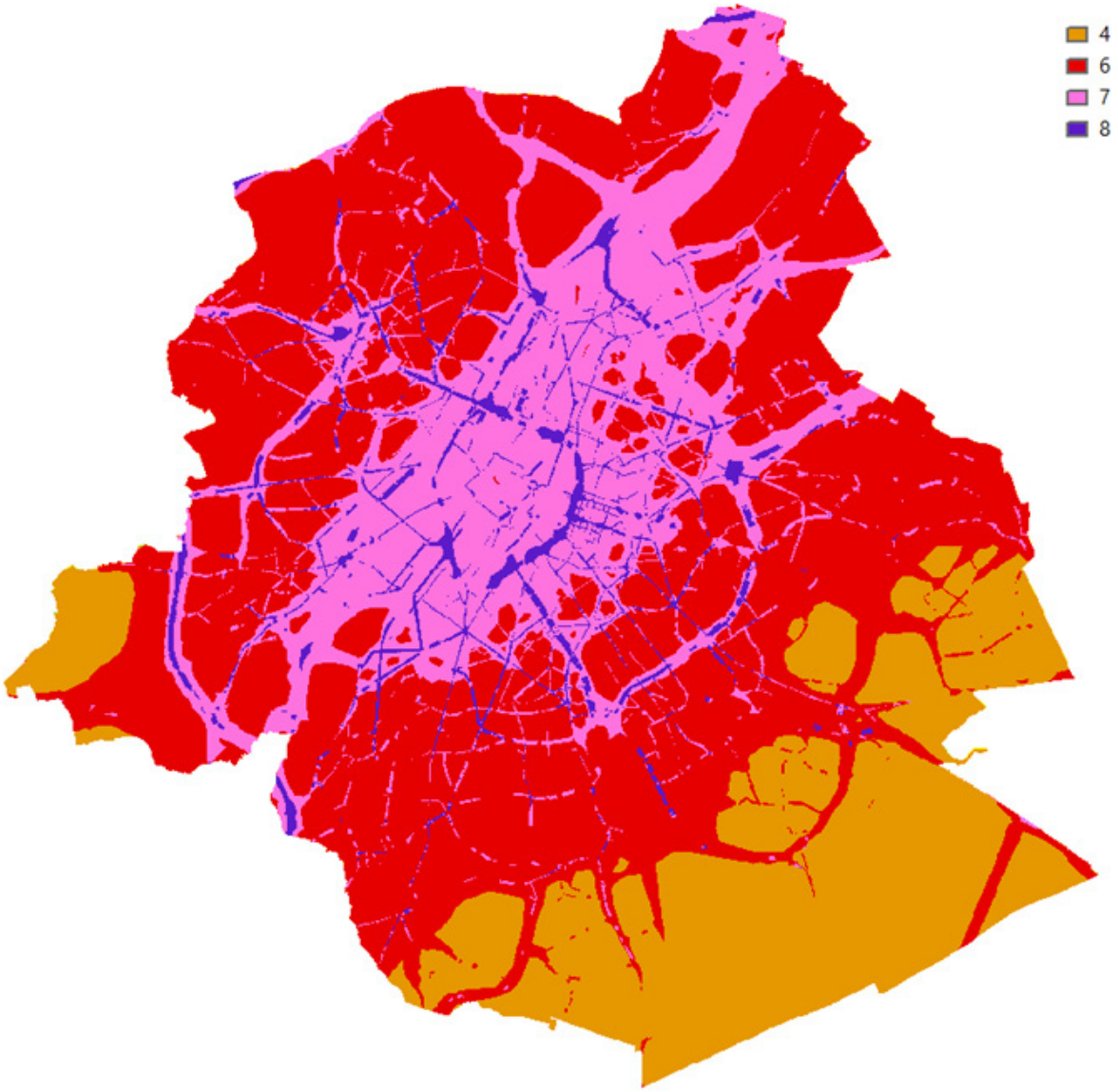
Tabel 6: GES-scores luchtkwaliteit

*ruim*

| GES-score | Jaargemiddelde NO2 [µg/m³] | 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 $NO_2$ kaart van 2018 resulteert dit in een GES-kaart voor luchtkwaliteit zoals weergegeven in Figuur 26. Zoals verwacht is de situatie niet rooskleurig in Brussel. Er is geen enkel gebied dat 'goed' scoort voor deze indicator. Enkel in het Zoniënwoud en een paar rurale zones in het westen van Brussel is de situatie 'matig'. Het overgrote deel van Brussel scoort 'onvoldoende', tot 'zeer onvoldoende' in en rond de drukke verkeersaders en street canyons in het centrum. Luchtvervuiling is duidelijk een belangrijk aandachtspunt in Brussel.

[1] *https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/atoms/files/1%20VR%202019%202510%20MED.0359-2%20Luchtbeleidsplan.pdf*




Figuur 26. GES-kaart luchtkwaliteit

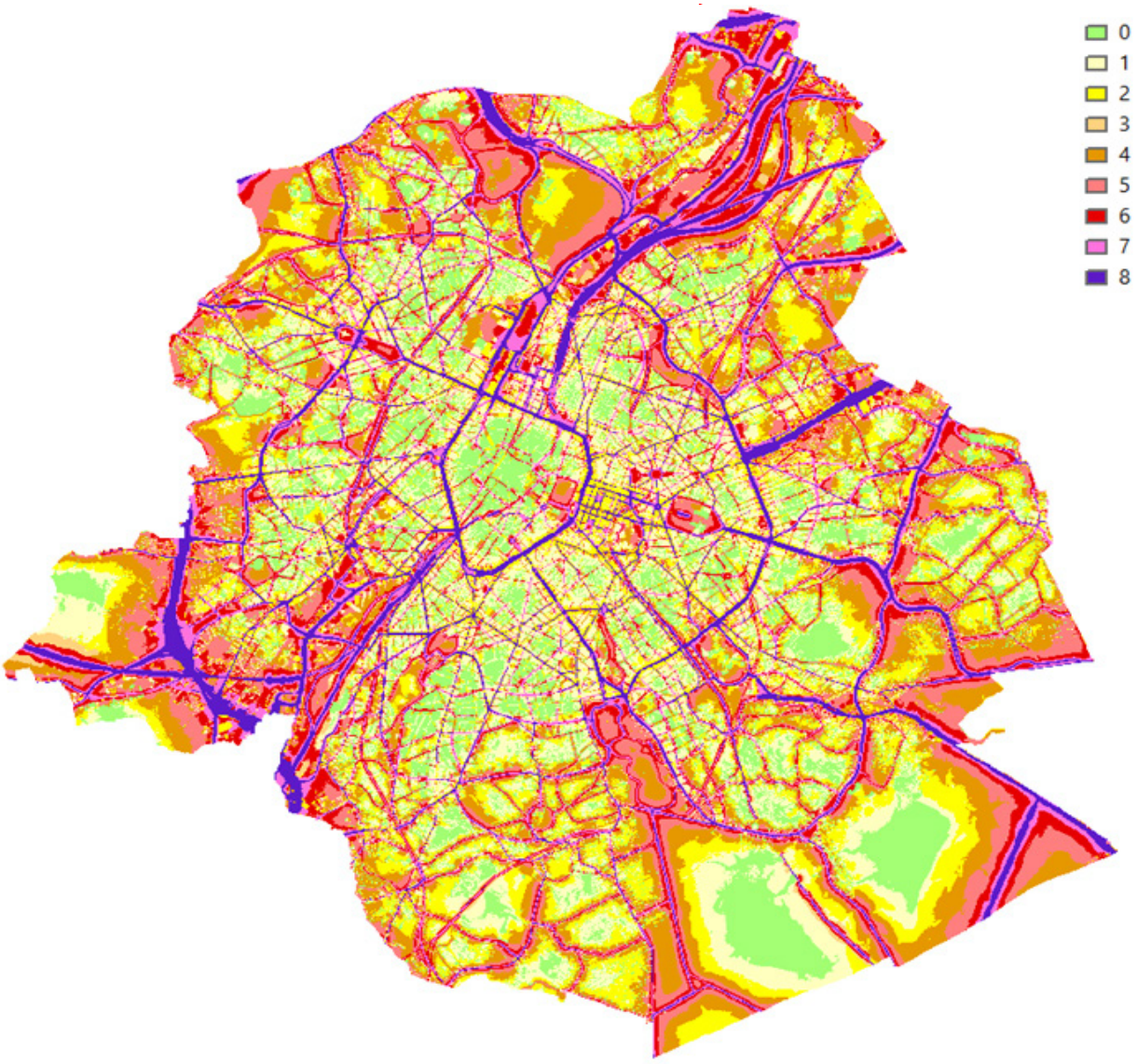
# 4 GELUIDSOVERLAST

Voor de indicator geluidoverlast maken we gebruik van de beschikbare kaarten van IBGE-BIM, met name de kaarten van 2016 voor wegverkeer en spoorverkeer. Voor een vertaling van deze kaarten richting volksgezondheid maken we gebruik van dosis-effect relaties die het aantal ernstig gehinderden weergeven in functie van de blootstelling, de zogenaamde Miedema curves. Deze relatie is afhankelijk van de bron zoals weg-, en spoorverkeer. Voor een vertaling naar GES-scores maken we hier gebruik van dezelfde indeling als ook in Vlaanderen is gebruikt (Tabel 7). De GES-score 6 is een specifiek gezondheidsijkpunt 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 Lden 63 dB(A) (en dit werd overgenomen voor spoorverkeer).

Tabel 7 GES-scores geluidsoverlast

| Lden,weg (Wegverkeer) | Lden,spoor (Spoorverkeer) | GES-score |
|---|---|---|
| < 43 | < 48 | 0 |
| 43 – 47 | 48 – 57 | 1 |
| 48 – 52 | - | 2 |
| - | 58 – 62 | 3 |
| 53 – 57 | - | 4 |
| 58 – 62 | - | 5 |
| 63 – 67 | 63 – 67 | 6 |
| 68 – 72 | 68 – 72 | 7 |
| >= 73 | >= 73 | 8 |

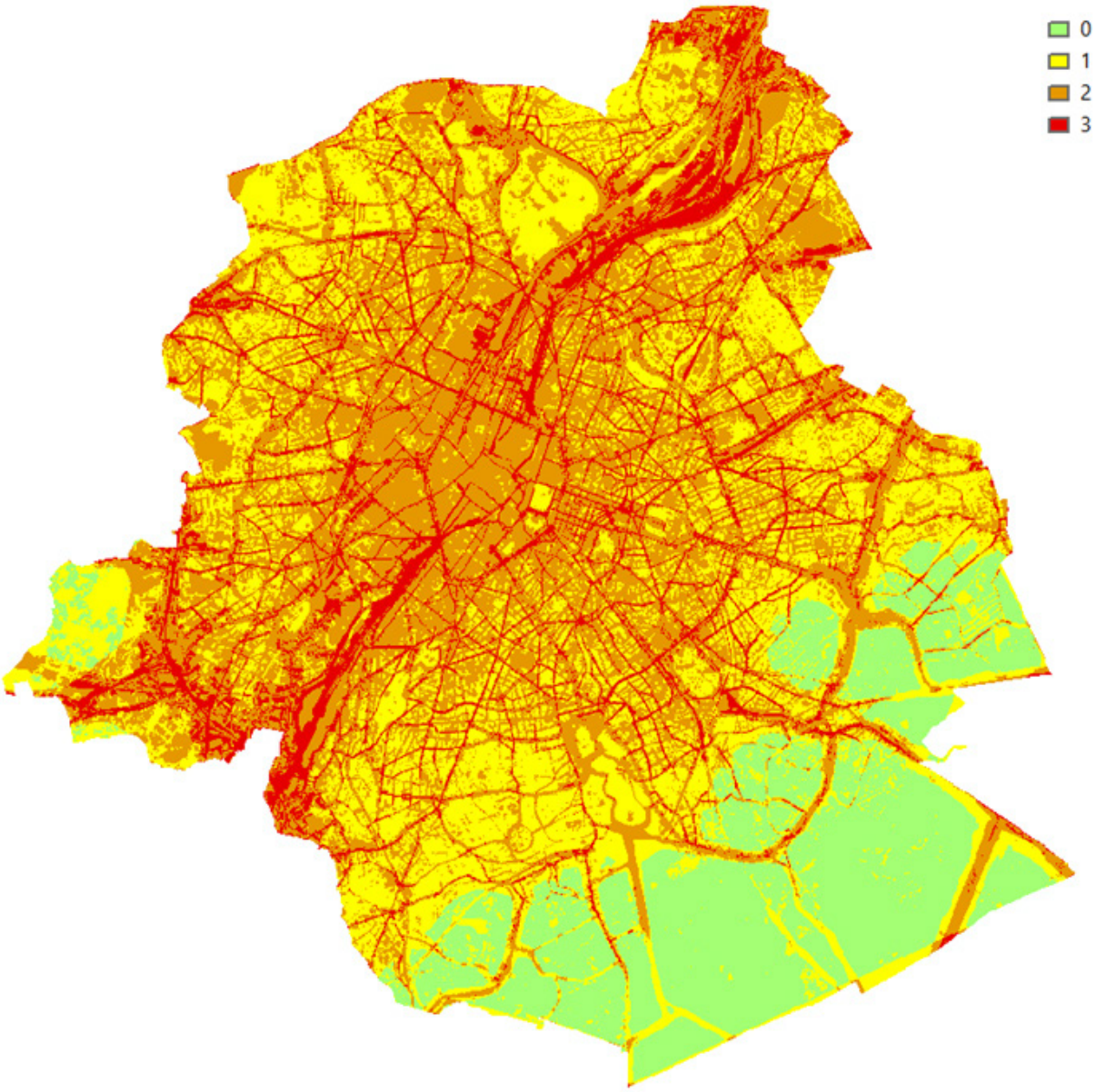
De bovenstaande tabel is geldig indien het geluid van elk type bron apart in GES-klassen wordt ingedeeld en beoordeeld. Het is niet mogelijk om de waarden voor elk type bron zomaar bij elkaar op te tellen, aangezien het om erg verschillende vormen van geluid gaat. Om tot een gecombineerde kaart voor geluidoverlast te komen wordt voor iedere pixel de maximale waarde van de twee aparte GES-kaarten weerhouden. Het resultaat wordt voorgesteld in Figuur 27. Het wegen- en spoorpatroon van Brussel komt duidelijk naar voren in deze kaart. Geluidoverlast is een heel lokaal probleem dat snel vermindert met de afstand tot de bron. Zo zijn er toch veel gebieden in Brussel die goed scoren voor deze indicator.




Figuur 27. GES-kaart geluidsoverlast

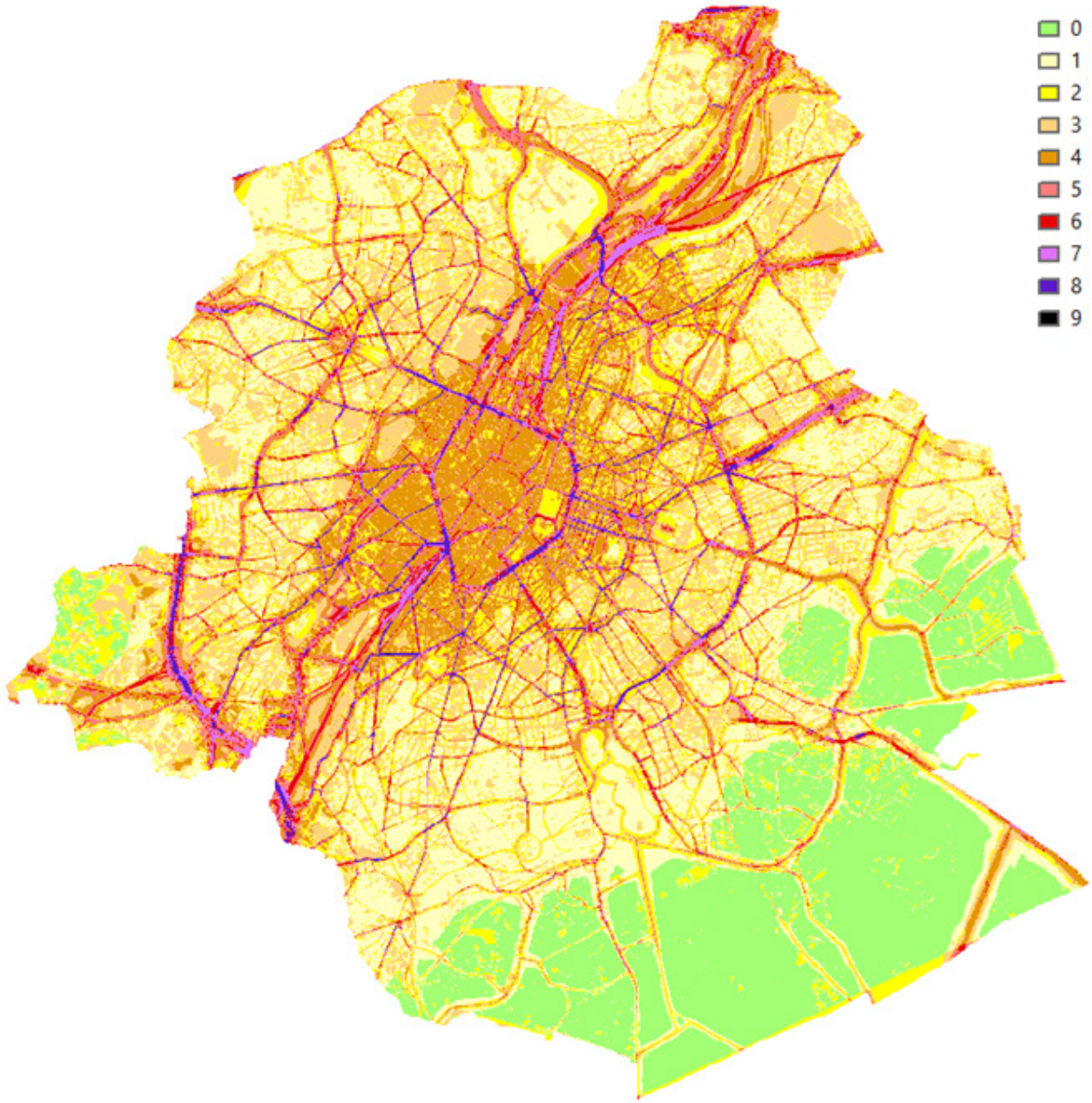
# 5 COMBINATIEKAART

Naast de 3 individuele GES-kaarten is het ook interessant om eens te kijken op welke locaties in Brussel verschillende problemen zich samen voor doen. Daarom is er een combinatiekaart aangemaakt waarop de gebieden met een GES-score van 6 of hoger (onvoldoende) bij elkaar worden opgeteld (Figuur 28). De maximale score bedraagt dus 3, als de locatie voor alle gezondheidsfactoren onvoldoende scoort. Uit de kaart blijkt dat er maar weinig gebieden in Brussel voldoen aan de GES-normen op basis van de gebruikte indicatoren in deze studie (score 0). In het grootste deel van Brussel worden de GES-normen voor minstens 1 of 2 indicatoren overschreden. Er zijn ook een heel aantal gebieden waar alle drie de indicatoren onvoldoende scoren: de grote verkeersassen, street canyons en treinverbindingen. Uiteraard is deze kaart erg afhankelijk van de gekozen drempelwaarden voor de verschillende indicatoren.




