



Vlaanderen
is omgeving



Ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen

case street canyons

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

RUIMTELIJKE STRATEGIEËN VOOR GEZONDE OMGEVINGEN

Het onderzoek heeft als doel om inzicht te krijgen in de strategieën om via ruimtelijk beleid en ruimtelijke inrichting de blootstelling van de bevolking aan omgevingslawaaï, luchtverontreiniging en hittestress en de invloed op gezondheid in streetcanyons te beperken.

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

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever:

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

Bronverwijzing: Sofie Depauw, Inge van den Berg, Stefanie Dens, Sandra Lenzholzer, Gert-Jan Steeneveld, (2018), Ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen case streetcanyons uitgevoerd in opdracht van het Vlaams Planbureau voor Omgeving.

D/2018/

PARTNERS



Inhoud

Evolutie van de geluids-, lucht- en hitteproblematiek	p6
Streetcanyons: geschiedenis & definities	p10
De straat als gemeengoed	
De street canyon gedefinieerd. Werkingsprincipes	
Geluidshinder	p12
Werking & straatprincipes	
Cijfers	
Maatregelen	
Kostenefficiëntie	
Luchtverontreiniging	p22
Werking & straatprincipes	
Cijfers	
Maatregelen	
Kostenefficiëntie	
Beleidstrategie parkeren	
Hittestress	36
Werking & straatprincipes	
Cijfers	
Maatregelen	
Kostenefficiëntie	
Onderlinge aweging van de inrichtingsmaatregelen	p46
Testcase inrichtingsmaatregelen	p48
Case Asse	
Case Tongeren	
Case Vilvoorde met uitwerking zoom	
Conclusies	p72

Bijlage 'Modellering'

Managementsamenvatting

In de afgelopen decennia is er een duidelijke verandering van het klimaat vastgesteld en worden meer hittegolven voorspeld. Daarnaast is er een sterke toename van de bevolking in stedelijke gebieden. De komende jaren zal de bevolking in de meeste Vlaamse steden en gemeenten blijven groeien en wordt een aanzienlijke uitbreiding en verdichting van de steden verwacht (Vlaamse Overheid, 2017). Beide trends zetten de Vlaamse Regering voor aanzienlijke uitdagingen op vlak van ruimtelijke ordening en gezondheid.

Het regeerakkoord van de Vlaamse Regering omschrijft de ambitie om de ruimtelijke organisatie van Vlaanderen te versterken en de leefbaarheid te verbeteren. In dit regeerakkoord is het engagement uitgesproken om hittestress in de omgevingsplanning te integreren in functie van de toekomstige beleidskeuzes (Vlaamse Regering, 2014). In uitvoering van dit regeerakkoord is in het witboek Beleidsplan Ruimte Vlaanderen aangegeven dat ruimtelijke ontwikkeling zich moet richten op de bevordering van de algemene gezondheidstoestand van de mens. Reductie van luchtverontreiniging, geluidshinder en hittestress is in de Vlaamse street canyons één van grootste uitdagingen die in ruimtelijke projecten en programma's moet worden aangepakt (Vlaanderen, 2016).

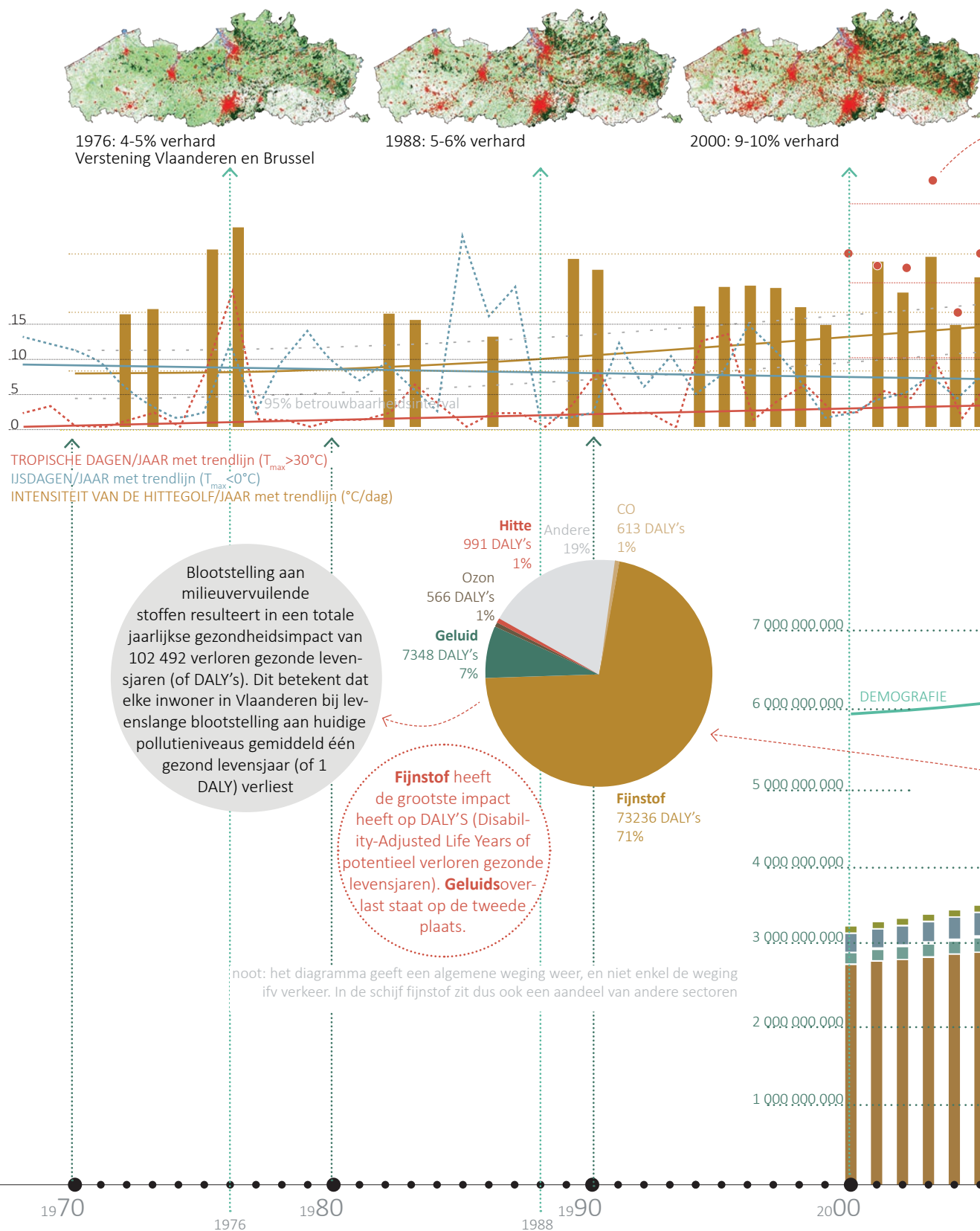
Tijdens hittegolven, welke in de toekomst frequenter zullen voorkomen en intenser zullen zijn, is er in street canyons sprake van hittestress, een slechte luchtkwaliteit en meer geluidshinder omdat hittegolven meestal voorkomen onder heldere, rustige weersomstandigheden met weinig ventilatie door wind en beperkte windsnelheden aan de bodem van de street canyon (Giannopoulou, Santamouris, Livada, Georgakis, & Caouris, 2010).

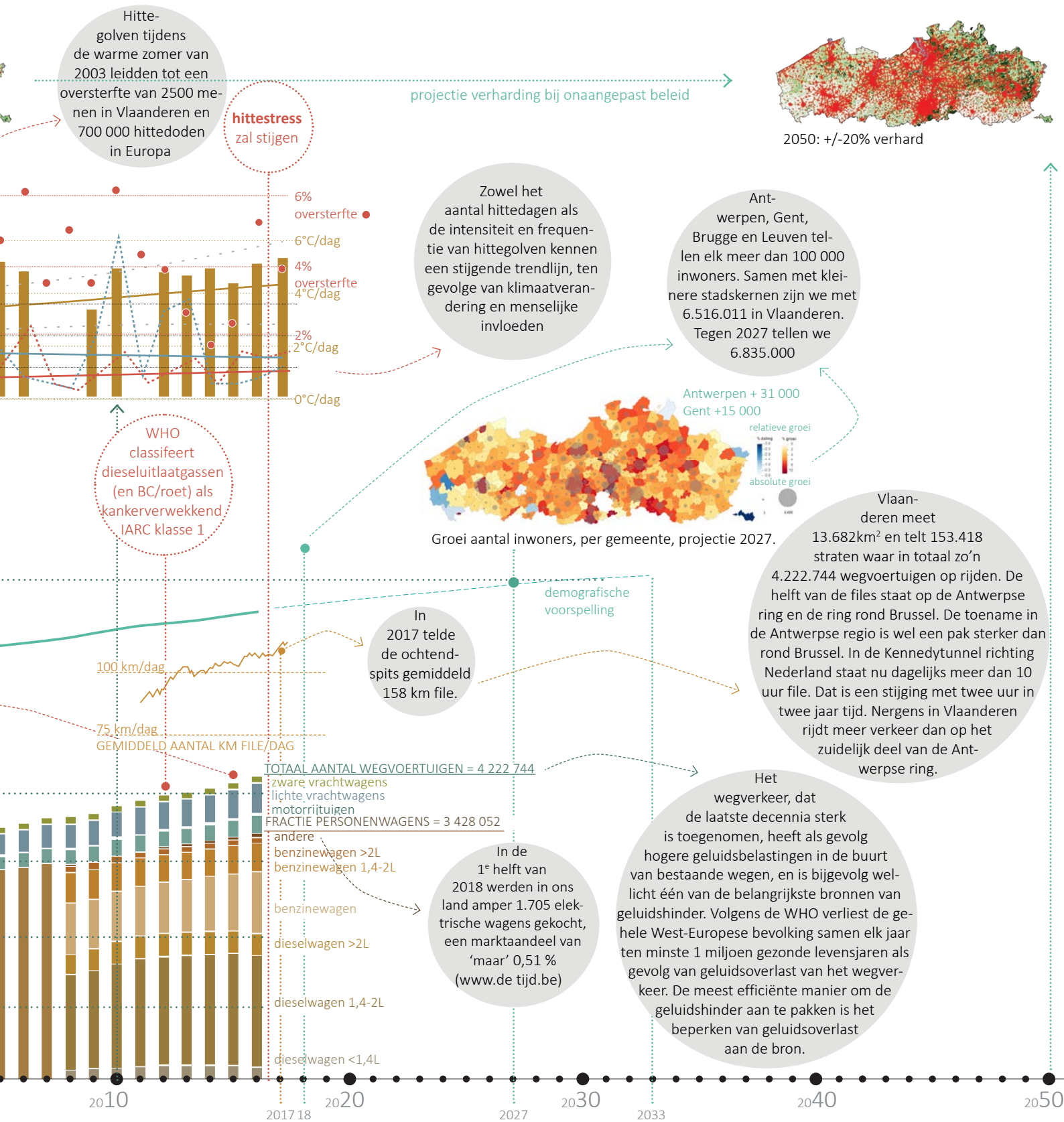
Aangezien luchtverontreinigings- en geluidshinderniveaus in zekere mate worden beïnvloed door atmosferische condities (luchttemperatuur, wind en luchtvochtigheid) en ruimtelijke ingrepen in de geometrie en de inrichting van streetcanyons bepalend kunnen zijn voor de mate waarin hittestress, luchtverontreiniging en geluidshinder zich voordoen, is het belangrijk om deze drie aspecten steeds in beschouwing te nemen bij de ontwikkeling van stedelijke gebieden en de inrichting van streetcanyons (Rainham & Smoyer-Tomic, 2003).

In voorliggend rapport zijn de verschillende werkingsmechanismen en de mogelijke reductiemaatregelen voor de hinderaspecten geluidshinder, luchtverontreiniging en hittestress toegelicht. Op basis van verkennende modelleringen en een financieel onderzoek is de kosteneffectiviteit per reductiemaatregel in beeld gebracht voor elk hinderaspect. Uit dit onderzoek blijkt dat voor elk aspect de hinder in een straat canyon kan worden beperkt door maatregelen op straatniveau te nemen. Echter voor geluidshinder en luchtverontreiniging wordt het grootste rendement gehaald door een aangepast mobiliteitsbeleid te voeren. Daarnaast dient te worden geduïd op het feit dat het nemen van reductiemaatregelen in functie van één hinderaspect mogelijk een nefast effect heeft op een ander aspect. Er dient dus steeds een goed door-dachte afweging te worden gemaakt tussen de reductiemaatregelen voor de drie verschillende hinderaspecten op basis van prioritering binnen een bepaalde tijdshorizon.

Evolutie van de geluids-, lucht- en hitteproblematiek

Effecten op gezondheid





op basis van (Poelmans, 2010; Statistiek Vlaanderen, 2018; MIRA, 2015; Vlaams Verkeerscentrum; WHO, 2018; WHO-IARC, 2012)

Street canyons: geschiedenis en definities

De straat als gemeen goed



1905



1940



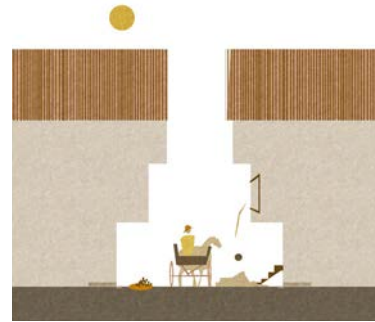
1950



1970

Evolutie van de Keyserlei, Antwerpen

Straten hebben van oudsher een zeer functionele verbindende rol gespeeld, en vormen het gemeen goed waar de gebruikers worden blootgesteld aan hinderlijke aspecten. Straten waren in het verleden reeds het schouwspel van hinder met gezondheidsrisico's tot gevolg. Zeker tot in de Middeleeuwen werd de straat als afvalberg en open riool van de bewoners gebruikt, met geurhinder en ernstige gezondheidsrisico's tot gevolg.



brandnormering
afvalophaling
riolaanleg

BELEIDSMAATREGELEN

← de Middeleeuwse straat
als riool en huisvuilcollector

TECHNOLOGISCHE UITVINDINGEN

vervoer met paard en kar

1e overdekte straatriolering- Parijs en Londen →



EPIDEMIEEN & STADSFENOMENEN



← pestepidemieen Brugge- tot 1669 →

STRAATBEELD



Antwerpse bebouwing



Brugse straatlatrines



HISTORISCH STADSWEEFSEL



60
Lier



77
Lier

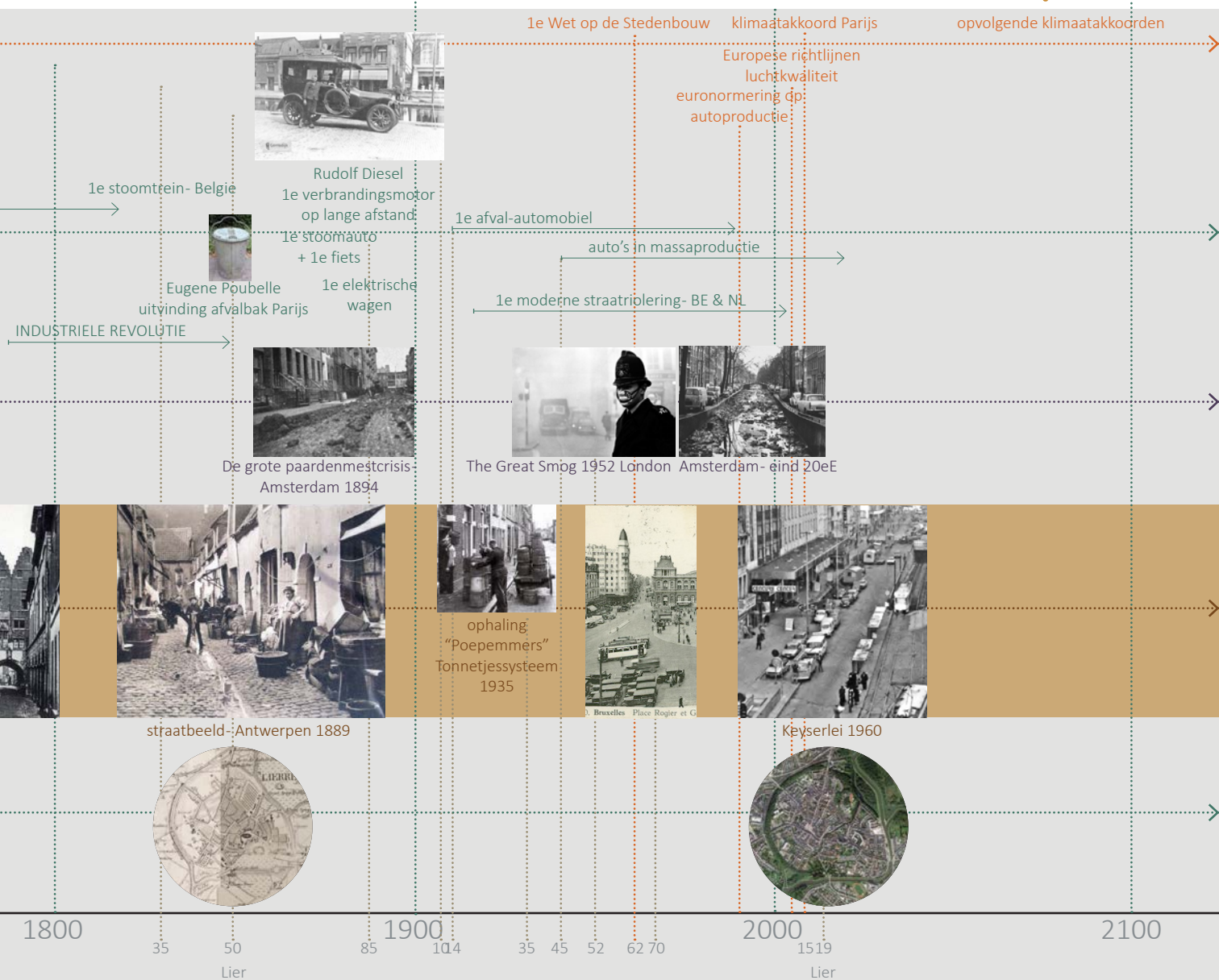
1500

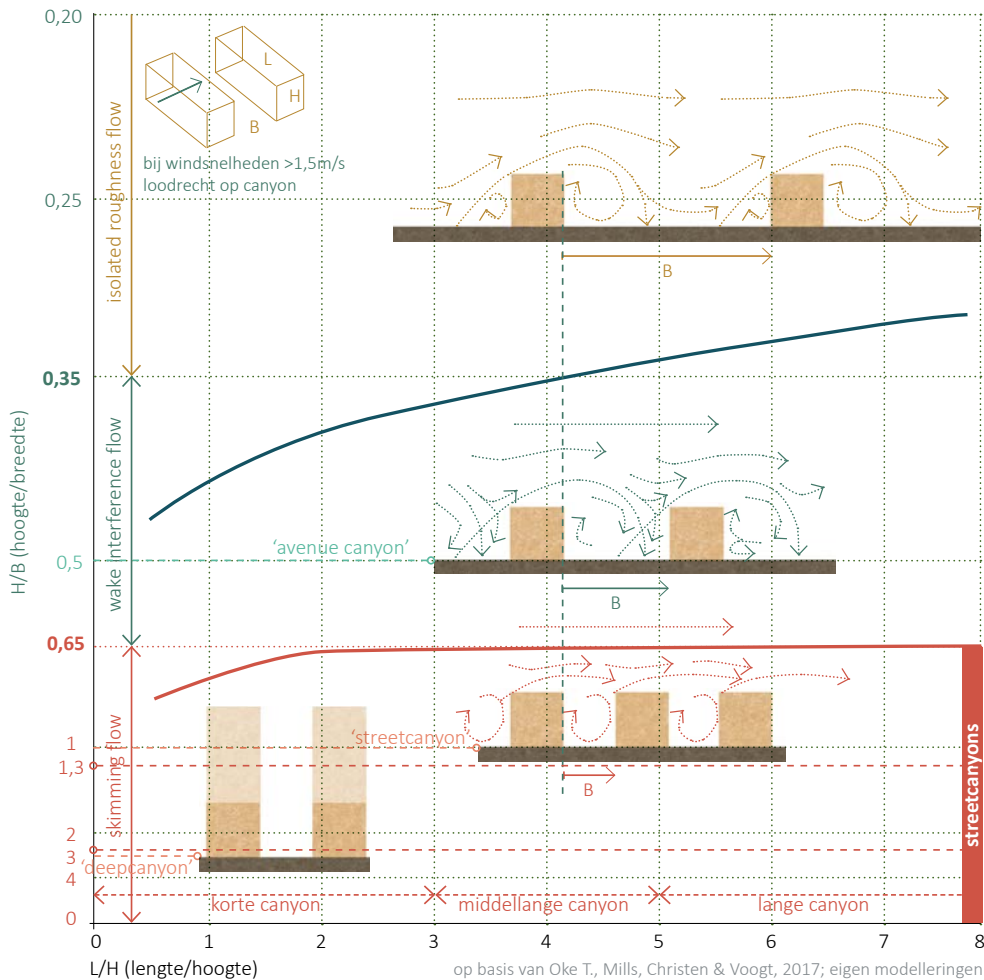
1600

1700



Evolutie van de Keyserlei, Antwerpen: het straatbeeld doorheen de tijd veranderde met het wijzigend beleid en belang van gemotoriseerd verkeer. De grootste piek situeert zich in de jaren 70-80 waarna er geleidelijk aan terug autoluwe ruimte komt waar klimaatadaptatie op vlak van hitteductie, luchtkwaliteit en water hoog op de agenda komen te staan.

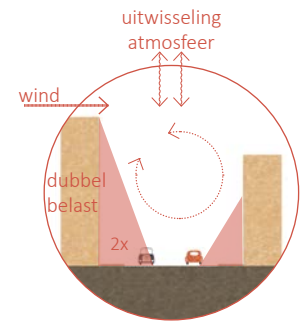




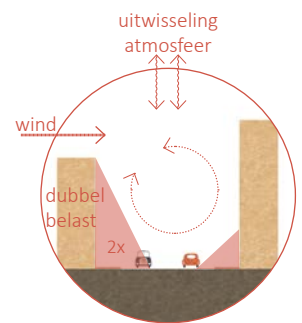
Definities en soorten streetcanyons. Algemeen worden streetcanyons gedefinieerd op hoogte/breedte verhouding groter dan 0,65.

Bovenstaande grafiek duidt de hoogte/breedte verhouding van een straat in relatie tot haar lengte. Bij een h/b verhouding van 0,35 of lager kruist de windspoeling nog door de dwarse snede van de straat. Bij verhoudingen van 0,35-0,65 ontstaat er een "wake interference flow" of een lichte ontkoppeling van de bovenste luchtlaag, en de luchtlaag tussen de gebouwen. Skimming flow, of een volledige ontkoppeling van de bovenste en onderste luchtlaag ontstaat bij een h/b verhouding groter dan 0,65. Op dat ogenblik spreken we van streetcanyons.

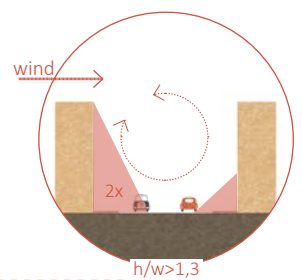
Als naast de hoogte/breedteverhouding ook de factor lengte - afstand tussen 2 belangrijke kruisingen die de canyon onderbreken- ingerekend wordt, worden diepe street canyons gedefinieerd als hele smalle stegen of hoge gebouwen met een h/b verhouding van 2 of hoger en met een l/h verhouding van 1 of hoger. Wanneer $L/H = 3$ spreken we van korte canyons, en vanaf $L/h=5$ wordt er van een lange canyon gesproken.



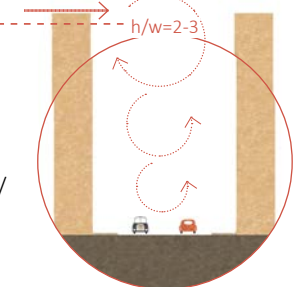
Aflopende streetcanyons: windzijde: hogere concentraties



Oplopende streetcanyons: algemeen lagere concentraties



windwervel in bovenste helft
bijna stilstaande lucht eronder



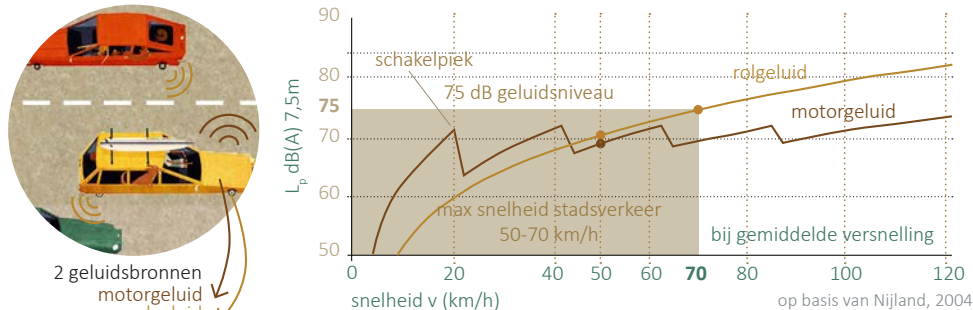
2^e en 3^e zwakke windwervel
in tegengestelde richting als
gevolg van verkeer,
kruispunten, ...

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

Geluid

Werkingsprincipes op straat

Basisprincipes verkeersgeluid (met abstractie achtergrondgeluid)



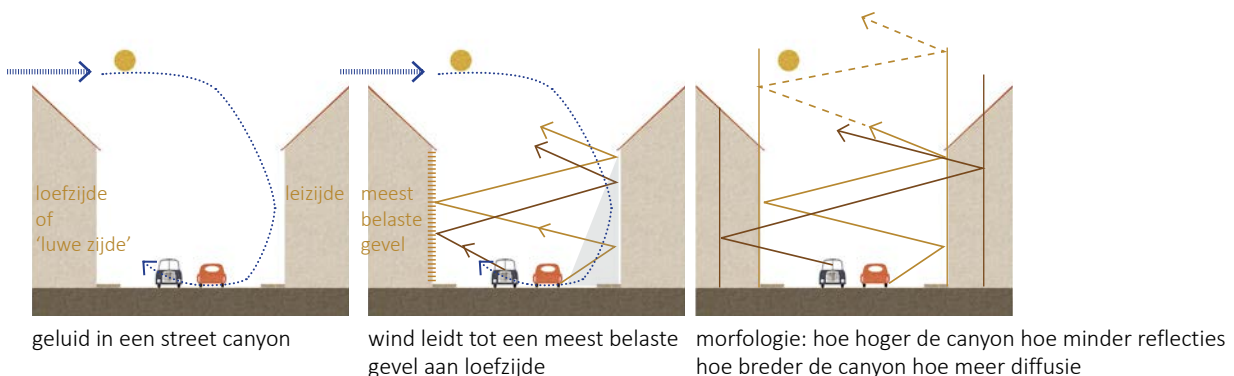
Ogenblikkelijk geluidsniveau afkomstig van motorgeluid en rolgeluid in functie van de snelheid van een voertuig. Vanaf 40 km/h overheerst het rolgeluid.

