

Ruimtelijke ingrepen voor de reductie van luchtvervuiling en blootstelling in street canyons

Case study Belgiëlei

Masterproef - Master in de Stedenbouw en Ruimtelijke Planning
Academiejaar 2021-2022

Adams Laura

Promotor(en): prof. van Acker Maarten
Voordeckers Dimitri



VOORWOORD

Deze masterproef ‘Ruimtelijke ingrepen voor de reductie van luchtvervuiling en blootstelling in street canyons’ vormt een belangrijke tussenstap tussen de theorie en de praktijk omtrent de aanpak van de slechte luchtkwaliteit in steden. De thesis is geschreven als sluitstuk van de masteropleiding Stedenbouw en Ruimtelijke planning aan de Universiteit Antwerpen, tijdens het tweede semester van het academiejaar 2021-2022.

Ik koos voor een ontwerpmatige masterproef om mijn vaardigheden voor deze onderzoeksmethode te vergroten. Daarnaast koos ik voor de case study van de Belgiëlei, omdat ik graag mijn verworven kennis rond het stedenbeleid wilde toepassen. Deze stedelijke probleemstelling vormt een sterke aanvulling voor mijn onderzoekservaring, waar ik binnen mijn voorgaande bachelorproeven meer focuste op natuurbeheer en landschapsontwikkeling. Ook sprak de problematiek rond street canyons mij enorm aan, gezien mijn achtergrond in milieubeheer. Al deze ervaringen vormen een sterke basis voor mijn toekomst als ruimtelijk planner.

Deze masterproef is dan ook geschreven voor ruimtelijke planners. De selectie van de meest problematische street canyons binnen de Antwerpse Ring vormt een eerste meerwaarde voor het stadsbestuur van Antwerpen. Wel kunnen alle stedenbouwkundigen deze toolbox, en de toepassing ervan op de case study van de Belgiëlei, als een soort handleiding hanteren om als volgende stap de stedelijke street canyons effectief te gaan aanpakken.

Het schrijven van een masterproef mag zeker niet onderschat worden. Daarom zou ik graag alle betrokken personen bedanken, zonder wie ik deze thesis niet tot een goed einde had kunnen brengen. Allereerst zou ik alle docenten binnen de opleiding Stedenbouw en Ruimtelijke Planning (alsook het schakeljaar) willen bedanken voor het delen van hun kennis, inzichten en praktijkervaring.

Vervolgens wil ik mijn promotor Professor Maarten Van Acker bedanken. Zijn opbouwende feedback en tips tijdens de tweede ontwerpstudio, gebaseerd op zijn uitgebreide praktijkervaring, hebben mij mede aangespoord om ontwerpend onderzoek uit te voeren. Zijn boeiende lessen, immense referentiekennis en hartstocht voor stedenbouw inspireren mij om zelf bij te dragen aan een goede ruimtelijke ordening.

Graag wil ik mijn copromotor Dimitri Voordeckers enorm bedanken voor de tijd en moeite die hij in mijn begeleiding heeft gestoken, zonder wie mijn masterproef nooit zo volledig had kunnen zijn. Zijn kennis rond/en huidig onderzoek naar street canyons, en specifiek de Belgiëlei, vormde een buitengewone bron aan informatie, tips en inspiratie. Ik werd dankzij hem tijdens mijn relatief korte onderzoeksperiode goed vertrouwd met street canyons. Ik weet zeker dat hij als professional een leidende rol speelt/zal spelen bij het ruimtelijk aanpakken van de stedelijke luchtkwaliteit.

Tenslotte wil ik ook mijn medestudenten, vrienden en familie bedanken. De steun van/en fijne momenten met mijn medestudenten op en naast de campus zorgden ervoor dat ik deze opleiding met succes heb doorlopen. Daarnaast zorgden mijn ouders, familie, vriend en vrienden via hun mentale steun, aanmoediging en geloof in mij ervoor dat ik deze masterproef zoals gepland in juni heb kunnen indienen.

Ik hoop u als lezer, en bij uitbreiding alle ruimtelijke planners, te kunnen inspireren.

Laura Adams

Antwerpen, 30 mei 2022

ABSTRACT

Verschillende studies en beleidsdoelstellingen benadrukken het belang van een goede luchtkwaliteit voor de menselijke gezondheid. Deze opgave is eens zo groot in de steden waar de blootstelling aan polluenten, gezien de hoge woondichtheid en activiteit, hoger ligt. Hier zorgt het gebrek aan luchtverversing binnen bepaalde straten (omsloten door hoge bebouwing) voor de accumulatie van polluenten en zo de vorming van street canyons. De beleidsfocus op het reduceren van emissies en het toepassen van verkeersmaatregelen is voorlopig ontoereikend gebleken en de pollutie-normen worden nog steeds overschreden. Een oplossing kan gevonden worden in het bijkomend toepassen van ruimtelijke ingrepen, welke vandaag niet of amper gekend zijn onder de ruimtelijke planners. Daarom wordt binnen deze masterproef een praktijkgericht overzicht aangereikt aan deze ruimtelijke planners van ruimtelijke ingrepen welke de luchtvervuiling en blootstelling binnen street canyons reduceren. Dit onderzoek duidt vier toolsets volgens vier hoofddoelen aan, met in totaal acht tools, welke respectievelijk inzetten op het reduceren, capteren en ventileren van pollutie, alsook het reduceren van de blootstelling. Gezien de variërende windrichtingen in de praktijk, worden voornamelijk algemeen toepasbare maatregelen aanbevolen. De tools worden vervolgens o.b.v. een grondige analyse toegepast op een case study: de Belgiëlei in Antwerpen, geselecteerd omwille van zijn problematische luchtkwaliteit en typerende street canyon-karakteristieken. Bij de theoretische toepassing in de vorm van scenario's kan geconcludeerd worden dat voornamelijk de prioriteiten of hoofddoelen van de planner de uitwerking van de scenario's bepalen, alsook de effectiviteit naar luchtvervuiling- en blootstellingsreductie toe. Bijkomend blijkt uit dit onderzoek dat de haalbaarheid i.f.v. de effectieve uitvoering sterk beperkt kan worden door verordenende voorschriften wanneer aan de bebouwing wordt geraakt. De theoretische scenario's vormen voor ruimtelijke planners en beleidsmakers een generaliseerbaar voorbeeld van een afwegingskader voor zowel de praktische toepassing als verordenende verankering van de tools i.f.v. de luchtkwaliteit, waarbij de effectiviteit verder onderzocht dient te worden.

Ruimtelijke planning
Luchtkwaliteit
Street canyon
Ruimtelijke ingrepen
Stad Antwerpen

Several studies and policy objectives emphasize the importance of good air quality for the human health. This challenge is even greater in cities, where exposure to pollutants is higher given the high residential density and activity. Here, the lack of air exchange within certain streets (enclosed by high buildings) leads to the accumulation of pollutants and thus the formation of street canyons. The policy's focus on reducing emissions and applying traffic measures has proved insufficient and the pollution standards are still being exceeded. A solution can be found in the additional application of spatial interventions, which are almost unknown among spatial planners. Therefore, within this master's thesis, a practice-oriented overview is provided to these urban planners of spatial interventions that reduce air pollution and exposure within street canyons. This research identifies four toolsets, with a total of eight tools, which respectively focus on reducing, capturing and ventilating pollution, as well as reducing exposure. In view of varying wind directions, generally applicable measures are recommended. After a thorough analysis, the measures are applied to a case study: the Belgiëlei in Antwerp, selected for its problematic air quality and typical street canyon characteristics. After the theoretical application (through scenarios) it can be concluded that it is mainly the priorities or main goals of the urban planner which determine the refinement of the scenarios, as well as the effectiveness in terms of reducing air pollution and exposure. In addition, this study shows that the feasibility in function of the implementation of the tools can be severely limited by regulatory regulations when the modification of buildings is involved. For spatial planners and policymakers, the theoretical scenarios are a generalizable example of an assessment framework for both the practical application and regulatory anchoring of the spatial tools in the context of air quality, of which the effectiveness should be further investigated.

Urban planning
Air quality
Street canyon
Spatial interventions
City of Antwerp

INHOUD

Lijst met tabellen & figuren	8
Afkortingen	14
Inleiding	16
Probleemstelling	
Onderzoeksvragen	18
Methodiek	20
Doel	21
Kader	22
Oorzaken slechte luchtkwaliteit in street canyons	24
Emissie pollutanten	
Polluenten-concentraties in street canyons	
Street canyons en gezondheid	26
Courante aanpak street canyons: verkeersmaatregelen in Antwerpen	27
Focus	28
Context – Vlaanderen	30
Concentraties	
Blootstelling	
Context – Antwerpen	32
Concentraties	
Blootstelling in street canyons	
Case study – Belgiëlei	34
Selectie	
Type street canyon	
Concentraties	
Blootstelling	
Analyse	38
Planningscontext	40
Ruimtelijke structuurplannen	40
Ruimtelijke beleidsplannen	41
Mobiliteitsplannen	42
Luchtbeleidsplan	43
Verordenende (en beperkende) voorschriften	44
Synthese	46
Ruimtelijke context	48
Bebouwing	48
Natuur	55
Mobiliteit	56
Synthesekaart	62

Toolbox	66
Pollutie reduceren	68
Pollutie capteren	70
Pollutie ventileren	73
Blootstelling reduceren	76
Referentiestudie	78
Pollutie reduceren	80
Pollutie capteren	81
Pollutie ventileren	82
Blootstelling reduceren	83
Ontwerpend onderzoek	84
Overzicht scenario's	86
Scenario 1	88
Scenario 2	98
Scenario 3	112
Scenario 4	122
Overzicht ontwerpend onderzoek	136
Onderzoeksconclusie	138
Conclusie	140
Reflectie	142
Beleidsaanbevelingen	144
Literatuurlijst	146

Bijlagen	156
<i>Bijlage 1 Extra richtlijnen planningscontext</i>	158
<i>Bijlage 2 Uittreksels Bouwcode</i>	160
<i>Bijlage 3 Verkeersintensiteit & Modal split</i>	164
<i>Bijlage 4 Openbaar vervoer op macroniveau</i>	166
<i>Bijlage 5 Tools i.f.v. de windrichting</i>	168
<i>Bijlage 6 Rangschikking vegetatiesoorten</i>	170
<i>Bijlage 7 Gewijzigde oppervlakte per scenario</i>	171
<i>Bijlage 8 Gewijzigde bebouwing per scenario</i>	172
<i>Bijlage 9 Bijdrage per scenario</i>	176
<i>Bijlage 10 Voorbeeld perstekst</i>	180

LIJST VAN TABELLEN EN FIGUREN

Tabel 1: De gemiddelde waarden aan polluenten voor stedelijk Vlaanderen overschreden in 2019 vaak de advieswaarden van de WHO en altijd de verstrengde maatregelen van 2021 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)	30	Figuur 15: Het jaargemiddelde EC in 2020 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b)	
Tabel 2: De gemiddelde waarden aan polluenten voor de meetplaatsen binnen de Antwerpse agglomeratie overschreden in 2020 vaak de advieswaarden van de WHO en altijd de verstrengde maatregelen van 2021 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021a, 2021c)	32	Figuur 16: Het jaargemiddelde NO ₂ in 2020 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b)	
Tabel 3: De waarden aan polluenten gemeten met het meetstation op de Belgiëlei overschreden in 2020 vaak de advieswaarden van de WHO en altijd de verstrengde maatregelen van 2021 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021a, 2021c)	37	Figuur 17: De ernst van de problematiek voor luchtkwaliteit op basis van AR en verkeersintensiteit geeft een overzicht van alle street canyons binnen de Antwerpse agglomeratie (D. Voordeckers, e-mail, 4 maart 2022)	
Tabel 4: De rangschikking van vegetatiesoorten naar geschiktheid voor afzetting (Depauw et al., 2018) en schaduwtolerantie (Inverde & OC-ANB, 2022)	71	Figuur 18: De twaalf meest problematische street canyons binnen de Antwerpse Ring, op basis van AR en verkeersintensiteit (D. Voordeckers, e-mail, 4 maart 2022), en de lokalisatie van de vier meetpunten binnen de Ring	34
Tabel 5: De rangschikking van vegetatiesoorten naar geschiktheid voor ventilatie (Depauw et al., 2018; Inverde & OC-ANB, 2022; Van Den Berk Boomkwekerijen, z.d.)	73	Figuur 19: De rangschikking van de 12 meest problematische street canyons binnen de Antwerpse Ring volgens de selectiecriteria (Google LLC, 2021)	35
Tabel 6: De rangschikking van vegetatiesoorten naar geschiktheid voor een verminderde blootstelling aan polluenten (Depauw et al., 2018; Inverde & OC-ANB, 2022; Van Den Berk Boomkwekerijen, z.d.) en pollen (Gezondheid NV, 2019)	76	Figuur 20: De Belgiëlei en zijn omgeving, met de gemiddelde windrichting voor Antwerpen (1981-2010) weergegeven op de windroos, welke de Belgiëlei als street canyons met een ‘Channeling flow’ categoriseert, schaal 1:7.500 (KMI, z.d.; Voordeckers, Meysman, et al., 2021)	36
Tabel 7: De afweging van de ideale laanpositionering	117	Figuur 21: De gemiddelde doorsnede van de Belgiëlei met (van gevel naar de centrale as) een voetpad, fietspad, dubbele rijbaan en tramweg-berm.	
Tabel 8: Overzichtstabel van gewenste breedte- en hoogtematen (De Lijn, 2021; Departement Mobiliteit en Openbare Werken Vlaanderen, 2017; Fietsraad, 2018; Stad Antwerpen, 2017; Vervoerregio Antwerpen, 2020)	159	-	
Tabel 9: De berekende verkeersintensiteit tijdens twee spitsmomenten op donderdag 24 maart 2022	164	Figuur 22: De hiërarchische wegingdeling als basis voor de inrichtingsprincipes (Agentschap Wegen & Verkeer, 2020; Onderzoeksgroep voor Stadsontwikkeling, MINT, & Maes, 2019)	40
Tabel 10: De berekende Modal Split tijdens twee spitsmomenten op donderdag 24 maart 2022	165	Figuur 23: Het Gewestplan Antwerpen (Vlaamse Overheid, 2000), schaal 1:7.500	44
Tabel 11: De toepassing van de verschillende tools voor pollutie-captatie in functie van de dominante windrichting	168	Figuur 24: Een uitgangspunt voor het RUP 'Provinciehuis Harmonie’ (Stad Antwerpen, 2013) en de huidige uitwerking	45
Tabel 12: De toepassing van de verschillende tools voor blootstellings-reductie in functie van de dominante windrichting		Figuur 25: Er gebeuren vele publieke werken op het openbaar domein, maar ruimtelijke ingrepen ten gunste van de luchtkwaliteit blijven voorlopig uit binnen de Belgiëlei	46
Tabel 13: De toepassing van de verschillende tools voor pollutie-ventilatie in functie van de dominante windrichting	169	Figuur 26: Een historisch overzicht van de Belgiëlei op de Ferrariskaart (Koninklijke Bibliotheek van België & Agentschap Informatie Vlaanderen, 1777), de Vandermaelenkaart (Koninklijke Bibliotheek van België & Agentschap Informatie Vlaanderen, 1846) en een hedendaagse luchtfoto (Agentschap Informatie Vlaanderen, 2021).	48
Tabel 14: Rangschikking van vegetatiesoorten naar geschiktheid voor een gemixte toepassing van de verschillende tools, met inbegrip van de karakteristieken en afmetingen (Van Den Berk Boomkwekerijen, z.d.), de pollenvriendelijkheid (Gezondheid NV, 2019), afzetting (Depauw et al., 2018) en schaduwtolerantie (Inverde & OC-ANB, 2022)	170	Figuur 27: De aanduiding van vastgestelde en de beschermd e erfgoedobjecten langs de Belgiëlei op de kaart, schaal 1:7.500 (Agentschap Onroerend Erfgoed, 2022; Braeken et al., 2015)	49
Tabel 15: De geschatte gewijzigde oppervlaktes (en volumes) aan parkeerplaatsen en groen per scenario en per sectie	171	Figuur 28: De drie beschermd e panden langsheen de Belgiëlei met de nummers 166, 117 en 91 (Agentschap Onroerend Erfgoed, 2022)	48
Tabel 16: De subjectieve beoordeling van de bijdrage van scenario 1 voor de Belgiëlei	176	Figuur 29: De algemene verdeling tussen publieke en private eigendommen, schaal 1:13.000 (Het Facilitair Bedrijf Vastgoed, 2022; Vlaamse Overheid, 2022)	50
Tabel 17: De subjectieve beoordeling van de bijdrage van scenario 2 voor de Belgiëlei	177	Figuur 30: De Stad Antwerpen is o.a. eigenaar en beheerder van het publiek domein en de basisschool 'De Spiegel' (wit gebouw)	
Tabel 18: De subjectieve beoordeling van de bijdrage van scenario 3 voor de Belgiëlei	178	Figuur 31: De hoogte van de bebouwing, weergegeven volgens een gradiënt van één verdieping of ongeveer drie meter, schaal 1:7.500 (Agentschap Informatie Vlaanderen, 2015)	51
Tabel 19: De subjectieve beoordeling van de bijdrage van scenario 4 voor de Belgiëlei	179	Figuur 32: De hoogte van de bebouwing, driedimensionaal weergegeven via het verbinden van de bouwhoogtes (Agentschap Informatie Vlaanderen, 2015)	
Figuur 1: De invloed van bebouwing en vegetatie op de luchtstromen in de onderlaag (Depauw, van den Berg, Dens, Lenzholzer, & Steeneveld, 2018)	18	Figuur 33: Functies langsheen de Belgiëlei weergegeven op de kaart, schaal 1:7.500, en percentueel weergegeven op een taartdiagram	52
Figuur 2: Een middellange street canyon, hier met 'skimming flow' over de straat (Depauw et al., 2018)	19	Figuur 34: De nauwe in- en uitrit van Cargill Chocolate Belgium zorgt voor filevorming, terwijl overige functies vaak enkel beleverd kunnen worden wanneer vrachtwagens dubbel parkeren	
-		Figuur 35: De voorzieningen voor kwetsbare groepen als kinderen, ouderen en patiënten aangeduid op de kaart, schaal 1:7.500 (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2022; Kind en Gezin, 2020; Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, 2022)	53
Figuur 3: De oorzaken voor polluenten in Vlaanderen en Stad Antwerpen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021c, 2021d)	24	Figuur 36: Het schoolgaand verkeer omvat voornamelijk actieve verplaatsingen	
Figuur 4: De lokalisatie van de hoogste concentraties gemeten bij een parallelle, loodrechte en schuine windrichting (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021)	25	Figuur 37: De ouderdom van de gebouwen, geschat o.b.v. de meest recente bouw- of (grootschalige) verbouwingsvergunning (Stad Antwerpen, 2022b, 2022c), en de aanduiding van ongeschikte of onbewoonbare panden (Wonen Vlaanderen, 2022), schaal 1:7.500	54
Figuur 5: De invloed van bebouwing en vegetatie op de luchtstromen in de onderlaag (Depauw et al., 2018)		Figuur 38: Verweerde gevels en verouderde bekabeling verouderen het straatbeeld binnen de Belgiëlei	
Figuur 6: De gezondheidsimpact van luchtvervuiling op het lichaam (European Environment Agency, 2019)	26	Figuur 39: De biologische waardering van het groen langs en in de omgeving van de Belgiëlei, de aanwezige boomsoorten en de watertoets, schaal 1:13.000 (Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2020; Stad Antwerpen, 2022a; Vlaamse Milieumaatschappij, 2006, 2017)	55
Figuur 7: De afbakening van de LEZ binnen de Antwerpse Ring (De Standaard, 2017)	27	Figuur 40: Plataan en haagbeuk als enige boomsoorten binnen de Belgiëlei	
-		Figuur 41: De gemiddelde modal split voor de verschillende meetpunten, gemeten op zes verschillende meetplaatsen tijdens twee spitsmomenten, schaal 1:7.500	56
Figuur 8: De concentraties aan NO ₂ en BC gemeten tijdens week 12 tot 18 of tijdens de coronamaatregelen in verkeerslocaties (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020a)	30	Figuur 42: Een foto van wild-fietsparkeren, genomen aan de Wiznitz-basisschool tussen meetpunt vijf en zes	
Figuur 9: De PM _{2,5} -jaargemiddelde in 2019 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)		Figuur 43: De gemiddelde verkeersintensiteit, gemeten op zes verschillende meetplaatsen tijdens twee spitsmomenten, en de duurtijd van het rode licht voor het gemotoriseerd verkeer op de Belgiëlei, schaal 1:7.500	57
Figuur 10: De NO ₂ -jaargemiddelde 2019 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)			
Figuur 11: Het aandeel van de bevolking blootgesteld aan verschillende PM _{2,5} -jaargemiddelden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)	31		
Figuur 12: Het aandeel van de bevolking blootgesteld aan verschillende NO ₂ -jaargemiddelden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)			
Figuur 13: De dynamische blootstelling aan NO ₂ in µg/m ³ in 2018 (CurieuzeNeuzen, 2019)			
Figuur 14: Het jaargemiddelde PM _{2,5} in 2020 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b)	33		

Figuur 44: Tijdens de spitsmomenten is filevorming mogelijk		Figuur 78: De drie beste referenties omtrent pollutie-ventilatie in Bangkok, Amsterdam en Oostende (Atelier Romain, Osar, & P.PUL- KULeuven, 2020; NL Architects, 2012; T.R.O.P., 2015)	82
Figuur 45: Het wegnnet van het centrum van Antwerpen, schaal 1:120.000 (Vlaamse Overheid, 2022) en de aanduiding van de meest frequent gebruikte wegen en sluipwegen	58	Figuur 79: De drie beste referenties omtrent blootstelling reductie in Chennai, New York City en Kopenhagen (Friends of the High Line et al., 2009; Oasis Designs, z.d.; Risom et al., 2019)	83
Figuur 46: De aansluiting op de Mechelsesteenweg en de Koningin Elisabethlei		-	
Figuur 47: De straatparkeerzones en garages	59	Figuur 80: Een sfeerbeeld en de ambitie voor de toepassing van scenario 1 op de Belgiëlei, waar de focus ligt op pollutie-captatie	86
Figuur 48: Een voorbeeld van een garagepoort welke rechtstreek tot een open binnengebied leidt		Figuur 81: Een sfeerbeeld en de ambitie voor de toepassing van scenario 2 op de Belgiëlei, waar de focus ligt op pollutie-ventilatie, met de referentie naar nieuwe ‘groene’ gebouwen (Atelier Jean Nouvel, 2014; Kono Designs, 2010; Triptyque Architecture, 2019)	
Figuur 49: Het Openbaar Vervoersnetwerken de haltes, schaal 1:13.000 (Vlaamse Overheid, 2022; Vlaamse Vervoersmaatschappij De Lijn, 2022)	60	Figuur 82: Een sfeerbeeld en de ambitie voor de toepassing van scenario 3 op de Belgiëlei, waar de focus ligt op het reduceren van de blootstelling	87
Figuur 50: Een kruising van tramsporen aan de Lange Leemstraat		Figuur 83: Een sfeerbeeld en de ambitie voor de toepassing van scenario 4 op de Belgiëlei, waar de focus ligt op het voorstellen van een haalbare mix aan doelstellingen en tools	
Figuur 51: Het fietsnetwerk in de ruimere omgeving van de Belgiëlei, schaal 1:140.000 (Provincie Antwerpen, z.d.; Toerisme Vlaanderen, 2018)	61	Figuur 84: Een sfeerbeeld voor de toepassing van scenario 1 op de Belgiëlei (sectie 2, figuur 92 op p. 94), waar de focus ligt op pollutie-captatie	88
Figuur 52: De plaatsing van fietsbeugels en vélo-stations, schaal 1:7.500		Figuur 85: De ambitie volgens scenario 1	89
Figuur 53: Het tekort aan fietsenstallingen is zichtbaar in het straatbeeld		Figuur 86: De isometrische weergave van scenario 1 op de eerste sectie	90
Figuur 54:De syntheseskaart met aanduiding van aandachtspunten en mogelijkheden, schaal 1:3.000	62	Figuur 87: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 1.1 waaronder de toepassing van paardenkastanjes als laanbomen (Brugman, 2018), geveltuintjes (De Groene Stad, 2015), NOxer-bestrating (Marshalls, z.d.) en een groene tramberm (Stockholm Resilience Centre, 2021)	92
Figuur 55: Syntheseskaart, ingezoomd op de eerste sectie, schaal 1:1.250	64	Figuur 88: De referentie ‘Mehr als Wohnen’ (Müller Sigrist, 2015)	
Figuur 56: Syntheseskaart, ingezoomd op de tweede sectie, schaal 1:1.250	65	Figuur 89: Een doorsnede van de eerste sectie voor 2022	
-		Figuur 90: Een doorsnede van de eerste sectie voor scenario 1	
Figuur 57: De vernieuwde ‘Coolsingel Boulevard’ in Rotterdam maakt een duidelijke STOP-verdeling (West 8, BeersNielsen, & Sweco, 2021)	68	Figuur 91: De eerste sectie voor scenario 1	93
Figuur 58: De totale hoeveelheid verkeer reduceren volgens het STOP-principe om de pollutie te reduceren		Figuur 92: De isometrische weergave van scenario 1 op de tweede sectie, met aanduiding van het perspectief voor het sfeerbeeld (figuur 84, p. 88)	94
Figuur 59: In Marylebone (Londen) werd een ‘Low Emission Neighbourhood (LEN)’ toegepast, waar strakke geometrie individuele uitstoot reduceert (Urban Movement, 2022)	69	Figuur 93: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 1.2 waaronder de toepassing van haagbeuken aan drukke plekken (Ontwerpbureau Pauwels, 2012), de vergroening van een toegankelijke rotonde (Russo, 1892) en de vergroening van tramhaltes met groene daken (Mobilane, z.d.) en de CityBreeze (greencity solutions, z.d.)	96
Figuur 60: De individuele uitstoot reduceren via snelheidsregimes, stopplaatsen en parkings om de pollutie te reduceren		Figuur 94: De referentie ‘High Line’ (Friends of the High Line et al., 2009)	
Figuur 61: Binnen het concept voor de Minhocão Marquise in Sao Paolo zou de overhangende beplanting tot 20% van de aanwezige CO ₂ moeten capteren (Triptyque Architecture, 2017)	70	Figuur 95: Een doorsnede van de tweede sectie voor 2022	
Figuur 62: Vergroenen en beplanten om via bomen, ondergroei en verticaal groen polluenten te capteren		Figuur 96: Een doorsnede van de tweede sectie voor scenario 1	
Figuur 63: De tijdelijke bioreactor aan een brug in Genève vormt een andere technologische tool om CO ₂ te capteren (Civic architecture & IMG+, 2014)	72	Figuur 97: De tweede sectie voor scenario 1	97
Figuur 64: Technologische tools inzetten, zoals absorptiematerialen, een CityTree of een fijnstofvernevelaar, om polluenten te capteren		Figuur 98: Een sfeerbeeld voor de toepassing van scenario 2 op de Belgiëlei (sectie 1, figuur 100 op p. 100), waar de focus ligt op pollutie-ventilatie, met de referentie naar nieuwe ‘groene’ gebouwen (Atelier Jean Nouvel, 2014; Kono Designs, 2010; Triptyque Architecture, 2019)	98
Figuur 65: De Prinses Stephanie Clementinalaan in Oostende werd met lage struiken en heester aangeplant, zodat de ventilatie hier optimaal doorstroomde (Tractebel, z.d.)	73	Figuur 99: De ambitie volgens scenario 2	99
Figuur 66: Vergroenen en beplanten met aandacht voor de juiste soorten en aanplanting om via ventilatie de hoeveelheid polluenten te reduceren		Figuur 100: De isometrische weergave van scenario 2 op de eerste sectie, met aanduiding van het perspectief voor het sfeerbeeld (figuur 98, p. 98)	100
Figuur 67: De Kameleon in Amsterdam speelt met hoogtes, setbacks en permeabiliteit (NL Architects, 2012)	74	Figuur 101: De eerste sectie voor scenario 2	102
Figuur 68: Bebouwing variëren in hoogte om via ventilatie de hoeveelheid polluenten te reduceren		Figuur 102: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 2.1 waaronder de toepassing van lage bloemen- en kruidenmengsels (BD Landscape Architects, 2019), hoge hoekgebouwen (Ryder Architecture, 2015) en open (garage-) poorten (LEVS architecten, 2016)	103
Figuur 69: Bebouwing variëren met setbacks om via ventilatie de hoeveelheid polluenten te reduceren		Figuur 103: Een doorsnede van de eerste sectie voor scenario 2	
Figuur 70: Bebouwing variëren in dakvorm om via ventilatie de hoeveelheid polluenten te reduceren	75	Figuur 104: De referentie ‘De Kameleon’ (NL Architects, 2012)	
Figuur 71: Bebouwing variëren in permeabiliteit om via ventilatie de hoeveelheid polluenten te reduceren		Figuur 105: Een doorsnede van de eerste sectie voor 2022	
Figuur 72: De conceptualisatie voor de Pondy Bazaar (Chennai, India) ‘Pedestrianization’ plaatst groene barrières tussen actief en gemotoriseerd verkeer (Oasis Designs, z.d.)	76	Figuur 106: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een parallelle windrichting (ZW)	105
Figuur 73: Barrières als kruidachtigen, struiken, muurtjes en parkings worden ingezet om de blootstelling te reduceren		Figuur 107: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een schuine windrichting (WZW)	
Figuur 74: De High Line in New York City plaatst het voetpad zelfs boven de rijbanen (Friends of the High Line, James Corner Field Operations, Diller Scofidio + Renfo, & Piet Oudolf, 2009)	77	Figuur 108: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een schuine windrichting (ZZW)	
Figuur 75: De ideale laanpositie wordt bepaald om de blootstelling te reduceren		Figuur 109: De natuurlijke ventilatie tussen binnengebieden en sectie 1 van de Belgiëlei via vier garagepoorten	
-		Figuur 110: Een uitgebreide doorsnede van de eerste sectie voor 2022	
Figuur 76: De drie beste referenties omtrent pollutie reductie in Rotterdam, London en New York (Snøhetta, 2017; Urban Movement, 2022; West 8 et al., 2021)	80		
Figuur 77: De drie beste referenties omtrent pollutie captatie in Sao Paolo, Zürich en Genève (Civic architecture & IMG+, 2014; Müller Sigrist, 2015; Triptyque Architecture, 2017)	81		

Figuur 111: Een uitgebreide doorsnede van de eerste sectie voor scenario 2	
Figuur 112: De isometrische weergave van scenario 2 op de tweede sectie	106
Figuur 113: De tweede sectie voor scenario 2	108
Figuur 114: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 2.2 waaronder de toepassing van getrapte daken (CD Vastgoed, 2022), voids (Harry Gugger Studio, 2012) en groendaken (Rooftop Revolution, 2020)	109
Figuur 115: Een doorsnede van de tweede sectie voor scenario 2	
Figuur 116: De referentie ‘Prinses Stephanie Clementinalaan’ (Tractebel, z.d.)	
Figuur 117: Een doorsnede van de tweede sectie voor 2022	
Figuur 118: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een parallelle windrichting (ZW)	111
Figuur 119: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een schuine windrichting (WZW)	
Figuur 120: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een schuine windrichting (ZZW)	
Figuur 121: De natuurlijke ventilatie tussen binnengebieden en sectie 2 van de Belgiëlei via vijf garagepoorten	
Figuur 122: Een uitgebreide doorsnede van de tweede sectie voor 2022	
Figuur 123: Een uitgebreide doorsnede van de tweede sectie voor scenario 2	
Figuur 124: Een sfeerbeeld voor de toepassing van scenario 3 op de Belgiëlei (sectie 2, figuur 132 op p. 118), waar de focus ligt op het reduceren van de blootstelling	112
Figuur 125: De ambitie volgens scenario 3	113
Figuur 126: De isometrische weergave van scenario 3 op de eerste sectie	114
Figuur 127: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 3.1 waaronder de toepassing van een wandel-boulevard (de Solà-Morales, 2019), een fietspad voor twee rijrichtingen (Smet, 2016), een bomenrij van lijsterbes (Kalpana, 2022) en groene parkeerplaatsen (Bvba Verbruggen, 2020)	116
Figuur 128: De referentie ‘Coolsingel Boulevard’ (West 8 et al., 2021)	
Figuur 129: Een doorsnede van de eerste sectie voor 2022	
Figuur 130: Een doorsnede van de eerste sectie voor scenario 3	
Figuur 131: De eerste sectie voor scenario 3	117
Figuur 132: De isometrische weergave van scenario 3 op de tweede sectie, met aanduiding van het perspectief voor het sfeerbeeld (figuur 124, p. 112)	118
Figuur 133: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 3.1 waaronder de toepassing van een wandel-boulevard (de Solà-Morales, 2012) maar ook barrières als, een aerodynamische bushalte (Norfolk, 2011), een hoge zitbank (LAND Landschapsarchitecten, 2017) en een ligusterhaag (Club L 94 Landschapsarchitecte, 2013)	120
Figuur 134: De referentie ‘Pondy Bazaar Pedestrianization’ (Oasis Designs, z.d.)	
Figuur 135: Een doorsnede van de tweede sectie voor 2022	
Figuur 136: Een doorsnede van de tweede sectie voor scenario 3	
Figuur 137: De tweede sectie voor scenario 3	121
Figuur 138: Een sfeerbeeld voor de toepassing van scenario 4 op de Belgiëlei (sectie 1, figuur 140 op p. 124), waar de focus ligt op het voorstellen van een haalbare mix aan doelstellingen en tools	122
Figuur 139: De ambitie volgens scenario 4	123
Figuur 140: De isometrische weergave van scenario 4 op de eerste sectie, met aanduiding van het perspectief voor het sfeerbeeld (figuur 138, p. 122)	124
Figuur 141: De eerste sectie voor scenario 4	126
Figuur 142: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 4.1 waaronder een groene tramberm (Stockholm Resilience Centre, 2021) een bomenrij van lijsterbes (Kalpana, 2022), hoge hoekgebouwen (Ryder Architecture, 2015) en open (garage-) poorten (LEVS architecten, 2016)	127
Figuur 143: Een doorsnede van de eerste sectie voor scenario 4	
Figuur 144: De referentie ‘Pondy Bazaar Pedestrianization’ (Oasis Designs, z.d.)	
Figuur 145: Een doorsnede van de eerste sectie voor 2022	
Figuur 146: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een parallelle windrichting (ZW)	129
Figuur 147: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een schuine windrichting (WZW)	
Figuur 148: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een schuine windrichting (ZZW)	

Figuur 149: De natuurlijke ventilatie tussen binnengebieden en sectie 1 van de Belgiëlei via één garagepoort	
Figuur 150: Een uitgebreide doorsnede van de eerste sectie voor 2022	
Figuur 151: Een uitgebreide doorsnede van de eerste sectie voor scenario 4	
Figuur 152: De isometrische weergave van scenario 4 op de tweede sectie	130
Figuur 153: De tweede sectie voor scenario 4	132
Figuur 154: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 4.2 waaronder de vergroening van een toegankelijke rotonde (Russo, 1892), de toepassing van getrapte daken (CD Vastgoed, 2022), de vergroening van tramhaltes m.b.v. groene daken (Mobilane, z.d.) en een ligusterhaag (Club L 94 Landschapsarchitecte, 2013)	133
Figuur 155: Een doorsnede van de tweede sectie voor scenario 4	
Figuur 156: De referentie ‘Prinses Stephanie Clementinalaan’ (Tractebel, z.d.)	
Figuur 157: Een doorsnede van de tweede sectie voor 2022	
Figuur 158: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een parallelle windrichting (ZW)	135
Figuur 159: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een schuine windrichting (WZW)	
Figuur 160: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een schuine windrichting (ZZW)	
Figuur 161: De natuurlijke ventilatie tussen binnengebieden en sectie 2 van de Belgiëlei via één garagepoort	
Figuur 162: Een uitgebreide doorsnede van de tweede sectie voor 2022	
Figuur 163: Een uitgebreide doorsnede van de tweede sectie voor scenario 4	
Figuur 164: Een overzicht van de ambities, doorsnedes en isometrische weergaves van de vier scenario's	136
-	
Figuur 165: De bijdrage van de scenario's op leefbaarheids-aspecten binnen de Belgiëlei, weergegeven op een spingrafiek (gebaseerd op bijlage 9)	141
Figuur 166: De haalbaarheid van de toepassing van de scenario's op de Belgiëlei, weergegeven op een spingrafiek (gebaseerd op bijlage 9)	
Figuur 167: Een overzicht van de vier scenario's en de toegepaste tools	142
Figuur 168: Figuur 168: Een overzicht van de te nemen stappen door stedelijke/lokale en bovenlokale besturen en ruimtelijk planners	144
-	
Figuur 169: De analyse-kaarten welke de verkeersintensiteit en de modal split weergeven, met nummering van de meetpunten 1-6	164
Figuur 170: De bereikbaarheid (zonder overstappen) en de reistijd van de trams welke op of nabij de Belgiëlei stoppen, schaal 1:75.000 (Vlaamse Overheid, 2022; Vlaamse Vervoersmaatschappij De Lijn, 2022)	166
Figuur 171: De bereikbaarheid (zonder overstappen) en de reistijd van de bussen welke op of nabij de Belgiëlei stoppen, schaal 1:75.000 (Vlaamse Overheid, 2022; Vlaamse Vervoersmaatschappij De Lijn, 2022)	167
Figuur 172: De aangebrachte wijzigingen aan de bebouwing binnen scenario 2.1	172
Figuur 173: De oorspronkelijke bebouwing binnen de eerste sectie (links naar rechts, 2022)	
Figuur 174: De aangebrachte wijzigingen aan de bebouwing binnen scenario 2.2	173
Figuur 175: De oorspronkelijke bebouwing binnen de tweede sectie (links naar rechts, 2022)	
Figuur 176: De aangebrachte wijzigingen aan de bebouwing binnen scenario 4.1, in relatie tot de onmiddellijke omgeving	174
Figuur 177: De oorspronkelijke bebouwing binnen de eerste sectie (links naar rechts, 2022)	
Figuur 178: De aangebrachte wijzigingen aan de bebouwing binnen scenario 4.2, in relatie tot de onmiddellijke omgeving	175
Figuur 179: De oorspronkelijke bebouwing binnen de tweede sectie (links naar rechts, 2022)	

AFKORTINGEN

AR	Aspect Ratio: de hoogte-breedte verhouding (H/B) van belang in street canyons
BFF	Bovenlokaal Functioneel Fietsnetwerk
BHR	Building Height Ratio: de ratio tussen de windop- (H_{upwind}) en windneerwaartse bouwhoogte ($H_{downwind}$)
BPA	Bijzonder Plan van Aanleg: bevat verordenende voorschriften
CO _x	Koolstofmonoxide of koolstofdioxide: pollutanten welke de luchtkwaliteit verminderen
CFD	Computational Fluid Dynamics, een computermodel om de effectiviteit van ingrepen te schatten
EC	Elementaire Koolstof: pollutent welke de luchtkwaliteit vermindert
GIS	Geografisch Informatie Systeem: een computerprogramma om kaarten mee te genereren
GRB	Grootschalig Referentie Bestand: de basiskaart van Vlaanderen
GRUP	Gewestelijk Ruimtelijk Uitvoeringsplan: bevat verordenende voorschriften
LAD	Leaf Area Density: de totale bladoppervlakte t.o.v. de grondoppervlakte van een plant
LEZ	Lage Emissie Zone: een zone waar uitstootnormen bepalen welke voertuigen binnen mogen
N	Het noorden of 0°
NEC	NEC-richtlijn: National Emission Ceilings of nationale emissieplafondrichtlijn
NH ₃	Ammoniak: pollutent welke de luchtkwaliteit vermindert
NO	Het noordoosten of 45°
NO _x	Stikstofoxiden of stikstofdioxide: pollutanten welke de luchtkwaliteit verminderen
NW	Het noordwesten of 315°
O	Het oosten of 90°
O ₃	Ozon: pollutent welke de luchtkwaliteit vermindert
OV	Openbaar Vervoer
PAK	Poly-Aromatische Koolwaterstoffen: pollutanten welke de luchtkwaliteit verminderen
PBRA	Provinciaal Beleidsplan Ruimte Antwerpen

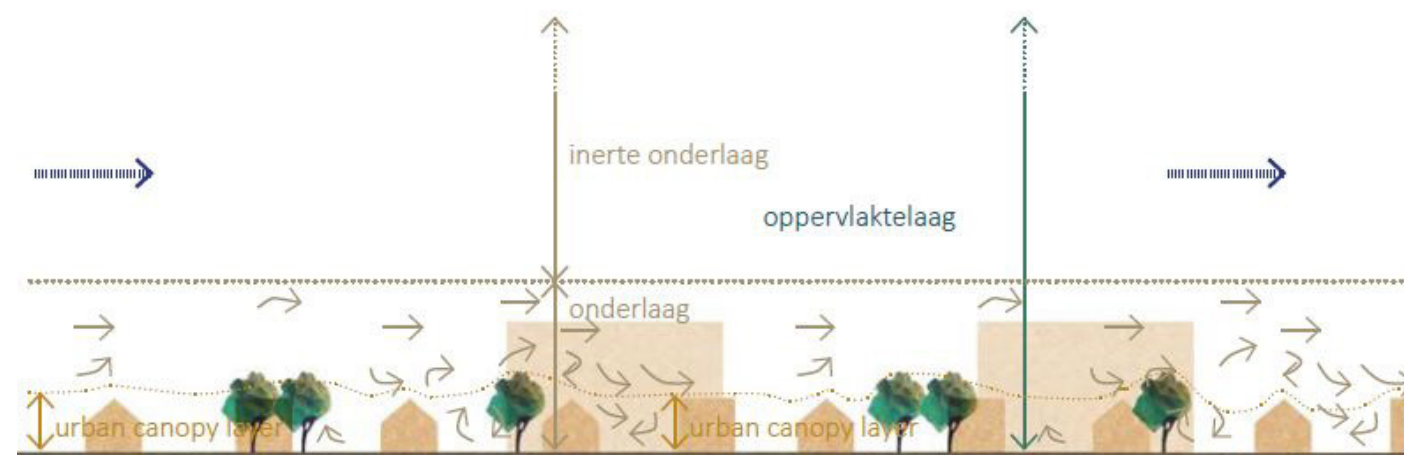
PM	Particulate Matter: pollutanten van maximaal 2,5 of 10 µm welke de luchtkwaliteit verminderen
PP	Parkeerplaatsen
r	Straal (van een cirkel)
RSV	Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen
RSPA	Ruimtelijk Structuurplan Provincie Antwerpen
RUP	Ruimtelijk Uitvoeringsplan: bevat verordenende voorschriften
s-RSA	Strategisch Ruimtelijk Structuurplan Antwerpen (gemeentelijk niveau)
SO _x	Zwaveloxiden of zwaveldioxide: pollutanten welke de luchtkwaliteit verminderen
STOP	Stappers, Trappers, Openbaar vervoer en Personenwagens: een hiërarchisch principe
UCL	Urban Canopy Layer: de laag lucht tussen het oppervlak en de bovenkant van gebouwen
UFP	Ultra Fine Particles: pollutent van maximaal 0,1 µm welke de luchtkwaliteit verminderd
UHI	Urban Heat Island effect of hitte-eiland effect (in steden)
v/h	Vehicles per Hour: aantal voertuigen per uur, een meeteenheid voor de verkeersintensiteit
V/T	Vloer-Terrein Index: de totale bruto vloeroppervlakte van alle gebouwen t.o.v. de totale terreinoppervlakte
VMM	Vlaamse Milieu Maatschappij: Vlaamse instantie die werkt omtrent water, lucht en klimaat(adaptatie)
VOS	Vluchtige Organische Stoffen: pollutanten welke de luchtkwaliteit verminderen
W	Het westen of 270°
WHO	World Health Organisation: organisatie binnen de Verenigde Natie, geven sturing en coördinatie rond gezondheid en welzijn
WZW	Het westzuidwesten of 247,5°
Z	Het zuiden of 180°
ZO	Het zuidoosten of 135°
ZW	Het zuidwesten of 225°
ZZW	Het zuidzuidwesten of 202,5°

Het gevaar van een slechte luchtkwaliteit voor de menselijke **gezondheid** wordt vandaag globaal erkent. Volgens de 'World Health Organization' (WHO) daalt het aandeel van de Vlaamse bevolking dat aan te hoge concentraties wordt blootgesteld, maar desondanks blijft tot heden nog steeds 60% van de Vlamingen blootgesteld aan concentraties die de normen overschrijden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b). De aanwezigheid van een slechte luchtkwaliteit is grotendeels te wijten aan een hoge concentratie aan vervuilende stoffen zoals fijn stof (PM_{10} , $PM_{2,5}$, elementaire koolstof en UFP) en NO_2 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020b). Het Vlaamse Luchtbeleidsplan stelt de gezondheidsdoelstelling om het aantal vroegtijdige overlijdens door blootstelling aan fijn stof tegen 2030 te halveren t.o.v. 2005; een reductie van ongeveer 6.000 naar maximaal 3.000 gerelateerde vroegtijdige overlijdens (Departement Omgeving, 2019). De Mobiliteitsraad (2021) stelt echter vast dat het Luchtbeleidsplan concrete maatregelen mist ter uitvoering van zijn ambities.

Probleemstelling

In een stedelijke omgeving vormen pollutanten een groter risico, aangezien deze langer aanwezig blijven binnen de **'urban canopy layer'** (UCL, figuur 1); de laag lucht gaande van het oppervlak tot de bovenzijde van de omliggende gebouwen (Oke, 1976). Binnen deze laag, waar de blootstelling hoog is door een verhoogde woondichtheid en menselijke activiteit, wordt het lokale klimaat mede bepaald door plaatselijke luchtstromen en vooral een gebrek aan natuurlijke ventilatie en luchtuitwisseling met de luchtlagen boven de UCL. In bepaalde straten binnen steden is er dan ook sprake van een accumulatie aan pollutanten afkomstig van verkeer wanneer de luchtverversing in de UCL wordt beperkt.

Street canyons (straten aan weerszijde begrensd door een aaneengesloten, hoge bebouwing, figuur 2) vormen hierin de meest voorkomende knelpuntzones. Onderzoek naar de luchtkwaliteit in steden als Antwerpen (Vito, 2019) toont aan dat de concentraties aan NO_2 in street canyons bijna even hoog liggen als op snelwegen of ringwegen, ook al is er sprake van een veel lagere verkeersintensiteit. Dit onderzoek impliceert het belang van maatregelen die inzetten op de bevordering van de natuurlijke ventilatie.



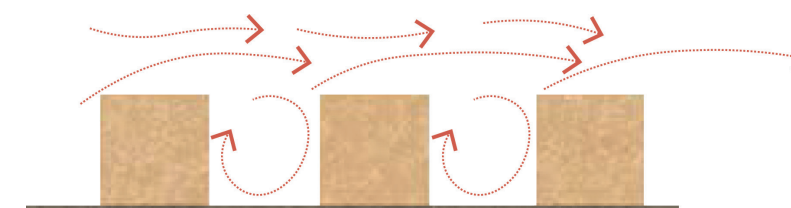
Figuur 1: De invloed van bebouwing en vegetatie op de luchtstromen in de onderlaag (Depauw et al., 2018)

Voor de reductie van pollutant-concentraties focust de Europese 'clean air policy' zich echter voornamelijk op het reduceren van emissies, terwijl onderzoek vaststelt dat **verkeersmaatregelen** algemeen ontoereikend zijn en dat hun effectieve impact op de luchtkwaliteit onvoldoende bewezen is (Bigazzi & Rouleau, 2017). Zo past ook de Stad Antwerpen voornamelijk verkeersmaatregelen toe, zoals de Lage Emissie Zone (LEZ), waarvan de effecten onvoldoende bewezen zijn (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020b). Daarnaast zorgen mobiliteitsplannen en het knippen van bepaalde straten voor (weinig onderzochte) veranderende verkeersstromen. Verkeersmaatregelen kunnen binnen street canyons dan ook best toegepast worden in combinatie met **mitigerende en passieve maatregelen**. Deze laatste methode werkt in op het bevorderen van de natuurlijke ventilatie en zo ook de verspreiding en verdunning van pollutant-concentraties (Gallagher, Gill, & McNabola, 2011; Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). Tenslotte is er ook nood aan de onmiddellijke **reductie van de blootstelling aan luchtvervuiling**, ter bescherming van de gezondheid van de actieve en kwetsbare weggebruikers (Departement Omgeving, 2019).

Onderzoeksvragen

Het effect van ruimtelijke ingrepen op de luchtkwaliteit in street canyons is relatief onbekend voor ruimtelijke planners (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). In de praktijk wordt de combinatie van deze ingrepen op specifieke cases nog onvoldoende toegepast om de effectiviteit te kunnen vaststellen. Binnen deze masterproef wordt daarom via ontwerpend onderzoek de eerste stap richting een toepassing gezet, voor een Antwerpse street canyon; de Belgiëlei.

- **Welke ruimtelijke ingrepen kunnen ingezet worden om luchtvervuiling en blootstelling in street canyons te reduceren?**
- Op welke manier kunnen deze ingrepen synergetisch ingezet worden?
- Hoe kunnen deze ruimtelijke ingrepen bijdragen aan de verbetering van de luchtkwaliteit en leefbaarheid binnen een bepaalde case study (Belgiëlei)?
- En wat is de haalbaarheid van de werkelijke implementatie van de ruimtelijke ingrepen, gezien de planningscontext van de case study?

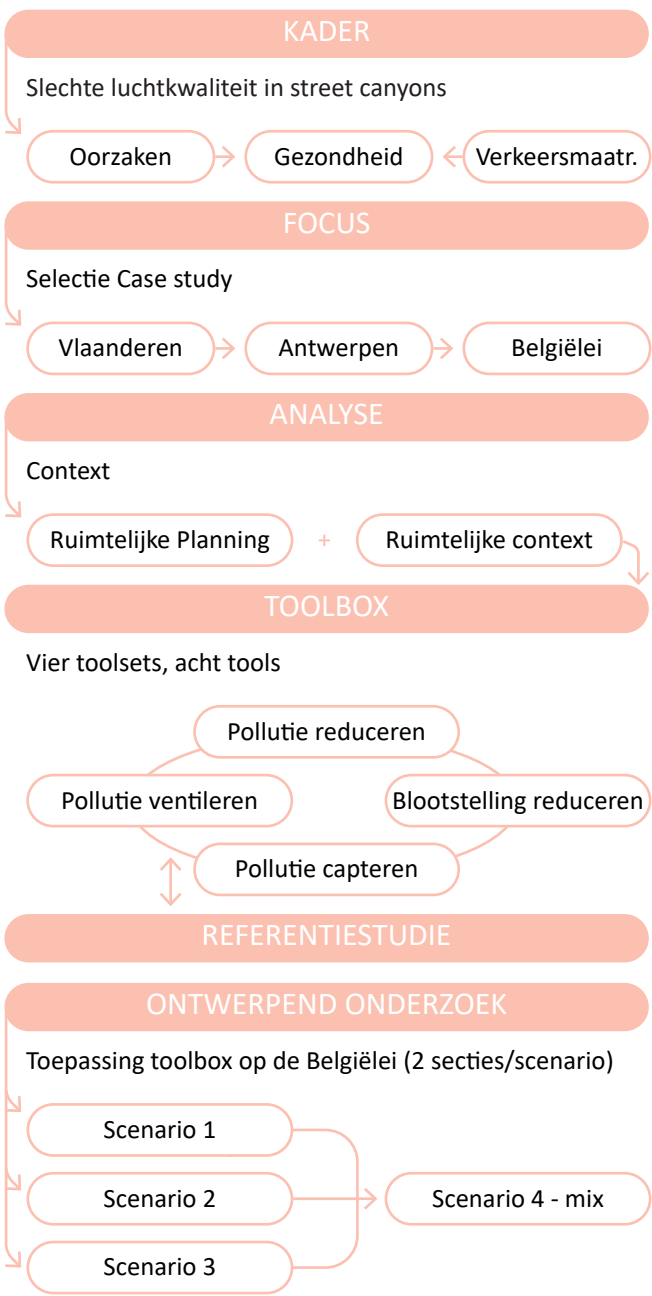


Figuur 2: Een middellange street canyon, hier met 'skimming flow' over de straat (Depauw et al., 2018)

Methodiek

De gehanteerde methodiek binnen deze masterproef zorgt voor een omzetting van algemene theorie naar concrete scenario's. Allereerst wordt de problematiek rond de slechte luchtkwaliteit binnen street canyons grondig gekaderd. Vervolgens wordt gefocust op de actuele context rond de luchtkwaliteit in Vlaanderen, vanwaaruit steeds scherper wordt ingezoomd tot op het niveau van de street canyon, met de uiteindelijke selectie van de case study. Deze case wordt aan een grondige analyse onderworpen, via een raadpleging van desktop-data maar ook via locatiebezoeken. Dit verheldert de mogelijkheden voor de toepassing van ruimtelijke ingrepen op twee segmenten van de Belgiëlei.

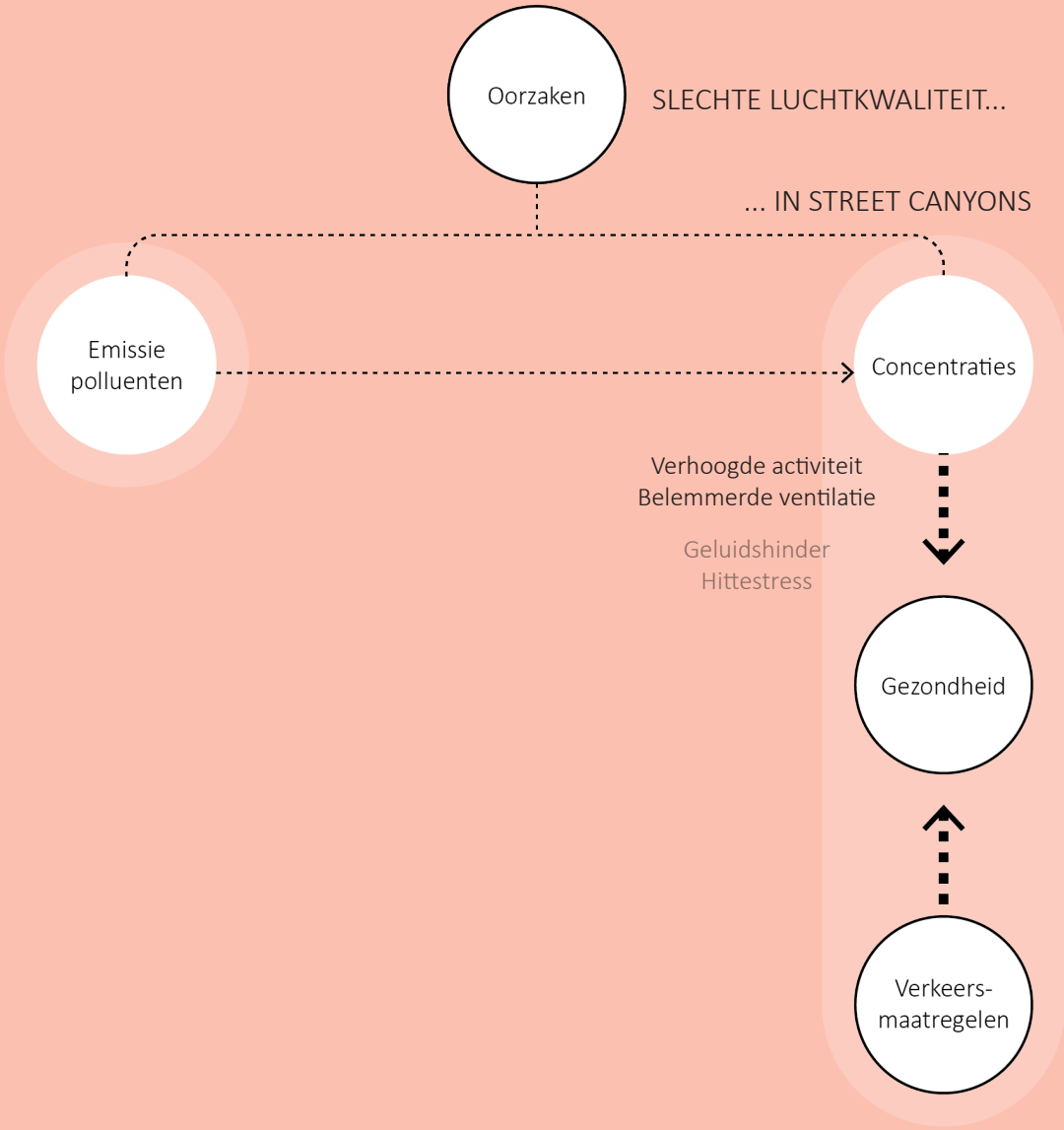
Na het uiteenzetten van de “state of the art” (literatuurstudie en analyse) volgt het opstellen van een toolbox met maatregelen ter bevordering van de luchtkwaliteit in street canyons. Deze toolbox vormt de opsomming van relevante maar vaak theoretische ingrepen uit wetenschappelijke literatuur inzake street canyons. Ook wordt de link gelegd tussen deze tools en reeds bestaande ‘best practices’ en concepten binnen een referentiestudie. Binnen het ontwerpend onderzoek worden tenslotte verschillende optimale maar extreme scenario's opgemaakt voor de Belgiëlei ten gunste van de lokale luchtkwaliteit. Hieruit volgen aanbevelingen omtrent de implementatie en de haalbaarheid.



Doel

Deze masterproef kan als praktische handleiding gebruikt worden door ruimtelijke planners: zowel tijdens de aanpak van bestaande street canyons, alsook preventief tijdens de uitwerking van nieuwe ontwikkelingen. De uitwerking van de verschillende scenario's, welke steeds focussen op verschillende uitgangspunten, benadrukt de flexibiliteit van deze handleiding. Ook worden obstakels in de vorm van verordenende voorschriften aangeduid voor beleidsmakers.

KADER



OORZAKEN SLECHTE LUCHTKWALITEIT IN STREET CANYONS

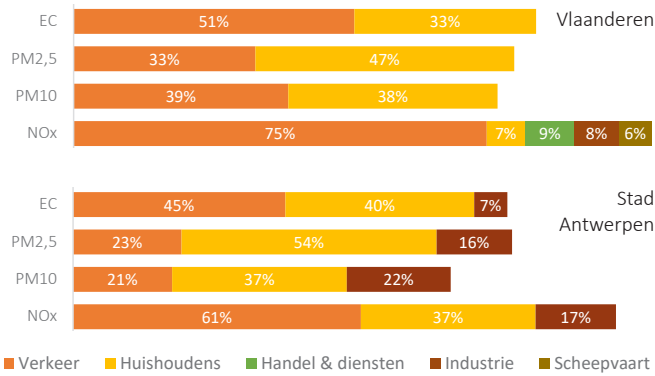
Emissie polluenten

Vervuilende stoffen zoals fijn stof (PM_{2,5} en PM₁₀), vluchtige organische stoffen (VOS), stikstofoxiden (NO_x), zwaveldioxide (SO₂), elementaire koolstof (EC) en ammoniak (NH₃) zorgen voor een verminderde luchtkwaliteit (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b). Verkeer en huishoudens vormen hierbij de voornaamste uitstootbronnen (figuur 3) van de meest voorkomende polluenten zoals EC, fijn stof en stikstofdioxide (NO₂) (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021c, 2021d).

Gebouwenverwarming zorgt voornamelijk voor de uitstoot van fijn stof en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's). De laatste jaren daalt het gebruik van stookolie en steenkool, maar tot heden blijft vooral het stoken van hout verantwoordelijk voor een groot aandeel van het fijn stof en kankerverwekkende stoffen in de lucht. Huishoudelijke houtstook en verkeer zorgen samen voor 70% van de totale uitstoot aan EC in Vlaanderen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b).