Figuur 28. Cumulatieve combinatiekaart van de probleemgebieden (GES-score 6 of hoger)

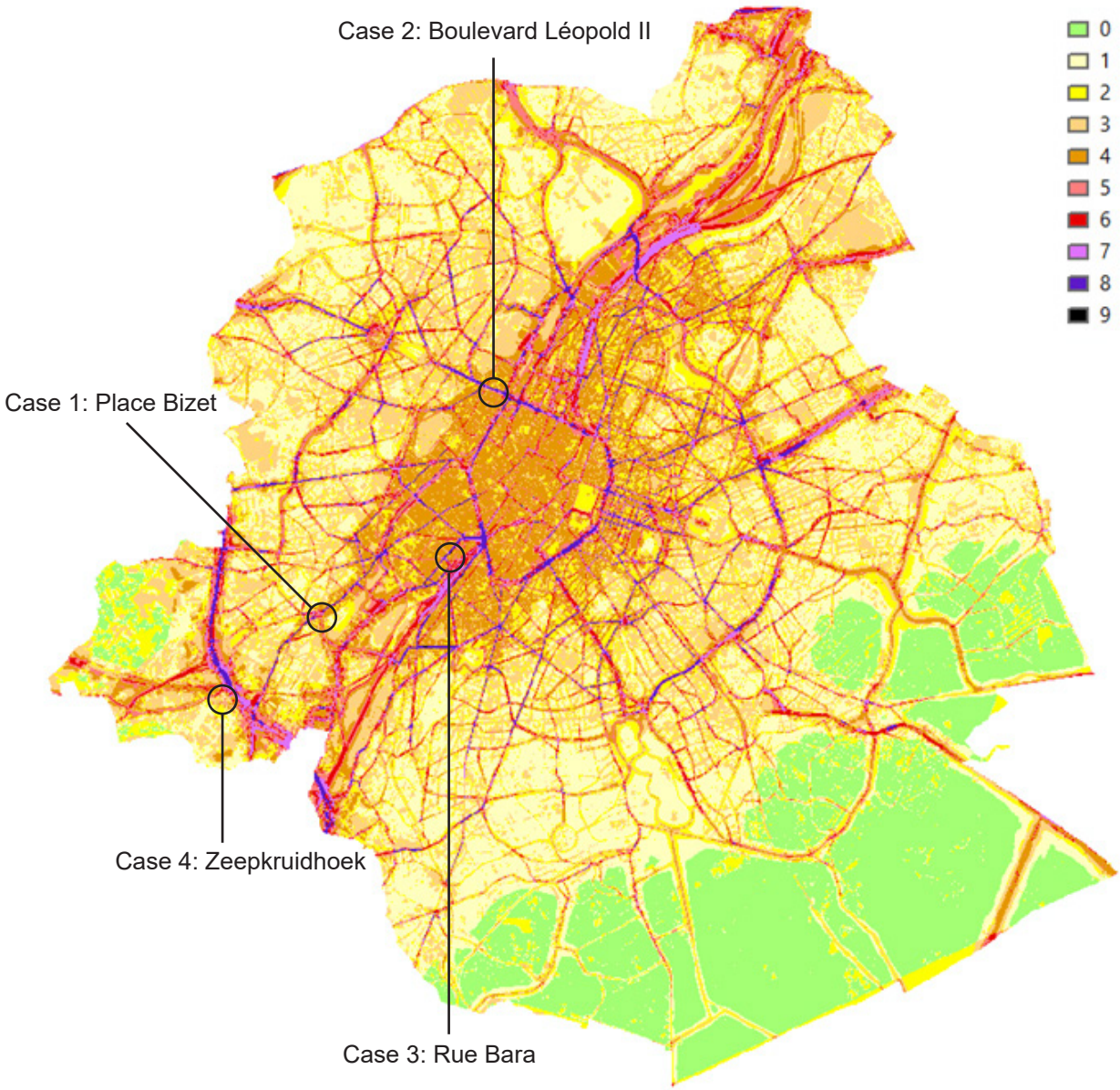
Bovenstaande kaart toont duidelijk dat de uitdagingen in Brussel erg groot zijn wanneer dezelfde grenswaarden gehanteerd worden als in Vlaanderen of Nederland. Binnen Vlaanderen is enkel de situatie in en rond Antwerpen vergelijkbaar met de situatie in Brussel. Aangezien er grote gebieden in Brussel slecht scoren voor één of meerdere indicatoren is het niet zo makkelijk om prioritair aan te pakken zones af te bakenen op basis van deze kaart. Om meer onderscheid te kunnen maken, is er daarom ook een tweede combinatiekaart gemaakt, die meer inzoomt op de slechtst scorende gebieden. Hiervoor werden bij de individuele GES-kaarten de scores van 6, 7 en 8 omgezet naar 1, 2 en 3. Als we de 3 kaarten dan bij elkaar optellen krijgen we een nieuwe combinatiekaart met 10 mogelijke scores (van 0 tot en met 9) die momenteel beter geschikt lijkt voor het bepalen van prioritair aan te pakken gebieden (Figuur 29).




Figuur 29. Cumulatieve combinatiekaart met 10 klassen.

# DEEL 3

# CASES MET AANBEVELINGEN




Figuur 30. Kaart met de situering van de verschillende cases

In dit hoofdstuk worden voor 4 concrete Brusselse cases waar de situatie wat betreft hittestress, luchtkwaliteit en/of geluidoverlast uitdagend is, nature-based solutions voorgesteld en hun impact (zowel voor de lokale bewoners als voor de gebruikers van de locatie) zo goed als mogelijk gekwantificeerd door een expert inschatting op basis van voorgaande metingen en modellering voor gelijkaardige cases. Er is dus geen nieuwe modellering van deze 4 cases gebeurd in deze studie.

Het is belangrijk om hierbij aan te geven dat dit een generieke en hypothetische oefening is waarbij de focus volledig ligt op het aantonen van het potentieel van nature-based solutions. De uitvoerders van deze studie zijn geen mobiliteit-experts, en allicht gaan deze voorstellen in de realiteit botsen met specifieke lokale mobiliteitsproblemen of randvoorwaarden. Maar het gaat hier om het aanreiken van ideeën en principes, die daarna samen met andere experts vertaald moeten worden in concrete en realiseerbare plannen.

We kiezen hier voor 4 typische situaties in het Brusselse gewest, zodat de voorgestelde maatregelen zo generiek mogelijk toepasbaar zijn op andere locaties. De GES-kaarten die in het voorgaande hoofdstuk zijn voorgesteld dienen als leidraad om te bepalen welke problematieken prioritair aangepakt moeten worden op elke locatie. Het doel is om de score voor iedere indicator zo ver mogelijk omlaag te krijgen, en liefst onder de drempelwaarde van 6. De keuze voor de 4 cases is in onderling overleg gemaakt door de stuurgroep van dit project tijdens de vergadering op 22/04/2020.

Omdat significante positieve effecten van nature-based solutions soms verregaande ruimtelijke ingrepen vragen, en dit niet steeds mogelijk is bij de heraanleg of herinrichting van een case, stellen we hier voor alle cases meerdere scenario's voor. Dit gaat van het volledige behoud van de huidige mobiliteit-infrastructuur, tot een scenario waarbij er verregaand kan ingegrepen worden in de ruimtelijke structuur. Daarnaast wordt ter vergelijking ook apart de impact van het verminderen van het gemotoriseerd verkeer met 50% meegegeven. Dit is geen nature-based solution, maar het lijkt ons toch belangrijk om dit mee te geven om de impact van NBS op geluid en luchtkwaliteit in perspectief te plaatsen.

Specifiek voor geluidoverlast willen we nog meegeven dat nature-based solutions effectief geluidsniveaus kunnen beperken, maar daarnaast ook een belangrijk positief psychologisch effect hebben. Deze audio-visuele interactie kan behoorlijk sterk zijn bij humane perceptie. Een persoon die blootgesteld is aan hetzelfde (fysisch) geluidsniveau zal zich minder gehinderd voelen wanneer er daadwerkelijk zicht op vegetatie is. Op basis van een recente masterthesis aan de UGent (Onderzoeksgroep Akoestiek) blijkt de equivalente subjectieve geluidsreductie tot maximum 3 dBA te bedragen (via luistertesten in labo). Een voorzichtige schatting van 1.5 dBA kan daarom gehanteerd worden. De impact op de perceptie is niet verder besproken per case.

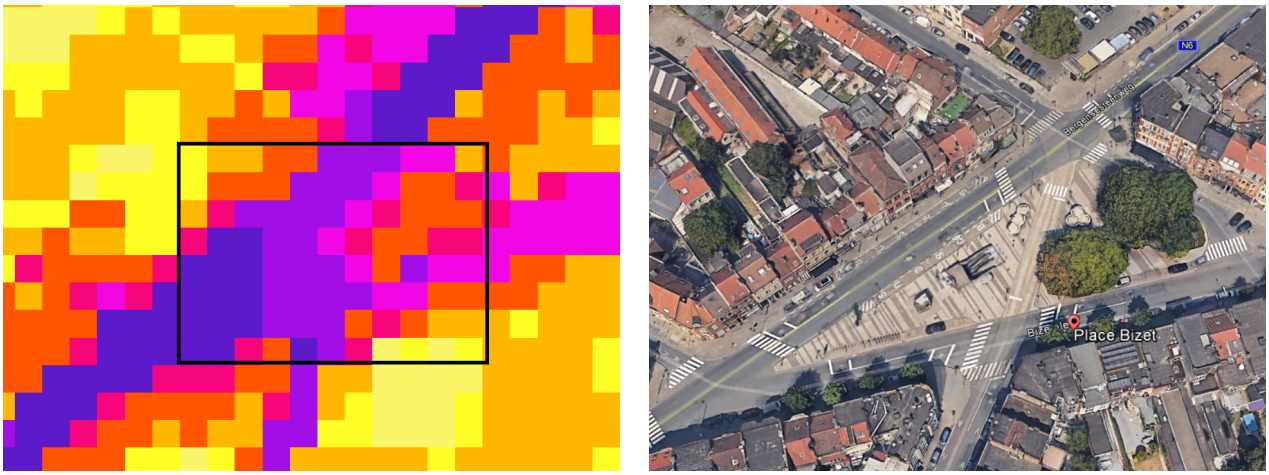
# 1 CASE 1: PLACE BIZET - ANDERLECHT (PLEIN)

## 1.1 HUIDIGE SITUATIE

Dit sterk verharde plein met in het midden geasfalteerde rijstroken is gelegen binnen de perimeter van het nieuwe wijkcontract Bizet. Het Bizetplein is een voorbeeld van een stedelijk plein waar drukke verkeersaders kruisen. De jaargemiddelde $NO_2$-concentraties lopen in de street canyons die aansluiten op het plein op tot meer dan 50 µg/m³. Op het plein zelf bedraagt de $NO_2$-concentratie in 2018 ongeveer 32 µg/m³. De rechtstreekse bijdrage van het verkeer op en rondom het plein is ongeveer 7 µg/m³, bovenop de stedelijke achtergrondwaarde van ongeveer 25 µg/m³. Er is op deze locatie ook sprake van geluidsoverlast, vooral gekoppeld aan de Chaussée de Mons, een grote verkeersas. Daarnaast is er ook sprake van hittestress op het deel van het plein waar er geen bomen staan, en zijn er overstromingsproblemen.

Tabel 8. Huidige situatie op Place Bizet

| | Indicator score | | GES score | |
|---|---|---|---|---|
| | Minimum | Maximum | Minimum | Maximum |
| Hittestress | 24 °C WBGT | 26.5 °C WBGT | 4 | 7 |
| Geluidoverlast | 70 Lden | 78 Lden | 7 | 8 |
| Luchtkwaliteit | 32 µg/m³ $NO_2$ | 50 µg/m³ $NO_2$ | 7 | 8 |




Figuur 31. Gecombineerde GES-kaart (links) en Google Earth zicht (rechts) van Place Bizet in Anderlecht.

Figuur 32. Zicht vanuit het zuidwesten (Google Street View – Maart 2019)

Figuur 33. Zicht vanuit het oosten (Google Street View – Mei 2019)

## 1.2 SCENARIO MET MINIMALE RUIMTELIJKE AANPASSINGEN

- Ontharden van de parkeerplaatsen met behoud van hun functie (bv. waterdoorlatende grasroosters)
- Opofferen van de parkeerplaatsen en busparking aan de noordzijde van de Bergensesteenweg voor het aanplanten van een bomenrij met aaneensluitende kruinen (weliswaar niet te breed uitlopend om de ventilatie niet te verhinderen), met daaronder liefst een smalle groenstrook tussen de bomen.
- Voorzien van bomen en laag groen (eventueel ook in grote, opgehoogde bakken zoals momenteel reeds aanwezig) op het verharde gedeelte van het plein
- Voorzien van een waterelement (spuitertjes of fonteintje) op het plein
- Maximaal stimuleren van privaat gevelgroen
- Maximaal stimuleren van private groendaken

Figuur 34. Schets van het scenario met minimale ruimtelijke aanpassingen

### 1.2.1 Impact

***Hittestress***
De pijnpunten van het plein (het verharde gedeelte van het centrale plein en de huizenrij aan de noordzijde) worden aangepakt door het voorzien van extra bomen. Dit zijn best loofbomen met een dicht, aaneensluitend bladerdek. Dit zorgt ervoor dat er in de winter, wanneer de bomen bladloos zijn, de zon het plein kan verwarmen en de ventilatie wordt bevorderd. Door het voorzien van voldoende schaduw en een waterelement op het plein (liefst spuitertjes om de verdamping te bevorderen, best geen stilstaand water) kan dit omgevormd worden tot een publieke koeltezone voor de buurt. Door het ontharden van de parkeerplaatsen zal er wat meer infiltratie mogelijk zijn, maar onvoldoende om de overstromingsproblemen aan te pakken. Voor hittestress zal deze maatregel weinig effect hebben. De voorgestelde groengevels en groendaken hebben vooral impact op het binnenhuis klimaat en zijn minder effectief voor het afkoelen van de buitenruimte (zie ook Hoofdstuk 1 Sectie 1.3.1), al hebben ze wel een psychologisch effect.

De algemene hittestress situatie op het centrale plein zal sterk verbeteren, en ook voor een stuk voor de voetgangers en huizen aan de noordzijde. We schatten in dat deze maatregelen zullen leiden tot een gevoelige daling (ongeveer 1°C) van de maximale WBGT temperaturen op het plein.

***Geluidoverlast***
De voorgestelde maatregelen verminderen de hoeveelheid akoestisch verhard materiaal en zorgen voor meer vergroening van het plein. Dit gaat zowel in absoluut effect als naar perceptie een lichte verbetering geven ten opzichte van de huidige situatie. Eerdere modelleringen voor een stedelijke context[1] toonden echter aan dat het erg moeilijk is om in een situatie waarbij de geluidsbron zich dicht bij de gevels bevindt, met groenmaatregelen een drastische verbetering van de situatie te creëren voor de belaste gevels.
Met het gebruik van grondgebonden gevelgroen kan een vermindering met iets meer dan 1 dbA worden behaald. Het gebruik van gevelgroen gaat weinig tot geen effect hebben op de geluidoverlast op het plein zelf. De gevelreflectie zal wel verminderd worden, maar dit is maar van secundair belang ten opzichte van het geluid dat rechtstreeks de mensen op het plein bereikt. Uit de studie bleek wel dat gevelgroen een significante verbetering kan betekenen voor de stille achterzijde van de gebouwen, aangezien de reflecties vanaf de gevel aan de voorzijde van de gebouwen daarvoor de belangrijkste geluidsbron zijn. Ontharden gaat een verbetering betekenen indien er gras of houtsnippers in de plaats komen; een naakte bodem vormt een beperktere verbetering. Het effect van ontharden zal echter sterk afhankelijk zijn van de locatie van bron en ontvanger en variëren over het plein. Het toevoegen van een waterelement (fontein of spuitertjes) kan in beperkte mate ander omgevingsgeluid maskeren. Stilstaand water is te vermijden, dit kan zelfs een negatief effect hebben door een hogere reflectie van het geluid.

Alles samen betekenen de maatregelen een lichte verbetering van het geluidsklimaat op het plein met 1 tot lokaal 3 dbA.