Geluid afkomstig van verkeer heeft twee bronnen: het motorgeluid en het rolgeluid afkomstig van de banden over het wegdek. Bovenstaande grafiek beschrijft de verhouding tussen het motorgeluid en het rolgeluid op dicht asfalt, waar bij het duidelijk is dat tot snelheden van 40 km/uur het motorgeluid samenvalt met het rolgeluid en dit aan een waarde van ongeveer 70 dB.

Het gemiddelde stadsverkeer rijdt aan een maximum snelheid van 50 tot 70 km/uur, in streetcanyons is dat vaak zelfs minder, wat resulteert in een ogenblikkelijk gemeten geluidsniveau van 75 dB.

Beperking van geluid bij de bron is veruit de meest kostenefficiënte maatregel in de strijd tegen het verkeerslawaai. 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).

Basisprincipes invloeden geluid



De geluidsbelasting op de gevels in streetcanyons is afhankelijk van onder andere de geometrie van de bebouwing, de breedte van de straat, het type wegdek, de hoogte boven het wegdek en de aanwezigheid van goed gedimensioneerd straatmeubilair en gevelbekledingen (Sanchez, van Renterghem, Thomas, & Botteldooren, 2016). Bovendien reflecteert geluid anders onder invloed van wind: bij een windwervel in een streetcanyon worden de geluidsgolven naar de gevel aan de loefzijde (of windluwe zijde) gestuwd, met als gevolg een verhoging van geluidshinder aan die straatgevel. Ook morfologie speelt een rol: hoe hoger de canyon hoe minder geluidsreflecties en hoe breder de canyon hoe meer diffusie.

De geluidemissie in een street canyon kan uitgedrukt worden in de jaargemiddelde geluidindicatoren L_{den} en L_{night} . Hierbij is L_{den} een etmaalgewogen indicator die representatief is voor het optreden van mogelijke hinder; L_{night} voor het optreden van slaapverstoring.

$L_{den, verkeer} < 53$ dB hogere waarden hebben negatieve invloed op gezondheid
 $L_{night, verkeer} < 45$ dB hogere waarden hebben negatieve invloed op slaap

Richtlijn 2018 WHO- geluidshinder

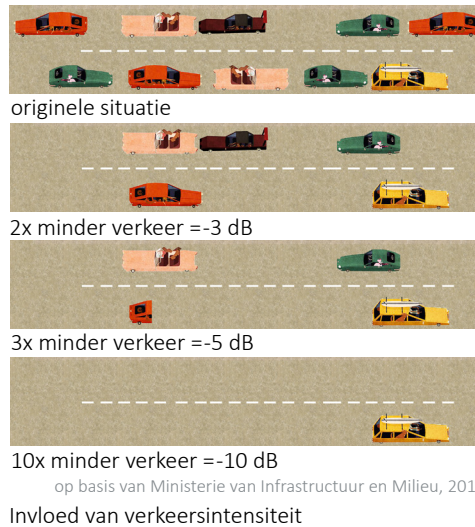
Europese Richtlijn 2002/49/EG voor omgevingslawaai

noot: de relatie tussen ogenblikkelijk geluidsniveau en gehoorschade kent geen richtlijnen. Om gezondheidschade te begrenzen worden steeds richtlijnen op gewogen geluidsniveaus gebruikt.

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

Cijferwerk

Invloed van verkeersintensiteit



< 125 pae/u	zeer weinig gemotoriseerd verkeer
125-250 pae/u	weinig gemotoriseerd verkeer
250-500 pae/u	gemiddeld gemotoriseerd verkeer
500-1000 pae/u	veel gemotoriseerd verkeer
> 1000 pae/u	zeer veel gemotoriseerd verkeer

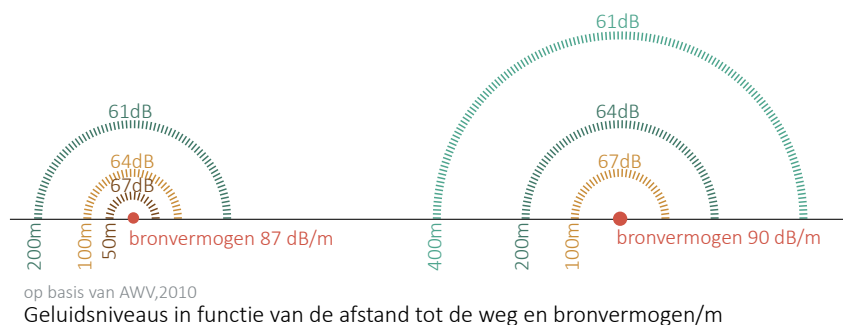
Pae staat voor personenauto-equivalent. Dat getal geeft aan hoeveel ruimte een gemotoriseerd voertuig inneemt in vergelijking met een personenauto. Zo staat een auto voor 1, een bestelwagen voor 1, een vrachtwagen voor 2 en een bus voor 2. Stel dat per uur elk van deze voertuigen één keer door de straat passeert, dan heeft die straat een waarde van 6 pae/u.

Zeker vanaf zo'n 250 gemotoriseerde voertuigen per uur wordt het minder aangenaam 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.

Wat is verkeersdruk?

Crow, 2017

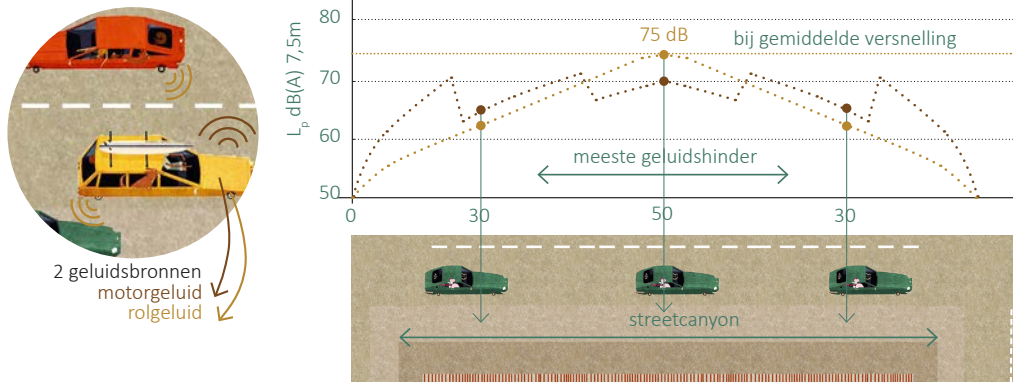
Invloed van afstand



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. Anders gezegd: als het brongeluid vermindert met 3 dB, dan halveren de afstanden van de geluidscontouren (AWV, 2010).

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

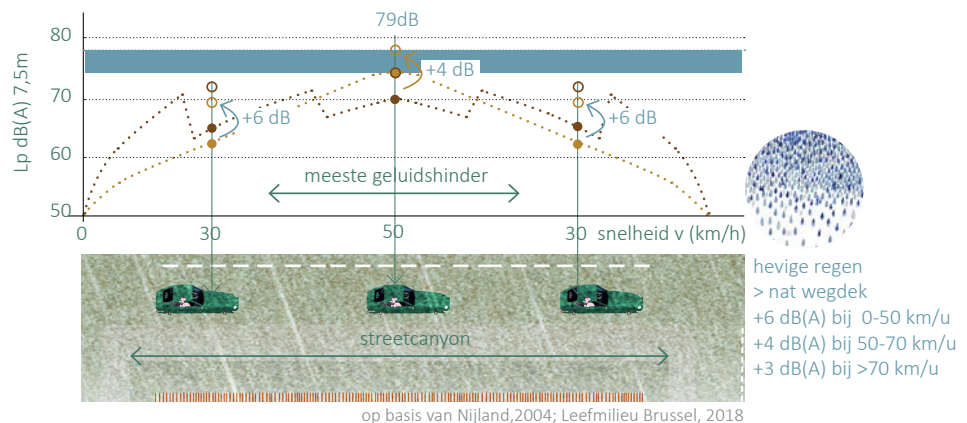
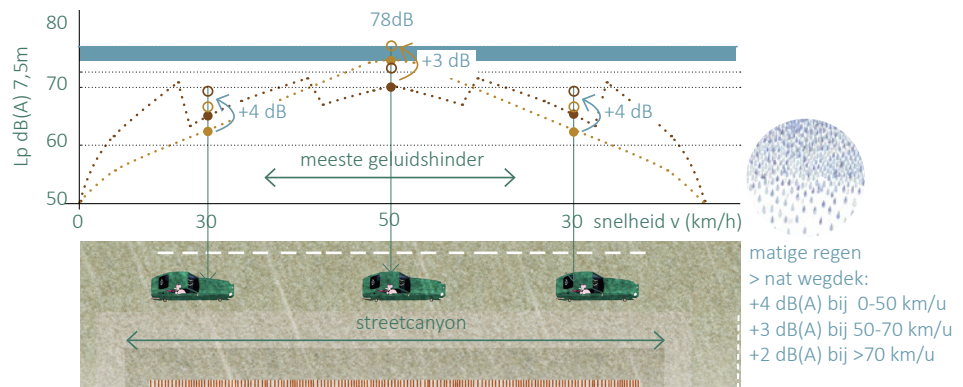
Principe doorrijden straat



Starten tot 30 km/u- doorrijden tot 50 km/u- stoppen vanaf 30 km/u geeft 75 dB(A) op een droge straat met dicht asfalt.

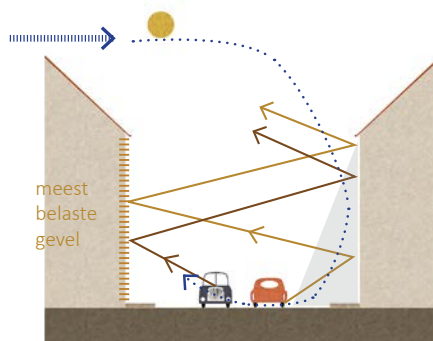
Bovenstaande geïnterpreteerde grafiek geeft de principes van de geluidswerking weer van een auto die door een streetcanyon rijdt (de stippellijn is hierbij indicatief). De hoogste belasting is te vinden in het midden van de street canyon, waar de snelheid het hoogste is. Over de gehele canyon duikt het geluidsniveau nergens onder 40-50 dB.

Invloed van meteorologische omstandigheden: regen



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.

Invloed van meteorologische omstandigheden: wind en temperatuur



wind leidt tot een meest belaste gevel aan de windluwe zijde
geluid in functie van temperatuur: hoe hoger, hoe kouder, hoe groter de afbuiging van het geluid
(mede door de opeenvolging van verschillende luchtlagen)

Meteorologische omstandigheden, en in het bijzonder wind en temperatuur, kunnen 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 lengte-richting van een 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. 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).

Reductiemaatregelen geluid

Basisprincipes reductiestrategieën geluid



Bovenstaande reductiestrategieën voor geluid zijn opgelijst in volgorde van geluidsreductie-efficiëntie, worden onderin beknopt toegelicht, zijn ruimtelijk vormgegeven en samengevat op volgende pagina en worden in volgende hoofding naar kostenefficiëntie gewogen.

1 een ander maar niet gemotoriseerd vervoersmiddel

Het efficiëntste zijn de bronmaatregelen en dus het inzetten op niet-gemotoriseerd verkeer. Dit kan bv. door het ontmoedigen van autogebruik in binnensteden en het fiets- en wandelvriendelijk aanleggen van de publieke ruimte.

2 een elektrisch wagenpark

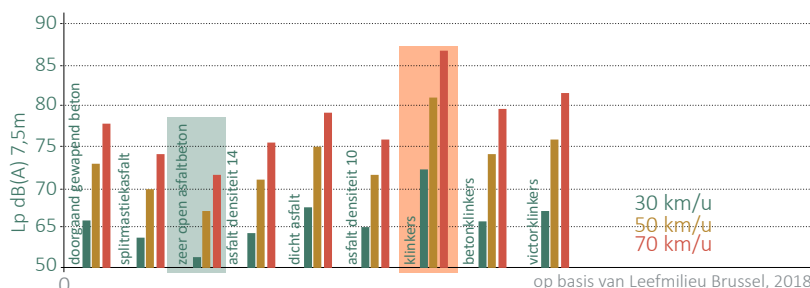
Elektrische wagens - en hybride wagens bij lage snelheden- rijden volledig op de batterij, wat het motorgeluid uitschakelt. Het rolgeluid daarentegen zal steeds een factor blijven.

3 circulatieplannen en mobiliteitsvisie

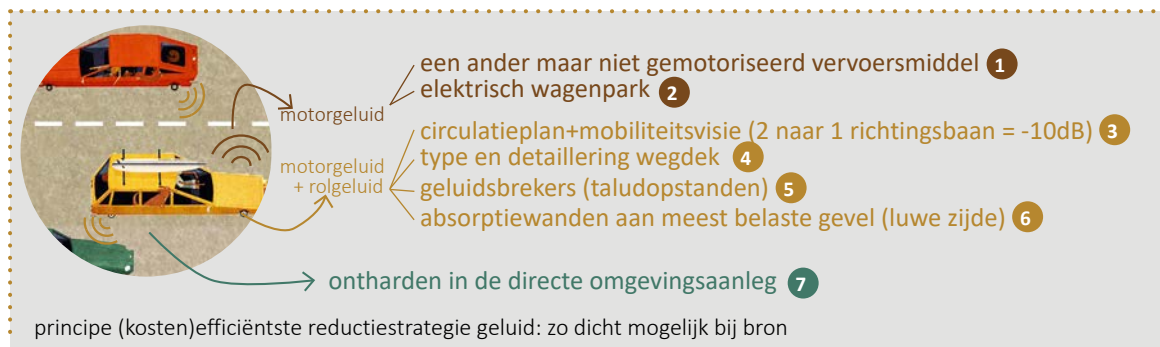
Het geluidsniveau is afhankelijk van de verkeersintensiteit. Hoe minder verkeer, hoe minder geluidsoverlast. Aangepaste circulatieplannen en een gepaste mobiliteitsvisie kunnen inzetten op minder verkeer in bepaalde delen van steden en gemeentes, of kunnen de verkeersdrukte splitsen in tijd (bv. door specifieke leverings-tijdframes te duiden). Deze aangepaste tijdschema's zijn overdag van belang, maar ook 's avonds en 's nachts, wanneer geluidsoverlast bijdraagt tot slaapstoornissen. Significante verschillen in geluidshinder kunnen ook gemaakt worden door het reduceren van een dubbele rij-richting naar een enkele rij-richting. Reductie van verkeer blijft de efficiëntste parameter.

4 type en detaillering wegdek

Het type en de detaillering van het wegdek zou in functie van de mobiliteitsvisie moeten staan: waar toch meer pae toegelaten worden kan het wegdek maar best een laag geluidsniveau aanhouden. Het geluidsniveau komende van het rolgeluid is afhankelijk van het type wegdek. Zo zijn klinkers met een verschil groter dan 1 cm in hoogte nefast op vlak van geluidshinder en scoort zeer open asfalt beton het beste op vlak van geluid. Dit laatste materiaal is o.a. ook het materiaal dat steeds meer gebruikt wordt om fietspaden mee aan te leggen. Onderstaande tabel geeft weer welke geluidsniveaus behaald worden door welk type wegdek en in functie van de snelheden op 30-50-70 km/u, snelheden die in een stedelijke omgeving verwacht kunnen worden.

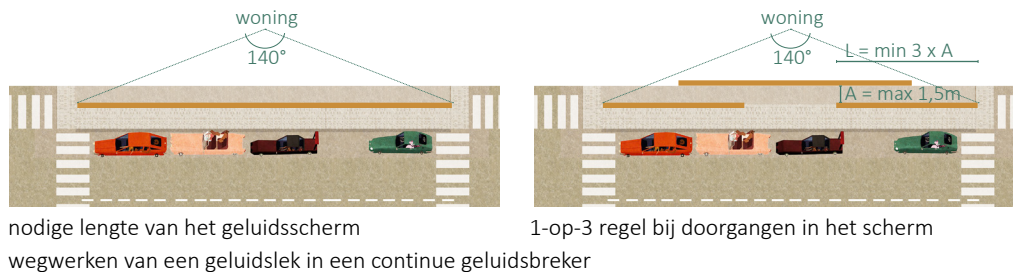


Overzicht van type wegdek met bijhorende geluidsniveaus bij 30, 50 en 70 km/uur.



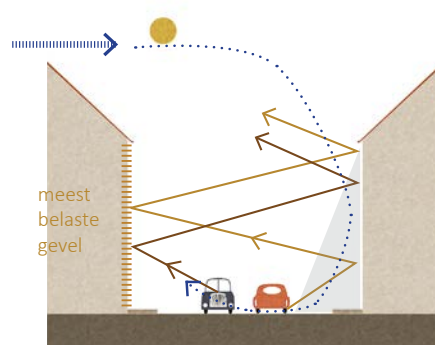
5 geluidsbrekers en taludopstanden op straat

Het rolgeluid kan kort bij de bron gebroken worden door het inzetten van opstanden en taluds op straat. De minimale hoogte hiervoor is 50 cm om de eerste geluidsgolf afkomstig van de wielen op te vangen. Randen in opstand aan pleinen (verhard of onverhard) zijn hier erg efficiënt voor. Ook hagen in de langse richting van de straat hebben hetzelfde effect. Belangrijk is wel dat de opstanden continu gedetailleerd worden zodat er geen lek kan ontstaan waar het geluidsniveau plaatselijk stijgt. Ook continu straatmeubilair zoals straatbanken met juist gedimensioneerde opstand kunnen hierin een rol spelen.



6 absorptiewanden aan de meest belaste of luwe zijde

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 geluidsoverlast 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.



7 ontharden in de directe omgeving

Ontharden is in het algemeen een goede strategie voor geluidsreductie daar poreuze materialen voor diffractie van de geluidsgolven zorgen. Groene spoorbermen, lage beplanting tussen voetpad en woongebouw, ... zijn kleine maar zinvolle ingrepen.

noot bij reductiemaatregelengeluid: geluidsreducties hoger dan 15 dB blijken in de praktijk moeilijk haalbaar en vragen om buitengewone afmetingen en maatregelen.

Kostenefficiëntie geluidsmaatregelen



Kostenefficiëntie type wegdek

APT-C asfaltbeton met prestatie-eisen 4cm referentie dB 9,5 €/m ²	→	ZOAB zeer open asfalt beton 6,8 €/m ²	=	↑+2 dB ↓-2,7 €/m ²
	→	SMA splitmastiekasfalt 6,6 €/m ²	=	↓-2 dB ↓-2,9 €/m ²
	→	cementbeton - doorgaand gewapend beton 50 €/m ²	=	↑+1,2 dB ↑40,5 €/m ²
	→	cementbeton - platenbeton 40 €/m ²	=	↑+3 dB ↑30,5 €/m ²
	→	betonstraatstenen 24 €/m ²	=	↑+1,9 dB ↑14,5 €/m ²
	→	kasseien 44 €/m ²	=	↑+8,2 dB ↑34,5 €/m ²

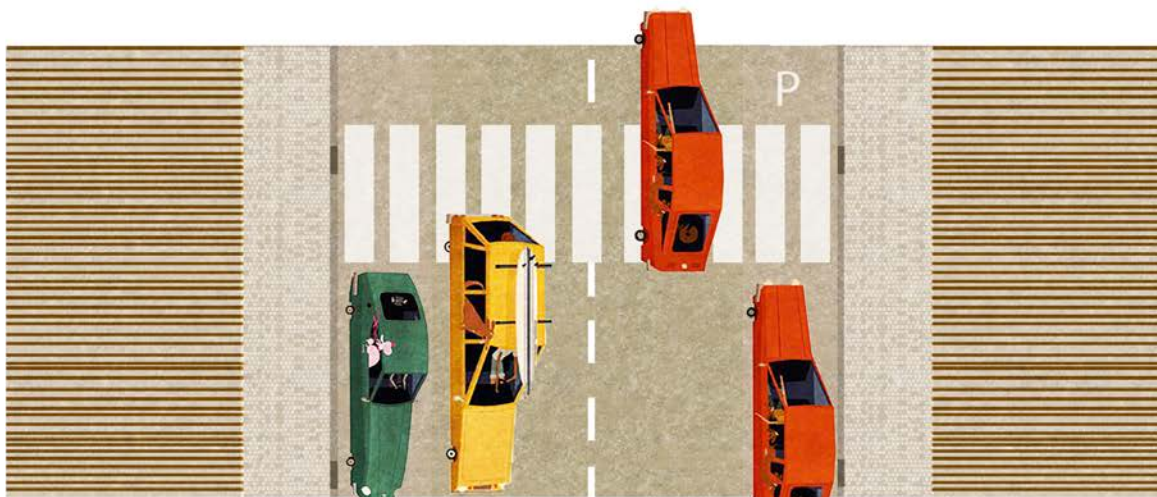
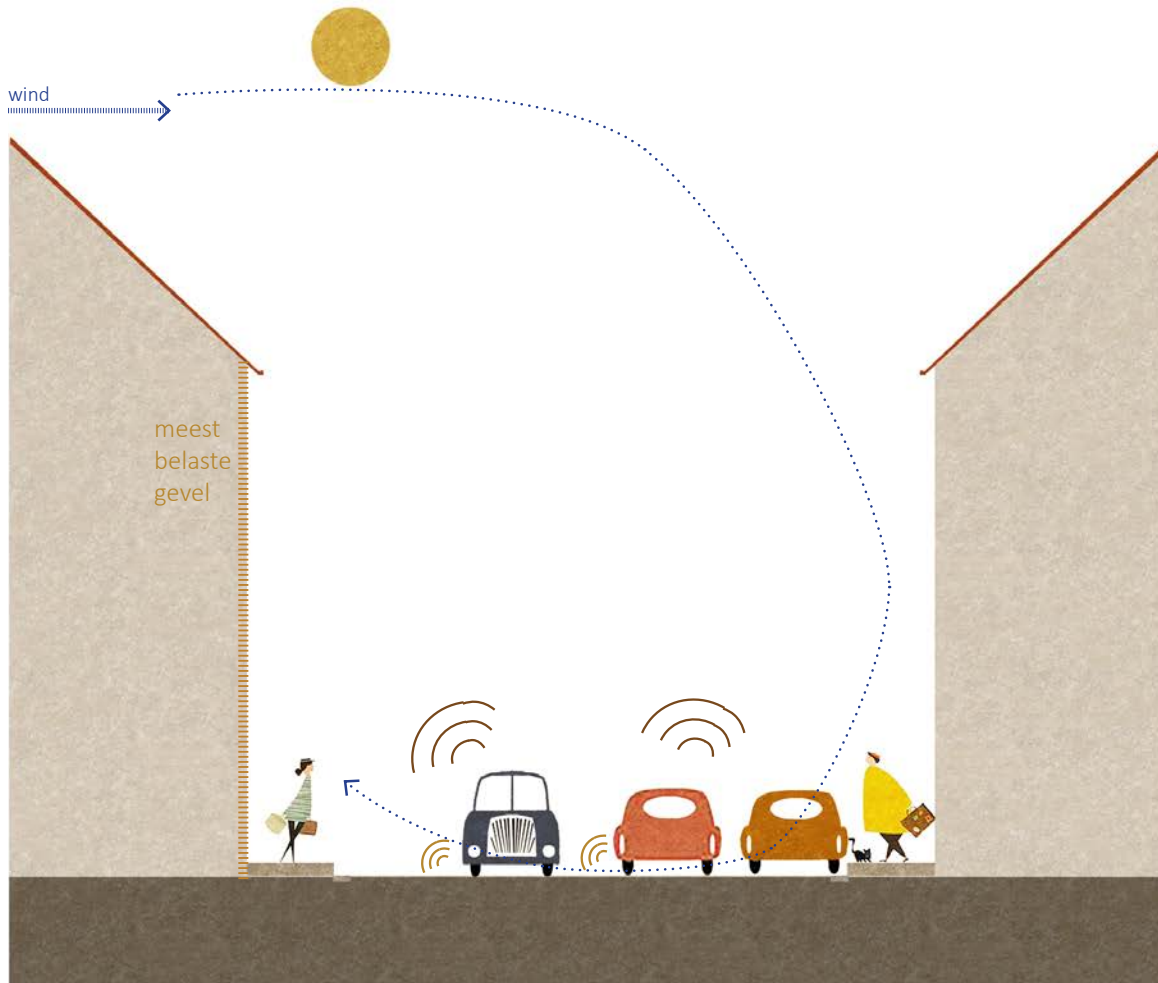
(AWV, 2010)

Het becijferen van de kostenefficiëntie van maatregelen ter reductie van verkeerslawaai in stedelijke omgevingen kan zich tot op heden enkel baseren op de reductiestrategieën die becijferd kunnen worden vanuit rol- en motorgeluid waar de waarden gekend zijn. Eens het beleid ingezet heeft op verkeersluwe zones, en ook het type wagenpark overgeschakeld is op elektrisch rijden, rest enkel het type wegdek als laatste grote speler bij te sturen. Bovenstaande types wegdek en hun geluidsniveau zijn op efficiëntie naast elkaar uitgezet en becijferd.

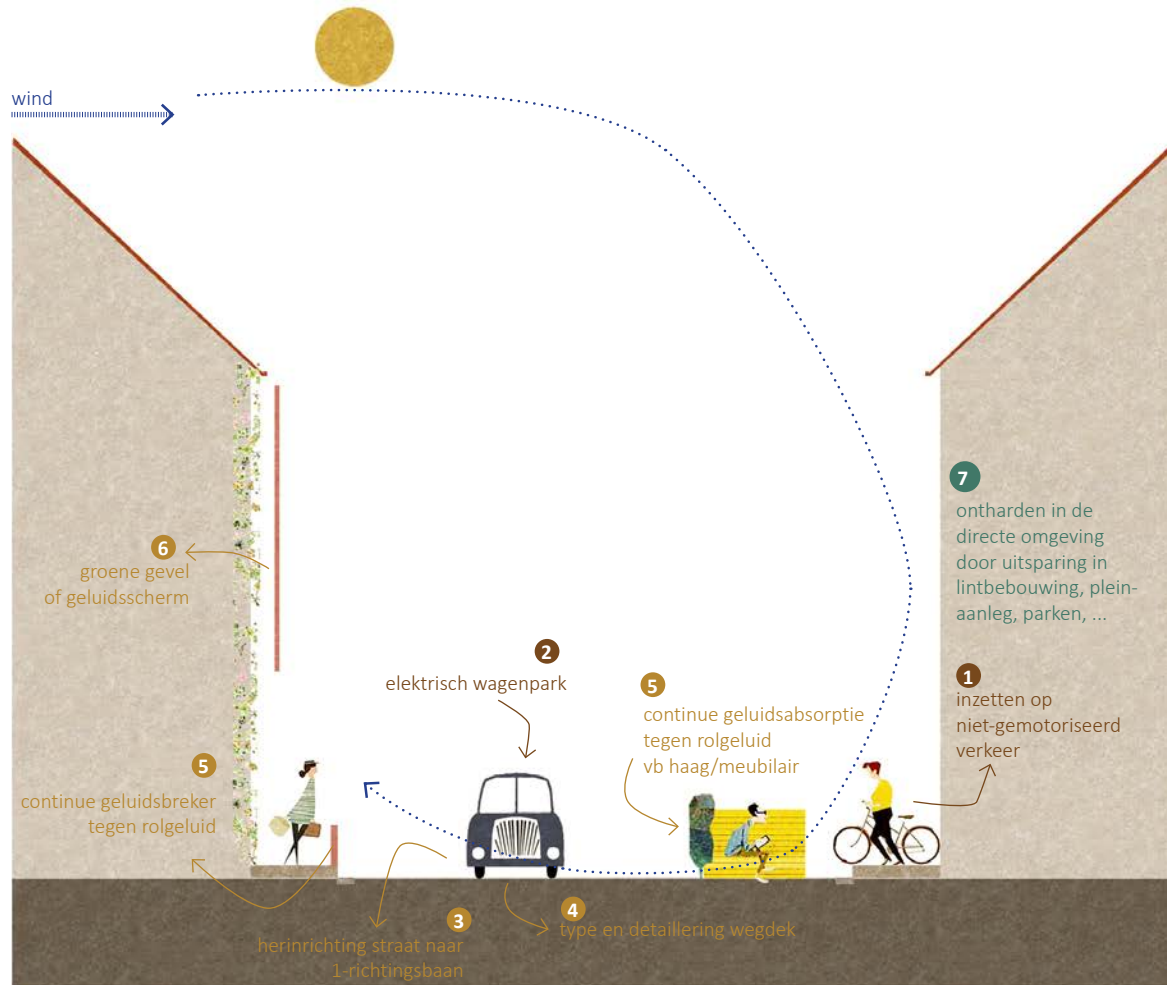
Voor hagen en het inzetten van groen ontbreekt het in de literatuur aan exact becijferde proefopstellingen. Deze studie beperkt zich dus noodzakelijkerwijze tot het becijferen van de kostenefficiëntie van het wegdek.