Verkeer zorgt voornamelijk voor emissies van fijn stof, NO₂ en EC. Voertuigen worden minder vervuilend, mede dankzij de elektrificatie en de reductie aan gewicht, massa en grootte (Pardj, 2021). Door het toenemende aantal wagens en gereden kilometers wordt deze verbetering echter teniet gedaan. Onderzoek concludeert dat verkeersvolumes ook door turbulentie en resuspensie bijdragen aan PM₁₀ concentraties in de lucht, met daarbij een beperkte impact van de niet-uitstoot (Keuken, van der Gon, & van der Valk, 2010; Vlaamse Milieumaatschappij, 2021c).

Niet-uitstoot gerelateerde pollutie omvat PM₁₀-deeltjes die de luchtkwaliteit aantasten wanneer road dust opvliegt. Het gaat dan om zout, zand, afbraakmateriaal van de weg/banden/remmen en andere materialen. De grootste bijdrage wordt volgens onderzoek geleverd door afgesleten winterbanden met profiel (Stojiljkovic et al., 2019). Ander onderzoek impliceert dat voornamelijk partikels van oppervlaktemateriaal terug te vinden zijn in het stof (Keuken et al., 2010). Daarnaast zou een grotere verkeerssnelheid meer niet-uitstoot gerelateerde pollutie creëren, maar het effect van de verhoogde turbulentie op de resuspensie van stof in de lucht is nog onduidelijk gebleken. Wel raden experts aan gewichtseisen op te leggen aan producenten (Timmers & Achten, 2016) en lokale autoriteiten zouden weg-slijtage moeten tegengaan (Harrison et al., 2021).



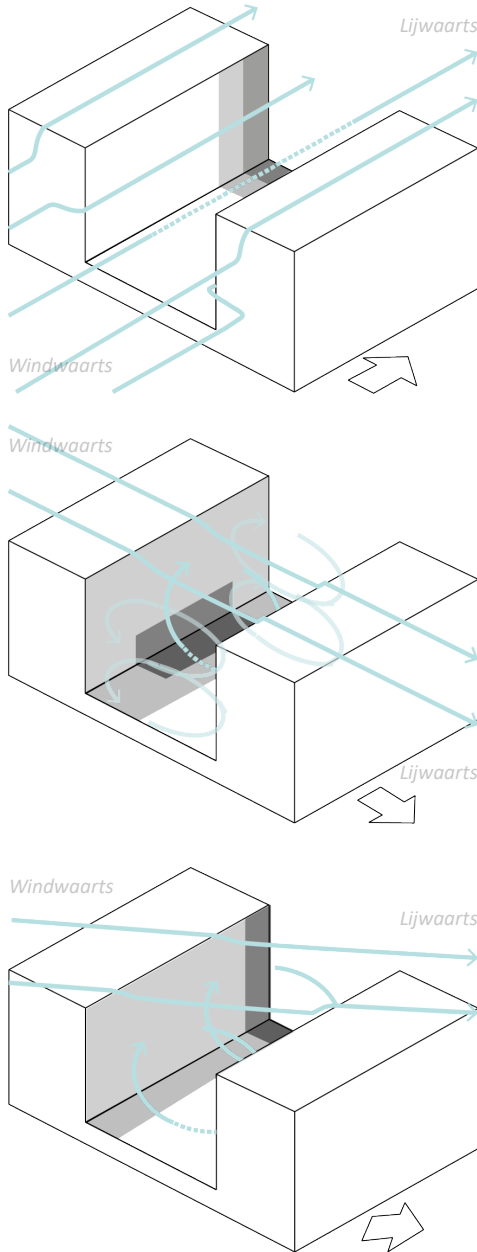
Figuur 3: De oorzaken voor polluenten in Vlaanderen en de Stad Antwerpen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021c, 2021d)

Polluent-concentraties in street canyons

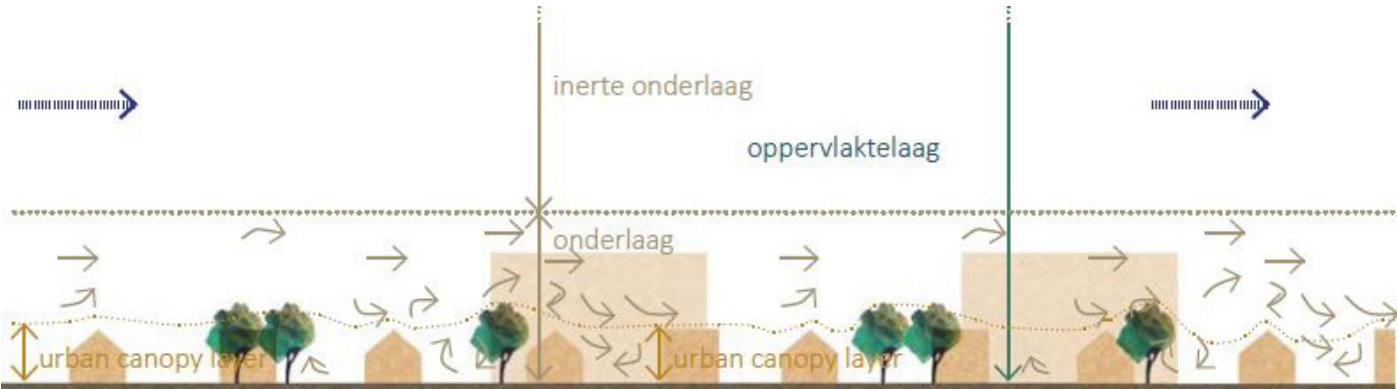
Naast de emissies zelf hebben ook **achtergrondconcentraties**, lokale ventilatiepatronen en de stedelijke morfologie een sterke impact op de menselijke blootstelling aan vervuilde lucht, vooral in zogenaamde street canyons (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). **Street canyons** zijn smalle straten geflankeerd door aaneengesloten gevels. Bij toenemende verkeersdrukte kunnen de concentraties ophopen, mede door de lokale uitstoot op lage hoogte en een gebrek aan dispersie door (natuurlijke) luchtcirculatie of -verversing (Voordeckers, Meysman, Billen, Tytgat, & Van Acker, 2021). Voornamelijk de dominante windrichting bepaalt waar de hoogste concentraties aan polluenten kunnen teruggevonden worden binnen de street canyon (figuur 4).

Gezien het gebrek aan natuurlijke ventilatie in street canyons wordt op figuur 5 een blik geworpen op de verschillende relevante **luchtlagen** binnen de stedelijke atmosfeer (Depauw, van den Berg, Dens, Lenzholzer, & Steeneveld, 2018; Oke, 1976). Belangrijk is daarbij de oppervlaktelaag, welke reikt van het maaiveld tot enkele meters boven de bebouwing en vegetatie. Daarbinnen kan een onderscheid gemaakt worden tussen de inerte onderlaag, zonder verstoring van luchtstromen, en de onderlaag. Binnen de onderlaag bevindt zich de 'Urban Canopy Layer' of UCL (maaiveld tot bovenzijde gebouwen), waar gebouwen en vegetatie de luchtstromen sterk beïnvloeden en het lokale klimaat bepalen (Oke, 1976).

Binnen de UCL speelt op het niveau van de street canyons de **'aspect ratio'** (AR) een belangrijke rol. Deze wordt berekend met de hoogte (H) en de breedte (B) van de straat ($AR = H / B$). Theoretisch wordt een gebrek aan natuurlijke ventilatie vastgesteld wanneer voor een bepaalde street canyon de AR hoger ligt dan 0,65 (Departement Omgeving, 2019; Voordeckers, Meysman, et al., 2021). Hier geldt een soort 'skimming flow' waarbij een ontkoppeling plaatsvindt van de bovenste luchtlagen en de onderste luchtlagen tussen de gebouwen, waardoor geen natuurlijke ventilatie en dus verdunning van polluenten optreedt. Onderzoek toont hierbij aan dat de kans op een slechte luchtkwaliteit (die de WHO-norm van 40µg/m³ NO₂ overschrijdt) sterk toeneemt, wanneer in een street canyon met AR>0,65 de verkeersintensiteit de grenswaarde van 300 gemotoriseerde voertuigen per uur overschrijdt (Voordeckers, Meysman, et al., 2021).



Figuur 4: De hoogste concentraties gemeten bij een parallelle, loodrechte en schuine windrichting, gebaseerd op (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021)



Figuur 5: De invloed van bebouwing en vegetatie op de luchtstromen in de onderlaag (Depauw et al., 2018)

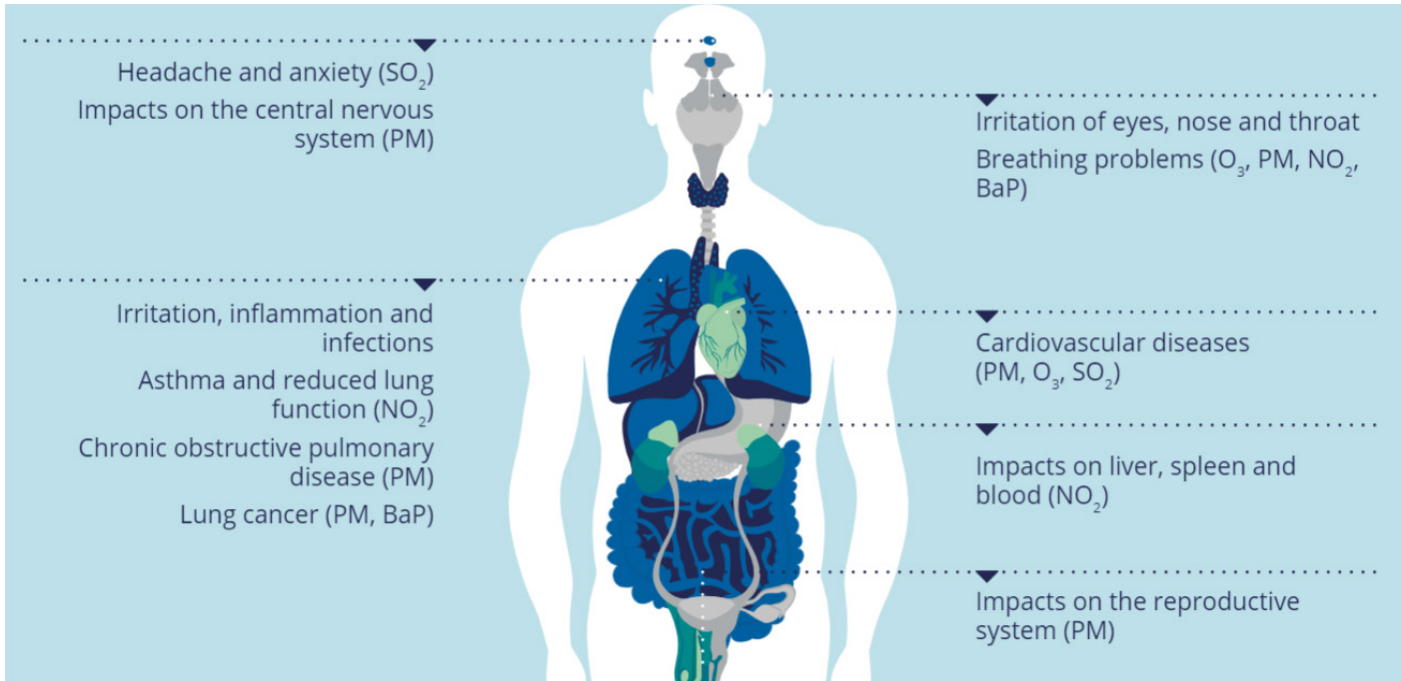
STREET CANYONS & GEZONDHEID

Een slechte luchtkwaliteit heeft een negatieve impact op de gezondheid, **afhankelijk van de emissie, concentratie en blootstelling** (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d). De grootste impact wordt veroorzaakt door hogere concentraties fijn stof, NO₂ en ozon (O₃), maar ook SO₂ en koolstofmonoxide (CO). Voor 2018 worden vroegtijdige overlijdens door PM_{2,5}, NO₂ en O₃ respectievelijk geschat op 4.800, 1.500 en 200 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d). Deze stoffen hebben een grote impact op een breed scala aan organen en lichaamsfuncties (figuur 6) en kunnen ook levensgevaarlijke gevolgen hebben. Ze reduceren longcapaciteit, veroorzaken ademhalingsinfecties en astma voor kinderen, en zorgen bij volwassenen voor hartziekten en beroertes met kans op vroegtijdige sterfte (World Health Organization, 2021). Volgens het WHO wordt 60% van de Vlamingen blootgesteld aan te hoge pollutant-concentraties (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b). Street canyons kunnen hierbij een significante impact hebben op de menselijke gezondheid door de combinatie van een verhoogde menselijke activiteit en een gebrek aan natuurlijke ventilatie (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021).

Binnen deze thesis wordt de nadruk gelegd op de luchtkwaliteit, maar ook andere factoren beïnvloeden de stedelijke gezondheid. Het verkeer vormt ook de grootste oorzaak voor **geluidshinder**, met opnieuw een negatieve impact op de gezondheid. Zo kunnen luchtverontreiniging en geluidshinder conceptueel zelfs als ‘co-exposure factors’ benoemd worden, wat een synergetische blootstelling impliceert (Vlachokostas, Achillas, Michailidou, & Moussiopoulos, 2012). Voornamelijk

de aaneengesloten bebouwing in street canyons doet beide factoren toenemen (Khan, Ketzel, Kakosimos, Sørensen, & Jensen, 2018). Daarnaast speelt ook meteorologie een rol voor geluidsdispersie. Geluidsoverlast kan bij een langdurige blootstelling de levenskwaliteit verlagen, maar ook gehoorschade en een verkorting van het aantal levensjaren teweeg brengen (World Health Organization, 2018). Geluidsoverlast is namelijk een stress-inducerend aspect, met gevolgen voor de psychologische en psychosociale staat.

Tenslotte heeft ook **hittestress** impact op de gezondheid. Echte hittegolven kunnen onder andere tot beroertes, schade aan organen en de dood leiden (Kovats & Hajat, 2008). Het hitte-eiland-effect of 'Urban Heat Island effect' (UHI) is reeds een gekend fenomeen binnen steden, waar oppervlakte-materialen warmtestraling absorberen en traag weer afgeven. Condities gekenmerkt door een hoge temperatuur, lage vochtigheidsgraad, lage windsnelheid en een heldere lucht dragen bij tot het UHI, maar ook tot een lagere luchtkwaliteit (Giannopoulou, Santamouris, Livada, Georgakis, & Couris, 2010; Lai & Cheng, 2009). Het UHI heeft dan ook een impact op de luchtcirculatie in steden; ze legt een thermische grenslaag over de stad en veroorzaakt zoals bij street canyons meer convergentie van luchtdeeltjes op lagere niveaus (Lemonsu & Masson, 2002). De accumulatie van voornamelijk O₃ en NO_x is daarbij het sterkst tijdens het nachtelijke UHI (Lai & Cheng, 2009). Dit laatste onderzoek toont aan dat de link tussen het ‘Urban Heat Island’ en ‘Urban Pollution Island’ gecombineerde mitigatiestrategieën vereist.



Figuur 6: De gezondheidsimpact van luchtvervuiling op het lichaam (European Environment Agency, 2019)

COURANTE AANPAK STREET CANYONS: VERKEERSMAATREGELEN

Overheden passen verkeersmaatregelen toe om vaak lokale problematieken als luchtvervuiling of verkeersonveiligheid op te lossen. Verkeersmaatregelen hebben een impact op de verplaatsingsactiviteit, -modus, -snelheid en het type voertuig (Bigazzi & Rouleau, 2017). Deze maatregelen omvatten o.a. gebruiksbependingen en -prijzen (Lage Emissiezone/LEZ en betalend parkeren), laanbeheer, snelheidsbeheer, controle op de verkeersstroom (signalisatie en tol) en het beperken van het aantal gemotoriseerde verplaatsingen. **Bewijs voor de significantie van de effecten van deze verkeersmaatregelen wordt ontoereikend bevonden.**

Verkeersmaatregelen en wegenwerken hebben daarnaast mogelijks ook een **negatief effect op de luchtkwaliteit van de (directe) omgeving** (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021c). Maatregelen kunnen ervoor zorgen dat verkeersstromen verplaatst worden naar meer voordelige of vlote routes. Deze straten zijn vaak niet voorzien op een grotere doorstroom, met filevorming en hogere pollutant-concentraties tot gevolg. In Antwerpen zorgden de heraanleg van de Leien (knip sinds 2017) en de wegenwerken aan de Plantin en Moretuslei (2019) bijvoorbeeld voor een wijziging in verkeersstromen, waardoor de meetstations niet meer de drukste routes konden monitoren.

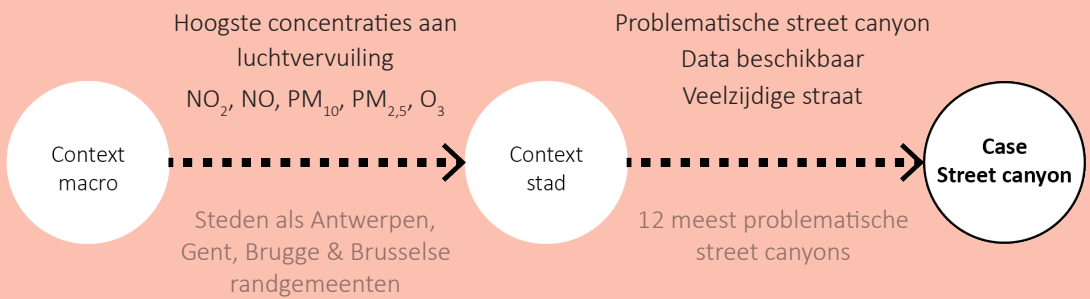
De effectieve impact van verkeersmaatregelen is ook vaak moeilijk te monitoren. Zo is bijvoorbeeld de effectiviteit van de **LEZ binnen de ring van Antwerpen** (sinds 2017, figuur 7) moeilijk te meten. De LEZ legt een toegangsverbod op voor voertuigen die niet voldoen aan de uitstootnorm, tenzij de eigenaren hiervoor betalen. De invoer van de LEZ resulteerde vermoedelijk in een daling in concentraties van zwarte koolstof. Verder zouden de concentraties in de Antwerpse binnenstad vergeleken moeten worden met een gelijkaardige stad zonder LEZ. Het effect van het weer en de vernieuwing van het wagenpark kunnen zo ingecalculleerd worden. Toch kunnen onder andere verkeersmaatregelen, het aantal en de ligging van de meetplaatsen en lokale klimatologische effecten zulk een vergelijking belemmeren (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020b).

De LEZ brengt ook **indirecte effecten** met zich mee, zowel positief als negatief. Volgens Duits onderzoek (Jiang, Boltze, Groer, & Schuivens, 2017) kan de introductie van LEZ's een effect hebben gehad op nieuwe transport-technologieën, resulterend in lagere emissies. Daarnaast hebben de zones de producent en consument attent gemaakt op luchtvervuiling. Negatieve effecten bevinden zich veeleer op sociaal vlak, waar de regeling als een armoedebelasting kan worden ervaren (Goukens, 2017), aangezien minderbedeelde bevolkingsgroepen hun dieselwagens niet zomaar kunnen inruilen bij elke verstrenging van de normen (zoals in 2020 en eventueel 2024).



Figuur 7: De afbakening van de LEZ binnen de Antwerpse Ring (De Standaard, 2017)

FOCUS



Methode

Om beter grip te krijgen op de luchtkwaliteit in street canyons (binnen Vlaanderen), wordt een case study gekozen welke als ‘schoolvoorbeeld’ kan worden heringericht in functie van een betere luchtkwaliteit en minder blootstelling aan pollutanten.

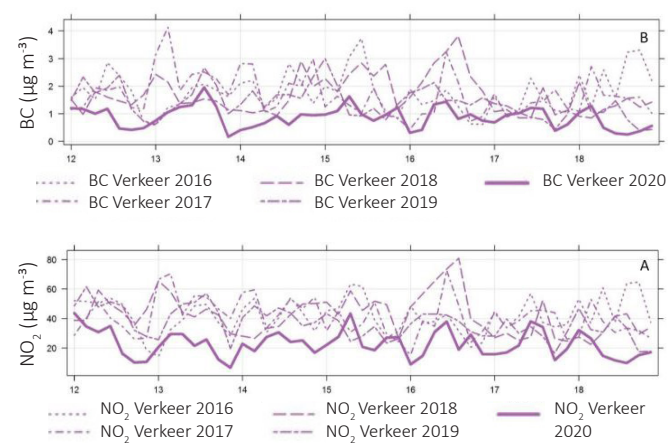
Om verder in te gaan op de luchtkwaliteit in street canyons, wordt steeds een onderscheidt gemaakt tussen pollutent-concentraties en blootstelling. Gegevens zijn hier voornamelijk afkomstig van VMM-rapporten en studies (CurieuzeNeuzen, Straatvinken en strategische verkeersmodellen). Allereerst wordt de situatie in Vlaanderen gekaderd. Kaarten met gegevens omtrent concentraties en blootstelling zullen hier probleemgebieden blootleggen op een hoger schaalniveau. Hieruit wordt het gebied met de meest problematische gegevens gekozen. Vervolgens wordt op dit selectiegebied ingezoomd om in meer detail de meest problematische regio’s op microniveau te ontwaren. De case study wordt tenslotte gekozen aan de hand van drie parameters;

1. Is het een problematische street canyon?
2. Is er data beschikbaar?
3. Is het een veelzijdige street canyon?

CONTEXT I Vlaanderen

Concentraties

De Vlaamse luchtkwaliteit wordt door de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) strikt gemonitord, welke een jaarlijkse verbetering waarneemt (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b). Dit is allereerst te wijten aan de daling van de pollutie vanuit de industrie en de energiesector. Ook zorgde de **invoer van de coronamaatregelen** in 2020 voor een algemene reductie van het verkeer en zo een uitstootreductie van BC en NO₂; de voornaamste polluenten gerelateerd aan verkeer. Zo werd in 2020 in stedelijke verkeerslocaties op sommige momenten zelfs een daling in concentraties van 40% t.o.v. voorgaande jaren waargenomen (figuur 8) en waren effecten sterk zichtbaar in Antwerpen en Gent (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020a). De VMM stelt wel vast dat er geen sprake is van een echte trendbreuk, aangezien de polluenten niet enkel van verkeer afkomstig zijn en er in deze periode ongunstige weersomstandigheden (weinig neerslag en lage windsnelheden) voorkwamen.



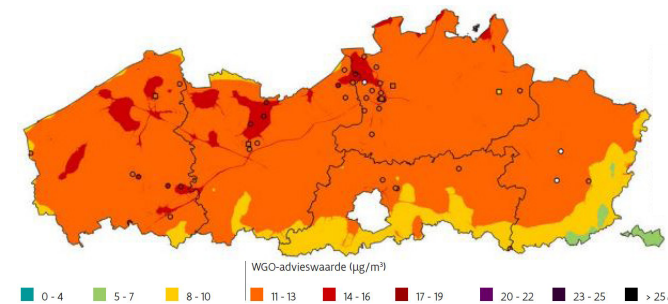
Figuur 8: Concentraties gemeten tijdens de coronamaatregelen voor BC en NO₂ op verschillende verkeerslocaties (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020a)

Tabel 1: De gemiddelde waarden voor stedelijk Vlaanderen overschreden in 2019 vaak de advieswaarden van de WHO en altijd de verstrengde maatregelen van 2021 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)

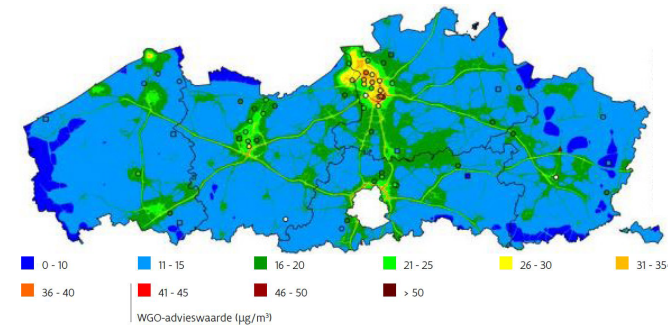
	NO ₂		NO		PM ₁₀		PM _{2,5}		O ₃	
	jaargem.	#uren	jaargem.	#uren	jaargem.	#uren	jaargem.	#uren	8u-gem./dag	#uren
EU-grenswaarde (2016)	40	18			40	35	25		25	0
WHO-advieswaarde (2005)	40	0			20	3	10	3		
WHO-drempelwaarde	20									
WHO-advieswaarde (2021)	10				15		5			
Gemiddelde stedelijk VL (2019)	27				24		13		6	14
	µg/m ³	#u > 200µg/m ³			#u > 50µg/m ³		#u > 25µg/m ³ / #d > 100µg/m ³ / #d > 120µg/m ³			

Door de afgenomen schadelijke uitstoot in Vlaanderen in 2020 t.o.v. 2000, konden de Europese emissiedoelstellingen behaald worden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b). Maar wanneer de pollutent-concentraties (2020) getoetst worden aan de Europese normering, wordt een overschrijding waargenomen voor zware metalen, NH₃, SO₂, O₃ en arseen. Een toetsing aan de advieswaarden van de WHO (2005) toont daarbovenop een overschrijding voor fijn stof. Gezien de groter geachte gezondheidsbedreiging vandaag, stelde de WHO op 22 september 2021 strengere advieswaarden op. Deze worden voor **elk type luchtverontreiniging overschreden**, waardoor stedelijk Vlaanderen vandaag voor een grote uitdaging staat (tabel 1).

De jaargemiddelde-kaarten van Vlaanderen (figuren 9 & 10) geven duidelijk weer dat steden de grootste pollutent-concentraties kennen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d). Voor PM_{2,5} worden de WHO-advieswaarde van 10 µg/m³ in zowat heel Vlaanderen overschreden, met de **hoogste jaargemiddelden gemeten in steden** als Antwerpen en Gent. Voor NO₂ wordt de advieswaarde van 40 µg/m³ enkel op ringwegen en snelwegen overschreden, maar in vergelijking met de strengere advieswaarde van 10 µg/m³ en de drempelwaarde van 20 µg/m³ worden ook hier weer de steden uitgelicht. Figuren 9 en 10 lichten duidelijk de stad Antwerpen uit als grootste probleemgebied.



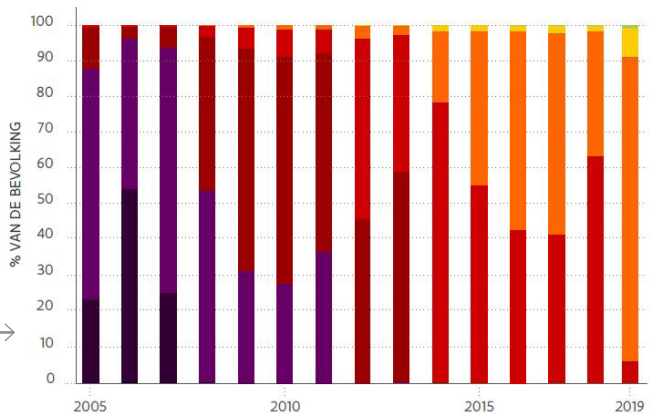
Figuur 9: PM_{2,5}-jaargemiddelde in 2019 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)



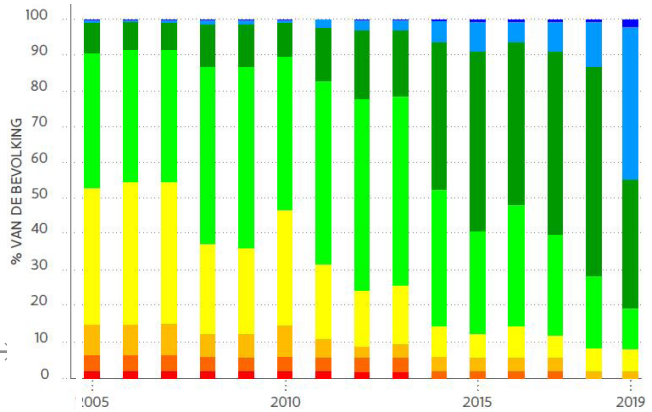
Figuur 10: NO₂-jaargemiddelde 2019 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)

Blootstelling

Volgens het WHO wordt **60% van de Vlamingen blootgesteld aan te hoge concentraties** (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b). In Vlaanderen is het gemiddelde aandeel van blootgestelde bevolking aan NO₂ en PM_{2,5} overheen de jaren wel gedaald. Wanneer **de drempelwaarde van 20 µg NO₂/m³ (drempel voor gezondheidseffecten)** wordt gehanteerd, kan een sterke evolutie van het aandeel blootgestelde Vlamingen worden waargenomen (figuur 12); van ongeveer 95% in 2000 naar ongeveer 20% in 2019. Voor PM_{2,5} wordt geen drempelwaarde meegegeven, maar de advieswaarde van 10 µg/m³ geeft een goede indicatie. Ondanks de sterke daling in concentraties over de jaren heen, wordt nog steeds ongeveer 90% van de bevolking specifiek blootgesteld aan te hoge concentraties PM_{2,5} (figuur 11).

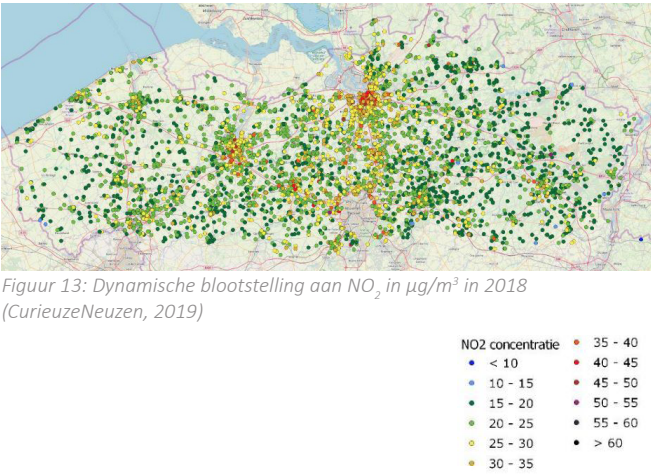


Figuur 11: Aandeel bevolking blootgesteld aan verschillende PM_{2,5}-jaargemiddelden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)



Figuur 12: Aandeel bevolking blootgesteld aan verschillende NO₂-jaargemiddelden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021d)

Naast de formele concentratiemetingen door de VMM, schetsen informele instanties als CurieuzeNeuzen een beeld van waar de blootstelling van gebruikers aan pollutent-concentraties het hoogst is. Idealiter wordt voor de berekening van de blootstelling de verschillende locaties die worden aangedaan en de hoeveelheid ingeademde lucht meegerekend. CurieuzeNeuzen (2019) maakt echter een eenvoudigere vergelijking tussen statische en dynamische blootstelling; blootstelling aan de gevel en **blootstelling bij verplaatsingen**. De kaart van Vlaanderen (figuur 13) toont duidelijk een verhoogde dynamische blootstelling voor Antwerpen, Gent en de Brusselse rand, waarbij de NO₂ concentraties veelal de WHO-drempelwaarde van 20 µg/m³ overschrijden. De stad Antwerpen licht dus voor zowel pollutent-concentraties als blootstelling problematisch op.



Figuur 13: Dynamische blootstelling aan NO₂ in µg/m³ in 2018 (CurieuzeNeuzen, 2019)

CONTEXT I Antwerpen

Concentraties

Net zoals voor Vlaanderen werden op het niveau van de Antwerpse agglomeratie in 2020 de advieswaarden van de WHO (2005) voor fijn stof overschreden in vele straten met vaste VMM-meetstations (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020b, 2021b). De strengere advieswaarden van 2021 worden ook hier **voor elk type luchtverontreiniging overschreden**, wat de problematiek rond luchtkwaliteit duidelijk vaststelt. Daarnaast werd bij het gebruik van passieve samplers, in drukke straten waar geen vast meetstation mogelijk is, de concentratie aan NO altijd overschreden (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021c). **De meeste stoffen kennen een jaarlijkse daling, maar concentraties aan fijn stof en zwarte koolstof door houtverbranding stagneren.**

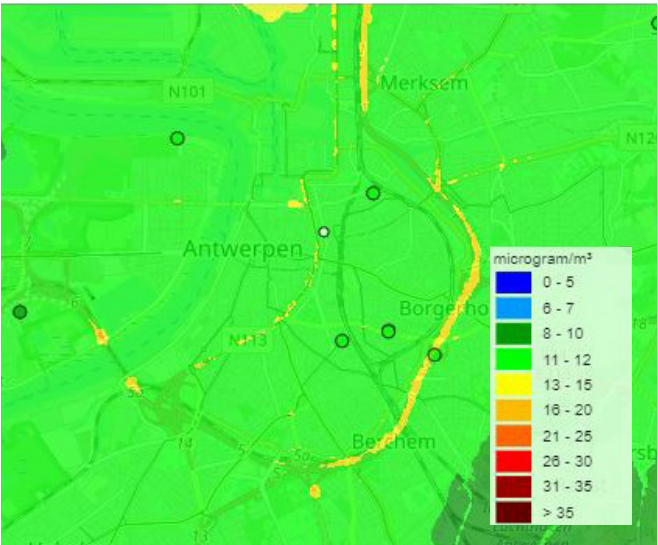
Om een concreet beeld te schetsen van de luchtkwaliteit op straatniveau, worden de effecten van street canyons zoals **concentratieophoping** mee in kaart gebracht. Zo combineert de VMM data uit zijn meetstations en modelkaarten (VITO) met de data van CurieuzeNeuzen (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b). Voor PM_{2,5} geeft het jaargemiddelde weer dat een overschrijding van de WHO-advieswaarden (2005) voorkomt in heel Antwerpen, met een grotere overschrijding langs de Antwerpse Ring (figuur 14). Voor EC lichten al wat meer straten op met hogere concentraties (figuur 15), maar worden geen WHO-advieswaarde gehanteerd. Tenslotte worden de hoogste overschrijding gemeten voor NO₂ (figuur 16 en tabel 2). Hier worden de WHO-advieswaarden (2005) van 40 µg/

m³ overschreden langs grote verbindingswegen als de Ring, de Binnensingel, de grote leien (Amerika-, Britse-, Frankrijk- en Italiëlei), de Plantin en Moretuslei, de Van Meterenkaai, de Prins Albertlei, de Ankerrui enzoverder. Maar wanneer de strengere advieswaarde (2021, tabel 2) mee in rekening wordt gebracht, kan gesteld worden **dat de volledige Antwerpse agglomeratie een ongezonde concentratie aan NO₂ kent.**

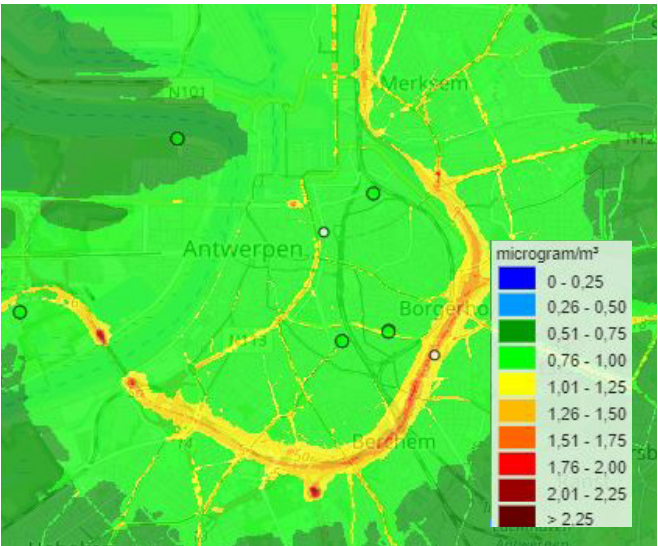
Naast de opgelegde normen van Europa en de WHO bepalen de verkeersintensiteit en de AR van de street canyons de mate van ophoping van pollutanten en zo de **ernst van de problematiek** (Voordeckers, Meysman, et al., 2021). Optimaal dienen street canyons een maximale grenswaarde van 300 gemotoriseerde vervoersmiddelen per uur (v/h) te respecteren om NO₂-waarden onder de Europese limiet te houden (Voordeckers, Meysman, et al., 2021). Voor de regio Antwerpen wordt echter een gemiddelde uurintensiteit van 310 v/h waargenomen met een piekintensiteit van 699 v/h (Mobiliteit en Openbare Werken Vlaanderen & Arcadis Belgium, 2020). De bijgevoegde kaart van Antwerpen (figuur 17) geeft aan dat vele straten worden gekenmerkt als problematisch voor de luchtventilatie met een aspect ratio (AR)>1 en een maximale verkeersintensiteit van <300 v/h (D. Voordeckers, e-mail, 4 maart 2022). Maar ook een groot deel wordt aangeduid als **street canyon met een zeer problematische omgeving voor luchtkwaliteit, met een AR>1 en een maximale verkeersintensiteit van >300 v/h.**

Tabel 2: De gemiddelde waarden voor de meetplaatsen binnen de Antwerpse agglomeratie overschreden in 2020 vaak de advieswaarden van de WHO en altijd de verstrengde maatregelen van 2021 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021a, 2021c)

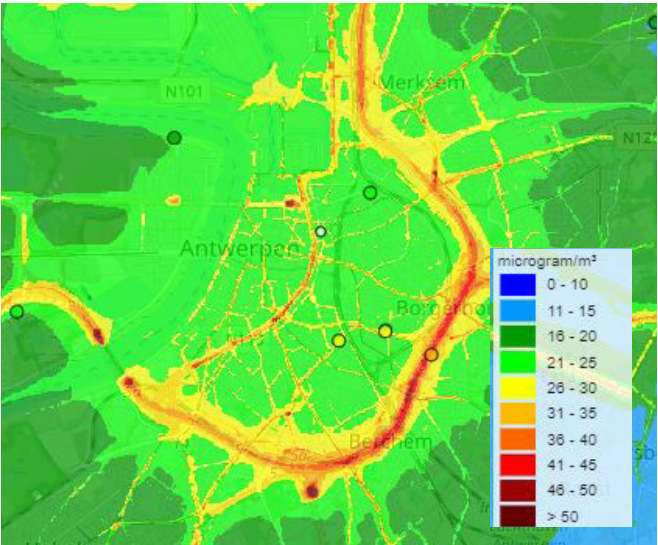
	NO ₂		NO		PM ₁₀		PM _{2,5}		EC
	jaargem.	#uren	jaargem.	#uren	jaargem.	#uren	jaargem.	#uren	jaargem.
EU-grenswaarde (2016)	40	18			40	35	25		
WHO-advieswaarde (2005)	40	0			20	3	10	3	
WHO-drempelwaarde	20								
WHO-advieswaarde (2021)	10				15		5		
Gemiddelde Antwerpen (2020)	28	0	7		22		11		0,85
	µg/m ³	#u > 200µg/m ³			#u > 50µg/m ³		#u > 25µg/m ³		



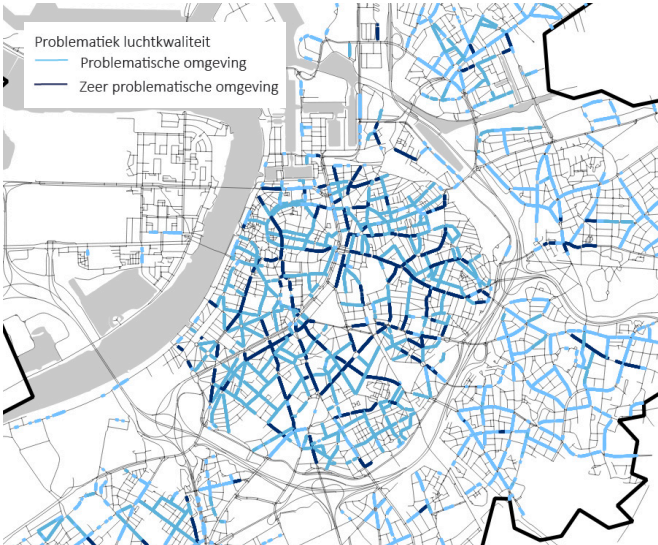
Figuur 14: Jaargemiddelde aan PM_{2,5} in 2020 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b)



Figuur 15: Jaargemiddelde aan EC in 2020 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b)



Figuur 16: Jaargemiddelde aan NO₂ in 2020 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021b)



Figuur 17: Ernst van de problematiek voor luchtkwaliteit als overzicht van alle Antwerpse street canyons (D. Voordeckers, e-mail, 4 maart 2022)

Blootstelling in street canyons

Concentraties worden weergegeven via jaargemiddelden, wat uitschieters in luchtvervuiling niet uitsluit, welke wel nefast zijn voor de blootstelling aan pollutanten en dus de gezondheid. Daarnaast spelen volgens onderzoek (Badach, Voordeckers, Nyka, & Van Acker, 2020) voor blootstelling factoren mee als de gemiddelde vloerindex (V/T), de oppervlakedichtheid van functies voor pollutie-gevoelige groepen, de dichtheid aan fietsinfrastructuur en dichtheid aan stedelijke parken en buitenfaciliteiten. Uit dit onderzoek blijkt dat **nagenoeg heel de binnenstad een verhoogd risico op blootstelling** heeft. Zo wordt bevestigd dat het merendeel van de straten binnen de Stad Antwerpen omschreven kan worden als street canyon met een lage luchtkwaliteit (Van Raemdonck, 2020).

CASE STUDY | Belgiëlei

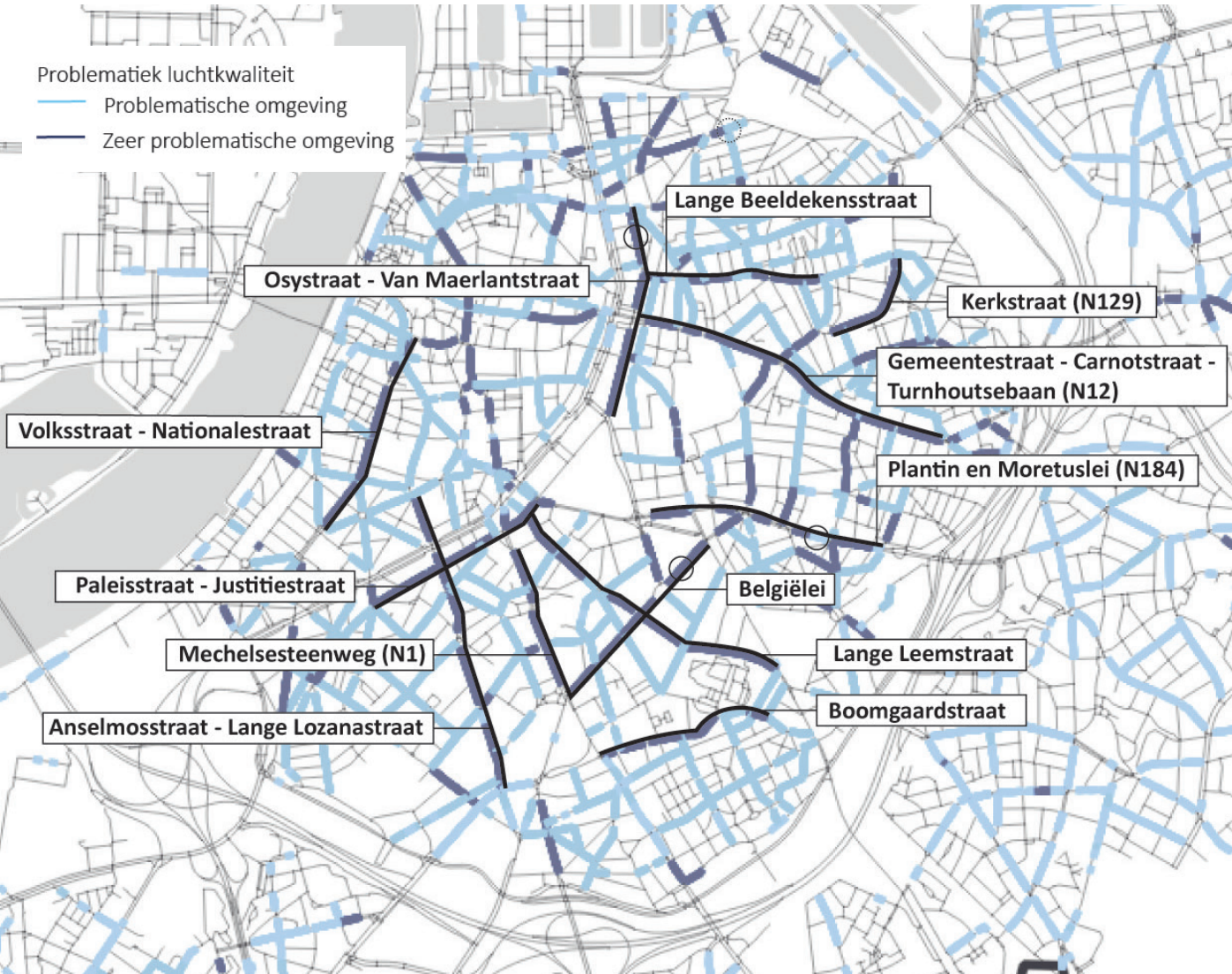
Selectie

Aangezien bijna alle straten van Antwerpen geïnclassificeerd kunnen worden als street canyon (Van Raemdonck, 2020), is de selectie van een representatieve case ter toepassing van de beoogde toolbox aan de orde.

Een eerste selectiecriteria omvat de typering als street canyon, met speciale aandacht voor de **ernst van de problematiek in deze street canyons**. De luchtkwaliteit binnen street canyons wordt namelijk problematisch bevonden wanneer er sprake is van een AR>1 en een maximale verkeersintensiteit >300 v/h, wat een ophoping van pollutie-concentraties veroorzaakt (D. Voordeckers, e-mail, 4 maart 2022; Voordeckers, Meysman, et al., 2021). Op figuur 16 worden meteen de street canyons binnen de Antwerpse Ring zichtbaar. Binnen het kader van deze masterproef vormen lange, aaneengesloten street canyons interessante onderzoeksobjecten. Zo wordt een **eerste selectie gemaakt van de twaalf meest problematische street canyons binnen de Ring van Antwerpen** (figuren 18 & 19).

Een **tweede selectiecriteria omvat de toegang tot data omtrent de lokale luchtkwaliteit**, en zo de aanwezigheid van meetstations. Binnen deze masterproef ligt de focus op street canyons als stedelijke straten met significant verkeer. Deze classificatie is volgens de VMM van toepassing op de automatische meetstations in de Belgiëlei naast de Plantin en Moretuslei en de Van Maerlantstraat (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021c). De meeste pollutie, namelijk PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, NO en BC, worden ook met de hoogste (vergelijkbare) concentraties gedetecteerd op de meetplaatsen van de Belgiëlei en de Plantin en Moretuslei. De Belgiëlei bevat een meetstation van de VMM sinds 2015-2016; één van de vier nieuwe meetpunten naar aanleiding van de invoering van de LEZ-zone in 2017. De meest recente metingen (2020) tonen aan dat de WHO-advieswaarden voor de pollutie hier altijd overschreden werden (tabel 3, p. 37).

Tenslotte omvat de **consistentie van het straatprofiel een derde selectiecriteria**, gezien het toepassen van tools op een meer algemene en typische street canyon een grotere voorbeeld- en meerwaarde vormt als ‘best practice’ voor stadsbesturen. Wanneer de Belgiëlei en de Plantin & Moretuslei worden vergeleken, dient gekozen te worden voor de meest typische street canyon, waar het straatprofiel consistente afmetingen kent langs de volledige lengte van de straat. Gezien zijn consistentie in gebouwhoogtes, laanbomen, straatprofielen, ernst van de problematische luchtkwaliteit (ononderbroken problematiek) en de verhoogde kans op blootstelling aan luchtvervuiling (Badach et al., 2020) wordt de **Belgiëlei als typevoorbeeld en case study geselecteerd**.



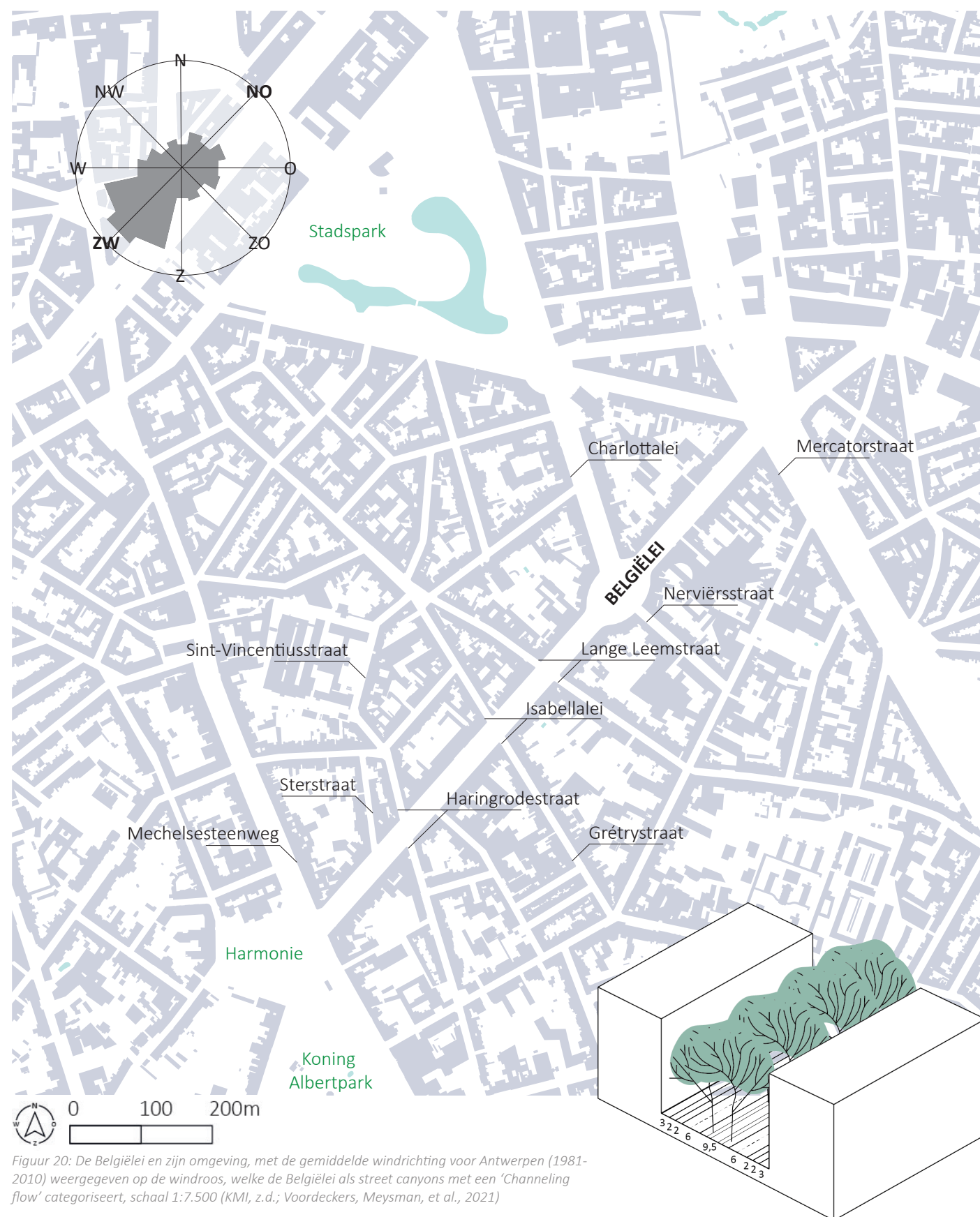
Figuur 18: De twaalf meest problematische street canyons binnen de Antwerpse Ring, op basis van AR en verkeersintensiteit (D. Voordeckers, e-mail, 4 maart 2022), en de lokalisatie van de vier meetpunten binnen de Ring

Typerende cases met veel mogelijkheden

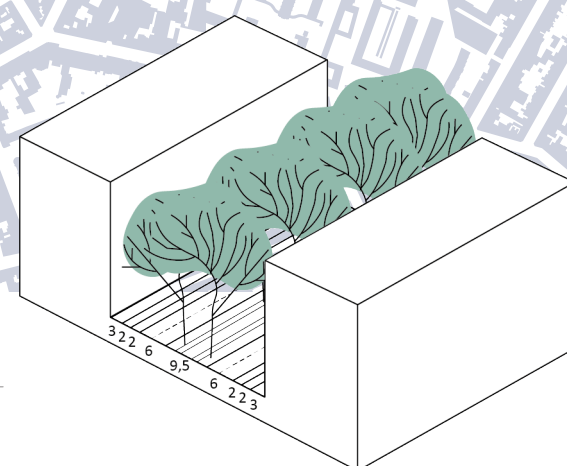


Niet typerende/smalle cases

Figuur 19: Rangschikking van de 12 meest problematische street canyons binnen de Antwerpse Ring volgens de selectiecriteria (Google LLC, 2021)



Figuur 20: De Belgïelei en zijn omgeving, met de gemiddelde windrichting voor Antwerpen (1981-2010) weergegeven op de windroos, welke de Belgïelei als street canyons met een 'Channeling flow' categoriseert, schaal 1:7.500 (KMI, z.d.; Voordeckers, Meysman, et al., 2021)



Figuur 21: De gemiddelde doorsnede van de Belgïelei met (van gevel naar de centrale as) een voetpad, fietspad, dubbele rijbaan en tramweg-berm.

Type street canyon

De Belgïelei bekommt door zijn gemiddelde afmetingen (L=636m, B=35m, H=29m) afgerond een **AR van 1**;

$$AR = H/B = 29m/35m = 0,83 = 1$$

Dit categoriseert de Belgïelei morfologisch als een street canyon (Voordeckers, Meysman, et al., 2021), aangezien de $AR > 0,65$. Ook kan de Belgïelei als een **matig diepe street canyon** ($0,5 < AR < 2$) worden omschreven, van belang voor de toepassing van hoog groen (Kumar, Abhijith, & Barwise, 2019). Een tweede specificering omvat de Belgïelei als een **lange street canyon** (Depauw et al., 2018), aangezien L/H-verhouding groter is dan 5 ($L/H = 636/29 = 22$).

De dominante windrichtingen voor Antwerpen tussen 1981 en 2010 worden door het KMI aangeduid als de zuidwesten, zuidzuidwesten en zuidwestzuiden wind (**ZW, ZWZ & ZWZ**). De wind uit het ZW loopt evenwijdig met de Belgïelei, wat een 'channeling flow' veroorzaakt (Oke, Mills, Christen, & Voogt, 2017; Risom et al., 2019; Voordeckers, Meysman, et al., 2021). In de praktijk is er echter sprake van een meer variërende windrichtingen, waarbij ook loodrechte en schuine windrichtingen voorkomen.

De Belgïelei kent door zijn karakteristieken (figuren 20 & 21), waarop verder zal worden ingegaan binnen de analyse, **specifieke problemen omtrent de lokale luchtkwaliteit**. Allereerst zorgen de variërende windrichtingen binnen dit type street canyon voor een ophoping aan pollutie-concentraties op variërende locaties (figuur 4, p. 25). Daarnaast kent de Belgïelei vele morfologische kenmerken die van belang zijn voor de verspreiding van luchtverontreiniging, waaronder de bebouwing, de wegingdeling, de parkeerplaatsen, de laanbomen en de (tien) kruispunten.

Concentraties

De concentraties gemeten via het meetstation op de Belgïelei (tabel 3, 2020) komen sterk overeen met de gemiddelde concentraties voor de Antwerpse binnenstad. De WHO-advieswaarden (2005) voor fijn stof werden net niet gehaald (Vlaamse Milieumaatschappij, 2020b, 2021b). Maar de nieuwe WHO-advieswaarden van 2021 werden ook hier voor **elk type luchtverontreiniging ruimschoots overschreden**. Ook hier kennen de meeste stoffen een jaarlijkse daling, maar concentraties aan fijn stof en zwarte koolstof door houtverbranding stagneren.

Naast de opgelegde normen bepalen de verkeersintensiteit en de AR van de street canyons de mate van ophoping van pollutanten en zo de **ernst van de problematiek** (Voordeckers, Meysman, et al., 2021). Binnen het hoofdstuk omtrent de selectie van de Belgïelei wordt deze straat reeds nagenoeg volledig aangeduid als een zeer problematische omgeving voor de luchtkwaliteit (D. Voordeckers, e-mail, 4 maart 2022), met een $AR > 1$ en een maximale verkeersintensiteit van > 300 v/h. Voor de Belgïelei wordt tijdens de analyse **een gemiddelde verkeersintensiteit van 879 v/h** waargenomen. Deze overschrijdt zelfs ruimschoots de gemiddelde uurintensiteit van 310 v/h van Antwerpen (Mobiliteit en Openbare Werken Vlaanderen & Arcadis Belgium, 2020). Het overschrijden van de maximale grenswaarde van 300 v/h (Voordeckers, Meysman, et al., 2021) garandeert binnen de Belgïelei het overschrijden van de Europese NO_2 -normen.

Blootstelling

De Belgïelei kent zoals nagenoeg de hele Antwerpse binnenstad een **verhoogd risico op blootstelling** aan de hoge pollutie-concentraties (Badach et al., 2020). Dit kan voor de Belgïelei verklaard worden door de hoge V/T, de aanwezigheid van functies voor pollutie-gevoelige groepen (kinderen, ouderen en zieken), de fietsinfrastructuur langs beide zijden van de baan en de nabijheid van stedelijke parken (zie hoofdstuk 'Analyse').

Tabel 3: De waarden gemeten met het meetstation op de Belgïelei overschreden in 2020 vaak de advieswaarden van de WHO en altijd de verstrenge maatregelen van 2021 (Vlaamse Milieumaatschappij, 2021a, 2021c)

NO ₂		NO	PM ₁₀		PM _{2,5}		EC
jaargem.	#uren	jaargem.	jaargem.	#uren	jaargem.	#uren	jaargem.
40	18		40	35	25		
40	0		20	3	10	3	
20							
10			15		5		
26	0	10	23	11	12	30	0,95
µg/m ³	#u > 200µg/m ³		#u > 50µg/m ³		#u > 25µg/m ³		

EU-grenswaarde (2016)
WHO-advieswaarde (2005)
WHO-drempelwaarde
WHO-advieswaarde (2021)
Meting Belgïelei (2020)

KADER

FOCUS

ANALYSE



Methode

Op basis van de eerste situering van de Belgïelei (hoofdstuk 'Focus') en de opsomming van de verschillende tools (volgens hoofdstuk 'Toolbox') worden specifieke parameters geanalyseerd welke een invloed kunnen hebben op de luchtkwaliteit, de blootstelling en de implementatie van de toolbox binnen de Belgïelei. Deze analyse kent een onderzoek naar de **huidige plannings- en ruimtelijke context van de Belgïelei en zijn omgeving**. De planningscontext omvat voornamelijk doelstellingen omtrent verkeersleefbaarheid en luchtkwaliteit. De ruimtelijke structuur van de street canyon wordt voornamelijk tweedimensionaal weergegeven op GIS-kaarten.

Binnen de analyse wordt allereerst een **desktop-studie** uitgevoerd. Daarbij wordt gestart met onderzoek naar de ruimtelijke planningscontext, van toepassing op en rond de Belgïelei. Daarnaast worden lokale en bovenlokale gegevens voor de Belgïelei verzameld om de ruimtelijke context te schetsen. De toolbox vormt daarbij een belangrijke leidraad, aangezien deze gegevens aanduidt welke gekend moeten zijn om tools concreet te kunnen toepassen op de Belgïelei.

Data wordt voornamelijk verzameld via geoportalen en het GRB; erfgoedobjecten, eigendommen, hoogte bebouwing, functies, voorzieningen voor kinderen/ouderen/religie, biologische waarderingskaart en boomsoorten, watertoets, wegennet, haltes en routes van De Lijn, fietsnetwerken, fietsenstallingen en deelfietsen.

Ook wordt een **analyse uitgevoerd op de site zelf**, welke de desktop-analyse aanvult, verbeterd of specificeert. Zo wordt allereerst de verkeersintensiteit (v/h) aan elk kruispunt van de Belgïelei gemeten (Vlaams Verkeerscentrum, 2017). Er wordt gekozen voor een visuele doorsnedetelling; een telling van het aantal voertuigen overheen beide rijrichtingen die een ingebeelde lijn oversteken. Dit soort telling gebeurt op een representatieve dag, zoals een dinsdag of donderdag, en tijdens de spitsuren (8u, 17-18u): wanneer de verkeersintensiteit de grootste impact heeft op de luchtkwaliteit in street canyons (Voordeckers, Meysman, et al., 2021).