***Luchtverontreiniging***
Vegetatie heeft op twee manieren een impact op luchtkwaliteit: Enerzijds beïnvloedt vegetatie lokaal de ventilatie. Zo kunnen bomen en struiken een afschermende werking hebben wanneer geplaatst tussen bron en ontvanger. Voor dit stedelijk plein is het nagenoeg onmogelijk om met vegetatie effectieve afscherming te creëren aangezien er meerdere lokale verkeersstromen zijn en slechts een beperkte hoeveelheid ruimte. Ten tweede kan vegetatie ook lokaal de ventilatie verminderen door bijvoorbeeld een dicht bladerdak. Dit effect kan er lokaal toe leiden dat de polluentconcentraties oplopen, zowel voor street canyons als in mindere mate ook op het plein zelf. Het voorliggende scenario laat echter voldoende ruimte open boven de verkeersstromen om dit negatieve effect te vermijden.

*1 Case studies stationsomgeving Antwerpen in kader van Antwerpse Groentool: https://groentool.antwerpen.be/docs/Eindrapport_Functioneel_Groen_Stationomgeving.pdf*

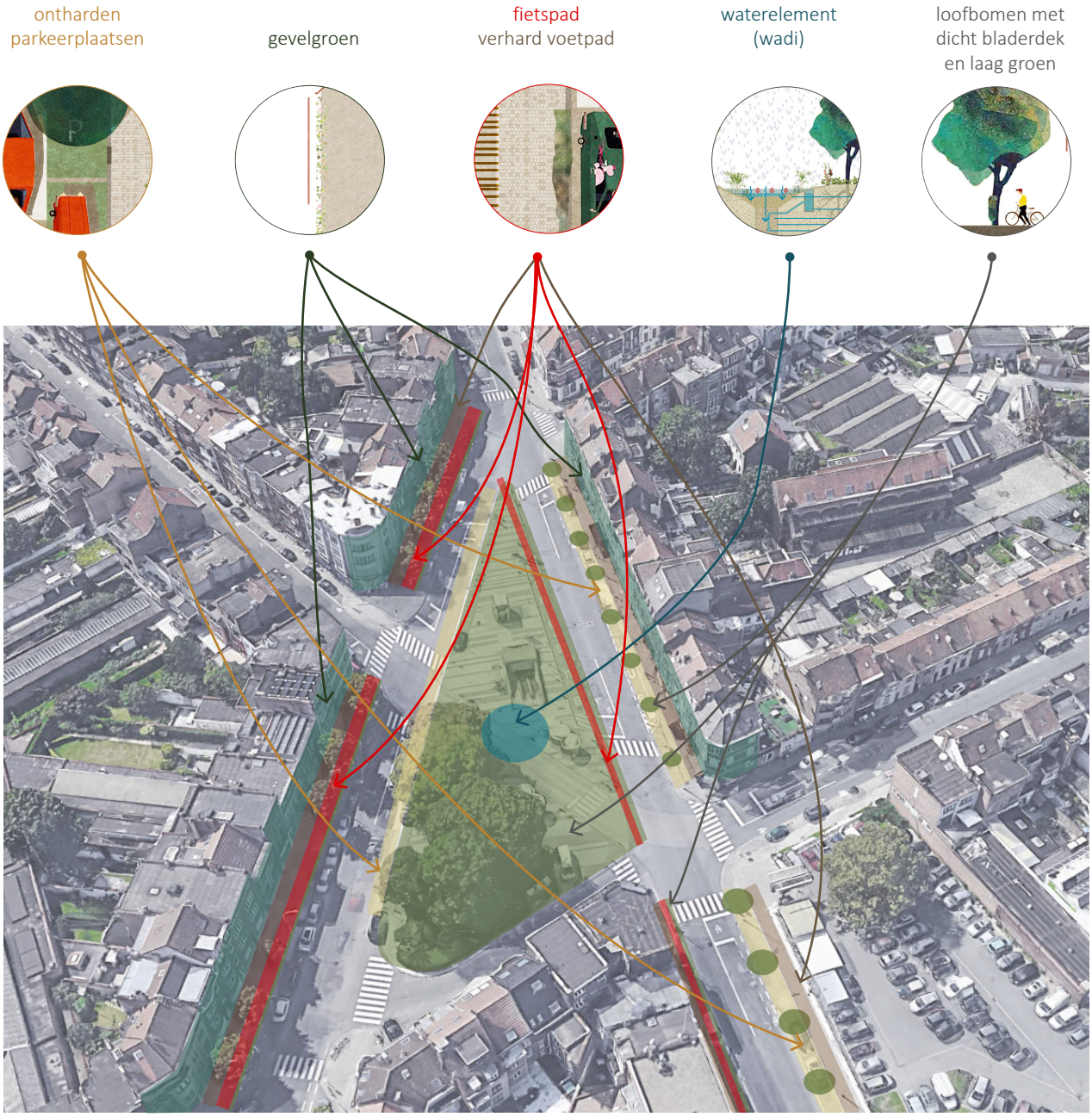
Daarnaast filtert vegetatie ook de lucht waarbij verschillende polluenten uit de omgevingslucht worden verwijderd (zie Deel 1 H 3.2.1). De filterende werking van vegetatie is belangrijk om de lucht te zuiveren, maar kan echter slechts in beperkte mate de vervuiling door lokale bronnen teniet doen. In het kader van verschillende studies is de luchtzuiverende werking van stadsgroen geanalyseerd[1,2]. De lokale bijdrage van stedelijk groen geeft zo 1 tot maximaal 5% daling van de polluentconcentraties. Dit effect wordt vooral bewerkstelligd door bomen en struiken. De bijdrage van gevelgroen en extensieve groendaken is veel kleiner dan van de voorziene grote bomen op het plein. Intensieve groendaken kunnen wel een significante verbetering opleveren, maar zijn omwille van praktische en financiële redenen meestal niet haalbaar.

Op basis van de vergroening van het verharde gedeelte van het plein met bomen en laag groen, schatten we de impact op luchtkwaliteit als een lokale verbetering met 2 à 3% (1-2 µg/m³ $NO_2$).

## 1.3 SCENARIO MET VERREGAANDE RUIMTELIJKE INGREPEN

- Opofferen van alle busparkings om ruimte te creëren voor groen en dubbelzijdige fietspaden (bussen op veilige manier op straat laten stoppen)
- Schrappen van de wegverbinding doorheen het plein om tot 1 groot plein te komen
- Opofferen van enkele parkeerplaatsen aan de noordzijde van de Bergensesteenweg voor het aanplanten van een bomenrij met aaneensluitende kruinen (weliswaar niet te breed uitlopend om de ventilatie niet te verhinderen).
- Plein maximaal ontharden en bomen met brede kruin aanplanten (eventueel lokaal ophogen indien te weinig grond beschikbaar)
- Voorzien van een waterelement op het plein(spuitertjes/fonteintje)
- Aanleggen van een ‘wadi’[3] op het centrale deel van het plein (hierbij dient wel rekening gehouden te worden met het risico van vervuiling van het overtollige regenwater dat van de straten komt, er kan eventueel een filter systeem voorzien worden)
- De parking en de bomen aan zuidzijde (waar toch schaduw is van gebouwen) opofferen voor een dubbelzijdig fietspad
- Ontharden van de parkeerplaatsen
- Fietspaden met haag afschermen van weg
- Voetpaden aanleggen in asfalt of synthetische tegels
- Maximaal stimuleren van privaat gevelgroen
- Maximaal stimuleren van private groendaken

[1] *https://groentool.antwerpen.be/docs/Literatuuroverzicht.pdf*
[2] *https://natuurwaardeverkenner.be/#/info*
[3] *Een wadi is een bufferings- en infiltratievoorziening, die tijdelijk kan gevuld worden met overtollig regenwater (https://nl.wikipedia.org/wiki/Wadi_(infiltratievoorziening)#:~:text=Met%20een%20wadi%20wordt%20in,van%20Water%20Afvoer%20Drainage%20Infiltratie.)*




Figuur 35. Schets van het scenario met maximale ruimtelijke aanpassingen

### 1.3.1 Impact

***Hittestress***
In dit scenario wordt het hele plein een echte koeltezone, die groot genoeg is om de lucht temperatuur lokaal te beïnvloeden. Door de aparte fietspaden en bomenrijen langs de voetpaden zullen zowel de fietsers als de voetgangers beter beschermd worden tegen de hitte. Er worden veel infiltratiezones gecreëerd door het ontharden van het plein en de parkeerplaatsen, en overtollig regenwater kan opgevangen worden in de wadi. Deze wordt best zo aangelegd dat het overtollige regenwater van de wegen dat niet door de riolering kan verwerkt worden tijdens stormen er naar toe draineert. Er dient best rekening gehouden te worden met het risico op vervuiling van het overtollige regenwater dat van de straten komt, en hiervoor eventueel een filter systeem te voorzien.

De algemene hittestress situatie zal sterk verbeteren, zowel op het plein, als voor de huizen errond. We schatten in dat deze maatregelen zullen zorgen voor een algemene daling van de WBGT temperaturen op het plein met ongeveer 0.5°C en de maximale waarden zelfs met 1.5°C (0.5°C meer dus dan in het geval van het minimale scenario).

***Geluidoverlast***
In dit scenario wordt het plein maximaal onthard en vergroend. De combinatie van de maatregelen biedt op verschillende manieren een mildering van de geluidbelasting op de gevels. Een haag kan een vorm van afscherming bieden; het verminderen van de harde oppervlaktes vermindert de reflecties; de bomen bieden een deel absorptie en afscherming voor de hogere verdiepingen, maar kunnen onder het bladerdek weinig verbetering bieden. Door verstrooiing van het geluid door de bomen is er een licht negatief effect voor ontvangers onder de boomkruinen maar een positief effect op hogere verdiepingen en een positief effect voor de stille achterzijde van de bebouwing.

Wanneer we kijken naar modelleringen in een stedelijke context is het erg complex om tot één algemeen cijfer te komen voor de combinatie van de verschillende maatregelen en de verschillende locaties. Een gemiddelde verbetering met 2 à 3 dbA lijkt aannemelijk.

***Luchtverontreiniging***
In dit scenario wordt nog een stap verder gegaan en neemt de hoeveelheid bomen verder toe maar blijven de verkeersstroken zelf wel voldoende open om de ventilatie van de uitlaatgassen niet te verhinderen. Ten opzichte van het voorgaande scenario maakt dus het toegenomen volume bomen dat er lokaal meer luchtzuivering mogelijk is. Dit verhoogt de positieve impact op de lokale luchtkwaliteit tot 4 à 5% (2-3 µg/m³ $NO_2$) daling van de gemiddelde polluentconcentraties. Ook het plaatsen van de hagen kan een vorm van afscherming bieden indien voldoende hoog. Het precieze lokale effect in de complexe omgeving van een stedelijk plein met verschillende verkeersstromen is echter erg moeilijk in te schatten.

## 1.4 TER VERGELIJKING: SCENARIO WAARBIJ GEMOTORISEERD VERKEER MET 50% WORDT VERMINDERD

***Geluidoverlast***
Een reductie van het verkeersvolume met 50% betekent een reductie van de geluidsbelasting met 3 dbA (zie Deel 1 H 3.3.1).

***Luchtverontreiniging***
In een scenario waarbij het lokale verkeer met 50% wordt verminderd, wordt de lokale bronbijdrage dus 50% minder. De jaargemiddelde $NO_2$-concentraties in de street canyons die aansluiten op het plein lopen op tot meer dan 50 µg/m³. Op het plein zelf bedraagt de $NO_2$-concentratie in 2018 ongeveer 32 µg/m³. De rechtstreekse bijdrage van het verkeer op en rondom het plein is ongeveer 7 µg/m³, bovenop de stedelijke achtergrondwaarde van ongeveer 25 µg/m³. Door een halvering van het verkeersvolume is te verwachten dat de concentraties afnement met ongeveer 3,5 µg/m³ op het plein en met maximaal 12,5 µg/m³ in de aansluitende street canyons.

## 1.5 CONCLUSIE

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de impact van alle voorgestelde scenarios op de drie verschillende problematieken die in deze studie bekeken worden. Wat betreft hittestress is het duidelijk dat de voorgestelde nature-based solutions er in slagen om de probleemgebieden op en rond het plein te verhelpen. Wanneer maximaal ingezet wordt op groenmaatregelen kan het plein zelfs een echte koeltezone worden voor de buurt en blijft de hittestress overal onder de drempelwaarde van 25°C WBGT. Wat betreft geluidoverlast is de efficiëntie van nature-based solutions minder hoog op dit soort locaties. Toch komt het effect van een maximale inzet van nature-based solutions nog dicht in de buurt van een verregaande verkeersreductie. Dit is niet het geval voor de luchtkwaliteit, waarvoor een verkeersreductie duidelijk efficiënter is dan eender welke groenmaatregelen. Idealiter wordt de inzet van nature-based solutions dus geflankeerd door bronmaatregelen gericht op het verminderen van de verkeersuitstoot. Dit zal zeker nodig zijn om de waarden van de geluid- en luchtkwaliteit indicatoren onder de drempelwaarden te krijgen op Place Bizet.

Tabel 9. Huidige situatie op Place Bizet

| | | Indicator score | | GES score | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Maximum | Minimum | Maximum |
| Hittestress | Referentie | 24 °C WBGT | 26.5 °C WBGT | 4 | 7 |
| | Minimaal | 24 °C WBGT | 25.5 °C WBGT | 4 | 6 |
| | Maximaal | 23.5 °C WBGT | 25 °C WBGT | 3 | 5 |
| | | | | | |
| Geluidoverlast | Referentie | 70 Lden | 78 Lden | 7 | 8 |
| | Minimaal | 68 Lden | 76 Lden | 7 | 8 |
| | Maximaal | 67.5 Lden | 75.5 Lden | 6 | 8 |
| | Verkeer -50% | 67 Lden | 75 Lden | 6 | 8 |
| | | | | | |
| Luchtkwaliteit | Referentie | 32 µg/m³ NO2 | 50 µg/m³ NO2 | 7 | 8 |
| | Minimaal | 31 µg/m³ NO2 | 48 µg/m³ NO2 | 7 | 8 |
| | Maximaal | 30 µg/m³ NO2 | 47 µg/m³ NO2 | 6 | 8 |
| | Verkeer -50% | 28.5 µg/m³ NO2 | 37.5 µg/m³ NO2 | 6 | 7 |

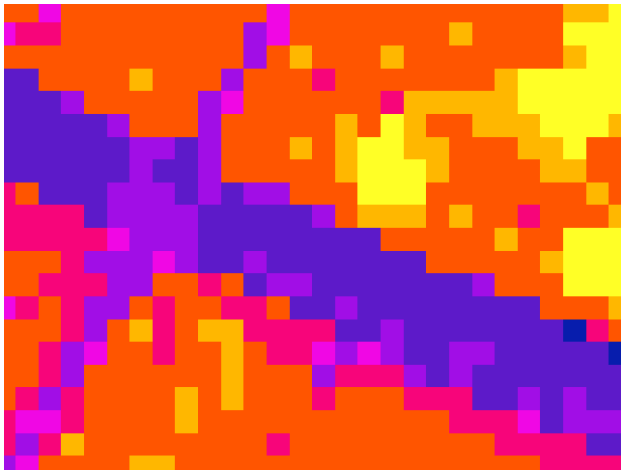
# 2 CASE 2: BOULEVARD LÉOPOLD II TER HOOGTE VAN DE PIERSTRAAT IN MOLENBEEK (BREDE STREET CANYON)

## 2.1 HUIDIGE SITUATIE

Dit gedeelte van de Boulevard Léopold II is een typische brede street canyon met druk verkeer en weinig groen (enkele bomenrijen), waar zowel de luchtkwaliteit, de geluidoverlast als de hittestress problematisch zijn. Daarnaast is Boulevard Leopold II momenteel een belangrijke as in het nieuwe stadsvernieuwingscontract en zou deze uiteindelijk een rol kunnen spelen als 'klimaatas' die de voorstedelijke gebieden via het Elisabethpark met het centrum verbindt. Het bestudeerde deel ligt ook dicht bij de Pierstraat, dat een zwarte punt vormt wat betreft geluidoverlast, en bij de uitgang van een tunnel, die voor verhoogde luchtverontreiniging zorgt.