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

Overzicht ruimtelijke reductiestrategieën geluid



Street canyon & geluid: huidige situatie



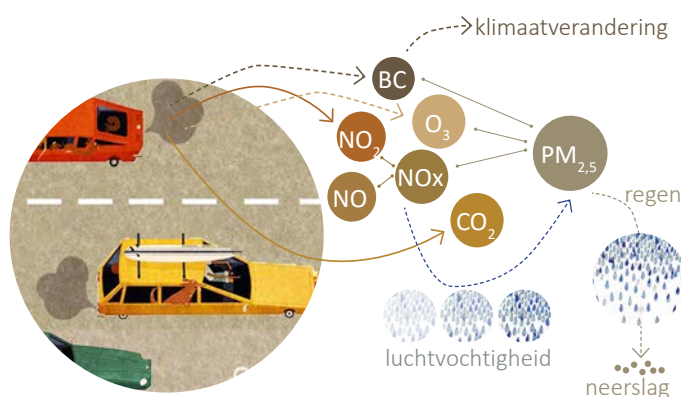
Street canyon & geluid: meer ideale inrichting NA toepassing maatregelen geluid



Lucht

Weringsprincipes op straat

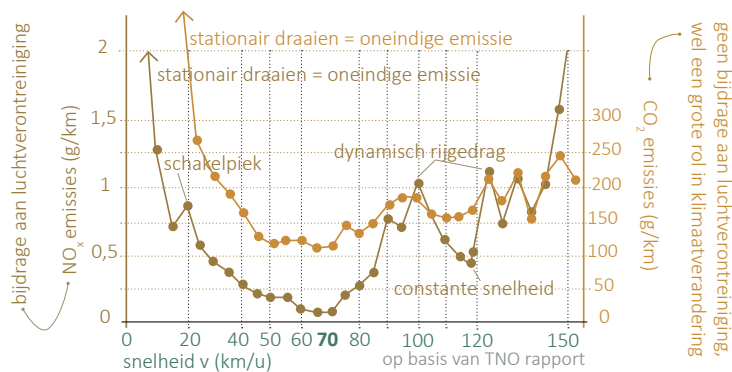
Basisprincipes luchtverontreiniging



Uitlaatgassen en een aantal van de belangrijkste polluenten. Vorming van fijnstof is afhankelijk van de luchtvochtigheid, en bij regen slaat fijnstof neer. Black Carbon (of roet) is een van de grootste stimulanten in de klimaatverandering.

-  Particulate Matter 10 of fijnstof met diameter kleiner of gelijk aan 2,5 micrometer
-  Particulate Matter 2,5 of fijnstof met diameter kleiner of gelijk aan 2,5 micrometer
-  verzamelnaam voor de stikstofoxiden
-  stikstofmonoxide
-  stikstofdioxide
-  Black Carbon of zwarte koolstof, beter gekend als roet
-  ozon
-  koolstofdioxide (geen fijnstof)
-  koolstofmonoxide (geen deel van fijnstof)

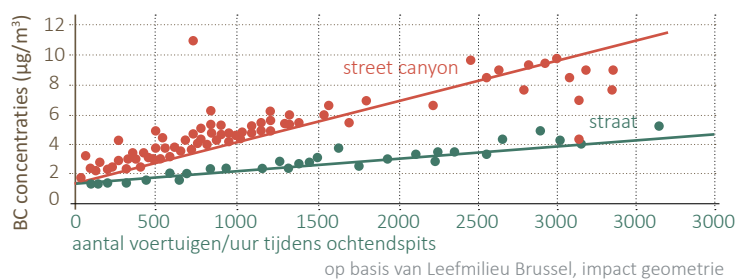
 Fijnstof is de naam voor alle particulate matter (stofdeeltjes) met een diameter gelijk aan of kleiner dan 10 micrometer, kortweg PM_{10} genoemd. Voor deze studie wordt enkel naar $PM_{2.5}$ gekeken, daar het die fractie fijnstof is die het schadelijkst is voor de mens (hoe kleiner de deeltjes, hoe dieper ze kunnen doordringen in de longen). Het is tevens de fractie die voor het grootste deel ontstaat door het menselijk handelen. De grootste massafractie in $PM_{2.5}$ is afkomstig van (secundaire) ammoniumzouten, afkomstig van stikstof(mon)oxiden (NO) van verkeer, ammoniak (NH_3) uit o.a. de bio-industrie, en stikstofdioxide SO_2 . Er bestaat geen veilige waarde voor $PM_{2.5}$ waaronder absolute bescherming van de gezondheid kan gegarandeerd worden. Evenwel is het zo dat als het $PM_{2.5}$ -jaargemiddelde zou dalen van $16 \mu g/m^3$ (2010) tot de gezondheidsrichtwaarde van $10 \mu g/m^3$ zoals vooropgesteld door de WHO (WHO, 2016) en het visionair scenario van de Milieuverkenning 2030, kan één vierde van de DALY's (of 24 756 DALY's) vermeden worden (MIRA, 2015).



NO_x en CO₂ emissies voor een personenwagen in functie van de snelheid. Stationair zijn beide emissies oneindig, en bij een snelheid van 70 km/uur is de uitstoot het laagste

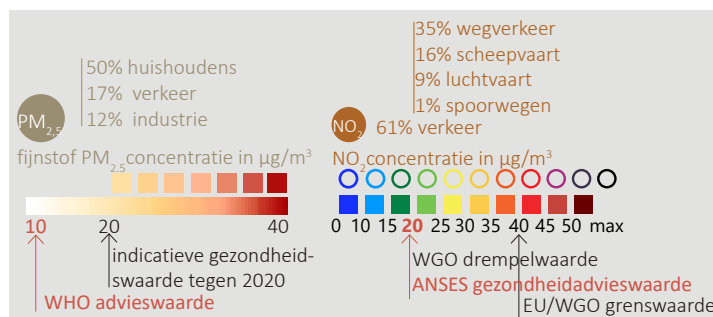
NO₂ NO₂ is een gas dat in de atmosfeer terecht komt bij allerlei verbrandingsprocessen, zoals bijvoorbeeld in de motor van een auto, in verwarmingsketels, in de industrie of in elektriciteitscentrales. NO₂ is een goede indicator voor luchtverontreiniging door het verkeer. 61% van de NO₂ uitstoot in Vlaanderen is afkomstig van het gemotoriseerd verkeer: 35% van het wegverkeer, 16% van de scheepvaart, 9% van de luchtvaart en 1% van spoorwegen. Verder draagt NO₂ ook bij aan de productie van fijnstof en ozon (O₃) in de atmosfeer, stoffen die schadelijk zijn voor mens en natuur (VMM, 2018)

Bovenstaande grafiek plot de NO_x 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 NO_x emissies opnieuw.



BC concentraties stijgen proportioneel ifv de verkeersintensiteit en in streetcanyons stijgen de concentraties tot 2microgram per m3 voor eenzelfde verkeerstoeiname

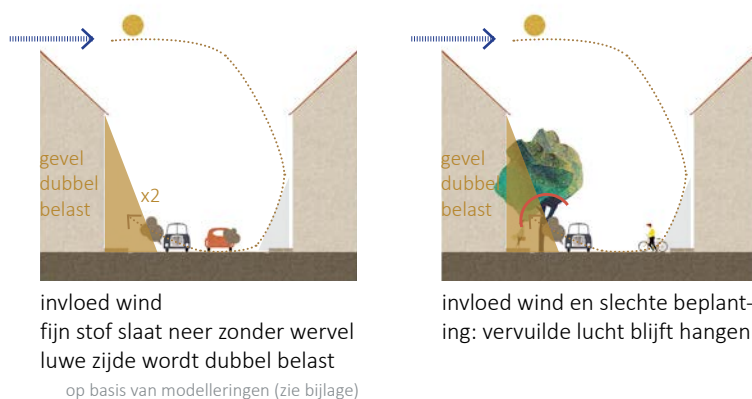
BC Black Carbon of zwarte koolstof, beter gekend als roet, is een fractie fijnstof die vaak gebruikt wordt voor verkeersgerelateerde luchtverontreiniging en is sinds 2012 als kankerverwekkend bestempeld door het WHO. De concentraties BC stijgen proportioneel in functie van de verkeersintensiteit; voor open straten is deze stijging in de grootteorde van 0,5 µg/m³ per toename van 1000 voertuigen/uur. In straten afgeboord met een hoge bebouwing bedraagt de concentratiestijging 2 µg/m³ voor eenzelfde verkeerstoeiname. Kortweg zijn de black carbon concentraties dus gemiddeld 2 tot 3 keer hoger in een street canyon dan in een open straat.



Fijnstof en haar componenten met regelgeving EU.

NO₂ en haar componenten met WHO en ANSES waarden. Voor NO₂ stelt ANSES een gezondheidsadvieswaarde van 20 µg/m³.

Basisprincipes bewegingsinvloeden luchtverontreiniging

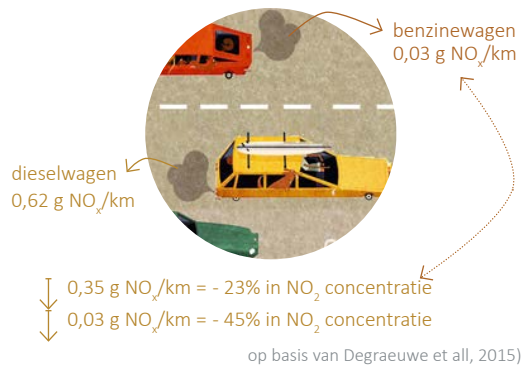
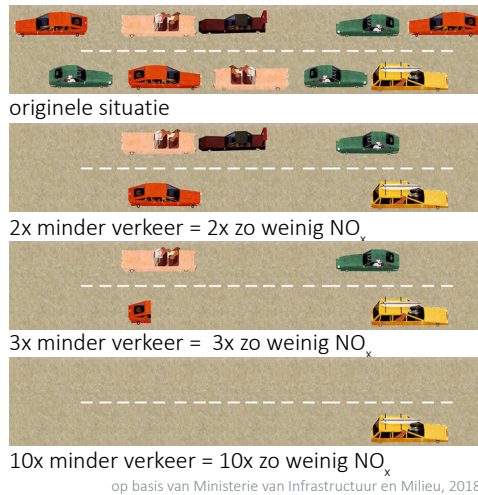


Windwerking in de street canyon zorgt ervoor dat vervuilde lucht met de windwervel mee neerslaat tegen de windluwe zijde. Modelleringen tonen aan dat deze zijde dubbel belast wordt tegenover de windwaartse zijde. Specifiek voor black carbon geven metingen aan dat de concentraties gemiddeld 20 tot 40% hoger liggen op het voetpad aan de luwe kant dan op het voetpad aan de windwaartse kant.

Ook is het zo dat op plekken waar er geen windspoeling is of waar beplanting de windwervel verhindert, de vervuilde lucht blijft hangen: slecht gelocaliseerde bomen bij parkeerplaatsen zijn hier een goed voorbeeld van, daar ze een paraplu vormen voor de emissies bij het starten van de auto.

Cijferwerk

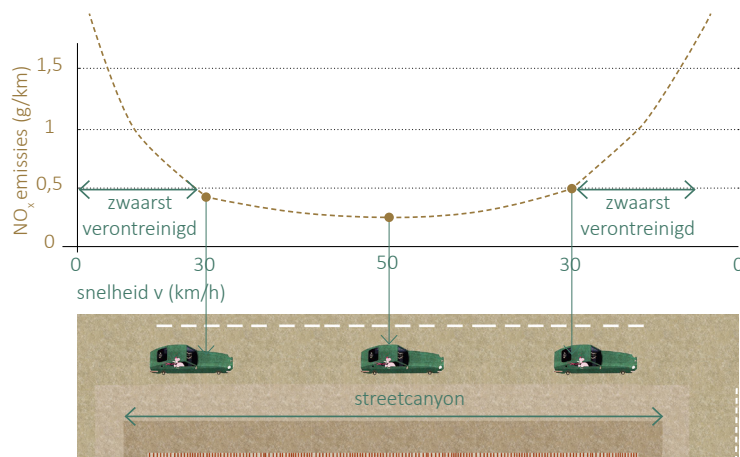
Invloed van verkeersintensiteit en type wagen



Op vlak van verkeersintensiteiten is de stikstofuitstoot evenredig met de hoeveelheid verkeer, en dit onafhankelijk van de snelheid van het verkeer.

Wel is de uitstoot afhankelijk van het type wagen. Zo kan de gemiddelde NO₂ concentratie op een invalsweg naar de stad gereduceerd worden met 23% als Diesel-auto's 0.35 g NO_x/km ipv de huidige 0.62 g NO_x/km zouden uitstoten. Verder reductie tot 45% is mogelijk als de emissie verder daalt tot 0.03 g NO_x/km. Let wel: ook benzinewagens met een uitstoot van 0,03g zijn nog steeds vervuילend!

Principe doorrijden straat



NO_x emissies zijn het hoogste bij start/stop bewegingen (kruispunten, hindernissen,...) en lage snelheden. Kruispunten en straateindes zijn bijgevolg het zwaarst belast.

Wanneer een wagen de straat doorrijdt, start die aan een lage snelheid en dus met een erg hoge emissie. Stel dat de wagen niet geremd wordt, dan kan hij optrekken tot een snelheid van ongeveer 50 km/uur, waarbij hij -met uitzondering van de schakelpieken- een lagere emissie gaat uitstoten. Tegen het einde van de straat vertraagt de wagen weer, waar hij vervolgens tot stilstand komt bij het voetpad of het kruispunt. De zwaarst verontreinigde delen van de straat bevinden zich dus op de koppen of bij obstakels.

Invloed van verkeersremmers op emissies

		FC l/100km	CO ₂ g/km	CO l/100km	HC g/km	NO _x l/100km	PM g/km
snelheidsdrempel	benzine	+45%	-	-	+25%	+55%	-
	diesel	+55%	-	-	+ 25%	+75%	+75%
zone 30	benzine	-10%	-	-	-65%	-50%	-
	diesel	-10%	-	-	-	-	-35%
groene golf	benzine	-20%	-80%	-75%	-40%	-35%	-
	diesel	-20%	-	-	-40%	-35%	-
rotonde	benzine	+10%	-60%	-	-	-	-
	diesel	-	-	-	-	-	-

op basis van (LNE, 2003)

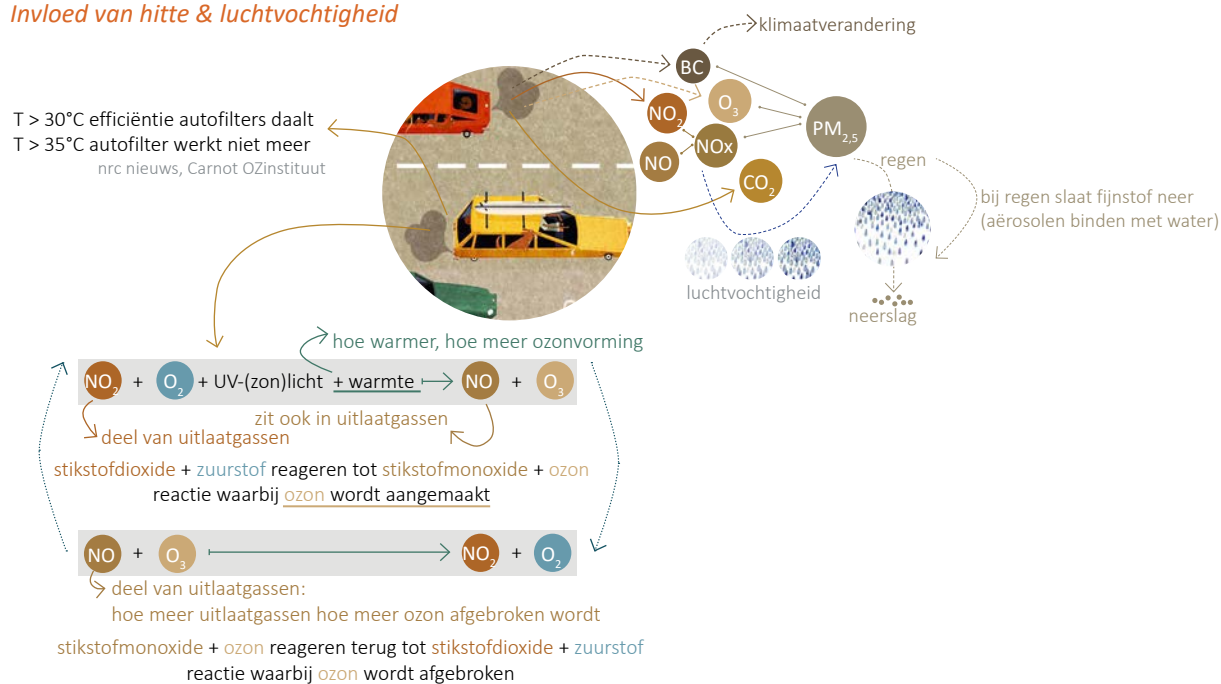
Samenvatting van de invloed van verkeerstechnische maatregelen op voertuigemissies en brandstofverbruik.

noot: recenter studiewerk "onderzoek naar aanbevelingen rond milieuvriendelijke weginrichting"

De emissie-grafiek geeft aan dat bij lage snelheden de uitstoot stijgt. Bovenstaand tabelletje vult de grafiek aan door stijgingen en dalingen te noteren in emissie per verkeersremmende maatregel. Een snelheidsdrempel gaat tot 75% meer NO_x uitstoot en tot 55% meer CO₂ uitstoot met zich meebrengen. Het is dus van het grootste belang de straat correct in te richten om de luchtkwaliteit te verbeteren. Het inrichten van een zone 30 geeft wel positieve resultaten voor de emissies; dit komt doordat een continue snelheid verzekerd wordt die net buiten hoge emissiezone op de grafiek ligt en bovendien de meeste schakelpieken wegwerkt.

Let wel: de maatregelen voor een continu en onverhinderd gemotoriseerd verkeer zijn ondergeschikt aan de voorrang van de voetganger.

Invloed van hitte & luchtvochtigheid



op basis van website leefmilieu brussel/luchtkwaliteit; website irlceline punt 7

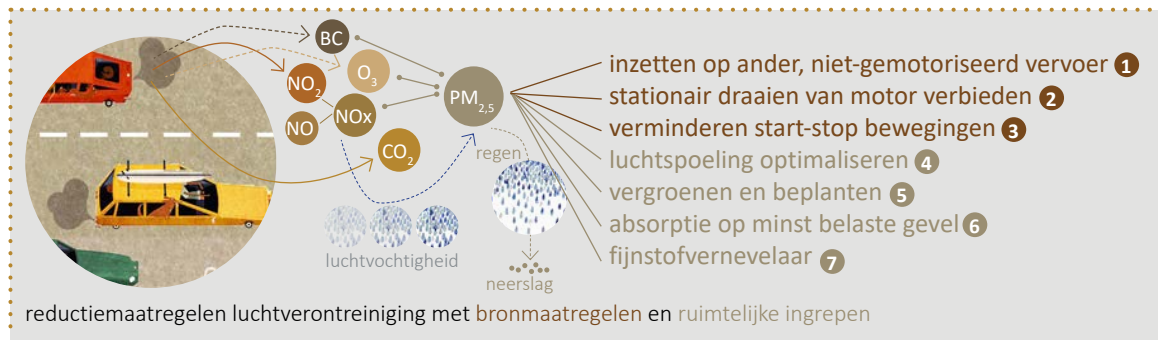
In de uitlaatgassen zitten tegelijk gassen die ozon produceren (stikstofdioxiden – NO₂) én afbreken (stikstofmonoxide - NO). Als het verkeer stilvalt, merkt men meteen een verandering in de concentratieniveaus: er zit dan minder NO dan NO₂ in de omgevingslucht, met als gevolg dat er minder ozon wordt 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.

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_x 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, 2018).

Reductiemaatregelen luchtverontreiniging

Basisprincipes reductiestrategieën lucht



Bovenstaande reductiestrategieën voor luchtverontreiniging worden onderin beknopt toegelicht, zijn ruimtelijk vormgegeven en samengevat op volgende pagina en worden in volgende hoofding naar kostenefficiëntie gewogen. De maatregelen zijn opgedeeld in bronmaatregelen (donkerbruin) en ruimtelijke ingrepen (lichtbruin).

1 een ander maar niet gemotoriseerd vervoersmiddel

Het efficiëntste zijn de bronmaatregelen en dus het inzetten op niet-gemotoriseerd verkeer. Ook hier zou het autogebruik ontmoedigd moeten worden in de woonkernen (en zeker in de buurt van scholen, bejaardentehuizen en ziekenhuizen) en wordt de publieke ruimte bij voorkeur zo fiets- en wandelvriendelijk mogelijk ingericht. Ook het inzetten van randparkings kan woonkernen ontlasten van gemotoriseerd vervoer en dus de hoge uitstoot temperen. Het herinrichten van een straat met 2 rijrichtingen naar een straat met 1 rijrichting speelt in op een verkeersreductie en is dus een zinvolle ingreep. Lage emissie zones (LEZ) en circulatieplannen zijn een stap in de goede richting, maar zijn op vlak van reductiestrategie lang niet te vergelijken met autoloze binnensteden en woonkernen. De maatregel die overschakelt op een elektrisch wagenpark is ook op vlak van luchtkwaliteit vanzelfsprekend zinvol.

2 stationair draaien van de motor verbieden

Lage snelheden en het stationair draaien van de motor hebben een rechtstreekse invloed op luchtverontreiniging daar de uitstoot daar op relatief hoog ligt. Bij kiss&ride zones, taxi-standplaatsen, lange wachttijden bij rood licht, wachten voor een gesloten spoor, ... moet stationair draaien verboden worden.

3 verminderen start-stopbewegingen

Lage snelheden en start-stopbewegingen resulteren in hoge emissies. Vlot verkeer verzekeren is hier de beste remedie tegen. Dit kan door het inrichten van de straat met zo min mogelijk garages en parkings (stop-beweging voor het inrijden dalen zo significant), door het afbouwen van verkeersdrempels en andere verkeersremmers, en door het ombouwen van kruispunten met stops naar ronde punten. Belangrijk is voor parkings die zich in de centra bevinden in te zetten op bewijzering doorheen de stad om zo efficiënt mogelijk naar vrije parkeerplaatsen te rijden en zo zoekverkeer uit te schakelen. Verkeerslichten worden ook best interactief afgesteld om zo lange wachttijden te vermijden.

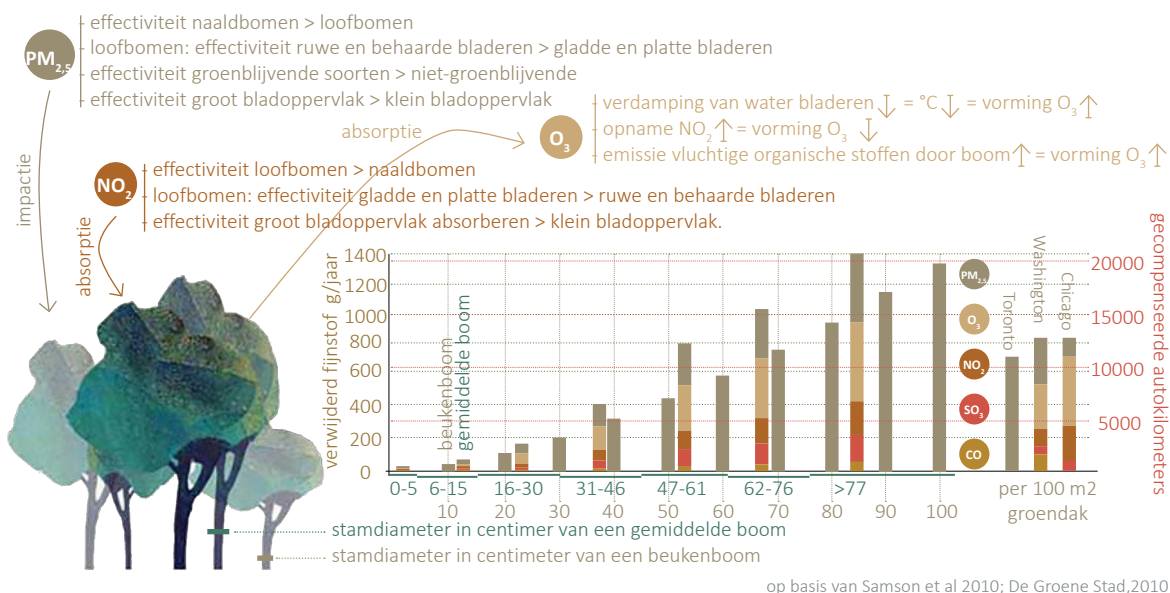
(Let wel: er is in steden en woonkernen gekozen de voetganger voorrang te geven; de hier besproken maatregelen schikken zich daarnaar: zie ook reductiemaatregel 1).

4 luchtspoeling optimaliseren

Luchtervuiling in streetcanyons stapelt zich op door een slechte wind of luchtspoeling. Bij nieuwbouw is het dus van grootste niet haaks op de heersende wind te bouwen. In de bestaande bebouwde omgeving kan er wel ingezet worden op maatregelen die de windspoeling optimaliseren: zwaar verontreinigde plekken zoals kruispunten kunnen verbreed worden, en lange streetcanyons halen voordeel uit het uitsparen van een plein of een park in het midden van de langse canyon richting. Ook de heraanleg van een 2-richtingstraat naar een straat met éénrichtingsverkeer verbetert de windspoeling.

4 vergroenen en beplanten

Het vergroenen en beplanten - met behoud van windspoeling - van verharde streetcanyons en stedelijke omgevingen in het algemeen is een erg efficiënte maatregel ten voordele van de luchtkwaliteit. Onderstaande berekeningen geven inzicht in grootte-orde gezuiverde lucht in functie van type boom, stamdiameter, doorwortelde ruimte en kroonprojectie. Het plaatsen van continue hagen langs de rijbaan zorgt tevens voor directe opvang van het fijnstof.