Daarbij worden naast verschillende types gemotoriseerd verkeer ook de actieve weggebruikers genoteerd om de modal split te bepalen. De verschillende passanten worden slechts éénmaal genoteerd (in geval van u-bochten). Het onderzoek werd uitgevoerd op donderdag 24 maart 2022, waar op zes meetpunten aan kruispunten telkens tien minuten geteld werd, van 7u45 tot 9u15 en van 16u30 tot 18u (bijlage 2).

Op locatie worden ook de functies van de gebouwen, het aantal garages, het aantal fietsbeugels en de wachttijden aan de kruispunten langs de Belgïelei in detail gemeten, bevestigd of aangevuld.

PLANNINGSCONTEXT | Ruimtelijke Structuurplannen

Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen (1997/2011)

Binnen het Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen (RSV) wordt een **duurzame ruimtelijke ontwikkeling** nagestreefd, welke voorziet in de behoefte van de huidige generatie zonder de behoefte van toekomstige generaties in gevaar te brengen. Eén van de vier basisdoelstellingen luidt; ‘... de ruimtelijke condities worden gecreëerd voor het **verbeteren van het collectief vervoer en de organisatie van vervoersgenererende activiteiten op punten die ontsloten worden door openbaar vervoer**.’ (Departement Ruimtelijke Ordening, 2011, p. 184). Doorheen heel het RSV wordt de nadruk gelegd op **verkeersleefbaarheid** en is er nog geen sprake van ruimtelijke ingrepen i.f.v. de luchtkwaliteit.

De belangrijkste vaststelling van het RSV voor deze masterproef is de aanduiding van de Belgiëlei als een **‘lokale weg type II’**. De street canyon wordt aangeduid als een lokale weg gezien de hoofdfunctie ‘toegang geven’ zou omvatten, maar aan het inrichtingsprincipe ‘weg van 2x1’ wordt niet voldaan. Het type slaat op de verzamelfunctie van de straat.

Binnen het Regeerakkoord 2019-2024 werd door de Vlaamse Regering echter beslist af te stappen van deze wegcategorisering met boomstructuur en een nieuw netwerkconcept uit te werken met een focus op multimodaliteit (Vlaamse Overheid, z.d.). Momenteel wordt deze nieuwe categorisering door de Vervoerregio’s en het Departement Mobiliteit en Openbare Werken uitgewerkt (Vervoerregio Antwerpen, 2020). Mogelijk kan de Belgiëlei als **regionale of interlokale weg** worden gecategoriseerd (figuur 22) omwille van zijn bovenlokaal functioneel fietsnetwerk (BFF, zie 'Routeplan 2030' p. 42) en de hoge Openbaar-Vervoer-frequentie (zie analyse-figuur 45, p. 58).

Ruimtelijk Structuurplan Provincie Antwerpen (2001/2011)

Het Ruimtelijk Structuurplan Provincie Antwerpen (RSPA) vormt een verdere aanvulling op het RSV. Een belangrijke specificering is hier een andere categorisering van wegen, waarbij de Belgiëlei wordt aangeduid als **secundaire weg of verbindingsweg** tussen primaire hoofd- en snelwegen (Provincie Antwerpen, 2011). Zoals in het RSV wordt ook hier de nadruk gelegd op verkeersleefbaarheid i.p.v. luchtkwaliteit.

Naar aanleiding van de opmaak van de ‘Nota Ruimte’ van de provincie (momenteel verder uitgewerkt in de Conceptnota Provinciaal Beleidsplan Ruimte Antwerpen, zie Beleidsplannen) werd een evaluatie van de verkeers- en vervoersstructuur van het RSPA opgemaakt (Lauwers, Rybels, & Van Acker, 2016). Hier worden aanbevelingen gedaan zoals het opnemen van een **actievere rol door de provincie** voor de reorganisatie van het openbaar vervoer, de ruimtelijke knooppuntbenadering, de uitbouw van fietsostraden en een betere afstemming van ruimte en mobiliteit.

Strategisch Ruimtelijk Structuurplan Antwerpen (2006)

Het strategisch Ruimtelijk Structuurplan Antwerpen (s-RSA) van de Stad Antwerpen vormt tenslotte een sterke basis voor de opmaak van gemeentelijke Ruimtelijke Uitvoeringsplannen of RUP’s, en werd omgedoopt tot ‘Antwerpen Ontwerpen’. Hier wordt de Belgiëlei aangeduid als een **‘territoriale boulevard’** dankzij zijn (ruimtelijk structuurbepalende) tramlijnen. De basisdoelstelling omvat de verbetering van de variatie en het beschouwen ervan als een manier om de reorganisatie van verkeersstromen op te lossen. Fiets- en wandelvoorzieningen worden hier als cruciaal beschouwd. Ook worden de boulevards aangeduid als het **‘lager netwerk’, of secundair** naast snel- en hoofdwegen, waarvoor verschillende (niet verordenende) richtlijnen worden aangegeven (bijlage 1).

Net als voor het RSPA werd een evaluatierapport met aanbevelingen opgemaakt voor het s-RSA (Van den Broeck, Lagiewka, De Peuter, & Vloebergh, 2014) ter voorbereiding van het nieuwe beleidsplan van de stad (Strategisch Ruimteplan Antwerpen). Daarin wordt o.a. aangegeven dat het **thema ‘duurzaamheid’ (en luchtkwaliteit) moet worden uitgewerkt** en dat een betere koppeling met andere (mobiliteits-) plannen en instrumenten noodzakelijk is.

Binnen het onderzoekstraject ‘Antwerpen, de circulaire stad van morgen’ worden nieuwe inzichten gecreëerd voor het stedelijk beleid, met Antwerpen als testcase, waar de Belgiëlei ook vermeld wordt als een **‘brede boulevard met een commercieel ingerichte benedenverdieping’** (Frijters et al., 2018; Team Vlaams Bouwmeester, z.d.). De street canyon wordt zo ook aangeduid als een belangrijke connector tussen stadswijken. Hier wordt wel verder ingezoomd op duurzaamheid, gezien men pas kan spreken van een duurzaam systeem wanneer de problematiek van de luchtkwaliteit op niveau van de voormalige street canyons is opgelost.

PLANNINGSCONTEXT | Ruimtelijke Beleidsplannen

Strategische visie Beleidsplan Ruimte Vlaanderen (2018)

De 'Strategische visie Beleidsplan Ruimte Vlaanderen' (BRV) (Departement Omgeving, 2018) omvat verschillende strategische doelstellingen. Het vormt geen ruimtelijk beleidsplan, aangezien er nog geen ontwerp-beleidskaders zijn goedgekeurd. Eén belangrijke doelstelling; tegen 2050 moeten meer mensen te voet, met de fiets of eventueel met andere duurzame vervoersmodi naar de school of het werk kunnen gaan en moeten zij basisvoorzieningen kunnen vinden in hun directe leefomgeving. Daarbij wordt ingezet op een **optimale verweving en inplanting** om voertuigkilometers en NO_x-emissies van verkeer te beperken.

Specifiek wordt luchtkwaliteit enkel vermeld binnen het ontwerpprincipe ‘leefkwaliteit bevorderen’. Daarbij wordt de nadruk gelegd op het ontwikkelen van gezonde en inclusieve ruimtes. Bijhorende ruimtelijke principes zijn: het ruimtelijk ontwikkelen met aandacht voor de **beperking van gezondheidsrisico’s** en de verhoging van de leefkwaliteit, de publieke ruimte is veilig en toegankelijk voor kwetsbare verkeersdeelnemers en een publieke ruimte nodigt uit tot bewegen.

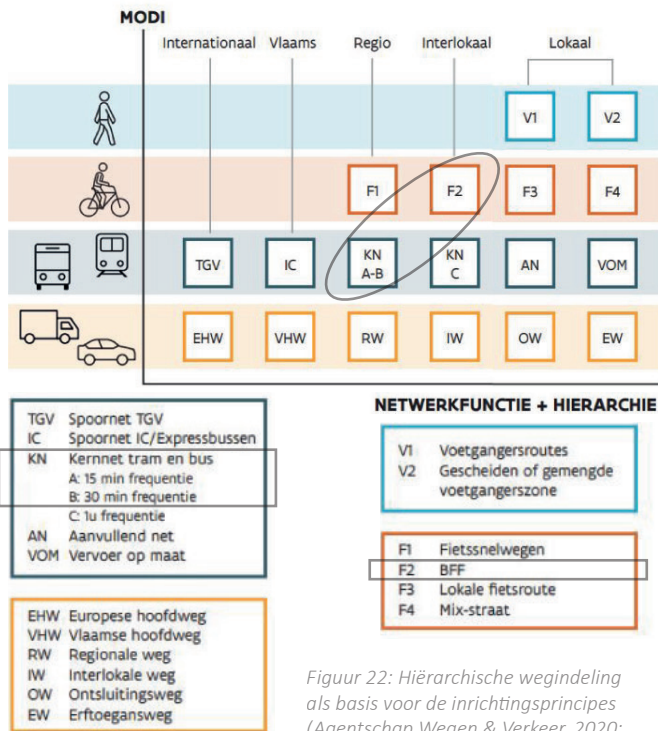
Conceptnota Provinciaal Beleidsplan Ruimte Antwerpen (2021)

Ter vervanging van het RSPA (2001) werkt de provincie Antwerpen, in samenspraak met haar gemeenten, aan het 'Provinciaal Beleidsplan Ruimte Antwerpen' (PBRA) (Provincie Antwerpen, 2019). Het PBRA zal een strategische visie voor de lange termijn en een set van beleidskaders voor de uitvoering op middellange termijn bevatten. Daarbij moet wel vermeld worden dat dit PBRA slechts **tot 2050** van toepassing zal zijn.

Ten opzichte van het RSPA wordt binnen de conceptnota van het PBRA binnen de uitdagingen meer aandacht besteed aan de luchtkwaliteit en wil het provinciale ruimtelijk beleid inzetten op klimaatmitigatie en -adaptatie, alsook het **stimuleren van duurzame vervoersmodi ter reductie van de uitstoot**. De conceptnota werd in 2019 goedgekeurd als een eerste versie van het Beleidsplan Ruimte. In 2021 werd de adviesronde afgerond, waarna nu de opmaak van het 'Ontwerp Beleidsplan' zal volgen.

Conceptnota Strategisch Ruimteplan Antwerpen (2022)

De Stad Antwerpen is sinds enkele jaren gestart met de vernieuwing van het structuurplan. Het gaat hier om een Ruimtelijk Beleidsplan, omgedoopt tot ‘het Strategisch Ruimteplan Antwerpen’. Hiervoor werd op 14 januari 2022 de concept- en kennisnota goedgekeurd door het schepencollege, waarvoor tot 14 april een raadpleging gaande was. Binnen ‘de slimme netwerkstad’, één van de drie stedelijke lagen, wordt voor het eerst gesproken over de gewenste **Modal Shift van 50/50**, met een belangrijke focus op verkeersveiligheid. Deze Modal Shift wordt gekoppeld aan het reeds bestaande Toekomstverbond (2017) en Routeplan 2030. Binnen de conceptnota wordt niet expliciet gesproken over de luchtkwaliteit.



Figuur 22: Hiërarchische wegingdeling als basis voor de inrichtingsprincipes (Agentschap Wegen & Verkeer, 2020; Onderzoeksgroep voor Stadsontwikkeling, MINT, & Maes, 2019)

PLANNINGSCONTEXT | Mobiliteitsplannen

Mobiliteitsplan Vlaanderen (2010) – Vlaamse Mobiliteitsvisie 2040 (2021)

Over het ‘Ontwerp Mobiliteitsplan’, onder meer gefocust op het bereiken van minder transport gerelateerde luchtverontreiniging en gezondheidsproblemen, wordt vandaag niet meer gesproken (Vlaamse Regering, 2010). Wel werd door de Vlaamse Regering in 2021 de nieuwe ‘Vlaamse Mobiliteitsvisie 2040’ goedgekeurd. De visietekst is het resultaat van een participatief traject en wordt vandaag gebruikt als kader voor Vlaanderen, de vervoersregio’s en de lokale besturen. Eén van de vier perspectieven luidt; **er zijn geen vervoersemissie meer in 2050** (Beleidsdomein Mobiliteit & Openbare Werken, 2021). Naast de focus op brongerichte maatregelen legt men ook de link tussen mobiliteit en onze ruimtelijke organisatie.

Mobiliteitsplan Antwerpen (2014)

Het ‘Mobiliteitsplan 2020 | 2025 | 2030’ streeft binnen zijn visie naar een nieuw evenwicht (Stad Antwerpen, 2014). Specifiek voor luchtkwaliteit is het principe ‘verkeersleefbaarheid’ van belang, maar verder wordt er weinig aandacht besteed aan emissies en ruimtelijke oplossingen. Binnen het mobiliteitsplan wordt de Belgiëlei specifiek benoemd als **Wijkweg**, wat overeenstemt met de categorisering als lokale weg type II uit het RSV. De hoofdfunctie van een Wijkweg is het verzamelen en ontsluiten op wijkniveau en naar het hogere wegennet, met een snelheidsregime van 50 km/h. Momenteel wordt door de Stad Antwerpen weinig verwezen naar het Mobiliteitsplan, waar het Routeplan 2030 de te volgen visie stelt.

Routeplan 2030 (2020)

Het 'Ontwerp Routeplan 2030' vormt een multimodaal en regionaal mobiliteitsplan voor de Vervoerregio Antwerpen, welke in 2019 werd opgericht en 32 gemeenten beslaat (Vervoerregio Antwerpen, 2020), en volgt het ‘Masterplan 2020’ op. Het Routeplan 2030 vormt ook op lokaal niveau de vervanger van het 'Fietsbeleidsplan 2015-2019' van de Stad Antwerpen en het bijhorend Fietsactieplan (2018). Tegenover overige mobiliteitsplannen benoemt het Routeplan 2030 niet enkel de problematiek rond luchtkwaliteit, maar streeft het integraal naar onder andere een **gezonde regio. Zo worden mobiliteitsuitdagingen expliciet gekoppeld aan de grootste ruimtelijke uitdagingen en niet meer aan emissienormen.** De fietspaden op de Belgiëlei worden aangeduid als **‘bovenlokaal functioneel fietsnetwerk’ (BFF)**, welke specifieke kwaliteitseisen stelt (bijlage 1).

PLANNINGSCONTEXT | Luchtbeleidsplan

Het Vlaamse Luchtbeleidsplan 2030 (2019)

Street canyons vormen binnen het Vlaams én stedelijk beleid belangrijke aandachtspunten. Het Vlaamse luchtbeleidsplan (Departement Omgeving, 2019) stelt dat, bij het verderzetten van het huidige beleid, in 2030 enkel de jaargrenswaarden voor NO₂ overschreden worden. Dit is specifiek van toepassing op de Antwerpse street canyons, waarvoor wordt aangeraden kortetermijndoelstellingen toe te passen. **Street canyons vallen vaak onder het beheer van lokale overheden, wat vraagt om lokale maatregelen.** Ongeveer 50% van de passage in street canyons omvat dan ook lokaal verkeer. Door zijn deelfocus op Antwerpen omvat het Vlaams Luchtbeleidsplan 2030 de vervanging van het voormalige lokale ‘Actieplan fijn stof en NO₂ in de Antwerpse haven en de Stad Antwerpen’ uit het samenwerkingsverband tussen de Stad Antwerpen en de Vlaamse Regering. Belangrijk is wel **de aanbeveling tot het nemen van maatregelen in functie van zowel luchtkwaliteit als geluid en hitte, met focus op de inrichting van street canyons** en een aangepast mobiliteitsbeleid (Depauw et al., 2018).

PLANNINGSCONTEXT | Verordenende voorschriften

Gewestplan (1979/2000)

Volgens het origineel 'Gewestplan Antwerpen' (1979 met herziening in 2000, figuur 23) is nagenoeg heel de Belgiëlei binnen de **bestemming ‘woongebied’** gelegen (Vlaamse Overheid, 2000). Volgende voorschriften zijn van toepassing;

“De woongebieden zijn bestemd voor wonen, alsmede voor handel, dienstverlening, ambacht en kleinbedrijf voor zover deze taken van bedrijf om redenen van goede ruimtelijke ordening niet in een daartoe aangewezen gebied moeten worden afgezonderd, voor groene ruimten, voor sociaal-culturele inrichtingen, voor openbare nutsvoorzieningen, voor toeristische voorzieningen, voor agrarische bedrijven. Deze bedrijven, voorzieningen en inrichtingen mogen echter maar worden toegestaan voor zover ze verenigbaar zijn met de onmiddellijke omgeving.

*In woongebieden van het gewest wordt de **maximale bouwhoogte afgestemd op de volgende criteria:***

- **De in de onmiddellijke omgeving aanwezige bouwhoogten;**
- *De eigen aard van de hierboven vermelde gebieden;*
- *De breedte van het voor het gebouw gelegen openbaar domein.*

*... terreinen gelegen in een straat met rijbebouwing, waarin gebouwen werden opgetrokken waarvan het aantal bouwlagen groter is dan drie. In dat geval is het **maximum aantal bouwlagen gelijk aan het rekenkundig gemiddelde van het aantal bouwlagen van de omringende gebouwen aan dezelfde kant van de straat, in voorkomend geval afgerond tot de eenheid naar boven of naar onder naargelang de breuk meer of minder bedraagt dan de helft.**” (Vlaamse Overheid, 2000, p. 1)*

Een klein deel aan de Belgiëlei wordt aangeduid als de **bestemming ‘gemengde woon- en industriegebieden’**. Zo konden toenmalig aanwezige bedrijven hun activiteiten blijven uitvoeren. Vandaag is hier nog steeds industriële activiteit aanwezig (Cargill Chocolate Belgium). Na stopzetting van deze activiteit zou de bestemming automatisch worden omgezet naar ‘woonbestemming’.



Figuur 23: Gewestplan Antwerpen (Vlaamse Overheid, 2000), schaal 1:7.500

GRUP Afbakening Grootstedelijk Gebied Antwerpen (2009)

Voor de Antwerpse agglomeratie geldt het Gewestelijk Ruimtelijk Uitvoeringsplan of GRUP (Vlaamse Overheid, 2009). De afbakeningslijn duidt het **'Grootstedelijk Gebied Antwerpen'** aan, gebaseerd op de verdeling binnen het RSV. Voor publieke actoren gelden hier dan ook de bindende bepalingen van het RSV. Binnen de afbakeningslijn blijven bestaande voorschriften, grotendeels afkomstig van het Gewestplan, gelden tenzij een Ruimtelijk Uitvoeringsplan (RUP) of Bijzonder Plan van Aanleg (BPA) van kracht is.

Gemeentelijk RUP Provinciehuis Harmonie (2013)

De Belgiëlei wordt onrechtstreeks betrokken binnen het ‘RUP Provinciehuis Harmonie’ (Stad Antwerpen, 2013), opgemaakt ter vervanging van het BPA nr.61 en ter uitvoering van het masterplan voor het Harmoniepark. Eén van de aandachtspunten binnen de toelichtingsnota voor het park omvat de optimalisatie van de padenstructuur en toegangen, waarbij **één toegang een rechtstreekse verbinding met de Belgiëlei** mogelijk moet maken, na het oversteken van de Mechelsesteenweg (figuur 24). De Belgiëlei wordt éénmalig expliciet vermeld ter aanduiding van een hoekgebouw met een architecturale waardering (architect F. Dens, sinds 1925).



Figuur 24: Een uitgangspunt voor het RUP 'Provinciehuis Harmonie' (Stad Antwerpen, 2013) en de huidige uitwerking

Gemeentelijke stedenbouwkundige verordening – Bouwcode (2014/2017)

In 2014 werd de gemeentelijke stedenbouwkundige verordening, of de Bouwcode, goedgekeurd voor de Stad Antwerpen (Stad Antwerpen, 2017). De voorschriften zijn van toepassing op alle constructies op het grondgebied van Antwerpen, dus ook voor de Belgiëlei, bovenop de voorschriften van het Gewestplan. Hier worden enkele artikels uitgelicht welke een invloed hebben op de toepasbaarheid van de voorziene toolbox binnen deze masterproef (zie uittreksel bijlage 2 en het hoofdstuk 'Toolbox').

Een eerste belangrijk voorschrift is de ‘harmonieregel’ (artikel 6) die stelt dat de vorm, grootte, materiaalkeuze, plaatsing en kleur van constructies moet afgestemd zijn op de architectuur van de omgeving (kenmerken van de gebouwen die het talrijkst aanwezig zijn). Deze heeft een grote impact op artikel 10 inzake de inplanting, bouwhoogte en bouwdiepte.

Ook artikel 14 ‘insprongen en openingen aan voorgevels’ is van belang naar de toepassing van passieve maatregelen.

“Een insprong grenzend aan de openbare ruimte en op het gelijkvloers moet ‘s nachts afgesloten kunnen worden indien de diepte van de insprong groter is dan 2 m. ... De insprongen, dieper dan 2 m achter de bouwlijn, moeten verlicht worden. ... De vrije hoogte van elke toegankelijke insprong bedraagt minstens 2,50 m.” (Stad Antwerpen, 2017, p. 1)

Aansluitend wordt binnen artikel 15 bepaald dat in- en uitsprongen aan daken op ten minste 0,6m van de perceelsgrens moeten worden ingeplant.

Volgens artikel 33 wordt zaak-gebonden publiciteit toegelaten op steigerdoeken, gevels, het dak en totems. Specifiek op de gevel mag publiciteit gelijklopend, haaks of op uitsprongen staan. Een banier moet o.a. op maximaal 0,6m van de gevel geplaatst worden. Een lichtbak is maximaal 0,6m hoog en uit de gevel, en minimaal 0,6m van de eigendomsgrens toegelaten. De minimumnorm t.o.v. de eigendomsgrens maakt publiciteit in principe moeilijk in de Belgiëlei, waar de bebouwing steeds tot op de rooilijn loopt.

Artikel 38 omvat tenslotte nog twee interessant voorschriften omtrent groen. Nieuwe, meldings- en vergunningsplichtige constructies (buiten eengezinswoningen) dienen een groendak aan te leggen (<15°, >20m²) en blinde/wachtgevels van hoofdgebouwen moeten bedekt worden met gevelgroen.

Belangrijk is wel de aanwezigheid van artikel 3, welke een afwijkingsmogelijkheid biedt. Deze zorgt ervoor dat de vergunningverlenende overheid een afwijking kan toestaan op onder andere net benoemde artikels. De afwijking wordt toegestaan wanneer een gelijkwaardige uitkomst mogelijk is en deze overeenstemt met de goede ruimtelijke ordening, de historische waarde en het stadsgezicht binnen de straat. De afwijking dient voldoende gemotiveerd te worden, waarbij maatregelen i.f.v. de luchtkwaliteit omschreven kunnen worden als een verbetering.

PLANNINGSCONTEXT

Synthese

Doorheen de jaren werden mobiliteitsplannen meer en meer gekoppeld aan het ruimtelijk beleid. De meest recente beleidsplannen tonen op de verschillende schaalniveaus aan dat de klimaatuitdaging meer op de voorgrond speelt, en dat de gewenste verkeersleefbaarheid binnen structuurplannen plaats maakt voor de gewenste luchtkwaliteit. Desondanks blijven visies algemeen, waar beleidskaders omtrent luchtkwaliteit vaak ontbreken. Op lokaal niveau worden wel pogingen gedaan tot een verscherping van de visie, zoals het Beleidsplan van de Stad Antwerpen dat een Modal Shift van 50/50 nastreeft. De focus blijft echter liggen op verkeersmaatregelen, waarbij geen rekening wordt gehouden met de luchtkwaliteit en situaties in street canyons. Tegelijkertijd zetten mobiliteits-visies juist wel meer in op de link tussen luchtkwaliteit, gezondheid én ruimtelijke ingrepen, zoals het Routeplan 2030.

Daarnaast zijn enkele verordenende voorschriften van toepassing op de Belgiëlei, welke de mogelijkheden naar de aanpassing van de bebouwing ten gunste van de luchtkwaliteit beperken. Specifiek moet rekening gehouden worden met de voorschriften voor woongebied binnen het Gewestplan en de harmonieregel binnen de Bouwcode, welke een uniforme inplanting, bouwhoogte en bouwdiepte bepleiten.



Figuur 25: Er gebeuren vele publieke werken op het openbaar domein, maar ruimtelijke ingrepen ten gunste van de luchtkwaliteit blijven voorlopig uit binnen de Belgiëlei

RUIMTELIJKE CONTEXT | Bebouwing

Historiek & erfgoed

Op de Ferrariskaart, opgemaakt tussen 1771 en 1778, staat nog geen Belgiëlei ingetekend (Koninklijke Bibliotheek van België & Agentschap Informatie Vlaanderen, 1777). Het gebied werd in deze periode gekenmerkt door het lappendeken aan **landbouwpercelen** met waardevolle boom- en haagkanten op de perceelsgrenzen. Centraal kan reeds een verbindingsweg worden waargenomen, welke vandaag bekend staat als de Lange Leemstraat. Zuidwestelijk waren ook reeds tracés aanwezig die vandaag gekend zijn als de Haringrodestraat en de bredere Mechelsesteenweg.

Op de Vermaelenkaart, opgemaakt tussen 1846 en 1854, wordt echter het stratenpatroon dat we vandaag kennen grotendeels zichtbaar (Koninklijke Bibliotheek van België & Agentschap Informatie Vlaanderen, 1846). Het Agentschap Onroerend Erfgoed dateert de aanleg van de Belgiëlei, de

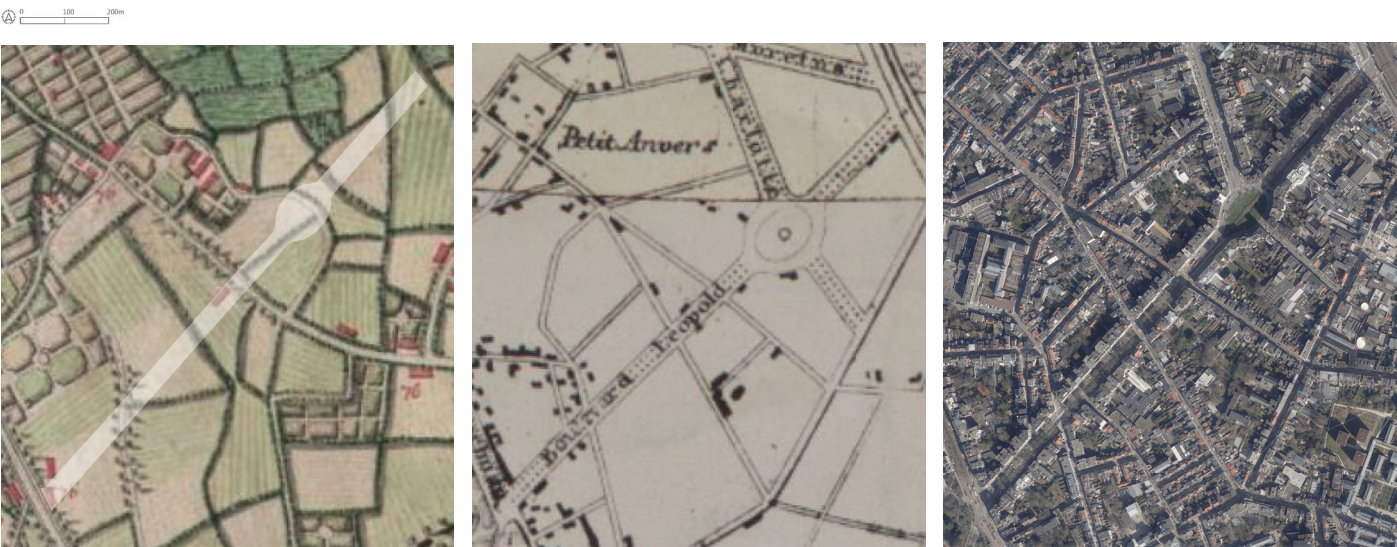
toenmalige Boulevard Léopold of Leopoldlei, tussen 1858 en 1861 (Braeken, Plomteux, & Steyaert, 2015). De grote hoeveelheid bouwaanvragen voor de boulevard tussen 1858 en 1870 geeft aan dat de straat onmiddellijk bebouwd werd met **neoclassicistische of neorococo-heren- of burgerhuizen**.

In het tweede kwart van de 20e eeuw werden vele van deze de eind 19e-eeuwse huizen vervangen door **moderne flat- en kantoorgebouwen**, voornamelijk in het noordelijke deel van de boulevard (Braeken et al., 2015). Na de Eerste Wereldoorlog, in 1919, werd de Leopoldlei omgedoopt tot de Belgiëlei. De behouden 19e-eeuwse herenhuizen vallen op door hun **stijl en hoogte**, gezien zij voornamelijk drie of vier verdiepingen beslaan, in groot contrast met de grotere moderne flat- en kantoorgebouwen tot wel acht verdiepingen hoog (figuur 28).

Vandaag worden verschillende percelen en gebouwen door het Agentschap Onroerend Erfgoed aangeduid als **vastgesteld bouwkundig erfgoed** (figuur 27). Het gaat daarbij om 46 percelen, waarvan één monument voor de gedeporteerde Joodse bevolking (Agentschap Onroerend Erfgoed, 2022). De huisnummers van de vastgestelde percelen omvatten 15A-B, 31, 34, 42, 44, 48, 56-60, 64, 75-77, 78, 79, 91, 93, 95-97, 99, 103, 108-110, 113, 117, 120, 125, 133-135, 136, 140, 142, 150, 153, 154, 155, 157-159, 165, 166, 170, 183-185, 187, 189, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 199, 200-202 en 206-210.

De opname van bouwkundige elementen in de vastgestelde inventaris zorgt niet voor een bescherming van deze elementen, maar heeft wel juridische gevolgen. Specifiek voor de sloop van de vastgestelde elementen dient een omgevingsvergunning aangevraagd te worden, met een expliciete motivering van de beslissing en het daarbij **in acht nemen van de erfgoedwaarden** (Debacker, 2018). De beslissing omtrent het verlenen van deze vergunning wordt, zonder advies van het Agentschap Onroerend Erfgoed, genomen door de lokale besturen.

Van deze vastgestelde erfgoedobjecten zijn **drie gebouwen wel degelijk beschermd** (figuren 27 & 28, Agentschap Onroerend Erfgoed, 2022). Allereerst wordt de meest zuidwestelijk gelegen nr. 166, een modernistisch burgerhuis (1933), beschermd voor zijn architectuurhistorische en architecturale waarde. Centraler wordt nr. 117, het ‘Hotel Lieven Gevaert’ in beaux-artsstijl (1912), omwille van zijn artistieke waarde beschermd. En tenslotte wordt het meer noordoostelijk gelegen nr. 91, het ‘Museum Ridder Smidt van Gelder’ in eclectische stijl (1904), beschermd met een bijhorend beheersplan om zijn artistieke en historische waarde. Voor de beschermde percelen gelden strengere juridische gevolgen (Agentschap Onroerend Erfgoed, 2016). De monumenten mogen niet ontsiert, beschadigd, vernielt of aangetast worden. Het onroerend goed moet in goede staat behouden blijven en voor werken aan het goed moet een schriftelijke toelating aangevraagd worden bij het Agentschap.



Figuur 26: Een historisch overzicht van de Belgiëlei op de Ferrariskaart (Koninklijke Bibliotheek van België & Agentschap Informatie Vlaanderen, 1777), de Vandermaelenkaart (Koninklijke Bibliotheek van België & Agentschap Informatie Vlaanderen, 1846) en een luchtfoto (Agentschap Informatie Vlaanderen, 2021).



Figuur 28: De drie beschermde panden langs de Belgiëlei met de nummers 166, 117 en 91 (Agentschap Onroerend Erfgoed, 2022)



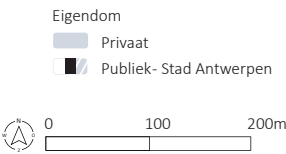
Figuur 27: De aanduiding van vastgestelde en de beschermde erfgoedobjecten langs de Belgiëlei op de kaart, schaal 1:7.500 (Agentschap Onroerend Erfgoed, 2022; Braeken et al., 2015)

Eigendommen

De weginfrastructuur van de Belgiëlei omvat **hoofdzakelijk een publiek domein**, in handen van de Stad Antwerpen. Wel kent de spoorbedding voor de tram twee extra beheerders; De Lijn en Infrabel. Daarnaast is het zuidwestelijk gelegen en publiek toegankelijke Harmoniepark ook in handen van de Stad Antwerpen. Langsheen de zuidwestelijke Mechelsesteenweg en de Noordoostelijke Mercatorstraat worden de fietspaden beheerd door het Agentschap Wegen en Verkeer. Naast het publieke domein zijn binnen de omringende bouwblokken de percelen in handen van private eigenaars, buiten twee percelen (figuur 29). Het gaat allereerst om het noordoostelijke perceel dat via erfpacht in handen is van de Intercommunale Maatschappij voor Energievoorziening van Antwerpen, en een tweede meer centraal gelegen gebouw is in eigendom van het Autonoom Gemeentebedrijf Stedelijk Onderwijs Antwerpen en wordt gebruikt door de basisschool 'De Spiegel' (figuur 30).



Figuur 30: De Stad Antwerpen is o.a. eigenaar en beheerder van het publiek domein en de basisschool 'De Spiegel' (wit gebouw)



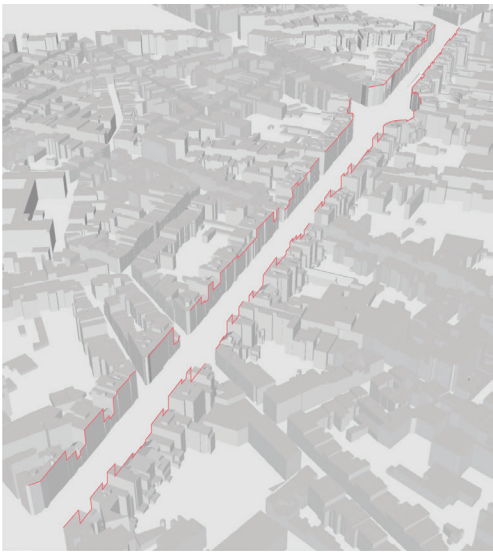
Figuur 29: De algemene verdeling tussen publieke en private eigendommen, schaal 1:7.500 (Het Facilitair Bedrijf Vastgoed, 2022; Vlaamse Overheid, 2022)

Hoogte bebouwing

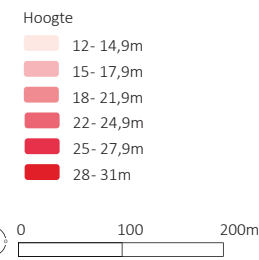
Zoals binnen het hoofdstuk omtrent de historiek van de Belgiëlei reeds werd vastgesteld, wordt de street canyon gekenmerkt door een sterke variatie aan bouwstijlen van de 19^e, 20^e en 21^e eeuw. Dit vertaalt zich ook in de bouwhoogtes langsheen de Belgiëlei. De hoogste gebouwen worden gevonden in het noordoostelijke deel van de Belgiëlei, met **hoogtes tot 31m met maximaal negen verdiepingen** (figuren 31 & 32). Ten zuidwesten van het 'ronde punt' worden meer herenhuizen teruggevonden van drie tot vier verdiepingen, weliswaar met een hoge plint, welke de hoge muur aan appartementen doorbreken. Deze herenhuizen zijn zelf ook nagenoeg allemaal opgedeeld in appartementen. Het laagste gebouw kent een hoogte van 12m.



Figuur 31: De hoogte van de bebouwing, tweedimensionaal weergegeven volgens een gradiënt van één verdieping (ongeveer drie meter), schaal 1:7.500 (Agentschap Informatie Vlaanderen, 2015)



Figuur 32: De hoogte van de bebouwing, driedimensionaal weergegeven via het verbinden van de bouwhoogtes (Agentschap Informatie Vlaanderen, 2015)



Functies in de plint

Gezien de grootschalige passage doorheen de Belgiëlei, leent sommige bebouwing zich met een afwijkende **plint** tot andere functies dan wonen of kantoren (figuur 33). Momenteel beslaat 64% van de plinten van de 191 gebouwen een woonfunctie. Een tweede grote functie omvat 13% aan diensten, voornamelijk verzekeringsbanken en zorgvoorzieningen. De commerciële functies sluiten met 11% de top 3 af, waarin kledingwinkels een groot aandeel uitmaken. Belangrijk daarbij is dat commerciële voedingswinkels, bestaande uit supermarkten, fruit-, groente- en nachtwinkels, als een aparte categorie wordt beschouwd. Opvallend is ook de 3% aan leegstaande plinten, van belang voor de handelsactiviteit in de Belgiëlei.

De categorisering van functies wordt opgemaakt met oog voor de **frequentie aan laad- en losmomenten**. Zo kan worden gesteld dat apothekers een hoge frequentie kennen, aangezien zij vaak ‘s morgens en ‘s middags leveringen krijgen. Vervolgens kennen voedingswinkels bijna dagelijkse leveringentergarantievan de versheid van voedingsproducten. Ook is één productiebedrijf (van chocolade, namelijk Cargill Chocolate Belgium) aanwezig, waar vrachten voor in- en export evident zijn. De beperkte laanbreedte (ongeveer

12m tussen de poort en de omheining van de tramberm) is kleiner dan de standaard benodigde 13,3m wat het inrijden bemoeilijkt. Er zijn meerdere corrigerende bewegingen van de vrachtwagenchauffeur nodig wanneer men hier wil laden en lossen, wat filevorming veroorzaakt (figuur 34).

Overige functies kennen in mindere mate een frequentie aan laad- en losmomenten of start- en stopbewegingen. Door het gebrek aan laad- en loszones moeten bestel- en vrachtwagens vaak **dubbel-parkeren** op de rijbaan (figuur 34). Daarbij moet vermeld worden dat scholen ook drukte kennen tijdens het afzetten en ophalen van de leerlingen, maar de weginfrastructuur leent zich hier voornamelijk tot actieve verplaatsingen met dit doel.

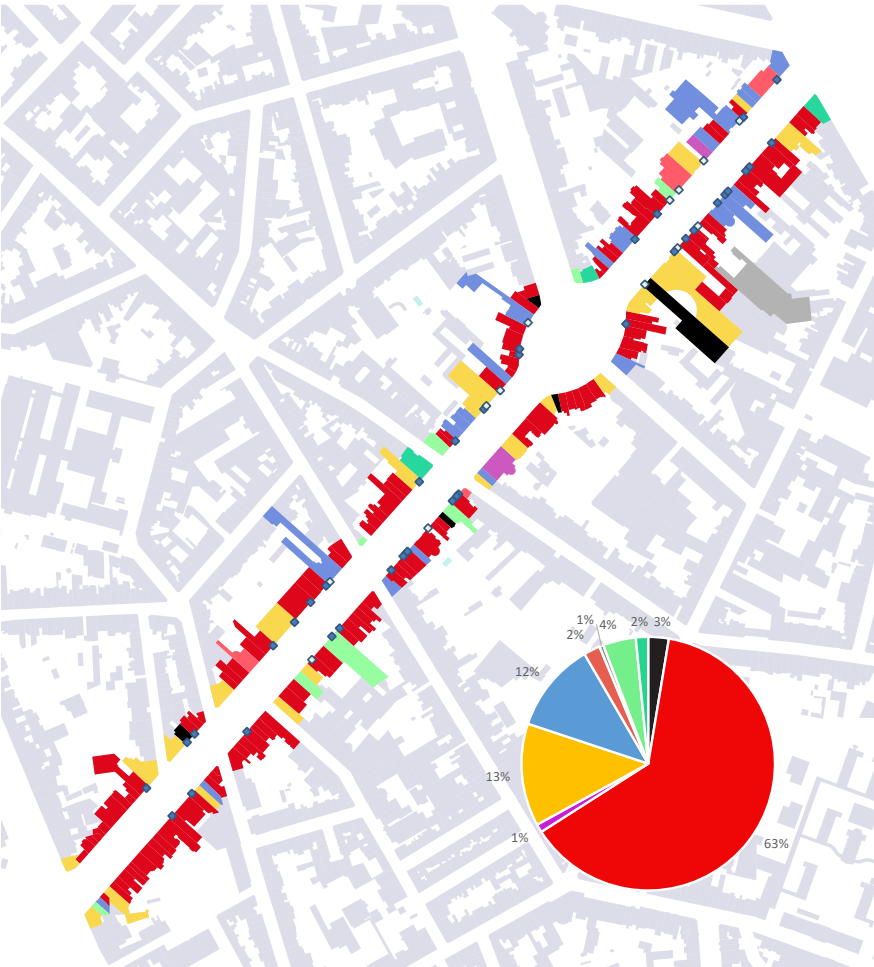
Kwetsbare functies & Hotspots

In en rondom de Belgiëlei (figuur 35) bevinden zich allereerst verschillende voorzieningen met betrekking tot **kinderen** (Kind en Gezin, 2020; Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, 2022). Op de Belgiëlei zelf bevinden zich twee basisscholen en drie kinderopvangcentra voor zowel dag- als naschoolse opvang. Langsheen de oostelijke parallel lopende Lamoriniërestraat en de kruisende Isabellalei is de dichtheid aan voorzieningen voor kinderen echter groter. Voor en na de schooluren zijn de schoolgaande kinderen zeer zichtbaar in het straatbeeld (figuur 36).

Naast verschillende kleinschalige diensten in functie van de **gezondheidszorg** (zie ‘Functies in de plint’ en figuur 33) bevindt zich op de Belgiëlei één zorginstelling voor psychiatrische verzorging (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2022). Belangrijk is de nabijheid van de Sint-Vincentius campus (GZA ziekenhuizen, z.d.); een algemeen ziekenhuis waar men terecht kan voor raadpleging en ingrepen, maar waar ook de spoedafdeling een belangrijke waarde vormt. Er zijn specificaties in thoraxheelkunde, materniteit en muco maar ook een COVID-testcentrum aanwezig. Tenslotte is hier ook een huisartsenwachtpost ‘Brabo’ gevestigd voor dringende medische problemen in het weekend of de feestdagen.

In de onmiddellijke omgeving zijn ook twee voorzieningen aanwezig voor **ouderenzorg**. Zo is er één gebouwencomplex met assistentiewoningen aanwezig binnen een bouwblok aangrenzend aan de Belgiëlei, met aansluiting op de Nerviërsstraat. Daarnaast bevindt zich een woonzorgcentrum aan het uiteinde van de Isabellalei.

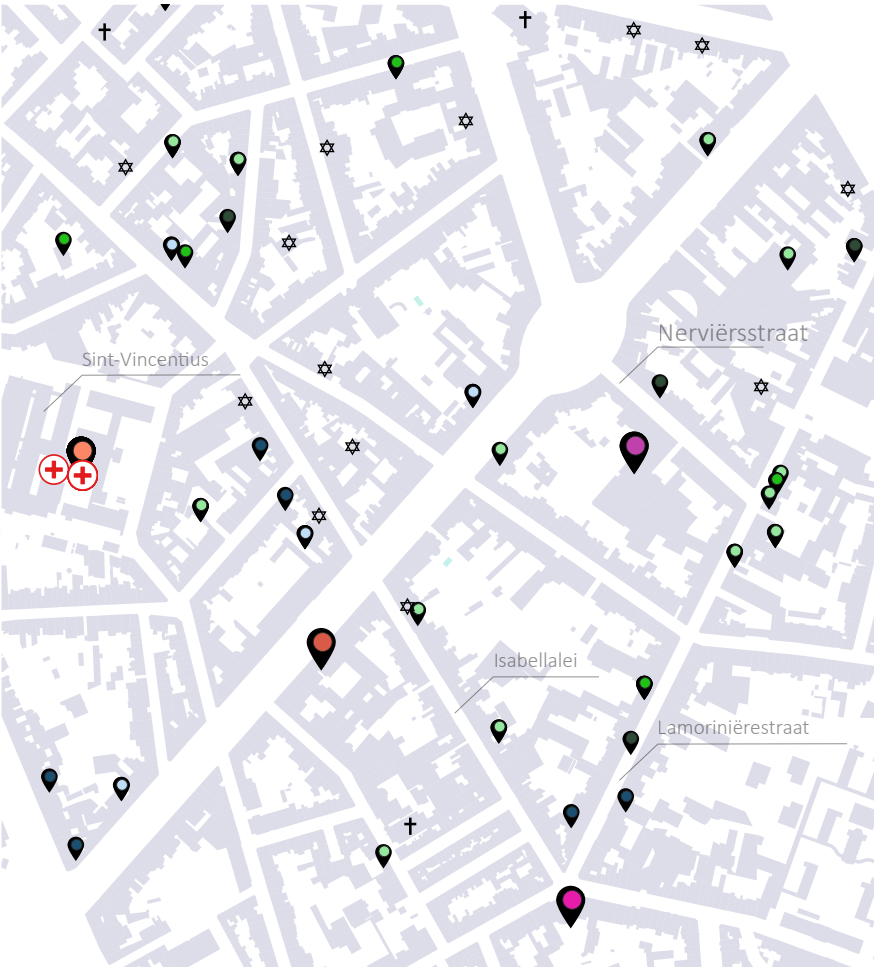
Binnen een straal van ongeveer 500m van het centrum van de Belgiëlei, op microniveau, bevinden zich **dertien synagogen en drie kerken**. Eén van deze kerken (aan het Stadspark) huisvest de Russische orthodoxe religie. Binnen dezelfde schaal bevinden zich **geen sport- of spelvoorzieningen, alsook geen culturele centra**.



Figuur 33: Functies langsheen de Belgiëlei weergegeven op de kaart, schaal 1:7.500, en percentueel weergegeven op een taartdiagram



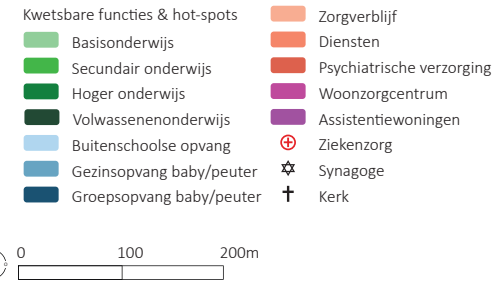
Figuur 34: De nauwe in- en uitrit van Cargill Chocolate Belgium zorgt voor filevorming, terwijl overige functies vaak enkel beleveld kunnen worden wanneer vrachtwagens dubbel parkeren



Figuur 35: Voorzieningen voor kwetsbare groepen als kinderen, ouderen en patiënten aangeduid op de kaart, schaal 1:7.500 (Agentschap Zorg en Gezondheid, 2022; Kind en Gezin, 2020; Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming, 2022)



Figuur 36: Het schoolgaand verkeer omvat voornamelijk actieve verplaatsingen



Staat bebouwing

Binnen de Belgiëlei bevinden zich meerdere panden uit de vorige eeuw(en), wat volgens de historische analyse niet wil zeggen dat deze allemaal waardevol zijn. Verweerde gevels, enkel glas, verouderde bekabeling enzoverder komen veelvuldig voor binnen de Belgiëlei (figuur 38). Het exacte bouwjaar is ook niet eenvoudig te achterhalen. Wel kan op basis van het vergunningsregister een **schatting van de ouderdom** gemaakt worden (Stad Antwerpen, 2022b, 2022c). Binnen de ouderdomsanalyse (figuur 37) is daarbij niet altijd het bouwjaar van belang. Voor 1962 was het aanvragen van een vergunning niet verplicht, en ook al tekende de Stad Antwerp reeds opmerkelijk veel vergunningen vóór deze datum op, toch maakt dit feit het bepalen van het officiële bouwjaar moeilijk. Interessant zijn daarom de meest recente vergunningen voor totaalrenovaties, aangezien deze de technische levensduur van de panden verlengen.

Wanneer een economische **levensduur** van bijvoorbeeld materialen van maximaal 60 jaar wordt gehanteerd (Porrio, 2017), zou 30% van de woningen langsheen de Belgiëlei (54 van de 182 vergunningen) als verouderd kunnen worden geklasseerd. Ook worden drie woningen/appartementen zelfs (geheel of gedeeltelijk) ongeschikt of onbewoonbaar verklaard (Wonen Vlaanderen, 2022).



Figuur 38: Verweerde gevels en verouderde bekabeling verouderen het straatbeeld binnen de Belgiëlei

Figuur 37: De ouderdom van de gebouwen, geschat o.b.v. de meest recente bouw- of (grootschalige) verbouwingsvergunning (Stad Antwerpen, 2022b, 2022c), en de aanduiding van ongeschikte of onbewoonbare panden (Wonen Vlaanderen, 2022), schaal 1:7.500

RUIMTELIJKE CONTEXT | Natuur

Landschap & Natuur

Op en rondom de Belgiëlei is er volgens de Biologische Waarderingskaart van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) sprake van **‘minder waardevolle tot waardevolle’ natuur** (Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2020). Dit geldt voor zowel het straatgroen als de zuidelijk gelegen Harmonie- en Koning Albertparken en het noordelijke Stadspark (figuur 39). Voor de drie stadsparken wordt geen habitat weergegeven. Voor de Belgiëlei en zuidelijke Mechelsesteenweg wordt een habitus van ‘bomenrij met plataan’ (kbpl) toegewezen. Voor de centrale rotonde van de Belgiëlei en de noordelijke zijstraat ‘Charlottalei’ wordt een habitus van ‘bomenrij met eutroof water’ (kbae) toegekend. De lage waardering geeft de stimulering om het stadsgroen op te waarderen. Deze opwaardering dient te gebeuren in overeenstemming met het lokale bodemtype, namelijk een **zandleem-bodem**.

Langsheen de Belgiëlei staan in totaal **134 bomen** ingeplant (Stad Antwerpen, 2022). Daarbij gaat het om 14 haagbeuken op het grasveld binnen het ‘ronde punt’ en 120 platanen welke als een enkele dreef overheen delen van de Belgiëlei ingeplant staan (figuur 40). Oorspronkelijk werd in 1859 de toenmalige Leopoldlei aangeplant met een dubbele dreef (vier rijen) aan platanen (Agentschap Onroerend Erfgoed,

2022). In de zuidoostelijke zijstraten van de Belgiëlei komt voornamelijk haagbeuk voor als laanboom, maar ook Japanse notenboom (in de Nerviërsstraat). Langsheen de noordwestelijke zijstraten komen verschillende boomsoorten voor zoals winterlinde in de Charlottalei, haagbeuk en sierpeer in het verlengde van de Lange Leemstraat en zelfs enkele katsurabomen in de Sint-Vincentiusstraat.

De volledige Belgiëlei en zijn zijstraten worden door de VMM aangeduid als **‘infiltratiegevoelig gebied’** (Vlaamse Milieumaatschappij, 2017). Hier wordt de infiltratie van regenwater dus vergemakkelijkt door het type bodem, wat positief is voor de waterhuishouding binnen de omgeving. Daarnaast wordt in de directe omgeving het Stadspark aangeduid als 'mogelijk overstromingsgevoelig gebied', net als het kleinschalig industriegebied langs de spoorwegen, gelegen tussen de Van den Nestlei (verlengde Belgiëlei) en de Ploegstraat (Vlaamse Milieumaatschappij, 2006). Dit gebied zal alleen bij extreme weersomstandigheden of dijkbreuken overstromen. Er bevinden zich geen risicozones binnen de Ring van Antwerpen, waar de kans op waterschade het grootst zou zijn.



Figuur 40: Plataan en haagbeuk als enige boomsoorten binnen de Belgiëlei

Figuur 39: De biologische waardering van het groen langs en in de omgeving van de Belgiëlei, de aanwezige boomsoorten en de watertoets, schaal 1:13.000 (Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, 2020; Stad Antwerpen, 2022; Vlaamse Milieumaatschappij, 2006, 2017)

RUIMTELIJKE CONTEXT | Mobiliteit

Modal split

De Belgiëlei kende tijdens de momentopnames van de metingen een gunstige modal split (zie meetresultaten in bijlage 2). De modal split geeft de verhouding weer van het aantal reizigers tussen de verschillende vervoerswijzen. Voor de Belgiëlei is er sprake van **gemiddeld 57% actieve vervoerswijzen (en het OV) en 43% gemotoriseerde vervoerswijzen** (figuur 41). Daarbij moet gesteld worden dat de modal split niet overheen heel de Belgiëlei gelijk is, waar kleine verschillen worden waargenomen voor de verschillende meetpunten.

Voor het vierde en vijfde meetpunt wordt een overgroot aandeel aan actieve verplaatsingen (en OV) waargenomen, respectievelijk gemiddeld 65% en 68%. Zo telt bijvoorbeeld het vierde meetpunt een hoog aantal wandelaars, mede dankzij de aanwezigheid van de tramhalte en een supermarkt, welke een grote passage veroorzaken. Het aantal fietsers en steppers is dan weer het grootst aan het vijfde meetpunt, waar de aanwezigheid van de Wijnitz-basisschool het grote aantal kinderen verklaart (figuur 42). **De hoge verhardingsgraad, de brede voetpaden en fietspaden bieden de ideale prikkel ter gebruik van step, fiets en buggy voor schoolverplaatsingen.** De meerderheid aan joodse moeders met buggy's en een grote kroost kunnen elkaar en anderen op de brede voetpaden zonder problemen passeren.

Voor het aandeel gemotoriseerd verkeer wordt verwezen naar de volgende pagina omtrent de 'Verkeersintensiteit', maar wel kan reeds gesteld worden dat er een beperkt overwicht van gemotoriseerd verkeer over actief verkeer (en OV) wordt waargenomen op het eerste en tweede meetpunt, respectievelijk gemiddeld 54% en 51%. Het aandeel gemotoriseerd verkeer is hier niet hoger dan op de andere meetplaatsen, maar het aandeel actieve verplaatsingen is hier wel merkkelijk lager (buiten de zesde meetplaats gerekend).

Verkeersintensiteit

De Belgiëlei kende tijdens de momentopnames van de metingen een **hoge verkeersintensiteit van gemiddeld 879 v/h** (figuur 43). Daarbij moet vermeld worden dat de verkeersintensiteit sterk verschilt tussen de verschillende meetpunten (zie meetresultaten in bijlage 3). Zo wordt de hoogste verkeersintensiteit gemeten langsheen het tweede en derde meetpunt, respectievelijk gemiddeld 1.065 en 1.131 v/h. De laagste verkeersintensiteit werd gemeten langsheen het vijfde en zesde meetpunt, respectievelijk gemiddeld 681 en 663 v/h. Deze data impliceren dat er ten zuidwesten van de tramhalte een hogere verkeersflow is, met een hoge uitwisseling van verkeer met de zijstraten. Deze data bevestigt de aanduiding in voorgaand onderzoek (D. Voordeckers, e-mail, 4 maart 2022) van de Belgiëlei als een street canyon met een **zeer problematische omgeving voor de luchtkwaliteit** (AR>1 en maximale verkeersintensiteit >300 v/h).

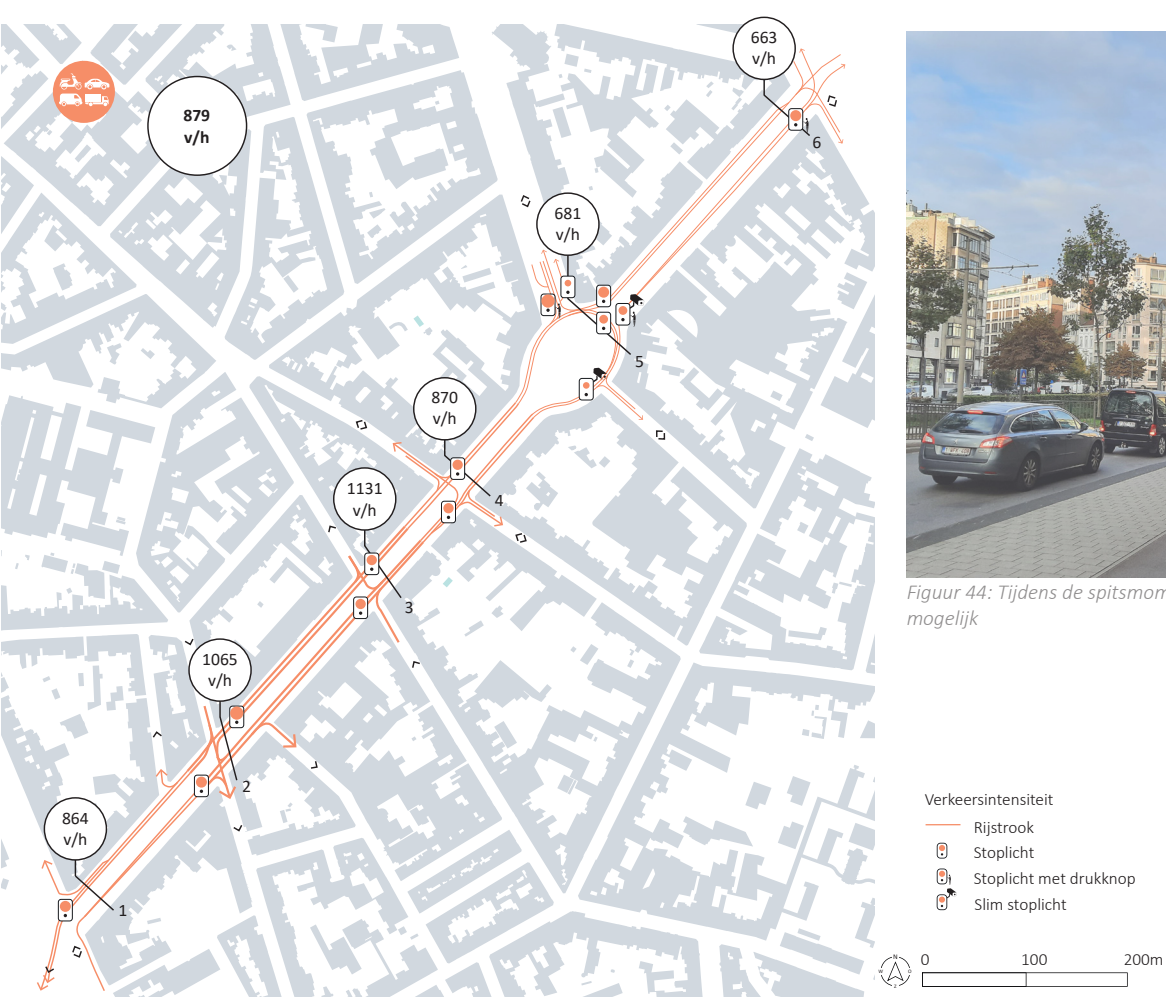
Daarnaast kent de Belgiëlei in totaal **tien kruispunten, waarvan acht bediend met verkeerslichten**, waar de start- en stopbewegingen en het stationair draaien voor een verhoogde uitstoot kunnen zorgen. Bepaalde kruispunten kennen een langere duurtijd voor het rode licht, zoals aan het tweede en het vijfde meetpunt, waar een verhoogd aantal opties voor afdraaien een **verhoogde wachttijd** veroorzaakt (figuur 44). Er werden op 22 december 2021 wel slimme lichten geïnstalleerd in het noordoostelijke deel van de Belgiëlei, waardoor deze sneller op groen springen als er effectief auto's staan aan te schuiven. Ook beschikken hier drie oversteekplaatsen over **drukknoppen voor voetgangers en fietsers** (figuur 43).