Tabel 10. Huidige situatie op Boulevard Léopold II

| | Indicator score | | GES score | |
|---|---|---|---|---|
| | Minimum | Maximum | Minimum | Maximum |
| Hittestress | 26 °C WBGT | 27 °C WBGT | 7 | 7 |
| Geluidoverlast | 73 Lden | 78 Lden | 8 | 8 |
| Luchtkwaliteit | 40 µg/m³ $NO_2$ | 60 µg/m³ $NO_2$ | 8 | 8 |



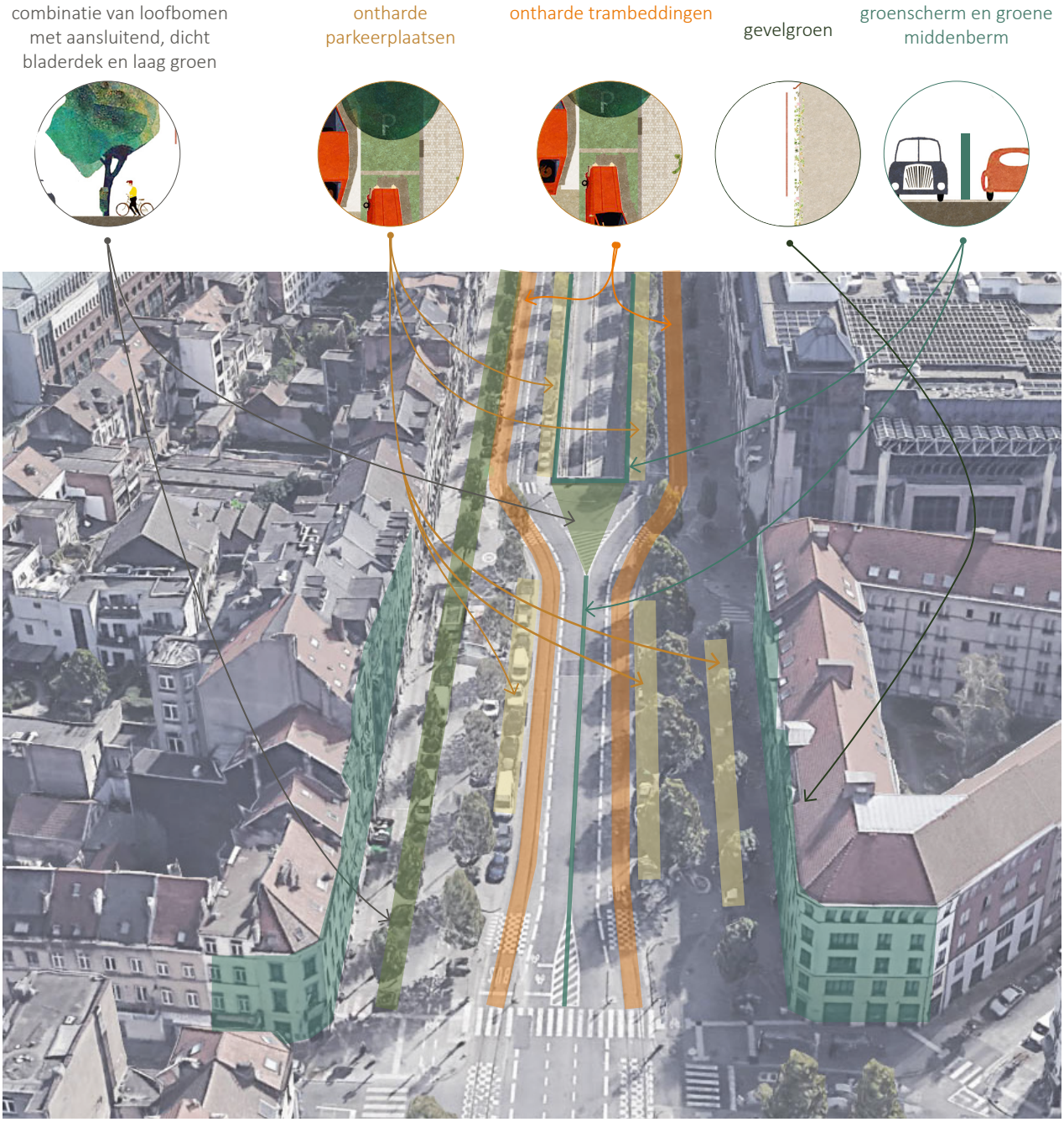
Figuur 36: Gecombineerde GES-kaart (links) en Google Earth bovenaanzicht (rechts) van de Boulevard Léopold II.

Figuur 37. Zicht vanuit het noordwesten (Google Street View – Maart 2019)

Figuur 38. Zicht vanuit het zuidoosten (Google Street View – Maart 2019)

## 2.2 SCENARIO MET MINIMALE RUIMTELIJKE AANPASSINGEN

- Aanbrengen van groenschermen (4 tot 6 m hoog) aan de tunnelmonden
- Ontharden van de parkeerplaatsen
- Lage begroeide middenberm met geluidsabsorberende schermen
- Ontharden van de trambeddingen (op de plaatsen waar er geen bussen over rijden)
- Opofferen van enkele parkeerplaatsen voor het aanplanten van een bomenrij met aaneensluitende kruinen. De bomenrij wordt best aan de noordzijde van de laan aan-gelegd aangezien aan de zuidzijde de gebouwen (en het groenscherm) al zorgen voor schaduw op de warmste momenten van de dag. De bomenrij bestaat liefst uit loof-bomen met een dicht, aaneensluitend bladerdek om maximaal schaduw te kunnen voorzien. Het is ook beter om 1 rij grote, volgroeide bomen te voorzien dan 2 rijen kleine boompjes omdat grote bomen veel efficiënter de lucht afkoelen door evapotranspiratie en voor veel meer schaduw zorgen.
- Brede onverharde strook met laag groen voorzien onder de bomenrij zodat ze ruimte hebben om groter te worden dan de huidige boompjes
- Maximaal stimuleren van privaat gevelgroen
- Maximaal stimuleren van private groendaken




Figuur 39. Schets van het scenario met minimale ruimtelijke aanpassingen

### 2.2.1 Impact

***Hittestress***
De bomenrij zal zorgen voor een lokale koeltezone voor de wandelaars en fietsers aan de noordzijde van de laan. Aan de zuidzijde zorgen de gebouwen (en het groenscherm) voor schaduw op de warmste momenten van de dag. Maatregelen zoals groengevels en groendaken hebben vooral impact op het binnenhuis klimaat en zijn minder effectief voor het afkoelen van de buitenruimte, al hebben ze wel een psychologisch effect. De ontharde zones zorgen voor meer infiltratie van overtollig regenwater.

De algemene hittestress situatie in de laan zal lokaal sterk verbeteren, vooral aan de noordzijde van de laan. We schatten in dat deze maatregelen zullen leiden tot een gevoelige daling (ongeveer 1°C) van de minimale WBGT temperaturen in de laan en ook een lichte daling van de maximum WBGT temperatuur met 0.5°C.

***Geluidoverlast***
In dit scenario worden verschillende maatregelen gecombineerd om een geluidsarmere omgeving te verkrijgen. De Boulevard Leopold II is echter een brede streetcanyon met erg hoge geluidsvolumes. In Antwerpen is voor de Plantin Moretuslei, eveneens een brede street canyon met erg hoge verkeersvolumes een geluidsmodellering[1] uitgevoerd die aantoonde dat er significante reducties, tot 6 dbA op grondniveau haalbaar zijn door met een middenberm met begroeide geluidsabsorberende schermen te werken die zowel voor afscherming als absorptie zorgen. Dit effect neemt echter af met de hoogte aangezien er voor de hogere verdiepingen minder of geen afscherming is. Bomen, groengevels en groendaken gaan slechts minimaal bijdragen tot een reductie in de street canyon zelf, maar dragen wel bij tot lagere geluidsvolumes aan de verkeersluwe zijde (zie ook de uitleg bij de Place Bizet case). Bomen verhogen de verstrooiing, wat positief is voor de geluidbelasting van de hogere bouwlagen maar negatief aan de grond. Door het afschermen van de tunnelmond, wordt de bijdrage hiervan sterk gereduceerd, zodat naar waarschijnlijkheid het geluid van het bovengrondse verkeer dominant wordt.

Op basis van modellering voor een gelijkaardige situatie wordt de geluidsreductie op 4 dBA geschat.

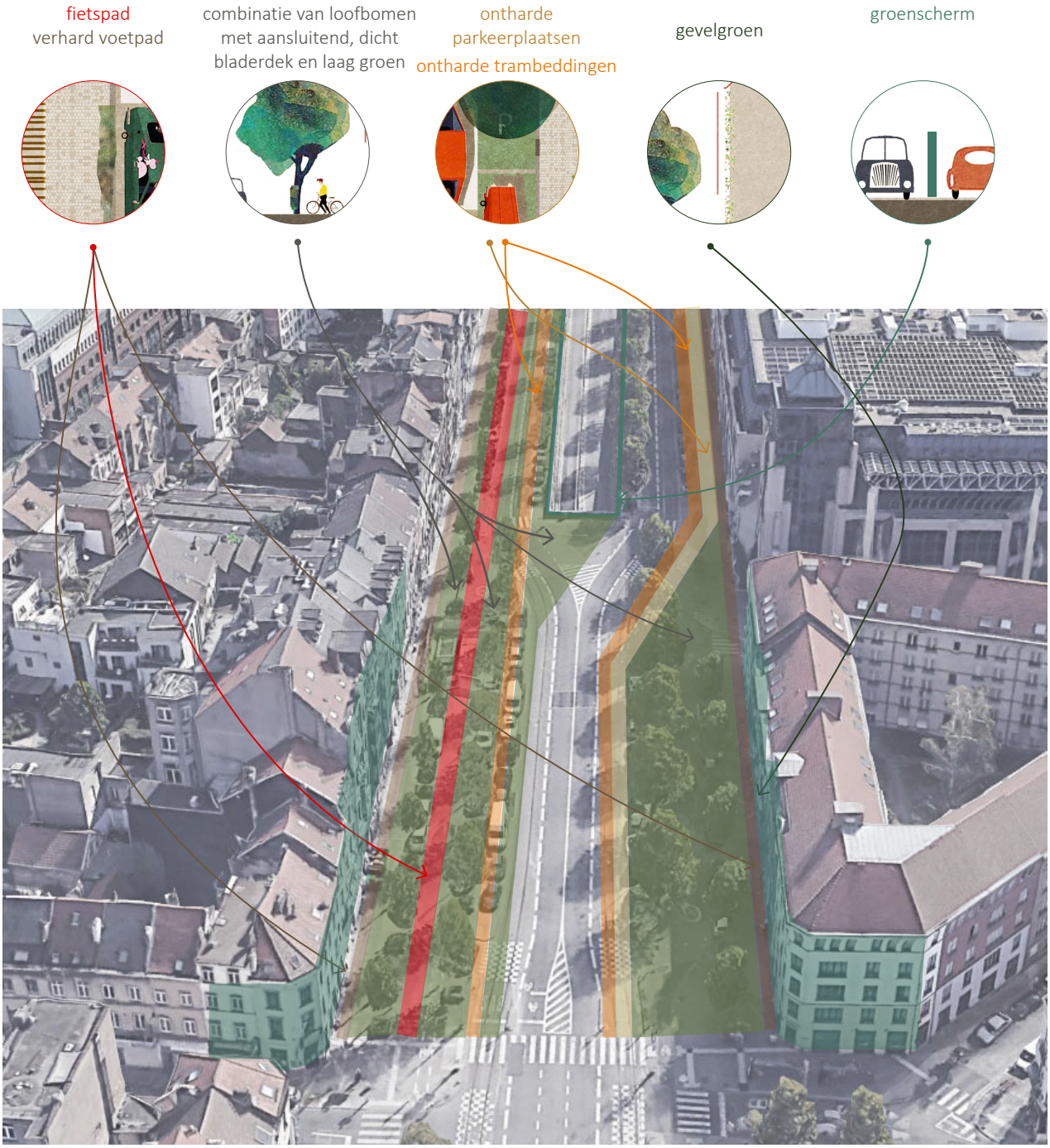
***Luchtverontreiniging***
De $NO_2$ concentraties langs de Boulevard Leopold II variëren op deze locatie van ruim boven de 40 tot meer dan 60 µg/m³ nabij de tunnelmond ten opzichte van lokale stedelijke achtergrondlocaties van ongeveer 30 µg/m³. De bijdrage van het lokale verkeer is erg hoog omwille van de hoge verkeersvolumes en de verminderde ventilatie door het street-canyon effect. De tunnelmond vormt bijkomend een lokale hotspot aangezien hier een deel van de emissies uit de Leopold II tunnel vrij komt. De tunnelmond geeft lokaal een verhoging met meer dan 10 µg/m³. Door schermen rondom de tunnelmond kan de impact hiervan met 20 tot 25% gemilderd worden. Dit maakt een lokale daling van ongeveer 2,5 µg/m³. Bomen zijn het meest doeltreffend in het vastleggen van schadelijk stoffen. Voor de bomenrijen is het belangrijk te werken met voldoende ruimte tussen de bomen om de ventilatie in de brede street canyon niet te hinderen, wat tot negatieve effecten zou leiden. Dit maakt dat de bomen lokaal een verschil in concentraties tot 2% betekenen. De effecten van gevelgroen kunnen aanleiding geven tot lokale dalingen van ongeveer 1% en bieden dus slechts een beperkte effectiviteit.

Voor de verschillende maatregelen samen verwachten we dus hoofdzakelijk een mildering van de impact van de tunnelmond en een algemene daling met ongeveer 2% door de bomenrijen.

*[1]Case studies stationsomgeving Antwerpen in kader van Antwerpse Groentool: https://groentool.antwerpen.be/docs/Eindrapport_Functioneel_Groen_Stationomgeving.pdf*

## 2.3 SCENARIO MET VERREGAANDE RUIMTELIJKE INGREPEN

- Verschuiven van het autoverkeer naar de zuidzijde van de laan om ruimte te creëren voor een brede groenstrook met dubbelzijdig fietspad (eventueel ook een onthard wandelpad). Er blijft nog 1 rijstrook over voor autoverkeer in elke richting.
- Groenstrook bevat minstens 1 bomenrij met aaneensluitend bladerdek en ondergroei met struiken voor afscherming
- Opofferen van een deel van de parkeerplaatsen
- Tramsporen en parkeerplaatsen zoveel mogelijk ontharden
- Aanbrengen van groenschermen (4 tot 6 m hoog) aan de tunnelmonden
- Voetpaden aanleggen in asfalt of synthetische tegels
- Maximaal stimuleren van privaat gevelgroen
- Maximaal stimuleren van private groendaken




Figuur 40. Schets van het scenario met maximale ruimtelijke aanpassingen

### 2.3.1 Impact

***Hittestress***
De brede groenstrook met bomenrij(en) zal zorgen voor een koeltestrook voor de wandelaars en fietsers en is groot genoeg om ook effect te hebben op de lokale lucht temperatuur en de hittstress situatie voor de bewoners van de huizen. Er wordt zeer veel schaduwgebied gecreëerd voor de warmste momenten van de dag. De ontharde zones (>50% van het totaaloppervlak) zorgen voor infiltratie van overtollig regenwater en het rioolsysteem significant ontlasten bij zware regenbuien.

De algemene hittestress situatie in de laan zal sterk verbeteren (we verwachten een reductie van de WBGT temperaturen met ongeveer 1.5°C), en een echte 'klimaatas' vormen richting het centrum.

***Geluidoverlast***
Door het asymmetrische profiel wijzigt de belasting van beide kanten van de straat. De gevels worden aan de noordzijde afgeschermd door de combinatie van hoog en laag groen, de groenschermen rondom de tunnelmond en door de toegenomen afstand tot het verkeer. Voor deze zijde schatten we een reductie tot 5 dBA haalbaar. Langs de andere zijde is de afscherming echter beperkter en blijft de afstand tot het verkeer beperkt. Hier zullen de ingrepen (onthardingen, gevelgroen, verminderde reflectie tussen de gevels) naar schatting slechts 1 à 2 dBA verschil maken. In dit gedeelte van de straat zijn er vooral kantoorgebouwen aan de zuidzijde, dus lijkt dit hier minder problematisch.

***Luchtverontreiniging***
Ten opzichte van het vorige scenario wordt de nodige ruimte gecreëerd voor een sterker doorgedreven vergroening met meer bomen. Dit geeft dus bijkomende filtercapaciteit zonder de ventilatie van de uitlaatgassen sterk te hinderen. De bijkomende bomen zorgen dat de positieve impact van het lokale groen oploopt tot 4 à 5% daling in de concentraties, naast de mildering van de impact van de tunnelmond door de groenschermen.

## 2.4 TER VERGELIJKING: SCENARIO WAARBIJ GEMOTORISEERD VERKEER MET 50% WORDT VERMINDERD

***Geluidoverlast***
Een reductie van het verkeersvolume met 50% betekent een reductie van de geluidsbelasting met 3 dbA (zie Deel 1 H 3.3.1).

***Luchtverontreiniging***
In een scenario waarbij het lokale verkeer met 50% wordt verminderd, wordt de lokale bronbijdrage dus 50% minder. De $NO_2$-concentraties langs de Boulevard Leopold II variëren op deze locatie van ruim boven de 40 tot meer dan 60 µg/m³ nabij de tunnelmond ten opzichte van lokale stedelijke achtergrondlocaties van ongeveer 30 µg/m³. Door een halvering van het verkeersvolume, is te verwachten dat de concentraties afnamen met ongeveer 5 µg/m³ tot maximaal 15 µg/m³ nabij de tunnelmond. Dit toont opnieuw aan dat voor luchtkwaliteit nature-based-solutions kunnen bijdragen tot lokale verbeteringen, maar dat bronbeleid essentieel is. Zelfs na halvering van het lokale verkeersvolume lopen de concentraties langs de Boulevard Leopold II naar verwachting nog steeds op tot boven de 40 µg/m³. Dit toont aan dat een verder verschoning van het wagenpark noodzakelijk is om hier de $NO_2$-concentraties drastisch te laten dalen.

## 2.4 CONCLUSIE

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de impact van alle voorgestelde scenarios op de drie verschillende problematieken die in deze studie bekeken worden. Wat betreft hittestress kunnen er opnieuw grote winsten geboekt worden met nature-based solutions en kunnen zo goed als alle problemen verholpen worden in de laan. De voorgestelde asymmetrische opstelling van de nature-based solutions is dan ook erg gericht op het voorkomen van hittestress. Dit is zeker te verantwoorden omdat voor geluidoverlast en zeker voor luchtkwaliteit de winst eerder van bronbeleid moet komen. Voor geluidoverlast zien we dat de voorgestelde maatregelen een sterke reductie van de lawaaihinder bekomen, meer zelfs dan het significant verminderen van het verkeer. De impact is wel sterk lokaal afhankelijk, zeker in de voorgestelde asymmetrische opstelling. Het is dan ook aan te raden om goed na te kijken waar een dergelijke opstelling kan toegepast worden. Wat betreft de luchtkwaliteit zijn de voorgestelde maatregelen op deze locatie een stuk efficiënter dan op Place Bizet, maar toch is het verminderen van de verkeersuitstoot nodig om echt impact te genereren.