Verwijderd fijn stof per jaar in relatie tot stamdiameter van een beuk en een gemiddelde boom met bijhorende gecompenseerde autokilometers. Relatie loof/naald bomen en hun capaciteit tot luchtzuivering: naaldbomen of kleinbladige loofbomen scoren het beste omwille van grotere oppervlakte om fijnstof aan te laten adsorberen.

Bovenstaande infografic plot het verwijderd fijnstof in gram per jaar in functie van de stamdiameter van een gemiddelde boom. In het rood zet de infografic tevens de gecompenseerde autokilometers uit. Een boom met stamdiameter 16-30 centimeter kan dus tot 300 gram fijnstof per jaar uit de lucht halen, en compenseert daarmee 5000 gereden autokilometers. Voor een beuk is de berekening specifiek gemaakt en kan er per pollutant nagegaan worden welke fractie gezuiverd wordt. De grafiek wijst ook op het feit dat 1 beukenboom met stamdiameter 50 evenveel lucht zuivert als 100 vierkante meter groendak in Chicago. Het is overduidelijk dat bomen winnen in efficiëntie. 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. Onderstaande tabellen geven een overzicht van type beplanting en plussen waar de types significant op zuiveren.

HEESTERS		PM ₁₀	NO ₂	NO	O ₃	emissie VOS
<i>Amelanchier lamarckii</i>	Krentenboompje	+	+	+		
<i>Berberis xfrickartii</i>	Zuurbes Amstelveen	++	++	++		++
<i>Chaenomeles</i>	Dwergkwee	+	++	++		
<i>Corylus colurna</i>	Boomhazelaar	++	+++	+++		
<i>Euonymus (bladverl.)</i>	Kardinaalsmuts	+	+++	+++		
<i>Euonymus (bladhoud.)</i>	Kardinaalsmuts	++	+	+		
<i>Hedera</i>	Klimop	++	++	++		
<i>Ilex xmeserveae</i>	Blauwe hulst	++	+	+		
<i>Lonicera (bladverl.)</i>	Struikkamperfoelie	+	+			
<i>Lonicera (bladhoud.)</i>	Struikkamperfoelie	++	++	++		
<i>Mahonia</i>	Mahoniestruik	++	++	++		+++
<i>Potentilla fruticosa</i>	Struikganzerik	++	++	++		+
<i>Rosa</i>	Stamroos	++	++	++		+
<i>Spiraea</i>	Spierstruik	+	++	++		+



HAGEN		PM ₁₀	NO ₂	NO	O ₃	emissie VOS
<i>Carpinus betulus</i>	Haagbeuk	++	+++		+++	+
<i>Fagus</i>	Beukenhaag	++	+++		+++	
<i>Ligustrum</i>	Ligusterhaag	++	+++		+++	



KLIPLANTEN		PM ₁₀	NO ₂	NO	O ₃	emissie VOS
<i>Clematis</i>	Clematis	+	+		+	
<i>Fallopia</i>	Bruidssluier	+	+++		+++	
<i>Hedera</i>	Klimop	+++	+		+	
<i>Lonicera</i>	Kamperfoelie	+	++		++	
<i>Parthenocissus</i>	Wilde wingerd	+	++		++	
<i>Pyracantha</i>	Vuurdoorn	++	+++		+++	
<i>Rosa</i>	Klimroos	++	++		++	+
<i>Wisteria</i>	Blauwe regen	+	++		++	



NAALDBOMEN		PM ₁₀	NO ₂	NO	O ₃	emissie VOS
<i>Ginkgo bilboa</i>	Japanse notenboom	+	+++		+++	+
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	Chinese moerascipres	+++	+		+	+
<i>Pinus nigra</i>	Oostenrijkse den	+++	+		+	+
<i>Pinus sylvestris</i>	Grove den	+++	+		+	+
<i>Taxus</i>	Venijnboom	+++	+		+	+

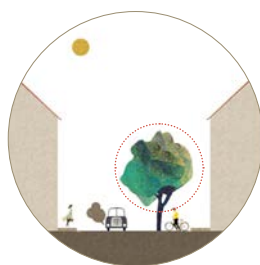


LOOFBOMEN		PM ₁₀	NO ₂	NO	O ₃	emissie VOS
<i>Acer platanoides</i>	Noorse esdoorn	+	+++		+++	
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Gewone esdoorn	+	+++		+++	
<i>Aesculus</i>	Paardenkastanje	++	+++		+++	
<i>Ailanthus altissima</i>	Hemelboom	+	+++		+++	+
<i>Alnus cordata</i>	Hartbladige els	+	+++		+++	
<i>Alnus glutinosa</i>	Zwarte els	+	+++		+++	
<i>Alnus xspaethii</i>	Els	++	+++		+++	
<i>Betula ermanii</i>	Goudberk	++	+++		+++	+
<i>Betula nigra</i>	Zwarte berk	++	+++		+++	+
<i>Betula pendula</i>	Ruwe berk	++	+++		+++	+
<i>Betula utilis</i>	Witte himalayaberk	++	+++		+++	+
<i>Carpinus betulus</i>	Haagbeuk	++	+++		+++	+
<i>Crataegus xpersimilis</i>	Pruimbladige meidoorn	+	+++		+++	
<i>Fagus sylvatica</i>	Beukenhaag	++	+++		+++	
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Smalbladige es	+	+++		+++	
<i>Fraxinus excelsior</i>	Gewone es	+	+++		+++	
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Zachte es	+	+++		+++	
<i>Fraxinus ornus</i>	Pluimes	++	+++		+++	
<i>Gleditsia triacanthos</i>	Valse christusdoorn	++	+++		+++	
<i>Koelreuteria paniculata</i>	Blaasjesboom	+	+++		+++	+++
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Amberboom	++	+++		+++	+++
<i>Liriodendron tulipifera</i>	Amerikaanse tulpenboom	+	+++		+++	+++
<i>Magnolia kobus</i>	Beverboom	+	++		++	
<i>Malus</i>	Appelboom	++	+++		+++	+
<i>Parrotia persica</i>	Perzisch ijzerhout	++	+		+	
<i>Platanus xhispanica</i>	Plataan	++	+++		+++	+++
<i>Populus</i>	Populier	++	+++		+++	+++
<i>Prunus</i>	Perzikboom	++	+++		+++	
<i>Pyrus calleryana</i>	Sierpeer	+	+++		+++	
<i>Quercus palustris</i>	Moeraseik	++	+++		+++	+++
<i>Quercus robur</i>	Zomereik	+	+++		+++	+++
<i>Salix alba</i>	Schietwilg	++	+++		+++	+++
<i>Sophora japonica</i>	Honingboom	++	+++		+++	
<i>Sorbus</i>	Lijsterbes	++	+++		+++	+
<i>Tilia cordata</i>	Winterlinde	++	+++		+++	+
<i>Tilia europaea</i>	Hollandse linde	+	+++		+++	+
<i>Ulmus</i>	Iep	++	+++		+++	+

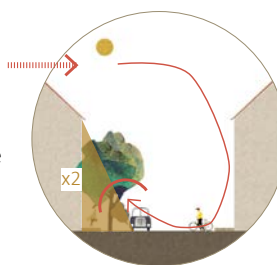
op basis van Samson et al 2010; Takahashi ea 2005; Donovan ea 2005; Stewart, Hewitt 2002; Nowak ea 2002



Het aanplanten van groen is enkel voordelig voor de luchtkwaliteit als het op een correcte manier gebeurt en ten aller tijde windspoeling blijft garanderen. Onderstaande figuren duiden een aantal vuistregels.



De kruin van de boom kan best vervuilde lucht kan doorlaten bij > 50% optische porositeit.



Plaats de boom zo dat hij de windsnelheid dichtbij de bron niet te veel dempt (het zogeheten groene tunnel effect). Hierdoor verhogen de luchtvervuilingsconcentraties lokaal. Plaats om diezelfde reden ook geen bomen bij parkeerplaatsen.



Combineer bomen met een ondergroei van kruidachtigen en struiken om effectief blad te hebben op de verschillende niveaus.



Bomen met een warrige takstructuur leveren een bijdrage aan de opname van fijnstof, ook indien er geen blad aan de boom zit.

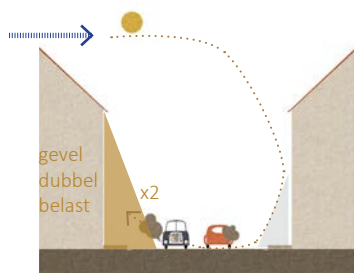


Plant zo veel mogelijk aan in functie van het programma van de stad: intensiever bij scholen, bejaardentehuizen, ziekenhuizen, ... Het zijn de druk bevolkte plekken die de grootste winst halen uit de door de bomen gezuiverde lucht.

op basis van Samson et al, 2010; De Groene Stad, 2010

5 absorptie op minst belaste gevel

Door windspoeling slaat fijnstof neer tegen de luwe zijde, die zo dubbel belast wordt. Dit kan vermeden worden door het fijnstof uit de lucht te zuiveren alvorens het kan neerslaan, met andere woorden door de minst belaste zijde te vergroenen of er een absorptiescherm te plaatsen.



invloed wind
fijn stof slaat neer zonder wervel
luwe zijde wordt dubbel belast

op basis van modelleringen (zie bijlage)

6 fijnstofvernevelaar

Een hoogtechnologische oplossing voor fijnstof is het inzetten van een fijnstofvernevelaar. Fijnstof slaat neer bij regen door het binden met aërosolen in water. De fijnstofvernevelaar wordt geactiveerd op ogenblikken met hoge luchtvervuiling en zal water sprinkelen, wat het fijnstof doet neerslaan op straat.

richtlijn fijnstof = 0,9 g (PM₁₀)/m² per jaar

- plantafhankelijk; klimop realiseert 6 g (PM₁₀)/m² per jaar



richtlijn fijnstof = 0,18 kg (PM₁₀)/loofboom per jaar
0,32 kg (PM₁₀)/naaldboom per jaar

x prijs loofboom 500€/stuk
x prijs naaldboom 350€/stuk



richtlijn fijnstof = 36 kg (PM_{10})/ha loofbomen per jaar
63 kg (PM_{10})/ha naaldbomen per jaar

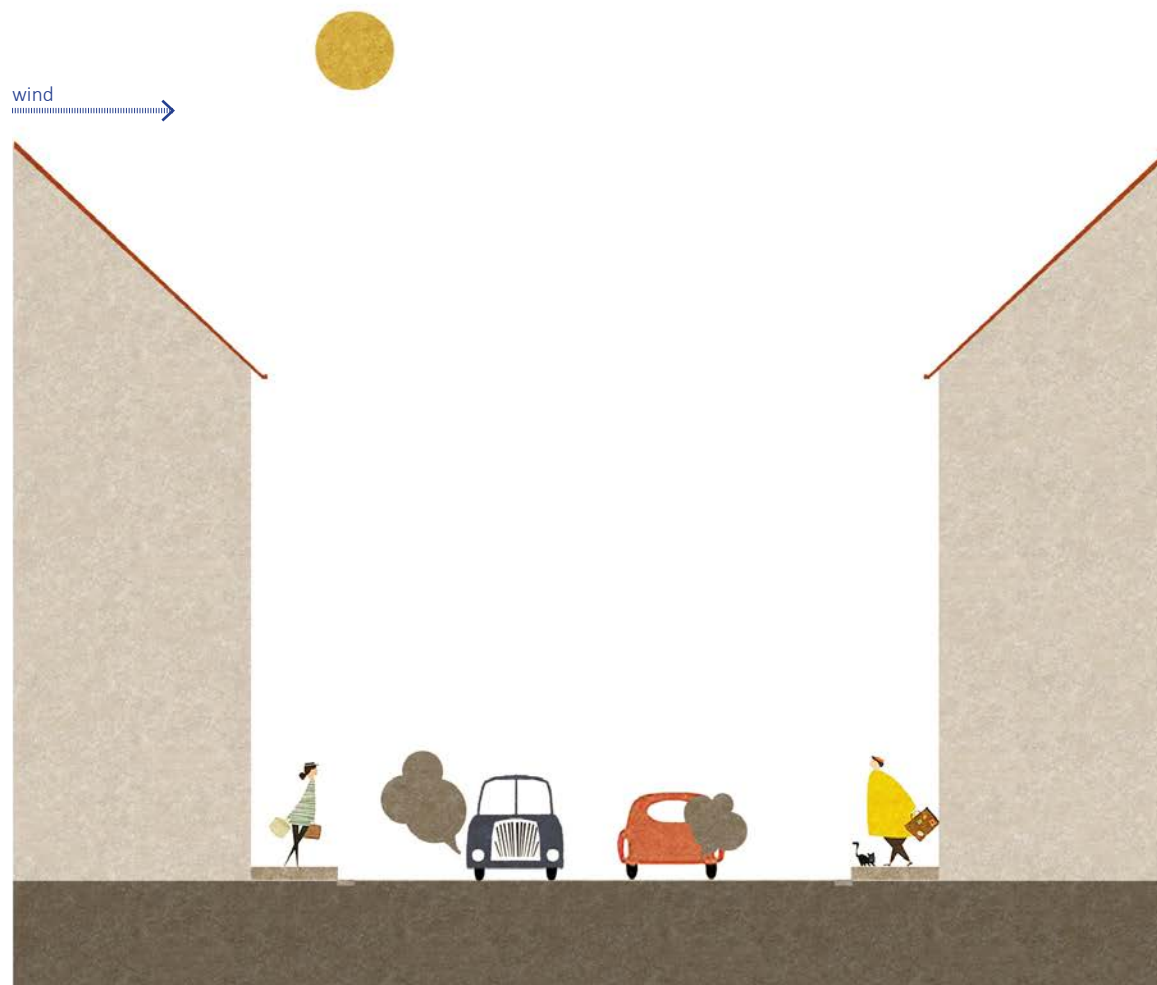
x 400 bomen x prijs loofboom 500€/stuk
x 400 bomen x prijs naaldboom 350€/stuk

richtlijn fijnstof = 12 kg (PM₁₀)/ha loofhagen per jaar
24 kg (PM₁₀)/ha naalddhagen per jaar
18 kg (PM₁₀)/ha struiken per jaar

- x prijs haag 50€/lopende m
- x prijs haag 50€/lopende m
- x prijs struik 35€/m²

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

Overzicht ruimtelijke reductiestrategieën luchtverontreiniging



Streetcanyon & geluid: huidige situatie

Beleidsstrategieën parkeren



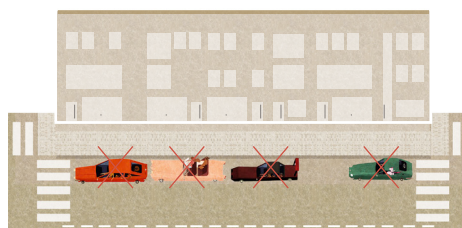
Onderzoek naar verkeer in de stad duidt dat 15% zoekverkeer is, een probleem dat gemakkelijk opgelost kan worden door via bewegwijzering de kortste weg naar een vrije plaats te wijzen. Voordeel hiervan is dat het stationair draaien significant daalt, met een rechtstreekse daling in emissies tot gevolg.

Dat bovengronds parkeren nog steeds goedkoper is dan ondergronds parkeren werkt ook het zoekverkeer en de bijhorende stadsfiles, en dus het stationair draaien, in de hand.

Samengevat: inzetten op randparkings heeft de voorkeur op vlak van luchtkwaliteit, gevolgd door interactieve bewegwijzering naar een ondergrondse en betaalbare parkeerplaats. In een laatste geval kan men naar bovengronds parkeren grijpen, wat beduidend duurder dan rand- en ondergrondse parkings zou moeten worden ingericht.

Gaat men uit van bovengronds parkeren, dan kunnen er nog een aantal beleidsstrategieën uitgezet worden voor parkeren in functie van de draagkracht van een straat.

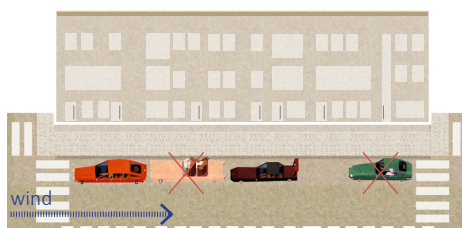
Volgende figuren nemen aan dat een bepaalde straat maar een zeker aantal parkeerplaatsen i.f.v. van luchtverontreiniging aankan. Daar bij het starten en bij lage snelheden van een wagen de emissies het hoogst zijn, is het goed even een aantal parkeermaatregelen onder de loep te nemen.



Waar interne parkeergarages of collectieve interne parkeergarages de straat reeds domineren, zouden er geen extra parkeerplaatsen meer mogen voorzien worden op straat.

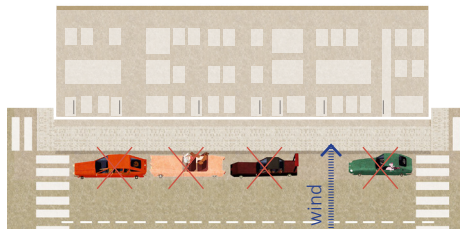


Waar winkels en magazijnen de straat domineren, kunnen de leveringen gecentraliseerd worden op een plaats met afvang. Ze kunnen ook gespreid worden in tijd, of er kunnen specifieke levertijden afgestemd worden op bv. spits- of schooluren. Vervolgens moet er gesensibiliseerd worden over het feit dat stationair geparkeerde (lever)wagens met draaiende motor ook continu blijven uitstoten. Op basis daarvan zou ook hier het aantal parkeerplaatsen op straat gereduceerd moeten worden.

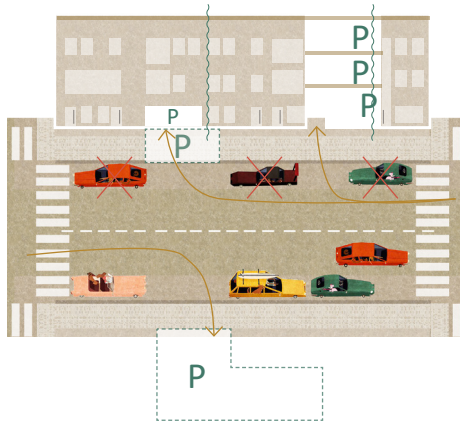


In een straat met doorgaand verkeer met hoge intensiteit maar goede (wind)ventilatie kan er overwogen worden om extra parkeerplaatsen in te richten.

In eenzelfde straat met lage intensiteit kan overwogen worden parkeerplaatsen in te richten.



In een straat met doorgaand verkeer en hoge of lage intensiteit, met slechte (wind)ventilatie, of de wind dwars op de straat, is het niet aangeraden parkeerplaatsen op straat te voorzien.



Bij ondergronds parkeren moet er nog steeds bovengronds geventileerd worden: dit moet op een goed geventileerde plaats met open inrichting of via luchtfilters in de parkeergarages zelf. Bij keuze voor ondergronds parkeren moeten ook de parkeerplekken op straat verwijderd worden, om eenzelfde luchtkwaliteit te behouden op basis van draagkracht.

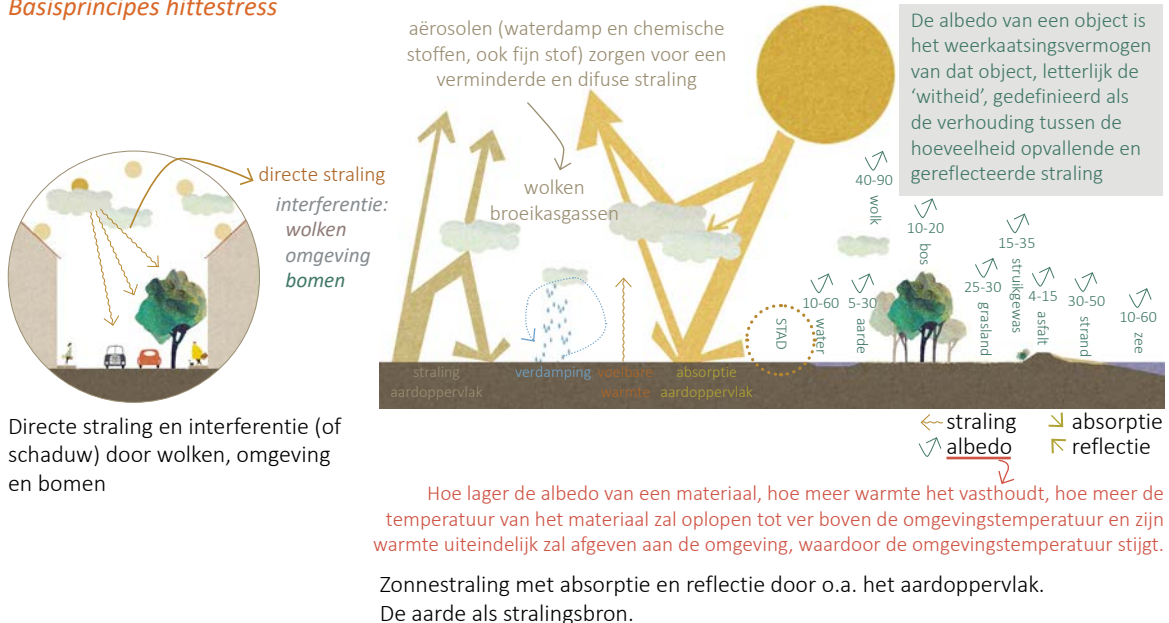
Parkeren in een parkeergebouw gebeurt best hoog: daar kan windventilatie de slechte lucht gemakkelijk wegdrijven. Ook daar geldt dat de parkeerplaatsen op straat best afgeschaft worden. Ook de locatiekeuze onder- of bovengronds is belangrijk i.f.v. street canyons in omgeving.

Een open parkeerplaats moet goed geventileerd worden en trekt veel verkeer aan.

Hittestress

Werkingsprincipes

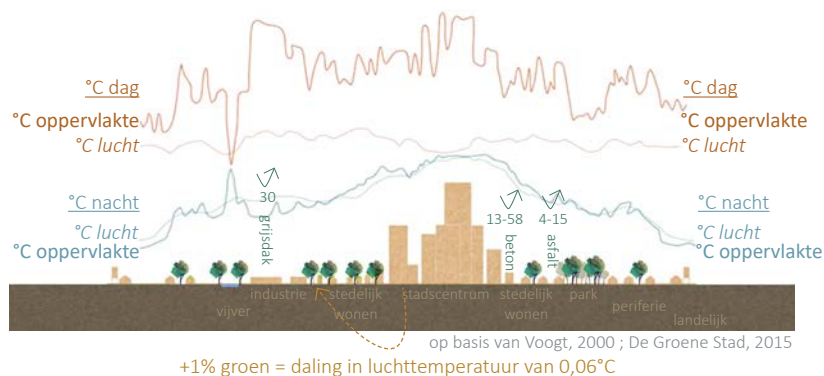
Basisprincipes hittestress



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 street canyon bevindt. Hittestress is het grootst in steden door het veelvuldig voorkomen van verhardingen die een groot warmte-absorberend vermogen hebben en door het gebrek aan verkoelende elementen zoals groen en water.

Basisprincipes invloeden hitte

1) Dag en nachttemperaturen in (niet-)stedelijke omgevingen



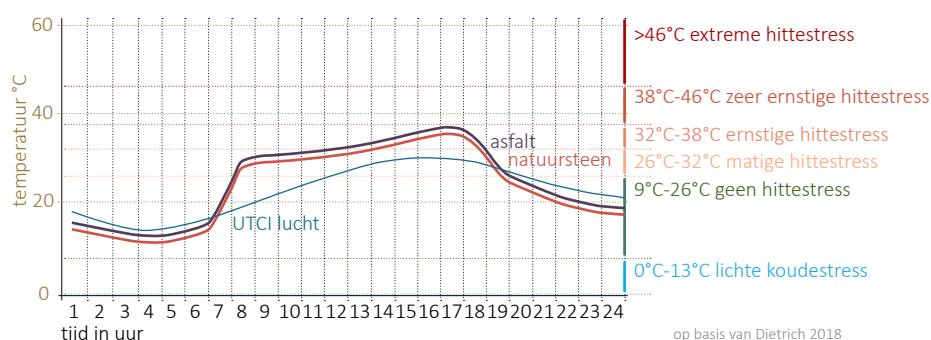
Dag/nachttemperaturen en temperatuurverschillen tussen stad en platteland.
Overdag heerst de oppervlakte-temperatuur, 's nachts piekt de luchttemperatuur.

Bovenstaande grafiek plot de lucht en oppervlaktetemperatuur. Overdag piekt de oppervlaktetemperatuur, maar 's nachts zal vooral de luchttemperatuur een rol spelen en voor hittestress zorgen. Ze wordt mede beïnvloed door

- de albedo's van de gebouwde omgeving
- het vermogen van de omgeving tot verdamping via water en/of groenstructuren
- en het direct aangestraalde oppervlak.

Deze drie factoren worden in dit hoofdstuk verder toegelicht, aangezien straatinrichting hier een significante rol in kan spelen.

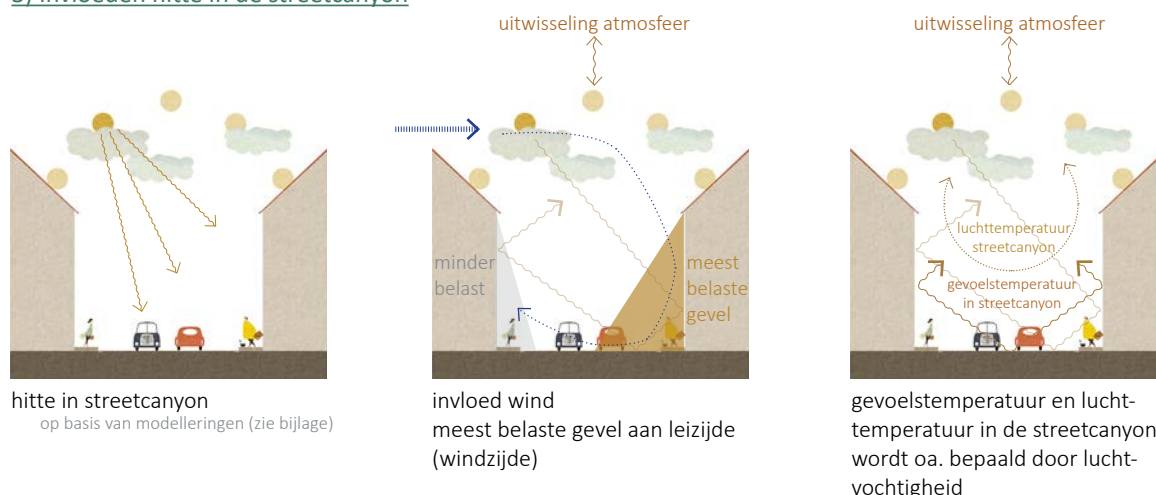
2) Albedo's, materialiteiten en waargenomen hittestress door personen



UTCI (universal thermal comfort index) voor een persoon in het midden van een streetcanyon, staande in de zon, ifv asfalt en natuursteen

De hittestress die een persoon staande in het midden van een streetcanyon ondervindt, is hier weergegeven in functie van de tijd en in functie van twee verschillende materialen. Asfalt heeft een lage albedo en neemt dus veel hitte op. Dit wordt doorheen de dag geleidelijk aan vrijgegeven, wat ervoor zorgt dat de omgevingstemperatuur sterk toeneemt en de mensen in de straat heel wat hittestress ervaren. Natuursteen daarentegen heeft een hoge albedo, wat ervoor zorgt dat er veel reflectie van zonnestrallen optreedt. Er is slechts een beperkte toename in de omgevingstemperatuur, waardoor voorbijgangers op natuursteenstraten minder hittestress ervaren dan in straten met asfalt.