Figuur 41: De gemiddelde modal split voor de verschillende meetpunten, gemeten op zes verschillende meetplaatsen tijdens twee spitsmomenten, schaal 1:7.500



Figuur 42: Het tekort aan fietsbeugels en -parking, o.a. aan de Wijnitz-basisschool tussen meetpunt vijf en zes



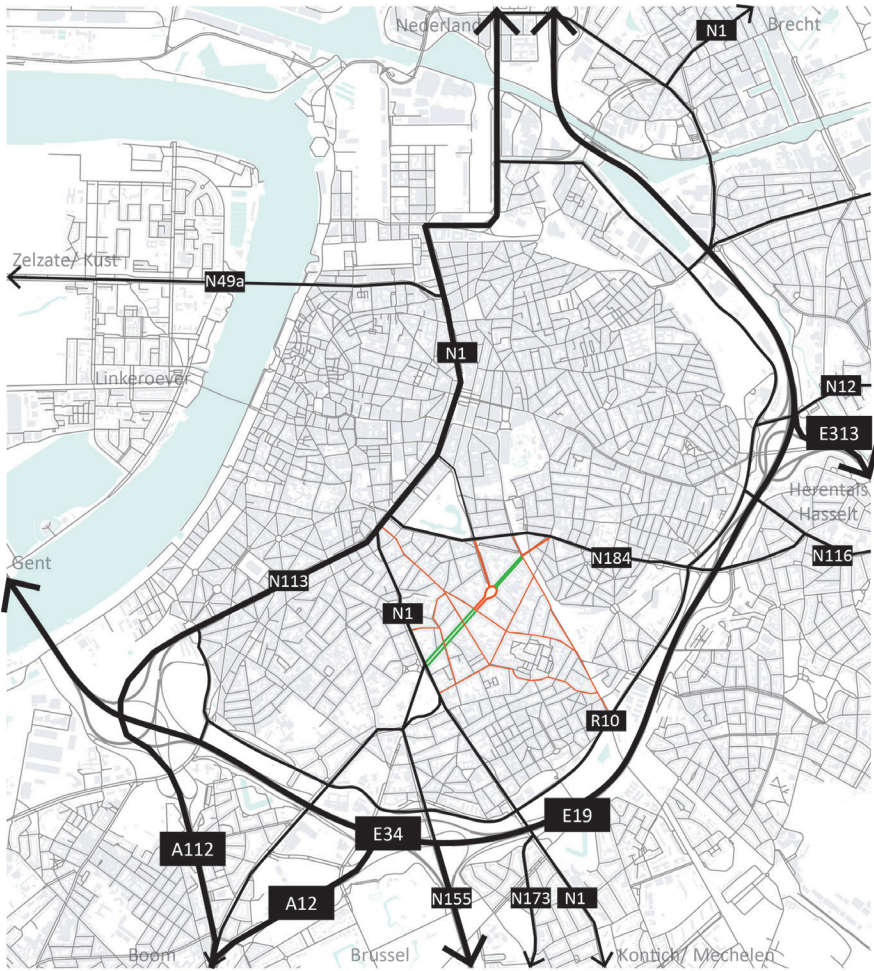
Figuur 43: De gemiddelde verkeersintensiteit, gemeten op zes verschillende meetplaatsen tijdens twee spitsmomenten, de duurtijd van het rode licht voor het gemotoriseerd verkeer en slimme verkeerslichten op de Belgiëlei, schaal 1:7.500



Figuur 44: Tijdens de spitsmomenten is filevorming mogelijk

Routes gemotoriseerd verkeer

De lokale mobiliteit bepaalt in grote mate de luchtkwaliteit binnen de street canyon, maar diezelfde mobiliteit hangt reeds af van het bovenlokale wegennet. Wanneer de drukste wegen in kaart worden gebracht (figuur 45), komt de Belgiëlei naar voren als een **verbindingsweg tussen verschillende nationale wegen** of leien (Vlaamse Overheid, 2022). Zelf staat ze in direct contact met de N1 of Mechelsesteenweg en de N155 of Koningin Elisabethlei (figuur 46). Ze kent een lagere verkeersdruk dan de omliggende nationale wegen, maar kent toch een zekere intensiteit en vlot verkeer gezien de vier rijstroken. Enkel aan de centrale rotonde wordt trager verkeer waargenomen, wat ook geldt voor de omliggende woonstraten (Google LLC, 2022).

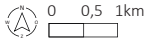


Figuur 45: Wegennet van het centrum van Antwerpen, schaal 1:120.000 (Vlaamse Overheid, 2022) en de aanduiding van de meest frequent gebruikte wegen en sluiptegen



Figuur 46: De aansluiting op de Mechelsesteenweg en de Koningin Elisabethlei

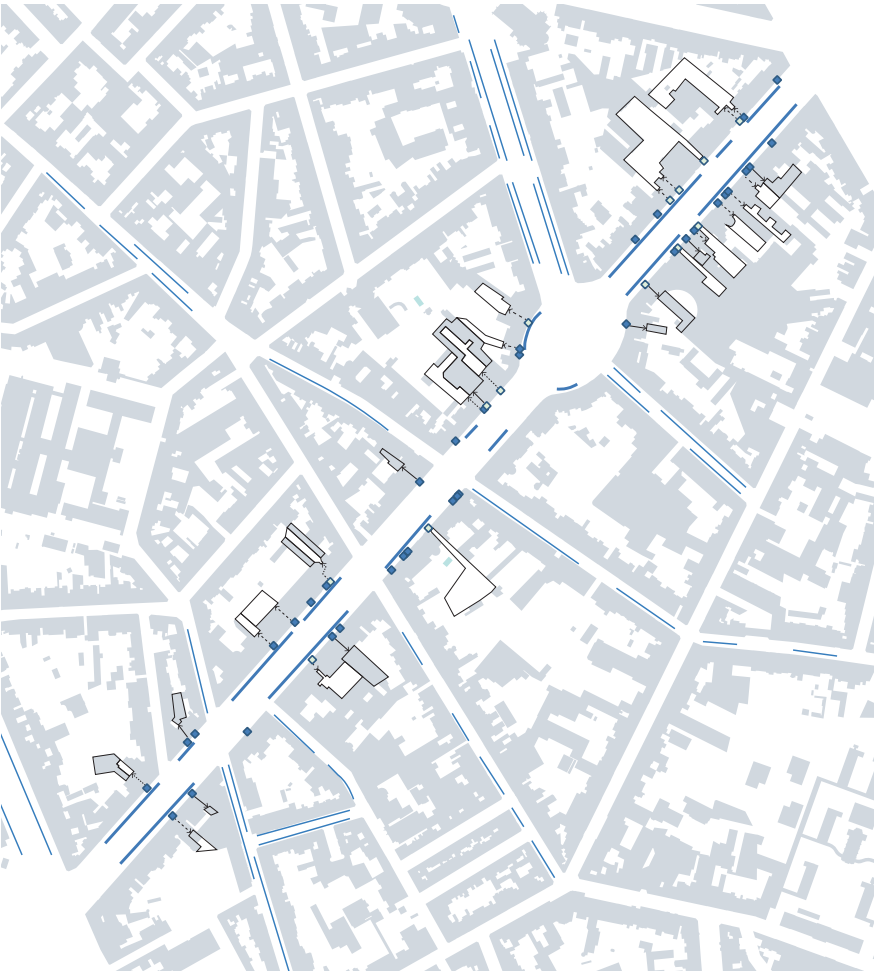
Gemotoriseerd verkeer
— Snelweg
— Nationale weg
- - Verbindingsweg
— Veel gebruikte wijkweg
— Snel VS traag verkeer



Parkeren

Voor het gemotoriseerd verkeer zijn ongeveer **180 straat-parkeerplaatsen** voorzien, parallel langs heel de Belgiëlei (figuur 47). Binnen de verschillende zijstraten bevinden zich nogmaals extra parkeerplaatsen. Zoekverkeer, wat algemeen in Vlaanderen 15% van het verkeer zou uitmaken, zorgt daarbij voor extra uitstootbelasting (Depauw et al., 2018). Zowel de Belgiëlei als de zijstraten bevinden zich binnen de ‘parkeertariefzone 4’ (Stad Antwerpen, z.d.). Dit vertaalt zich in een parkeertarief van €1,40 /u boven op het starttarief van €1, van kracht tussen 9u en 19u (tenzij men een dag-, weekend of 4-wekenticket neemt). Er is wel recht op tien minuten gratis parkeertijd. Enkel parkeren in het historisch centrum is duurder, wat aangeeft dat de Stad Antwerpen straatparkeren wil ontmoedigen.

Ook worden **50 garagepoorten of openingen** waargenomen; 37 garagepoorten en 13 raster- of open garagepoorten. Deze poorten leiden niet enkel tot ondergrondse garages (20 ondergrondse garages). Negen poorten leiden naar gesloten parkeergebouwen, terwijl vier poorten naar toegangsgebieden voor individuele parkeergarages leiden. Daarnaast leiden zeventien poorten naar openlucht parkeerplaatsen, waarvan drie poorten zelfs rechtstreekse ‘gangen’ vormen naar het binnengebied (figuur 48).

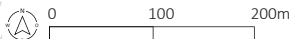


Figuur 47: De straatparkeerzones en garages



Figuur 48: Een voorbeeld van een garagepoort welke rechtstreeks tot een open binnengebied leidt

Parkeren
■ Gesloten garagepoort
□ Open poort/ raster
▭ Gesloten garage
▭ Openlucht parking
— Parkeerstrook



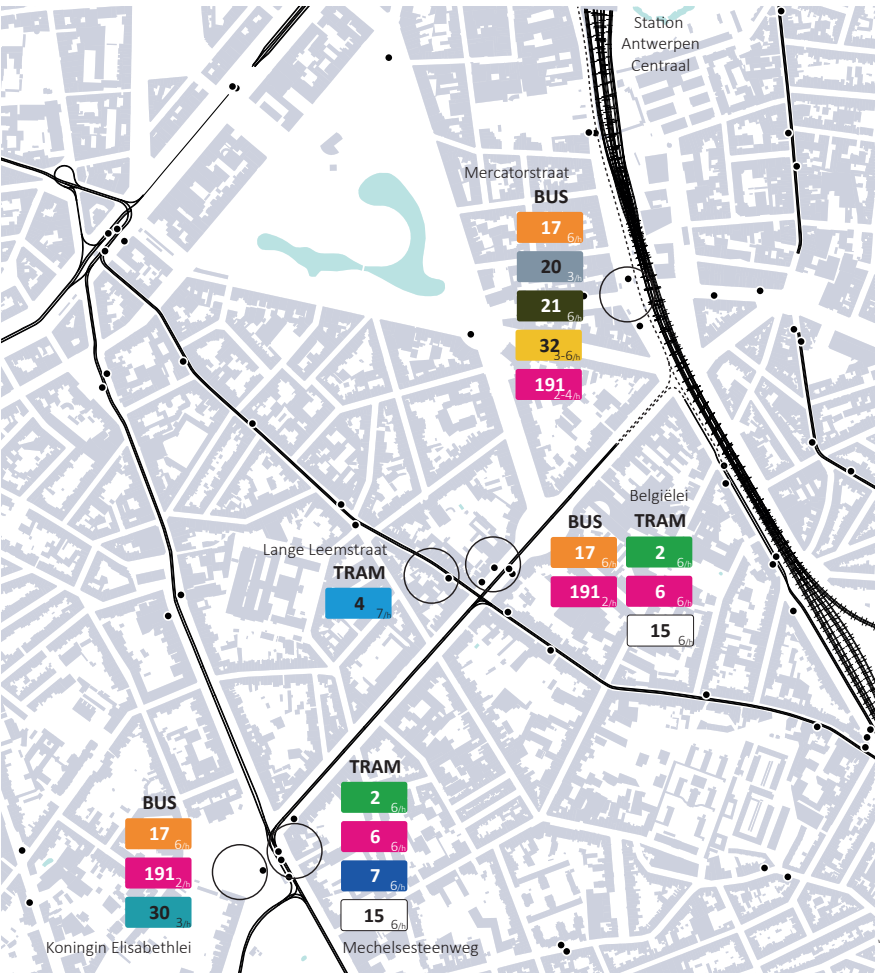
Openbaar vervoer

Langsheen de Belgiëlei zijn verschillende Openbaar Vervoersmogelijkheden (OV) van toepassing (figuur 49). In de middenberm lopen twee paar tramsporen; één voor elke richting. Deze tramsporen verdwijnen ondergronds midden in het noordelijke deel van de Belgiëlei om parallel met de treinsporen hun weg te vervolgen. Verder vertakken de tramsporen zich langsheen de Mechelsesteenweg en kruisen deze met de tramsporen langsheen de Lange Leemstraat (figuur 50). Men kan vanuit de Belgiëlei nagenoeg alle deelgemeenten van Antwerpen bereiken, met uitzondering van Berendrecht-Zandvliet-Lillo en Ekeren. Naast trams rijden ook bussen langs de Belgiëlei, de Lange Leemstraat, de Mechelsesteenweg, de Koningin Elisabethlei en de Mercatorstraat. Deze gebruiken de autoweg i.p.v. de middenberm, met haltes op de voetpaden nabij de tramhaltes met dezelfde benaming.

- Op de Belgiëlei zelf en op de Mercatorstraat bevinden zich voor beide richtingen de halte ‘Antwerpen Lange Leemstraat’ en de halte ‘Antwerpen Mercatorstraat’ met tramlijnen 2, 6 en 15 en buslijnen 17 en 191.
- Op de Lange Leemstraat bevindt zich voor beide richtingen de halte ‘Antwerpen Belgiëlei’ met tramlijn 4.

- Op de Mechelsesteenweg bevindt zich voor beide richtingen de halte ‘Antwerpen Harmonie’ met tramlijn 7 (naast 2, 6 en 15) en buslijn 30 (naast 17 en 19).
- Op de Mercatorstraat bevindt zich tenslotte de halte ‘Antwerpen Mercatorstraat’ met buslijnen 20, 21 en 32.

De aanwezige tram- en buslijnen kennen in en rond de Belgiëlei gemiddeld een frequentie van zes stops per uur. Anders verwoord komt per lijn om de tien minuten een tram of bus. Wanneer de vergelijking wordt gemaakt tussen de verschillende reistijden van tram en bus, kan gesteld worden dat vanuit de Belgiëlei een relatief grotere afstand kan afgelegd worden met de tram bij gelijke reistijden (bijlage 4). Dit kan te wijten zijn aan het feit dat trams vaak een eigen wegbedding hebben en ook ondergronds als metro zich kunnen voortbewegen. Er kan gesteld worden dat zonder overstappen ongeveer een maximale reistijd van 40 minuten vanaf de Belgiëlei geldt voor trams en bussen, waarbij de bussen richting het zuiden een grotere afstand kunnen afleggen dankzij het vlottere verkeer op de E19 en de N1. Kortom; de lijnen van het openbaar vervoer, geënt op of nabij de Belgiëlei, zijn een goed vertrek- of overstappunt om de ruimere omgeving binnen en rond de stad te bereiken.



Figuur 49: Het Openbaar Vervoersnetwerk en de haltes, schaal 1:13.000 (Vlaamse Overheid, 2022; Vlaamse Vervoersmaatschappij De Lijn, 2022)



Figuur 50: Een kruising van tramsporen aan de Lange Leemstraat

Fietsen

De Belgiëlei maakt deel uit van het ‘Bovenlokaal Functioneel Fietsroutenetwerk’ van de Provincie Antwerpen (z.d.), met een aansluiting op dit netwerk via de zuidwestelijke Mechelsesteenweg en de noordoostelijke Mercatorstraat (figuur 51). Ook sluit de secundaire fietsroute langs de Lange Leemstraat op de Belgiëlei aan. **De aansluiting op het bovenlokale netwerk benadrukt het belang van een goede fietsinfrastructuur.**

Langsheen de Belgiëlei zijn in totaal 83 fietsbeugels en drie vélo-stations aanwezig (figuur 52). Deze concentreren zich voornamelijk nabij kruispunten, haltes van het OV en voorzieningen. Er kan in het straatbeeld, op een weekdag, toch een **tekort aan fietsbeugels** worden waargenomen waarbij fietsen tegen de wand of op verharding worden gestald (figuur 53). Dit is voornamelijk het geval rond de scholen, waar een sterk tekort aan publieke fietsenstallingen wordt geobserveerd. In het algemeen worden langsheen heel de Belgiëlei fietsen tegen gevels en palen van verkeersborden gestald, wat ook geldt voor steppen, bromfietsen en scooters.



Figuur 51: Het fietsnetwerk in de ruimere omgeving van de Belgiëlei, schaal 1:140.000 (Provincie Antwerpen, z.d.; Toerisme Vlaanderen, 2018)



Figuur 52: De plaatsing van fietsbeugels en vélo-stations, schaal 1:7.500



Figuur 53: Tekort aan fietsenstallingen zichtbaar in het straatbeeld

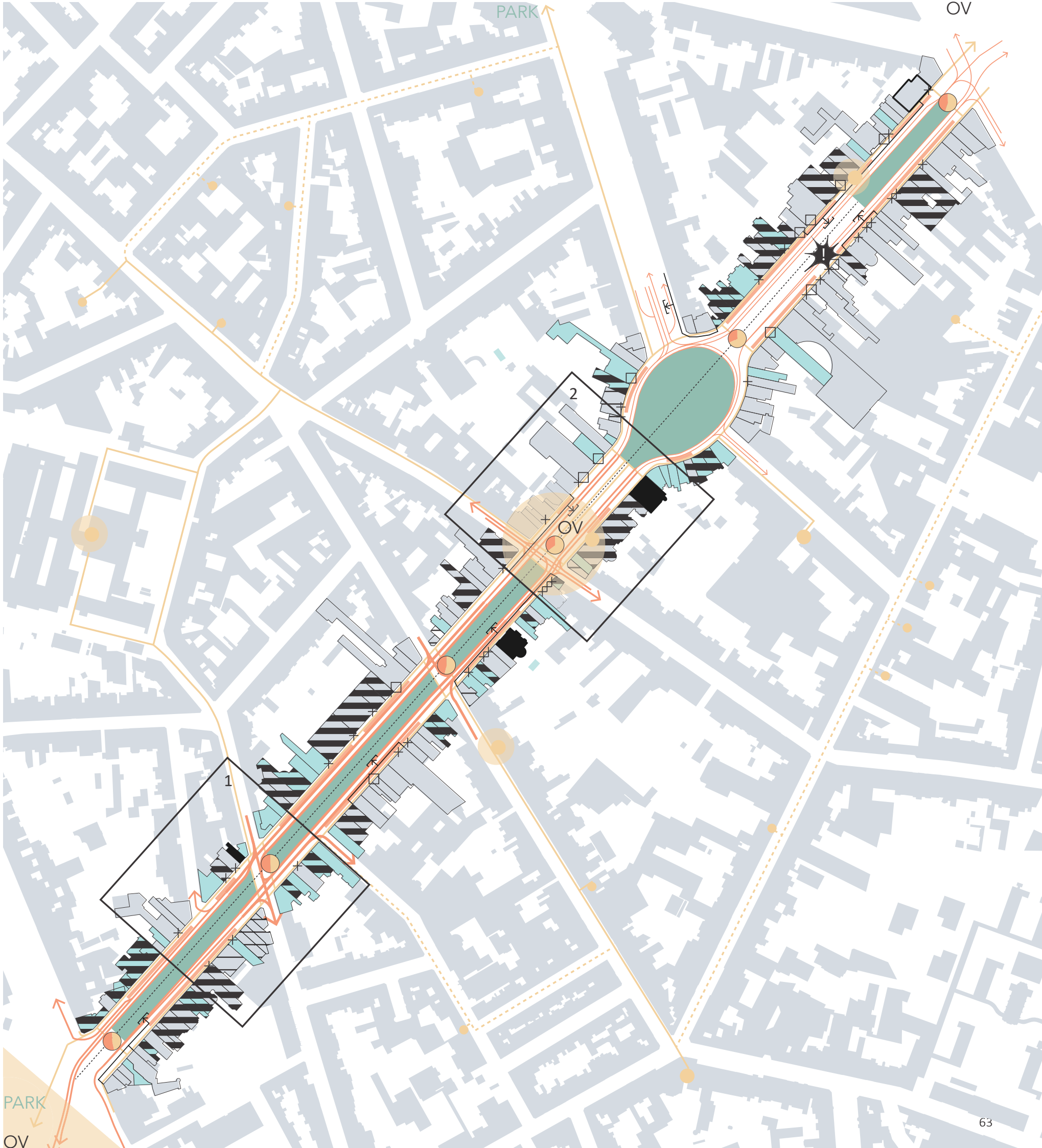
RUIMTELIJKE CONTEXT

Synthese

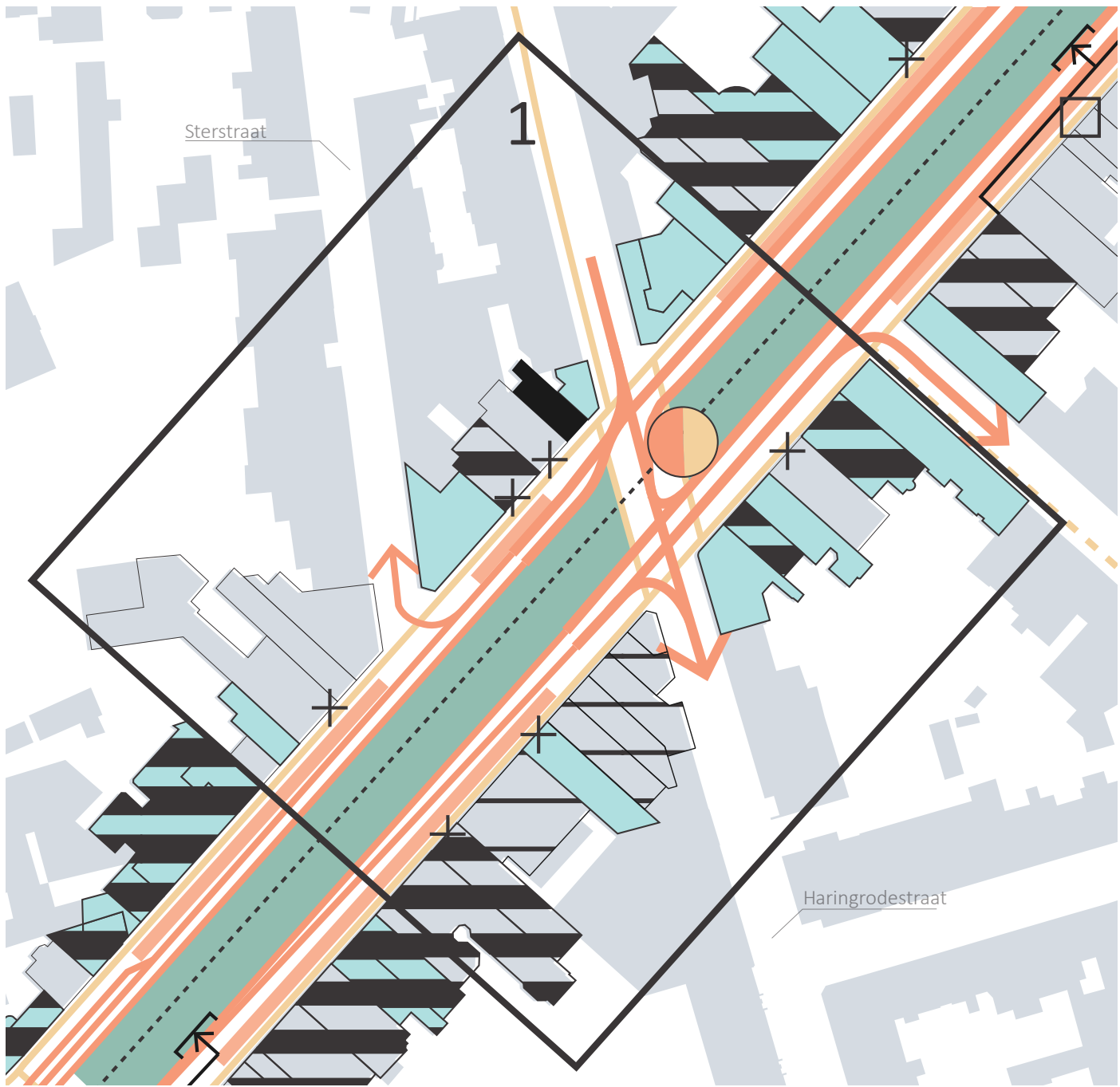
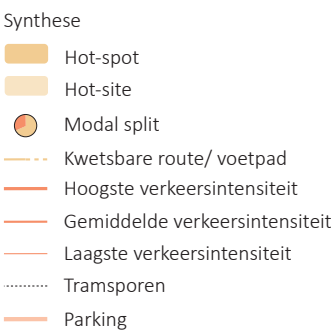
Het samenvoegen van voorgaande analysekaarten vormt een synthesekaart met de belangrijkste aandachtspunten en mogelijkheden naar ruimtelijke herinrichting toe (figuur 54). Op basis van de synthesekaart worden ook reeds twee typerende maar verschillende secties van de Belgiëlei aangeduid (160m breed). Hiervoor worden binnen het ontwerpend onderzoek scenario's opgemaakt. De keuze van de twee verschillende secties is voornamelijk afhankelijk van de verkeersintensiteit (van actief en passief) en de aanwezigheid van functies, welke bepalend zijn voor ruimtelijke inrichting.



Figuur 54: Synthesekaart met aanduiding van aandachtspunten en mogelijkheden, schaal 1:3.000

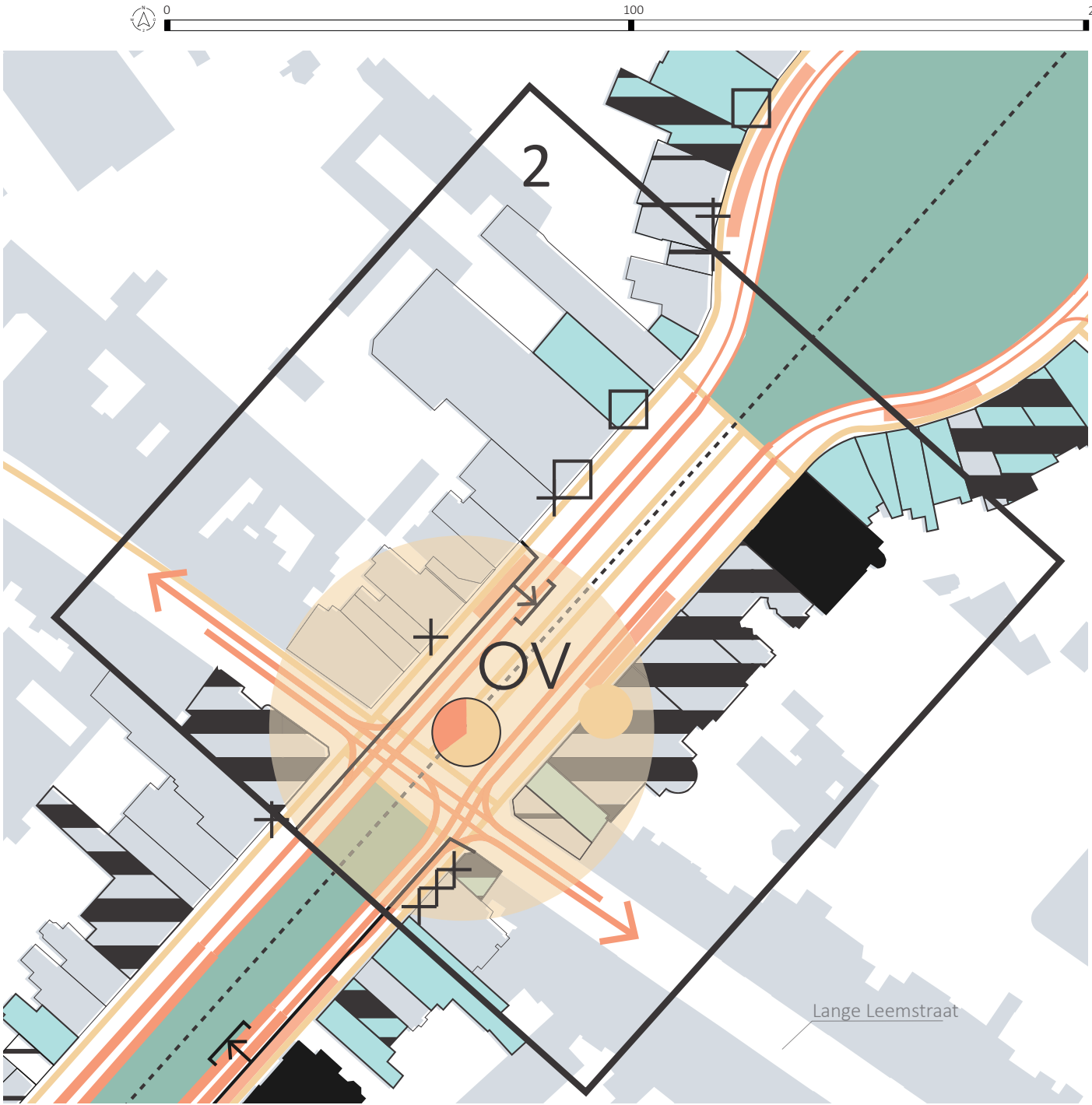
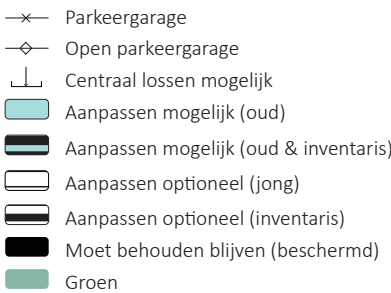


1. De eerste sectie bevindt zich aan de zuidwestelijke uitloper van de Belgiëlei en omvat de kruispunten met de Sterstraat en de Haringrodestraat. Interessant aan deze kruispunten is hier de overgang van een gemiddelde (ZW) naar een hoge (NO) verkeersintensiteit. De sectie kent een (relatief) “negatieve” modal split, waar een groter percentage gemotoriseerd verkeer wordt waargenomen tijdens spitsmomenten. Hier zijn geen belangrijke voorzieningen aanwezig.



Figuur 55: Synthesekaart, ingezoomd op de eerste sectie, schaal 1:1.250

2. De tweede sectie bevindt zich meer centraal op de Belgiëlei, aan het kruispunt met de Lange Leemstraat, en kent tegenovergestelde karakteristieken. Hier is er opnieuw sprake van een overgang, maar ditmaal van een hoge (ZW) naar een gemiddelde (NO) verkeersintensiteit richting de ‘rotonde’. Hier geldt een “positieve” modal split, met een groter percentage aan actieve weggebruikers en een gemiddelde verkeersintensiteit. Nog interessanter is hier de aanwezigheid van meerdere functies (supermarkt en basisschool) en de tramhalte, welke dit segment tot een 'hotspot' omdopen.



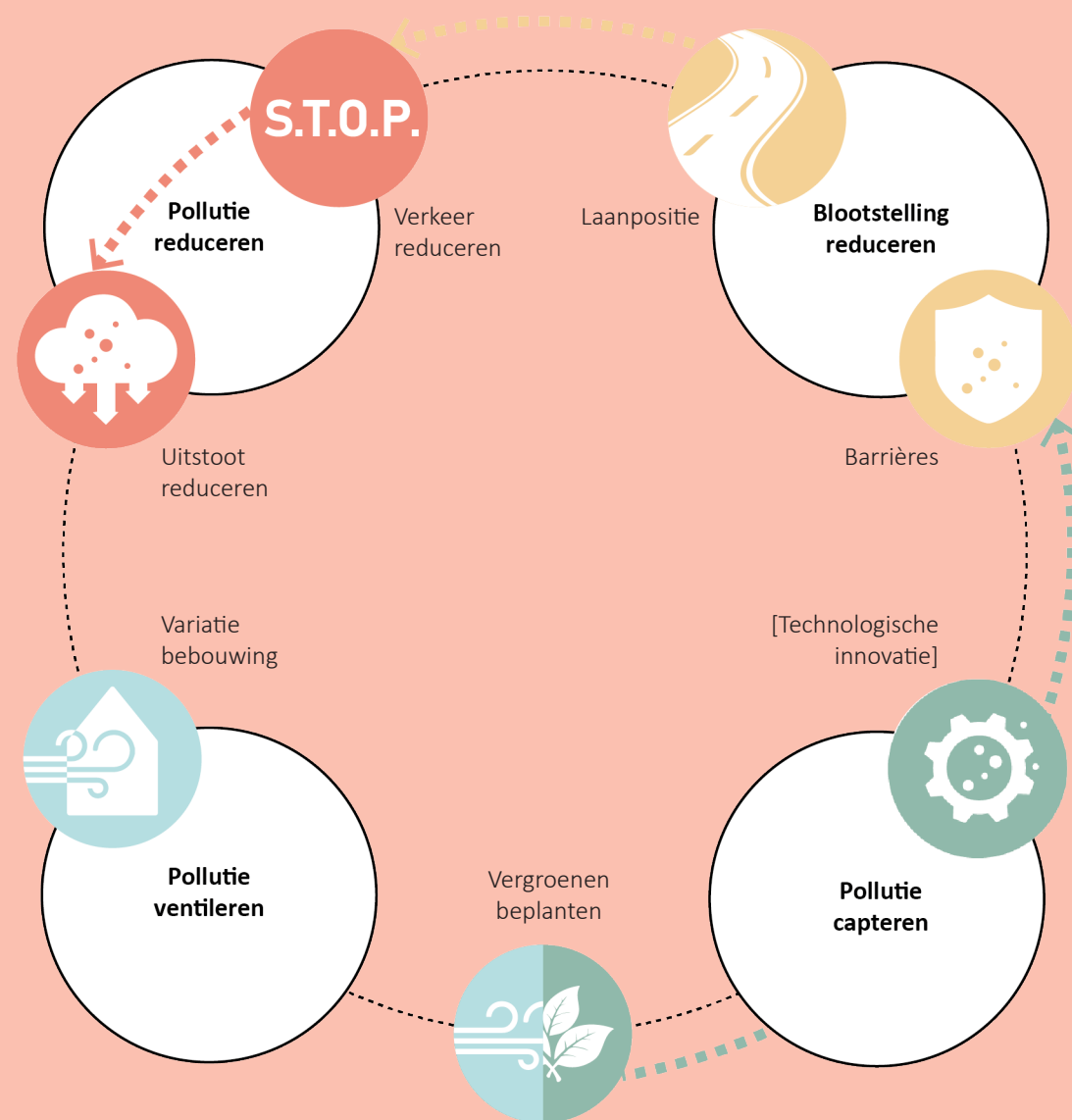
Figuur 56: Synthesekaart, ingezoomd op de eerste sectie, schaal 1:1.250

KADER

FOCUS

ANALYSE

TOOLBOX



Methode

Allereerst wordt via een **inventarisatie** een toolbox samengesteld met mogelijke ruimtelijke ingrepen die een positieve impact hebben op de luchtkwaliteit en de blootstelling aan polluenten. Deze toolbox omvat een opsomming van ingrepen welke binnen wetenschappelijke artikels reeds als effectief worden beschouwd ter verbetering van de luchtkwaliteit in street canyons. De voornaamste bronnen vormen wetenschappelijke artikels en rapporten (De Groene Stad, 2008; Depauw et al., 2018; Gallagher et al., 2011; Y. D. Huang, Li, Ren, Wang, & Cui, 2019; Nguyen, 2017; Samson, Wuyts, Van Wittenberghe, & Wuytack, 2010; Tan, Tan, Sui, Jiang, & Song, 2019; Tang, McNabola, Misstear, Pilla, & Alam, 2019; Verhaert & De Pooter, 2015; Voordeckers, Lauriks, et al., 2021; Voordeckers, Meysman, et al., 2021; Vos, Maiheu, Vanderkom, & Janssen, 2013).

De verschillende tools worden daarbij gebundeld tot vier **toolsets**, afhankelijk van het hoofddoel: **pollutie reduceren**, **pollutie capteren**, **pollutie ventileren** en **blootstelling reduceren**. De kritische reflectie inzake effectiviteit wordt daarbij ook in rekening gebracht. Zo worden ook enkel **algemeen toepasbare tools, bruikbaar bij variërende windrichtingen**, binnen de toolbox opgenomen (bijlage 5 bevat maatregelen per dominante windrichting). Als bijzaak wordt de impact van de tools op andere aspecten waaronder hitte-reductie meegenomen om de meerwaarde van een tool weer te geven. De beleidscontext en visie binnen Vlaanderen en Antwerpen wordt mede als selectiecriteria voor de tools gebruikt.

Alle maatregelen uit de toolbox worden vervolgens m.b.v. **concepten** toegepast op een gemiddelde doorsnede van de Belgiëlei (bekomen vanuit de ruimtelijke analyse). De visualisatie of schematische weergave van de tools op deze doorsnede in vier kleuren verwijst naar de vier toolsets. De conceptualisatie biedt zo een eerste voeling met de mogelijkheden zonder reeds in detail te treden.

Ruimtelijke ingrepen

Toolset 1 - Pollutie reduceren - De eerste set betreft brongerichte (verkeers-) maatregelen. Een doordachte ruimtelijke inrichting verminderd de totale hoeveelheid verkeer, maar ook de individuele uitstoot. De tools worden binnen de scenario's (hoofdstuk 'Ontwerpend onderzoek') telkens gecombineerd met mitigerende ruimtelijke ingrepen.

Toolset 2 - Pollutie capteren - De tweede set omvat algemeen toepasbare mitigatie-maatregelen, welke polluenten uit de lucht absorberen om de luchtkwaliteit te bevorderen. Het vergroenen en beplanten van street canyons zorgt voor natuurlijke pollutie-captatie. Het artificieel nabootsen van groen vormt ook een optie, maar geniet niet de voorkeur.

Toolset 3 - Pollutie ventileren - De derde toolset bevat algemeen toepasbare, passieve maatregelen bij variërende luchtstromen. Deze leggen de nadruk op het optimaliseren van de natuurlijke ventilatie in street canyons via de juiste ruimtelijke inplanting van groen en bebouwing (Gallagher et al., 2011). Luchtstromen parallel op de street canyon zorgen voor horizontale stroming en hoge turbulentie op dakniveau, terwijl schuine/loodrechte luchtstromen voor verticale stroming en turbulentie binnen de straat zelf zorgen (Y. Huang et al., 2021; Moon, Hwang, Kim, Lee, & Choi, 2014).

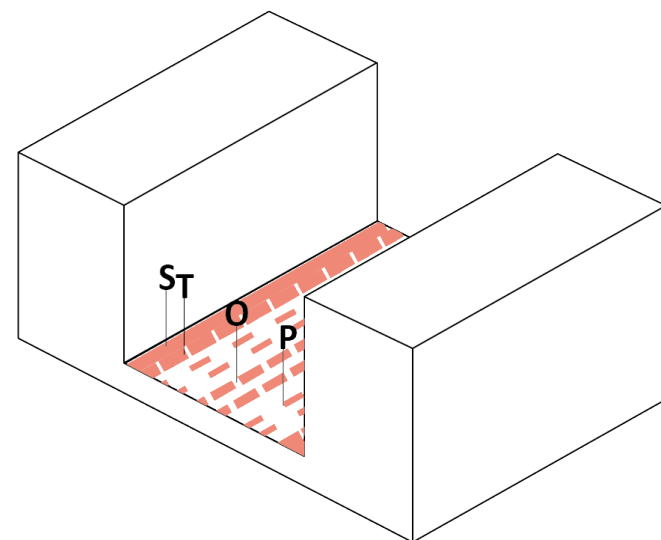
Toolset 4 - Blootstelling reduceren - Tenslotte sluit de vierde toolset, met de nadruk op de impact van luchtkwaliteit op onze gezondheid, de toolbox af. Voor reeds bestaande street canyons vallen de grootste winsten in luchtkwaliteit ten gevolge van ruimtelijke ingrepen te halen op vlak van blootstelling (Y. Huang et al., 2021). Zo kunnen barrières de concentratie aan polluenten langs 'ademruimten' minimaliseren. Ook de laanpositie is hier van belang.

Voor maatregelen op basis van de dominante windrichting: raadpleeg bijlage 5.

POLLUTIE REDUCEREN



Figuur 57: De vernieuwde 'Coolingsingel Boulevard' in Rotterdam maakt een duidelijke STOP-verdeling (West 8, BeersNielsen, & Sweco, 2021)



Figuur 58: De totale hoeveelheid verkeer reduceren volgens het STOP-principe om de pollutie te reduceren

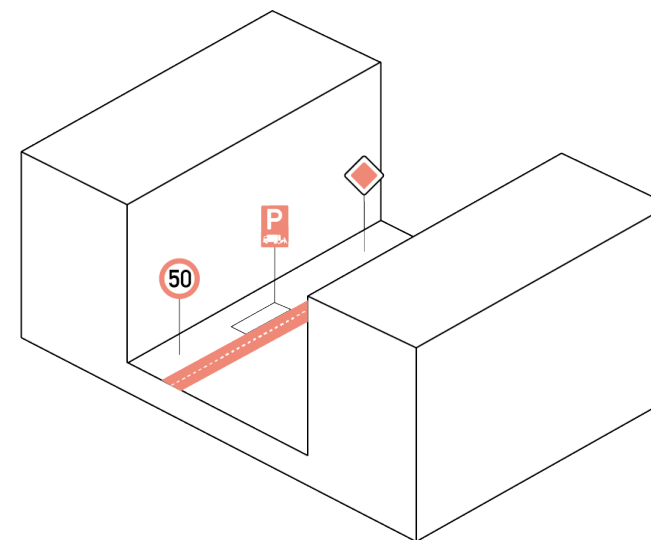
TOOL I Totale hoeveelheid verkeer reduceren

Allereerst vormt het toepassen van het **STOP-principe** een belangrijk uitgangspunt ter bevordering van meer actieve verplaatsingen en zo minder uitstoot. Dit principe wordt door het stadsbestuur van Antwerpen binnen het Mobiliteitsplan naar voren geschoven als verkeersveiligheidsbeginsel voor het inrichten van straten volgens de hiërarchie 'stappers, trappers, openbaar vervoer en personenwagens' (Verhaert & De Pooter, 2015). De hoofdassen voor de verschillende vervoersmodi worden verkeersveilig en in functie van een optimale doorgang aangelegd (zoals voor de referentie op figuur 57). Daarbij wordt wel vermeld dat dit principe niet als algemene inrichtingsregel wordt opgevat. Straten met een verbindende functie voor wagens moeten deze functie kunnen behouden om sluipverkeer naar omliggende straten te voorkomen.

Specifiek voor het beïnvloeden van de hoeveelheid gemotoriseerd verkeer, speelt het **aantal rijbanen per rijrichting** mee. Het voorzien van extra infrastructuur zou extra verkeer of 'geïnduceerd' verkeer genereren (Duranton & Turner, 2011). Dat zou dan betekenen dat het verminderen van infrastructuur het verkeer potentieel zou kunnen reduceren. Daarnaast toont onderzoek (Tan et al., 2019) aan dat vier rijbanen (surface source) een meer oneven en verspreide distributie van pollutanten teweeg brengt dan twee rijbanen (band source). Ook zou één centrale rijbaan in één richting een betere luchtkwaliteit genereren dan twee rijbanen in één rijrichting bij dezelfde verkeersintensiteit (Tan et al., 2019). De effectiviteit van deze ingreep dient nog verder onderzocht te worden. Ook mag het reduceren van het aantal rijbanen geen verschuiving van de problematiek teweeg brengen.



Figuur 59: In Marylebone (Londen) werd een 'Low Emission Neighbourhood (LEN)' toegepast, waar strakke geometrie individuele uitstoot reduceert (Urban Movement, 2022)



Figuur 60: De individuele uitstoot reduceren via snelheidsregimes, stopplaatsen en parkings om de pollutie te reduceren

Kanttekening bij het bevorderen van vlotter verkeer via het aanpakken van snelheden, stopplaatsen en parkeerplaatsen: naast de reductie van uitstoot kan vlot verkeer neveneffecten teweeg brengen, welke afgewogen moeten worden tegenover de emissie-winsten. Het verhogen van de verkeersflow verlaagd de reistijd, wat op lange termijn kan resulteren in de toename van extra verkeer en het potentieel teniet doen van de emissie-winsten (Kitamura, 2009). Hogere snelheden zorgen daarnaast ook voor een hogere geluidsbelasting (Ine, 2010) en zijn minder wenselijk vanuit het standpunt van doorstroom, verkeersveiligheid en stadsbeleving. Ook moet rekening worden gehouden met voorrang aan actieve weggebruikers. Als er nagedacht wordt over het implementeren van parkeerplaatsen aan de straatkant, moet er worden rekening gehouden met de daarmee gepaard gaande stimulatie van het autogebruik.

TOOL II Individuele uitstoot reduceren

Allereerst vormen lage snelheden een grote oorzaak voor de hoge individuele verkeersemissies, waarvoor **vlot verkeer** een ideale remedie kan bieden (Depauw et al., 2018). Verkeersdrempels voorkomen te hoge snelheden in functie van de veiligheid, maar zorgen voor een grotere uitstoot. Zo zou een constante snelheid van 70 km/h de laagste uitstoot voor NO_x en CO₂ veroorzaken. Maar wanneer naast luchtkwaliteit ook veiligheid mee in rekening wordt gebracht, stelt 50 km/h ook goede resultaten (Tang et al., 2019). Een onderzoek in Antwerpen haalt aan dat 30 km/h in woonwijken zorgt voor vlotter en veiliger verkeer, wat zo potentieel 25% minder CO₂ en NO_x emissies teweeg brengt (Madireddy et al., 2011).

Ten tweede kunnen **kruispunten en stopplaatsen** aangepakt worden ter reductie van (NO_x-) emissies, welke hoger liggen door de lage snelheid en het schakelen die gepaard gaan bij start-stop bewegingen. Onderzoek door het Departement Omgeving (Depauw et al., 2018) stelt voor om de verkeerslichten aan kruispunten interactief af te stellen om wachttijden en stationair draaien te vermijden. Een 'groene golf' aan verkeerslichten kan vlot verkeer stimuleren en zo 10% minder CO₂ en NO_x emissies teweeg brengen (Madireddy et al., 2011). Simulaties tonen aan dat de grootste winsten (tot 40%) worden geboekt bij een verkeersintensiteit nabij de wegcapaciteit en wanneer er sprake is van langer groen dan rood licht (De Coensel, Can, Degraeuwe, De Vlieger, & Botteldooren, 2012). Waar mogelijk kan een rond punt de kruispunten vervangen.

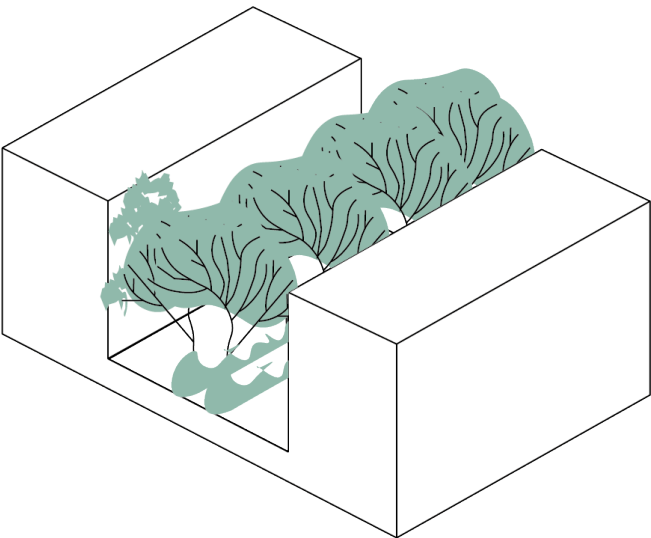
Ten derde veroorzaakt ook **parkeren en leveren** vergelijkbare emissies. Vlot verkeer kan allereerst verzekerd worden door zo weinig mogelijk garages en parkings te voorzien. Hier kan de bewegwijzering naar parkeerplaatsen het zoekverkeer (15% van het verkeer) verminderen (Depauw et al., 2018). Parkeerplaatsen (PP) worden best op een goed geventileerde plaats en niet onder bomen voorzien. Ondergronds parkeren zou zoekverkeer en emissies reduceren, wat te promoten valt wanneer het een goedkoper alternatief vormt voor bovengronds parkeren. Bepalende omstandigheden (Depauw et al., 2018);

- Geen PP waar reeds interne en ondergrondse garages, alsook parkeertorens, aanwezig zijn
- Geen PP aan winkels/magazijnen, levering centraliseren, levertijden afstemmen en stationair draaien verbieden
- Geen PP in straten met een hoge verkeersintensiteit en waar de wind dwars op de straat ventileert
- Wel PP in straten met een hoge v/h en goede ventilatie of straten met een lage v/h.

POLLUTIE CAPTEREN



Figuur 61: Binnen het concept voor de Minhocão Marquise in Sao Paolo zou de overhangende beplanting tot 20% van de aanwezige CO₂ moeten capteren (Triptyque Architecture, 2017)



Figuur 62: Vergroenen en beplanten om via bomen, ondergroei en verticaal groen polluenten te capteren

Er is een **keerzijde** aan de bidirectionele uitwisseling van bomen en beplanting. Allereerst is de captatie van polluenten voornamelijk niet permanent, en gaat het vaak om een afzetting van stoffen welke kunnen afspoelen en tijdens droge periodes weer in de lucht terecht kunnen komen. Ook worden in de praktijk bomen zo dicht mogelijk bij de uitstoot-bron geplaatst om de absorptie van polluenten efficiënt te doen toenemen, maar onder vervuilde condities kunnen pollen echter modificeren en sneller allergische reacties uitlokken bij passanten (Beck et al., 2013; Grote et al., 2016). Tenslotte stoten bomen ook weer polluenten uit. Soorten als populier en eik kunnen bij voldoende hoge concentraties aan NO_x via de uitstoot van de stof isoprene bijdragen aan de vorming van O₃ in de atmosfeer. Onder andere dennen, berken en paardenkastanjes kunnen dan weer meer organische aërosolen of PM uitstoten (Derwent, Jenkin, & Saunders, 1996).

TOOL III Vergroenen & beplanten

Algemeen stelt onderzoek vast dat voor zowel bomen als ondergroei (tabel 4) meer polluenten opgenomen kunnen worden bij lagere windsnelheden (Zhang, Zhang, Feng, Tian, & Gao, 2021). Daarnaast valt de meeste zuiveringswinst te halen aan druk bevolkte plekken (Depauw et al., 2018).

Allereerst zijn **bepaalde soorten bomen** nuttig voor het opvangen van fijn stof en de absorptie van NO₂ en O₃. De afzetting gebeurt daarbij voornamelijk op het bladoppervlak. (Groenblijvende) bomen kunnen meer polluenten opvangen als deze beschikken over een groot bladoppervlak, waarbij de effectiviteit hoger ligt bij naaldbomen (Depauw et al., 2018). Bomen met warrige takken nemen zelfs fijn stof op wanneer er geen blad op staat. De absorptie neemt toe bij een dikkere stam en is optimaal voor beuken (De Groene Stad, 2008; Samson et al., 2010). Er is sprake van een grotere afzetting op bladeren met wax (zouten en ionen) of haren; bijvoorbeeld lindes en esdoorns zorgen voor een dubbel zo grote fijn stof-afzetting t.o.v. platanen (Dzierzanowski, Popek, Gawrońska, Sæbø, & Gawroński, 2011). Fijn stof kan permanent ingekapseld worden in de wax tijdens het groeiseizoen en SO₂ en NO₂ kunnen opgelost worden in een waterfilm op het plantoppervlak (Grote et al., 2016; Hofman, Wuyts, Van Wittenberghe, & Samson, 2014).

Voornamelijk bij een parallelle windrichting geeft een symmetrische **plaatsing van bomenrijen** een gelijke captatie van polluenten overheen beide bouwzijden van de straat canyon. Bij vortexvorming geeft de windwaartse bomenrij het grootste captatie-effect en de lijwaartse bomenrij heeft zelfs een negatief effect (Zhang et al., 2021). Een plaatsing van een bomenrij aan één zijde geeft ook een sterkere reductie van PM-concentraties op voetganger-niveau t.o.v. een situatie zonder bomen. Het plaatsen van een enkele bomenrij aan de windwaartse zijde geeft een groter captatie-effect hier, maar daar tegenover geeft de lijwaartse plaatsing van een bomenrij een minder negatief captatie-effect en minder blootstelling op voetgangersniveau.

Tabel 4: Rangschikking van vegetatiesoorten naar geschiktheid voor afzetting (Depauw et al., 2018) en schaduwtolerantie (Inverde & OC-ANB, 2022)

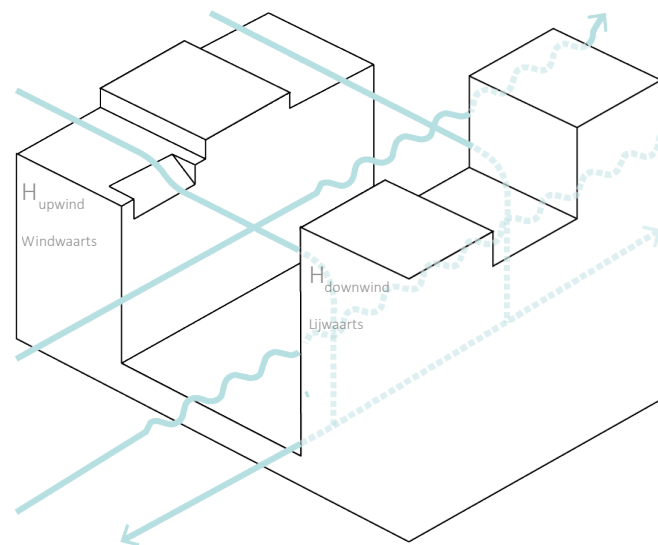
Categorie	Soort	PM ₁₀	Afzetting		O ₃	Emissie VOS	Porositeit
			NO ₂ , NO				
Loofboom	Paardenkastanje	2	3		3		0 dicht
Loofboom	Els	2	3		3		0 dicht
Loofboom	Haagbeuk	2	3		3		0 dicht
Loofboom	Beukenhaag	2	3		3		0 dicht
Loofboom	Zwarte els	1	3		3		0 half open
Loofboom	Gewone es	1	3		3		0 half open
Loofboom	Gewone esdoorn	1	3		3		0 dicht
Loofboom	Ruwe berk	2	3		3		1 half open
Loofboom	Appelboom	2	3		3		1 half open
Loofboom	Lijsterbes	2	3		3		1 half open
Loofboom	Winterlinde	2	3		3		1 half open
Loofboom	Iep	2	3		3		1 dicht
Loofboom	Plataan	2	3		3		3 half open
Loofboom	Populier	2	3		3		3 half open
Loofboom	Schietwilg	2	3		3		3 half open
Naaldboom	Grove den	3	1		1		1 half open
Loofboom	Zomereik	1	3		3		3 half open
Categorie	Soort	PM ₁₀	Afzetting		O ₃	Emissie VOS	Licht
			NO ₂ , NO				
Klimplant	Klimop	3	1		1		0 LS
Klimplant	Kamperfoelie	1	2		2		0 LS
Klimplant	Wilde wingerd	1	2		2		0 LS
Klimplant	Blauwe regen	1	2		2		0 LS
Klimplant	Clematis	1	1		1		0 LS
Categorie	Soort	PM ₁₀	Afzetting		O ₃	Emissie VOS	Licht
			NO ₂ , NO				
Haag	Beukenhaag	2	3		3		0 LS
Haag	Ligusterhaag	2	3		3		0 LS
Haag	Haagbeuk	2	3		3		1 LS
Categorie	Soort	PM ₁₀	Afzetting		O ₃	Emissie VOS	Licht
			NO ₂ , NO				
Heester	Boomhazelaar	2	3		3		0 LS
Heester	Kardinaalsmuts	1	3		3		0 SL
Heester	Klimop	2	2		2		0 SL
Heester	Struikkamperfoelie BH	2	2		2		0 SL
Heester	Dwergkwee	1	2		2		0 SL
Heester	Struikganzerik	2	2		2		1 LS
Heester	Stamroos	2	2		2		1 L
Heester	Blauwe hult	2	1		1		0 SL
Heester	Spierstruik	1	2		2		1 LS
Heester	Zuurbes Amstelveen	2	2		2		2 LS
Heester	Krentenboompje	1	1		1		0 SL
Heester	Mahoniestruik	2	2		2		3 LS
Heester	Struikkamperfoelie BV	1	1		0		0 SL

Bomen kunnen best gecombineerd worden met bepaalde **soorten aan ondergroei (kruidachtigen en struiken)** om polluenten-captatie op alle niveaus te bekomen (Depauw et al., 2018). Helaas omvatten de kruidachtig soorten die goed polluenten capteren voornamelijk uitheemse soorten. Volgens onderzoek (Zhang et al., 2021) zou het grootste effect van captatie waargenomen worden bij een inplanting van struiken aan beide zijden van de straat canyon. Daarbij zouden deze de concentraties op voetgangersniveau sterk verlagen, wat ook kan in combinatie met een centraal, benedenwinds geplaatste vegetatie (voorstel cipres) aan het einde van de straat canyon. Struikgewas heeft gemiddeld ook een hogere albedo of weerkaatsing van straling (15-35%) dan bomen (10-20%), waardoor deze meer hittestress reduceren (EPA, 2008). Bomen en ondergroei winnen daarbij in efficiëntie qua hitte-reductie ten opzichte van een groendak; één beuk met diameter 50cm is bijvoorbeeld te vergelijken met 100m² groendak in Chicago.

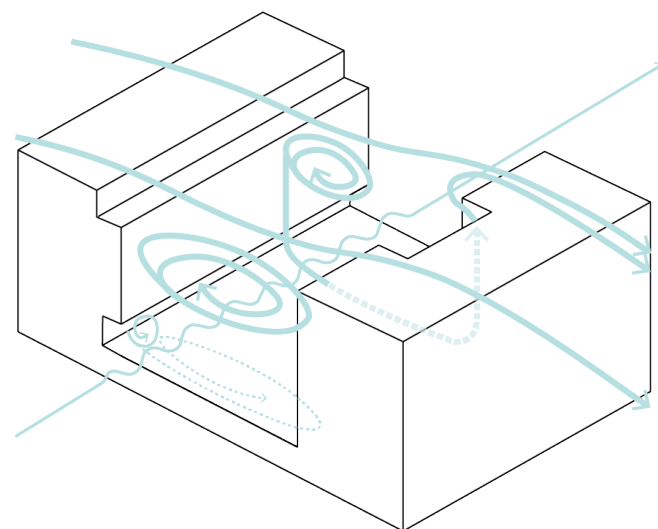
Binnen de straat canyon kan tenslotte ook **verticaal groen** gebruikt worden om fijn stof te capteren (Depauw et al., 2018), of hangend groen zoals binnen de referentie van figuur 61. Bij vortexvorming slaat fijn stof neer op de windwaartse zijde, wat beperkt kan worden door hier verticaal groen te planten. Klimop absorbeert hierbij het grootste aandeel fijn stof tegenover andere plantengevelsystemen, maar absorbeert minder NO_x of O₃.



Figuur 67: De Kameleon in Amsterdam speelt met hoogtes, setbacks en permeabiliteit (NL Architects, 2012)



Figuur 68: Bebouwing variëren in hoogte om via ventilatie de hoeveelheid pollutanten te reduceren



Figuur 69: Bebouwing variëren met setbacks om via ventilatie de hoeveelheid pollutanten te reduceren

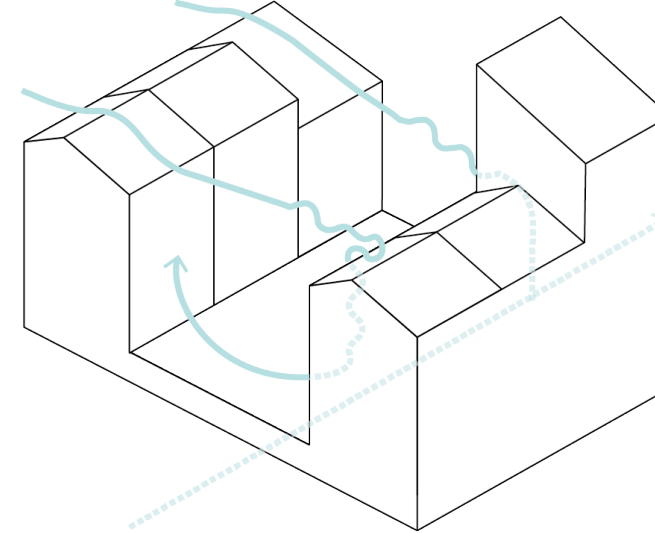
TOOL VI Variatie bebouwing

Naast het belang van de juiste groenaanplanting speelt ook de **bouwconfiguratie** een grote rol qua straatventilatie. In het algemeen wordt voor de aanleg van een nieuwe straat een lage AR, een oriëntatie parallel op de dominante windrichting en gebouwen met lagere delen langs de boulevard aangeraden (Y. Huang et al., 2021). De vraag naar grote woondichtheden en bestaande straatstructuren in de praktijk vragen echter om alternatieve parameters; de variatie aan bouwhoogte, de setback, de dakvorm en de permeabiliteit. Voornamelijk de verticale en horizontale luchtstromen zijn van belang voor de natuurlijke ventilatie (Hang, Li, Sandberg, Buccolieri, & Di Sabatino, 2012), maar elke vorm van variatie in bebouwing zorgt voor turbulentie (Voordeckers, Meysman, et al., 2021).