Tabel 11: Overzicht van het effect van de verschillende scenarios op Boulevard Léopold II

| | | Indicator score | | GES score | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Maximum | Minimum | Maximum |
| Hittestress | Referentie | 26 °C WBGT | 27 °C WBGT | 7 | 7 |
| | Minimaal | 25 °C WBGT | 25.5 °C WBGT | 6 | 6 |
| | Maximaal | 23.5 °C WBGT | 25.5 °C WBGT | 3 | 6 |
| | | | | | |
| Geluidoverlast | Referentie | 73 Lden | 78 Lden | 8 | 8 |
| | Minimaal | 69 Lden | 74 Lden | 7 | 8 |
| | Maximaal | 68 Lden | 77 Lden | 7 | 8 |
| | Verkeer -50% | 70 Lden | 75 Lden | 8 | 8 |
| | | | | | |
| Luchtkwaliteit | Referentie | 40 µg/m³ $NO_2$ | 60 µg/m³ $NO_2$ | 8 | 8 |
| | Minimaal | 39 µg/m³ $NO_2$ | 56 µg/m³ $NO_2$ | 7 | 8 |
| | Maximaal | 38 µg/m³ $NO_2$ | 54 µg/m³ $NO_2$ | 7 | 8 |
| | Verkeer -50% | 35 µg/m³ $NO_2$ | 45 µg/m³ $NO_2$ | 7 | 8 |

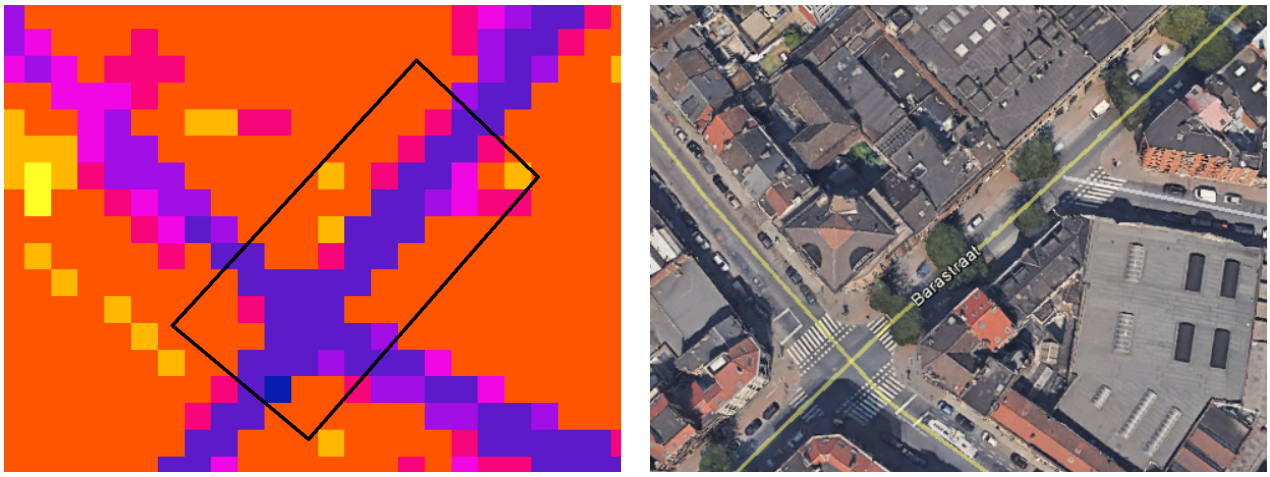
# 3 CASE 3: RUE BARA IN ANDERLECHT (SMALLE STREET CANYON)

## 3.1 HUIDIGE SITUATIE

Dit stuk street canyon (tussen de Blérotstraat en de Boulevard Jamar) heeft vier rijstroken, parkeerplaatsen aan één kant van de weg en amper groen (enkele bomen). Alle drie de problematieken komen hier naar boven, al staat het vooral bekend als een zwart punt wat betreft geluidoverlast. Deze straat bevindt zich in een zone die binnenkort vernieuwd wordt (PAD Midi).

Tabel 12: Huidige situatie Rue Bara

| | Indicator score | | GES score | |
|---|---|---|---|---|
| | Minimum | Maximum | Minimum | Maximum |
| Hittestress | 26.5 °C WBGT | 27 °C WBGT | 7 | 7 |
| Geluidoverlast | 75 Lden | 77 Lden | 8 | 8 |
| Luchtkwaliteit | 52 µg/m³ $NO_2$ | 57 µg/m³ $NO_2$ | 8 | 8 |



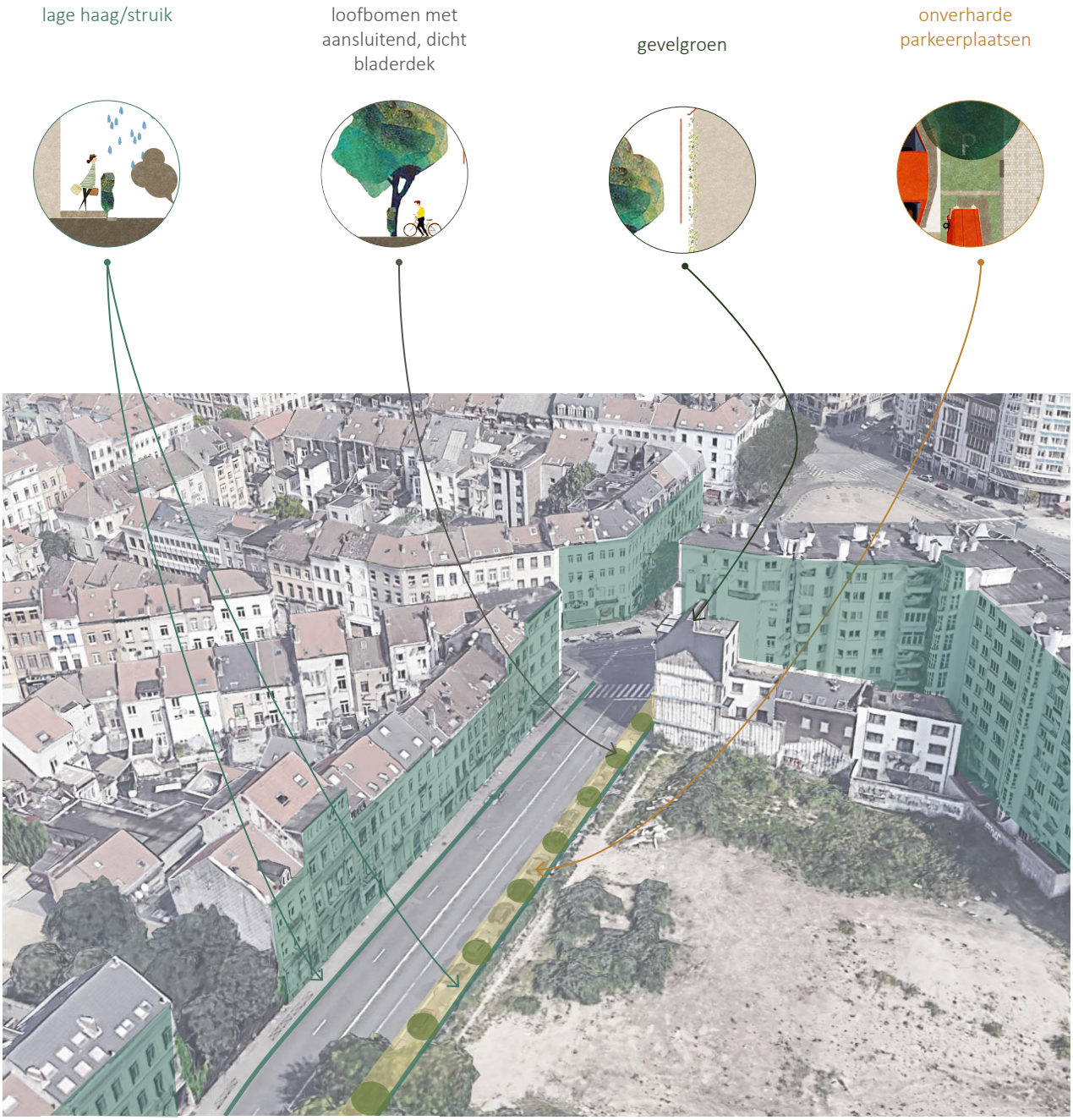

Figuur 41: Gecombineerde GES-kaart (links) en Google Earth bovenaanzicht (rechts) van de Rue Bara.

Figuur 42: Zicht vanuit het noordoosten (Google Street View – Maart 2019)

Figuur 42: Zicht vanuit het zuidwesten (Google Street View – Maart 2019)

## 3.2 SCENARIO MET MINIMALE RUIMTELIJKE AANPASSINGEN

- Ontharden van de parkeerplaatsen en de stroken tussen de bestaande bomen
- Opofferen van enkele parkeerplaatsen voor het aanplanten van een bomenrij (continue rij aan 1 kant van de weg om genoeg ventilatie toe te laten). Dus verder gaan zoals te zien is op Figuur 12.
- Aanbrengen van lage vegetatie (hagen/struiken) langs de wegkant
- Maximaal stimuleren van privaat gevelgroen
- Maximaal stimuleren van private groendaken
- (In smalle straten met weinig verkeer waar geen plaats is voor bomen kan er gewerkt worden met groenslingers (bv. met groenblijvende bladeren zoals klimop) van gevel tot gevel om schaduw te creëren in de zomer. Deze moeten uiteraard voldoende hoog opgehangen worden om hoge voertuigen door te kunnen laten. )




Figuur 44: Schets van het scenario met minimale ruimtelijke aanpassingen

### 3.2.1 Impact

***Hittestress***
Vooral de (extra) bomen (liefst loofbomen met dicht bladerdek, maar niet te breed uitlopend om de ventilatie niet te verhinderen) zullen zorgen voor lokale kleine koelteplekken. Maatregelen zoals groengevels en groendaken hebben vooral impact op het binnenhuis klimaat en zijn minder effectief voor het afkoelen van de buitenruimte.

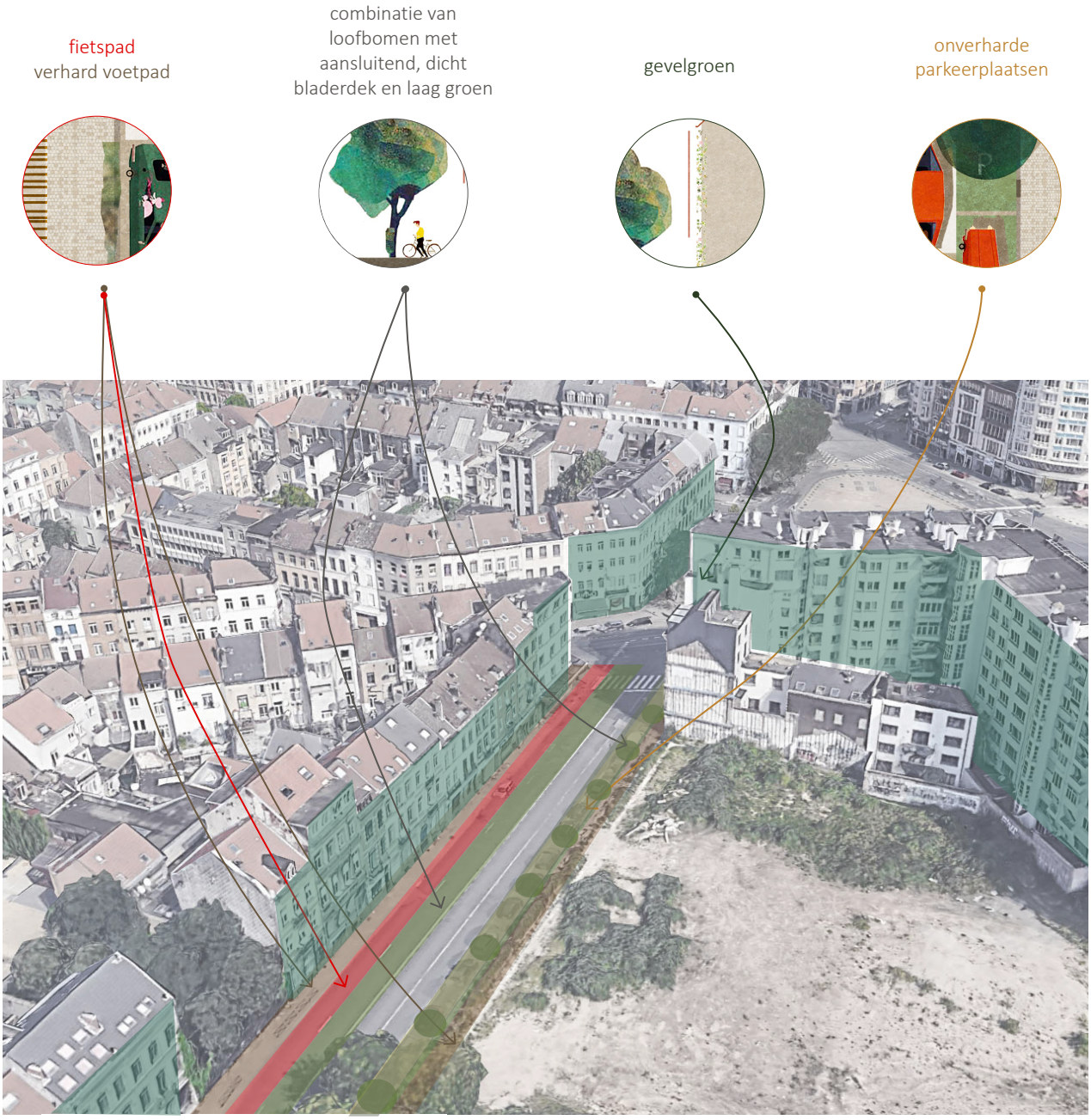
De algemene hittestress situatie in de straat zal weinig veranderen buiten de lokale schaduwplekken. We schatten in dat er een lichte verbetering is van 0.5°C WBGT, met minima in de schaduw van de bomen rond 25°C WBGT.

***Geluidoverlast***
In een smalle street canyon met hoge verkeersvolumes en slechts beperkte ruimte om ingrepen te plannen is het vrijwel onmogelijk om met nature-based-solutions een drastische verlaging van de geluidsbelasting te bekomen in de straat zelf. Wel kan door een slimme combinatie van groenmaatregelen de geluidspropagatie naar de achterzijde van de bebouwing sterk worden gereduceerd. In Antwerpen is via modellering berekend dat door een combinatie van groendaken en groengevels slechts 1 dBA daling in de straat haalbaar is, maar wel dalingen tot 8 dBA voor de achterzijde. Groengevels hebben een licht positief effect voor de straat zelf door minder reflectie. Dit is echter secundair aangezien de rechtstreekse belasting door het verkeer zelf dominant is. Het effect van groendaken en ontharden is in de straat zelf verwaarloosbaar.

***Luchtverontreiniging***
De $NO_2$ concentratie loopt lokaal op tot 52 à 57 µg/m³ ten opzichte van een lokale stedelijke achtergrondconcentratie van ongeveer 31 µg/m³. Door de verminderde ventilatie omwille van het street canyon effect is de bijdrage van het lokale verkeer dus 21 tot 26 µg/m³. Omwille van de beperkte ruimte kan de vergroening in deze smalle street canyon slechts beperkt de luchtkwaliteit verbeteren. Voor de bomenrijen blijft het een aandachtspunt om de lokale ventilatie niet te hinderen, daarom wordt er hier gekozen om slechts aan één zijde een volledige bomenrij te creëren. Aanvullend wordt er wederom gevelgroen en groendaken aanbevolen. Het dominante effect is hier de filtratie door de bomenrij, wat een daling met een 2-tal % oplevert.

## 3.3 SCENARIO WAARBIJ VERMINDERD WORDT NAAR 2 RIJSTROKEN

- Dubbelzijdig fietspad aan de noordkant van de straat
- Brede strook groen met loofbomen (aaneensluitende kruinen), struiken en kruidachtigen die de fietsers en wandelaars afschermt van de rijbaan
- Ontharden van de parkeerplaatsen
- Aanbrengen van lage vegetatie (hagen/struiken) langs de wegkant
- Voetpaden aanleggen in asfalt of synthetische tegels
- Maximaal stimuleren van privaat gevelgroen
- Maximaal stimuleren van private groendaken
- (In smalle straten met weinig verkeer waar geen plaats is voor bomen kan er gewerkt worden met groenslingers van gevel tot gevel om schaduw te creëren in de zomer.)




Figuur 45: Schets van het scenario met maximale ruimtelijke aanpassingen

### 3.3.1 Impact

***Hittestress***
De brede groenstrook zorgt voor een continue koelteplek doorheen de straat en creëert schaduw voor de wandelaars en fietsers. Deze strook wordt best aan de noordkant van de straten aangelegd aangezien de gebouwen aan de zuidkant van de straat voor schaduw zorgen op de warmste momenten van de dag. Op plaatsen waar geen gebouwen staan aan de zuidkant kunnen eventueel enkele parkeerplaatsen opgeofferd worden voor extra bomen, voor zover deze de ventilatie in de straat niet verhinderen. De ontharde zones aan beide kanten van de rijbaan zorgen voor infiltratie van overtollig regenwater.

De algemene hittestress situatie in de straat zal significant verbeteren, vooral voor de wandelaars en fietsers. We schatten in dat de minimale WBGT waarde rond 24°C zal liggen in de groenstrook, terwijl de maximale waarde in de straat zal dalen tot 26°C.

***Geluidoverlast***
Net zoals in het voorgaande scenario is er een positief effect voor de achterzijde. In dit scenario is dit aangevuld met significante afscherming en absorptie voor 1 zijde van de straat door het gebruik van een brede strook groen om de gevels en zachte weggebruikers af te schermen, en lage vegetatie om de weg af te schermen. De afscherming door heesters en struiken kan tot 3 dBA daling bieden. Door de toegenomen afstand tot het verkeer samen met deze afscherming lijkt een daling met 4 tot 5 dBA voor deze straatzijde realistisch. Voor de andere straatzijde is er slechts minimale afscherming en is de afstand tot het verkeer erg beperkt, een nagenoeg verwaarloosbare daling met 1 dBA lijkt hiervoor het resultaat.