3) Invloeden hitte in de streetcanyon



Het volledige 3-dimensionale oppervlak van een straat (daken, muren en straatoppervlakken) is onderhevig aan zonnestraling. De temperaturen worden beïnvloed door directe zonnestraling en dus zijn de grootste temperatuurverschillen het meest uitgesproken overdag, vooral in gebieden die worden blootgesteld aan direct zonlicht (Norton et al., 2013).

Bovenstaande figuur (rechts) geeft inzicht in de energiefluxen in een straat. Alle energie afkomstig van zonnestraling (korte golfstraling) of van antropogene warmte (voertuigen, warmteproducerende installaties, ...) wordt omgezet door convectie (de lucht wordt opgewarmd in voelbare warmte), verdamping en transpiratie in de vorm van latente warmte (water wordt opgewarmd en verdampt, groen evapotranspireert), doordat er netto energie wordt overgedragen naar een ander systeem (netto horizontale warmte advection) of doordat energie wordt opgeslagen in elementen zoals gebouwen en verhardingen (Lin, Gou, Siu-Yu Lau, & Qin, 2017).

Straten met langs beide zijden hoge bebouwing zijn vaak weinig geventileerd door hun geometrische kenmerken en houden de stralingswarmte van verhardingen, voertuigen en warmteproducerende installaties langer vast. De intensiteit van de stralingswarmte bepaalt de gevoelstemperatuur of thermisch comfort in de straten (Oke, Johnson, Steyn, & Watson, 1991).

Cijferwerk

Albedo's, materiaalkeuze en omgevingstemperatuur

1) Relatie albedo en omgevingstemperatuur

Materiaal	Albedo-effect
verse sneeuw of ijs	80-90%
oude smeltende sneeuw	40-70%
wolken	40-90%
strand	30-50%
gronddaarde	5-30%
struiken	15-35%
grasland	25-30%
bos	10-20%
water	98%

www.climatechallenge.be;
EPA, UHI cool Roofs 2008; Hübner et al 2007
Albedo's voor de natuurlijke materialen

Materiaal	Albedo-effect
asfalt	4-15%
licht grijze asfalt	25-27%
donkere betontegels	5-35%
witte betontegels	7%
baksteen	20%
steen	20-75%
beton	54%
glas	92%
rubber	7%
coatings	4-84%
metaaldak, golfplaat	30-50%
gepolierde aluminium	5%
geoxideerde aluminium	25%

Albedo's voor de gebouwde omgeving

De bovenstaande tabelletjes geven de albedo's voor stedelijke en natuurlijke omgevingen. Het valt op dat de stedelijke albedo's een stuk lager liggen dan de natuurlijke. Hoe lager de albedo van een materiaal, hoe meer warmte het vasthoudt en hoe meer de temperatuur van het materiaal zal oplopen tot ver boven de omgevingstemperatuur. Of omgekeerd: hoe hoger de albedo, hoe lager de omgevingstemperatuur.

Te onthouden:

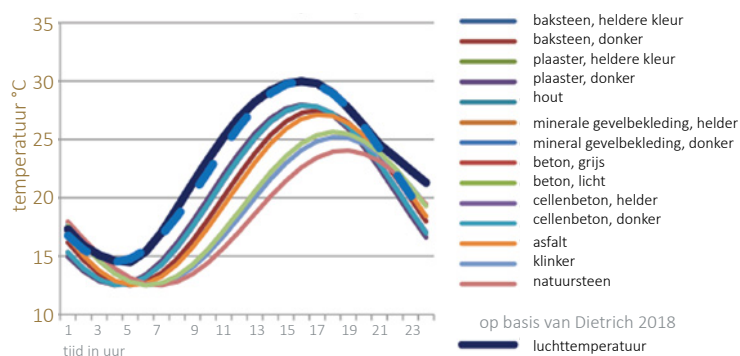
- Lage albedo = hoge absorptie en hoge temperaturen
- Hoge albedo = hoge reflectie en lage temperaturen

Onderstaand voorbeeld becijfert de stijging in albedo met een daling in omgevingstemperatuur. Het is dus wel degelijk zo dat een groot deel van de hittestress gereduceerd kan worden door de juiste materiaalkeuze.

albedo	omgevingstemp.
↑ + 20% =	0,1-0,5°C ↓
↑ + 25% =	0,6°C ↓
↑ + 27% =	0,5-1,5°C ↓
↑ + 67% =	1-2,2°C ↓

Synnefa et al, 2008

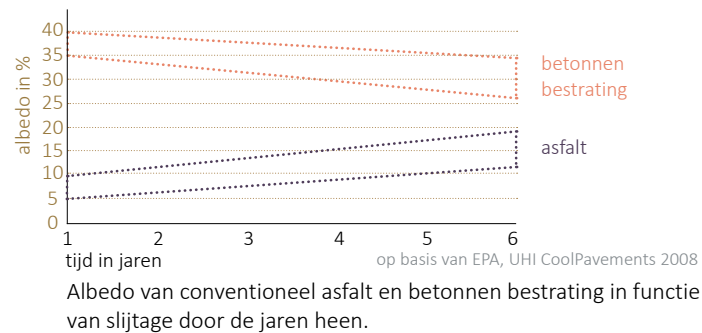
2) Materiaalkeuze en luchttemperatuur



Materiaaltemperatuur gemeten in de lucht (T_{air}), zonder zonnestraling.
Vergelijking met de luchttemperatuur.

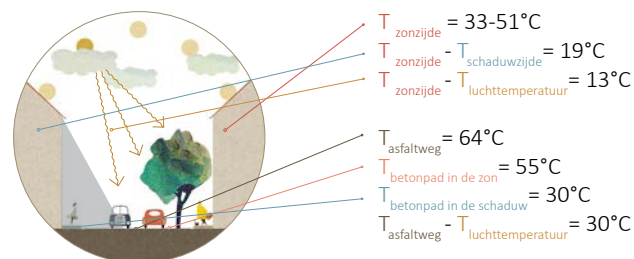
Dit overzicht van de impact van materialen op de omgevingstemperatuur geeft aan dat een reflecterende ondergrond zoals natuursteen (hoog albedo) zorgt voor een kleinere absorptie en dus een kleinere toename in de omgevingstemperatuur, terwijl donkere materialen zoals asfalt (laag albedo) de temperatuur in grotere mate doen stijgen.

3) Invloed van slijtage bij beton en asfalt



Ook slijtage heeft een invloed op de albedo doorheen de tijd. Zo gaat beton door de jaren heen zakken in albedo, wat leidt tot hogere absorptie en bijgevolg hogere temperaturen. Asfalt daarentegen wordt door de jaren heen verdicht en gaat verlichten, wat leidt tot een hogere reflectie (hogere albedo) en dus lagere temperaturen.

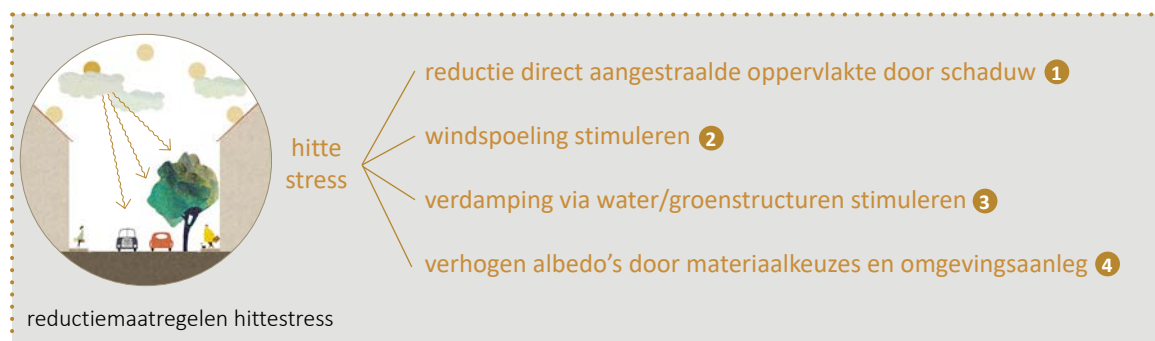
Temperatuursverschillen zon/schaduw



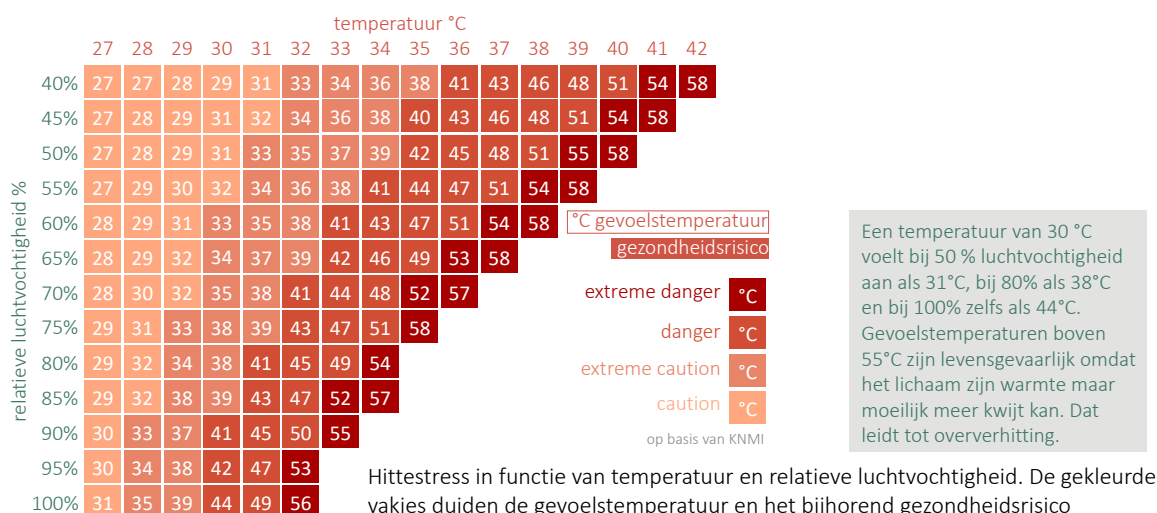
Ter info geeft ook bovenstaande figuur een goed overzicht van de temperatuursverschillen die in een street canyon gemeten worden op een zonnige dag. De asfalttemperaturen stijgen tot $+30^{\circ}\text{C}$ boven de omgevingstemperaturen uit...

Maatregelen

Basisprincipes reductiestrategieën hitte



Bovenstaande reductiestrategieën voor een daling van de hittestress zijn opgelijst in volgorde van efficiëntie. Kanttekening daarbij is dat het hitteverhaal complex is en ook de maatregelen elkaar gemakkelijk overlappen of interfereren. Een boom werkt bijvoorbeeld rechtstreeks in op maatregel 1, 3 en 4. De maatregelen worden onderin beknopt toegelicht, zijn ruimtelijk vormgegeven en samengevat op volgende pagina's en worden in volgende hoofding naar kostenefficiëntie gewogen.



Hittestress is afhankelijk van veel factoren (wind, geografie, leeftijd, ...). Bovenstaande tabel drukt de hittestress uit die als mens ervaren wordt in functie van luchtvochtigheid en temperatuur. Deze twee parameters kunnen beïnvloed worden door een aantal van volgende reductiestrategieën.

1 reductie van de direct aangestraalde oppervlakte

De meest efficiënte reductie is te halen uit het vergroten van de schaduwoppervlakte, wat tot een directe daling van de omgevingstemperatuur leidt. Dit kan door een verstandig stedenbouwkundig ontwerp dat hoogte-breedte verhoudingen in functie van de zonnestanden doorheen de dag meeneemt als parameter en het stedelijk weefsel (of het gebouw) dus actief zal ontwerpen op schaduw. Deze methode wordt in zuiderse landen al eeuwen toegepast, en in Azië zijn de meeste stadsweefsels van steden in de bergen gebaseerd op schaduw en wind (en het regenseizoen). De meeste steden die hierop gedimensioneerd zijn, uitend zich in een dichtbebouwde structuur met smalle maar goed geventileerde straten en grote pleinen die deels permanent schaduw hebben en deels de hele dag bezond blijven. Ook de galerijen in Bologna zijn hier een goed voorbeeld van.

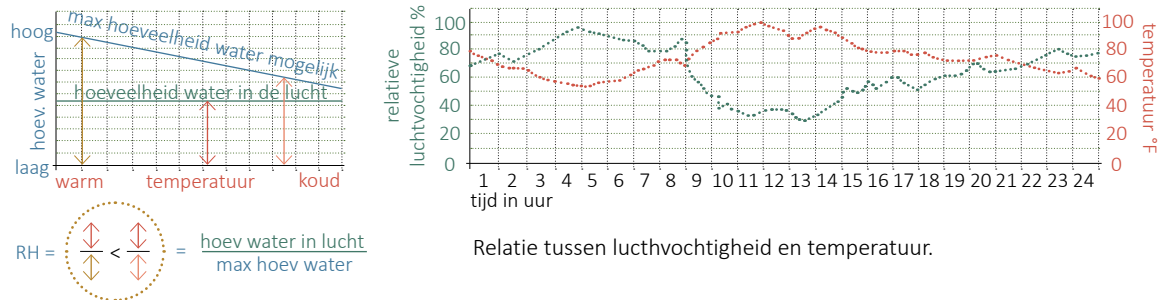
Verdere reducties zijn te halen uit het inplanten van parken met een grote schaduwzone onder de kruinen, of het inrichten van collectieve zonweringen die opengetrokken kunnen worden op hittedagen. Let wel dat deze laatste maatregel nefast is voor de luchtspoeling als er in de straat ook wagens rijden. Op privaat niveau kunnen ook zonweringen in de gevels de hittestress in individuele woningen doen dalen, en schaduw doorwerpen op het voetpad en het publiek domein.

2 windspoeling stimuleren

Door windspoeling te stimuleren kunnen straten doortochten en kan de afgestraalde hitte van bv. materialen weggespoeld worden, wat automatisch tot afkoeling van de omgeving en dus tot een temperatuursreductie leidt. Uitsparen van pleinen in lange canyons, het inrichten van doortochten voor de wind doorheen de stad enzovoorts zijn mogelijke strategieën.

3 verdamping via water en groenstructuren stimuleren

Hittestress is afhankelijk van de omgevingstemperatuur en de relatieve luchtvochtigheid. Groenstructuren spelen op diezelfde parameters om a.d.h.v. evapotranspiratie vochtigheid te onttrekken en zo de omgeving af te koelen. Hieronder worden de verdampfingsprincipes van bomen en groenstructuren toegelicht:

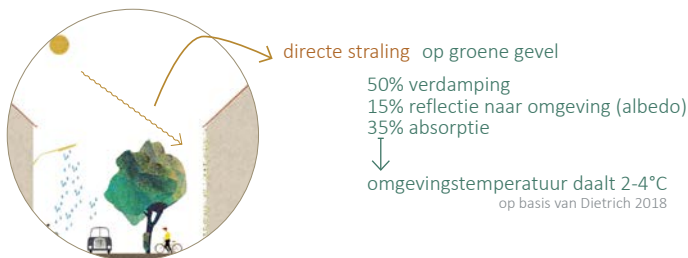


Bij eenzelfde hoeveelheid water in de lucht heeft warme lucht een lagere relatieve vochtigheid dan koude lucht. Een boom zal vocht door verdamping onttrekken uit de lucht en zo een temperatuursdaling in de omgeving realiseren. Deze onttrekking (uitgedrukt in liter per m³) is functie van de kroonprojectie en het doorwortelde volume van een boom.



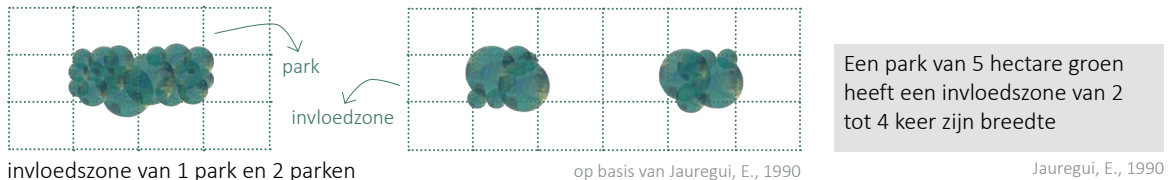
Onttrekking van warmte-energie in functie van de relatieve vochtigheid en de kroonprojectie.

Het is duidelijk dat een boom niet louter via verdamping aan remediëring van hittestress doet. Ook dankzij de schaduw die ze onder haar kruin werpt, is directe straling gereduceerd, wat een significant temperatuurverschil teweeg brengt. Bomen planten is dus altijd dubbel scoren op vlak van hitte.

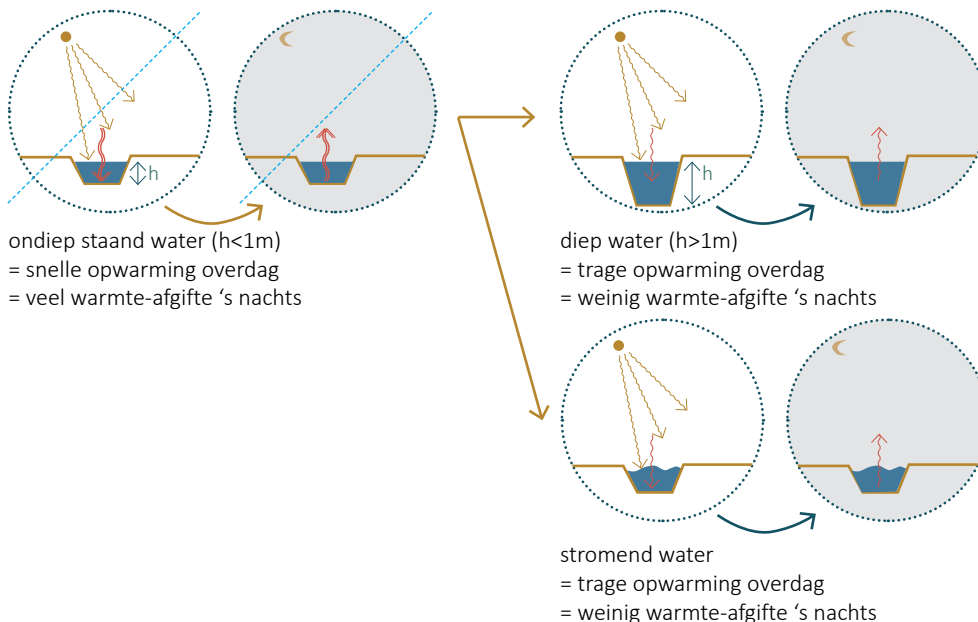


Invloed groene gevel op omgevingstemperatuur

In navolging van de verdampingslogica van bomen kan zo ook een groene gevel becijferd worden.



De invloedszone die deze groenstructuren hebben is relatief beperkt. Lokaal brengen ze heel wat heil, maar hun effecten reiken volgens Jauregui niet veel verder dan 2x hun breedte, zoals te zien is in onderstaande figuur. Het is dus beter 2 kleine parken aan te leggen dan 1 groot.



Water op straat heeft een verkoelende werking, maar enkel als het correct ingericht en gedimensioneerd is. 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 overdag opgenomen hitte-afstraling. (Ter referentie: de vorstvrije diepte ligt in België op -80cm onder het maaiveld)

4 verhogen albedo's door materiaalkeuzes en omgevingsaanleg

Vorige pagina's beschreven reeds de werking van materialen met hoge en lage albedo's, en gaven tabellen met albedo's mee die gebruikt kunnen worden voor de (her)inrichting van de publieke ruimte. Cruciaal is hoge albedo's toe te passen op de meest bezonde straatkanten en hoeken. Ook natuurlijke materialen zoals bomen en groene gevels hebben hoge albedo's wat de temperatuur in de omgeving significant zal doen dalen. Het vergroenen van stedelijke ruimtes draagt dus ook bij tot de hele albedo optelsom en heeft absoluut zin op vlak van hitte.

Kostenefficiëntie maatregelen hitte



Kostenefficiëntie natuurlijke verdamping door bomen, water, ...

loofboom: temperatuursreductie van 10-15°C
naaldboom: temperatuursreductie van 10-15°C

x prijs loofboom 500€/stuk
x prijs naaldboom 350€/stuk

Carrasco et al 1987

↓ - 10-15°C
↑ 400 €/stuk



Kostenefficiëntie verkeersindeling

efficiënte indeling verkeer, zuinige auto's, carpoolen, ...
leidt tot 20% minder warmteproductie

Van Hamelen et al 2010

↓ - 20%
↑ ? €



Kostenefficiëntie groendaken

intensieve groendaken	temperatuursdaling 20°C
Extensieve groendaken als stad meer dan 10% groen heeft	temperatuursdaling van 2-5°C

Wong et al 2003 en Niachou et al 2001, Wong et al 2003 en Niachou et al 2001, Kolb et al 1986, Onmura et al 2001, Liu et al 2005, Bas et al 2002, Gill et al 2007

x prijs intensief groendak 120-200€/m²
x prijs extensief groendak 45-100€/m²
+ nieuwe onderlaag EPDM 40-50€/m²

(Dakweetjes, 2018)

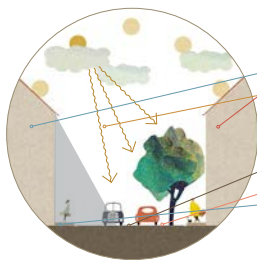
↓ - 20°C
↑ 150 €/m²

↓ - 2-5°C
↑ 80 €/m²

(TNO, 2011)

let wel: groendaken zijn privé-aangelegenheden, en hebben invloed op de omgevingstemperatuur. Daar deze laatste daalt zal ook de gevoelstemperatuur in de straat positief beïnvloed worden.

Kostenefficiëntie schaduw en albedo maatregelen



$T_{\text{zon zijde}} = 33-51^\circ\text{C}$

$T_{\text{zon zijde}} - T_{\text{schaduw zijde}} = 19^\circ\text{C} \rightarrow$ Schaduwmaatregelen:

$T_{\text{zon zijde}} - T_{\text{luchttemperatuur}} = 13^\circ\text{C}$

x 5000 € luifel 7x4m

X 250 € middelgrote boom

$T_{\text{asfaltweg}} = 64^\circ\text{C}$

$T_{\text{betonpad in de zon}} = 55^\circ\text{C} \rightarrow$ type wegdek

$T_{\text{betonpad in de schaduw}} = 30^\circ\text{C}$

x kostprijs asfalt: 75 euro/m²

$T_{\text{asfaltweg}} - T_{\text{luchttemperatuur}} = 30^\circ\text{C}$

x kostprijs beton: 30 euro/m²

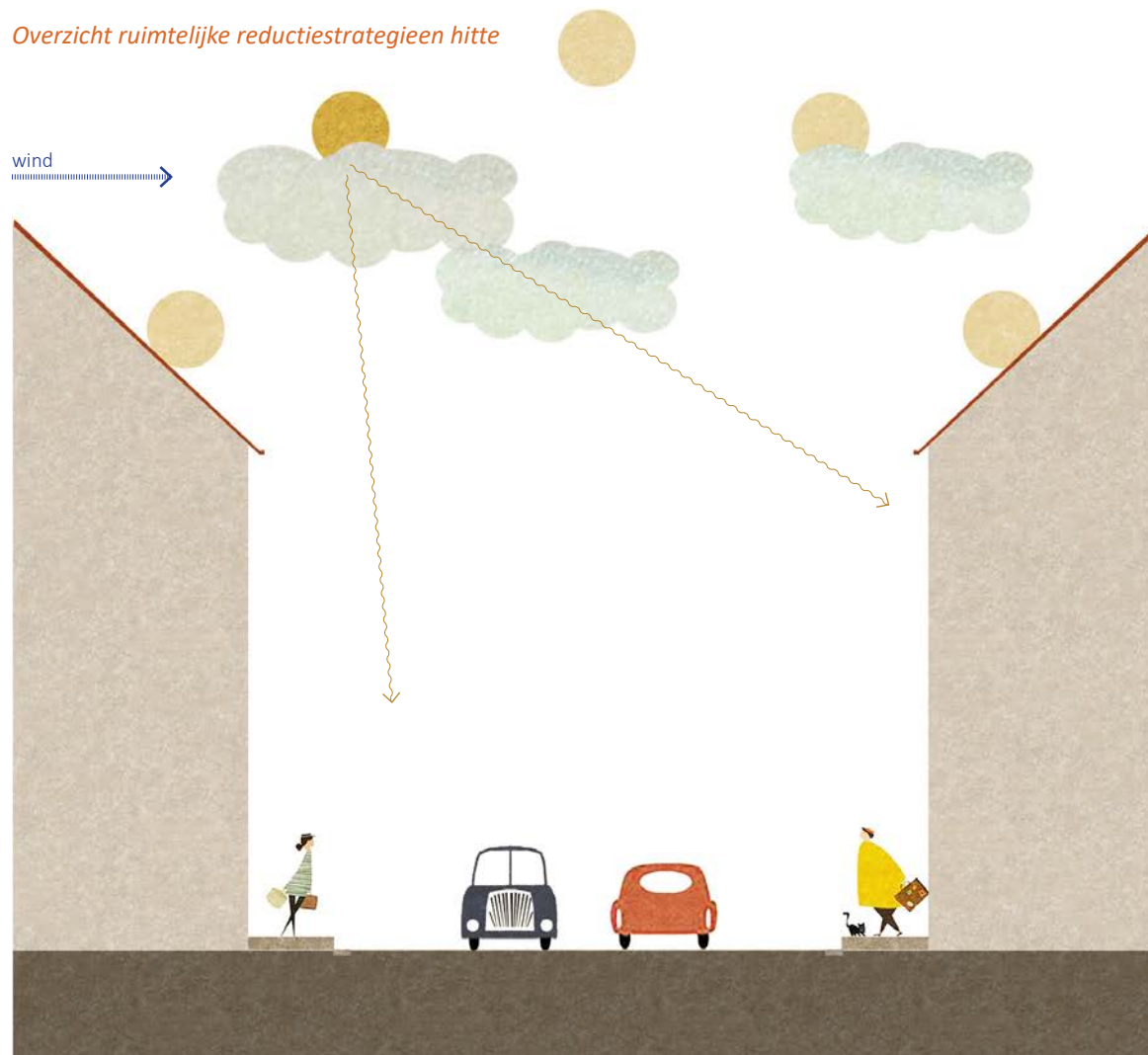
Maatregelen	Eenheid	Investerings-kosten	Effect
Albedo verhogen	Materiaalkeuze	€1,000 / woning	1° afkoeling voor 1.26 ha
Groen en water	Vergroenen	€ 2,000/ 100m straat (4bomen)	1° afkoeling voor 0.7 ha
Waterinrichting	Waterplein (400 m³)	€240,000	1° afkoeling voor 1 ha

(TNO, 2011)

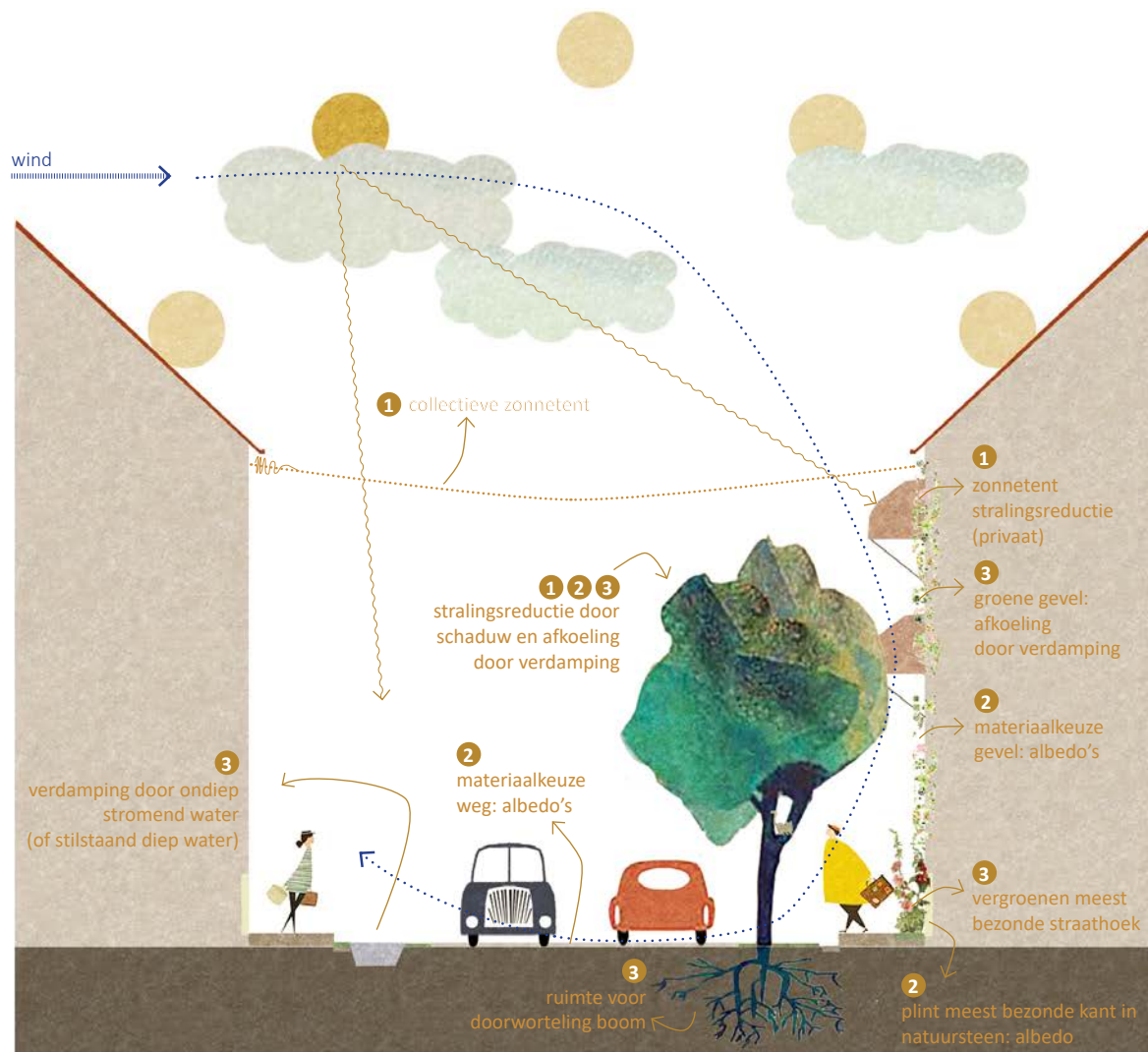
Het becijferen van de kostenefficiëntie van hitte is een moeilijk gegeven daar er weinig gekend is over exacte temperatuursdalingen ten gevolge van specifieke inrichtingsmaatregelen. Er is voor dit thema nood aan meer wetenschappelijk opvolgend onderzoek: testopstellingen en metingen kunnen hier uitsluitsel en richting geven. Bovendien zijn ook de meeste hitte-maatregelen complex van aard doordat ze op verschillende fronten werken: een boom zuivert lucht, zorgt voor schaduw en onttrekt warmte aan de omgeving. Absolute waarden zijn hier dus moeilijk in een weegschaal te leggen. Bovenstaande cijfers geven wel een eerste indicatie en becijferen een aantal maatregelen die redelijk gemakkelijk in te richten zijn.