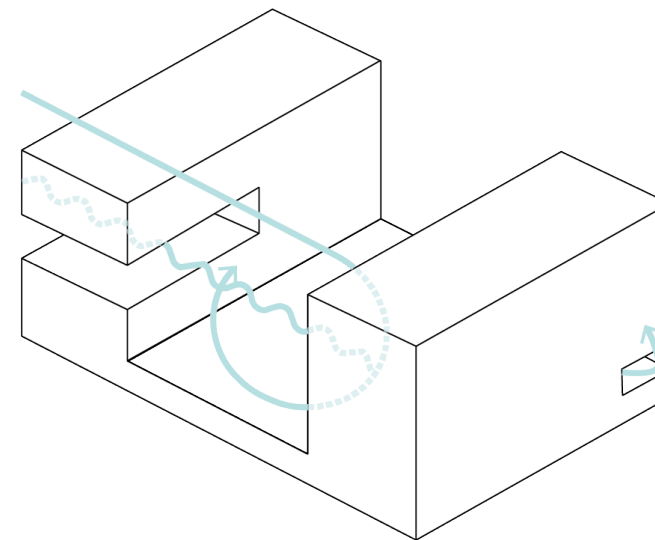
Allereerst is de **variatie in bouwhoogte** een belangrijke parameter. Onderzoek toont aan dat niet-uniforme street canyons allereerst lagere pollutant-concentraties kennen (Gu, Zhang, Cheng, & Lee, 2011). De bouwhoogte kan uitgedrukt worden met de 'building height ratio' of BHR (Zajic et al., 2011); $BHR = H_{upwind} - H_{downwind}$

In het algemeen worden bij step-down street canyons ($BHR > 1$ en $H_{upwind} > H_{downwind}$) hogere pollutant-concentraties teruggevonden, voornamelijk aan de windwaartse zijde (Xie, Huang, Wang, & Xie, 2005). In step-up street canyons ($BHR < 1$ en $H_{upwind} < H_{downwind}$) wordt daarentegen een positief 'downwash effect' waargenomen. Hierbij wordt tegen de hogere bebouwing een neerwaartse, divergente luchtstroom genereert (figuur 68), gevolgd door een uiteenlopende en verdunnende luchtstroom op straatniveau (Miao et al., 2020; Ming et al., 2018). Dit versterkt de ventilatie binnen de street canyon. Voor step-down street canyons geldt dan weer voornamelijk een convergente, opwaartse luchtstroom (Li, Zhang, Wen, Yang, & Juan, 2020). Ook kan de hoogte reeds voor één gebouw variëren. Geïsoleerde inkepingen kunnen in daken potentieel een grotere impact hebben dan aangrenzende inkepingen (Gu et al., 2011). Tenslotte kan het selectief plaatsen van hoogbouw op de benedenwindse zijde van de street canyon de turbulentie (convergent en divergent) verbeteren (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021).

Een tweede parameter wordt gevormd door de '**setback**' van de gebouwen in street canyons (figuur 69), waarvan momenteel de effecten op de luchtkwaliteit om meer onderzoek vragen (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). Zo is het gewenste type setback afhankelijk van de AR en de dominante windrichting, wat het formuleren van algemeen toepasbare ingrepen bemoeilijkt. Volgens onderzoek geldt voor street canyons met een $AR < 2$ dat een volledige, verticale setback luchtstromingen verhoogd en pollutant-concentraties reduceert in heel de street canyon (Ng & Chau, 2014). Een studie door Ine (2009) toont voor een verticale setback aan de lijwaartse zijde een reductie van 10% fijn stof en 25% NO_2 . Ook getrapte daken vormen een optie, waar de verticale stroming en zo de totale pollutant-verdunning verbeterd wordt (Ng & Chau, 2014). Tenslotte worden laterale reclameborden en balkons best vermeden of in de gevel geplaatst.



Figuur 70: Bebouwing variëren in dakvorm om via ventilatie de hoeveelheid pollutanten te reduceren



Figuur 71: Bebouwing variëren in permeabiliteit om via ventilatie de hoeveelheid pollutanten te reduceren

Na de opsomming van de parameters bouwhoogte, setback, dakvorm en permeabiliteit, welke een invloed hebben op de variatie aan bebouwing en zo ook de luchtkwaliteit, dienen enkele **kanttekeningen** gemaakt te worden. Het effect van de bouwconfiguratie op de luchtkwaliteit werd voornamelijk onderzocht voor dominante windrichtingen loodrecht of schuin op de (bebouwing van de) street canyons. Ook houden luchtstroom-modellen nagenoeg geen rekening met andere factoren als dakvorm, bomen en vervuilde bronnen. Vooraleer deze tools kunnen worden toegepast in de praktijk, dient eerst een grondige analyse van de street canyon met mogelijke luchtstromingsmodellen te worden uitgetest.

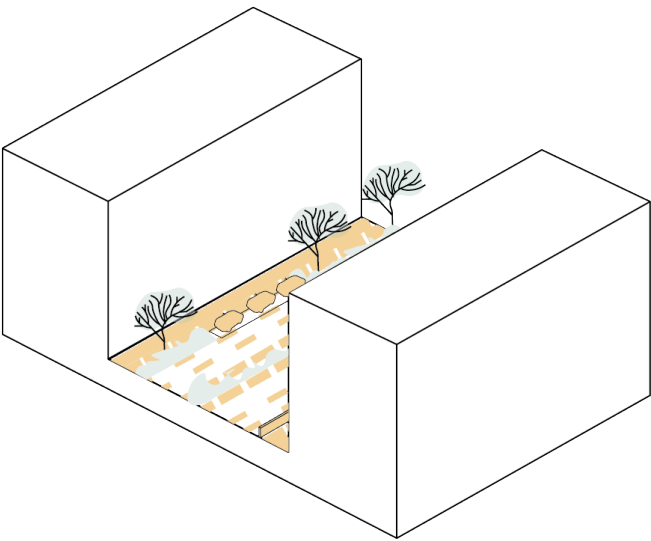
Bovenop de bouwhoogte en setback moet ook de **dakvorm** in rekening worden gebracht (figuur 70). Allereerst verhogen alle types niet-platte daken de turbulentie en pollutant-dispersie t.o.v. platte daken bij een $AR < 1$ (Llaguno-Munitxa, Bou-Zeid, & Hultmark, 2017). Ten tweede kan een schuin dak op een bovenwinds gebouw binnen de UCL de ventilatie ten goede komen, terwijl dit ook geldt voor een benedenwinds gebouw met schuin dak boven de UCL (Rafailidis & Schatzmann, 1996). Een zadeldak zou dan weer luchtverversing stimuleren door het vergroten van de vortexen. Hierbij bepalen deelparameters (bijlage 5) of er sprake is van de gewenste enkele luchtortex-structuur (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). Concluderend worden zadeldaken, step-up zadeldaken, (wind-) afwaarts hellende daken en naar buiten hellende daken aangeraden. Trapeziumvormige, gewelfde en opwaarts schuine daken moeten vermeden worden.

Tenslotte vormt de **permeabiliteit van de bebouwing** in street canyons de laatste parameter (figuren 67 & 71). Het gaat dan over het vermogen van een gebouw om wind door te laten, toegepast als 'voids' of openingen (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). Fenomenen als de toelevering van frisse lucht, het vernietigen van dubbele vortex-structuren en het verhogen van de uitwisseling van lucht tussen de street canyon en de luchtlagen erboven worden bewerkstelligd (Yang, Gao, Zhong, & Kang, 2016). Ook kan een dwarse stroming ontstaan bij opeenvolgende voids doorheen het stadswaas. Wel moeten neveneffecten in rekening worden gebracht. Zo zouden voornamelijk voids op grondniveau nadelig zijn voor het comfort van de voetgangers gezien de hogere windsnelheid. Hier wordt een drempelwaarde van maximaal 20% in diepe street canyons/steden en 10% in street canyons met een $AR < 2$ gehanteerd (van Druenen, Van Hooff, Montazeri, & Blocken, 2019). Tenslotte kan een horizontaal element in een opening het potentieel breken van de 'channeling flow' voorkomen (Ai & Mak, 2018; Ng & Chau, 2014).

BLOOTSTELLING
REDUCEREN



Figuur 72: De conceptualisatie voor de Pondy Bazaar (Chennai, India) ‘Pedestrianization’ plaatst groene barrières tussen actief en gemotoriseerd verkeer (Oasis Designs, z.d.)



Figuur 73: Barrières als kruidachtigen, struiken, muurtjes en parkings worden ingezet om de blootstelling te reduceren

Tabel 6: Rangschikking van soorten naar geschiktheid voor een verminderde blootstelling aan polluenten (Depauw et al., 2018; Inverde & OC-ANB, 2022; Van Den Berk Boomkwekerijen, z.d.) en pollen (Gezondheid NV, 2019)

Categorie	Soort	Porositeit	Max. H	Max. B	Vorm	Hooikoorts
Loofboom	Appelboom	half open	9	10	rond	PV
Loofboom	Lijsterbes	half open	12	10	ovaal	PV
Loofboom	Zwarte els	half open	20	10	ovaal	POI
Loofboom	Ruwe berk	half open	20	10	ovaal	POI
Loofboom	Winterlinde	half open	30	>15	ovaal	PV-PO
Loofboom	Populier	half open	30	>15	rond	PO
Loofboom	Schietwilg	half open	30	>15	ovaal	PO
Loofboom	Plataan	half open	35	>15	rond	PV-PO
Loofboom	Zomereik	half open	40	>15	rond	PV
Naaldboom	Grove den	half open	40	>15	rond	PV
Loofboom	Gewone es	half open	40	>15	rond	PO
Haag	Ligusterhaag	dicht	4	/	vorm	PV
Haag	Beukenhaag	half open	1,5	/	vorm	PO
Haag	Haagbeuk	half open	3	/	ovaal	PO
Heester	Struikganzerik	dicht	1	/	rond	PV
Heester	Zuurbes Amstelveen	dicht	1	/	rond	PV
Heester	Blauwe hult	dicht	4	/	rond	PV
Heester	Mahoniestruik	dicht	2,5	/	ovaal	PV
Heester	Klimop	dicht	1,5	/	snoeivorm	PO
Heester	Spierstruik	dicht	1,5	/	rond	PO
Heester	Struikamperfoelie BH	dicht	0,5	/	snoeivorm	PO
Heester	Struikamperfoelie BV	dicht	0,5	/	snoeivorm	PO
Heester	Dwergkwee	half open	1	/	rond	PV
Heester	Kardinaalsmuts	half open	4	/	ovaal	PV
Heester	Krentenboompje	half open	6	/	ovaal	PV
Heester	Boomhazelaar	half open	20	/	ovaal	PO
Heester	Stamroos	open	1,2	/	rond	PV

TOOL VII Barrières

Verschillende soorten **kruidachtigen, struiken en lage muurtjes kunnen ingezet worden als barrières** om de blootstelling van actieve weggebruikers aan verkeersemisssies te reduceren (tabel 6), voornamelijk wanneer er sprake is van hogere windsnelheden (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). Ideaal gaat het om dense en brede haagkanten met een lage porositeit en afmetingen tussen 0,9-2m hoog en >1,5m breed (Kumar, Abhijith, & Barwise, 2019). De plaatsing gebeurt zo dicht mogelijk tegen de autoweg (Kumar et al., 2019), zoals binnen de referentie van figuur 72. Algemeen wordt geopteerd voor een continue barrière aan weerszijde van de straat (Y. Huang et al., 2021; McNabola, Broderick, & Gill, 2009) waar luchtuitwisseling van de weg naar de stoep en de gebouwen verhinderd wordt (Zhang et al., 2021). De concentratie aan pollutie zou op het voetpad 24-61% lager zijn dan aan de straatkant (Vos et al., 2013). Lagere blootstelling kan bij vortexvorming efficiënter bekomen worden via het centraal en benedenwinds plaatsen van struiken (bv. cipres), met een blootstellingsreductie aan pollutent-concentraties tot 40% (Kristóf & Papp, 2018; McNabola et al., 2009).

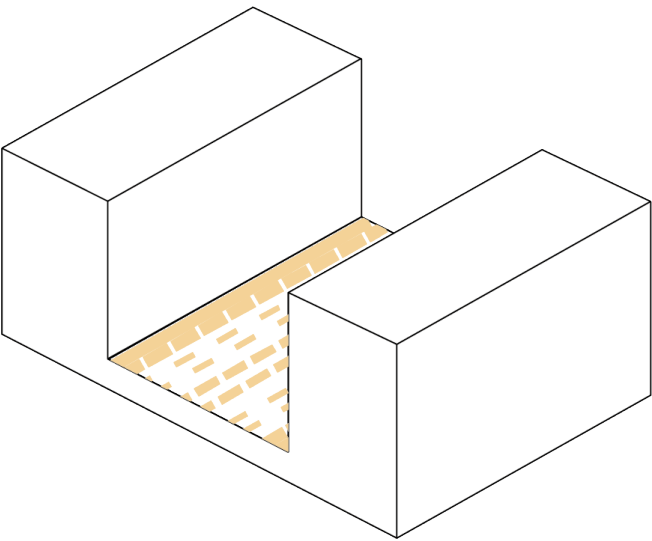
Onderzoek (Kumar et al., 2019) raad het planten van bomen af voor matig diepe street canyons ($0,5 < AR < 2$), en zeker voor diepe street canyons ($AR > 2$). Als er toch geopteerd wordt voor laanbomen, kan het plaatsen van een **enkele bomenrij aan de lijwaartse zijde** wel voor minder blootstelling op voetgangersniveau zorgen (Zhang et al., 2021). Voorgaand onderzoek toont daarbij aan dat het best gaat om boomsoorten met een medium-grootte en een hoge porositeit (tabel 6). Deze worden aangeplant aan een lage plant-dichtheid van 0,5; met een tussenruimte in de canopy gelijk aan de kroonbreedte. De optimale configuratie bestaat tenslotte uit de indeling 'voetpad/fietspad – bomenrij – haag – weg' voor een maximale blootstellingsreductie, waarbij ook groene gevels een meerwaarde bieden (Kumar et al., 2019).

Ook **parallel geparkeerde wagens** kunnen bij hogere windsnelheden voetgangers beschermen tegen pollutie (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). Bij een AR van 1 kan het parallel parkeren de blootstelling met 15% aan de lijwaartse zijde en 30% aan de windwaartse zijde reduceren (Gallagher et al., 2011). Maar voorgaande studie concludeert ook dat bij een schuine windrichting elke vorm van parkeren de blootstelling aan beide zijden van de straat doet toenemen. Het voorzien van parkeerplaatsen met een schuine oriëntatie t.o.v. het voetpad zou een tegengesteld effect veroorzaken, door de begeleiding van vervuilde luchtstromen richting de voetgangers (Abhijith & Gokhale, 2015).

Kanttekening. Ventilatie blijft bij het toepassen van barrières wel van belang om geen ophoping van concentraties te veroorzaken. Bij lage windsnelheden, diepe street canyons en schuine windrichtingen kunnen barrières en averechts effect hebben (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). Muurtjes zouden dan ook bij lage windsnelheden een graduele accumulatie aan polluenten en een stijging aan blootstelling van 12-23% kunnen veroorzaken (Wang, Pan, Zheng, & Yang, 2017). Tenslotte kan blootstelling aan polluenten ook doorgetrokken worden naar blootstelling aan pollen, waarbij gekozen kan worden om ‘pollenvriendelijke’ bomen en struiken te gebruiken welke geen hooikoorts veroorzaken (PV, zie tabel 6). Wel kunnen vervuilde condities er voor zorgen dat pollen modificeren en sneller allergische reacties uitlokken bij passanten (Beck et al., 2013; Grote et al., 2016).



Figuur 74: De High Line in New York City plaatst het voetpad zelfs boven de rijbanen (Friends of the High Line, James Corner Field Operations, Diller Scofidio + Renfo, & Piet Oudolf, 2009)



Figuur 75: De ideale laanpositie wordt bepaald om de blootstelling te reduceren

TOOL VIII Laanpositie

Tenslotte speelt ook de **laanpositie** een rol (figuur 75), voornamelijk in de verspreiding van polluenten (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). Een centrale positie voor rijbanen zorgt voor een gelijke verspreiding over beide zijden van de street canyon (Tan et al., 2019). Toch tonen studies aan dat de verplaatsing van lanen naar de windwaartse zijde een verlaging aan pollutie-concentraties aan het lijwaartse voetpad tot zelfs een factor 2 teweeg brengt (Y. D. Huang, He, & Kim, 2015). Binnen deze studies wordt ook geconcludeerd dat wanneer de rijbanen echter verplaatst worden naar de lijwaartse zijde, de concentraties binnen de gevormde vortex aan de windwaartse zijde sterk kunnen toenemen. Deze resultaten zijn van toepassing bij een loodrechte windrichting op de street canyon, welke een voorkeur geven voor een asymmetrische straatinrichting. Voor een parallelle windrichting zijn geen resultaten beschikbaar. Uiteindelijke bepaalt de site zelf, met zijn zijstraten, voor een groot deel de ideale laanpositie.

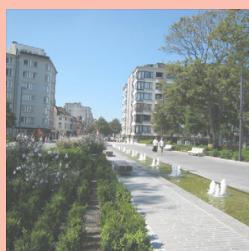
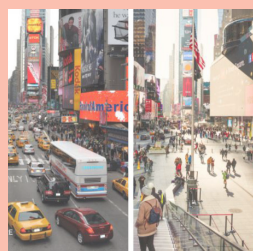
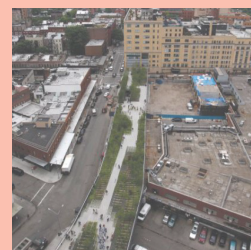
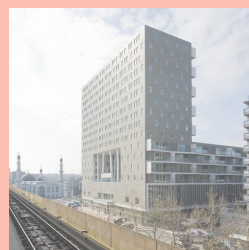
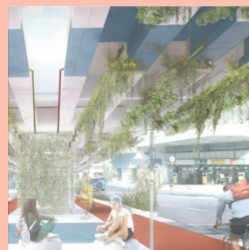
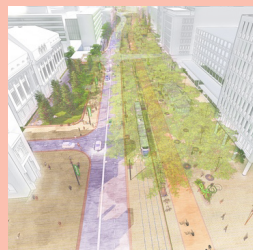
KADER

FOCUS

ANALYSE

TOOLBOX

REFERENTiestudie



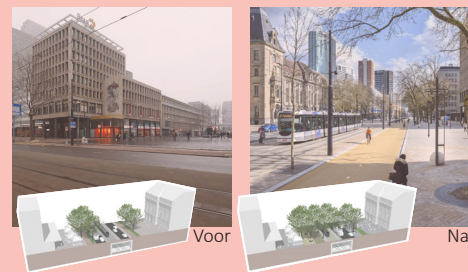
Methode

Een laatste analytisch aspect omvat een referentiestudie, waarbij **best practices** omtrent de verbetering van de luchtkwaliteit (al dan niet in street canyons) worden geanalyseerd. Dit gebeurt voor het straatniveau, maar ook op niveau van de omliggende bebouwing en de directe omgeving (Frijters et al., 2018). Op basis van gegevens uit voorgaande analyses kunnen voorbeeldprojecten met kenmerken gelijkaardig aan de Belgiëlei visueel en tekstueel verzameld worden. Voor de selectie van referenties dient minstens één ruimtelijke ingreep uit de toolbox gebruikt te zijn tijdens de (her-)inrichting, welke al dan niet worden ingezet voor de verbetering van de luchtkwaliteit. Projecten waarbinnen bestaande straten expliciet werden heringericht in functie van de luchtkwaliteit genieten een voorkeur. Gezien de schaarste aan zulke projecten, wordt ook een analyse van heraangelegde straten i.f.v. de leefbaarheid gemaakt. De effectiviteit naar de verbetering van de luchtkwaliteit kan dus niet voor elk project opgetekend worden. Voor de best toepasbare voorbeelden wordt een voor- en nabebeld geschetst. De referentieprojecten vormen een inspiratie gedurende het ontwerpend onderzoek.

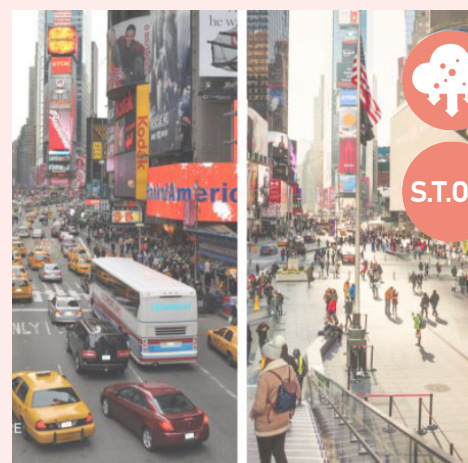
POLLUTIE REDUCEREN



S.T.O.P.



S.T.O.P.



S.T.O.P.

Coolsingel Boulevard | Rotterdam, Nederland (West 8 et al., 2021)

De Coolsingel is een belangrijke stadsboulevard welke opgericht werd in de 19e eeuw. Deze is één km lang en huisvest alle soorten weggebruikers. Vóór 2017 kende de Coolsingel een gelijkaardige wegindeling als de Belgiëlei; een centrale tram-berm met langs beide zijden 2x2 rijbanen, een fietspad en een voetpad. Hier was een groene berm met bomenrijen aanwezig tussen de actieve en gemotoriseerde vervoersmodi en was er sprake van een zeer brede maar onderbenutte wandelboulevard aan beide zijden.

Het nieuwe ontwerp legt nog meer de nadruk op de actieve weggebruikers, waarbij de beleving van de Coolsingel centraal staat. Het gemotoriseerd verkeer, voor beide rijrichtingen, krijgt hier slecht drie rijbanen ter beschikking aan één zijde van de boulevard. Ook de fietsers rijden in beide richtingen aan één zijde van de baan. Gemotoriseerd verkeer en fietsers worden daarbij van elkaar gescheiden d.m.v. de tramwegbedding. Ook belangrijk is hier de groenvoorziening en de aanwezigheid van een variërende en hoge bebouwing. – Afgerond

Marylebone Low Emission Neighbourhood (LEN) | London, UK (Urban Movement, 2022)

De Westminster City Council werkte samen met Urban Movement aan een 'lage emissie buurt' voor Marylebone. De aanpak richt zich voornamelijk op ruimtelijke en gedragsingrepen ter reductie van pollutie en de impact ervan op passanten. Een eerste strategie zet in op minder draaibewegingen en snelheid voor gemotoriseerd verkeer (door een strakke geometrie) en meer aandacht voor actieve verplaatsingen. Daarnaast wordt ongedefinieerde ruimte benut opdat hier geen voertuigen kunnen parkeren of stationair blijven draaien. Tenslotte zet men ook in op groene infrastructuur en pollutie capterende technologie zoals de 'CityTree' en NOxer bestrating. – In constructie

Times Square | New York, USA (Snøhetta, 2017)

Qua schaal valt de Belgiëlei niet te vergelijken met Times Square, met zijn wolkenkrabbers en enorme verkeersintensiteit. Naar schatting moet Times Square elke dag zo'n 330.000 aan verplaatsingen slikken, waardoor sinds 2009 gestart werd met het uitwerken van een plaza voor wandelaars. Na de afwerking is sprake van bijna een verdubbeling van het oppervlak voor wandelaars t.o.v. 2000. In combinatie met het verbieden van gemotoriseerd verkeer in de 'Bowtie area' zijn pollutie-concentraties tot 60% gedaald. – Afgerond

Figuur 76: De drie beste referenties omtrent pollutie reductie in Rotterdam, London en New York (Snøhetta, 2017; Urban Movement, 2022; West 8 et al., 2021)

POLLUTIE CAPTEREN

Minhocão Marquise | Sao Paolo, Brazilië (Triptyque Architecture, 2017)

Deze referentie omvat een drie km-lange verhoogde autoweg met hieronder plaats voor parking en actieve weggebruikers. De moderne inrichting uit 1971 is vandaag niet meer up-to-date qua leefbaarheid-standaarden. Terwijl er veel gedebatteerd wordt over de toekomst van de verhoogde snelweg, wordt weinig verbeelding losgelaten op de ruimte daaronder; de 'subspace'.

Triptyque Architecture en Guil Blanche maakten een conceptueel masterplan op, via een participatief project met omwonenden, voor de heropwaardering van de ruimte onder de verhoogde autoweg ter realisatie van een soort 'urbane tunnel'. Relevant is hier het idee dat men planten langsheen heel het plafond van deze "tunnel" wil hangen, welke naar eigen zeggen 20% van de CO₂-emissies zouden opnemen. Ook zou het irrigatiesysteem een rol spelen in het opvangen van fijn stof in de lucht en op de oppervlakten. – Concept

Mehr als Wohnen – Haus E | Zürich, Zwitserland (Müller Sigris, 2015)

Het Zwitserse 'Haus E' past binnen een groter bouwproject met meergezinswoningen. Nabij deze appartementencomplexen bevindt zich niet meteen een grote baan, maar interessant aan dit project is de vormgeving van het gebouw. Zo wordt gebruik gemaakt van klimplanten om delen van de gevel in te richten. Deze klimplanten absorberen daarbij ook pollutanten. Daarnaast heeft elk appartement een terras, wat niet het geval is in de Belgiëlei. Deze terrassen vormen inkepingen welke de luchtventilatie kunnen versterken, waar wel moet worden opgelet dat de windcirculatie het gemak van passanten en bewoners niet verstoort.

Bioreactor Genève | Zwitserland (Civic architecture & IMG+, 2014)

Deze referentie betreft een tijdelijke installatie van een bioreactor, om aan te tonen dat zelfs plekken vol verkeer een bijdrage kunnen leveren naar het genereren van biomassa en elektriciteit toe. Een systeem van transparante tubes gevuld met vloeistof en algen wordt aan het viaduct gehangen. De algenkolonie neemt daarbij zonlicht en, zeer belangrijk, CO₂ op. Het omvat een soort luchtfilter. – Afgerond (tijdelijk)

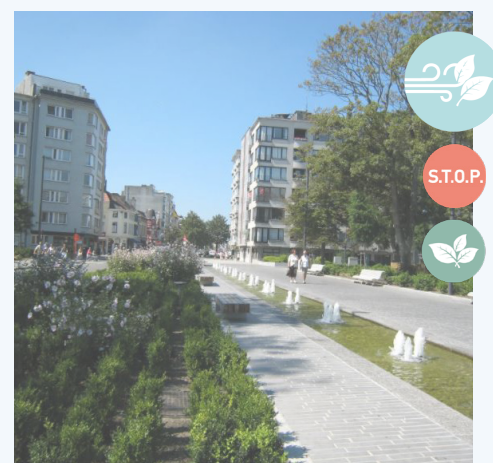
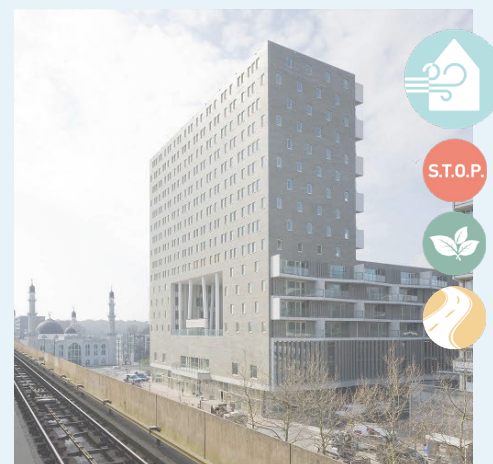
Figuur 77: De drie beste referenties omtrent pollutie captatie in Sao Paolo, Zürich en Genève (Civic architecture & IMG+, 2014; Müller Sigris, 2015; Triptyque Architecture, 2017)



S.T.O.P.



POLLUTIE VENTILEREN



Walk of the Town, The Landscape Architecture of Groove | Bangkok, Thailand (T.R.O.P., 2015)

Het project in Bangkok omvat zowel de inrichting van het winkelcentrum 'Central World' bovenop een bestaande parkeergarage, als de inrichting van de straatkant. Het betreft hier een route tussen twee belangrijke bus- en treinstations, waar net als de Belgiëlei een verbindende functie centraal staat. Vóór 2012 werd het voetpad voornamelijk gebruikt voor het parkeren van motors en scooters. De wandelaars gebruikten liever een verhoogde, stalen wandelrail onder de treinsporen.

Het nieuwe ontwerp dient de passanten naar het grondniveau en het winkelcentrum te trekken dankzij de groene, veilige inrichting. De wand van de parking wordt open gelaten voor de bevordering van de ventilatie d.m.v. openingen onder het niveau van het voetpad. De beleving van de wandelaar staat hier centraal dus worden deze openingen aan het zich onttrokken door beplanting, wat ook ongevallen zou voorkomen. De enorme hoeveelheid aan groen zorgt hier ook voor de captatie van pollutanten afkomstig van de twee verhoogde rijbanen en de vier rijbanen op het grondniveau. – Afgerond

De Kameleon | Bijlmer/Amsterdam, Nederland (NL Architects, 2012)

De Kameleon omvat een ontwikkelingsproject in de Bijlmer, waar de ideeën van CIAM worden toegepast, met een focus op licht, lucht en ruimte. Ook wordt de verkeersinfrastructuur gescheiden; gemotoriseerd verkeer vindt plaats op een verhoging. Er wordt een 'urbane muur' gecreëerd door de façade richting de weg (Karspeldreef) door te trekken om de tuin te beschermen tegen geluidsoverlast. De parallelle façade richting een groene ruimte is wel geperforeerd. Op de tweede verdieping bevindt zich een publieke parking, welke langs weerszijde een opening of 'void' kent voor de natuurlijke ventilatie van de parking. – Afgerond

Prinses Stephanie Clementinalaan | Oostende, België (Tractebel, z.d.)

Bij de heraanleg van de Prinses Stephanie Clementinalaan in Oostende werd een windcorridor van lage beplanting gecreëerd (Atelier Romain et al., 2020). Deze werd ook afgebakend met parkbomen richting het stadscentrum. De aanwezige waterpartij kan voor afkoeling zorgen, terwijl de voetgangers hier veilig door de corridor kunnen wandelen. – Afgerond

Figuur 78: De drie beste referenties omtrent pollutie-ventilatie in Bangkok, Amsterdam en Oostende (Atelier Romain, Osar, & P.PUL - KULeuven, 2020; NL Architects, 2012; T.R.O.P., 2015)

Pondy Bazaar Pedestrianization | Chennai, India (Oasis Designs, z.d.)

De 'Pondy Bazaar' omvat een winkelstraat van 1,45km lang en kent een gelijkaardige breedte van 30m met de Belgiëlei. Het is één van de drukste wijken van Chennai. Zowel het actieve als gemotoriseerde verkeer verloopt hier echter chaotisch, waar geparkeerde wagens de wandelaars in de weg staan en filevorming een constant fenomeen is. Dit resulteert in een onaangename winkelbeleving.

Men spreekt hier van het terugwinnen van plek voor de voetganger. Daarbij gaat men een eerste deel autovrij maken, waar enkel bussen mogen rijden. In het middelste deel van de straat mogen auto's het verkeer vervoegen, maar zijn geen parkeerplaatsen voorzien, en in het laatste deel moeten bus en auto de rijbaan delen. Belangrijk is hier de voorrang voor actieve gebruikers, maar zeker ook de barrières van vegetatie tussen de rijbaan en de voetgangerszone langs de hele straat. Zo wordt de blootstelling drastisch beperkt. – Concept

The High Line | New York City, USA (Friends of the High Line et al., 2009)

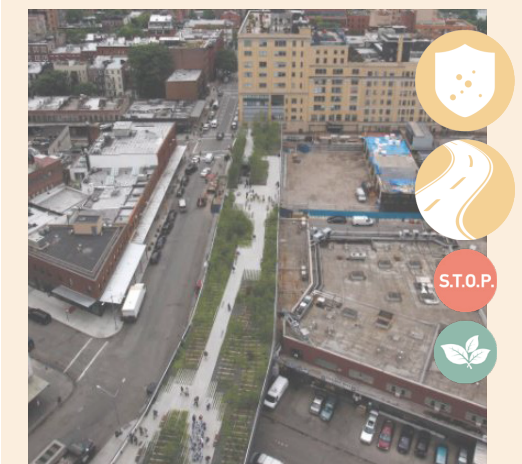
De 'High Line' vormt een verhoogd publiek park op een oude spoorwegverhoging en is vandaag 2,3km lang. Hier kunnen wandelaars kiezen tussen de route langs het 'park' op de verhoging of het voetpad langs de straat (onder de verhoging). Metingen uit 2014 (King, Bourdeau, Zheng, & Pilla, 2016) toonden hier een significant verschil aan; er zou op de High Line sprake zijn van 41% minder geluidsbelasting en 32% minder PM_{2,5}-concentraties. Het kiezen van een wandelroute bepaalt hier dus sterk de blootstelling aan een slechtere luchtkwaliteit. Momenteel wordt verder nagedacht over mogelijke extensies en aantakkingen aan andere straten. – Afgerond

Inner City & Vesterbro | Kopenhagen, Denemarken (Risom et al., 2019)

Het bureau 'Gehl People' maakte een studie op met de titel 'Reducing air pollution through urban design'. Zij analyseerden twee buurten in Kopenhagen met veel passage van kinderen en ouders. Ze maken hier een onderscheid tussen gezonde en vervuilde straten. In vervuilde straten is het doel de blootstelling te reduceren via drie hoofdindelingen; minder straatparkeren, meer groene buffers en een straatinrichting die vlot verkeer rond kruispunten regelt. Vervolgens worden passanten uitgenodigd om eerder de gezonde straten met kwetsbare functies te gebruiken als route. – Concept

Figuur 79: De drie beste referenties omtrent blootstelling reductie in Chennai, New York City en Kopenhagen (Friends of the High Line et al., 2009; Oasis Designs, z.d.; Risom et al., 2019)

BLOOTSTELLING REDUCEREN



KADER

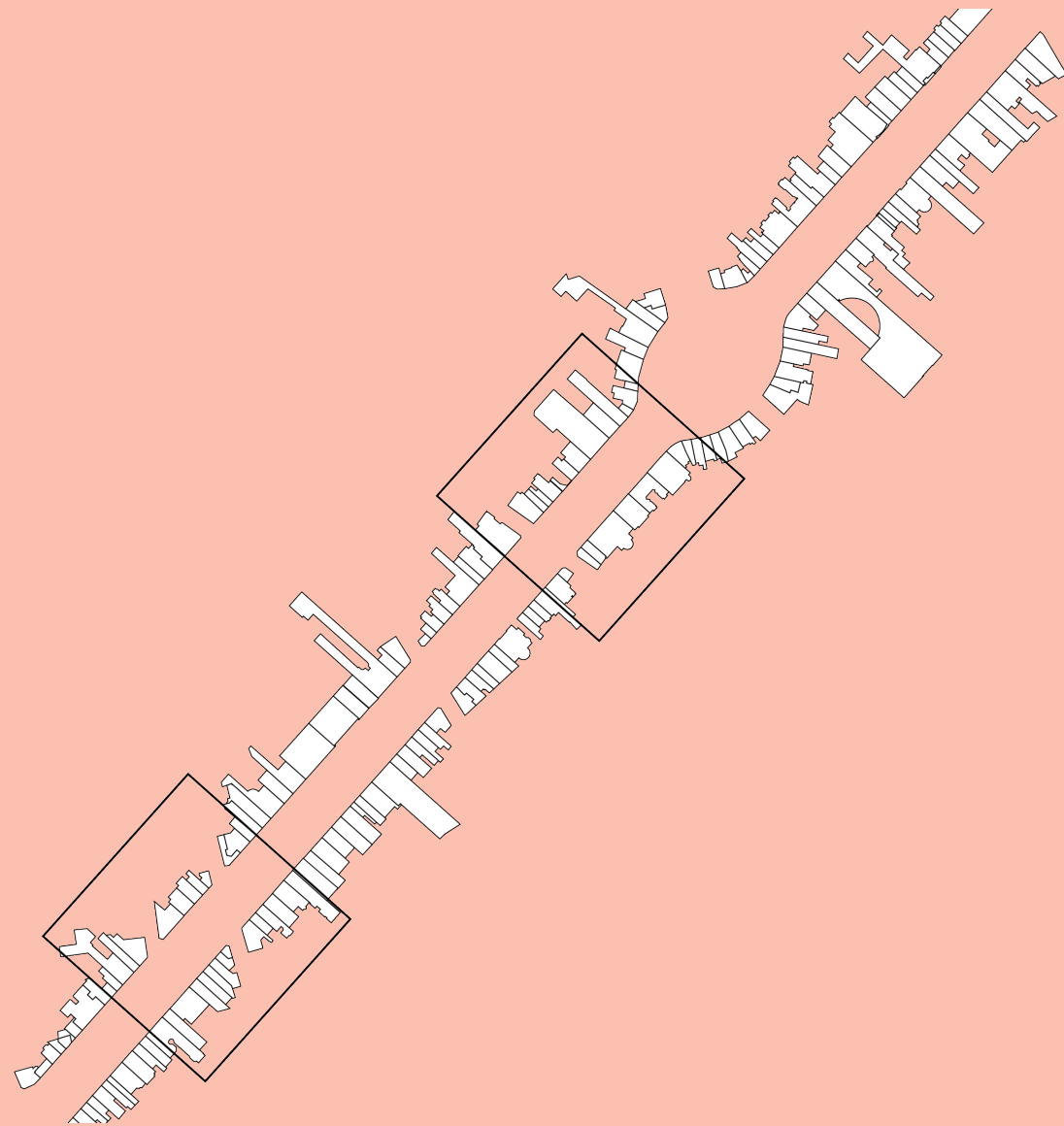
FOCUS

ANALYSE

TOOLBOX

REFERENTiestudie

ONTWERPEND ONDERZOEK



Methode

Mogelijke ruimtelijke ingrepen i.f.v. een betere luchtkwaliteit binnen street canyons, gebundeld binnen de toolbox en de referentiestudie, worden binnen het ontwerpend onderzoek toegepast op de Belgiëlei. Daarbij vormt voornamelijk de syntheseskaart uit de ruimtelijke analyse (figuur 54, p. 62) een belangrijke onderlegger.

Er worden **drie scenario's** uitgewerkt voor de Belgiëlei, waarbinnen telkens in extreme mate ingezet wordt op één van de toolsets: 'pollutie capteren', 'pollutie ventileren' en 'blootstelling reduceren'. Binnen elk scenario wordt ook de link gelegd met de toolset 'pollutie reduceren'. Tenslotte wordt ook een **vierde scenario opgesteld als een realistische en haalbare mix** van de voorgaande scenario's.

De scenario's worden telkens ingeleid met een **sfeerbeeld** en de algemene **ambitie**, waarbij de gebruikte doelen en tools worden aangehaald. Ter visualisatie van de scenario's worden telkens de twee gekozen secties (160m lang, zie syntheseskaart figuur 54) uitgewerkt als een **isometrische weergave**. Elke sectie wordt visueel toegelicht a.d.h.v. een **voorbeeld-referentie** en een **doorsnede**. Daarnaast wordt een tekstuele toelichting gegeven over de ingrepen en de **redenering** achter de implementatie.

OVERZICHT SCENARIO'S

SCENARIO 1



Figuur 80: Een sfeerbeeld en de ambitie voor de toepassing van scenario 1 op de Belgiëlei, waar de focus ligt op pollutie-captatie

SCENARIO 3



Figuur 82: Een sfeerbeeld en de ambitie voor de toepassing van scenario 3 op de Belgiëlei, waar de focus ligt op het reduceren van de blootstelling

SCENARIO 2



Figuur 81: Een sfeerbeeld en de ambitie voor de toepassing van scenario 2 op de Belgiëlei, waar de focus ligt op pollutie-ventilatie, met de referentie naar nieuwe 'groene' gebouwen (Atelier Jean Nouvel, 2014; Kono Designs, 2010; Triptyque Architecture, 2019)

SCENARIO 4

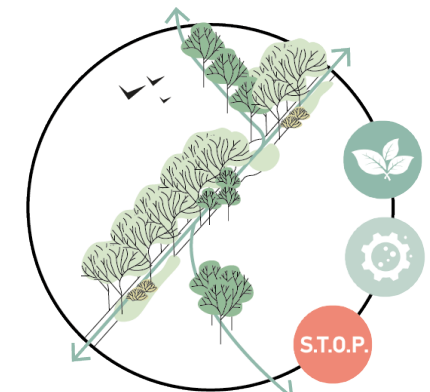


Figuur 83: Een sfeerbeeld en de ambitie voor de toepassing van scenario 4 op de Belgiëlei, waar de focus ligt op het voorstellen van een haalbare mix aan doelstellingen en tools

SCENARIO 1



Figuur 84: Een sfeerbeeld voor de toepassing van scenario 1 op de Belgiëlei (sectie 2, figuur 92 op p. 94), waar de focus ligt op pollutie-captatie



Figuur 85: De ambitie volgens scenario 1

Binnen het eerste scenario wordt maximaal en in extreme mate ingezet op de **toolset 'pollutie capteren'**, via de tools 'vergroenen & beplanten' en 'technologische innovatie'. Daarnaast worden ook verkeersmaatregelen uit de tool 'totale hoeveelheid verkeer reduceren' toegepast.

Totale hoeveelheid verkeer reduceren

- STOP-principe
- Aantal rijbanen per rijrichting

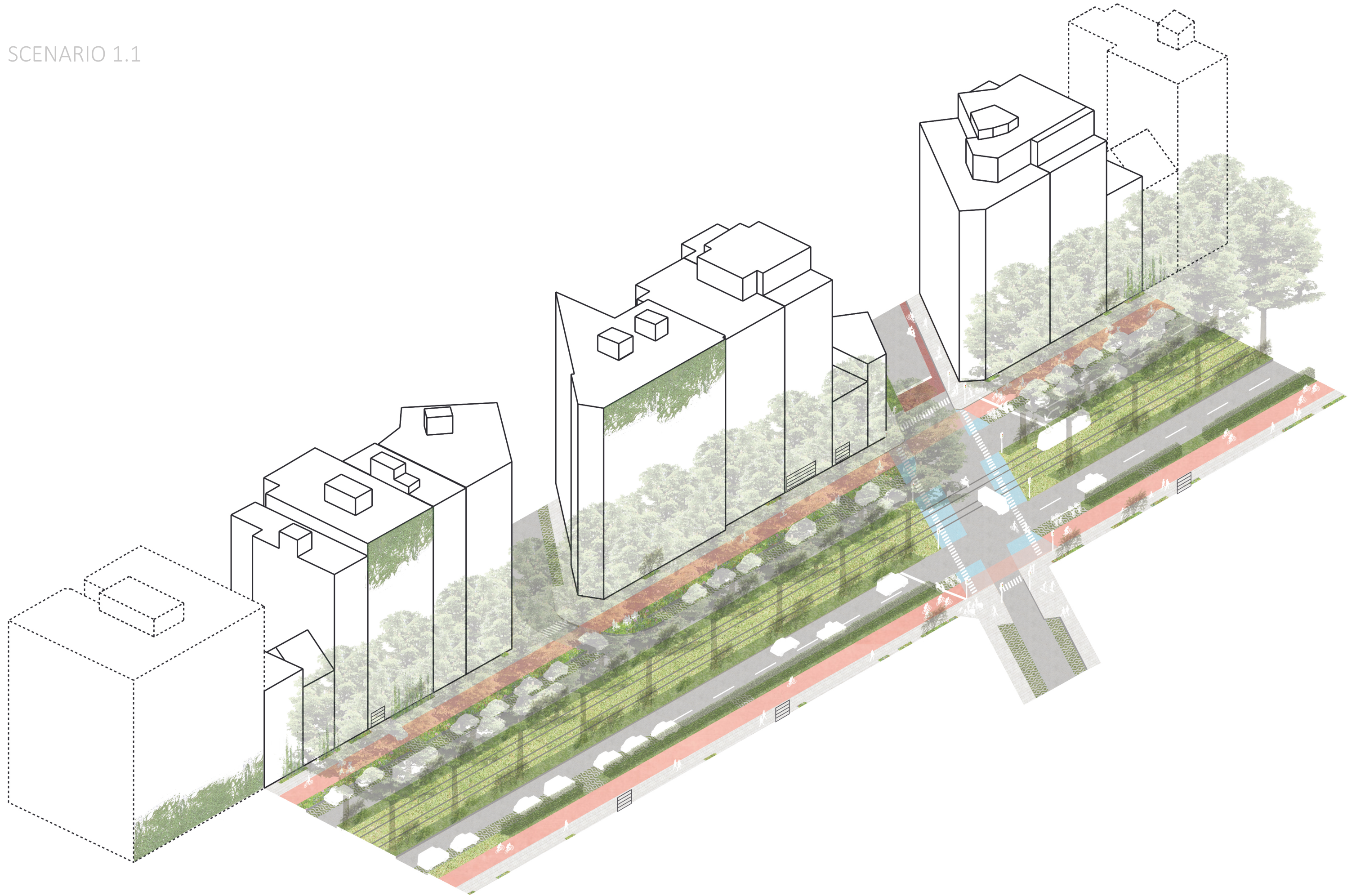
Vergroenen & Beplanten

- Meer zuiveringswinst aan drukbevolkte plekken
- Soorten groen met een lage porositeit en een goede afzetting
- Bomen combineren met ondergroei
- Struikgewas aan beide zijden van de street canyon
- Struikgewas benedenwinds aan de street canyon
- Verticaal groen

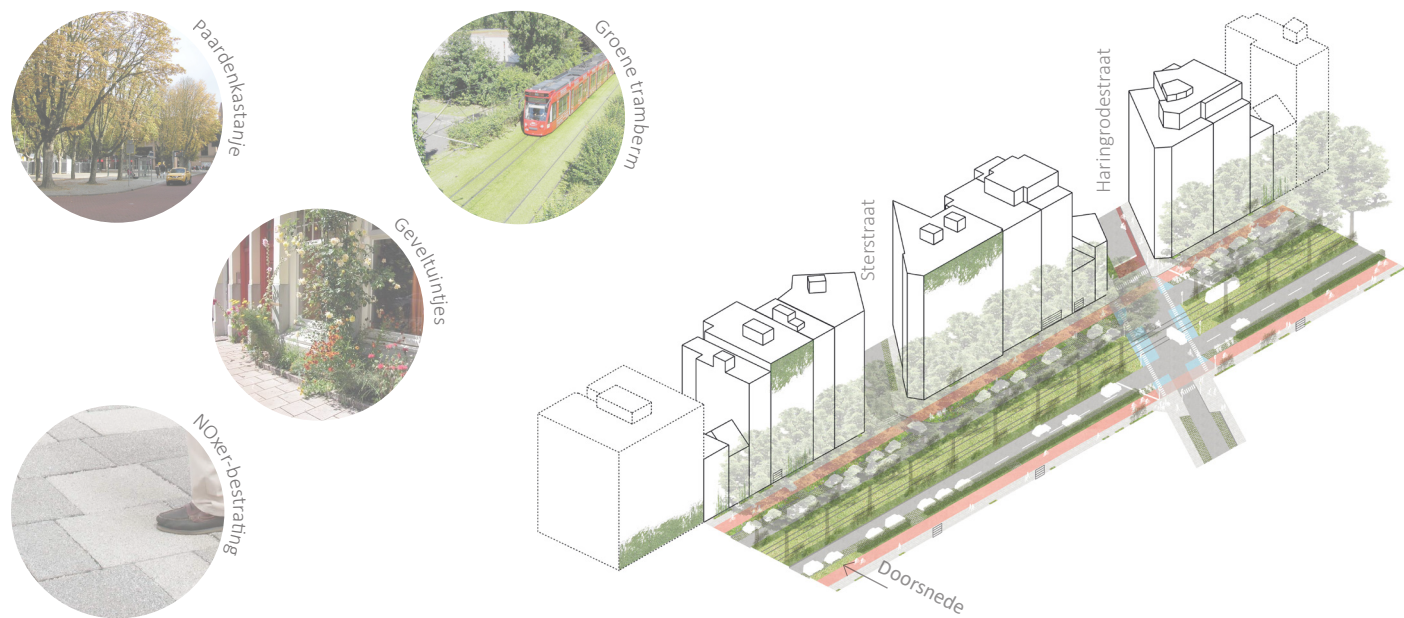
Technologische Innovatie

- Absorberende materialen (NOxer-blokken)
- CityBreeze

SCENARIO 1.1



Figuur 86: De isometrische weergave van scenario 1 op de eerste sectie



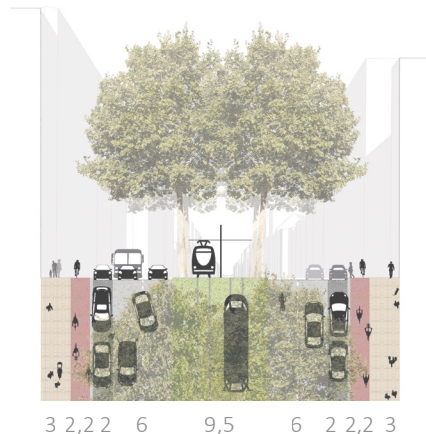
Figuur 87: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 1.1 waaronder de toepassing van paardenkastanjes als laanbomen (Brugman, 2018), geveltuintjes (De Groene Stad, 2015), NOxer-bestrating (Marshall's, z.d.) en een groene tramberm (Stockholm Resilience Centre, 2021)

Inzetten op groen-captatie en actieve weggebruikers

Tramberm biedt ruimte voor verschillende soorten en niveaus aan groen
Enkele rijbaan (ZO) aan lagere verkeersintensiteit biedt meer ruimte voor
toegankelijke groen-oppervlakte



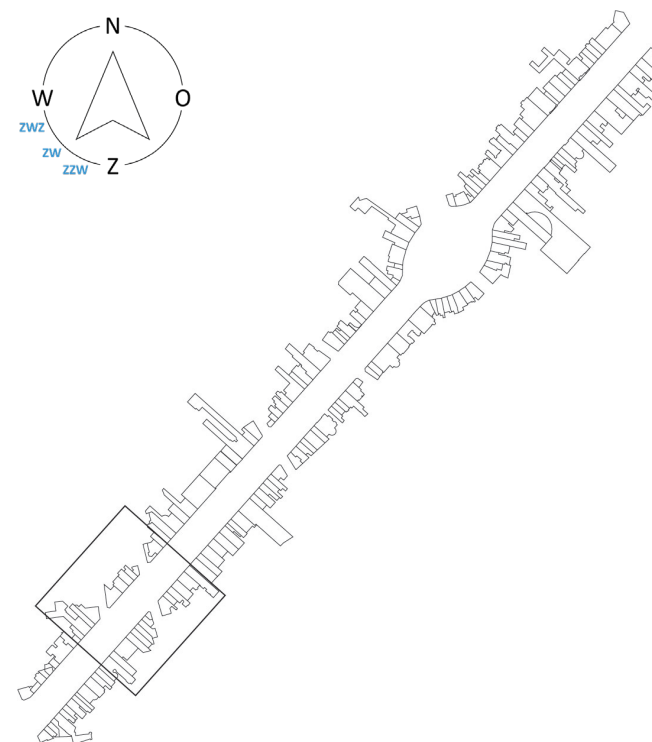
Figuur 88: De referentie 'Mehr als Wohnen' (Müller Sigrist, 2015)



Figuur 89: Een doorsnede van de eerste sectie voor 2022



Figuur 90: Een doorsnede van de eerste sectie voor scenario 1



Figuur 91: De eerste sectie voor scenario 1

Totale hoeveelheid verkeer reduceren

Het maximaal inzetten op groen binnen het eerste scenario impliceert allereerst het maken van **ruimte voor groen**. Dit kan in lijn met het S.T.O.P principe, waar het benadrukken van infrastructuur voor actieve weggebruikers verenigbaar is met het voorzien van meer ontharding.

Belangrijk blijft wel het verbindende karakter van de Belgiëlei (secundaire weg/boulevard), waardoor allereerst gekeken wordt naar waar de verkeersintensiteit een vermindering van het aantal rijbanen toelaat. Hier wordt een overgang gevonden aan het kruispunt met de Haringrodestraat. **De verkeersintensiteit in het zuidwesten wordt lager bevonden en maakt het toepassen van één rijbaan per rijrichting mogelijk.** Zo wordt extra plaats geboden aan groene ruimte (+/- 300m², oppervlaktes in bijlage 7), zelfs met het behoud van de huidige oppervlakte aan parkeerplaatsen.

Verder beschikken de actieve weggebruikers over voldoende ruimte aan beide zijden van de Belgiëlei (figuur 90). De breedte van het voetpad blijft behouden, maar wordt op enkele plaatsen ingepalmd door **gevel-tuintjes** waar capterende klimplanten of heesters kunnen groeien. De fietsers krijgen een **breder fietspad** naar de normen van de nieuwe 'Fietsmaat'. De hoge verkeersintensiteit (>150 fietsers/h) vraagt hier een breedte van drie i.p.v. twee meter (bijlage 1). Zo kunnen gebruikers van elektrische fietsen en steps beter passeren, ook al kunnen zij in principe de rijbaan gebruiken, wanneer een snelheidsregeling van 50km/h geldt. De groene ruimte tussen het fietspad en de parkeerstrook ten zuidwesten van de Haringrodestraat is toegankelijk voor wandelaars (met honden).

Vergroenen & Beplanten

De grootste winsten naar afzetting van pollutanten toe worden geboekt door de **paardenkastanje**. Deze boomsoort kent o.a. via zijn dichte bladerdak de ideale karakteristieken om grote hoeveelheden PM₁₀, NO_x en O₃ op te nemen zonder VOS in de plaats uit te stoten (tabel 4, p. 71). De paardenkastanje kent een gelijkaardige hoogte en breedte als de vandaag aanwezige populieren, maar de lagere porositeit kan voor een verdubbeling aan captatie zorgen. Er wordt voor een plantafstand van 10m gekozen en mede door de beperkte wortelruimte en bewatering zal de kroon geen te grote proporties aannemen.

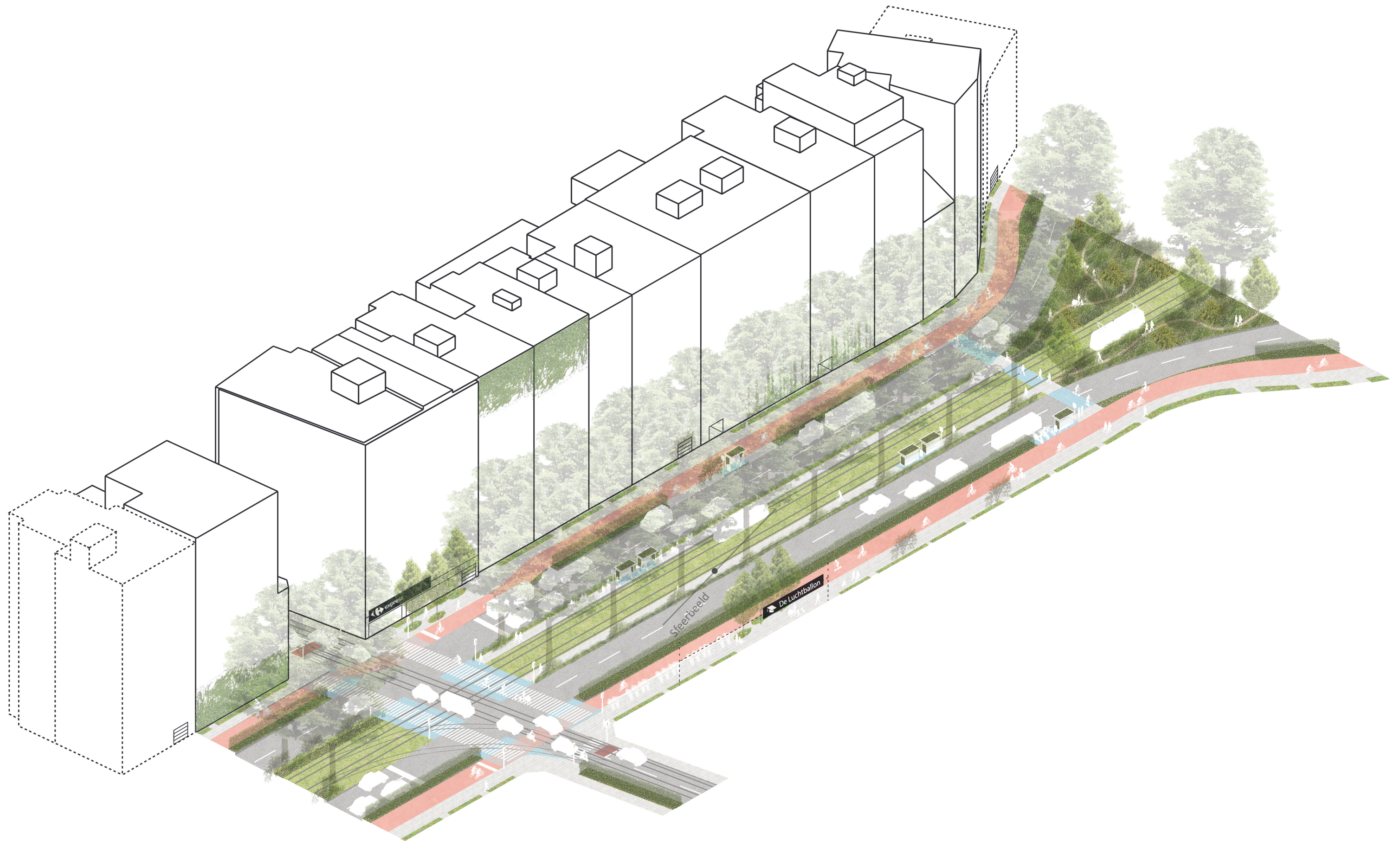
Binnen dit scenario wordt gekozen voor gelaagd groen om de driedimensionale ruimte maximaal te benutten. Heesters met een redelijk dichte en grote uitgroei, zoals de **geknotte boomhazelaar**, zijn zeer geschikt voor grote captatiewinsten. Deze soort is echter een grote boosdoener voor hooikoortspatiënten. **Struikkamperfoelie** biedt ook een goed alternatief of een goede toevoeging. Deze soorten kunnen op de tramberm, onder de bomen, geplant worden.

Lange hagen, hier **beukenhaag**, worden voor zo groot mogelijke captatiewinsten zo dicht mogelijk bij de weg geplaatst. Tenslotte wordt ook **klimop**, als de best absorberende klimplant, toegepast op beide zijden van Belgiëlei, waar via vortex-vorming veel pollutanten op de afwisselende windwaartse zijde terecht komen. Binnen dit scenario wordt captatie binnen de street canyon zelf nagestreefd, en worden geen daktuinen bovenop de bebouwing voorzien.