***Luchtverontreiniging***
Een recente studie naar de effecten van hagen en struiken toonde aan dat hiermee ook in een street canyon voor afscherming kan worden gezorgd. Deze studie lijkt aan te geven dat het mogelijk is om met hagen maximale reducties tot 61% te bereiken op de impact van de lokale emissies ter hoogte van de voetgangerszone in canyons (Gromke, Jamarkattel, & Ruck, 2016). Dit zijn resultaten op basis van een windtunnelstudie waarbij gekeken wordt naar het effect op het aandeel van de lokale emissies in de concentraties. Op jaargemiddelde basis zijn de effecten echter aanzienlijk kleiner. Andere studies hebben tot op heden deze significante afscherming nog niet in de praktijk bevestigd. Vandaar lijkt het realistisch om aan te geven dat ook een haag langs de rijweg voor afscherming kan zorgen, maar dat dit slechts een beperkt effect is van een 5-tal % reductie van de lokale bronbijdrage, in lijn met eerder modelstudies (Innovatie Programma Luchtkwaliteit - IPL, Erbrink, 2009). De combinatie met de strook bomen geeft bijkomend een daling met een 4-tal % door de filtratie door de bomen.

## 3.4 TER VERGELIJKING: SCENARIO WAARBIJ GEMOTORISEERD VERKEER MET 50% WORDT VERMINDERD

***Geluidoverlast***
Een reductie van het verkeersvolume met 50% betekent een reductie van de geluidsbelasting met 3 dbA (zie Deel 1 H 3.3.1).

***Luchtverontreiniging***
De NO2 concentratie loopt lokaal op tot 52 à 57 µg/m³ ten opzichte van een lokale stedelijke achtergrondconcentratie van ongeveer 31 µg/m³. Door de verminderde ventilatie omwille van het street canyon effect is de bijdrage van het lokale verkeer dus 21 tot 26 µg/m³. Door het verkeer te halveren wordt deze lokale bronbijdrage 10,5 tot 13 µg/m³.

## 3.5 CONCLUSIE

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de impact van alle voorgestelde scenarios op de drie verschillende problematieken die in deze studie bekeken worden. Het is duidelijk dat smalle street canyons de meest lastige locaties zijn om impact te genereren met nature-based solutions omwille van het gebrek aan ruimte en de nabijheid van het verkeer. Wat betreft hittestress kan er toch een significant verschil gemaakt worden en verbetert de situatie gevoelig, al zullen niet alle probleemzones weg zijn en is het lastig om een echte koeltezone te creëren in een smalle straat. Voor geluidoverlast en luchtkwaliteit zien we dat nature-based solutions slechts een erg beperkt effect hebben, en dat dit effect een stuk kleiner is dan het reduceren van het verkeer met 50%. Maar zelfs dat volstaat niet om de indicatoren onder de drempelwaarden te krijgen, er zijn dus nog ingrijpendere maatregelen nodig op locaties zoals Rue Bara.

Tabel 13: Overzicht van het effect van de verschillende scenarios in Rue Bara

| | | Indicator score | | GES score | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Maximum | Minimum | Maximum |
| Hittestress | Referentie | 26.5 °C WBGT | 27 °C WBGT | 7 | 7 |
| | Minimaal | 25 °C WBGT | 26.5 °C WBGT | 6 | 6 |
| | Maximaal | 24 °C WBGT | 26 °C WBGT | 4 | 6 |
| | | | | | |
| Geluidoverlast | Referentie | 75 Lden | 77 Lden | 8 | 8 |
| | Minimaal | 74 Lden | 76 Lden | 8 | 8 |
| | Maximaal | 71 Lden | 76 Lden | 8 | 8 |
| | Verkeer -50% | 72 Lden | 74 Lden | 8 | 8 |
| | | | | | |
| Luchtkwaliteit | Referentie | 52 µg/m³ NO2 | 57 µg/m³ NO2 | 8 | 8 |
| | Minimaal | 51 µg/m³ NO2 | 56 µg/m³ NO2 | 8 | 8 |
| | Maximaal | 48 µg/m³ NO2 | 52 µg/m³ NO2 | 8 | 8 |
| | Verkeer -50% | 41 µg/m³ NO2 | 44 µg/m³ NO2 | 8 | 8 |

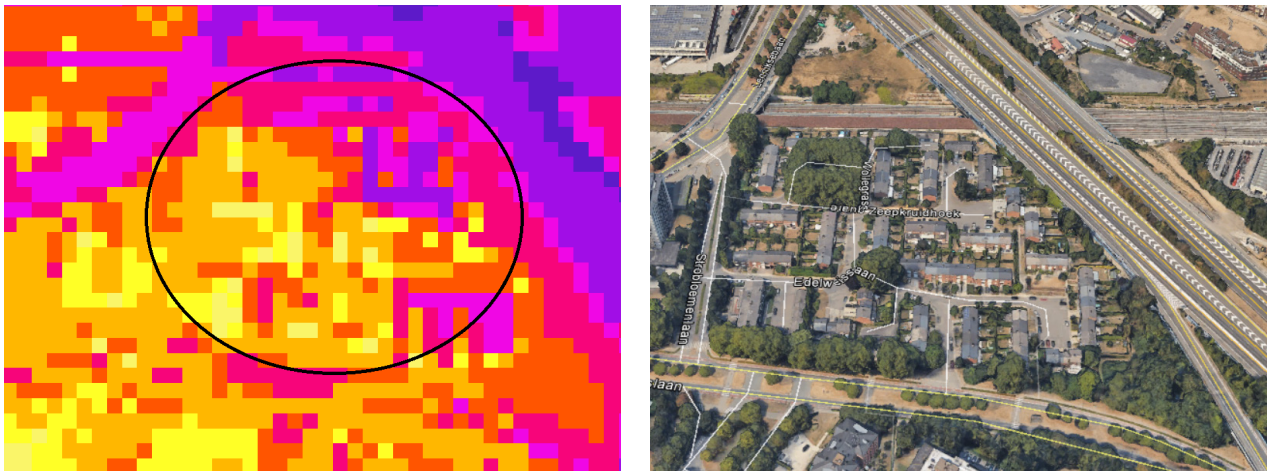
# 4 CASE 4: ZEEPKRUIDHOEK – WOONWIJK

## 4.1 HUIDIGE SITUATIE

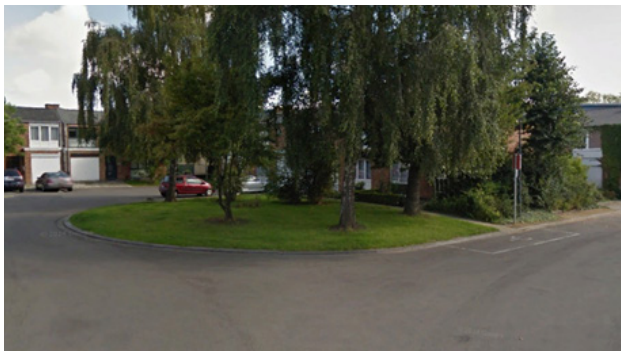
Deze laatste case focust op een woongebied langs een autostrade en een treinspoor, waar zowel de situatie wat betreft luchtkwaliteit als geluidoverlast problematisch is, ook al zijn er al enkele maatregelen genomen (geluidscherm op autostrade en berm langs de spoorweg). Er is ook een studie gaande voor de aanleg van anti-geluid muren. De locatie behoort tot het stedelijk weefsel van de 20e-eeuwse gordel (open orde stadstuinen) en heeft zeker replicatie potentieel voor andere districten in Brussel.

Tabel 14: Huidige situatie de Zeepkruidhoek

| | Indicator score | | GES score | |
|---|---|---|---|---|
| | Minimum | Maximum | Minimum | Maximum |
| Hittestress | 24 °C WBGT | 26 °C WBGT | 4 | 6 |
| Geluidoverlast | 68 Lden | 75 Lden | 7 | 8 |
| Luchtkwaliteit | 25 µg/m³ NO2 | 35 µg/m³ NO2 | 6 | 7 |




Figuur 46: Gecombineerde GES-kaart (links) en Google Earth bovenaanzicht (rechts) van de Zeepkruidhoek



Figuur 47: Zicht op het pleintje in de wijk (Google Street View – Mei 2019)

Figuur 48: Zicht vanop de brug over het treinspoor in het westen (Google Street View – Mei 2019)

## 4.2 SCENARIO MET MINIMALE RUIMTELIJKE AANPASSINGEN

- Voorzien van extra opstaande groenwand met akoestische panelen (4 tot 6m) op de bestaande overkraging langs het treinspoor
- Bestaande 4m hoge geluidsschermen langs R0 (zijn niet meegenomen in de luchtkwaliteit modellering)
- Voorzien van een 'stilteplek' in de wijk (bv. voldoende hoog ommuurde tuin met bomen en een fontein die publiek toegankelijk is)
- Voorzien van minimaal 1 toegankelijke koelteplek in de wijk (voldoende schaduwrijk door extra bomen, waterelement (spuitertjes/fonteintje), drinkwatervoorziening
- De pleintjes in de wijk maximaal ontharden
- Parkeerplaatsen ontharden
- Aanleggen wadi's (bufferings- en infiltratievoorziening, die tijdelijk kan gevuld worden met overtollig regenwater) op enkele pleintjes

**Impact**

**1) Hittestress**

Wat betreft hittestress was de situatie in de wijk niet echt problematisch, maar door deze maatregelen wordt de wijk nog meer 'klimaatproof' door het voorzien van extra infiltratiezones en plaatsen waar overtollig regenwater wordt opgevangen (wadi's). Het aanleggen van extra koelteplekken zorgt ervoor dat de bewoners nog beter beschermd zijn tegen toekomstige hittestress situaties. Deze maatregelen zullen de WBGT temperatuur in de wijk kunnen afkoelen met ongeveer 1°C en ervoor zorgen dat de wijk 'hittevrij' is op typische hete zomerdagen.

**2) Geluidoverlast**

Deze woonwijk wordt belast door 2 sterke geluidsbronnen, enerzijds de R0, anderzijds de spoorweg. Voor beide geluidsbronnen zijn reeds maatregelen aanwezig die de geluidsbelasting beperken door een gedeeltelijke overkapping van de spoorweg en een 4 m hoog geluidsscherm langs de snelweg. De effecten van een geluidsscherm zijn afhankelijk van de lokale condities zoals de hoogte, de afstand tot de weg, reliëf en de afstand tussen de receptor en het scherm. Reducties tot meer dan 8 dBA zijn op deze manier mogelijk, afhankelijk van de uitvoering en de meteocondities.[1] Ook de overkraging langs het treinspoor geeft een sterke reductie van het spoorweggeluid. Als aanvulling voorzien we eventueel nog een opstaand scherm bovenop de overkraging om de afscherming van de sporen die het verst van de wijk afliggen te verhogen. Dit maakt dat de bijkomende effecten van groenmaatregelen in de wijk zelf slechts een 2de orde van belang hebben. Binnen de wijk zou er gekozen kunnen worden om centraal een stilteplek in te richten. De geluidskaart toont aan dat in het hart van de wijk geluidsarmere plekken zijn door de afscherming die de bebouwing biedt.

De impact op de geluidsbelasting is in dit scenario beperkt tot een reductie van het spoorweggeluid door een extra opstaand scherm. Omwille van de verschillende bronnen en bestaande maatregelen lijkt het echter niet mogelijk om het effect hier van in te schatten. Als conservatieve inschatting beschouwen we de geluidsbelasting in dit scenario als ongewijzigd.

**3) Luchtverontreiniging**

Deze case verschilt op het vlak van luchtkwaliteit sterk van de andere cases. Er is één dominante emissiebron, de R0, die zich naast de woonzone bevindt. Er is een sterke gradiënt in de NO2-concentraties van meer dan 35 µg/m³ nabij de R0 tot minder 25 µg/m³ voor de huizen binnen deze wijk op de grootste afstand van de R0. In dit soort situatie is er een aanzienlijke verbetering te verwachten door afstand te houden, bv. door tijdens de ontwikkelingsfase een bufferzone langs de snelweg niet te bebouwen. De bijdrage van de snelweg tot de NO2-concentraties halveert immers in de eerste 50m langs de snelweg. Anderzijds kan er worden ingezet op afscherming. In deze situatie zijn er reeds geluidsschermen geplaatst langs deze zijde van de R0. Op basis van de beschikbare beelden lijken de schermen een hoogte van een 4-tal meter te hebben. Voor een 4 meter hoog scherm kunnen we door afscherming een reductie met 10 à 15 % van de lokale bronbijdrage op de NO2 concentraties verwachten. Belangrijk om hier bij op te merken is dat de impact van geluidsschermen momenteel nog niet opgenomen is in de modellering voor de opmaak van de luchtkwaliteitskaarten. We kunnen dus aannemen dat de NO2-concentraties ter plekke wat lager zijn dan de modellering aangeeft. De overige maatregelen binnen de wijk zijn van onderschikt belang ten opzicht van de effecten die afscherming en afstand nemen opleveren.

*[1]AG Vespa, Leefbaarheidsmaatregelen in de Ringzone, https://www.agvespa.be/sites/default/files/download-item/agvespacatalogusleefbaarheidsmaatregelenringzonewebsitekl.pdf*

## 4.3 SCENARIO MET VERREGAANDE RUIMTELIJKE INGREPEN

- Afbreken en heropbouwen van een deel van de randwoningen tot een aaneensluitende rij van schermwoningen. Eventueel kan bekeken worden om de functie van deze gebouwen te veranderen naar commerciële of industriële functies.
- Voorzien van minimaal 1 toegankelijke koelteplek in de wijk (voldoende schaduwrijk door extra bomen, waterelement (spuitertjes/fonteintje), drinkwatervoorziening
- De pleintjes in de wijk maximaal ontharden
- Parkeerplaatsen ontharden
- Aanleggen wadi's (bufferings- en infiltratievoorziening, die tijdelijk kan gevuld worden met overtollig regenwater) op enkele pleintjes

Figuur 49: Schets van het scenario met maximale ruimtelijke aanpassingen

### 4.3.1 Impact

***Hittestress***
Wat betreft hittestress is dit scenario gelijkaardig aan bovenstaand scenario.

***Geluidoverlast***
Voor nieuwe ontwikkeling of herontwikkelingen op dit soort locaties valt een andere manier van ruimtelijk plannen aan te bevelen waarbij wordt ontworpen met aandacht voor de geluids- en luchtkwaliteit. Door het gebruik van de gebouwen zelf als schermgebouwen langs de snelweg, kan een hogere mate van afscherming worden bereikt. Hiertoe worden bij voorkeur de geluidsbelaste zijde van de gebouwen aaneensluitend uitgevoerd. Volledig doorgedreven kan er ingezet worden op gesloten bouwblokken waardoor de woningen een rustige zijde hebben. Er dient vermeden te worden bebouwing haaks op de geluidsbron te oriënteren (met de smalle zijde richting de geluidbron en veel ruimte tussen de huizen waar het geluid door kan). Aangezien de bebouwing aanzienlijk hoger kan worden uitgevoerd dan de schermen maakt dit een sterkere afscherming van de geluidsbronnen mogelijk. Geluidsreducties aan de grond met meer dan 25 dBA zijn mogelijk bij schermgebouwen van 4 bouwlagen of meer.[1] Dit maakt geluidsniveaus aan de verkeersluwe zijde van ruim onder de 60 dBA op deze locatie mogelijk, zoals ook blijkt uit de geluidskaarten voor de stilste plekken in de wijk.

***Luchtverontreiniging***
Voor nieuwe ontwikkeling of herontwikkelingen op dit soort locaties valt een andere manier van ruimtelijk plannen aan te bevelen waarbij wordt ontworpen met aandacht voor de geluids- en luchtkwaliteit. Door het gebruik van de gebouwen zelf als schermgebouwen langs de snelweg, kan een hogere mate van afscherming worden bereikt. Schermgebouwen langs de snelweg kunnen aanzienlijk hoger zijn dan de huidige schermen, tot 12 meter hoogte of meer afhankelijk van het type ontwikkeling. Dit betekent voor luchtkwaliteit een verlaging van de $NO_2$-concentraties met meer dan 20%. Uiteraard dient er dan verstandig te worden omgesprongen met de ventilatie van de bebouwing langs de verkeersluwe zijde.

## 4.4 TER VERGELIJKING: SCENARIO WAARBIJ GEMOTORISEERD VERKEER MET 50% WORDT VERMINDERD

***Geluidoverlast***
Een reductie van het verkeersvolume met 50% betekent een reductie van de geluidsbelasting met 3 dbA (zie Deel 1 H 3.3.1). In deze situatie zijn er echter meerdere geluidsbronnen, dus de daling is slechts 3 dBA waar het geluid van het wegverkeer de dominante geluidsbron is.

***Luchtverontreiniging***
Indien het verkeersvolume op de R0 met 50% wordt gereduceerd, halveert de impact hiervan op de NO2-concentraties. Dit betekent een daling van 35 naar 27,5 µg/m³ vlakbij de R0 en van 25 naar 22,5 µg/m3 voor de woningen op de grootste afstand van de R0.

[1] *Geluidsmodellering Groeningen Kontich, Tractebel in opdracht van Stramien.*

## 4.5 CONCLUSIE

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de impact van alle voorgestelde scenarios op de drie verschillende problematieken die in deze studie bekeken worden. Wat betreft hittestress was er niet direct een groot probleem in deze wijk, maar een aantal gerichte nature-based solutions kunnen wel helpen om de wijk 'klimaatproof' te maken naar de toekomst toe. Voor geluidoverlast en luchtkwaliteit is het een stuk moeilijker om met enkel nature-based solutions de problemen in deze complexe situatie aan te pakken. Eigenlijk zijn er verregaande ruimtelijke ingrepen nodig om een significant effect te hebben. Dit scenario is misschien meer van nut wanneer er in de toekomst opnieuw een wijk zou aangelegd worden op een dergelijke locatie. We zien wel dat een andere ruimtelijke inrichting een erg groot effect kan hebben op de lokale luchtkwaliteit en geluidoverlast, voor geluid zelfs veel meer dan het reduceren van het verkeer met 50%.