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

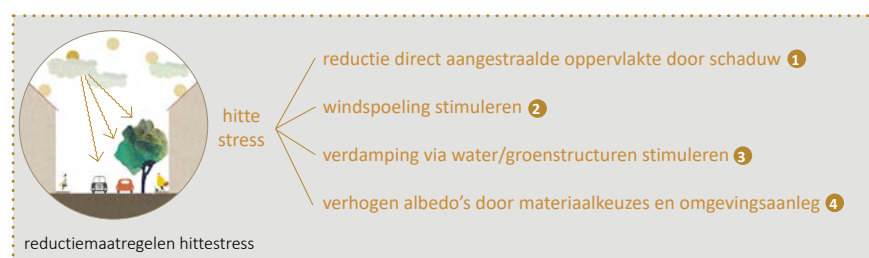
Overzicht ruimtelijke reductiestrategieen hitte



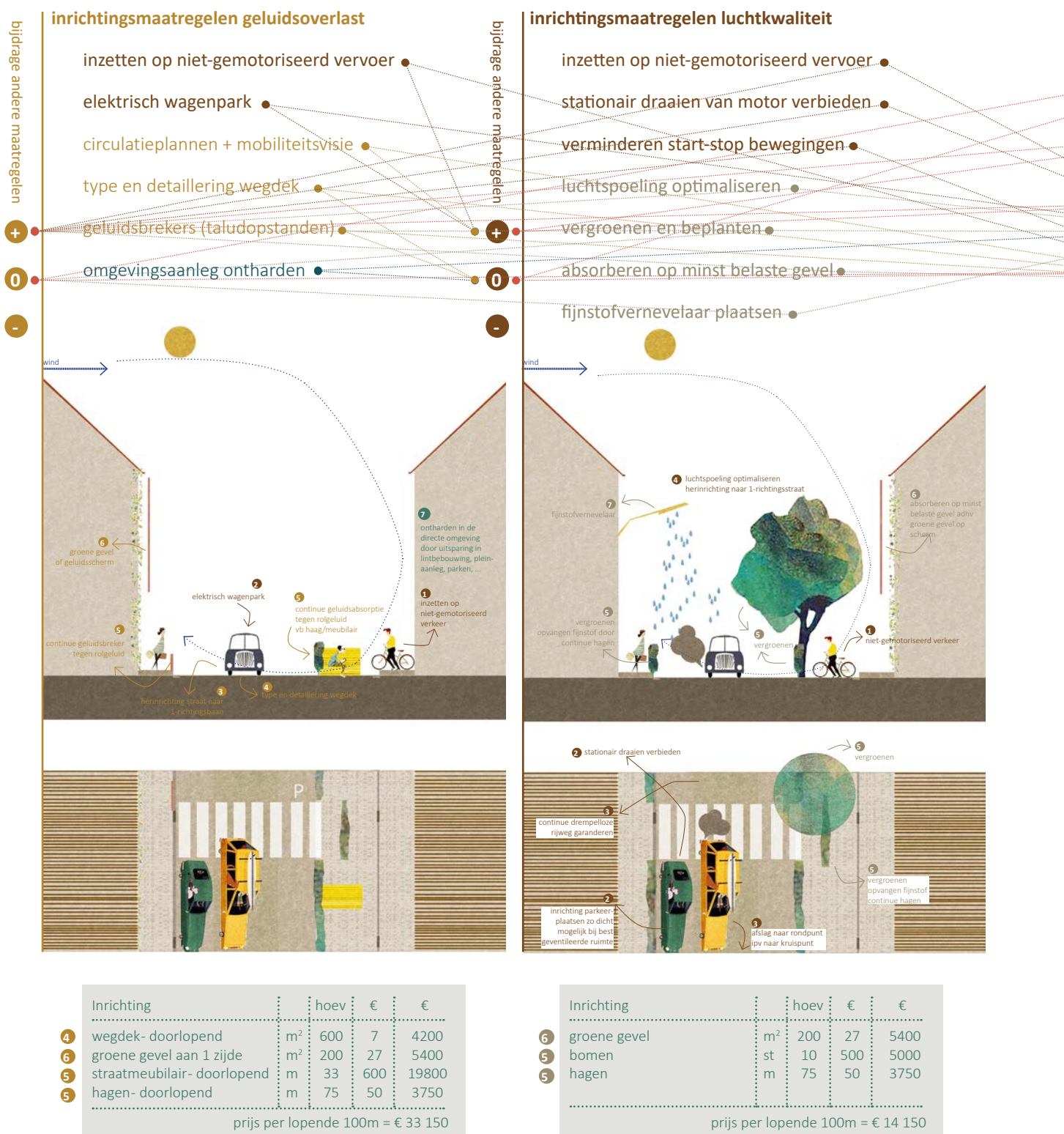
Streetcanyon & hittestress: huidige situatie



Streetcanyon & hitte: meest ideale inrichting NA toepassing maatregelen



Onderlinge afweging van de inrichtingsmaatregelen



- inrichtingsmaatregelen hittestress**
- bijdrage andere maatregelen
- reductie direct aangestraalde oppervlakte door schaduw
 - windspoeling stimuleren
 - verdamping via water/groenstructuren stimuleren
 - verhogen van de albedo's en inzetten op omgevingsaanleg



De oefening langsij plot de verschillende maatregelen uit met onderlinge invloeden. Veel van de verbindingslijnen zijn hierbij vanzelfsprekend. De meeste maatregelen hebben pas een negatieve invloed op elkaar als ze windspoeling verhinderen, maar daar moet concreet per situatie uitgezocht worden op welke maatregel er eerst ingezet wordt en hoe dat voor die situatie concreet kan gebeuren.

Op publiek niveau kan er voornamelijk ingezet worden op verbetering van de problematieken door een beleid dat inzet op wering van gemotoriseerd verkeer op dichtbevolkte plaatsen. Ook ontharden, vergroenen en correcte bouwkundige detailtering en materialisatie van de straten zijn pijlers.

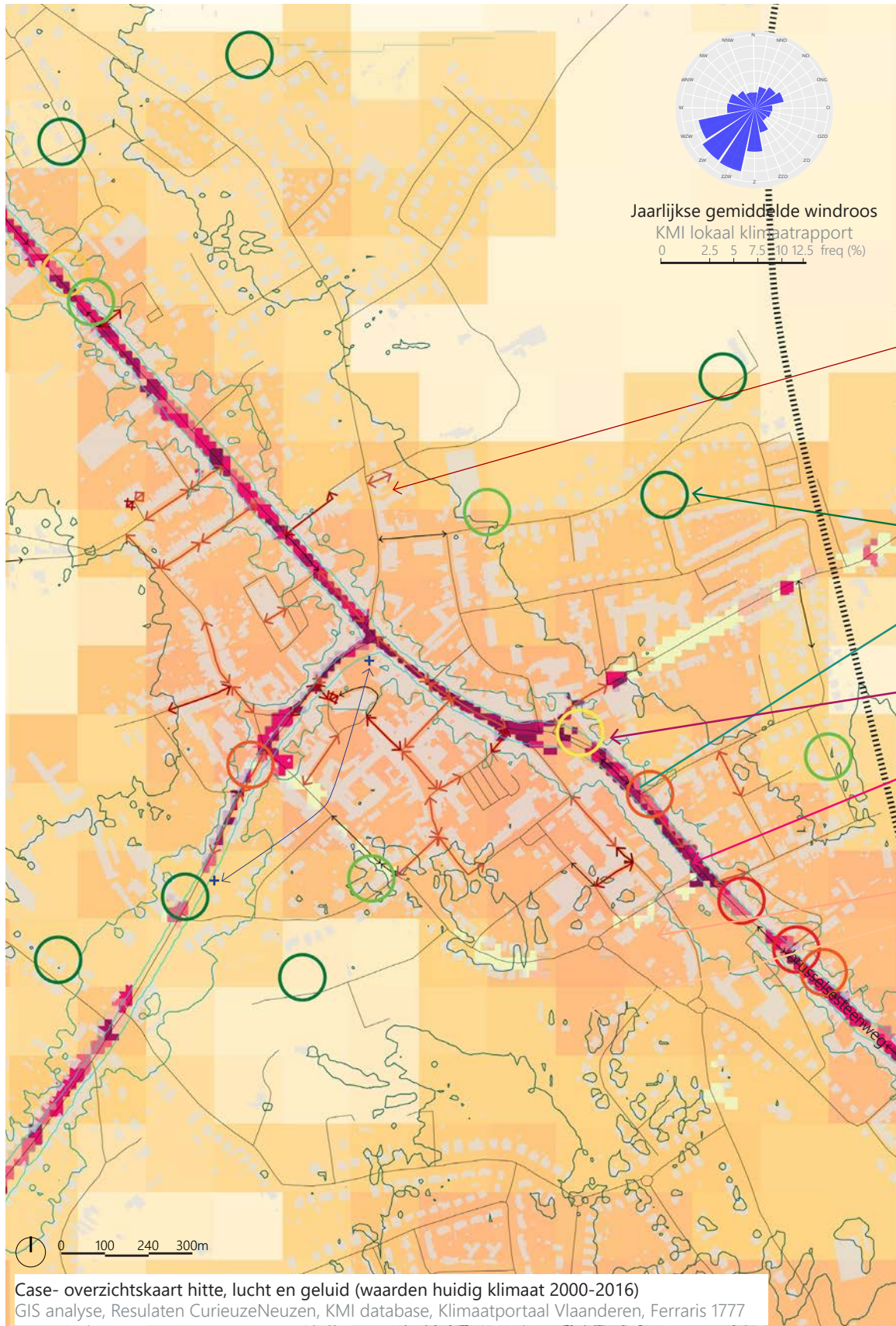
Zoals in bovenstaande hoofdstukken kostenefficiëntie reeds aangegeven is het heel erg moeilijk te becijferen welk effect welke maatregel exact heeft, en hoeveel die dan kost. Op prijs kunnen er dus moeilijk afwegingen gemaakt worden. De oefening langsij zet wel de kost van het (her)inrichten van een canyon uit. Voor publieke maatregelen is een budget van 30 000 euro/lopende meter voor de drie problematieken een goede grootteorde.

Inrichting	hoev	€	€
3 waterdoorlatende verharding	m ² 400	35	14000
3 groene gevel	m ² 200	27	5400
3 bomen	st 10	400	4000
3 hagen	m ² 75	50	3750
prijs per lopende 100m = € 27 150			

Handberekening voor de (her)inrichting van 100 lopende meter straat met hitteducerende maatregelen.

Testcase inrichtingsmaatregelen

Leeswijzer en definities



1) Kaarten

Deze syntheseskaarten combineren de beschikbare gegevens over hittestress, luchtverontreiniging en geluidshinder. De kaarten werden samengesteld door GIS Analyse op basis van de planlaag Vlaanderen in Geopunt, concentraties NO₂ van het 2017 VMM-model, resultaten van CurieuzeNeuzen en Straatvinken, de KMI database, Klimaatportaal Vlaanderen en op basis van de Ferraris1777. De verschillende lagen zijn bewerkt in GIS en via Illustrator tot gelaagd eindproduct vormgegeven. Definities en drempelwaardes per thema zijn uitgezet in de legende en worden in deze leeswijzer eerst verklaard. Een interpretatie van de gelaagde kaarten, en dus een samenvatting van elke case, wordt onderin de kaart meegegeven. De cases illustreren de toepassing van de werkingsprincipes van hitte, lucht en geluid uit vorige hoofdstukken en één case werd verder uitgewerkt op toepassing van de voorgestelde maatregelen per thema.

2) Geometrie

h/b verhouding

↔ 2.01-3.00
↔ 1.01-2.00
↔ 0.66-1.00
↔ 0.51-0.65
— < 0.51

↑ straatcanyon



De Ferrarisatlas uit 1777 duidt de oorsprong van de meeste streetcanyons in het historische weefsel. In veel gevallen wordt gesproken van historische streetcanyons.

(zie ook hoofdstuk "street canyons-definities" voor meer informatie over de geometrie van street canyons)

3) Geluidshinder

geluidsniveau L_{den} (dB)

— 75 dB
— 70 dB
— 65 dB
— 60 dB
— 55 dB

Geopunt geeft de strategische geluidsbelastingskaart van 2016 voor wegverkeer met meer dan 3 miljoen voertuigpassages per jaar volgens RL 2002/49/EG, samen met impact aanvullende wegen. Op de geluidkaart wordt aangegeven aan hoeveel geluid (in L_{den}) de omgeving wordt blootgesteld. Het L_{den}-niveau is een gewogen jaargemiddeld geluidsdrukkniveau over het etmaal waarbij de avond- en nachtniveaus relatief gezien zwaarder doorwegen, wat overeenkomt met de vaststelling dat geluidsoverlast 's avonds en 's nachts doorgaans als hinderlijker wordt ervaren.

L_{den}, verkeer < 53 dB hogere waarden hebben negatieve invloed op gezondheid
L_{night}, verkeer < 45 dB hogere waarden hebben negatieve invloed op slaap

4) Luchtverontreiniging

NO₂-concentratie (µg/m³)

- puntmetingen

0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 >60

- achtergrondwaarden

0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 max

WGO drempelwaarde
ANSES gezondheidsadvieswaarde
EU/WGO grenswaarde

De NO₂-concentratie metingen zijn een goede indicatie van luchtverontreiniging door verkeer. De puntmetingen zijn afkomstig van het citizenscience project CurieuzeNeuzen, de achtergrondindicatie NO₂ is afkomstig van het 2017 VMM model. De ANSES gezondheidsadvieswaarde is vastgelegd op 20 µg/m³.

noot: concentraties NO₂ (vierkantjes) lager dan 25 (groen) zijn niet opgenomen in een aantal van de overzichtskaarten ten voordele van de leesbaarheid. Ook een kleurenconversie is opgenomen ter verduidelijking.

5) Hittestress

hittegolfgraaddagen (°Cdag)

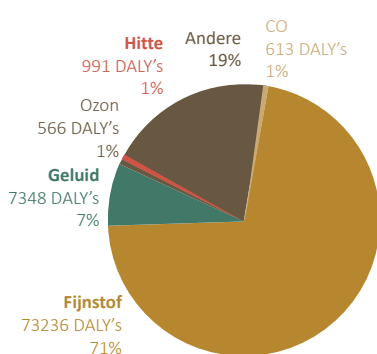
0 44,7 60

drempelwaarde
hittestress Vlaanderen

Een hittegolfgraaddag wordt gedefinieerd als de som van de overschrijdingen van de dagelijkse maximum- en minimumtemperaturen boven de drempelwaarden van respectievelijk 29,6 °C en 18,2 °C, voor de hittegolfdagen in de periode 1/4 tot 30/9 in een jaar. De FOD Volksgezondheid schuift als kritische temperatuurdrempels zowel het dagelijkse max van 29,6 °C als de nachtelijke min van 18,2 °C naar voor. Gezondheidsproblemen treden op bij min. 3 opeenvolgende dagen met nachtelijke minima boven die 18,2 °C. Kaarten afkomstig van VMM.

noot: hitereductiemaatregelen zijn voornamelijk gericht op het beperken van impact bij verderzettende klimaatverandering. De huidige hitte-situatie is nog net niet kritiek.

6) Welk hinderaspect eerst?

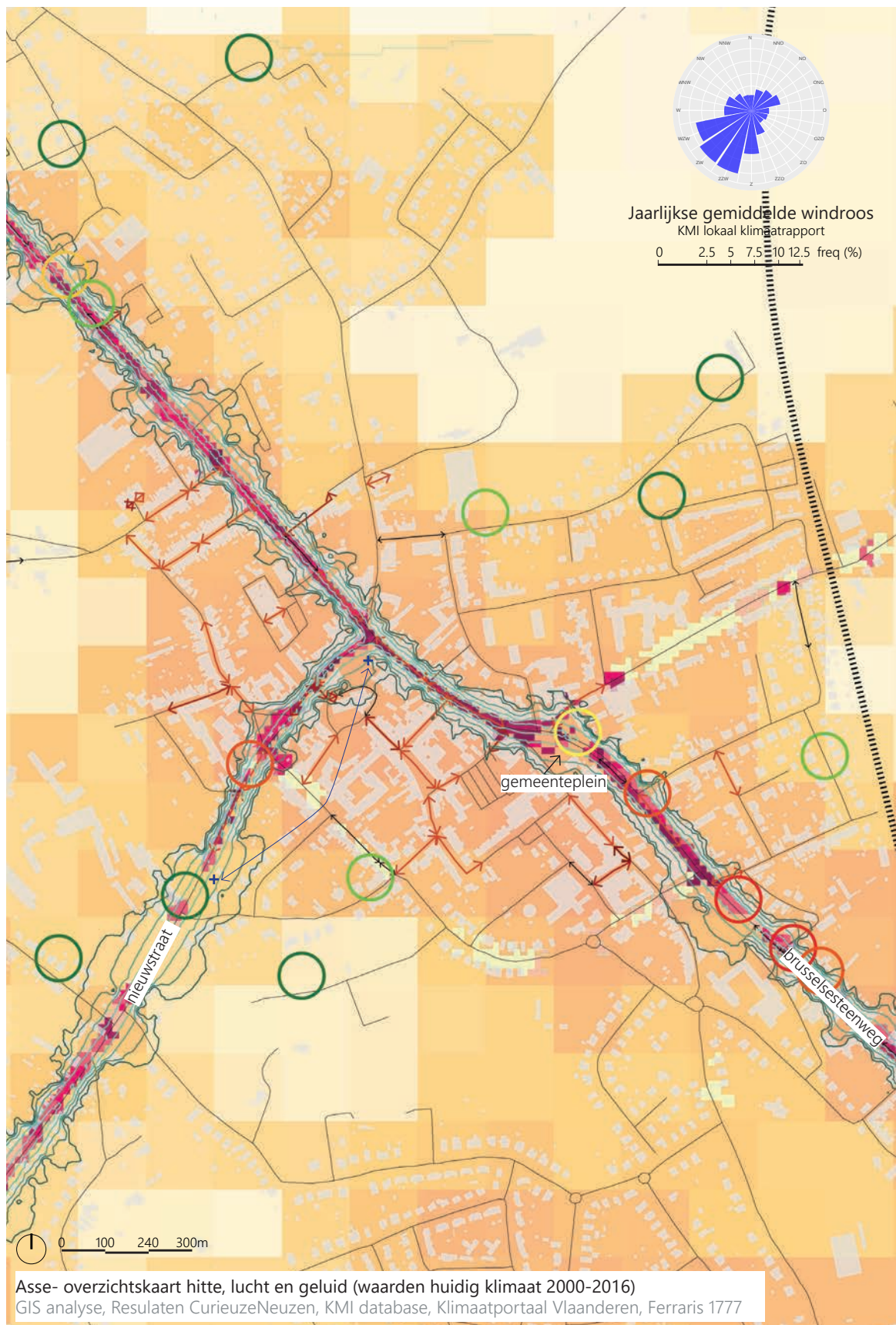


Scherpstellen op welk hinderaspect een straat ingericht wordt, is noodzakelijk daar geluid, lucht en/of hitereducerende maatregelen elkaar-positief of negatief- beïnvloeden. Dit kan op twee manieren:

1) Prioriteren van hinderaspect door absoluut grootste overschrijding over geaffecteerde bevolking: door de aanwezige actuele overlast te becijferen en naast de normen te leggen, is gekend hoeveel de absoluut hoogste overschrijding bedraagt. Die kan voor hitte bv. groter zijn dan voor geluid. Vervolgens kan daarnaast de voetafdruk van de geaffecteerde bevolking gelegd worden. Een combinatie van deze 2 lagen geeft inzicht in het prioriteren aan te pakken hinderaspect.

2) Prioriteren door impact op DALY's of potentieel verloren levensjaren: een tweede optie is de DALY grafiek voor de verschillende aspecten na te gaan. Het is wel belangrijk de juiste DALY grafiek hiervoor te selecteren: de algemene grafiek zal er anders uitzien dat de DALY grafiek voor bv. verkeer.

Case Asse



h/b verhouding

↔ 2.01-3.00
↔ 1.01-2.00
↔ 0.66-1.00
↔ 0.51-0.65
— < 0.51

streetcanyon

NO₂-concentratie (µg/m³)

- puntmetingen
0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 >60
- achtergrondwaarden
0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 max

geluidsniveau L_{den} (dB)

75 dB
70 dB
65 dB
60 dB
55 dB

hittegolfgraaddagen (°Cdag)

0 44,7

1) Historiek



Historische streetcanyons, met ZW hoofdwindrichting die de Nieuwstraat doorspoelt.

2) Geluidshinder

Geluidshinder wordt gemeten aan de invalswegen, en is afhankelijk van de verkeersintensiteiten doorheen de dag. Wel is het zo dat de WHO norm daar overal overschreden wordt.

3) Luchtkwaliteit

De slechtste luchtkwaliteit is te vinden langs de Brusselsesteenweg en de Nieuwstraat, niet toevallig de invalswegen van Asse. De Brusselsesteenweg staat in de Curieuzeneuzen-studie geklasseerd onder *Rode Landelijke Hotspots*, plekken waar de NO₂ concentratie stijgt door filevorming en/of overmatig stop-en-go verkeer, een situatie die vaak voorkomt in straten met lintbebouwing loodrecht op de hoofdwindrichting. Hier is het namelijk zo dat de oriëntatie van de straat de wind verhindert de vervuilde lucht uit de straat te spoelen.

4) Hittestress

Dankzij de landelijke ligging en de lage bouwdichtheid van Asse is hittestress geen grote uitdaging in het huidige klimaat. Voorspeld wordt wel dat het aantal hittegolfgaaddagen in de toekomst zal stijgen, waardoor hittestress een regionaal probleem zal worden (*Milieurapport, 2017*). In de straten met lintbebouwing is het wel zo dat de temperaturen stijgen door lage albedo's en ten gevolge van een geblokkeerde windpoeling.