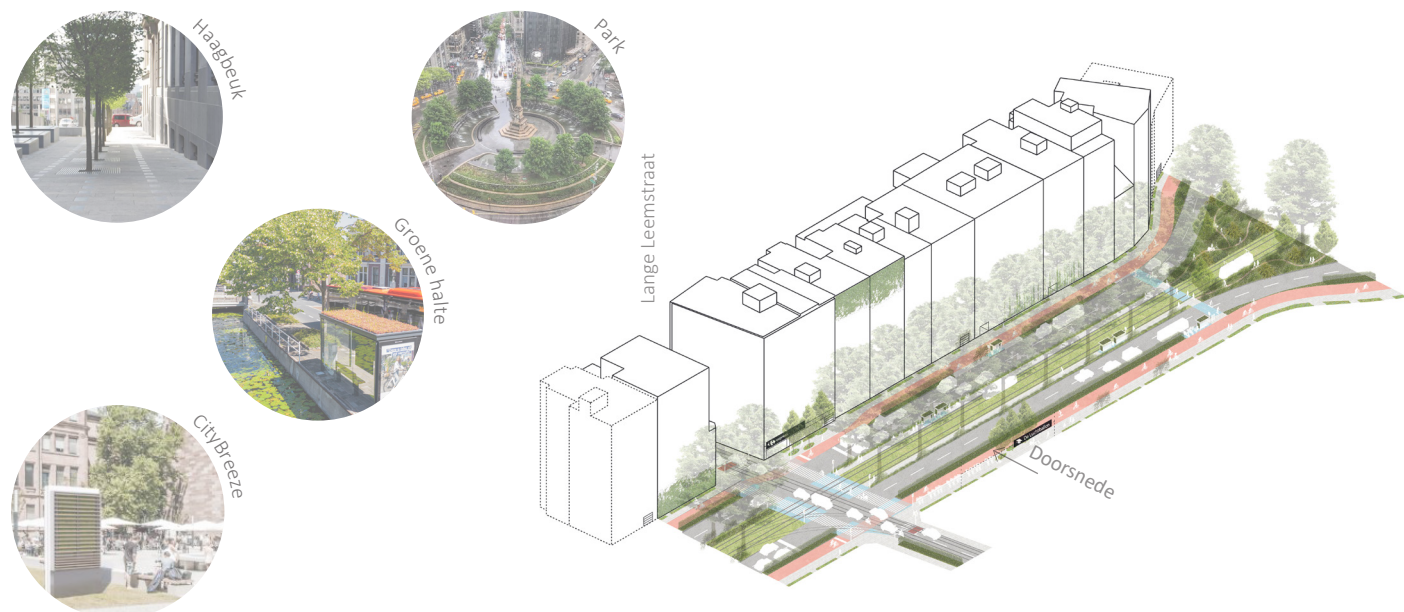
Technologische Innovatie

Binnen deze sectie worden geen specifieke technologische tools gehanteerd. Wel wordt gekozen voor absorberende (fotokatalytische) betonning, met bijvoorbeeld **NOxer-blokken** voor het voetpad (figuur 87). Dit kan van toepassing zijn binnen elk scenario.

SCENARIO 1.2



Figuur 92: De isometrische weergave van scenario 1 op de tweede sectie, met aanduiding van het perspectief voor het sfeerbeeld (figuur 84, p. 88)



Figuur 93: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 1.2 waaronder de toepassing van haagbeuken aan drukke plekken (Ontwerpbureau Pauwels, 2012), een groene en toegankelijke rotonde (Russo, 1892), de vergroening van tramhaltes m.b.v. groene daken (Mobilane, z.d.) en de CityBreeze (greencity solutions, z.d.)

Inzetten op groen-captatie en actieve weggebruikers

Hotspots (tramhaltes, supermarkt en basisschool) vragen om meer captatie

Dubbele rijbaan per rijrichting zorgt voor het primeren van groene ruimte boven parking



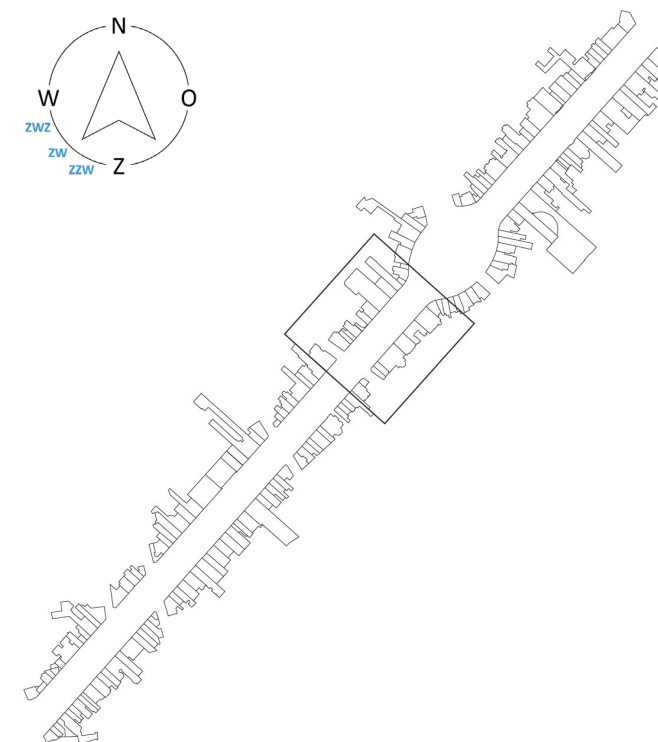
Figuur 94: De referentie 'High Line' (Friends of the High Line et al., 2009)



Figuur 95: Een doorsnede van de tweede sectie voor 2022



Figuur 96: Een doorsnede van de tweede sectie voor scenario 1



Figuur 97: De tweede sectie voor scenario 1

Totale hoeveelheid verkeer reduceren

Het maximaal inzetten op groen impliceert ook binnen de tweede sectie het maken van **ruimte voor groen** (zie ook sfeerbeeld/figuur 84 op p. 88). Echter beperkt het S.T.O.P principe hier het voorzien van meer ontharding en groen-niveaus, specifiek de haltes binnen de tramberm nemen veel ruimte in beslag. Ter compensatie worden dan ook **geen parkeerplaatsen voorzien, ten voordelen van struikgewas** langsheen de fietspaden (-100m², oppervlaktes in bijlage 7).

Het verbindende karakter van de Belgiëlei (secundaire weg/boulevard) wordt ook hier optimaal gerespecteerd. Hier wordt een overgang waargenomen aan het kruispunt met de Lange Leemstraat. **De verkeersintensiteit richting het noordoosten wordt lager bevonden, maar de drie vertakkingen aan de 'rotonde' maken het toepassen van één rijbaan per rijrichting onmogelijk.**

Opnieuw beschikken de actieve weggebruikers over voldoende ruimte aan beide zijden van de Belgiëlei. Wel is hier de inrichting van het voetpad nabij de lokale supermarkt en de basisschool belangrijk. Aan de supermarkt zorgt het uitwijken van het fietspad richting de weg (zoals vandaag) voor een verbreding. Aan de basisschool wordt het fietspad over een beperkte lengte twee i.p.v. drie meter breed, wat nog steeds past binnen de Fietsmaat '2m voor 2 fietsers' (naast elkaar, bijlage 1).

Hier wordt de zone tussen het fietspad en de weg beplant met struikgewas, maar de wandelaars (met honden) kunnen voor open groen terecht op de voormalige 'rotonde', toegankelijk via de tramberm.

Vergroenen & Beplanten

De grootste winsten naar afzetting van polluenten worden net als bij de eerste sectie geboekt door de **paardenkastanje** als laanboom (tabel 4, p. 71). De aanplanting aan de tramhalte blijft mogelijk d.m.v. boomspiegels van 1m breed.

Aan de hotspots wordt voor een kleinere boomsoort gekozen, gezien de beperkte groeiruimte; de **haagbeuk**. Het betreft geen haag, maar een soort beuk welke beter bestand is tegen droogtes en snoeien dan de reguliere beuk en welke geen veel-voorkomende allergieën veroorzaakt. Hier wordt een plantafstand van 10m voorzien, wat overeenkomt met de maximale breedte van de soort. Opnieuw zal de beperkte wortel-ruimte en bewatering de kroon beperken in breedte. Wel zal de dichte kroon schaduw bieden aan passanten of wachtende winkel- en schoolgangers.

Aangezien de tramhalte ook het toepassen van gelaagd groen beperkt (een strook van 0,5m), zorgen hier de lange hagen met dicht bladerdek (**beukenhaag**) tussen de weg en het fietspad voor extra captatiewinsten. Ook wordt langsheen enkele gebouwen van de tweede sectie **klimop** toegepast.

Tenslotte vormt de groene ruimte binnen de voormalige 'rotonde' een sterke tegenhanger t.o.v. deze meer verharde sectie. Hier wordt de 570m² aan groene oppervlakte binnen sectie 2 beplant ter vorming van een 'groene long' voor de Belgiëlei (exclusief de trambedding, rotonde in totaal +/- 3.480m², bijlage 7). Deze zone is toegankelijk via de tramhalte en het kruispunt aan de overzijde van de 'rotonde'. Tussen de weg en de tramberm worden verschillende niveaus aan natuur voorzien. Hier wordt expliciet gekozen voor '**pollenvriendelijke**' soorten, aangezien het dicht bij elkaar plaatsen van 'pollenonvriendelijke' soorten sterke hooikoorts kan veroorzaken (tabel 6, p. 76). Capterende boomsoorten als **gewone esdoorn, iep, appelboom en lijsterbes** zijn mogelijk (al dan niet met dichte kroon) en de vooropgestelde heesters zijn bestand tegen de (half-) schaduw (van de bomen) met soorten als **boomhazelaar, kardinaalsmuts, klimop, struikkamperfoelie, dwergkwee en struikzanzerik**.

In totaal wordt door het doortrekken van de laanbomen, het toepassen van hagen en de beplanting van de groene long +/- 67.240m³ extra groen volume voorzien binnen sectie 2.

Technologische Innovatie

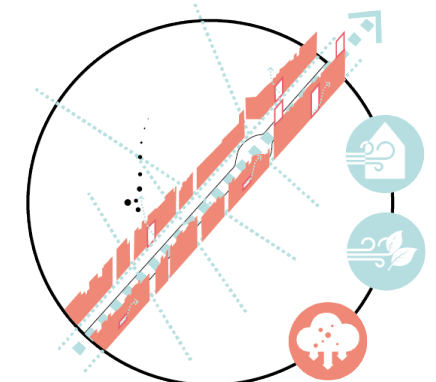
De toepassing van technologische tools is voornamelijk interessant op plaatsen met weinig ruimte voor natuurlijk groen. Zo kan op het tram-platform een **CityBreeze** toegepast worden, waar een reclamepaneel (vaak toegepast in bus- en tramhokjes) aan zijn achterzijde gecombineerd wordt met een mospaneel (figuur 93). Het design dient voldoende ruimte te vrijwaren voor passerende gebruikers, waar een maximale breedte van 1m wordt gehanteerd.

Ook hier wordt absorberende (fotokatalytische) betonning toegepast; bijvoorbeeld **NOxer-blokken** voor het voetpad.

SCENARIO 2



Figuur 98: Een sfeerbeeld voor de toepassing van scenario 2 op de Belgiëlei (sectie 1, figuur 100 op p. 100), waar de focus ligt op pollutie-ventilatie, met de referentie naar nieuwe 'groene' gebouwen (Atelier Jean Nouvel, 2014; Kono Designs, 2010; Triptyque Architecture, 2019)



Figuur 99: De ambitie volgens scenario 2

Het tweede scenario zet in extreme mate in op de **toolset 'pollutie ventileren'**, voornamelijk via passieve maatregelen uit 'variatie bebouwing', maar ook via tools uit 'vergroenen & beplanten', gecombineerd met verkeersmaatregelen uit de tool 'individuele uitstoot reduceren'.

Individuele uitstoot reduceren

- Zo weinig mogelijk parkeerplaatsen voorzien
- Laad- en losplaatsen centraliseren

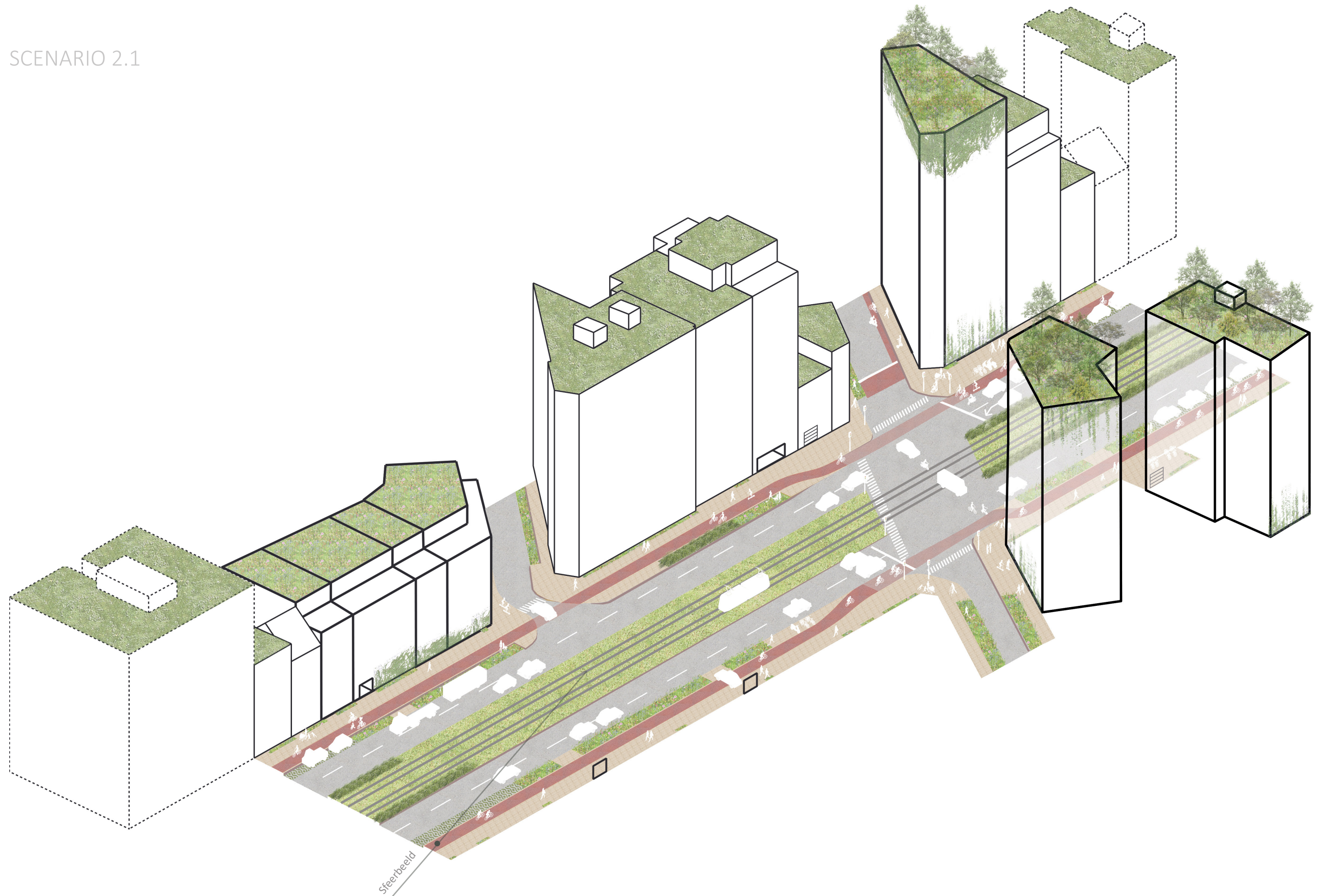
Vergroenen & Beplanten

- Laanbomen verwijderen
- Boom- en vegetatiesoorten kiezen met een hoge porositeit, lage stamhoogte en aan lage plantdichtheid
- Vegetatie toepassen waar comfort gebruikers gewenst is

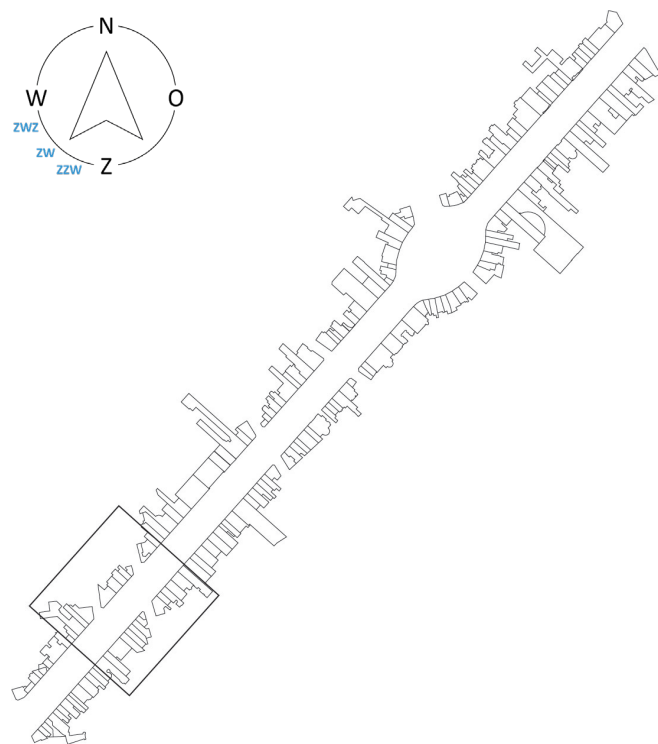
Variatie bebouwing

- Lagere delen langs de boulevard toepassen (getrapt)
- 'Downwash'/divergente stroom via step-up configuraties
- Turbulentie bekomen via benedenwindse hoogbouw
- Turbulentie bekomen via verticale setbacks
- Frisse lucht bekomen via voids (max. 10% op grondniveau)

SCENARIO 2.1



Figuur 100: De isometrische weergave van scenario 2 op de eerste sectie, met aanduiding van het perspectief voor het sfeerbeeld (figuur 98, p. 98)



Figuur 101: De eerste sectie voor scenario 2

Individuele uitstoot reduceren

De wegingdeling van een street canyon heeft een beperkte impact op de natuurlijke ventilatie. Gezien de dominante parallelle windrichting (ZW) voor de Belgiëlei wordt een symmetrische indeling geprefereerd, waardoor de **huidige wegingdeling grotendeels behouden** kan blijven. Binnen het tweede scenario worden zo voornamelijk tijd en middelen geïnvesteerd in het optimaliseren van bebouwing en groen.

Vlotter verkeer reduceert de individuele uitstoot. **De parkeerplaatsen worden verwijderd binnen zones met een hoge verkeersintensiteit en waar ventilatie-winsten te boeken vallen** (-214m², oppervlaktes in bijlage 7). Ook worden de stopplaatsen aangeduid als interessante ventilatie-zones. Op het kruispunt met de Haringrodestraat wordt één dwars zebrapad i.p.v. twee voorzien om de uitstoot van wachtend, afslaand verkeer te beperken (figuur 102).

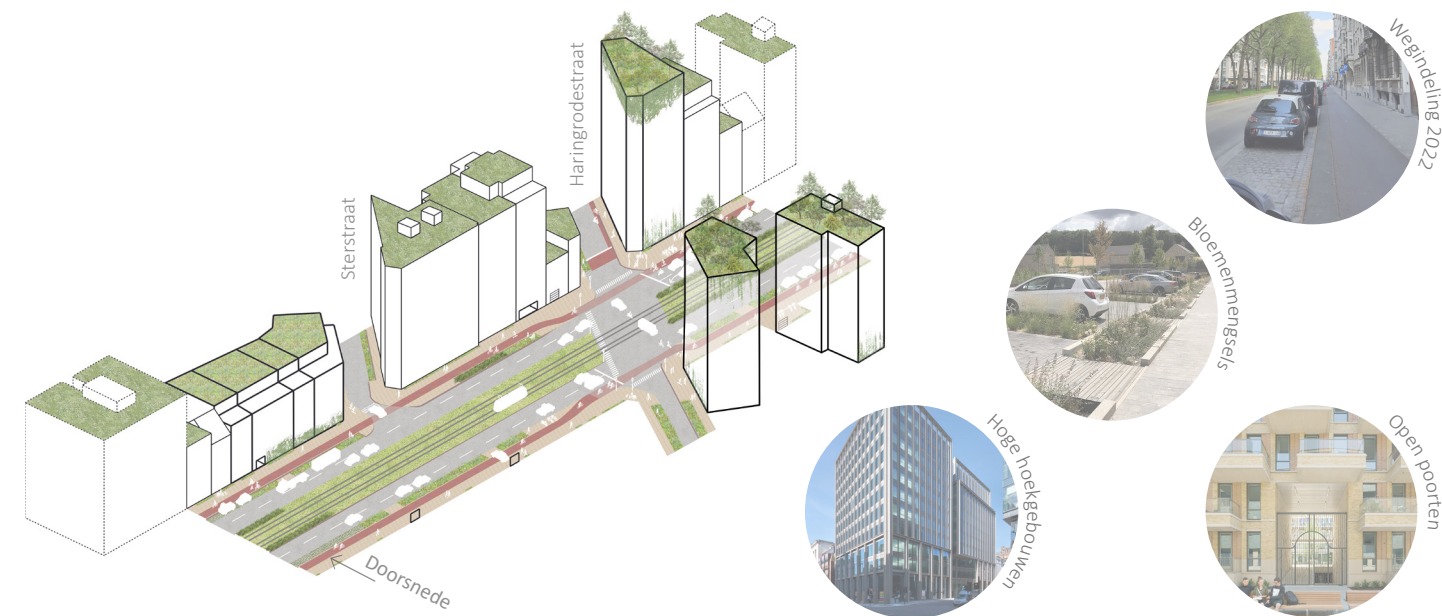
Vergroenen & beplanten

Zones waar de nieuwe variatie aan bebouwing voor een betere natuurlijke ventilatie zorgen, worden gevrijwaard van obstakels als parkeerplaatsen, bomen en ondergroei. Aangezien er zich weinig functies bevinden binnen deze sectie, vormt ventilatie een prioriteit boven comfort. Er worden dan ook geen struiken of heesters voorzien om de wind op voetgangersniveau te breken.

Het weghalen van de bomenrijen is voor een (matig) diepe street canyon vanuit het ventilatie-standpunt een logische zet. Vanuit een biologisch en beleving-standpunt moet binnen het tweede scenario echter ook aandacht besteed worden aan nieuw **compensatiegroen** (sfeerbeeld/figuur 98, p. 98). Daarbij wordt allereerst ruimte voorzien op en rond de gevels van de nieuwe bebouwing voor **klimplanten en geveltuintjes**. Daarnaast worden op interessante ventilatieplaatsen de parkeerplaatsen vervangen door bedden met **gras- en bloemenmengsels**. Deze beperkte oppervlakte wordt vergroot door op lange termijn ook op bestaande en nieuwe platte daken in te zetten op **extensieve groendaken**. In totaal wordt 5.250m² extra open en groene ruimte gecreëerd.

Meer gelaagd groen is tenslotte mogelijk waar deze de voornaamste luchtstromen niet hinderen (zie figuren 106-108), in dit geval in de vorm van **intensieve groendaken** bovenop de hoogste hoekgebouwen. De natuurlijke ventilatie wordt minimaal gehinderd door het aanplanten van poreuze en lagere vegetatiesoorten zoals **appelboom, lijsterbes, krentenboom en kardinaalsmuts** (tabel 5, p. 73). Aangezien oudere funderingen geen intensieve groendaken kunnen dragen, wordt gelaagd groen enkel op de nieuwe bebouwing voorzien (figuren 106-108 en bijlage 8). Op de tramberm is ook plaats voor lage begroeiing zoals **struikkamperfoelie** (max. 0,5m hoog).

Via het compensatiegroen wordt in totaal ongeveer een derde van het oorspronkelijke groene volume bekomen (18.500m³).



Figuur 102: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 2.1 waaronder de toepassing van lage bloemen- en kruidenmengsels (BD Landscape Architects, 2019), hoge hoekgebouwen (Ryder Architecture, 2015) en open (garage-) poorten (LEVS architecten, 2016)

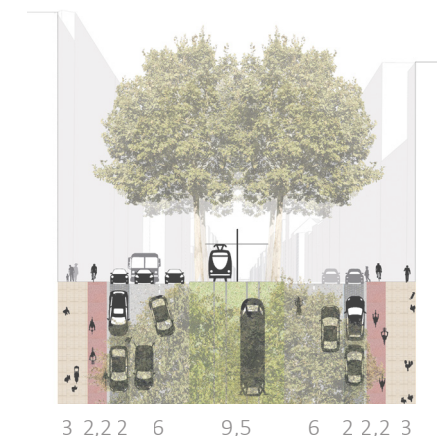
Verwijderde bomenrijen compenseren met meer lage vegetatie
 Betere ventilatie aan zones met een hoge verkeersintensiteit (NO) en aan kruispunten
 Natuurlijke luchtstromen van boven de UCL tot binnen de UCL trekken
 Aan kruispunten down-wash effecten creëren via step-up street canyons (hoogbouw op NO-hoek)



Figuur 103: Een doorsnede van de eerste sectie voor scenario 2



Figuur 104: De referentie 'De Kameleon' (NL Architects, 2012)



Figuur 105: Een doorsnede van de eerste sectie voor 2022

Variatie bebouwing

Binnen het tweede scenario worden **de grootste ventilatie-winsten gehaald door in te zetten op een meer variërende bebouwing**. De drie dominante windrichtingen voor Antwerpen bepalen mede de uitwerking van het tweede scenario, alsook de omliggende bouwhoogte en achterliggende binnengebieden (figuren 106-109).

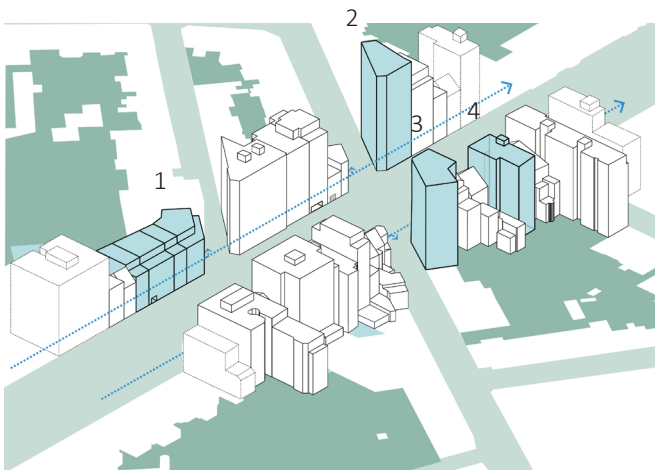
De volgende gebouwen worden aangepast (zie sfeerbeeld/ figuur 98 en bijlage 8):

- 1. De vier gebouwen aan het kruispunt met de Sterstraat van gemiddeld 28m hoog worden verlaagd om voornamelijk bij een WZW windrichting **meerdere downwash-effecten** te veroorzaken (figuur 107). Zo worden de gebouwen met drie verdiepingen verlaagd tot ongeveer 19m hoogte, met een **getrapt dak voor extra turbulentie**. Het achterliggende garage-gebouw wordt gesloopt (+ 475m² open ruimte).
- 2. Het aangeduide hoekgebouw op het kruispunt met de Haringgrondestraat wordt vervolgens verhoogd om ook hier downwash-effecten te bekomen bij schuine windrichtingen (WZW & ZZW, figuren 107 & 108). Enkel de zuidwestelijke helft van het hoekgebouw wordt met drie extra verdiepingen verhoogd van 28m tot 37m, waardoor deze de **eyecatcher** van deze sectie vormt.
- 3. Ook aan de overzijde van het kruispunt wordt een hoekgebouw verhoogd voor dezelfde redenen. Hier worden zelfs **vijf verdiepingen toegevoegd** aan het gebouw om de hoogte van 17m naar 32m op te krikken.

- 4. Tenslotte wordt een **verticale setback** gecreëerd ter vergroting van de turbulentie in het meer verkeersintensieve gedeelte van de Belgiëlei. Daarbij zorgt de verlaging van de eerste vier gebouwen voor een grotere toestroom aan verse lucht binnen de setback. Om schaduwvorming bij de noordoostelijke buur te beperken, wordt de setback beperkt.

Voor elke aanpassing van de bebouwing wordt schaduwvorming mee in rekening gebracht. Ook wordt de **bestaande woondichtheid gerespecteerd**; binnen het eerste aangepaste gebouw kunnen 15 appartementen minder worden voorzien, maar deze worden met 18 nieuwe appartementen binnen het tweede en het derde gebouw gecompenseerd (bijlage 8).

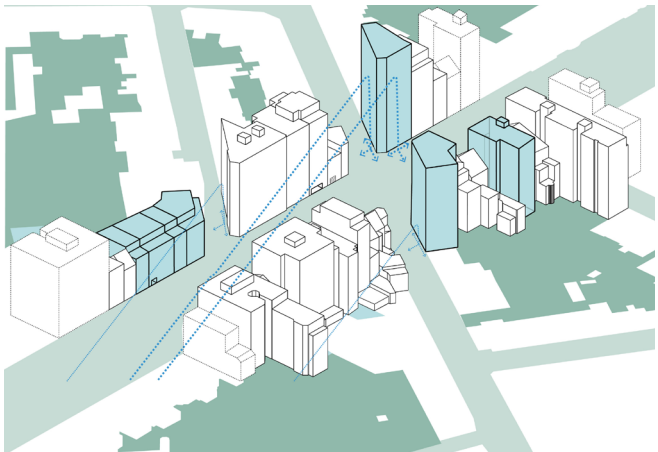
Tenslotte kan een minder ingrijpende maatregel gevonden worden in het **omvormen van (bestaande) garagepoorten tot voids** (figuur 102). Binnen de eerste sectie bevinden zich vier garagepoorten die al dan niet naar overdekte parkeergarages in het binnengebied leiden (figuur 109, a-d). Deze vier connecties met het binnengebied worden opengetrokken waarbij de parkeergarages (a, b & d) worden omgevormd tot openlucht-parkings (figuren 110 & 111). Zo wordt in totaal ongeveer 950m² extra open ruimte in het binnengebied gecreëerd (bijlage 8). Hierlangs wordt een natuurlijke uitwisseling van luchtstromen tussen de Belgiëlei en de binnengebieden op de begane grond en bij elke windrichting verzekerd.



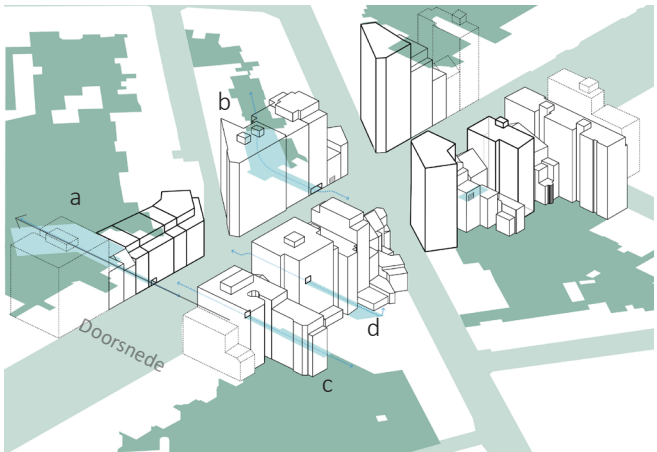
Figuur 106: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een parallelle windrichting (ZW)



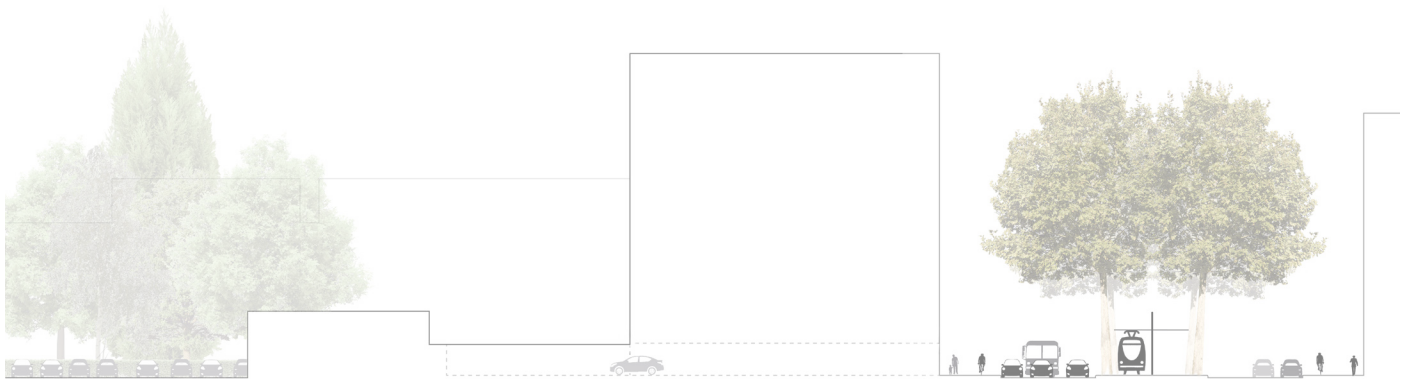
Figuur 107: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een schuine windrichting (WZW)



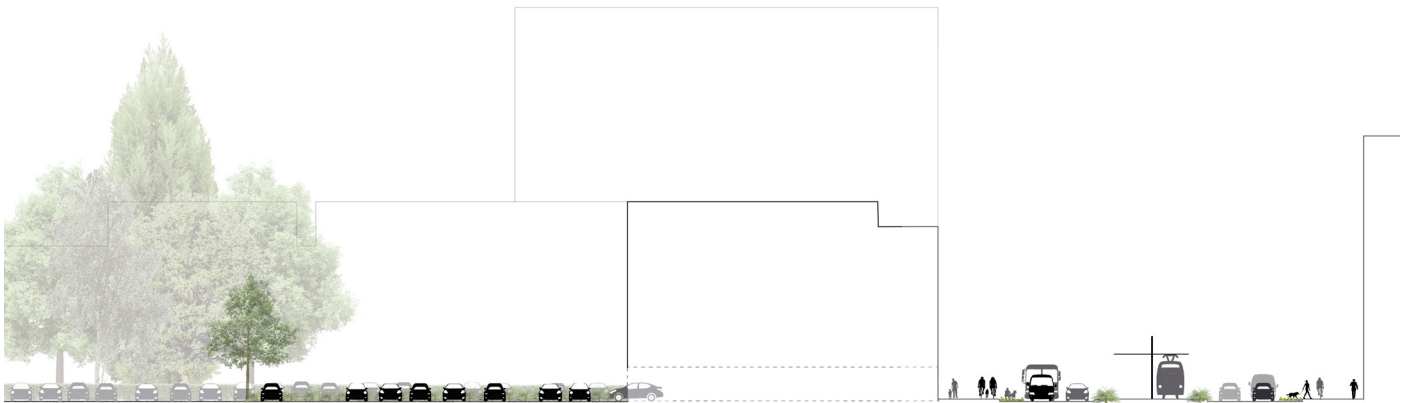
Figuur 108: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een schuine windrichting (ZZW)



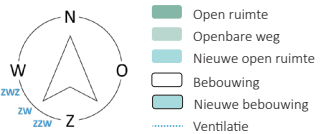
Figuur 109: De natuurlijke ventilatie tussen binnengebieden en sectie 1 van de Belgiëlei via vier garagepoorten



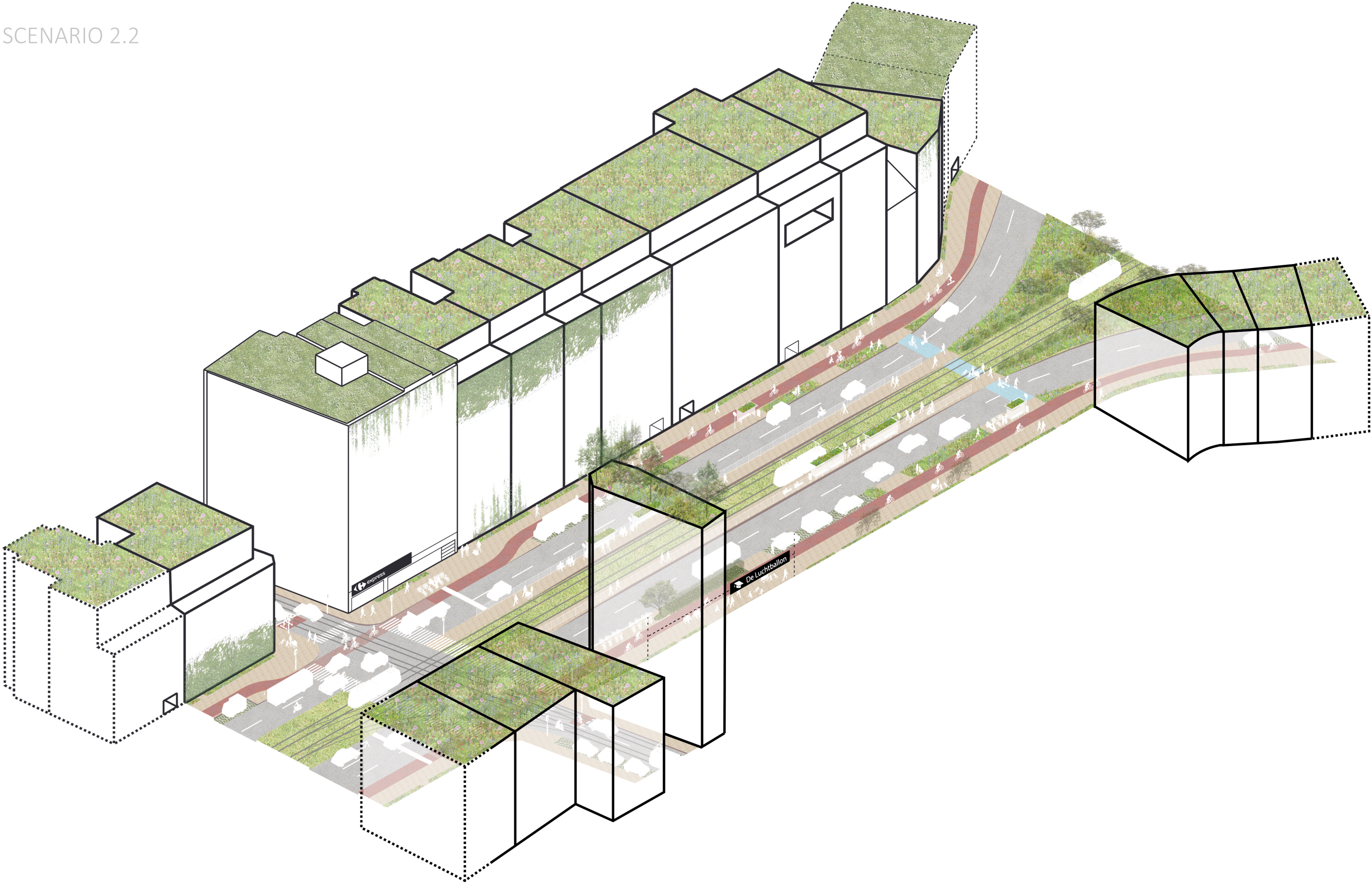
Figuur 110: Een uitgebreide doorsnede van de eerste sectie voor 2022



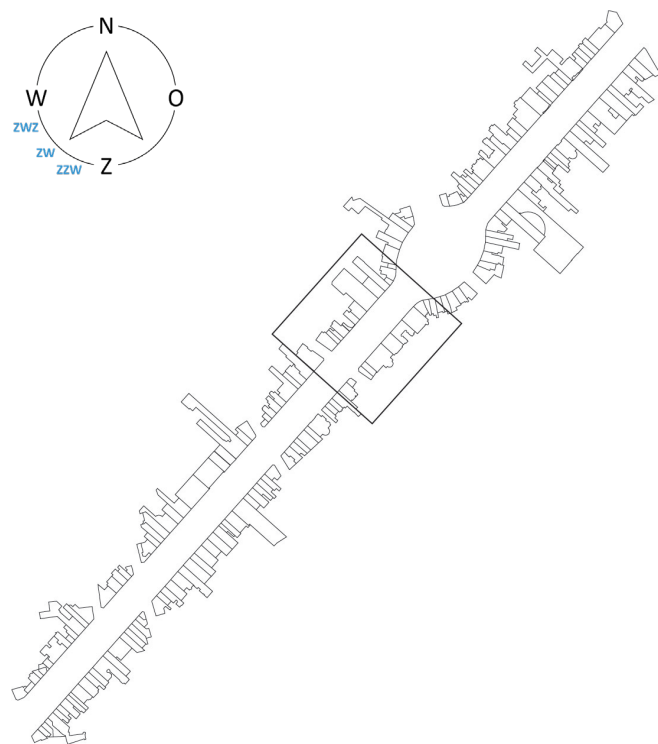
Figuur 111: Een uitgebreide doorsnede van de eerste sectie voor scenario 2



SCENARIO 2.2



Figuur 112: De isometrische weergave van scenario 2 op de tweede sectie



Figuur 113: De tweede sectie voor scenario 2

Individuele uitstoot reduceren

De wegingeling van de Belgiëlei blijft opnieuw maximaal behouden, met een focus op het optimaliseren van bebouwing en groen. Wel worden enkele aanpassingen doorgevoerd om het **actieve verkeer minstens te behouden** door in te zetten op minimaal comfort (zie 'vergroenen & beplanten').

De individuele uitstoot wordt gereduceerd door in te zetten op vlotter verkeer. De behouden parkeerruimte tussen de Lange Leemstraat en de 'rotonde' worden tijdens bepaalde tijdstippen gereserveerd als **gemeenschappelijke laad- en loszones** voor de lokale functies.

Vergroenen & beplanten

Zones waar de nieuwe variatie aan bebouwing voor een betere natuurlijke ventilatie zorgen, worden ook hier gevrijwaard van obstakels als parkeerplaatsen, bomen en ondergroei. Ten opzichte van de eerste sectie bevinden zich hier wel verschillende belangrijke functies, waardoor **naast ventilatie ook minimaal comfort op voetgangersniveau** wordt nagestreefd.

De gebruikers van het openbaar vervoer kunnen stilstaand meer ongemak ondervinden van hogere windsnelheden dan actieve passanten. Busgangers wachten maximaal een halfuur, terwijl tramgangers maximaal tien minuten wachten (figuur 49, p. 60). Gezien de beperkte ruimte voor laag groen binnen de tramterm **bieden de aanwezige bus- en tramhokjes hier een maximale bescherming.** Door de grote aantallen aan tramgebruikers worden op de tramhalte extra grote hokjes voorzien.

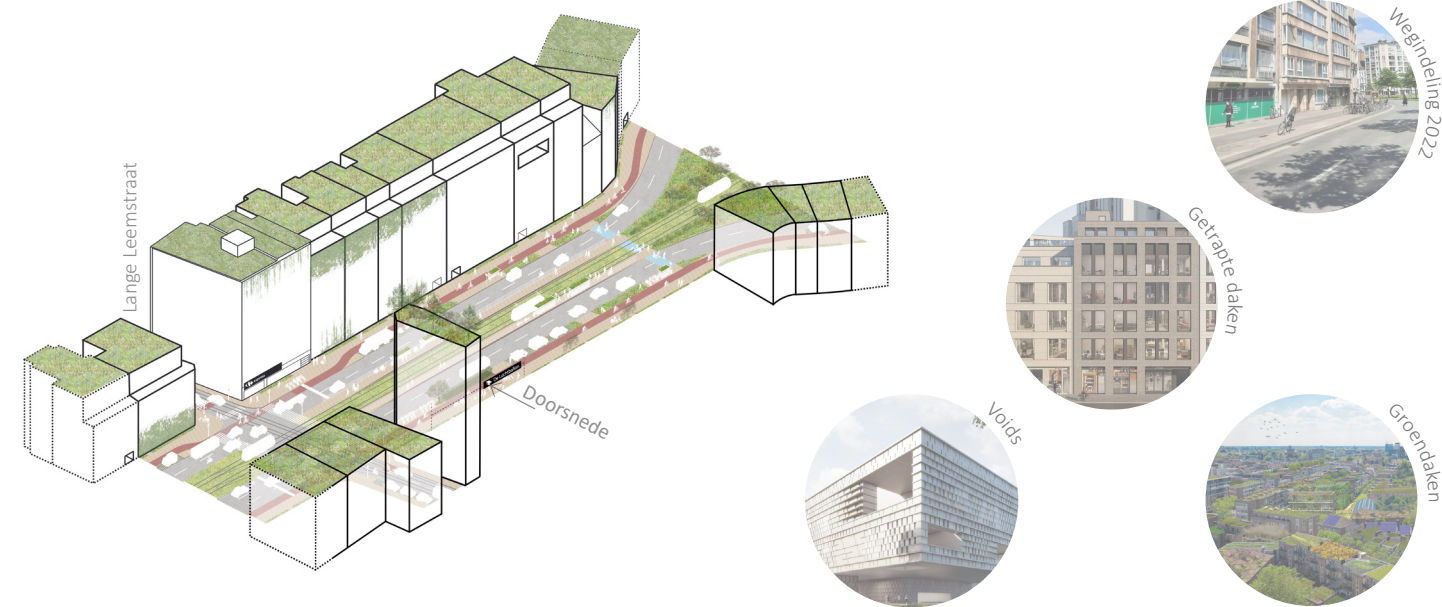
De **half open beukenhaag biedt aan de schoolpoort ook een zekere vorm van bescherming voor de wachtende ouders.** Ook wordt een **appelboom** aangeplant; geschikt door zijn beperkte hoogte en breedte (9x10m, tabel 5, p. 73), welke binnen een boomspiegel met een diameter van maximaal 2m geplaatst kan worden. Aangezien de appelboom niet hoger dan de laagste bebouwing (20m) zal groeien, wordt de natuurlijke ventilatie minimaal verstoord.

Ook hier wordt compensatiegroen voorzien ter vervanging van de weggehaalde laanbomen. Allereerst bevorderen bedden met **gras- en bloemenmengsels** (voormalige parkeerruimte) en geveltuintjes de ventilatie op voetgangersniveau. Deze beperkte oppervlakte wordt vergroot door ook de bestaande en nieuwe platte daken op lange termijn in te zetten voor verdere vergroening, wat in totaal voor een sterke meerwaarde aan groene open ruimte zorgt (+5.850m², oppervlaktes in bijlage 7).

Meer gelaagd groen is mogelijk waar deze de voornaamste luchtstromen niet hindert (zie figuren 118-120). Dit is het geval bovenop het hoogste (nieuwe) hoekgebouw, waar de nieuwe fundering een intensieve daktuin kan dragen. De natuurlijke ventilatie wordt minimaal gehinderd door de beplanting met poreuze en lagere vegetatiesoorten; **appelboom, lijsterbes, krentenboom en kardinaalsmuts** (figuur 114).

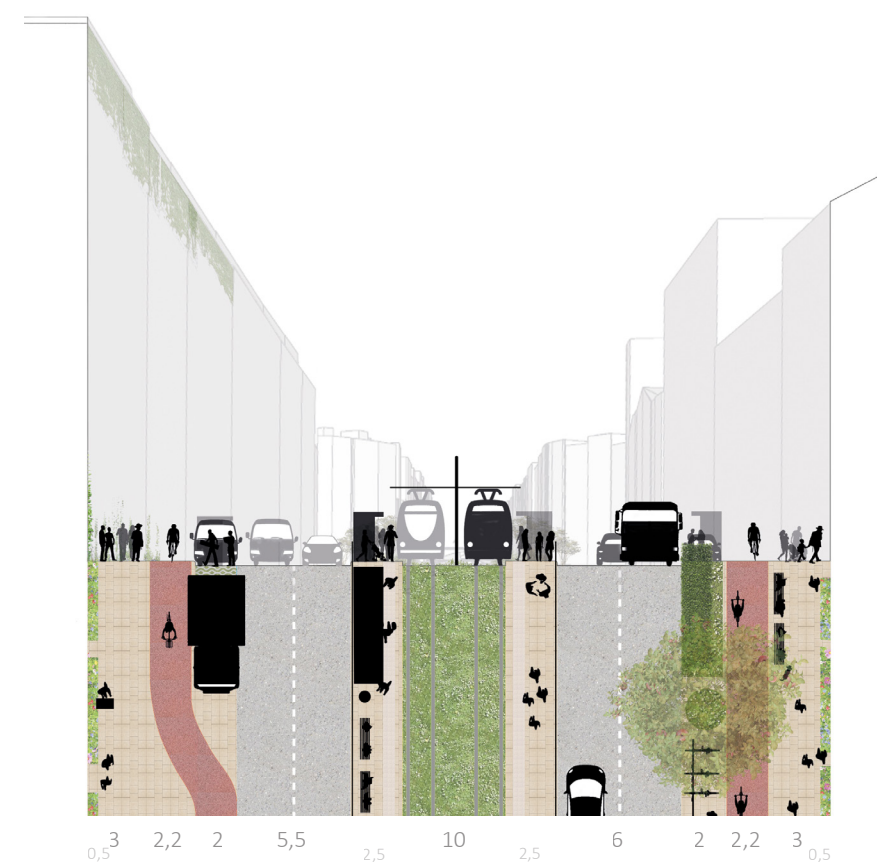
Tenslotte wordt ook **voor de rotonde optimale ventilatie nagestreefd.** De 'groene long' wordt hier geïnterpreteerd als een plek waar alle luchtstromen samenkomen en zuurstof geven én krijgen van verschillende aders. De toekomstige hogere luchtstromen worden minimaal gehinderd door het vermijden van alle soorten hoog groen. Dezelfde strategisch aangeplante lage en porieuze compensatie-soorten leiden de luchtstromen op voetgangersniveau rondom de 'rotonde'.

Mede dankzij het beperkte groen binnen sectie 2 vandaag (jonge bomen) wordt hier via het compensatiegroen op termijn 2.610m³ extra groenvolume gecreëerd.



Figuur 114: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 2.2 waaronder de toepassing van getrapte daken (CD Vastgoed, 2022), voids (Harry Gugger Studio, 2012) en groendaken (Rooftop Revolution, 2020)

Verwijderde bomenrijen compenseren met meer lage vegetatie
 Betere luchtstroming op hoger niveau tussen open ruimtes, met aandacht voor gebruikerscomfort
 Natuurlijke luchtstromen van boven de UCL en de groene ruimtes richting de 'rotonde' trekken
 Aan kruispunten down-wash effect via step-up street canyons creëren (laagbouw op ZW-hoek)



Figuur 115: Een doorsnede van de tweede sectie voor scenario 2



Figuur 116: De referentie 'Prinses Stephanie Clementinalaan' (Tractebel, z.d.)



Figuur 117: Een doorsnede van de tweede sectie voor 2022

Variatie bebouwing

De drie dominante windrichtingen voor Antwerpen spelen ook voor de uitwerking van de tweede sectie een belangrijke rol (figuren 118-120), naast de omliggende bouwhoogtes en de achterliggende binnengebieden (figuur 121). Binnen deze sectie dienen de **verschillende luchtstromen richting de 'rotonde' getrokken** te worden. Bij schuine en parallelle windrichtingen worden de hoogste pollutent-concentraties gemeten ten einde van de straat canyon (NO), waar de 'groene long' de luchtverversing moet verbeteren.

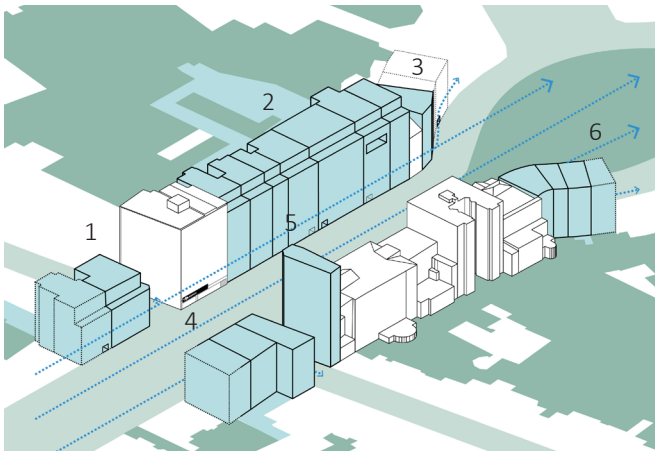
De volgende gebouwen worden aangepast (zie ook bijlage 8):

1. De twee gebouwen aan de hoek van het kruispunt met de Lange Leemstraat (N) van gemiddeld 28,5m hoog worden verlaagd met drie verdiepingen tot ongeveer 19,5m, met een getrappt dak voor extra turbulentie. Zo worden voornamelijk bij de schuine windrichting (WZW & ZZW) **downwash-effecten** veroorzaakt tegen het overstaande hoekgebouw (30m, figuren 119 & 120). Het gesloopte bijgebouw biedt 230m² extra open ruimte.
2. Aangezien elke dakvorm beter is dan een platte dakvorm **voor turbulentie, wordt een getrappt dak toegepast** bij zeven aaneensluitende gebouwen noordelijk van de tramhalte. Door deze aanpassing uniform door te trekken, vormt deze aanpassing een verfraaiing van het straatbeeld en een sterk contrast met de sterk variërende en grotendeels beschermde gebouwen aan de overzijde. Het zesde gebouw (ZW naar NO) krijgt daarbovenop een **void** toegekend voor extra luchtuitwisseling tussen open ruimte gebieden. De void op de zevende verdieping ligt op gelijke hoogte met de bebouwing in de zuidwestelijke Lange Leemstraat en de aangepaste nr. 4 (20m).
3. Het aangeduide gebouw nr. 3 wordt met drie verdiepingen verlaagd tot 20m om **op ongeveer gelijke hoogte te komen met de omliggende panden**. Deze aanpassing is van belang voor de **optimale uitwisseling van luchtstromen tussen het achterliggende open ruimte gebied en de open 'rotonde'** bij een WZW windrichting (figuur 119). Tegelijkertijd wordt zo een step-up structuur gecreëerd met de hogere bebouwing aan de overzijde van de rotonde (gem. 28m).

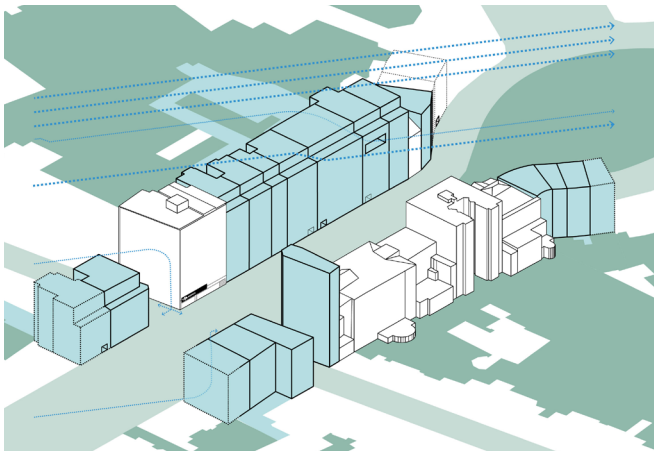
4. De drie gebouwen van gemiddeld 28,5m hoog, worden met drie verdiepingen verlaagd tot 18m. Zo worden voornamelijk bij de ZZW windrichting **downwash-effecten** veroorzaakt (figuur 120). Enerzijds tegen het overstaande hoekgebouw (30m, nr. 5) en anderzijds tegen de noordelijke huizenrij richting de 'rotonde'. Er wordt 200m² achterliggende open ruimte gecreëerd.
5. Gebouw nr. 5 wordt met drie verdiepingen tot 30m verhoogd voor het beoogde downwash-effect in **combinatie met aanpassing nr. 4** (ZZW, figuur 120). Het contrast met de lagere buurpanden (gem. 20m) maakt dit gebouw tot de nieuwe **eyecatcher** van deze sectie.
6. Tenslotte worden aan de 'rotonde' nog vier gebouwen met drie verdiepingen verlaagd tot 20m. Hier wordt de uitwisseling van luchtstromen tussen het binnengebied en de 'rotonde' nagestreefd (ZZW, figuur 120). Opnieuw wordt een step-up structuur gecreëerd tegen de overzijde van de 'rotonde' (+/-29m) en worden **meer luchtstromen richting het einde van de Belgiëlei** gestuurd.

Voor elke aanpassing van de bebouwing wordt opnieuw schaduwvorming mee in rekening gebracht. **De bestaande woondichtheid kan echter niet gerespecteerd worden**; het verlagen van elf gebouwen zorgt voor een vermindering van 42 appartementen (bijlage 8), wat niet gecompenseerd kan worden met de verhoging van één gebouw (nr. 5, drie extra appartementen). Hoogbouw zou echter wel interessant zijn aan de overzijde van de groene long.

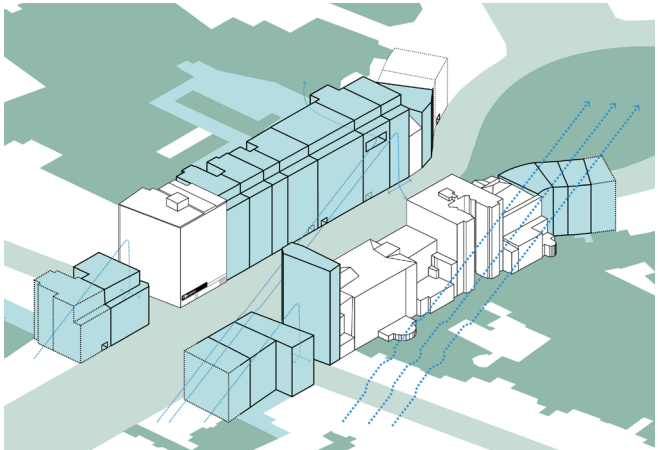
Tenslotte kan opnieuw een minder ingrijpende maatregel gevonden worden in het **omvormen van (bestaande) garagepoorten tot voids**. Binnen de tweede sectie bevinden zich reeds zes garagepoorten. Daarvan leiden vandaag vijf poorten naar overdekte parkeergarages (figuur 121 a-e en figuur 122). Deze vijf connecties met het binnengebied worden opengetrokken waarbij alle parkeergarages worden omgevormd tot openlucht-parkings (figuur 123). Voor de noordelijke gebouwencluster (met garages b-e) wordt zo zelfs 1.610m² extra open ruimte gecreëerd in het binnengebied, waarlangs een natuurlijke uitwisseling van luchtstromen met de Belgiëlei wordt verzekerd.