Tabel 15: Overzicht van het effect van de verschillende scenarios in de Zeepkruidhoek

| | | Indicator score | | GES score | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Maximum | Minimum | Maximum |
| Hittestress | Referentie | 24 °C WBGT | 26 °C WBGT | 4 | 6 |
| | Minimaal | 23 °C WBGT | 26 °C WBGT | 3 | 5 |
| | Maximaal | 23 °C WBGT | 25 °C WBGT | 3 | 5 |
| | | | | | |
| Geluidoverlast | Referentie | 68 Lden | 75 Lden | 7 | 8 |
| | Minimaal | 68 Lden | 75 Lden | 7 | 8 |
| | Maximaal | 55 Lden | 60 Lden | 4 | 5 |
| | Verkeer -50% | 65 Lden | 72 Lden | 6 | 7 |
| | | | | | |
| Luchtkwaliteit | Referentie | 25 µg/m³ $NO_2$ | 35 µg/m³ $NO_2$ | 6 | 7 |
| | Minimaal | 25 µg/m³ $NO_2$ | 35 µg/m³ $NO_2$ | 6 | 7 |
| | Maximaal | 23 µg/m³ $NO_2$ | 31 µg/m³ $NO_2$ | 6 | 7 |
| | Verkeer -50% | 22 µg/m³ $NO_2$ | 27 µg/m³ $NO_2$ | 6 | 6 |

# DEEL 4

# ALGEMEEN AFWEGINGSKADER VOOR INZET NATURE-BASED SOLUTIONS

Ter conclusie van deze studie wordt een eenvoudig afwegingskader opgesteld voor de inzet van nature-based solutions in de Brusselse context. Het doel van dit afwegingskader is om structuur te bieden wanneer voor een concrete case beoordeeld moet worden of de inzet van nature-based solutions kan bijdragen tot het vermijden/oplossen van een bepaalde problematiek. We focussen hierbij op (1) het proces om NBS op te nemen in (lokale) vernieuwingsprojecten, (2) we zetten de kernresultaten van de impact van NBS nog eens op een rijtje, en (3) we geven nog een aantal algemene aanbevelingen mee die uit de behandelde case studies naar voor zijn gekomen.

# 1 HET PROCES

## 1.1 STAP 1

Een geslaagd afwegingsproces start met het scherp krijgen (kwantificeren) van de lokale problematieken. Voor de problematieken die in deze studie zijn behandeld (hittestress, luchtkwaliteit en geluidoverlast) kan daarvoor gebruik gemaakt worden van het gedetailleerde kaartmateriaal dat ter beschikking is bij IBGE-BIM (zie Hoofdstuk 2). Tijdens overleg met mensen die weinig vertrouwd zijn met de expert-kaarten kan ook gebruik gemaakt worden van de aangemaakte GES-kaarten die een vereenvoudigd en eenduidig beeld geven van de situatie voor de drie behandelde thema's. Het is wel belangrijk om goed na te gaan of de details van de concrete case goed zijn meegenomen in de oorspronkelijke modellering. Eventueel kan een bijkomende analyse of een korte meetcampagne ter plaatse uitgevoerd worden om nog een beter zicht te krijgen op de exacte cijfers.

## 1.2 STAP 2

Tijdens een eerste overleg met alle betrokken actoren wordt vervolgens een ambitieniveau vastgelegd waar naartoe gewerkt zal worden voor de aanwezige problematieken. Dit moet uiteraard haalbaar zijn voor de specifieke case, maar ook voldoende ambitieus om achteraf geen spijt te hebben van een gemiste kans. De drempelwaarden die in deze studie gehanteerd zijn voor de GES-kaarten (zie Hoofdstuk 2) kunnen daarbij een leidraad zijn. Idealiter wordt ernaar gestreefd om de GES-waarde van elke problematiek lager dan 6 (onvoldoende) te krijgen.

## 1.3 STAP 3

Tijdens dit eerste overleg met alle betrokken actoren kunnen vanuit de verschillende expertises (bv. stedelijke planning, mobiliteit, wegenbouw, groendienst, leefmilieu) al een aantal mogelijke oplossingen voor de problematieken voorgesteld en bediscussieerd worden. Dit zorgt ervoor dat eventuele onhaalbare scenarios al op voorhand worden uitgesloten uit het verdere proces. Vervolgens kan een werkgroep aan de slag om de haalbare voorstellen samen te leggen en uit te werken in (liefst meerdere) oplossingscenarios. Deze scenarios worden zo concreet mogelijk uitgewerkt zodat kan worden ingeschat/uitgerekend of het scenario voldoet om het vooropgestelde ambitieniveau te behalen.

In deze oplossingscenarios wordt liefst maximaal ingezet op nature-based solutions om het vastgelegde ambitieniveau voor iedere problematiek te bereiken. De concrete voorbeelden van de verschillende cases uit deze studie (zie Hoofdstuk 3) kunnen hierbij als inspiratie dienen, ook om in te schatten hoe effectief een bepaalde ingreep is. In deze studie hebben we een zo breed mogelijk scala aan mogelijke situaties en nature-based solutions opgenomen (zie ook Hoofdstuk 1), dus dit lijkt ons een goede basis om de komende jaren mee verder te werken.

### 1.4 STAP 4

Tijdens een finaal overleg met alle betrokken actoren worden de verschillende scenarios voorgesteld en bediscussieerd. Er wordt een voorkeurscenario geselecteerd dat best nog wordt voorgelegd aan de experts van de overheersende problematieken om er zeker van te zijn dat het vastgelegde ambitieniveau met dit scenario behaald zal worden. Eventueel kan er nog een bijkomende modellering gedaan worden van dit scenario.

# 2 DE IMPACT

Deze studie heeft aangetoond dat nature-based solutions verregaand kunnen bijdragen aan een oplossing voor lokale problemen in verband met hittestress, luchtkwaliteit en geluidoverlast. De ontwikkeling van groene en blauwe ruimtes kan daarnaast ook positieve effecten hebben in termen van biodiversiteit, de strijd tegen overstromingen, de verfraaiing van de stad en ook op sociaal vlak (welzijn, ontmoetingsplekken, sportactiviteiten, vrije tijd, etc.). Het zijn uiteraard geen mirakel-oplossingen en in sommige gevallen is het effect van nature-based solutions wel beperkt. We willen hier nog eens benadrukken dat de impact cijfers heel context gevoelig zijn aangezien iedere case van elkaar verschilt (intensiteit van het wegverkeer, breedte van de straat, hoogte van de gebouwen, oriëntatie, ligging in de stad, reliëf,…). Dit zorgt ervoor dat de impact van NBS variabel is in de ruimte en er bij onzekerheid best een expert wordt geraadpleegd en/of een bijkomende modellering uitgevoerd.

Voor de drie behandelde problematieken kunnen we de impact cijfers als volgt samen vatten:

## 2.1 HITTESTRESS

Groenmaatregelen zijn een efficiënte manier om hittestress problemen te verhelpen doordat ze zorgen voor een afname van de lucht temperaturen (door evaporatie en evapotranspiratie), maar vooral door schaduwvorming, aangezien straling een belangrijke factor is voor thermisch comfort (zie Deel 1 H 3.1.2). Het belangrijkste en efficiëntste middel hiervoor is schaduwvorming door bomen. Deze worden best gecombineerd met andere vergroeningsmaatregelen, en toevoeging van een waterelement (fontein, spuitertjes of schaduwrijke rivier). Voor de waterelementen is het van belang dat het water makkelijk kan verdampen, dan zal het verkoelend effect het grootst zijn (zie Deel 1 H 3.1.2). Ondiepe, stilstaande wateroppervlakken zijn af te raden, aangezien deze hun opgeslagen warmte ’s nachts afgeven en zo het stedelijk hitte-eiland nog kunnen versterken.

De groen-blauwe maatregelen worden best in zo groot mogelijke, aaneengesloten gebieden toegepast om een maximaal effect te hebben. Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt dat dit soort maatregelen op een warme zomerdag kan zorgen voor een verkoeling van de lucht temperatuur tot 3°C (zie Deel 1 H 3.1.2). Dit verkoelend effect is wel vooral lokaal voelbaar. Om de hele stad significant te verkoelen is dus een heel dens en grootschalig netwerk van groengebieden nodig. Groengebieden kunnen ook windopwaarts van de stad aangelegd worden zodat de wind de koele lucht optimaal ken verspreiden in de stad.

Bij de maximale inzet van NBS voor de 4 bestudeerde case studies in Hoofdstuk 3 wordt hun impact op de gevoelstemperatuur (WBGT) ingeschat op 1 tot 2.5°C. Dit is voldoende om de hittestress waarden op warme dagen te laten dalen tot onder het drempelniveau waar er gezondheidsproblemen beginnen opduiken. In zo goed als alle situaties waar er hittestress problemen zijn, kunnen nature-based solutions dus worden aangewend om deze te verhelpen.

## 2.2 GELUIDOVERLAST

Vegetatie en groenmaatregelen bieden zeker de mogelijkheid om geluidshinder te reduceren door reflectie, diffractie, verstrooiing of absorptie van geluidsgolven (zie Deel 1 H 3.3.2). Het effect is wel erg variabel in de ruimte (bv. een bomenrij met goed ontwikkelde kruinen in een street canyon heeft een licht negatief effect voor mensen die onder de boom staan, maar een positief effect voor de gevels boven de kruin). Afschermende maatregelen zoals hagen en bomenrijen zijn het meest efficiënt en hun efficiëntie neemt toe naarmate de bomen en hagen groter en dichter begroeid zijn. Als de geluidbron dicht bij de ontvanger is gelegen dan is hun impact niettemin beperkt. Daarnaast kunnen groene bodembedekkers zoals gras of andere kruidachtige vegetatie extra porositeit en dispersie veroorzaken. Door de verspreiding van geluidsgolven zal de interactie van de golven met de grond toenemen, waardoor meer van het geluid wordt geabsorbeerd (zie Deel 1 H 3.3.2). Dit is echter niet het geval als de grond nat is. In de wetenschappelijke literatuur worden effecten tot maximum 3 dBa gerapporteerd van hagen en bodembekkers naast drukke wegen (zie Deel 1 H 3.3.2).

In de meeste gevallen worden nature-based solutions best gecombineerd met harde infrastructuur (bv. geluidsmuren, schermgebouwen) om een optimaal effect te bekomen dat vergelijkbaar is met verregaande bronmaatregelen. In de 4 bestudeerde case studies in Hoofdstuk 3 wordt de impact van een maximale inzet van NBS ingeschat op 2.5 tot 5 dBa op basis van de Lden indicator. Ter indicatie: 5 dB komt ongeveer overeen met een vermindering van het verkeersvolume in een drukke straat met twee rijstroken met twee derde (zie Deel 1 H 3.3.1). De impact loopt zelfs op tot 15 dBa bij het gebruik van schermgebouwen in de Zeepkruidhoek case. Dit zijn gevoelige reducties, maar voor deze stedelijke cases meestal onvoldoende om de geluidoverlast te doen dalen tot onder de drempelwaarde waar er gezondheidsproblemen beginnen opduiken. Daarvoor zijn meestal ook bijkomende bronmaatregelen nodig.

## 2.3 LUCHTVERONTREINIGING

Nature-based solutions hebben een impact op de lokale luchtkwaliteit door hun filterende werking (depositie, absorptie door de cuticula en opvang van aerosolen door de stomata), en het beïnvloeden van de luchtcirculatie (zie Deel 1 H 3.2.2). De bijdrage van vegetatie aan het filteren van vervuilende componenten is afhankelijk van het type vegetatie (en het seizoen), het type verontreiniging, de locatie en inplanting van de vegetatie. Van alle vegetatietypes zijn bomen het meest effectief in het vastleggen van schadelijke stoffen, in volgorde van dalende effectiviteit gevolgd door respectievelijk heesters, kruidachtigen en gras. Naaldbomen of kleinbladige loofbomen scoren het beste om fijnstof aan te laten adsorberen (grotere oppervlakte). Voor de opname van gasvormige polluenten scoren loofbomen (wanneer ze bladeren dragen) beter dan naaldbomen. Daarnaast kunnen groenelementen een buffer vormen tussen bron en ontvanger (bijvoorbeeld wanneer ze worden aangeplant langs wegen met veel verkeer of fabrieken), maar ze kunnen de situatie lokaal ook verslechteren door de ventilatie te verhinderen (bijvoorbeeld in smalle straten met druk verkeer) en dus de evacuatie en verdunning van vervuilende stoffen tegen te gaan. Uit case studies in de wetenschappelijke literatuur blijkt dat groenmaatregelen de bijdrage van de lokale emissies aan polluentconcentraties met 15 à 20% kunnen laten afnemen (zie Deel 1 H 3.2.2).

In sommige gevallen, zoals in de case van de Zeepkruidhoek, worden nature-based solutions best gecombineerd met harde infrastructuur (bv. schermgebouwen) om een optimaal effect te bekomen. In de 4 bestudeerde case studies in Hoofdstuk 3 wordt de impact van een maximale inzet van NBS ingeschat op 6 tot 11% van de totale NO2-concentraties, en zelfs 20 tot 42% van de lokale bijdrage aan de NO2-concentraties. Maar ook al zijn deze verminderingen significant, de NBS maatregelen zijn over het algemeen onvoldoende om de luchtvervuiling te laten dalen tot een aanvaardbaar niveau, en altijd ondergeschikt aan verregaande bronmaatregelen zoals een aanzienlijke vermindering van het gemotoriseerd verkeer.

# 3 ALGEMENE AANBEVELINGEN

Tenslotte kwamen er uit deze studie ook een aantal algemene aanbevelingen naar voren die we hier graag nog eens op een rijtje zetten:

- De impact van NBS is context afhankelijk en ruimtelijk variabel. De effecten en interacties met de omgeving zijn complex en sterk afhankelijk van het type vegetatie, de locatie, de grootte, etc. Vooral op het vlak van luchtkwaliteit (depositie en aerodynamica) en geluid (reflectie, diffractie, verstrooiing en absorptie) interageren verschillende effecten met elkaar. Daarom is het voor iedere case belangrijk om goed doordacht te werk te gaan en indien mogelijk de hulp in te roepen van thematische experts die eventueel een bijkomende modellering kunnen uitvoeren. Het is ook aangeraden om de verschillende problematieken op verschillende schaalniveaus te bestuderen.
- Deze studie toont duidelijk het belang aan van het combineren van verschillende NBS en het ruimtelijk zo breed mogelijk toepassen ervan, om een maximale impact te bekomen.
- Naast het publieke domein is het ook van belang om het private domein (burgers, bedrijven) te activeren en overtuigen om nature-based solutions (bv. groengevels en groendaken) toe te passen.
- In een stedelijke context is de ruimte voor NBS en hun potentiële impact sterk gerelateerd aan de mobiliteitsinfrastructuur, die op haar beurt sterk is gelinkt aan de lokale geluidoverlast en luchtverontreiniging. Het verdient daarom de voorkeur om een mobiliteitsexpert in te schakelen bij het overwegen van het gebruik van NBS tijdens een stedenbouwkundig project.
- Het voorbeeld van de Zeepkruidhoek heeft laten zien dat de inplanting van bepaalde wijken ervoor zorgt dat de bewoners worden blootgesteld aan zeer hoge waarden van geluidoverlast en luchtverontreiniging, die bijna niet of helemaal niet kunnen worden teruggebracht tot acceptabele waarden met NBS. Deze situatie had voorkomen kunnen worden door andere keuzes te maken qua architectuur/stadsontwikkeling (verder weg bouwen van verkeersaders, oriëntatie/hoogte van gebouwen aanpassen, werken met schermgebouwen,…).
- Specifiek voor street canyons komen er uit deze studie volgende aandachtspunten naar boven:
    - Bij planningsoverwegingen moet indien mogelijk rekening worden gehouden met het feit dat de lijwaartse gevels meer worden blootgesteld aan luchtvervuiling en lawaai wanneer de dominante wind loodrecht op de as van de straat staat.
    - Bij het aanplanten van bomen wordt er best op gelet dat ze de lokale ventilatie niet teveel verhinderen waardoor de luchtverontreiniging onder de kruinen blijft hangen. Daarom worden bomen best maar aan één kant van de weg geplaatst in plaats van aan beide kanten. Kies best voor bomen met een open kruinstructuur. Bomen met een warrige takstructuur zullen fijnstof beter capteren.
    - Bij een keuze van kant voor het aanplanten van bomen wordt best de noordzijde gekozen (indien de straat een oost-west oriëntatie heeft) omdat de gebouwen aan de zuidzijde al voor schaduw zorgen op de warmste momenten van de dag.
    - Het is beter om loofbomen te kiezen dan naaldbomen, omdat deze hun bladeren verliezen in de winter waardoor de ventilatie dan minder wordt gehinderd en de zon de straat en gebouwen kan verwarmen.
    - Combineer bomen met een ondergroei van kruidachtigen en struiken om effectief blad te hebben op de verschillende niveaus.
    - Gevelgroen is efficiënt in het verminderen van het lawaai aan de achterzijde van de gebouwen in street canyons, omdat het de reflectie van geluid tussen de gevels aan de straatzijde verhindert.