5) Conclusie en mogelijke maatregelen voor Asse

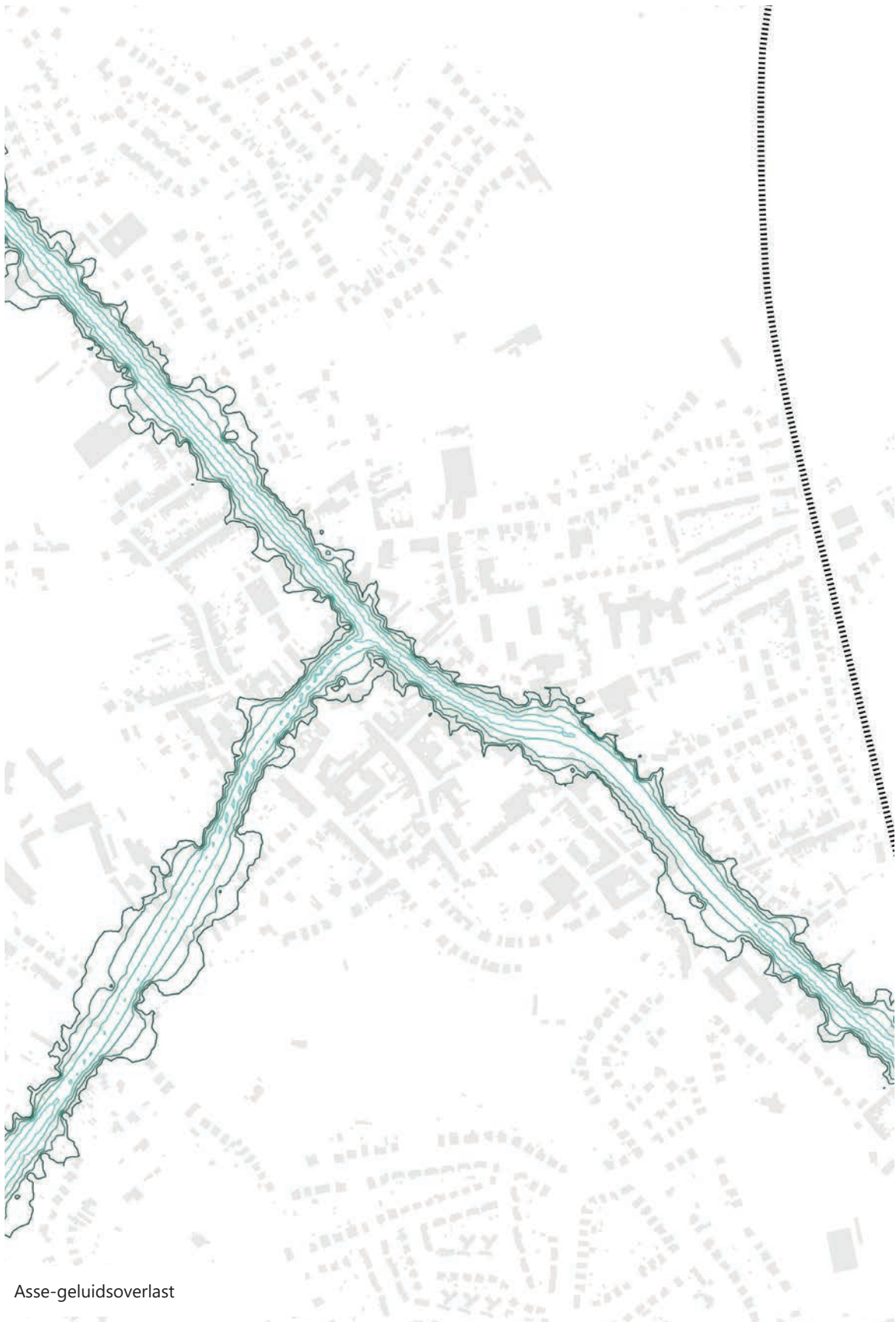
Asse kampt voornamelijk met luchtverontreiniging, vervolgens met geluidshinder en op de invalswegen met lintbebouwing ook met hittestress. Buiten de invalswegen vallen deze problematieken weg door windspoeling als gevolg van de landelijke ligging.

Mogelijke maatregelen voor Asse op vlak van luchtkwaliteit (prioriteit) zijn:

- inzetten op ander, niet-gemotoriseerd transport
- het verschuiven van de verkeerslichten naar plaatsen waar wel windspoeling is (zodat luchtverontreiniging van stationair draaien bij wachten voor het licht weg kan spoelen)
- het interactief afstemmen van de verkeersseinen ten voordele van een vlottere doorvoer van het verkeer
- stationair motordraaien overal verbieden
- de lintbebouwing plaatstelijk onderbreken zodat windspoeling weer mogelijk is (de voordelen van deze ruimtelijke strategie zijn al te zien aan de gele Curieuzeneuzen cirkel bij het Gemeenteplein voor het stadhuis (waar de rest van de resultaten rood plotten).

Mogelijke maatregelen voor Asse op vlak van geluidshinder (2^e prioriteit) zijn:

- inzetten op ander, niet-gemotoriseerd transport: maatregelen geluid zijn het efficiëntste aan de bron
- aanleggen straatmeubilair, herbekijken type wegdek, privaat gevelgroen, ...

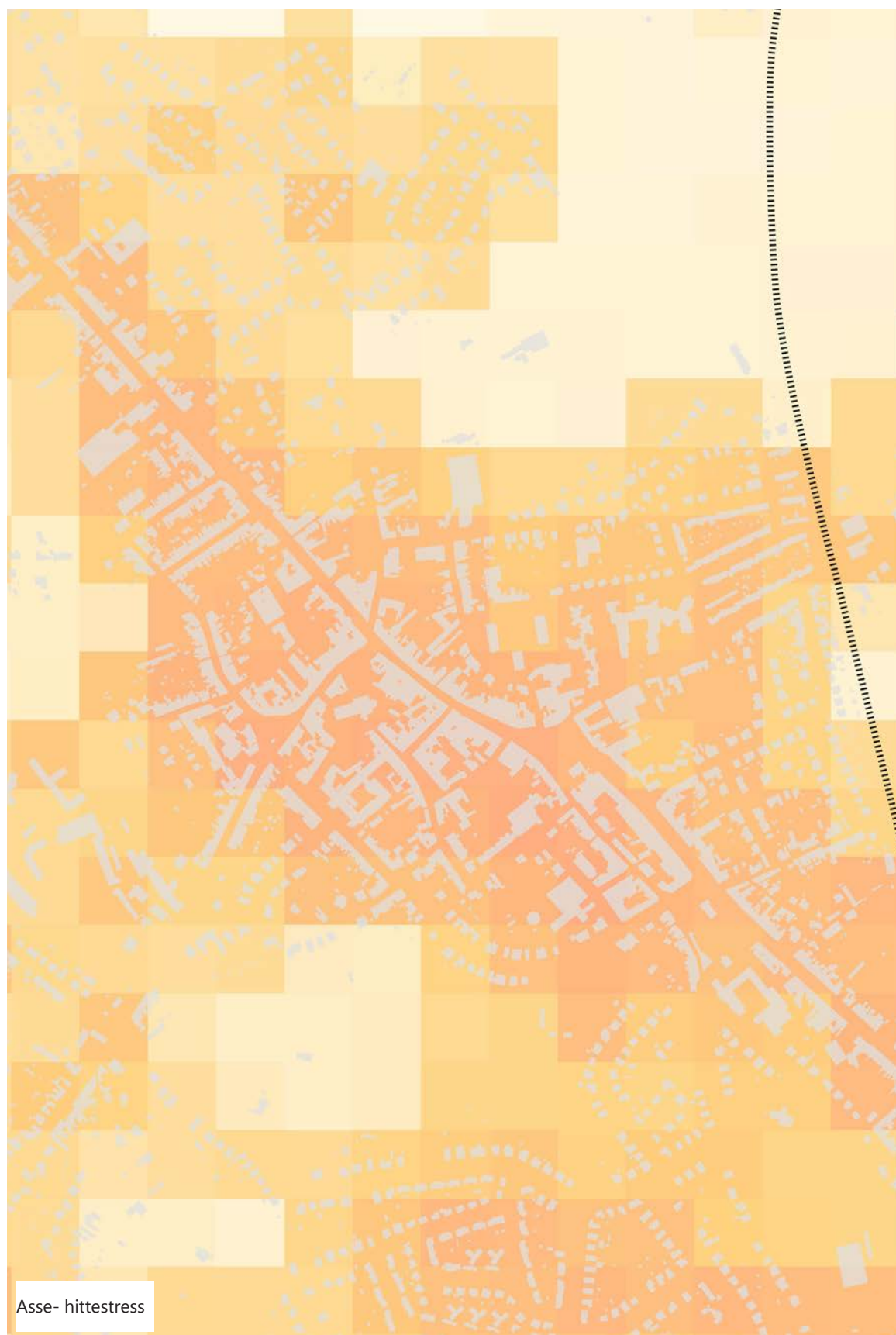


Asse-geluidsoverlast

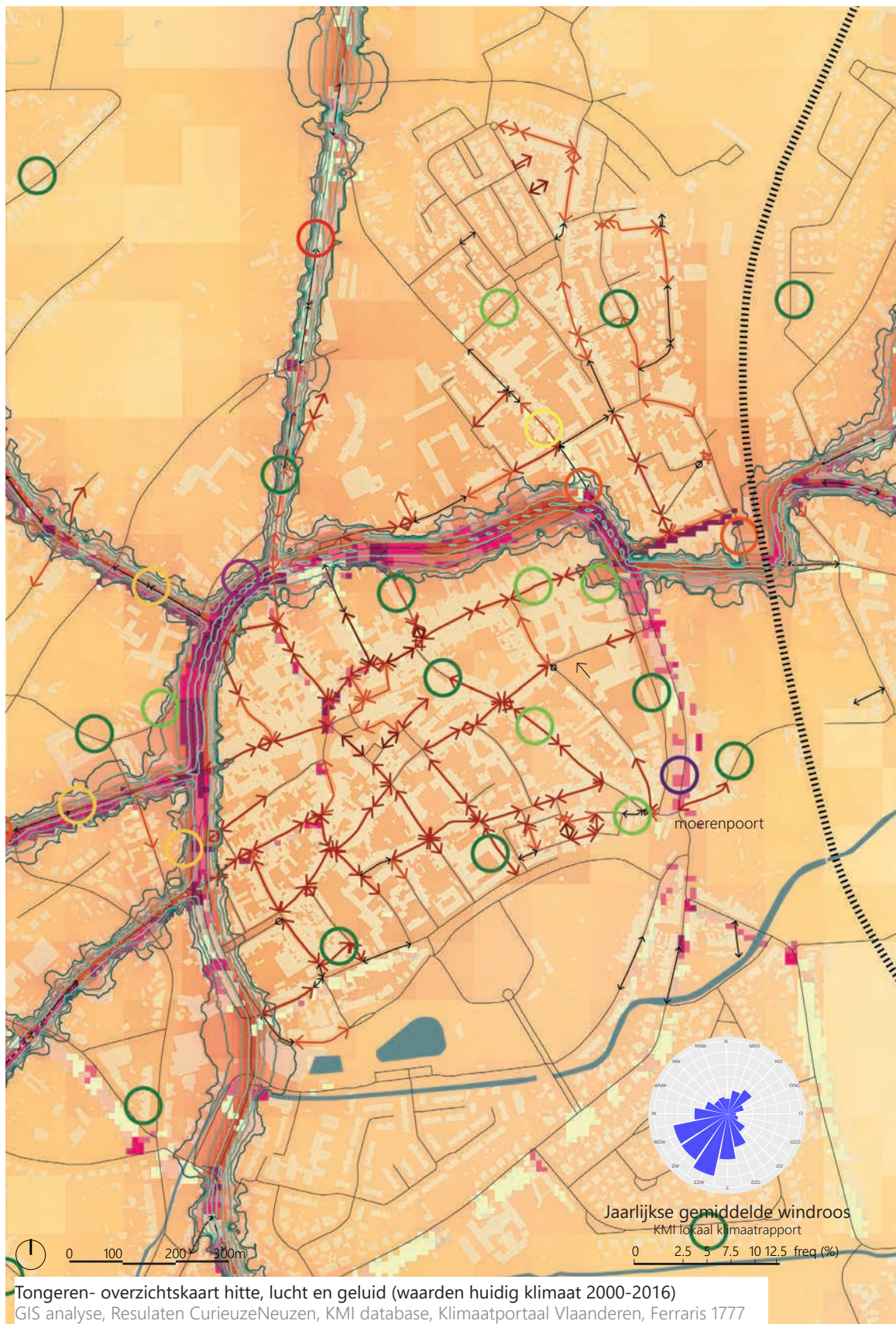
geluidsniveau L_{den} (dB)

- 75 dB
- 70 dB
- 65 dB
- 60 dB
- 55 dB





Case Tongeren



1) Historiek



Nagenoeg de gehele Tongerse binnenstad bestaat uit street canyons, een gevolg van het oorspronkelijke castrum model van Hippodamus, loodrecht op de heersende windrichting.

2) Geluidshinder

De geluidsmetingen zijn niet continu voor Tongeren. Wel is duidelijk dat de ring geluidshinder ervaart.

3) Luchtkwaliteit

De slechtste luchtkwaliteit is ook hier weer te vinden langs de invalswegen en de ring, beide ten gevolge van verkeer. Lokaal plot een meting paars aan de Moerenpoort, waar invalswegen samenkomen en de wind geen lucht kan spoelen door bebouwing aan weerszijden. In de binnenstad zelf is de luchtkwaliteit goed: dit is direct te linken aan de smalle stratenstructuur die niet veel gemotoriseerd verkeer toelaat. De lage draagkracht van de straat wordt hier gerespecteerd.

4) Hittestress

Ook Tongeren heeft last van hittestress, dit door de dichtbebouwde kern met smalle straten. Tongeren haalt lokaal wel winsten uit open ruimtes waar windspoeling mogelijk is, uit parken die de temperatuur lokaal doen dalen en uit waterwegen zoals de vallei van de Jeker.

5) Conclusie en mogelijke maatregelen voor Tongeren

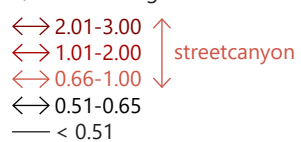
De compacte en dichtbebouwde stadskern van Tongeren wordt gekenmerkt door een weefsel van street canyons: hittestress is ook hier de grootste uitdaging, naast het reguleren van het verkeer op de invalswegen ter bevordering van de lokale luchtkwaliteit.

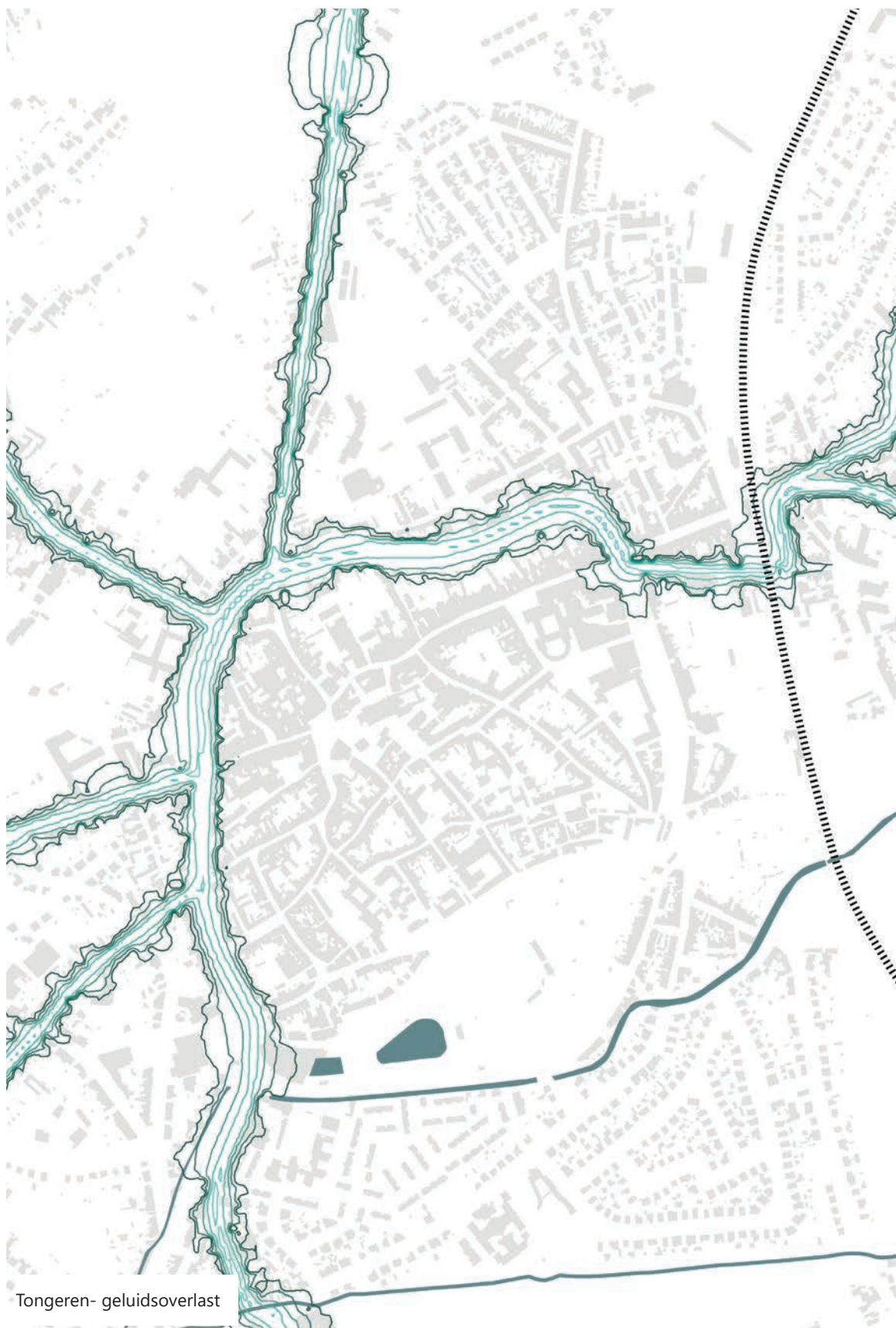
Maatregelen tegen hittestress (prioritair) voor Tongeren zijn:

- het inrichten van pleinen voor windspoeling (dit i.f.v. historische beschermingen)
- inzetten op ontharding en een groenblauwe dooradering (dit i.f.v. historische beschermingen)
- ...



h/b verhouding







NO₂-concentratie (µg/m³)

- puntmetingen

0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 >60

- achtergrondwaarden

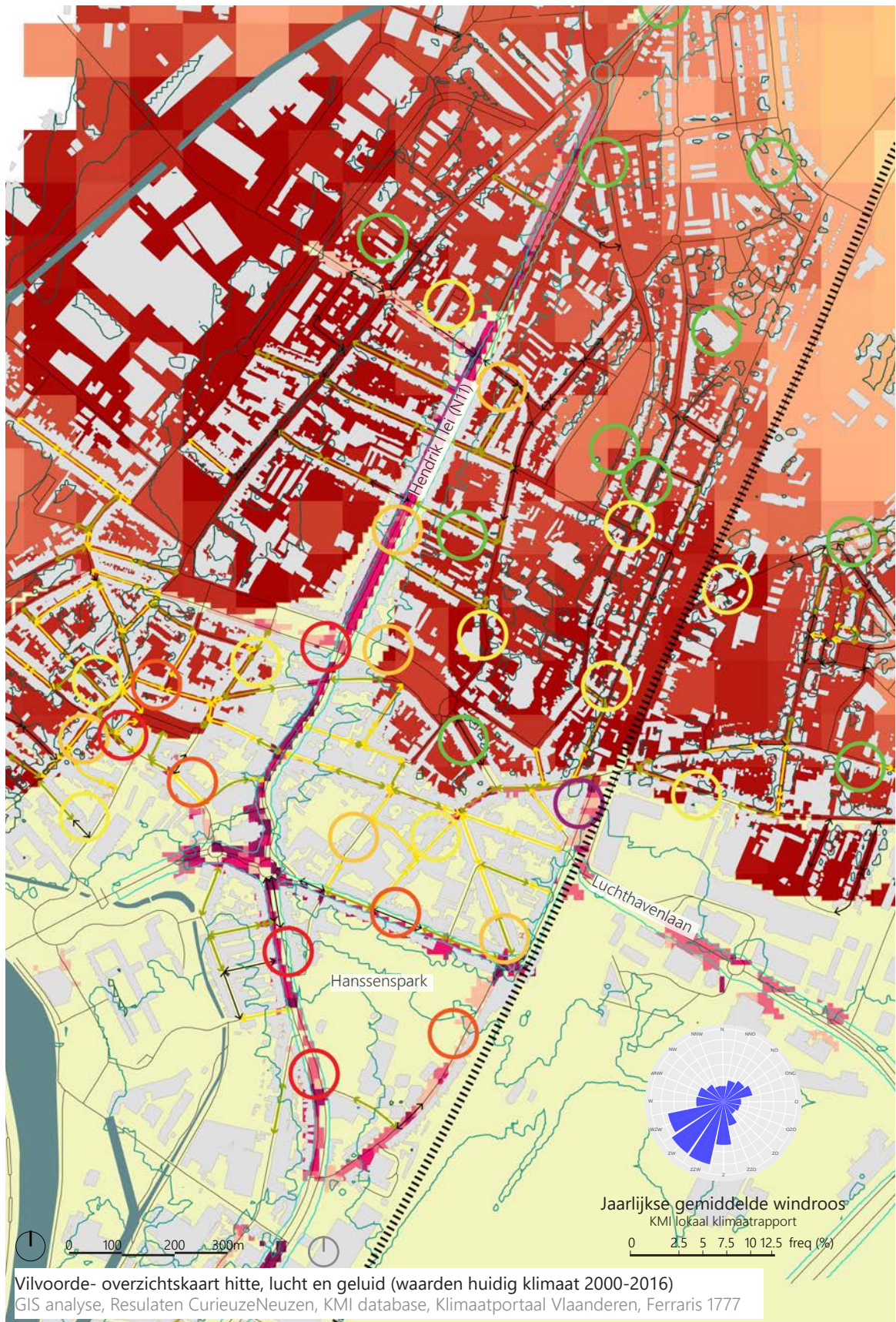
0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 max



hittegolfgaaddagen (°Cdag)

0 44,7

Case Vilvoorde



h/b verhouding

↔ (nvt)
 ↔ 1.01-2.00
 ↔ 0.66-1.00
 ↔ 0.51-0.65
 — < 0.51

streetcanyon

NO₂-concentratie (µg/m³)

- puntmetingen
 0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 >60

- achtergrondwaarden
 0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 max

geluidsniveau L_{den} (dB)

75 dB
 70 dB
 65 dB
 60 dB
 55 dB

hittegolfgraaddagen (°Cdag)

0 44,7

1) Historiek



De meeste street canyons (geel) die Vilvoorde telt, zijn historisch van aard

2) Geluidshinder

Geluidshinder valt ook hier samen met verkeersoverlast op de inval- en sluiptwegen door Vilvoorde.

3) Luchtkwaliteit

De slechtste (dieprode) luchtkwaliteit is te vinden langs de invalswegen. CurieuzeNeuzen plot tevens 1x paars, daar waar het verkeer van de Luchthavenlaan de spoorbrug onder duikt, en de verkeersemisies gevangen gehouden worden door de bebouwing en de spoorwegberm langs weerszijden.

4) Hittestress

De kaart duidt het meest urgente probleem van Vilvoorde: de achtergrond van Vilvoorde kleurt donker-rood wat wijst op relatief hoge hittestress (tegen 44°C/dag). Invloeden zijn een slechte windspoeling, de aanwezigheid van veel verharding en weinig groen, de nabijheid van Brussel (versterkt het stedelijk hitte effect) en de vele verkeersknopen.

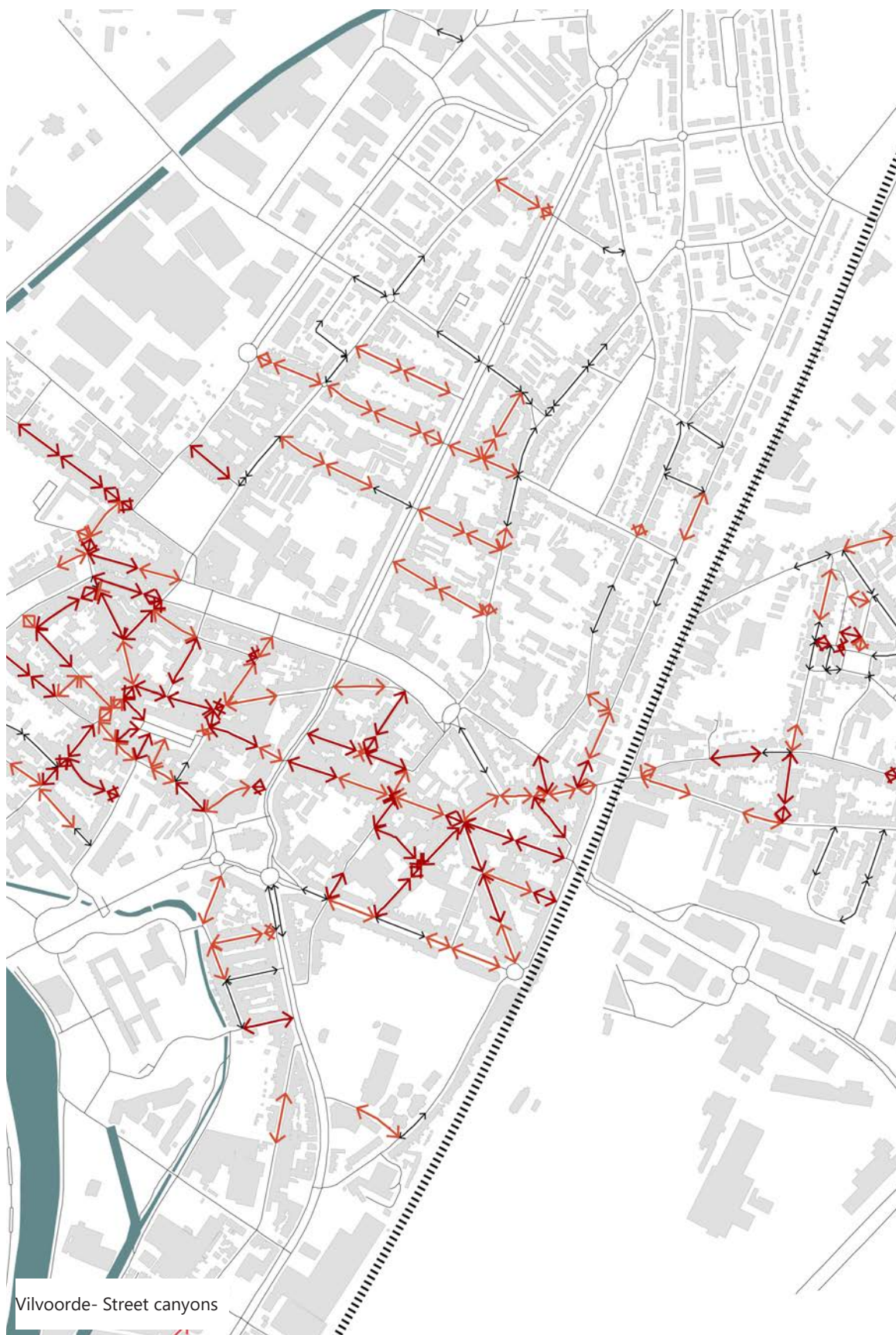
5) Conclusie en mogelijke maatregelen voor Vilvoorde

Vilvoorde draagt zowel qua mobiliteit als qua hittegolfgaardagen mee de lasten van Brussel. Het is duidelijk dat (voornamelijk tijdens de spitsuren) de grote stroom aan auto's de lokale luchtkwaliteit sterk doet dalen. Dat dit voornamelijk tijdens de spitsuren gebeurt, kunnen we afleiden aan de groene cirkels van CurieuzeNeuzen vlak naast de invalswegen. Vilvoorde haalt wel lokale voordelen uit de aanwezigheid van bv. het Hanssenpark, het kanaal, en de Zenne.

Oplossingen voor Vilvoorde zijn voornamelijk eerst op macroschaal te bekijken.

Maatregelen tegen hittestress (prioritair) voor Vilvoorde zijn

- het openleggen van de Zenne
- inzetten op ontharding en een groenblauwe dooradering
- het inrichten van pleinen voor windspoeling
- ...