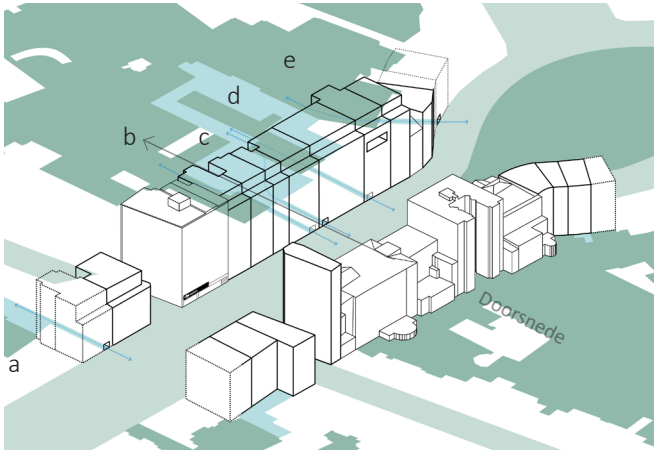
Figuur 118: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een parallelle windrichting (ZW)



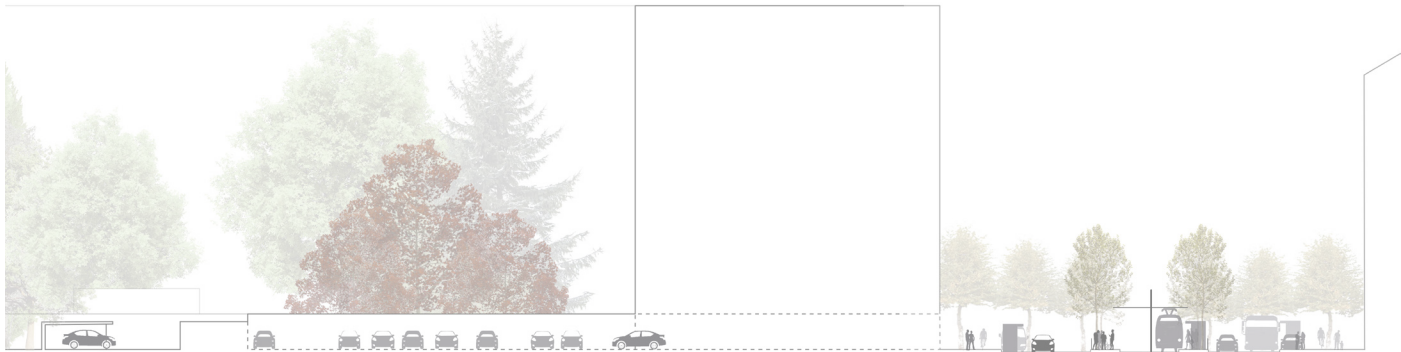
Figuur 119: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een schuine windrichting (WZW)



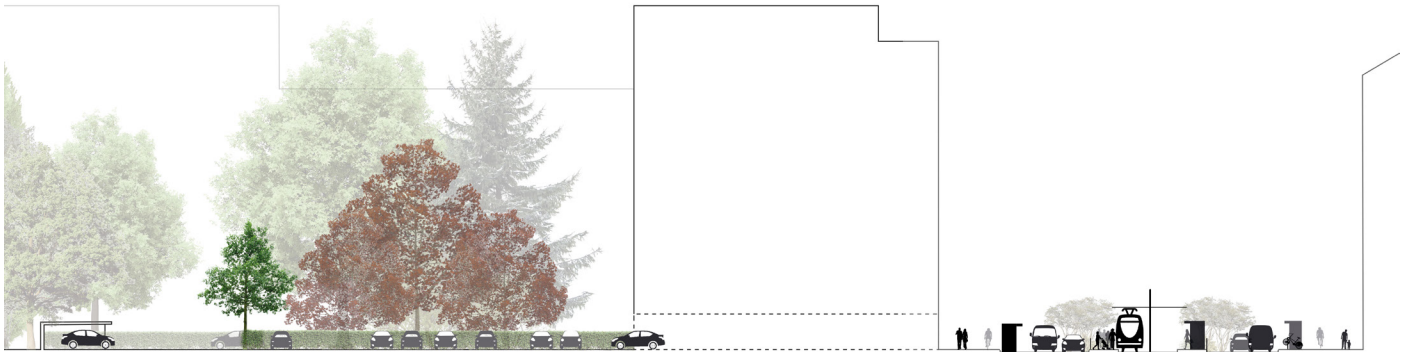
Figuur 120: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een schuine windrichting (ZZW)



Figuur 121: De natuurlijke ventilatie tussen binnengebieden en sectie 2 van de Belgiëlei via vijf garagepoorten



Figuur 122: Een uitgebreide doorsnede van de tweede sectie voor 2022

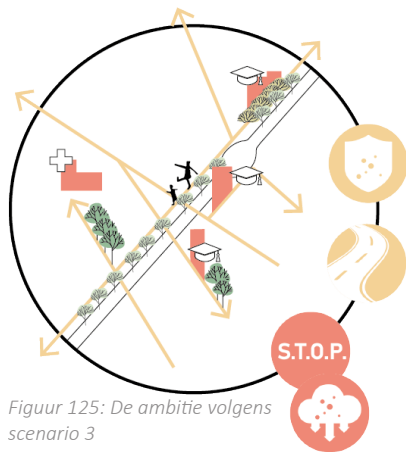


Figuur 123: Een uitgebreide doorsnede van de tweede sectie voor scenario 2

SCENARIO 3



Figuur 124: Een sfeerbeeld voor de toepassing van scenario 3 op de Belgiëlei (sectie 2, figuur 132 op p. 118), waar de focus ligt op het reduceren van de blootstelling



Figuur 125: De ambitie volgens scenario 3

Binnen het derde scenario wordt maximaal en in extreme mate ingezet op de **toolset 'blootstelling reduceren'**, via de tools 'barrières' en 'laanpositie'. Daarnaast worden ook verkeersmaatregelen uit de tools 'totale hoeveelheid verkeer reduceren' en 'individuele uitstoot reduceren' toegepast.

Totale hoeveelheid verkeer reduceren

- STOP-principe
- Aantal rijbanen per rijrichting

Individuele uitstoot reduceren

- Parkeerplaatsen niet onder bomen aanleggen
- Laad- en losplaatsen centraliseren

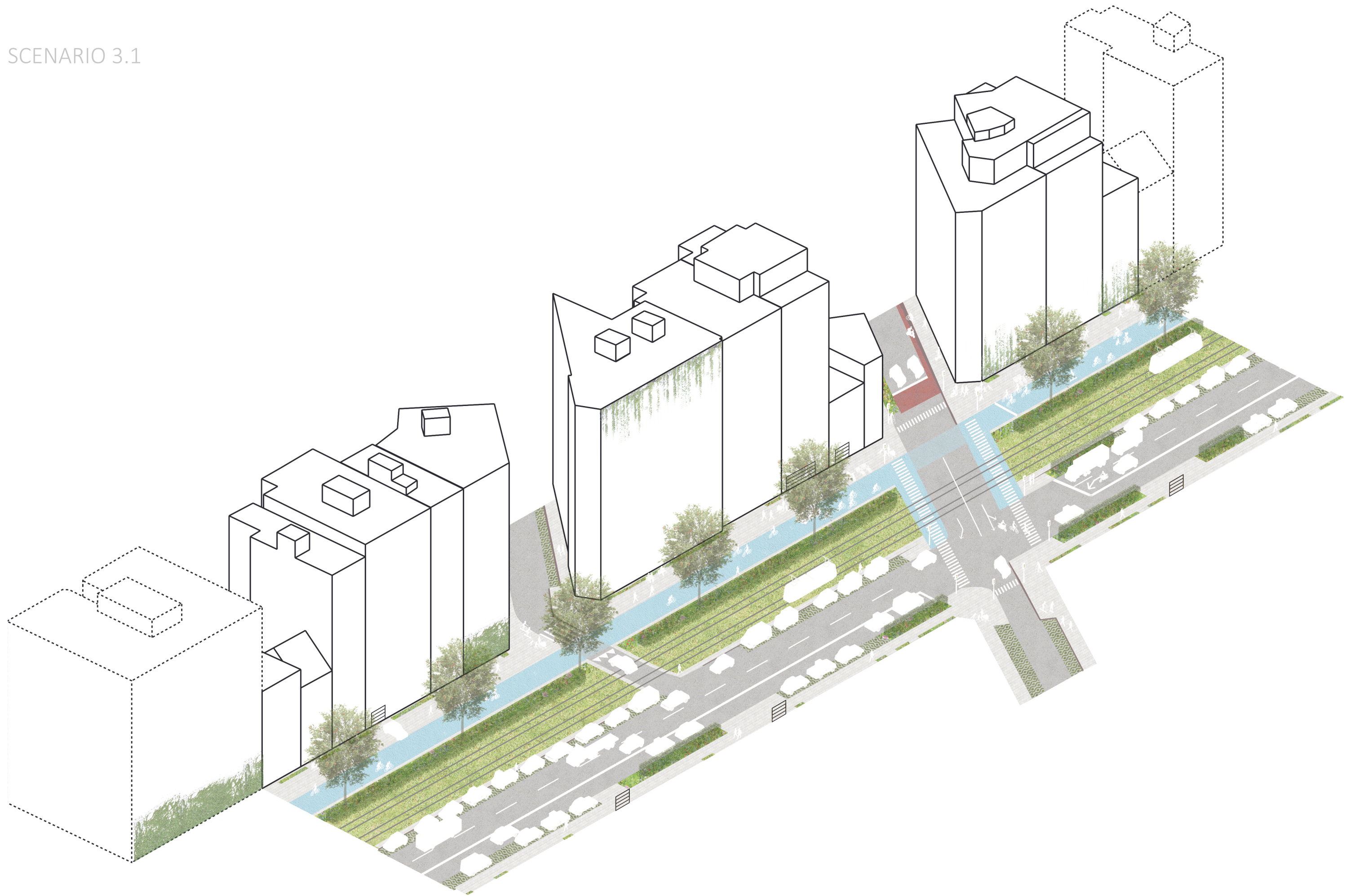
Barrières

- Hagen: hoge densiteit, H:0,9-2m en B:>1,5m //continu, aan beide zijden van de street canyon, tussen de straat en het voetpad en centraal benedenwinds
- Bomen: hoge porositeit en medium grootte //één rij aan één zijde, tussen voetpad en haag aan 0,5 plant-dichtheid
- Plaatsing parallel georiënteerde parkeerplaatsen

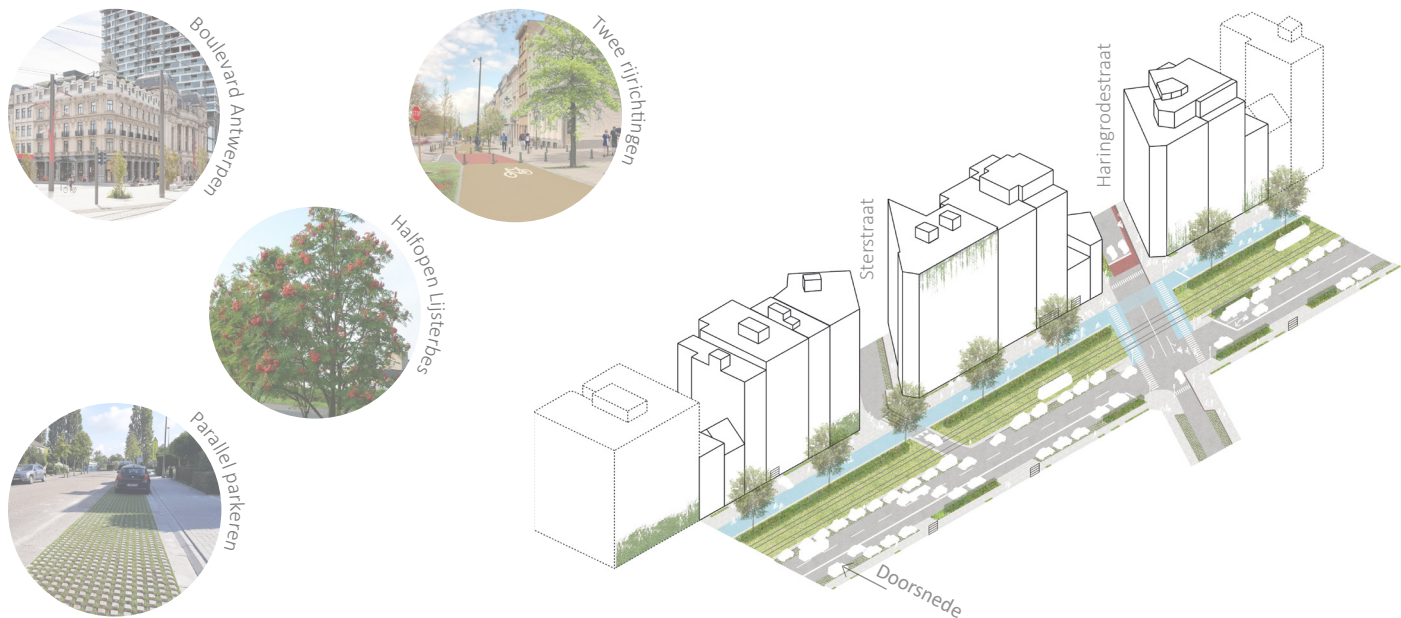
Laanpositie

- Voorkeur voor asymmetrische wegingdeling

SCENARIO 3.1



Figuur 126: De isometrische weergave van scenario 3 op de eerste sectie

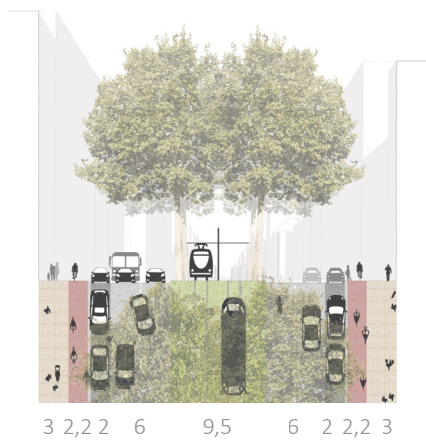


Figuur 127: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 3.1 waaronder de toepassing van een wandel-boulevard (de Solà-Morales, 2019), een fietspad voor twee rijrichtingen (Smet, 2016), een bomenrij van lijsterbes (Kalpana, 2022) en groene parkeerplaatsen (Bvba Verbruggen, 2020)

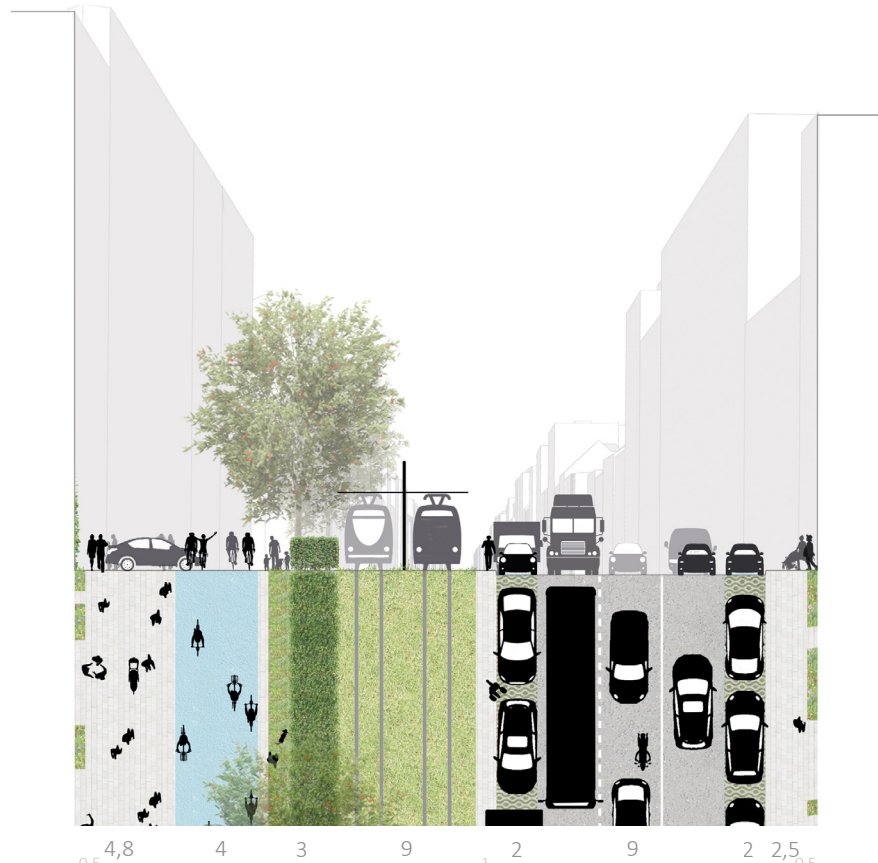
Enkele rijbaan richting NO (lagere intensiteit) en asymmetrisch concentreren van rijbanen
 Driedubbele barrière-vorming tussen de rijbanen en de actieve boulevard; parkeerplaatsen, hagen en één bomenrij
 Reductie in groenvolume compenseren met hagen en meer lage vegetatie



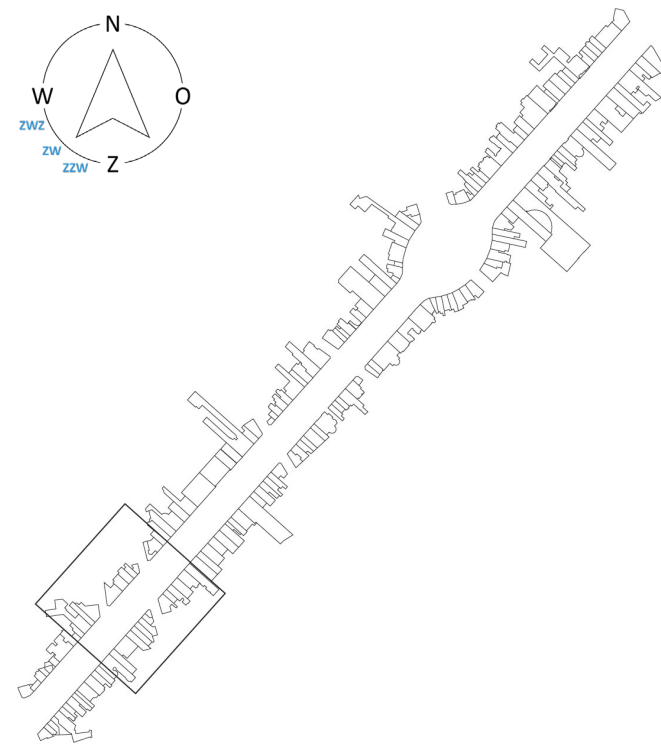
Figuur 128: De referentie 'Coolsingel Boulevard' (West 8 et al., 2021)



Figuur 129: Een doorsnede van de eerste sectie voor 2022



Figuur 130: Een doorsnede van de eerste sectie voor scenario 3



Figuur 131: De eerste sectie voor scenario 3

Totale hoeveelheid verkeer reduceren

De toestroom van het gemotoriseerd verkeer vanuit het zuidwesten is beperkter dan vanuit het noordoosten. Daarom kan **één rijbaan richting het noordoosten** worden toegepast, waarbij een doorlopende witte lijn het afslaan naar de Sterstraat verhindert. De verbindende functie van de Belgiëlei blijft hierdoor gerespecteerd.

Het scenario rond blootstelling legt echter de nadruk op de actieve weggebruikers. Het S.T.O.P.-principe wordt hier vrij letterlijk weerspiegeld in de wegindeling. Zo is er allereerst een zeer brede **wandelboulevard** voorzien (NW), waar theoretisch gezien een verminderde blootstelling wordt gecreëerd via de laanpositie en de aanwezige barrières. Hier tegenaan wordt een **vrijliggend fietspad voor twee rijrichtingen** van 4m breed voorzien, waar elektrische fietsen en steps beter kunnen passeren. Deze doet tevens ook dienst als **dienstweg** tot aan de lokale garages. Daarnaast is de tramerm gelegen, waarna de rijbanen volgen. Het ZO-voetpad betreft een secundair voetpad.

Barrières

Naast de asymmetrische laanpositie zorgen ook verschillende barrières voor een verminderde blootstelling van actieve weggebruikers aan pollutanten. Binnen het derde scenario wordt deze **blootstelling aan pollutanten gelinkt met de blootstelling aan pollen**, gezien de grote impact op de gezondheid. Zo worden enkel 'pollenvriendelijke' soorten toegepast ter vorming van groene barrières (tabel 6, p. 76).

Om de winduitwisseling van de luchtvervuiling op de weg naar de actieve gebruikers te voorkomen, wordt geopteerd voor een **continue barrière aan weerszijde van de rijbanen**. Zo vormen **parallel geparkeerde wagens** een eerste vorm van barrière (+54m², oppervlaktes in bijlage 7). De parkeerplaatsen langs de tramerm worden voorzien van een smal voetpad ter verbinding met de oversteekplaatsen. Deze eerste barrière wordt aangevuld met de aanplanting van **dense ligusterhagen**, welke gesnoeid kunnen worden tot 0,9-2m hoog en 1,5m breed. Deze worden minstens aan alle kruispunt-hoeken (hogere pollutant-concentraties) voorzien.

De aanplanting van een **enkele bomenrij van lijsterbes** is mogelijk omwille van zijn poreuze en beperkte omvang. Deze fungeert als een laatste vorm van barrière. Er wordt een plant-dichtheid van 0,5 (of een plantafstand van 20m) gehanteerd. Er is wel sprake van de sterkste reductie in groenvolume (-43.500m³) in vergelijking met de andere scenario's. Binnen dit scenario is er dan ook geen sprake van daktuinen, aangezien geen bebouwing wordt aangepast.

Individuele uitstoot reduceren

Binnen deze sectie wordt tenslotte beperkt ingezet op het reduceren van de individuele uitstoot, aangezien de snelheid van 50km/h, het aantal kruispunten en de parkeer-oppervlakte (minimaal) behouden blijven. Wel wordt voorzien dat parkeerplaatsen niet onder bomen aangelegd worden.

Laanpositie

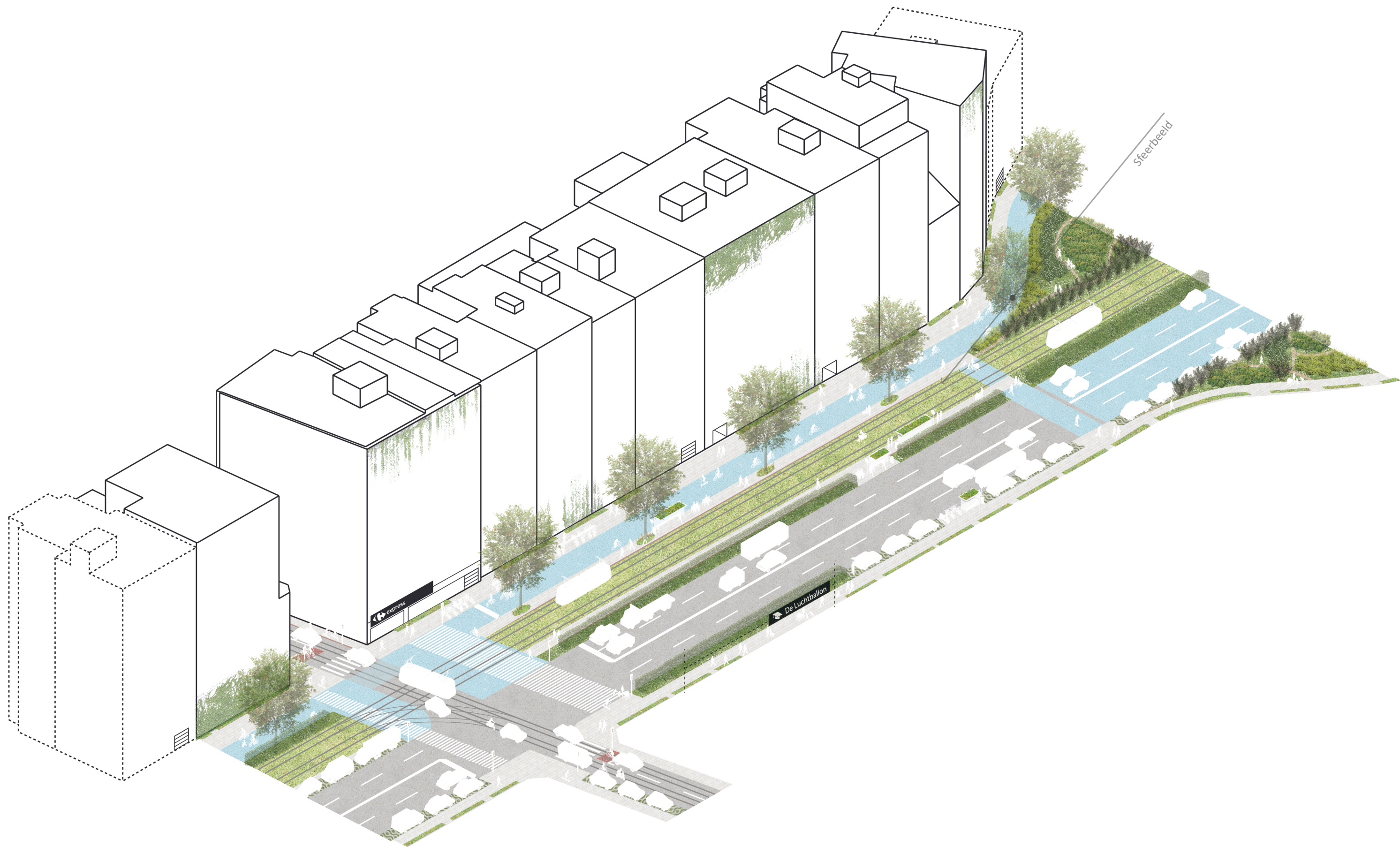
Allereerst heeft de laanpositionering een sterke impact op de blootstelling en de overige ruimtelijke ingrepen binnen scenario 3. Aangezien voor de Belgiëlei afwisselende parallelle- en schuine windrichtingen domineren, is de keuze omtrent de laanpositie neutraal. **Binnen het derde scenario wordt gekozen voor een zuidoostelijke positionering van de rijbanen**. Dit zorgt bij windrichtingen parallel vanuit het ZW en schuin vanuit het ZZW voor een verminderde blootstelling op de noordwestelijke actieve boulevard. De redenering steunt hierbij op de ideale positie voor de rijbanen en de actieve boulevard volgens de omgeving (tabel 7):

Tabel 7: De afweging van de ideale laanpositionering

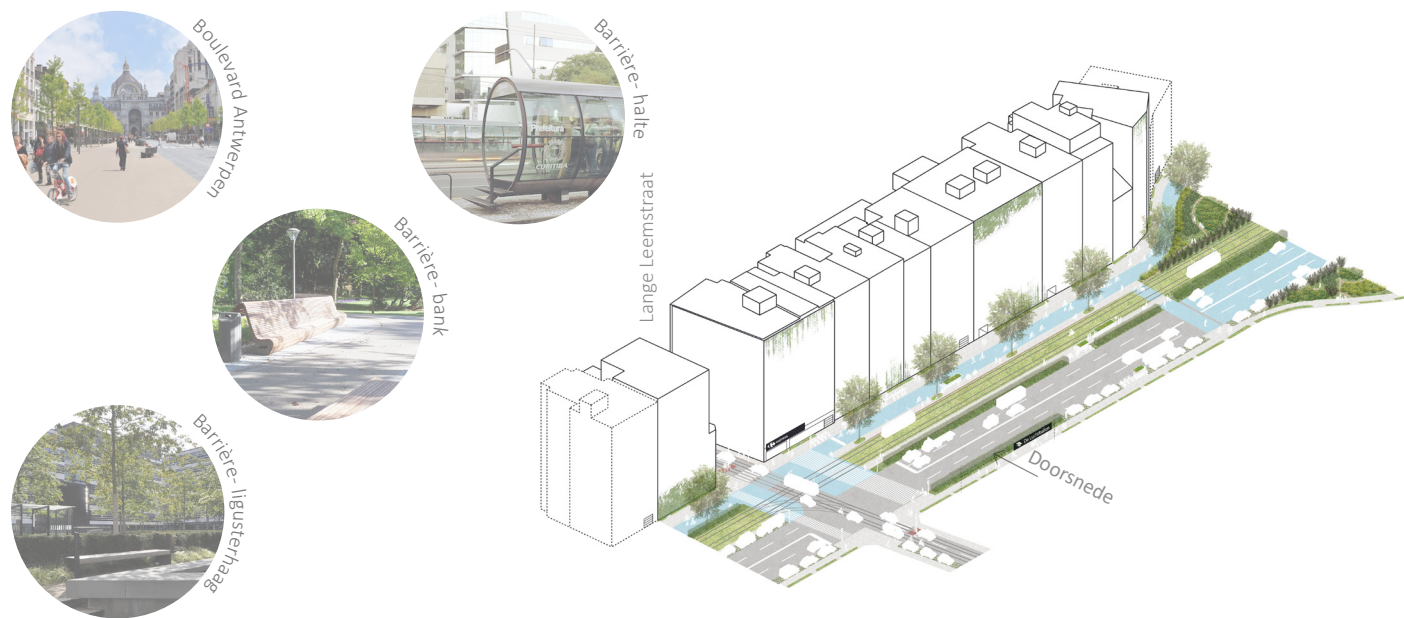
Redenering i.f.v. rijbanen	
NW	ZO
24 garages	26 garages
	1 productiebedrijf
Redenering i.f.v. actieve boulevard	
NW	ZO
Meeste uren zon	Zon 's avonds
30 voorzieningen langs de Belgiëlei	28 voorzieningen langs de Belgiëlei
28 kwetsbare functies richting NW (r=500m)	23 kwetsbare functies richting ZO (r=500m)
Stadspark via NW Charlottalei	
4 vrijliggende fietspaden	3 vrijliggende fietspaden
	Alternatieve actieve route: Lamorinierestraat (soort schoolstraat)

Gezien de kleine verschillen en relatieve voorkeuren kan de ruimtelijke indeling van scenario 3 in het geval van de Belgiëlei ook **gespiegeld** voorkomen.

SCENARIO 3.2



Figuur 132: De isometrische weergave van scenario 3 op de tweede sectie, met aanduiding van het perspectief voor het sfeerbeeld (figuur 124, p. 112)



Figuur 133: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 3.1 waaronder de toepassing van een wandel-boulevard (de Solà-Morales, 2012) maar ook barrières als, een aerodynamische bushalte (Norfolk, 2011), een hoge zitbank (LAND Landschapsarchitecten, 2017) en een ligusterhaag (Club L 94 Landschapsarchitecte, 2013)

Dubbele rijbanen (hogere intensiteit) en asymmetrisch concentreren van rijbanen

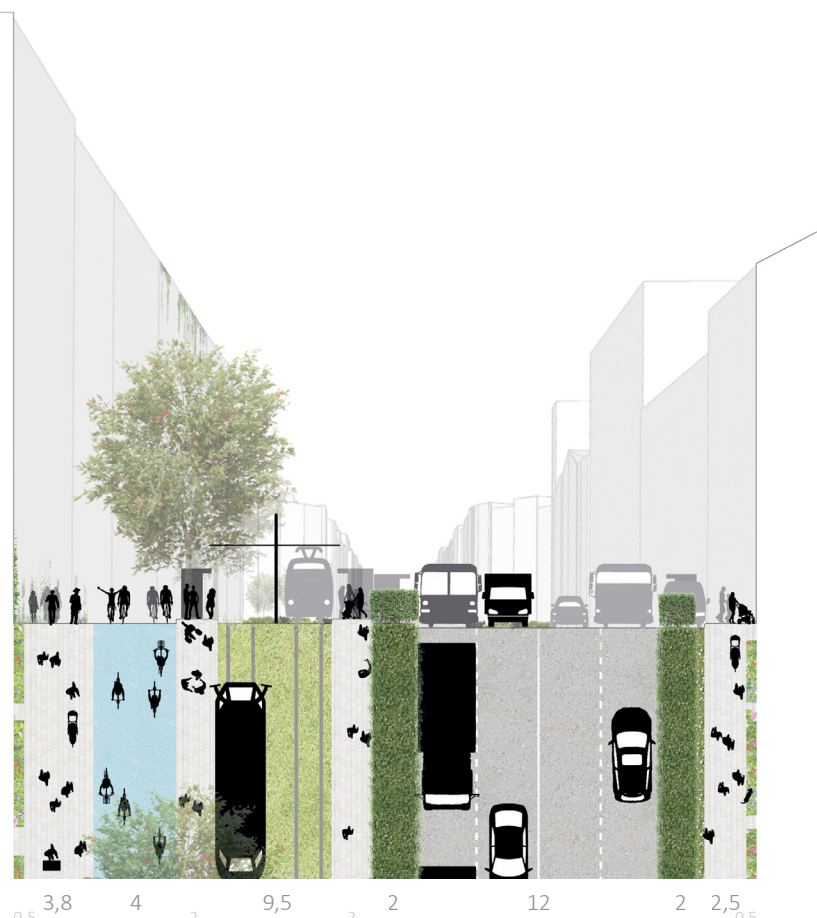
Eén barrière tussen de rijbanen en de haltes (haag) en twee barrières richting de boulevard (hagen en bomenrij door plaatsgebrek)
Reductie in groenvolume compenseren m.b.v. hagen, meer lage vegetatie en het benedenwindse park op de 'rotonde'



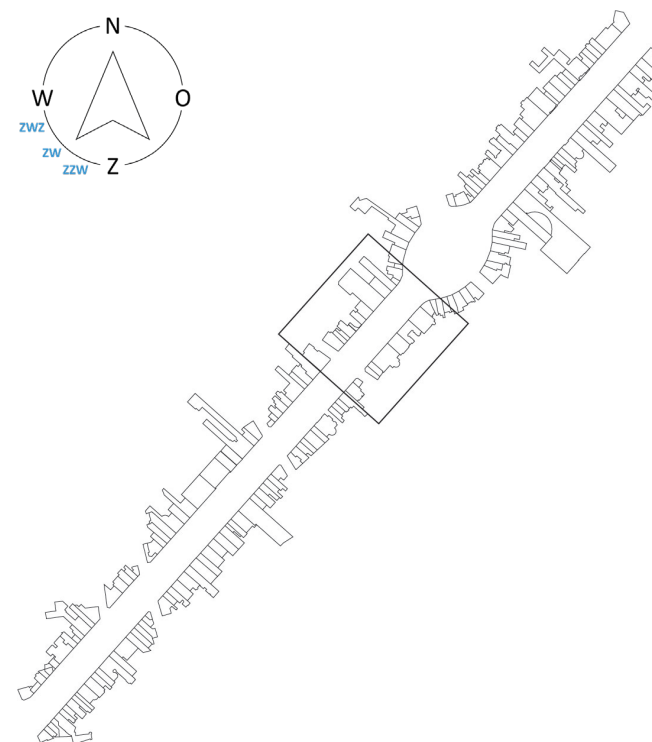
Figuur 134: De referentie 'Pondy Bazaar Pedestrianization' (Oasis Designs, z.d.)



Figuur 135: Een doorsnede van de tweede sectie voor 2022



Figuur 136: Een doorsnede van de tweede sectie voor scenario 3



Figuur 137: De tweede sectie voor scenario 3

Laanpositie

Allereerst heeft de laanpositionering ook binnen de tweede sectie een sterke impact op de blootstelling en de overige ruimtelijke ingrepen binnen scenario 3 (zie ook sfeerbeeld/figuur 124 op p. 112). De **zuidoostelijk gepositioneerde rijbanen** uit de eerste sectie lopen hier rechtlijnig door richting het noordoosten. Er is zo theoretisch gezien sprake van een verminderde blootstelling langs de actieve boulevard bij windrichtingen uit het ZW en ZZW. De redenering achter de zuidoostelijke positionering kan worden teruggevonden in tabel 7, p. 117. Daarbovenop wordt gekozen voor een kruispunt i.p.v. een 'rotonde' binnen de open ruimte van de Belgiëlei (noordoostelijk van de sectie) opdat er meer ruimte tussen de rijbanen en de voetpaden ontstaat, ideaal voor de aanplanting van een extra brede groen-barrière.

Totale hoeveelheid verkeer reduceren

Het kruispunt met de Lange Leemstraat bevindt zich tussen een hoge verkeersintensiteit (ZW) en de huidige 'rotonde' met meerdere zijstraten, waardoor **twee rijbanen per rijrichting behouden** blijven. De verbindende functie van de Belgiëlei (tussen de nationale wegen) blijft hier gerespecteerd.

Het S.T.O.P.-principe wordt hier opnieuw vrij letterlijk weerspiegeld in de wegindeling ten gunste van de actieve weggebruiker. Wel moet de brede **wandelboulevard** (NW) één meter inboeten t.o.v. de eerste sectie door de aanwezigheid van de extra rijbaan en de tramhaltes binnen de tramerm (figuur 136 t.o.v. figuur 130 op p. 116). Het fietspad kan nog steeds gebruikt worden als dienstweg.

Aan het kruispunt met de Lange Leemstraat wordt een verbreed zebrapad aan de zijde van de tramhaltes voorzien voor de optimale doorstroming van tramgangers en overstekers.

Barrières

De **blootstelling aan polluenten wordt opnieuw gelinkt met de blootstelling aan pollen** door enkel met 'pollenvriendelijke' soorten te werken (tabel 6, p. 76).

De continue barrière aan weerszijde van de rijbanen wordt doorgetrokken. Omwille van de tramhaltes en de extra rijbaan kunnen ten NO van het kruispunt met de Lange Leemstraat enkel **parallelle parkeerplaatsen** voorzien worden voor de rijbanen richting het NO. Toch is er sprake van een letterlijke verdubbeling van de parkeeroppervlakte (+108m², oppervlaktes in bijlage 7).

Tussen de tramhaltes en de rijbanen wordt één barrière in de vorm van een **continue (dense) ligusterhaag** aangeplant, welke enkel onderbroken wordt aan een bushalte. Bushaltes worden op voldoende grote afstand van zebrapaden geplaatst om afstand te creëren tot de uitstoot van wachtende wagens aan deze zebrapaden. De ligusterhaag wordt ook toegepast aan de school voor extra bescherming, met afmetingen tot 2m hoog en 1,5m breed.

Centrale en benedenwindse heesters en hagen worden ook als positief voor de blootstelling bevonden. Daarom wordt de 'groene long' ditmaal omgevormd tot een parkachtige zone met dense en pollenvriendelijke heesters als **liguster, blauwe hult, mahoniestruik, struikganzerik en zuurbes**. Dit gebied verlaagd ook de blootstelling in het meest noordoostelijke deel van de Belgiëlei.

Ook de **enkele bomenrij van lijsterbes** wordt als laatste barrière doorgetrokken, zelfs over de 'groene long', binnen boomspiegels en aan een plantafstand van 20m.

Mede dankzij het beperkte groen binnen sectie 2 (jonge bomen) wordt via het compensatiegroen op termijn wel 6.800m³ extra groenvolume gecreëerd ten opzichte van vandaag.

Individuele uitstoot reduceren

Binnen deze sectie wordt tenslotte opnieuw beperkt ingezet op het reduceren van de individuele uitstoot, aangezien de snelheid van 50km/h en het aantal kruispunten behouden blijven. Wel is er extra aandacht voor de parkeerplaatsen, welke niet onder bomen aangelegd worden, en waarbij de supermarkt de **gecentraliseerde laad- en loszone** aan de overzijde van de straat dient te gebruiken (tijdens bepaalde tijdstippen).



Figuur 138: Een sfeerbeeld voor de toepassing van scenario 4 op de Belgiëlei (sectie 1, figuur 140 op p. 124), waar de focus ligt op het voorstellen van een haalbare mix aan doelstellingen en tools

Binnen het vierde en laatste scenario wordt maximaal ingezet op de **praktische haalbaarheid**, met oog op een effectieve uitwerking van het scenario. Daarbij worden de voorgaande scenario's en verschillende toolsets gecombineerd, waarbij tools worden gekozen o.b.v. de overeenstemming met de huidige ruimtelijke- en planningscontext.



Figuur 139: De ambitie volgens scenario 4

Totale hoeveelheid verkeer reduceren

- STOP-principe
- Aantal rijbanen per rijrichting

Individuele uitstoot reduceren

- Zo weinig mogelijk (en parallel georiënteerde) parkeerplaatsen voorzien en niet onder bomen plaatsen
- Laad- en losplaatsen centraliseren

Vergroenen & Beplanten

- Laanboom-volume beperken
- Boom- en vegetatiesoorten kiezen met een hoge porositeit, lage stamhoogte en aan lage plantdichtheid
- Bomen combineren met ondergroei
- Struikgewas aan beide zijden en benedenwinds
- Verticaal groen

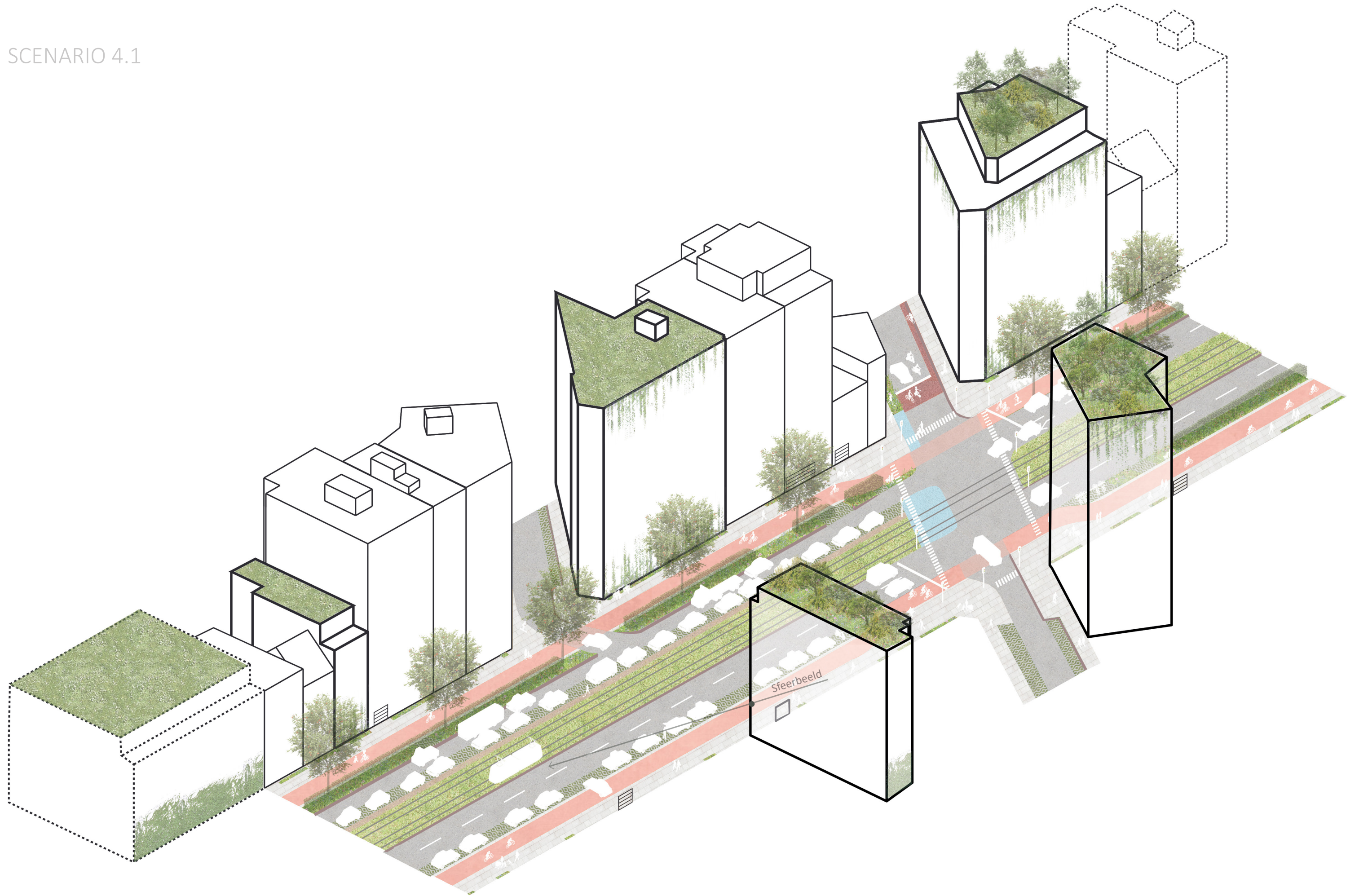
Variatie bebouwing

- Lagere delen langs de boulevard toepassen (getrapt)
- 'Downwash'/divergente stroom via step-up configuraties
- Turbulentie bekomen via benedenwindse hoogbouw
- Turbulentie bekomen via verticale setbacks
- Frisse lucht bekomen via voids (max. 10% op grondniveau)

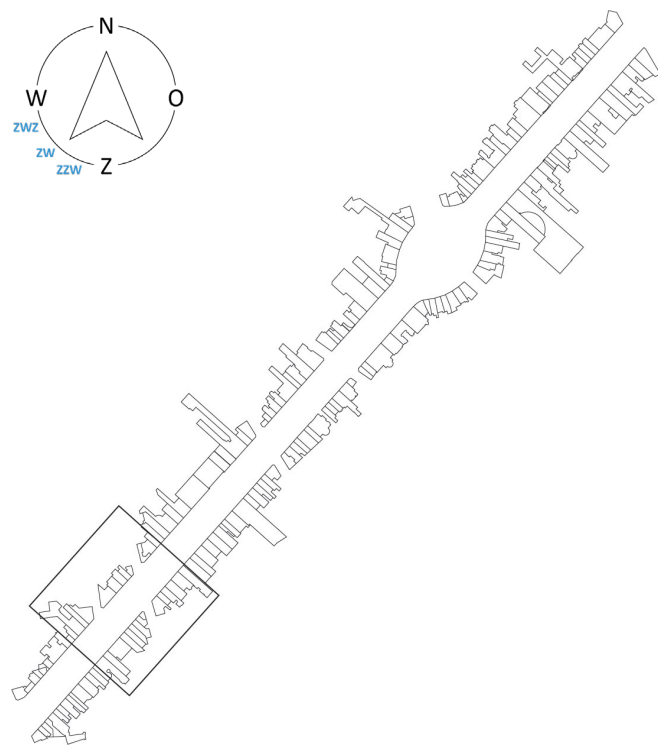
Barrières

- Aanplanten hagen: hoge densiteit, H:0,9-2m en B:>1,5m //continu, aan beide zijden van de street canyon, tussen de straat en het voetpad en centraal benedenwinds
- Aanplanten bomen: hoge porositeit en medium grootte //enkele rij aan één zijde, lage plant-dichtheid (0,5) en tussen het voetpad en de haag

SCENARIO 4.1



Figuur 140: De isometrische weergave van scenario 4 op de eerste sectie, met aanduiding van het perspectief voor het sfeerbeeld (figuur 138, p. 122)



Figuur 141: De eerste sectie voor scenario 4

Daarom worden de noordelijke parkeerplaatsen tegen de tram berm gelegd; deze plaatsing van parallelle parkings wordt vandaag ook toegepast binnen de zuidwestelijk aangekoppelde Mechelsesteenweg (maar dan wel onder een bomenrij). De parkeerplaatsen worden binnen de eerste sectie zuidwestelijk van het kruispunt voorzien. Aan het begin van de Belgiëlei garandeert een verse toestroom van lucht bij ZW-windrichtingen nog een goede ventilatie.

Vergroenen & Beplanten

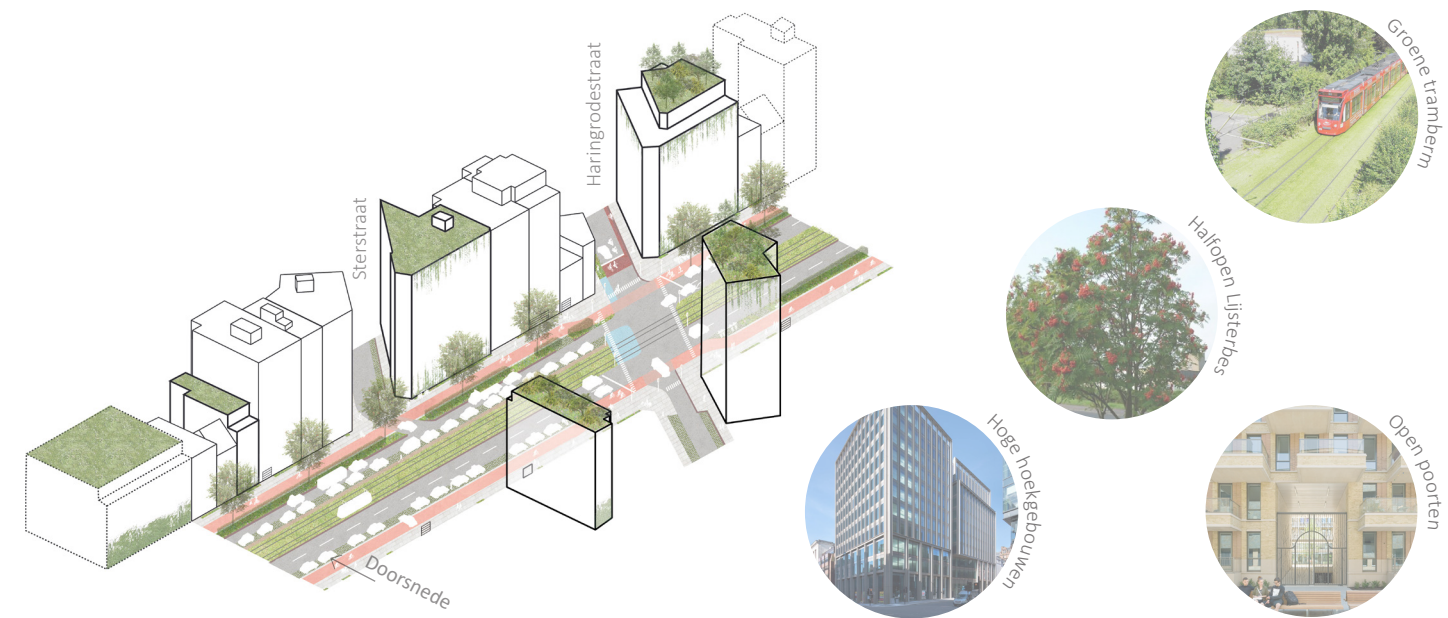
De drie voorgaande scenario's zetten alle drie op tegengestelde manieren in op vergroenen en beplanten, wat voor scenario 4 betekent dat een doordachte keuze of compromis moet gemaakt worden (keuze soorten volgens bijlage 6). Rekenend op zwaar protest van gebruikers/bewoners en de positieve impact van groen op de algemene gezondheid, wordt het volledig uitblijven van boomsoorten binnen de Belgiëlei (scenario 2) uitgesloten. Het voorzien van dubbele en dense bomenrijen (scenario 1) werkt dan weer de ventilatie tegen, waar de ventilatie zou moeten primeren boven captatie. Daarom wordt een middenweg gevonden in de toepassing van een **enkele bomenrij van lijsterbes**, aan een plantafstand van 20m, welke zowel de blootstelling verminderd als de ventilatie minimaal hindert. Net zoals voor scenario 3 kan deze ook gespiegeld geplaatst worden, gezien de wisselende windrichting (tabel 7, p. 117).

Alsnog is er sprake van een significante daling in groenvolume (-38.300m³) t.o.v. de huidige toestand. Daarom wordt opnieuw sterk ingezet op halfopen verharding, gevelgroen, klimplanten, groene trambermen enzoverder. Aangezien het implementeren van een groendak volgens de Antwerpse Bouwcode een vereiste vormt voor vergunningsplichtige handelingen, wordt op de gewijzigde bebouwing extra **compensatiegroen** voorzien. Enerzijds worden intensieve groendaken aangelegd op de nieuwe gebouwen waar deze de natuurlijke ventilatie niet hinderen, met soorten als **appelboom, lijsterbes, krentenboom en kardinaalsmuts** (figuur 142). Anderzijds worden extensieve groendaken toegepast op gerenoveerde bebouwing waar de oudere fundamenteen een zwaarder intensief groendak niet kunnen dragen, alsook op lagere bebouwing voor een betere natuurlijke ventilatie.

Barrières

Het voorzien van struikgewas kan ook onder de tool 'Vergroenen & Beplanten' worden gerekend. Net als binnen scenario 3 wordt een **niet-poreuze haag van liguster** als barrière ingezet aan de noordwestelijke zijde van de straat canyon. De plaatsing tussen de noordwestelijke actieve assen (met bomenrij) en de autoweg reduceert hier de blootstelling voor de actieve passanten. Deze wordt zo continu mogelijk aangeplant, enkel doorbroken aan garagepoorten.

Daarnaast kunnen **parallelle parkeerplaatsen** ook als barrières worden ingeschakeld, voornamelijk als bescherming voor de zuidelijke actieve assen.



Figuur 142: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 4.1 waaronder een groene tram berm (Stockholm Resilience Centre, 2021) een bomenrij van lijsterbes (Kalpana, 2022), hoge hoekgebouwen (Ryder Architecture, 2015) en open (garage-) poorten (LEVS architecten, 2016)

Middenweg tussen een boomloze straat (ventilatie) en een dubbele bomenrij (captatie); een enkele bomenrij

Dubbele barrière-vorming tussen de rijbanen en het noordelijke voetpad; haag- en bomenrij

Gereduceerd kroonvolume compenseren met hagen, meer lage vegetatie en daktuinen

Betere ventilatie aan zones met een hoge verkeersintensiteit (NO) en aan kruispunten

Natuurlijke luchtstromen van boven de UCL tot binnen de UCL trekken

Aan kruispunten down-wash effecten creëren (hoogbouw op NO-hoek)

Enkele rijbaan (richting ZW) aan lagere verkeersintensiteit biedt meer ruimte voor groen-oppervlakte

Totale hoeveelheid verkeer reduceren

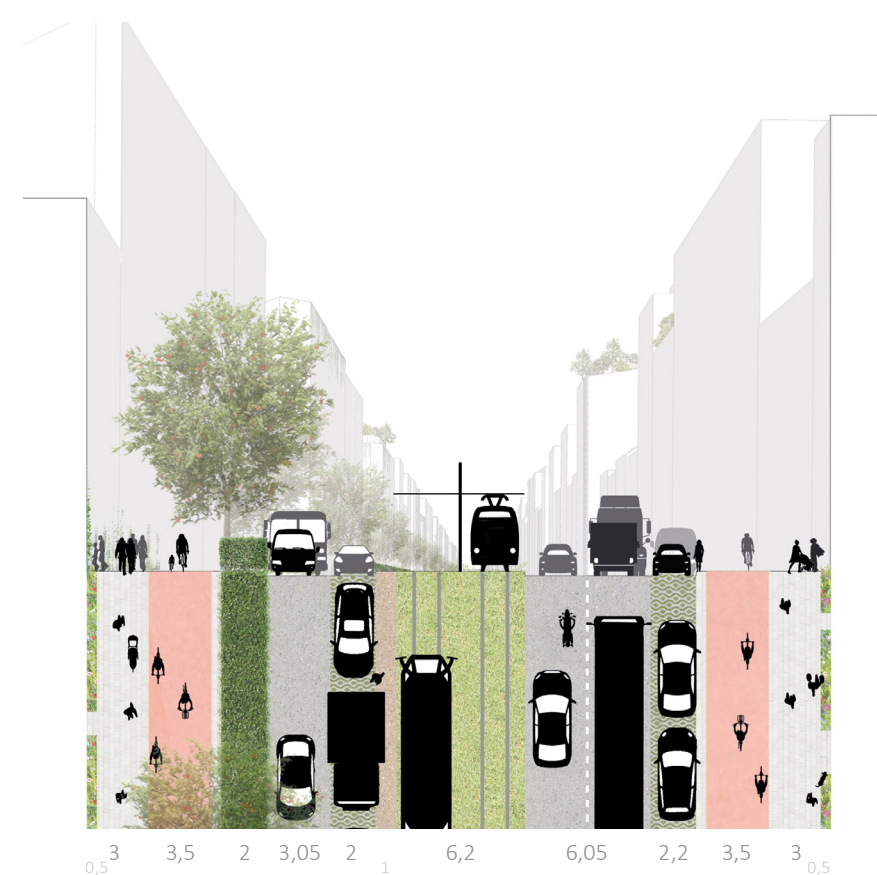
Het vierde en laatste scenario schenkt bijzondere aandacht aan de haalbaarheid, onder andere via de strikte toepassing van voorschriften en reglementen. Bij de aanpassing van de wegingeling worden daarom de minimale breedte-normen gerespecteerd. Deze zijn van toepassing op de fietspaden, de tram berm en de autoweg (zie figuur 143 en bijlage 1). De verbindingsfunctie van de Belgiëlei blijft maximaal behouden, waar een **vermindering van het aantal rijbanen** enkel mogelijk is richting het zuidwesten, omdat hier een lagere verkeersintensiteit geldt vanaf de Haringrodestraat.

De toepassing van het **S.T.O.P.-principe** biedt meer ruimte en afscherming aan wandelaars en fietsers.

Individuele uitstoot reduceren

Gezien de beperkte impact van enerzijds de wegingeling op de natuurlijke ventilatie en anderzijds de dominante parallelle windrichting voor de Belgiëlei, wordt een symmetrische indeling geprefereerd. Zo kan de **huidige wegingeling net zoals voor scenario 2 grotendeels behouden** blijven.

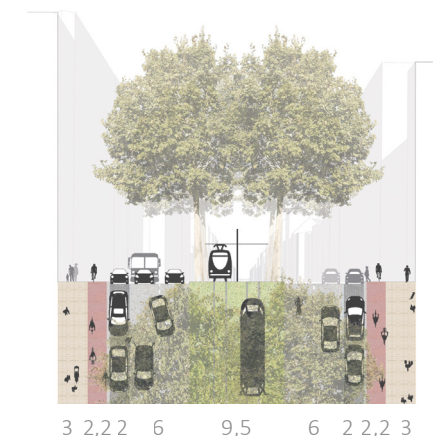
De individuele uitstoot wordt gereduceerd door in te zetten op vlotter verkeer. **De parkeerplaatsen worden verwijderd binnen zones waar ventilatie-winsten te boeken vallen.** Toch wordt binnen de eerste sectie bijna 20m² extra parkeerruimte gecreëerd (oppervlaktes in bijlage 7). Deze worden vermeden aan plaatsen met een hoge verkeersintensiteit (noordoostelijk van het kruispunt met de Haringrodestraat) en onder bomen.



Figuur 143: Een doorsnede van de eerste sectie voor scenario 4



Figuur 144: De referentie 'Pondy Bazaar Pedestrianization' (Oasis Designs, z.d.)



Figuur 145: Een doorsnede van de eerste sectie voor 2022

Variatie bebouwing

De variatie in bebouwing speelt een zeer grote rol voor de natuurlijke ventilatie. Daarom wordt deze ook binnen scenario 4 opgenomen, ondanks de vele praktische variabelen die de haalbaarheid zouden kunnen reduceren. De drie dominante windrichtingen voor Antwerpen bepalen mede de uitwerking van het scenario (figuren 146-148). Maar in tegenstelling tot scenario 2 wordt de aan te passen variatie aan bebouwing niet geselecteerd en aangepast o.b.v. de grootst mogelijke ventilatiewinsten. Dit gebeurt o.b.v. de mogelijkheden op korte termijn en de bestaande verordenende voorschriften.

Daarom wordt binnen het vierde scenario allereerst enkel ingegrepen op panden waarbij de eigenaars op relatief korte termijn mogelijk onvermijdbare ingrepen moeten doen qua renovatie of zelfs heroprichting. Het gaat dan om **panden welke de economische levensduur reeds overschrijden** (ouder dan 60 jaar, figuur 37 op p. 54).

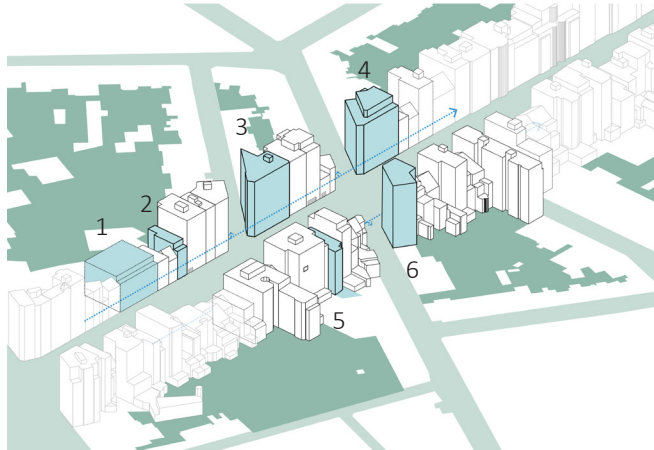
Daarnaast worden de **nieuwe panden uitgewerkt volgens de bestaande verordenende voorschriften**. Voornamelijk het Gewestplan bepaalt via zijn voorschriften dat de maximale bouwhoogte afhankelijk is van de in de onmiddellijke omgeving aanwezige bouwhoogtes, wat geldt van straathoek tot straathoek. Daarom wordt binnen dit scenario de **omliggende bebouwing** visueel mee in rekening gebracht (figuren 146-149).

De volgende gebouwen worden aangepast (zie ook bijlage 8):

1. De optekening van het eerste gebouw binnen de inventaris van het Agentschap Onroerend Erfgoed vergt een grondige argumentatie binnen een vergunningsaanvraag. Het gebouw uit 1937, van 28,5m hoog, wordt vervangen door een pand **met drie verdiepingen minder** van 19,5m hoog, in overeenstemming met de omringende lagere bebouwing, om bij een WZW windrichting **downwash-effecten** te veroorzaken aan de overzijde (figuur 147). Een **getrapt dak zorgt voor extra wind-turbulentie**.
2. Het tweede pand (1956) van 27m hoog wordt eveneens met drie verdiepingen verlaagd tot ongeveer 18m, in lijn met de argumentatie voor het voorgaande gebouw.