# DEEL 5

# BIBLIOGRAFIE

*Ademloos. (2012). Snelwegen en geluid. Opgehaald van: http://www.ademloos.be/nieuws/snelwegen□en□geluid.*
*AWV. (2010). Voorbeeldenboek voor gewestwegen in Vlaanderen. Geluidswerende maatregelen Opgehaald van: http://wegenenverkeer.be/sites/awv/files/bestanden/Geluidswerende%20maatregelen_Voorbeeldenboe k%20voor%20gewestwegen%20in%20Vlaanderen_def_0.pdf.*
*Baldauf, R., Thoma, E., Khlystov, A., Isakov, V., Bowker, G., Long, T., & Snow, R. (2008). Impacts of noise barriers on near-road air quality. Atmospheric Environment, 42(32), 7502–7507. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.051*
*Brussel Mobiliteit. (2020). https://goodmove.brussels/nl/.*
*Buccolieri, R., Gromke, C., Di Sabatino, S., & Ruck, B. (2009). Aerodynamic effects of trees on pollutant concentration in street canyons. Science of the Total Environment, 407(19), 5247–5256. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.016*
*Buekers, J., Torfs, R., Deutsch, F., Lefebvre, W., & Bossuyt, M. (2012). Inschatting ziektelast en externe kosten veroorzaakt door verschillende milieufactoren in Vlaanderen. https://doi.org/MIRA, MIRA/2012/06, VITO, 2012/MRG/R/187.*
*Bulkeley, H., Bracken, L., Almassy, D., Pinter, L., Naumann, S., Davis, M., Reil, A., Hedlund, K., Hanson, H., Dassen, T., Raven, R., & Botzen, W. (2017). State of the Art Review: Approach and Analytical Framework (Deliverable 1.3: Part I). NATURVATION project funded by the EU Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 730243.*
*Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. In Nature-based solutions to address global societal challenges. https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2016.13.en*
*Corner, J. (n.d.). The High Line geraadpleegd via https://www.fieldoperations.net/project-details/project/highline.html.*
*Coutts, A. M., Tapper, N. J., Beringer, J., Loughnan, M., & Demuzere, M. (2013). Watering our cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. Progress in Physical Geography, 37(1), 2–28. https://doi.org/10.1177/0309133312461032*
*Crow. (2017). De landelijke regelaanpak. Opgehaald van: https://www.crow.nl/kennis/bibliotheek-verkeer-en-vervoer/kennisdocumenten/de-landelijke-regelaanpak.*
*de Vries, E. A., & Kuypers, V. H. M. (2008). Flora – Vegetatie voor een betere luchtkwaliteit Colofon (Issue 2).*
*Depauw, L. (2013). Belang van houtige vegetatiestroken voor de reductie van verkeersgeluid.*
*Depauw, S., & Dens, S. (2018). Expertenopdracht Stratenclusters, uitgevoerd in odpracht van de Departement Omgeving.*
*Depauw, S., van den Berg, I., Lenzholzer, S., & Steeneveld, G.-J. (2018). Ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen case streetcanyons uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving. en doortochten, uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor.*
*Donovan, R. G., Stewart, H. E., Owen, S. M., Mackenzie, A. R., & Hewitt, C. N. (2005). Development and application of an urban tree air quality score for photochemical pollution episodes using the Birmingham, United Kingdom, area as a case study. Environmental Science and Technology, 39(17), 6730–6738. https://doi.org/10.1021/es050581y*
*Dujardin, F. (2019). infosessies subsidie.*
*Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, José Manuel N Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., Fady, B., Grube, M., Keune, H., & Lamarque, P. (2015). Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe Nature-based Solutions, an Emerging Term. Gaia, 24(4), 243–248. https://doi.org/10.14512/gaia.24.4.9*
*European Commission. (2015). Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities (Final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities'). Luxembourg: Publications Office of the European Union.*
*Fallmann, J., Emeis, S., & Suppan, P. (2013). Mitigation of urban heat stress -a modelling case study for the area of Stuttgart. Erde, 144(3–4), 202–216. https://doi.org/10.12854/erde-144-15*
*Fang, C. F., & Ling, D. L. (2005). Guidance for noise reduction provided by tree belts. Landscape and Urban Planning, 71(1), 29–34. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.01.005*

*Fast, T., & van de Weerdt, D. H. J. (2008). Gezondheidseffectscreening Stad & Milieu. September, 1–333.*
*Federaal Planbureau. (2017). Demografische vooruitzichten 2016-2060: Bevolking en huishoudens.*
*Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. Built Environment, 33(1), 115–133.*
*Gromke, C., Blocken, B., Janssen, W., Merema, B., van Hooff, T., & Timmermans, H. (2015). CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. Building and Environment, 83, 11–26. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.022*
*Gromke, C., & Ruck, B. (2007). Influence of trees on the dispersion of pollutants in an urban street canyon-Experimental investigation of the flow and concentration field. Atmospheric Environment, 41(16), 3287–3302. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.043*
*Gromke, C., & Ruck, B. (2008). Aerodynamic modelling of trees for small-scale wind tunnel studies. Forestry, 81(3), 243–258. https://doi.org/10.1093/forestry/cpn027*
*Gromke, C., & Ruck, B. (2012). Pollutant Concentrations in Street Canyons of Different Aspect Ratio with Avenues of Trees for Various Wind Directions. Boundary-Layer Meteorology, 144(1), 41–64. https://doi.org/10.1007/s10546-012-9703-z*
*Harlan, S. L., Brazel, A. J., Prashad, L., Stefanov, W. L., & Larsen, L. (2006). Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. Social Science and Medicine, 63(11), 2847–2863. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2006.07.030*
*Horoshenkov, K. V., Khan, A., Benkreira, H., Smyrnova, Y., Rehioui, K., & Kang, J. (2013). Acoustic properties of low growing plants. 42nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2013, INTER-NOISE 2013: Noise Control for Quality of Life, 5(March), 3912–3917. https://doi.org/10.1121/1.4798671*
*Horoshenkov, K. V., & Mohamed, M. H. A. (2006). Experimental investigation of the effects of water saturation on the acoustic admittance of sandy soils. The Journal of the Acoustical Society of America, 120(4), 1910–1921. https://doi.org/10.1121/1.2338288*
*IRCEL. (1996). EU kaderrichtlijn 96/62/EG. Opgehaald van: http://www.irceline.be/~celinair/dutch/norm_nl.html.*
*IRCEL. (2010). Gezondheidsimpact van fijn stof: is er een verminderde levensverwachting? geraadpleegd via https://www.irceline.be/nl/documentatie/faq/wat-is-de-impact-op-de-gezondheid-van-verhoogde-concentraties.*
*IRCEL. (2020). FAQ ozon. Opgehaald van: http://www.irceline.be/~celinair/dutch/ozon_faq.html.*
*ISO. (1989). Hot Environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature). ISO Standard 7243. Geneva: International Standards Organization.*
*Jang, H. S., Lee, S. C., Jeon, J. Y., & Kang, J. (2015). Evaluation of road traffic noise abatement by vegetation treatment in a 1:10 urban scale model. The Journal of the Acoustical Society of America, 138(6), 3884–3895. https://doi.org/10.1121/1.4937769*
*Kimoto, S., Iyota, H., Nishimura, N., & Nomura, T. (1998). Novel Water Facilities for Creation of Comfortable Urban Micrometeorology. Solar Energy, 64(4–6), 197–207.*
*Klok, L. (2011). Kennismontage Hitte en Klimaat in de Stad. Cities, TNO-060-UT. https://www.tno.nl/media/4361/kennismontage-hitte-en-klimaat-in-de-stad_2011.pdf*
*Lauwaet, D., De Ridder, K., Saeed, S., Brisson, E., Chatterjee, F., van Lipzig, N. P. M., Maiheu, B., & Hooyberghs, H. (2016). Assessing the current and future urban heat island of Brussels. Urban Climate, 15, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.11.008*
*Lauwaet, D., Maiheu, B., Aertsens, J., & De Ridder, K. (2013). Layout of a heat map and analysis of the urban heat island effect for Antwerp (in Dutch). Report for the City of Antwerp, December, 234.*
*Lauwaet, D., Maiheu, B., De Ridder, K., Boënne, W., Hooyberghs, H., Demuzere, M., & Verdonck, M. (2020). A new method to assess fine-scale outdoor thermal comfort for urban agglomerations. Climate, 8(1), 1–13. https://doi.org/10.3390/cli8010006*
*Leefmilieu Brussel. (2005). Technisch Vademecum Geluid.*
*Leefmilieu Brussel. (2006). Rapport sur l'état de l'environnement bruxellois 2006 : Prévention et gestion des risques environnementaux PRÉVENTION. 1–84.*

*Leefmilieu Brussel. (2016). EVALUATIE VAN DE GEZONDHEIDS- EN ECONOMISCHE GEVOLGEN VAN HET GLOBALE VERKEERSGELUID IN HET BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST. December, 1–7.*
*Leefmilieu Brussel. (2018a). Luchtkwaliteit: NO2 concentratie geconsulteerd via https://leefmilieu.brussels/synthese-2015-2016/lucht/luchtkwaliteit-no2-concentratie.*
*Leefmilieu Brussel. (2018b). Vademecum voor wegverkeerslawaai in de stad opgehaald van https://leefmilieu.brussels/themas/geluid/de-bronnen-van-geluidshinder/lawaai-van-het-wegverkeer/vademecum-voor.*
*Leefmilieu Brussel. (2018c). Welke invloed heeft het verkeer op de luchtkwaliteit? Opgehaald van: https://leefmilieu.brussels/themas/lucht-klimaat/luchtkwaliteit/welke-invloed-heeft-het-verkeer-op-de-luchtkwaliteit.*
*Leefmilieu Brussel. (2019). Verontreinigende emissies die de luchtkwaliteit in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest beïnvloeden geconsulteerd via https://environnement.brussels/thematiques/air-climat/qualite-de-lair/les-emissions-de-polluants-qui-affectent-la-qualite-de-lair.*
*Leefmilieu Brussel. (2020). Focus: De maatschappelijke kosten van het vervoersgeluid geraadpleegd via https://environnement.brussels/node/26726.*
*Lefebvre, W., & Vranckx, S. (2013). Validation of the IFDM-model for use in urban applications (Issue May). http://atmosys.eu/atmosys/faces/doc/ATMOSYS_Deliverable_10_IFDM_Model_Validation.pdf*
*Litschke, T., & Kuttler, W. (2008). On the reduction of urban particle concentration by vegetation - A review. Meteorologische Zeitschrift, 17(3), 229–240. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0284*
*LNE. (2010). Actieplan Wegverkeerslawaai. Opgehaald van: https://www.lne.be/sites/default/files/atoms/files/actieplan_wegverkeerslawaai.pdf.*
*Ludwig, F. (2012). Plane-tree-cube geraadpleegd via http://www.ferdinandludwig.com/plane-tree-cube-nagold/articles/plane-tree-cube-nagold.html.*
*Lyon, R., Blair, C., & DeJong, R. (1977). Evaluating effects of vegetation on the acoustical environment by physical scale-modeling. Proceedings of the Conference on Metropolitan Physical Environment, USDA Forest Service General Technical Report NE-2, 218–225.*
*Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2018). Factbook Verkeersmaatregelen. Opgehaald van: https://www.infomil.nl/publish/pages/138239/factbookverkeersmaatregelen_2018.pdf.*
*Nijland, H. (2004). Technische oplossingen voor verkeerslawaai, een nieuw geluid? november.*
*Nilsson, M., Bengtsson, J., & Klaeboe, R. (2014). Environmental Methods for Transport Noise Reduction, ISBN 9780415675239.*
*Nowak, D. J., Stevens, J. C., Sisinni, S. M., & Luley, C. (2002). Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. Journal of Arboriculture, 28(3), 113–122.*
*OPPLA. (2020a). Adlershof Berlin - Combination of Decentralised Rainwater Management, Building Greening & Elements for Cooling and Ventilation geraadpleegd via https://oppla.eu/casestudy/19560.*
*OPPLA. (2020b). Barcelona: Nature-based Solutions (NBS) Enhancing Resilience to Climate Change geraadpleegd via https://oppla.eu/casestudy/17283.*
*OPPLA. (2020c). Green Living Room - Ludwigsburg geraadpleegd via https://oppla.eu/casestudy/17555.*
*Pryor, S. C., Gallagher, M., Sievering, H., Larsen, S. E., Barthelmie, R. J., Birsan, F., Nemitz, E., Rinne, J., Kulmala, M., Grönholm, T., Taipale, R., & Vesala, T. (2008). A review of measurement and modelling results of particle atmosphere-surface exchange. Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology, 60 B(1), 42–75. https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2007.00298.x*
*Reethof, G., McDaniel, O., & Heisler, G. (1977). Sound absorption characteristics of tree bark and forest floor. Proc. of the Conf. on Metropolitan Physical Environement. http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/viewpub.jsp?index=11547*
*Samson, R., Wuyts, K., Van Wittenberghe, S., & Wuytack, T. (2010). Bomen: op je gezondheid! Bosrevue, 34, 9–14.*
*Sartor, F. (2004). Oversterfte in België tijdens de zomer 2003. Afdeling Epidemiologie, juni 2004; Brussels, Wetenschappelijk Instituut Volksgezonheid, IPH/EPI Reports n° 2004 – 010, D/2004/2505/18.*

*Schubert, S., & Grossman-Clarke, S. (2013). The influence of green areas and roof albedos on air temperatures during extreme heat events in Berlin, Germany. Meteorologische Zeitschrift, 22(2), 131–143. https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0393*
*Somarakis, G., Stagakis, S., & Chrysoulakis, N. (2019). ThinkNature Nature-Based Solutions Handbook. ThinkNature project funded by the EU Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 730338. https://doi.org/doi:10.26225/ jerv-w202*
*Stad Antwerpen. (2017). Bouw zelf een wilgenhut geraadpleegd van https://www.antwerpen.be/nl/info/589da051a67793a64d6b610d/bouw-zelf-een-wilgenhut.*
*Statistiek Vlaanderen. (2019). Filezwaarte geraadpleegd via https://www.statistiekvlaanderen.be/nl/filezwaarte.*
*Stewart, H., Owen, S., Donovan, R., MacKenzie, R., & Hewitt, N. (2002). Trees and Sustainable Urban Air Quality, Centre for Ecology and Hydrology, Lancaster University.*
*Takahashi, M., Nakagawa, M., Sakamoto, A., Ohsumi, C., Matsubara, T., & Morikawa, H. (2005). Atmospheric nitrogen dioxide gas is a plant vitalization signal to increase plant size and the contents of cell constituents. New Phytologist, 168(1), 149–154. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01493.x*
*U.S. Army. (2003). Heat stress control and heat casualty management.*
*UNaLab. (2020). Nature Based Solutions – Technical Handbook, Part II. In Urban Nature Labs (Issue February). https://unalab.eu/system/files/2020-02/unalab-technical-handbook-nature-based-solutions2020-02-17.pdf*
*Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2008). Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. Journal of Sound and Vibration, 317(3–5), 781–799. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.03.025*
*Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2012). On the choice between walls and berms for road traffic noise shielding including wind effects. Landscape and Urban Planning, 105(3), 199–210. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.017*
*Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2013). Designing canopies to improve downwind shielding at various barrier configurations at short and long distance. Proceedings of Meetings on Acoustics, 19(2013). https://doi.org/10.1121/1.4799999*
*Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2014). Influence of rainfall on the noise shielding by a green roof. Building and Environment, 82, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.07.025*
*Van Wetten, J. (2015). Bomen tegen hitte. De Groene Stad, 40–41.*
*Vandevenne, F. (2010). Totaal verloren gezonde levensjaren ( DALY ' s ) door milieuverstoringen.*
*Vanhuysse, S., Depireux, J., & Wolff, E. (2006). Etude de l'évolution de l'imperméabilisation du sol en Région de Bruxelles-Capitale. 60.*
*Verdonck, M.-L. (2018). The potential of Local Climate Zones as a heat assessment tool in Belgium.*
*Verdonck, M.-L., Demuzere, M., Hooyberghs, H., Priem, F., & Van Coillie, F. (2019). Heat risk assessment for the Brussels capital region under different urban planning and greenhouse gas emission scenarios. Journal of Environmental Management, 249(June), 109210. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.111*
*VMM. (2015). Milieurapport totaal verloren gezonde levensjaren door milieuverstoring opgehaald van: https://www.milieurapport.be/milieuthemas/milieu-gezondheid/dalys/totaal-verloren-gezonde-levensjaren-daly2019s-door-milieuverstoringen.*
*VMM. (2018). Stikstofoxiden. Opgehaald van: https://www.vmm.be/lucht/stikstofoxiden.*
*Voogt, J. A. (2000). Urban Heat Island. In In Encyclopedia of Global Environmental Change (Eds.: Ted Munn, Ian Douglas, Michael C. MacCracken, Harold A. Mooney, Peter Timmerman, Mostafa K. Tolba, et al.) Ontario, Canada: Wiley Publishers.*
*Vos, P. E. J., Maiheu, B., Vankerkom, J., & Janssen, S. (2013). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? Environmental Pollution, 183, 113–122. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.021*
*Vranckx, S., Brabers, L., Hendrix, R., Nocker, L. De, Janssen, S., & Lauwaet, D. (2016). Uitwerken van een aanpak om vegetatiestructuren in te zetten met het oog op de verbetering van het stedelijk leefklimaat. September, 68.*

*WHO. (2016). WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs). October, 50. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0013/301720/Evidence-future-update-AQGs-mtg-report-Bonn-sept-oct-15.pdf?ua=1*
*WHO. (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region.*
*WHO, & IARC. (2012). IARC: DIESEL ENGINE EXHAUST CARCINOGENIC Lyon,. https://doi.org/10.1093/jnci/djs034*
*Willett, K. M., & Sherwood, S. (2012). Exceedance of heat index thresholds for 15 regions under a warming climate using the wet-bulb globe temperature. International Journal of Climatology, 32(2), 161–177. https://doi.org/10.1002/joc.2257*
*Wouters, H., De Ridder, K., Poelmans, L., Willems, P., Brouwers, J., Hosseinzadehtalaei, P., Tabari, H., Vanden Broucke, S., van Lipzig, N. P. M., & Demuzere, M. (2017). Heat stress increase under climate change twice as large in cities as in rural areas: A study for a densely populated midlatitude maritime region. Geophysical Research Letters, 44(17), 8997–9007. https://doi.org/10.1002/2017GL074889*
*Wunderli, J. M., & Salomons, E. M. (2009). A model to predict the sound reflection from forests. Acta Acustica United with Acustica, 95(1), 76–85. https://doi.org/10.3813/AAA.918129*
*Zoulia, I., Santamouris, M., & Dimoudi, A. (2009). Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. Environmental Monitoring and Assessment, 156(1–4), 275–292. https://doi.org/10.1007/s10661-008-0483-3*