Vilvoorde- Street canyons

h/b verhouding

↔ 2.01-3.00

↔ 1.01-2.00

↔ 0.66-1.00

↔ 0.51-0.65

— < 0.51

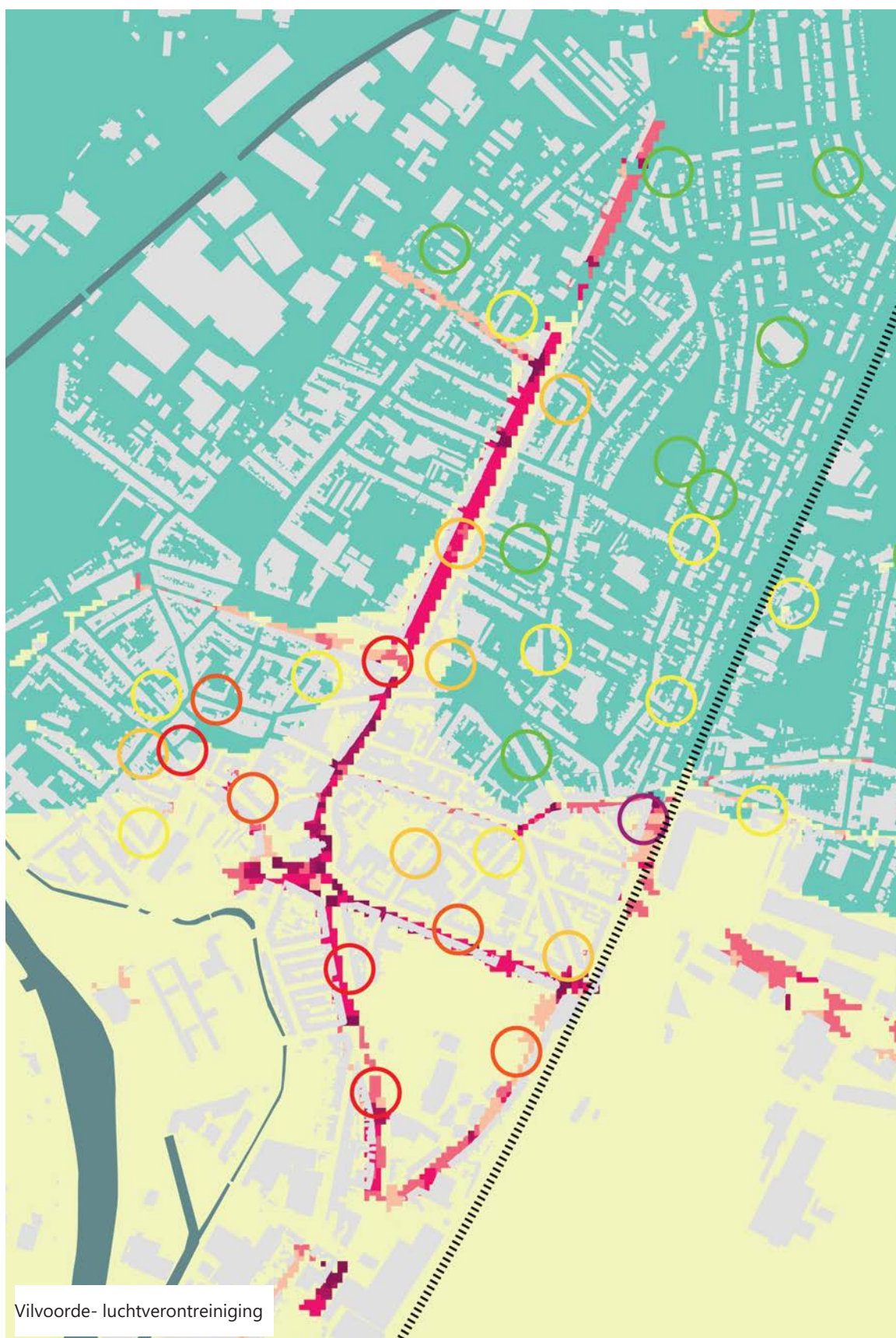
streetcanyon



Vilvoorde- geluidsoverlast

geluidsniveau L_{den} (dB)

- 75 dB
- 70 dB
- 65 dB
- 60 dB
- 55 dB



NO₂-concentratie (µg/m³)

- puntmetingen

0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 >60

- achtergrondwaarden

0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 max



Vilvoorde- hittestress

hittesolgraaddagen (°Cdag)



Testcase en inrichtingsvoorstellen Vilvoorde

Op basis van voorgaande kaarten wordt de case Vilvoorde onder de loep genomen. Hiervoor wordt eerst naar de absolute overschrijding van de gezondheidswaarde van de hinder aspecten gekeken.



geluidsniveau L_{den} (dB)

75 dB
70 dB
65 dB
60 dB
55 dB

$L_{den, verkeer} < 53$ dB hogere waarden hebben negatieve invloed op gezondheid
 $L_{night, verkeer} < 45$ dB hogere waarden hebben negatieve invloed op slaap

Geluidsoverlast kenmerkt de hoofd- en invalswegen van Vilvoorde: de Hendrik I Lei, de Schaarbeeklei en de Luchthavenlaan worden het hardst getroffen. De geluidsoverlast, uitgedrukt in gewogen gemiddelden overheen een etmaal, is hier dan ook volledig veroorzaakt door het gemotoriseerde wegverkeer.

De geaffecteerde bevolking beperkt zich rond de omwonenden van de betreffende straten (achtergrondgeluid niet meegenomen).



NO_2 -concentratie ($\mu g/m^3$)

- puntmetingen

0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 >60

- achtergrondwaarden

0 10 15 20 25 30 35 40 45 50 max

WGO drempelwaarde
ANSES gezondheidsadvieswaarde

De ANSES gezondheidsadvieswaarde van 20 microgram per kubieke meter wordt nagenoeg overal in Vilvoorde overschreden.

De geaffecteerde bevolking is dan ook 100% in deze case.



hittegolfgaaddagen ($^{\circ}Cdag$)

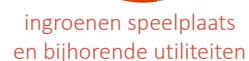
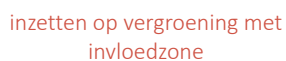
0 44,7 60

drempelwaarde
hittestress Vlaanderen

Vilvoorde komt nog net niet aan de drempelwaarde voor hittestress gedefinieerd door Vlaanderen. Wel komen ze erg dichtbij. Met het snel veranderende klimaat zullen de hittegolven in intensiteit en aantal toenemen, en zal Vilvoorde als snel getroffen worden door wat officieel als hittestress bestempeld wordt.

De geaffecteerde bevolking is in dat geval ook meteen 100%.

De absolute overschrijding in relatie tot de hoeveelheid geaffecteerde bevolking is in Vilvoorde het grootste op vlak van luchtverontreiniging. Vervolgens, met toekomstprojecties in acht genomen, zal hittestress het grootste probleem zijn. Geluid wordt in functie van de geaffecteerde bevolking als laatste prioriteit ingevuld. De volgende paragraaf duidt waarvoor welke maatregelen zullen toegepast worden. De case wordt hiervoor verder ingezoomd op het Hanssenpark, de Stationlei en de Van Helmontstraat.



Om het inrichtingsvraagstuk aan te pakken wordt eerst bekeken wat er in de bredere omgeving van kansen speelt.

Luchtverontreiniging aanpakken in deze case is het efficiëntste door een aangepast mobiliteitsbeleid met bijpassende visie. Lage emissiezones, een aangepast circulatieplan, of maatregelen die de overstap naar elektrische voertuigen stimuleren zijn hier cruciaal.

Hittestress kan hier iets gemakkelijker aangepakt worden daar de straat voordeel haalt uit het nabijgelegen Hanssenpark. Inzetten op windspoeling die de afgekoelde lucht van het park door transporteert naar de Stationlei kan hier wel degelijk verkoeling brengen. Het verder laten doorspoelen van de frisse wind in het binnengebied van het bouwblok waar het GO-Atheneum ligt zorgt ook voor afkoeling daar. Als daar dan ook nog een aantal van de speelplaatsen verder ingegroend worden (schaduw+speelveld i.p.v. speelplein), kan dat een significante hitte-reductie teweegbrengen.

Verder geeft de hittekaart ook aan dat de parking van de nabijgelegen Colruyt (windafwaarts) erg veel hittestress kent: de parking ingroenen (zowel bestrating als aanplanting van bomen) zorgt voor een verkoeling aan de windafwaardse zijde: koele lucht kan zo mee windopwaarts naar Hanssenpark en Atheneum met speelplaats stromen.

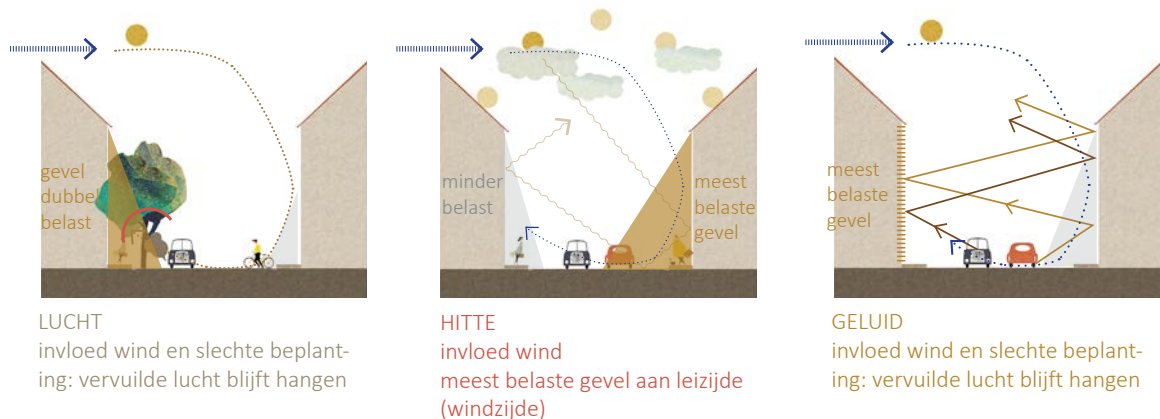
3.

Geluidsoverlast kan op buurtschaal niet meteen opgelost worden door inrichtingsmaatregelen zelf. Wel is het zo dat geluidsoverlast mee aangepakt wordt door een gepaste mobiliteitsvisie: minder gemotoriseerd verkeer genereert immers direct een daling in geluidsoverlast.

Op schaal van de straat zelf zijn verdere ondersteunende maatregelen mogelijk

1.

Luchtverontreiniging kan gereduceerd worden door een reductie in verkeer: (her)inrichting van de straat naar een enkelrichtingstraat waarbij het baanvak aan de windwaartse zijde opgegeven wordt ten voordele van aanplanting van bomen, gevolgd door het aanplanten van het straatprofiel aan de windwaartse zijde. Naast ontharden en het aanplanten van bomen kan hier ook ingezet worden op gevelgroen dat vervuilde lucht kan vasthouden en zuiveren. Afkanten van de straat met hagen ter opvang van fijnstof is een extra maatregel.



2.

Hittestress wordt mede door vorige inrichtingsmaatregelen aangepakt: (her)inrichting van de straat naar een éénrichtingstraat maakt dat ook ontharding mogelijk is. Het planten van bomen aan de zuidkant van de straat (die hier samenvalt met de windzijde) zorgt voor een stijging in het beschaduwde oppervlak. Ook het voetpad kan opnieuw aangelegd worden met een materiaal met een hoger albedo (betere reflectie) en daarbij kunnen de zuid-hoeken tussen voetpad en straat vrijgehouden worden voor beplanting en kunnen eigenaars ervoor opteren om de plint van de voorgevel in natuursteen (hoog albedo) uit te voeren. Deze loodrechte verharde zuidhoek staat immers het heetst tijdens warme dagen. Private zonnententen kunnen nog ingezet worden waar nodig. Als laatste punt worden best ook eventuele voor- en achtertuinen aangeplant in plaats van verhard (cfr. speelplein Atheneum).

3.

Geluidsoverlast kan mee gereduceerd worden door de inrichtingsmaatregel die de straat naar een enkelrichtingstraat (her)inricht. Reductie in verkeer heeft ook een reductie in geluidsoverlast. Bovendien is het type wegdek en de detaillering ervan cruciaal (helaas is er tot op heden nog geen hittebestendig wegdek met lage geluidsemissie bekend). Verder kunnen de straten nog afgekant worden met hagen (ook positief voor de luchtkwaliteit en de hittestress), en blijft inzetten op niet-gemotoriseerd verkeer een cruciale beslissing. Evenwel moet de omgeving fiets- en voetgangersvriendelijk aangelegd worden.

De case van Vilvoorde duidt een mogelijk scenario voor herinrichting naar de verschillende problematieken. Dat de zuidgevel hier samenvalt met de windwaartse gevel zorgt er ook voor dat er veel maatregelen een dubbel effect hebben. Wat de case ook inzichtelijk maakt, is dat elke situatie apart ontworpen en ingericht moet worden en dat er geen "ideale" straat bestaat.

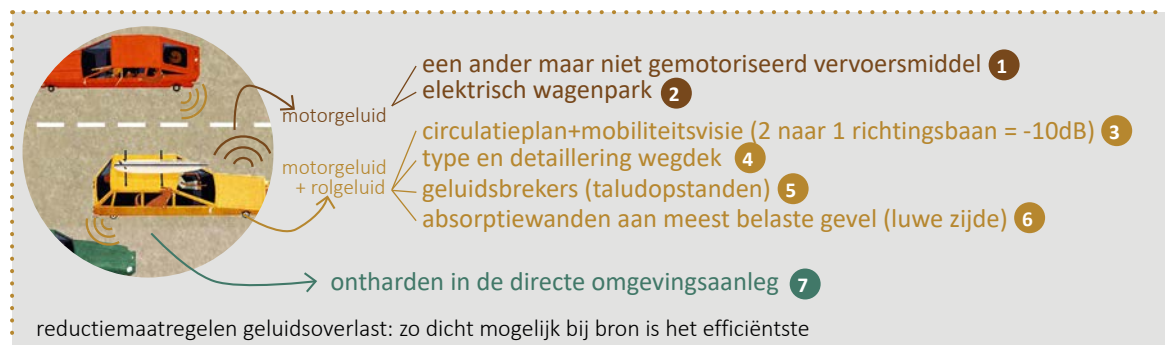


Conclusies

Straten hebben van oudsher een zeer functionele verbindende rol gespeeld, en vormen het gemene goed waar de gebruikers worden blootgesteld aan hinderlijke aspecten. Straten waren in het verleden reeds het schouwspel van hinder met gezondheidsrisico's tot gevolg. Zeker tot in de Middeleeuwen werd de straat als afvalberg en open riool van de bewoners gebruikt, met geurhinder en ernstige gezondheidsrisico's tot gevolg. In het huidige stedelijke klimaat zijn straten vooral het schouwspel van hinder dat veroorzaakt wordt op mondiaal/regionaal niveau, waardoor het steeds moeilijker wordt om deze problematieken op straatniveau op te lossen.

Uit dit onderzoek blijkt echter dat we door maatregelen op straat- of wijkniveau te nemen, zeer lokaal kunnen bijdragen aan een verbetering van gezondheid en leefomgeving en het dus de moeite loont om tijdens het ontwerp van stedelijke omgevingen, pleinen en straten, goed na te denken over die maatregelen die hittestress, luchtverontreiniging en geluidshinder kunnen reduceren.

Hierna wordt in eerste instantie een overzicht gegeven van de conclusies per hinderthema. Vervolgens wordt een algemene conclusie geformuleerd over de drie hinderaspecten en wordt deze aangevuld met aanbevelingen voor het toekomstige beleid.



Geluidshinder als gevolg van het verkeer in street canyons wordt bij voorkeur aan de bron aangepakt: in dit geval het gemotoriseerd verkeer. Het grootste rendement wordt gehaald door het aantal vervoersbewegingen te reduceren of elektrische wagens te voorzien. Deze maatregelen overstijgen echter het niveau van het ruimtelijke ontwerp en kunnen enkel als advies naar het beleid worden geformuleerd. Maar er zijn ook verschillende maatregelen mogelijk die eenvoudig toe te passen zijn maar waaraan vaak niet wordt gedacht tijdens het ruimtelijke ontwerp. Samengevat is te stellen dat zoveel mogelijk oneffenheden in de rijweg moeten worden vermeden. Zo kan een relatief grote winst worden gehaald uit het doordacht plaatsen van putdeksels en goten die geluidshinder veroorzaken indien ze in het spoor van de autobanden liggen. Daarnaast is de toepassing van 'geluidsarme' bestratingsmaterialen een eenvoudige maatregel met een relatief hoge winst. Tenslotte zijn verschillende geluidsabsorberende of geluidsreflecterende maatregelen mogelijk die als surplus worden beschouwd op de structurele aanpassingen om een rijweg zo vrij mogelijk van oneffenheden te maken.



reduktiemaatregelen hittestress

- reductie direct aangestraalde oppervlakte door schaduw ①
- windspoeling stimuleren ②
- verdamping via water/groenstructuren stimuleren ③
- verhogen albedo's door materiaalkeuzes en omgevingsaanleg ④

Voor elk hinderaspect kunnen dus tal van reductiemaatregelen worden genomen die elk afzonderlijk effectief zijn. Het probleem bestaat er echter in dat de som van de maatregelen terug aan effectiviteit verliest. Zo biedt een boom in een straat verkoeling tijdens een hittegolf maar kan hij bij slechte positionering de ventilatie in de straat verminderen waardoor de luchtvervuiling langer in de straat wordt vastgehouden. Dit leidt tot conflicten en toont het belang aan van het maken van duidelijke prioriteiten op korte termijn en beleidskeuzes op lange termijn. Dit betekent bijvoorbeeld dat een stad de kaart kan trekken om zich te behoeden tegen hittestress en beleid kan voeren om luchtverontreiniging en geluidshinder te reduceren door een aangepast mobiliteitsbeleid. Het aanplanten van jonge bomen en het geleidelijk aan afbouwen van de vervoersbewegingen zal op lange termijn leiden tot een evenwichtssituatie waarbij de uitstoot en de geluidshinder aanzienlijk is gereduceerd en de volwassen bomen voldoende schaduw en verkoeling bieden.

Naast de vaak grotere werkingsschaal van het hinderaspect en de efficiëntste hinderreductie door het wegnemen van de bron (het gemotoriseerd vervoer) is het tot slot ook belangrijk te duiden dat meer wetenschappelijk onderzoek nodig is naar het begroten van inrichtingsmaatregelen voor de hinderaspecten. Proefopstellingen met metingen kunnen uitsluitsel brengen over de exacte reducerende bijdrage van inrichtingen op verschillende hinderaspecten. Op die manier kunnen ze aan inrichtingskosten gelinkt worden, wat het beleid toelaat gerichtere keuzes te maken.

Artikels

- ////////////////////////////////////

Takahashi, M., Nakagawa, M., Sakamoto, A., Ohsumi, C., Matsubara, T. en Morikawa, H. (2005), Atmospheric nitrogen dioxide gas is a plant vitalization signal to increase plant size and the contents of cell constituents, *New Phytologist* 168 149-154. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01493.x

Vardoulakis, S., Fisher, B.E.A., Pericleous, K.A. en Gonzalez-Flesca, N. (2003), Modelling air quality in street canyons: A review, *Atmospheric Environment* 37(2) 155-182. DOI: 10.1016/S1352-2310(02)00857-9

Voogt, J.A. (2000), Urban Heat Island. 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.

WHO - IARC (2012), Diesel engine exhaust carcinogenic, *Press release* 213. DOI: 10.1093/jnci/djs034

Websites

Ademloos (2012). *Snelwegen en geluid*. Opgehaald van: <http://www.ademloos.be/nieuws/snelwegen-en-geluid>

Agentschap Wegen en Verkeer (2010). *Voorbeeldenboek voor gewestwegen in Vlaanderen. Geluidswerende maatregelen*. Opgehaald van: http://wegenenverkeer.be/sites/awv/files/bestanden/Geluidswerende%20maatregelen_Voorbeeldenboek%20voor%20gewestwegen%20in%20Vlaanderen_def_0.pdf

ANSES - Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (2016). *Challenges in Air Quality*. Opgehaald van: <https://www.anses.fr/en/content/challenges-air-quality>

Brouwers, J., Peeters, B., Van Steertegem, M., van Lipzig, N., Wouters, H., Beullens, J., Demuzere, M., Willems, P., De Ridder, K., Maiheu, B., De Troch, R., Termonia, P., Vansteenkiste, T., Craninx, M., Maetens, W., Defloor, W. en Cauwenberghs, K. (2015). MIRA Klimaatrapport 2015. Opgehaald van: <https://www.milieurapport.be/publicaties/2015/klimaatrapport-2015-over-waargenomen-en-toekomstige-klimaatveranderingen>

Climate Challenge. *Albedo effect*. Opgehaald van: <http://www.climatechallenge.be/nl/klimaatverandering-woord-en-beeld/wat-is-klimaatverandering/het-broeikaseffect/natuurlijk-broeikaseffect/albedo-effect.aspx>

CROW (2017). *De landelijke regelaanpak*. Opgehaald van: <https://www.crow.nl/kennis/bibliotheek-verkeer-en-vervoer/kennisdocumenten/de-landelijke-regelaanpak>

De Groene Stad. *Bomen: een verademing voor de stad*. Opgehaald van: <http://degroenestad.nl/bomen-een-verademing-voor-de-stad/>

De Groene Stad. *Bomen tegen hitte*. Opgehaald van: <http://degroenestad.nl/bomen-tegen-hitte/>

De Morgen (2015). *Verdriedubbeling randparkings moet parkeerdruk Vlaamse gemeenten verlichten*. Opgehaald van: <https://www.demorgen.be/binnenland/verdriedubbeling-randparkings-moet-parkeerdruk-vlaamse-gemeenten-verlichten-bf55f7dc/>

De Tijd (2018). *Vlaamse premie voor elektrische auto's flopt*. Opgehaald van: <https://www.tijd.be/politiek-economie/belgie/vlaanderen/vlaamse-premie-voor-elektrische-auto-s-flopt/10032118.html>

De Ridder, K., Maiheu, B., Wouters, H. en van Lipzig, N. (2015). MIRA rapport: Indicatoren van het stedelijk hitte-eiland in Vlaanderen. Opgehaald van: <https://www.milieurapport.be/publicaties/mira-rapporten/klimaatrapport-2015/2015-05-mira-uhi-eindrapport-tw.pdf>

Ecoscore (2018). *Europese Richtlijnen*. Opgehaald van: <http://ecoscore.be/nl/legislation/european>

EPA (2008). *Using Cool Pavements to Reduce Heat Islands*. Opgehaald van: <https://www.epa.gov/heat-islands/using-cool-pavements-reduce-heat-islands>

EPA (2008). *Using Cool Roofs to Reduce Heat Islands*. Opgehaald van: <https://www.epa.gov/heat-islands/using-cool-roofs-reduce-heat-islands>

Europees Parlement (2002). *Richtlijn 2002/49/EG van het Europees Parlement en de Raad van 25 juni 2002 inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai - Verklaring van de Commissie in het Bemiddelingscomité over de richtlijn inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai*. Opgehaald van: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0049#document1>

Geopunt (2016). *Strategische geluidsbelastingskaart Lden 2016*. Opgehaald van: <http://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/6b3c0a22-8d79-46e3-8ef0-522862a8df9f>

IRCEL - Intergewestelijke Cel voor het Leefmilieu. *EU kaderrichtlijn 96/62/EG*. Opgehaald van: http://www.irceline.be/~celinair/dutch/norm_nl.html

IRCEL - Intergewestelijke Cel voor het Leefmilieu. *FAQ ozon*. Opgehaald van: http://www.irceline.be/~celinair/dutch/ozon_faq.html

Klimaatportaal Vlaanderen (2018a). *Hittestress*. Opgehaald van: <https://klimaat.vmm.be/nl/web/guest/hittestressKNMI> (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut). Opgehaald van: <https://www.knmi.nl/home>

Klimaatportaal Vlaanderen (2018b). Kaarten klimaatverandering en hitte. Opgehaald van: <https://klimaat.vmm.be/kpvapp/index.html?themaindex=1>

Lauwaet, D., De Ritter, K., Maiheu, B., Hooyberghs, H. en Lefebvre, F. voor VITO (2018). *Uitbreiding en validatie indicator hitte-eilandeffect*. Opgehaald van: <https://www.milieurapport.be/publicaties/2018/uitbreiding-en-validatie-indicator-hitte-eilandeffect>

Leefmilieu Brussel (2018). *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 (2005). *Technisch Vademecum Geluid en Akoestiek*. Opgehaald van: https://leefmilieu.brussels/sites/default/files/user_files/vademecum_f1_tech_nl.pdf

Leefmilieu Brussel (2018). *Vademecum voor wegverkeerslawaaï in de stad*. Opgehaald van: <https://leefmilieu.brussels/themas/geluid/duurzaam-beheer/vademecum-voor-wegverkeerslawaaï-de-stad>

LNE - Leefmilieu, Natuur en Energie (2010). *Actieplan Wegverkeerslawaaï*. Opgehaald van: https://www.lne.be/sites/default/files/atoms/files/actieplan_wegverkeerslawaaï.pdf

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2018). *Factbook Verkeersmaatregelen*. Opgehaald van: https://www.infomil.nl/publish/pages/138239/factbookverkeersmaatregelen_2018.pdf

MIRA (2015). *Milieurapport totaal verloren gezonde levensjaren (DALY's) door milieuverstoringen*. Opgehaald van: <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/milieu-gezondheid/dalys/totaal-verloren-gezonde-levensjaren-daly2019s-door-milieuverstoringen>

MIRA (2018a). *Hitte-eilanden in steden*. Opgehaald van: <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/klimaatverandering/temperatuur/hitte-eilanden-in-steden>

MIRA (2018b). *Slachtoffers bij hittegolven*. Opgehaald van: <https://www.milieurapport.be/milieuthemas/klimaatverandering/gevolgen-klimaatverandering/slachtoffers-bij-hittegolven>

Mobiël Vlaanderen (2017). *Ontwerprichtlijnen voor fietsvoorzieningen*. Opgehaald van: <https://www.mobiëlvlaanderen.be/pdf/vademecum/hfdst4.pdf>

NRC Nieuws. Opgehaald van: <https://www.nrc.nl/>

Statistiek Vlaanderen (2018). *Vlaamse gemeentelijke demografische vooruitzichten 2018 - 2035*. Opgehaald van: <https://www.statistiekvlaanderen.be/vlaamse-gemeentelijke-demografische-vooruitzichten-2018-2035>

TNO (2011). *Kennismontage Hitte en Klimaat in de Stad*. Opgehaald van: https://www.tno.nl/media/4361/kennismontage-hitte-en-klimaat-in-de-stad_2011.pdf

Vlaams Verkeerscentrum. *Verkeersindicatoren*. Opgehaald van: <http://indicatoren.verkeercentrum.be>

Vlaamse Overheid (2017). *Meerjarenprogramma 2017-2020*. Opgehaald van: <https://www.vlaanderen.be/fr/nbwa-news-message-document/document/09013557801ced8a>

Vlaamse Regering (2014). *Regeerakkoord van de Vlaamse Regering 2014-2019*. Opgehaald van: <https://www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/het-regeerakkoord-van-de-vlaamse-regering-2014-2019>

Vlaanderen (2016). *Witboek Beleidsplan Ruimte Vlaanderen*. Opgehaald van: <https://www.ruimtelijkeordening.be/Portals/108/BRV/VR20163011WitboekBRV.pdf>

VMM (2018). *Stikstofoxiden*. Opgehaald van: <https://www.vmm.be/lucht/stikstofoxiden>

WHO (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Opgehaald van: <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>