3. Het derde gebouw (1960) kent reeds een downwash-effect bij een WZW windrichting (figuur 147). Door het pand te **renoveren** kan de hoogte van 30m behouden blijven, ook al is deze hoger dan de gemiddelde hoogte van 26,5m van deze rij aan bebouwing. Dit hoekgebouw is van belang omwille van de aanplanting van een **intensief groendak** (figuur 142). Een intensief groendak met hoger groen had de ventilatie niet gehinderd, maar deze vraagt om sterkere funderingen die via een renovatie moeilijk bekomen kunnen worden.
4. Op het vierde pand, gebouwd in 1926, is de toepassing van een **intensief groendak** wel mogelijk. Hier kan een **nieuw gebouw** opgericht worden aan hetzelfde aantal verdiepingen, maar 2m minder hoog om aan de gemiddelde bouwhoogte van 27m te voldoen. Hogere vegetatie hindert de natuurlijke ventilatie hier minimaal.
5. Het vijfde pand (1900) wordt opgericht met een intensief groendak. Ditmaal is de **omvorming van een garagepoort tot een void** interessant, wat een gelijkvloerse uitwisseling van luchtstromen kan bevorderen (figuren 149-151). De garage achteraan het pand wordt vervangen door **50m² open ruimte**. Het doortrekken van de naburige appartement-hoogtes, creëert bij een gelijke hoogte van 23m één verdieping en één appartement extra.
6. Het zesde (hoek-) gebouw op het kruispunt met de Haringrondestraat, uit 1914, wordt tenslotte verhoogd om hier **downwash-effecten** te bekomen bij de schuine windrichtingen (WZW & ZZW, figuren 147 & 148). Het hoekgebouw wordt vernieuwd en met **vier extra verdiepingen** verhoogd tot 24m (de maximale, gemiddelde hoogte) en vormt de **nieuwe eyecatcher**.

Schaduwvorming wordt steeds mee in rekening gebracht. Ook wordt de **bestaande woondichtheid gerespecteerd, om de gewenste kernverdichting binnen de structuurplannen te volgen**. Binnen de eerste twee aangepaste gebouwen worden respectievelijk zes en drie appartementen verwijderd. Deze worden binnen het vijfde en zesde gebouw gecompenseerd met dertien extra appartementen (+4, zie bijlage 8).



Figuur 146: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een parallelle windrichting (ZW)



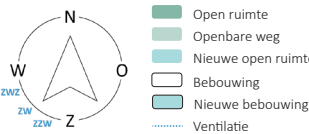
Figuur 147: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een schuine windrichting (WZW)



Figuur 148: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 1 bij een schuine windrichting (ZZW)



Figuur 149: De natuurlijke ventilatie tussen binnengebieden en sectie 1 van de Belgiëlei via één garagepoort

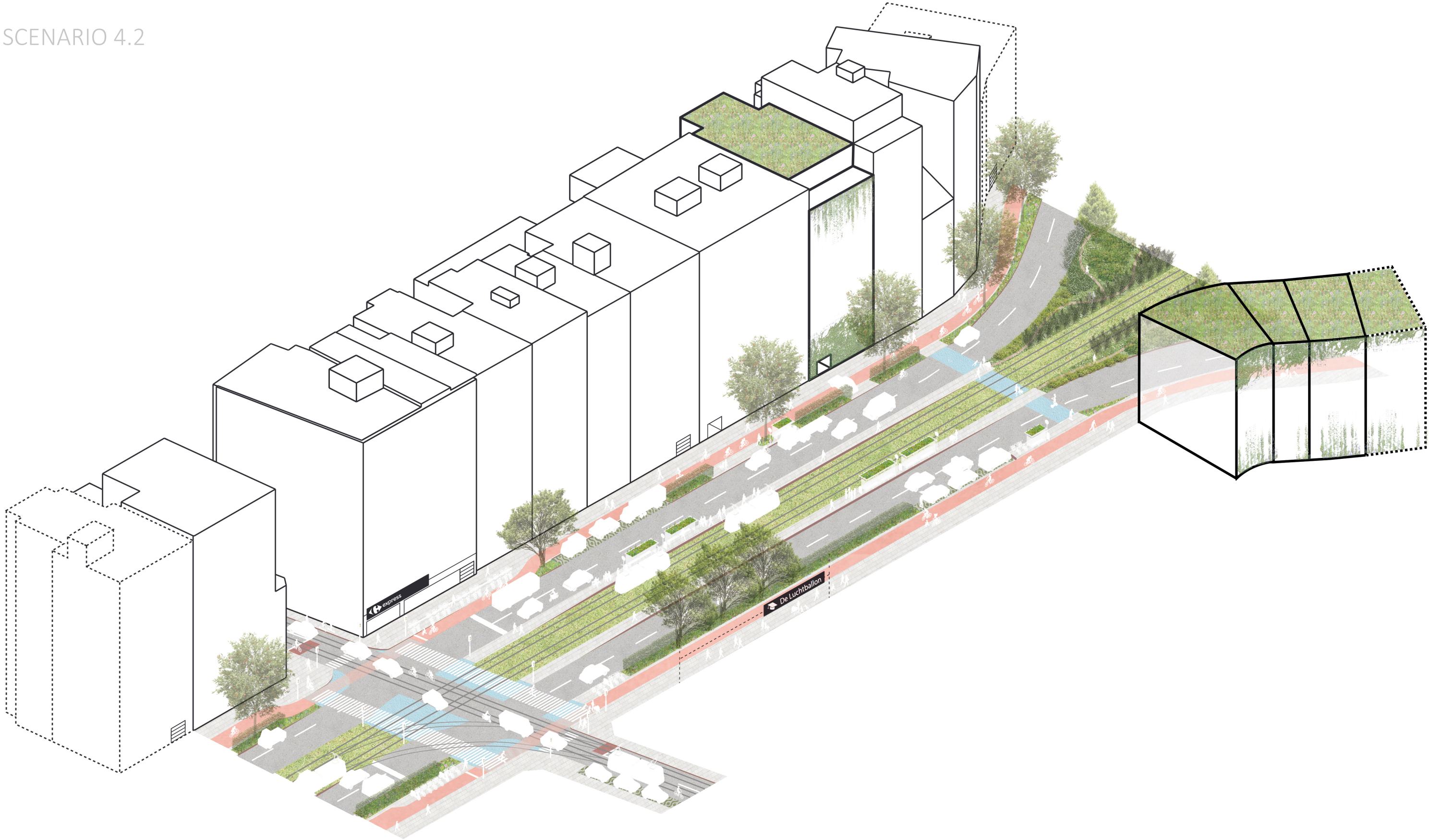


Figuur 150: Een uitgebreide doorsnede van de eerste sectie voor 2022

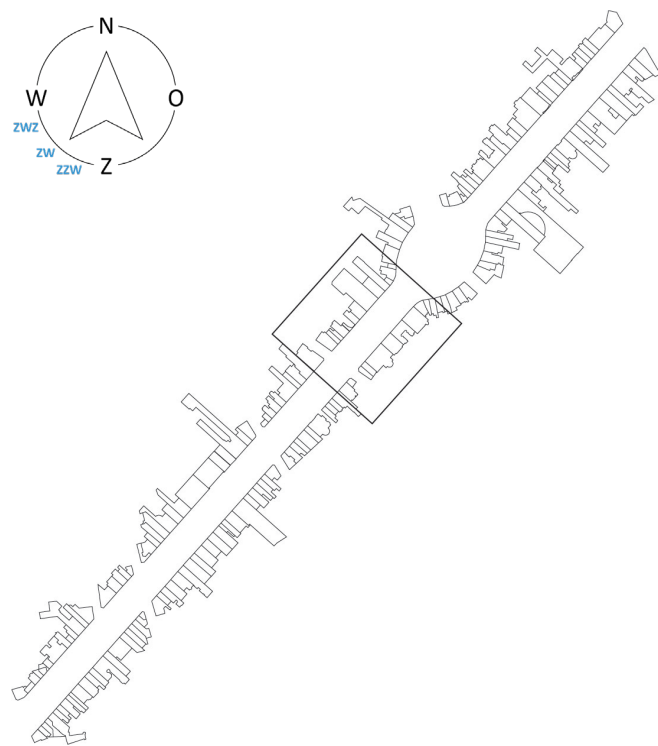


Figuur 151: Een uitgebreide doorsnede van de eerste sectie voor scenario 4

SCENARIO 4.2



Figuur 152: De isometrische weergave van scenario 4 op de tweede sectie



Figuur 153: De tweede sectie voor scenario 2

Totale hoeveelheid verkeer reduceren

Ook binnen de tweede sectie voor het vierde en laatste scenario worden voorschriften en reglementen strikt toegepast ten voordele van de haalbaarheid. De verbindingsfunctie van de Belgiëlei blijft maximaal behouden, waar een hoge verkeersintensiteit aan het kruispunt met de Lange Leemstraat en de belangrijke scharnierfunctie van de 'rotonde' om het **behoud van de dubbele rijbanen** vragen.

Vervolgens wordt het **S.T.O.P.-principe** toegepast, waar meer ruimte en afscherming wordt geboden aan de wandelaars en fietsers. Wel beperken de tramhaltes de breedtes van de overige weginfrastructuur, waardoor andere wettige minimumnormen worden gehanteerd dan binnen sectie 1 (zie figuur 155 t.o.v. figuur 143 op p. 127 en bijlage 1).

Individuele uitstoot reduceren

De individuele uitstoot wordt gereduceerd door in te zetten op vlotter verkeer. Gezien de hoge verkeersintensiteit aan het kruispunt met de Lange Leemstraat, en de hoge ventilatie-winsten welke geboekt kunnen worden richting de open 'rotonde', worden **parkeerplaatsen beperkt** (-24m², oppervlaktes in bijlage 7) en niet onder bomen geplaatst. Het vermijden van parkeerplaatsen had een optimaal scenario geboden. Binnen de directe omgeving van de noordelijke supermarkt is echter geen alternatieve laad- en loszone aanwezig, en dubbel parkeren zou hier voor opstoppen kunnen zorgen. Ook dient de basisschool bereikbaar te blijven met de auto, voor bijvoorbeeld personen met een handicap.

Vergroenen & Beplanten

Ook binnen de tweede sectie van het vierde scenario wordt een doordachte keuze gemaakt omtrent het vergroenen en beplanten (zie redenering sectie 4.1 op p. 126). De **enkele bomenrij van lijsterbes**, welke zowel de blootstelling verminderd als de natuurlijke ventilatie minimaal hindert, wordt hier doorgetrokken. Deze rij wordt aan een plantafstand van 20m en waar noodzakelijk binnen boomspiegels aangeplant. Net zoals voor scenario 3 kan deze rij gespiegeld aan de zuidelijke zijde geplaatst worden, gezien de wisselende windrichtingen (zie redenering tabel 7, p. 117).

Aanvullend worden aan drukke plaatsen waar veel mensen samenkomen, zoals de supermarkt en de basisschool, **extra appelbomen** geplaatst. Een lange **ligusterhaag** wordt ook toegepast aan de school voor extra bescherming tegen blootstelling, met afmetingen tot 2m hoog en 1,5m breed.

Centrale en benedenwindse heesters en hagen worden ook als positief voor de blootstelling bevonden. Daarom wordt de 'groene long' zoals binnen scenario 3 omgevormd tot een parkachtige zone met dense en pollenvriendelijke heesters als **liguster, blauwe hult, mahoniestruik, struikganzerik en zuurbes**. Aanvullend worden enkele haagbeuk-bomen aangeplant voor extra captatie, met een beperkte impact op de ventilatie (zoals de referentie uit Oostende, figuur 156). De groene long verlaagd ook de blootstelling in het meest noordoostelijke deel van de Belgiëlei.

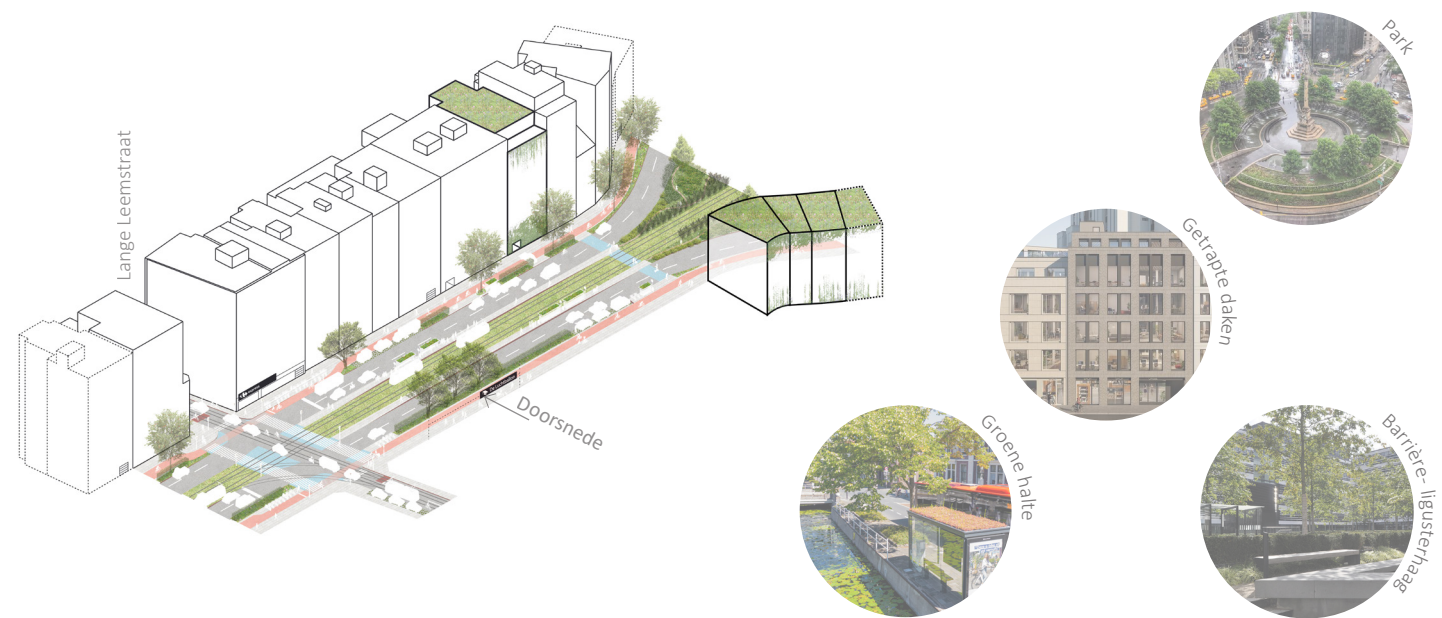
Er wordt opnieuw sterk ingezet op ontharding en vergroening, met in totaal zo'n 1.500m² extra ruimte voor groen binnen de tweede sectie. Aangezien het implementeren van een groendak volgens de Antwerpse Bouwcode een vereiste vormt voor vergunningsplichtige handelingen, wordt op de gewijzigde bebouwing extra **compensatiegroen** voorzien. Ditmaal wordt enkel extensief groen aangeplant om de natuurlijke ventilatie te blijven bevorderen (+740m²).

Mede dankzij het beperkte groen binnen sectie 2 (jonge bomen) wordt via het **compensatiegroen** op termijn 7.500m³ extra groenvolume gecreëerd t.o.v. de huidige situatie.

Barrières

Net als binnen scenario 3 wordt een **niet-poreuze haag van liguster** als barrière ingezet, ditmaal continue aan de basisschool. Ook biedt deze bescherming aan de wachtende actieve weggebruikers zuidwestelijk van het kruispunt met de Lange Leemstraat. Voor de rest van de sectie wordt een continue aanplanting bemoeilijkt door de aanwezige garagepoorten en bushaltes. Door plaatsgebrek wordt de wachtzone aan het kruispunt voor de noordoostelijke wachtende passanten enkel beschermd tegen blootstelling door afstand te creëren met de wachtzone voor de auto's.

Tenslotte kunnen de beperkte **parallele parkeerplaatsen** ook als barrières worden ingeschakeld, aansluitend op de haagkanten.



Figuur 154: Enkele praktische voorbeelden voor scenario 4.2 waaronder de vergroening van een toegankelijke rotonde (Russo, 1892), de toepassing van getrapte daken (CD Vastgoed, 2022), de vergroening van tramhaltes m.b.v. groene daken (Mobilane, z.d.) en een ligusterhaag (Club L 94 Landschapsarchitecte, 2013)

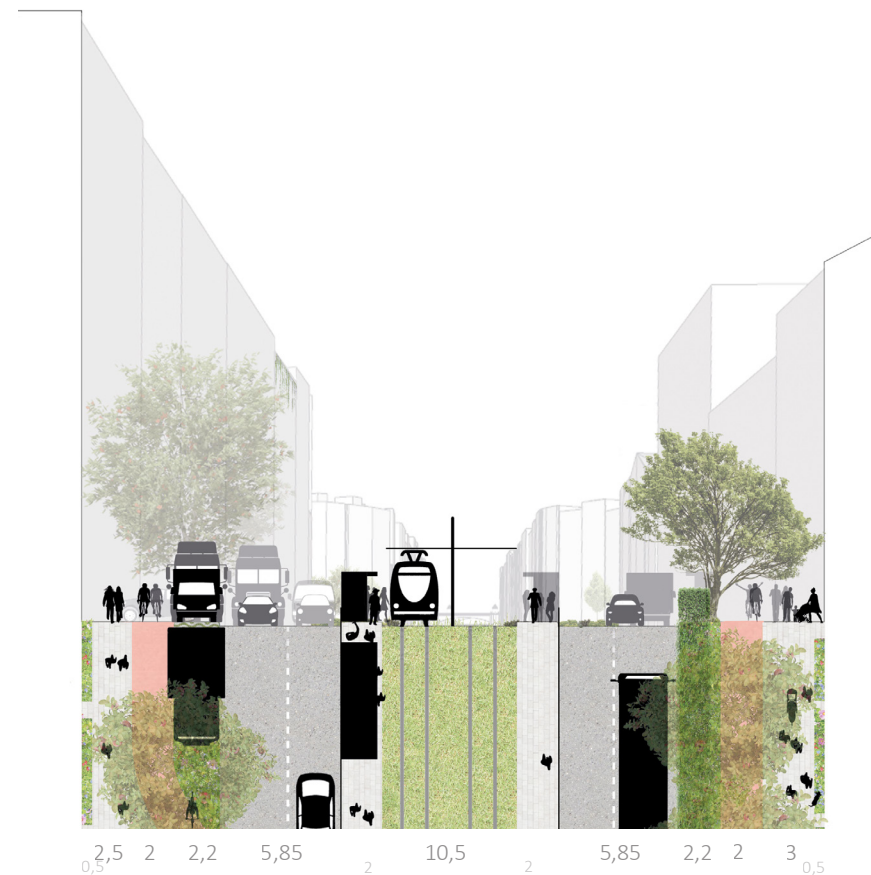
Middenweg tussen een boomloze straat (ventilatie) en een dubbele bomenrij (captatie); een enkele bomenrij

Dubbele barrière-vorming tussen de rijbanen en de basisschool; haag en bomen

Gereduceerd kroonvolume compenseren met hagen en de groene 'rotonde'

Natuurlijke luchtstromen van boven de UCL en de groene ruimtes richting de 'rotonde' trekken

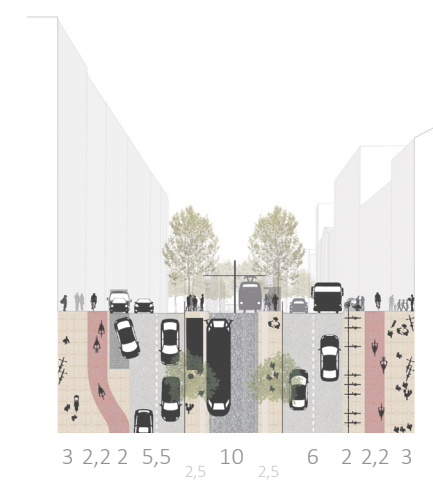
Dubbele rijstroken behouden omwille van de hoge verkeersintensiteit en de connectie met de 'rotonde'



Figuur 155: Een doorsnede van de tweede sectie voor scenario 4



Figuur 156: De referentie 'Prinses Stephanie Clementinalaan' (Tractebel, z.d.)



Figuur 157: Een doorsnede van de tweede sectie voor 2022

Variatie bebouwing

De drie dominante windrichtingen voor Antwerpen bepalen mede de uitwerking van het vierde scenario (figuren 158-160). Ook wordt binnen de tweede sectie de aan te passen bebouwing geselecteerd en aangepast o.b.v. de mogelijkheden op relatief korte termijn en de bestaande verordenende voorschriften.

Er wordt enkel ingegrepen op panden waarbij de eigenaars relatief snel onvermijdbare ingrepen moeten doen qua renovatie of zelfs heroprichting. Daarom worden **panden geselecteerd welke de economische levensduur reeds overschrijden** (ouder dan 60 jaar, figuur 37 op p. 54).

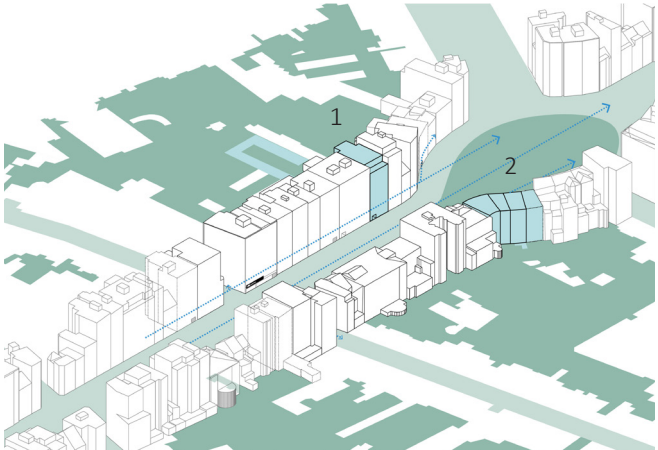
Daarnaast worden de **nieuwe panden uitgewerkt volgens de bestaande verordenende voorschriften**, waaronder de Antwerpse Bouwcode. Ten voordele van de natuurlijke ventilatie richting de 'rotonde', wordt binnen deze sectie geen bebouwing verhoogd, waardoor de voorschriften uit het Gewestplan betreffende de maximale bouwhoogte niet overschreden kunnen worden. Voor de volledigheid wordt opnieuw de **omliggende bebouwing** visueel mee in rekening gebracht (figuren 158-161).

De volgende gebouwen worden aangepast (zie ook bijlage 8):

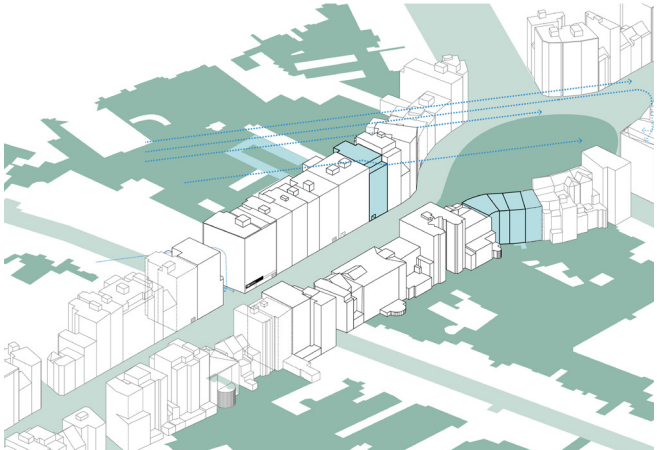
- 1. Het eerste gebouw wordt gerenoveerd, waarbij de huidige hoogte behouden blijft, met de toevoeging van een getrappt dak voor extra turbulentie. Het betreft een appartementsgebouw waarvan de laatste vergunning dateert van 1958. Van belang is hier voornamelijk de **aanwezige open garagepoort, met potentieel als void**. Vandaag leidt deze nog naar een binnengebied vol garageboxen. Het verwijderen van deze koterijen vormt een open corridor of verbinding tussen het binnengebied en de street canyon (figuren 161-163). Via deze ingreep wordt **660m² extra open ruimte gecreëerd**.

- 2. De tweede gebouwencluster, met vergunningen daterend van 1957 tot 1961, wordt net als binnen scenario 2.2 gewijzigd. De vier gebouwen aan de 'rotonde' worden met drie verdiepingen verlaagd tot 18,5m. Zo wordt een **optimale uitwisseling van luchtstromen** vanuit het achterliggende open ruimte gebied in het ZZW richting de open 'rotonde' bekomen (figuur 160). Er wordt een **step-up structuur** gecreëerd met de hogere bebouwing aan de overzijde van de rotonde (gem. 29m). Ook worden zo **meer luchtstromen richting het laatste deel van de Belgiëlei** gestuurd. Het verwijderen van bijgebouwen biedt 20m² extra open ruimte in het binnengebied.

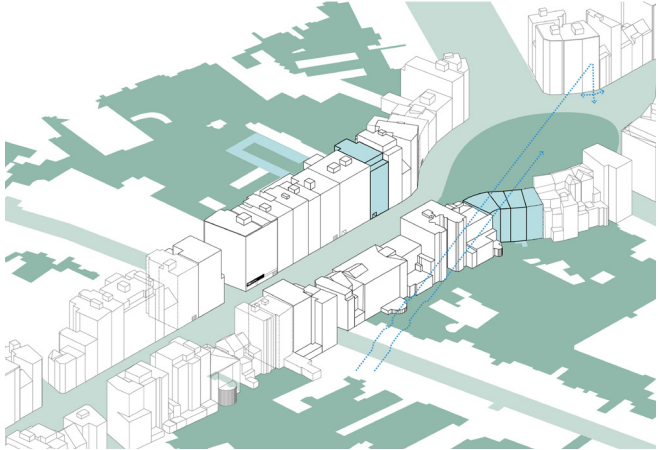
Om de bestaande woondichtheid en de gewenste kernverdichting te respecteren, dienen **aan de overzijde van de 'rotonde' wel extra appartementen voorzien** te worden, welke buiten de tweede sectie vallen. Binnen de tweede gebouwencluster worden dan ook vijftien appartementen minder voorzien (bijlage 8), welke binnen de tweede sectie niet gecompenseerd kunnen worden.



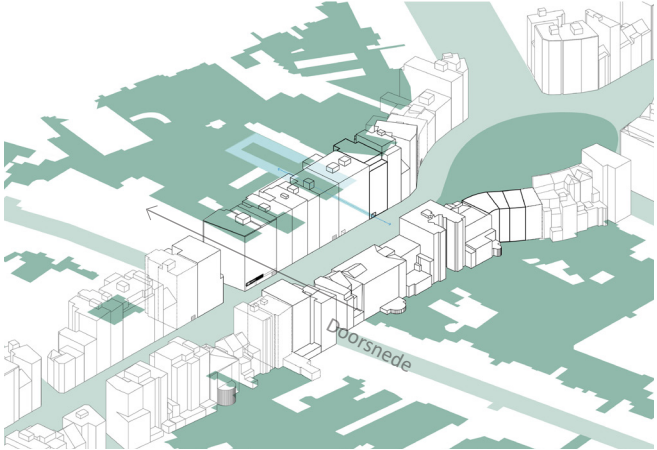
Figuur 158: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een parallelle windrichting (ZW)



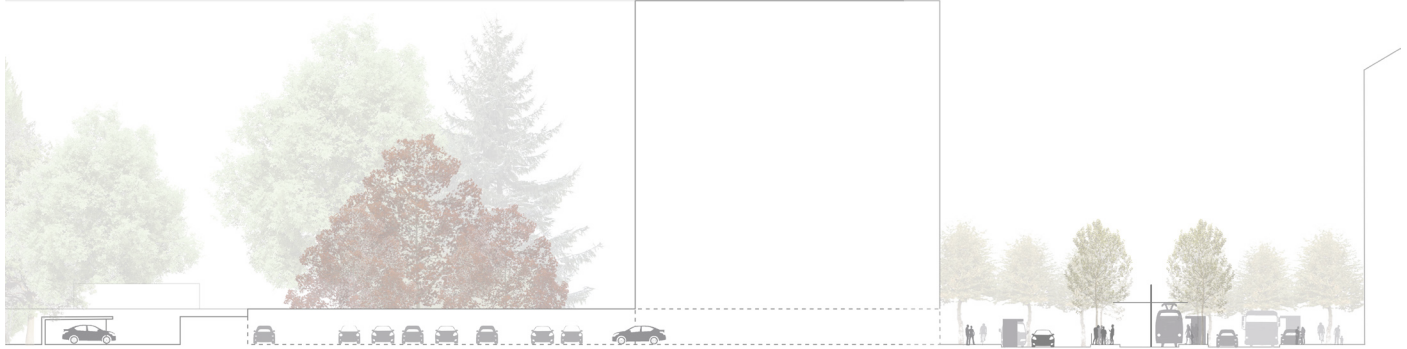
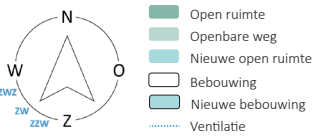
Figuur 159: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een schuine windrichting (WZW)



Figuur 160: De natuurlijke ventilatie binnen sectie 2 bij een schuine windrichting (ZZW)



Figuur 161: De natuurlijke ventilatie tussen binnengebieden en sectie 2 van de Belgiëlei via één garagepoort



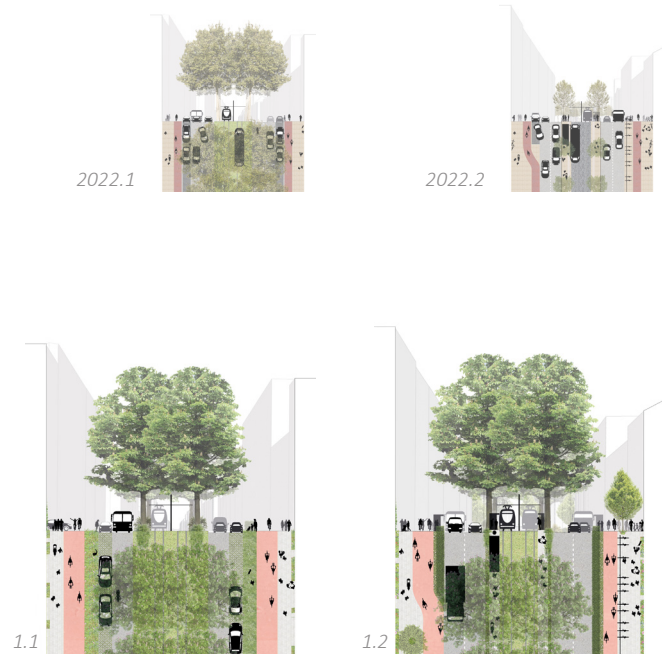
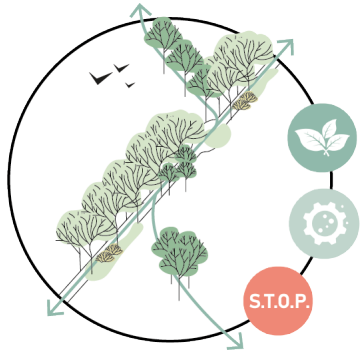
Figuur 162: Een uitgebreide doorsnede van de tweede sectie voor 2022



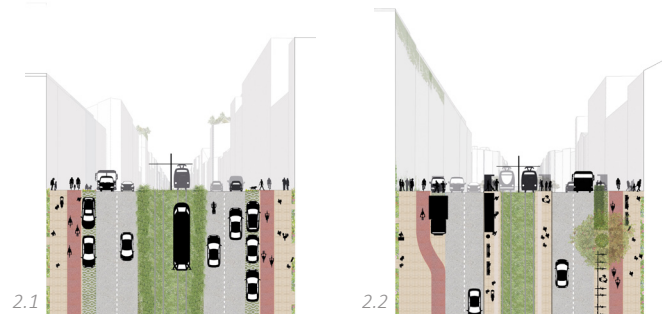
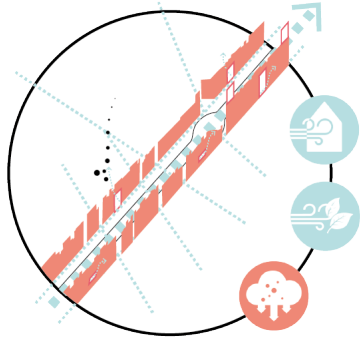
Figuur 163: Een uitgebreide doorsnede van de tweede sectie voor scenario 4

OVERZICHT SCENARIO'S

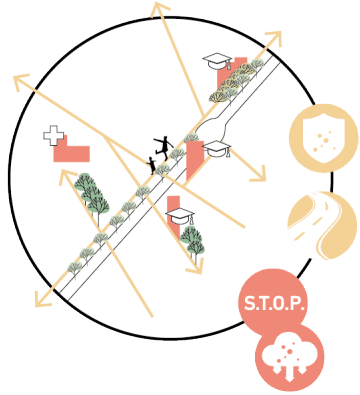
SC1



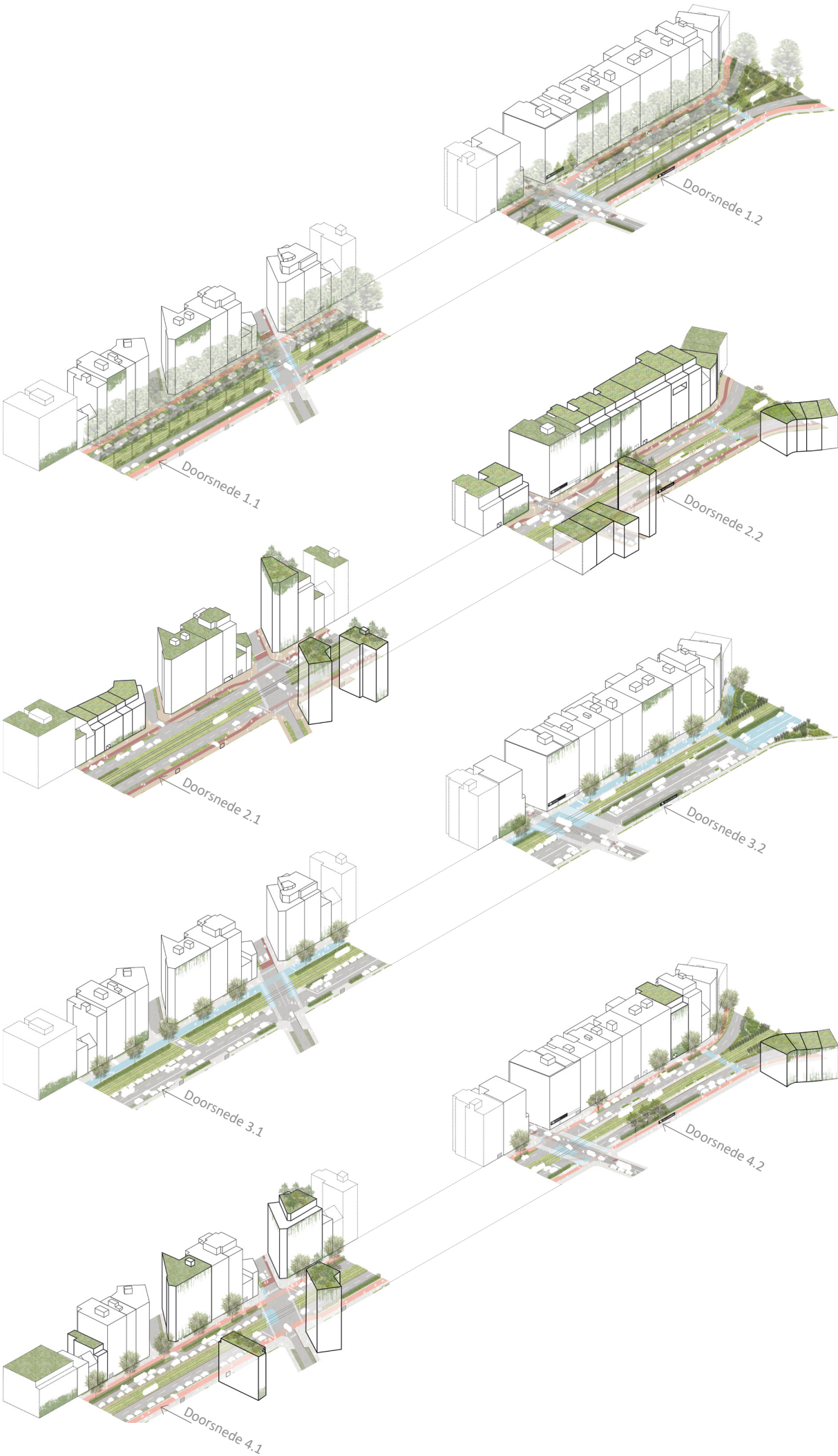
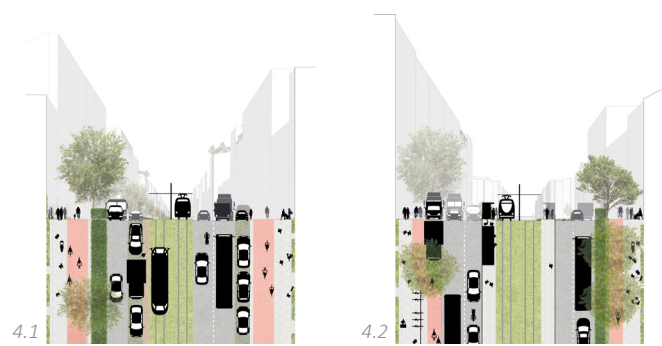
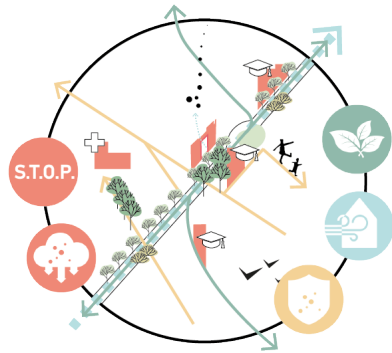
SC2



SC3



SC4



CONCLUSIE

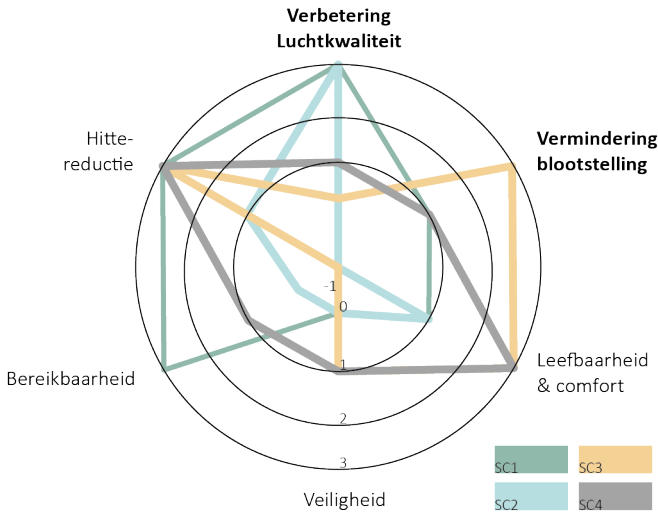
De bestaande literatuur beschrijft verschillende ruimtelijke ingrepen ter verbetering van de luchtkwaliteit en blootstelling in street canyons. Buiten verkeersmaatregelen worden in de praktijk echter weinig ruimtelijke ingrepen door ruimtelijke planners toegepast, gezien de onzekere effectiviteit ervan (Voordeckers, Lauriks, et al., 2021). Binnen deze masterproef is daarom ontwerpend onderzoek gebeurd naar mogelijke ruimtelijke ingrepen en de toepassing ervan op een casestudy.

Allereerst reikt dit onderzoek **een toolbox van ruimtelijke ingrepen aan voor de aanpak van de slechte luchtkwaliteit en hoge blootstelling binnen street canyons**. Vier toolsets, met in totaal acht tools, omvatten zowel brongerichte, mitigerende als passieve maatregelen. Terwijl huidig academisch onderzoek omtrent de impact van ruimtelijke ingrepen zich vaak focust op uniforme omstandigheden, is er in de praktijk echter sprake van continu wisselende windrichtingen. Met oog op de toepassing van de toolbox op concrete street canyons, hanteert deze enkel algemeen toepasbare tools met een minimaal onderscheid volgens de dominante windrichting.

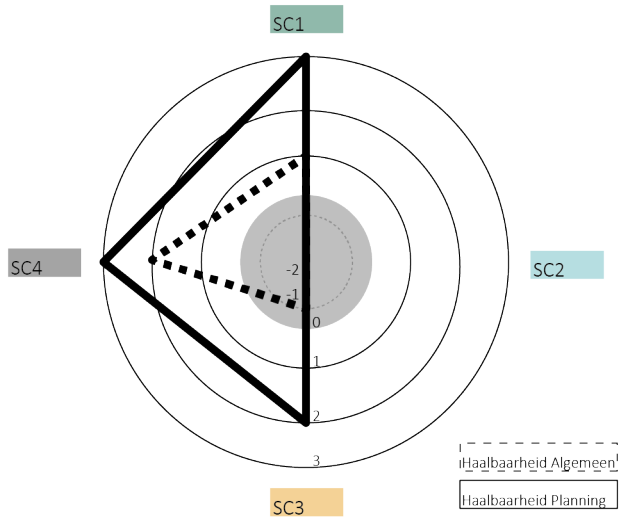
Het al dan niet inzetten van de algemeen toepasbare tools blijft afhankelijk van de werkelijke en gewenste situatie. Binnen dit onderzoek blijken de prioriteiten van de onderzoeker te bepalen of een **synergetische combinatie aan tools** uit verschillende toolsets mogelijk is. Tijdens het ontwerpend onderzoek worden verkeersmaatregelen steeds gecombineerd met mitigerende maatregelen. Terwijl het maximaal inzetten op één toolset en doel relatief ongecompliceerde maar extreme scenario's (1-3) voortbrengt, is het synergetisch inzetten van de tools uit de verschillende toolsets (scenario 4) echter niet evident. Vaak is er dan ook sprake van onverenigbare karakteristieken van ingrepen uit verschillende toolsets. Gezien deze tegenstrijdigheden dienen stedenbouwkundigen een doordachte keuze te maken o.b.v. de situatie, de middelen, de dominante/variërende windrichtingen en het doel (capteren, ventileren of blootstelling) van de maatregelen.

Naast het verbeteren van de luchtkwaliteit binnen street canyons kan ook ingezet worden op een goede ruimtelijke ordening en de lokale leefbaarheid. De algemene **bijdrage van de tools op een concrete case** kan geschat worden o.b.v. scenario's. Via het correct afstemmen van de tools op de prioriteiten zijn voor de Belgiëlei vier scenario's mogelijk, welke op meerdere aspecten inspelen om zo een extra meerwaarde te creëren (figuur 165 en bijlage 9). Het focussen op de verbetering van de luchtkwaliteit zorgt bij zowel het eerste scenario i.f.v. captatie als het tweede scenario i.f.v. ventilatie voor gelijkaardige scores, ondanks de zeer verschillende ruimtelijke ingrepen. Het focussen op de blootstelling zorgt bij scenario 3 echter voor een meer tastbare leefbaarheid (comfort). Binnen dit onderzoek, en aangezien de Belgiëlei een gematigd diepe street canyon betreft, is enerzijds de bijdrage van de ruimtelijke ingrepen aan de verbetering van de luchtkwaliteit en anderzijds blootstelling/leefbaarheid hier het grootst wanneer deze per toolset en in extreme mate worden toegepast.

De haalbaarheid naar de implementatie van tools en scenario's toe is tenslotte voor een ruimtelijk planner minstens even belangrijk als de effectiviteit ervan, en is afhankelijk van de ruimtelijke-, beleids- en planningscontext. De tools en scenario's (1 & 3) binnen deze case study, welke voornamelijk van toepassing zijn op het publiek domein van de Belgiëlei, ondersteunen het huidige ruimtelijke beleid (figuur 166). Scenario 2 is voornamelijk omwille van de zesde tool omtrent de variatie in bebouwing echter op meerdere vlakken in strijd met de plaatselijke verordenende voorschriften uit de Antwerpse Bouwcode en het Antwerpse Gewestplan. Deze zet dan ook in op het privaat domein. Scenario 4 zet ook in op deze tool, maar dankzij de expliciete toepassing van de voorschriften en reglementen, en gelet op de levensduur van de bebouwing, wordt dit scenario als zeer haalbaar aangeduid. De focus op de haalbaarheid binnen dit vierde scenario resulteert echter ook in een beperkte verbetering van de luchtkwaliteit en een beperkte reductie van de blootstelling aan pollutanten (figuur 165).



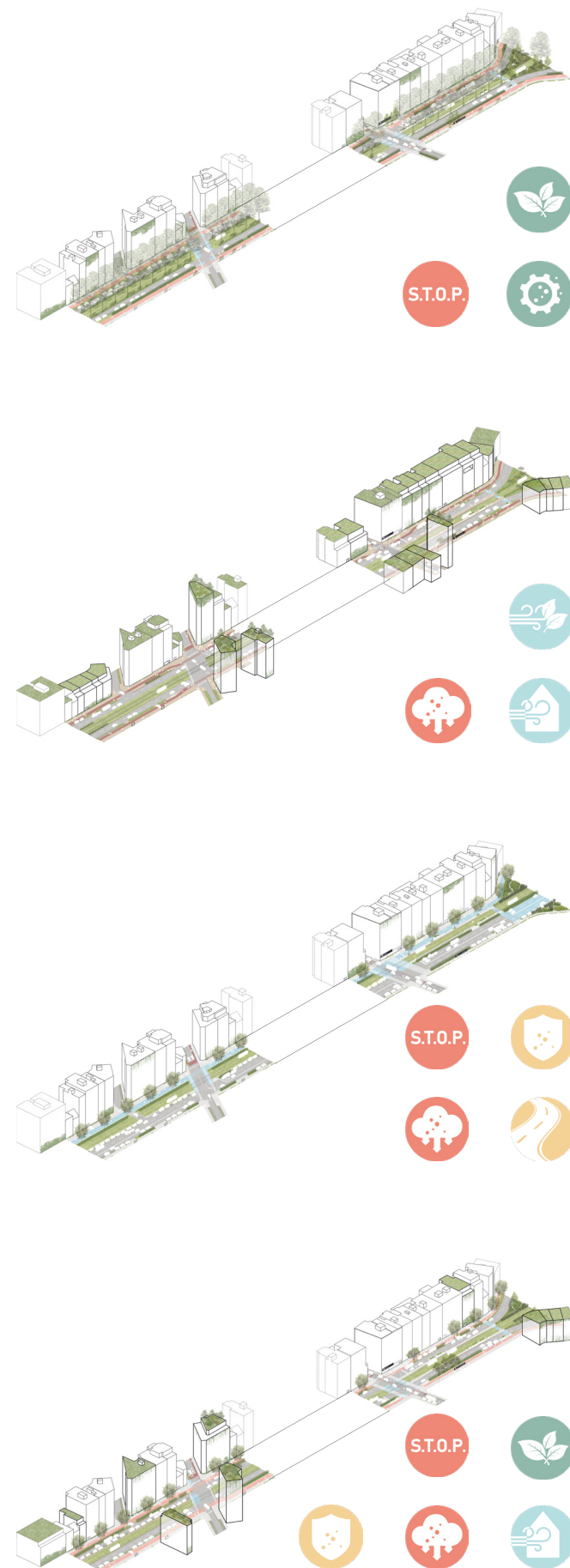
Figuur 165: De bijdrage van de scenario's op leefbaarheids-aspecten binnen de Belgiëlei, weergegeven op een spingrafiek (gebaseerd op bijlage 9)



Figuur 166: De haalbaarheid van de toepassing van de scenario's op de Belgiëlei, weergegeven op een spingrafiek (gebaseerd op bijlage 9)

Ruimtelijk planners kunnen kortom een leidraad vinden binnen de toolbox en zijn theoretische toepassing op de Belgiëlei wanneer het gaat om mogelijke ruimtelijke ingrepen i.f.v. de luchtkwaliteit en blootstelling binnen stedelijke street canyons. Daarbij wordt een afwegingskader geschetst omtrent de combineerbaarheid, de geschatte bijdrage en de haalbaarheid van de tools. De praktische toepassing van de tools en scenario's op het terrein vormt de volgende stap, gevolgd door de nauwkeurige monitoring van de effectiviteit.

REFLECTIE



Figuur 167: Een overzicht van de vier scenario's en de toegepaste tools

Deze masterproef biedt een bevattelijk overzicht van de bestaande kennis omtrent de problematieken rond street canyons, alsook de aanwezigheid ervan binnen Vlaanderen. De case study beschikt over de typische karakteristieken van een stedelijke, (matig) diepe street canyon en de toolbox bevat enkel algemeen toepasbare tools voor niet-uniforme omstandigheden. Zo is de methode voor het toepassen van de verschillende tools op de Belgiëlei in grote mate **generaliseerbaar** naar andere street canyons. Naast deze externe **validiteit** kan er omwille van de theoretische aanpak binnen dit ontwerpend onderzoek echter geen sprake zijn van interne validiteit of een vastgestelde oorzaak-gevolg relatie.

Binnen het huidige onderzoek worden allereerst vier toolsets met in totaal acht tools geïdentificeerd. Deze tools omvatten algemeen toepasbare maatregelen, terwijl de academische literatuur echter meestal focust op de werking bij uniforme en vaak loodrechte windrichtingen, waardoor de effectiviteit bij variërende windrichtingen beperkt gekend is. Tegelijkertijd worden praktijkvoorbeelden die inzetten op een betere luchtkwaliteit niet opgevolgd, waardoor ook hier kennis inzake de effectiviteit ontbreekt. Terwijl bij aanvang van dit onderzoek een ongecompliceerde toolbox als referentie voor ruimtelijke planners werd beoogd, vormt deze nu meer een **afwegingskader** waarbij stedenbouwkundigen doordacht moeten omgaan met hiaten in de academische kennis en de mogelijke keerzijden van de tools. Opvallend is ook het meervoudig voorkomen van de tool 'vergroenen & beplanten', welke binnen elke toolset omwille van de vooropgestelde doelstelling andere gewenste groensoorten en positioneringen omvat. In functie van de ventilatie bijvoorbeeld wordt een beplanting van bomen binnen (matig) diepe street canyons afgeraden, terwijl bomen voor captatie en blootstelling juist wel interessant zijn.

Deze onverenigbare karakteristieken bemoeilijken het synergetisch inzetten van tools uit verschillende toolsets. Het toepassen van slechts één toolset op een street canyon zorgt binnen dit onderzoek voor extreme scenario's, waarbij weinig rekening wordt gehouden met parameters die buiten de primaire doelstelling vallen. Opvallend is bijvoorbeeld de zeer beperkte bijdrage van ingrepen i.f.v. de reductie van de blootstelling aan de verbetering van de luchtkwaliteit binnen het derde scenario (figuur 165). Dit is mede te wijten aan de wisselende schuine windrichtingen, wat ook het spiegelen van dit scenario mogelijk maakt. De visualisatie van de eerste drie extreme scenario's (figuur 167) geeft al een eerste indicatie van hoe verschillend en moeilijk combineerbaar de tools zijn. Het ontwerpend onderzoek naar een mogelijke combinatie aan toolsets tot een vierde scenario toont aan dat **keuzes gemaakt moeten worden**. De combinatie garandeert geen optimale luchtkwaliteit, maar wel een meer leefbare en haalbare situatie. Tijdens het ontwerpend onderzoek worden verkeersmaatregelen (toolset 1) steeds gecombineerd met mitigerende maatregelen. Verkeersmaatregelen worden op zichzelf ontoereikend bevonden met een onbewezen effectiviteit (Bigazzi & Rouleau, 2017), maar zijn wel het best combineerbaar met de andere toolsets.

De verschillende toolsets worden met behulp van scenario's toegepast op de Belgiëlei, met als doel bij te dragen aan een verbeterde luchtkwaliteit en/of leefbaarheid. Gezien dit ontwerpend onderzoek een theoretische oefening omvat, wordt de effectieve bijdrage van deze scenario's op subjectieve wijze beoordeeld. Terwijl de extreme scenario's telkens één doel nastreven, wordt bewust én onbewust ook een **meerwaarde gecreëerd voor andere leefbaarheidsaspecten** waaronder hitte-reductie, veiligheid, comfort enzoverder (figuur 165). Aangezien deze zaken voor de Belgiëlei niet geanalyseerd of effectief toegepast worden binnen het kader van deze masterproef, is enkel een subjectieve beoordeling mogelijk (bijlage 9). Een belangrijke bevinding is het feit dat inzetten op blootstelling, en indirect het focussen op de actieve weggebruikers, de grootste impact heeft op de meer **tastbare aspecten** als comfort en veiligheid. Belangrijk is ook het feit dat er anno 2022 waardevolle laanbomen (plataan) aanwezig zijn. Het wegnemen of vervangen van deze laanbomen is enerzijds positief voor de lokale luchtkwaliteit, maar anderzijds is er sprake van een zekere degradatie aan natuurwaarde. Daarom wordt binnen de scenario's 2, 3 en 4 ingezet op **compensatiegroen**, ondanks het feit dat deze ingreep weinig te maken heeft met het hoofddoel van de scenario's. Deze scenario's kunnen namelijk binnen de UCL van de Belgiëlei zelf nooit de driedimensionale Leaf Area Density (LAD) van vandaag evenaren. Ook kan protest verwacht worden, aangezien de platanen de Belgiëlei vandaag sterk typeren.

Tenslotte vormt het **beoordelen van de theoretische scenario's o.b.v. de praktische haalbaarheid** de belangrijkste toevoeging van deze masterproef aan de bestaande literatuur, aangezien de werkelijke implementatie van de ingrepen nauwelijks onderzocht is. Zo is er wel een onderscheid tussen de algemene haalbaarheid (tijd, middelen, ...) en haalbaarheid o.b.v. de planningscontext (verordenende voorschriften). Voor de toepassing van de tools op de Belgiëlei kan worden gesteld dat scenario's waarbij ruimtelijke ingrepen enkel worden toegepast op de publieke ruimte (scenario's 1 & 3) een betere haalbaarheid kennen. Er zijn dan ook minder eigenaren betrokken binnen het proces en de reglementeringen voor de openbare weg vormen nauwelijks een beperkende factor voor de tools. Wanneer echter geraakt wordt aan de omliggende bebouwing, dienen de voorschriften uit de Antwerpse Bouwcode en het Gewestplan gevolgd te worden. Deze bemoeilijken de implementatie van de tool 'variatie aan bebouwing' i.f.v. de luchtkwaliteit. Voornamelijk de woon-voorschriften binnen het **Gewestplan en de harmonieregel** (artikel 6) uit de Bouwcode vormen een obstakel, aangezien deze haaks staan op het voorzien van de gewenste niet-uniforme bebouwing (in dakvorm, hoogte en plaatsing). Artikel 3 van de Bouwcode voorziet hier wel een afwijkingsmogelijkheid, mits grondige argumentatie.

Gezien de beperkte onderzoeksperiode is er sprake van enkele beperkingen. Zo wordt binnen de analyse sterk gesteund op online beschikbare data, welke binnen deze masterproef door het gebrek aan meetapparatuur niet ter plaatse is

geverifieerd. De oorsprong van deze data, voornamelijk afkomstig van onderzoeksinstanties van de Vlaamse Overheid, impliceert wel een zekere **betrouwbaarheid**. Ook steunt de samenstelling van de toolbox nagenoeg enkel op **academische literatuur**, aangezien weinig tot geen referentieprojecten gevonden kunnen worden die expliciet (meerdere) tools inzetten voor de verbetering van de luchtkwaliteit binnen street canyons. Deze literatuur blijft tot op vandaag nog vrij theoretisch waarbij de effectiviteit van maatregelen voornamelijk getest wordt a.d.h.v. computermodellen i.p.v. veldwerk. Wat de toepassing van de tools binnen de Belgiëlei betreft wordt **benadrukt dat de scenario's theoretische aannames vormen**, waarvan de effectiviteit binnen deze korte onderzoeksperiode niet getest kan worden a.d.h.v. computermodellen of veldwerk. Aangezien deze masterproef een theoretische ontwerp-oefening betreft is er geen sprake van een participatief luik, mede om verwarring en mogelijke verwachtingen bij bewoners en gebruikers te vermijden.

Het ontwerpend onderzoek impliceert specifiek voor de Belgiëlei, als problematische street canyon, een ruimtelijke herinrichting met oog op een betere luchtkwaliteit en leefbaarheid. Het behouden van de huidige situatie of het blijven beperken van ingrepen tot verkeersmaatregelen zal de street canyon in stand houden. Het implementeren van de bekomen tools brengt enkel voordelen met zich mee op vlak van gezondheid, zij het in extreme of in gecombineerde situaties. Zelfs wanneer de doelstellingen binnen de 'Vlaamse Mobiliteitsvisie 2040' worden gehaald en er tegen 2050 geen vervoeremissies meer zijn (Beleidsdomein Mobiliteit & Openbare Werken, 2021) blijven de scenario's relevant. De mitigerende maatregelen gaan het algemene probleem van de slechte luchtkwaliteit niet oplossen, maar kunnen op korte termijn wel cruciale verbeteringen qua levenskwaliteit van de bewoners en gebruikers teweeg brengen (Frijters et al., 2018). Daarnaast wordt hoe dan ook op meerdere leefbaarheids- en duurzaamheids-aspecten een meerwaarde geboekt en benadrukt de Covid-19-pandemie nogmaals het belang van ventilatie i.f.v. de gezondheid.

Deze masterproef geeft tenslotte aan dat de theorie en de praktijk omtrent de problematiek binnen street canyons en de mogelijke ruimtelijke ingrepen verder uitgebreid moeten worden. Allereerst dient de theorie omtrent mogelijke ruimtelijke ingrepen binnen street canyons uitgebreid te worden naar meer realistische toepassingen bij variabele i.p.v. uniforme situaties, met een focus op meer algemeen toepasbare maatregelen. Daarbij dient de effectiviteit zowel via computermodellen (bv. Computer Fluid Dynamics/CFD) als op terrein onderzocht te worden. Buiten het academisch onderzoek dienen ook reële projecten i.f.v. de luchtkwaliteit opgevolgd te worden naar effectiviteit toe. Daarbij hoort een grondig, preventief onderzoek naar de luchtkwaliteit, maar ook naar de andere leefbaarheidsaspecten (figuur 165) om achteraf een effectieve verbetering te kunnen waarnemen.

BELEIDSAANBEVELINGEN

Deze masterproef moet in eerste instantie een inspiratiebron vormen voor ruimtelijk planners en stadsbesturen voor de aanpak van street canyons, met implicaties enerzijds voor de reële ruimtelijke ordening en anderzijds voor het beleid.

Voorname­lijk de Antwerpse stedenbouwkundigen en bestuursleden vinden een eerste aanbeveling in de selectie van de twaalf meest problematische street canyons binnen de Ring van Antwerpen (figuren 18 & 19, p. 34-35). Deze lange, aaneengesloten straten beschikken over een AR>1 en een maximale verkeersintensiteit >300v/h, wat voor de meest problematische luchtkwaliteit in de binnenstad zorgt (D. Voordeckers, e-mail, 4 maart 2022). De consistentie aan straatprofielen kan hier wel sterk verschillen, waardoor naar de implementatie van ingrepen i.f.v. de luchtkwaliteit toe nog steeds een doordachte keuze gemaakt moet worden o.b.v. de situatie, de middelen, de windrichtingen en het doel (capteren, ventileren of blootstelling) van de maatregelen.

De effectieve toepassing van de tool ‘variatie aan bebouwing’ en de realisatie op korte termijn is echter wel sterk afhankelijk van verordenende voorschriften. Dit onderzoek toont aan dat de verordenende voorschriften aan een doordachte update toe zijn i.f.v. een betere ventilatie in de binnenstad. Allereerst vormt het voorschrift voor een woonbestemming binnen het Gewestplan een gedateerd gegeven, waar de bouwhoogte afgestemd moet worden op de gemiddelde bouwhoogte van de omgeving. Dit verzekert niet automatisch een goede ruimtelijke ordening, en het afstappen van de woonvoorschriften vereist de opmaak van een nieuw RUP.

- Enerzijds kan een specifiek RUP voor de (omgeving van de) Belgiëlei worden opgemaakt. Hierbij moet binnen de analyse van de bestaande toestand wel voldoende aandacht uitgaan naar de luchtkwaliteit, bij voorkeur o.b.v. de toolbox beschreven binnen deze masterproef.

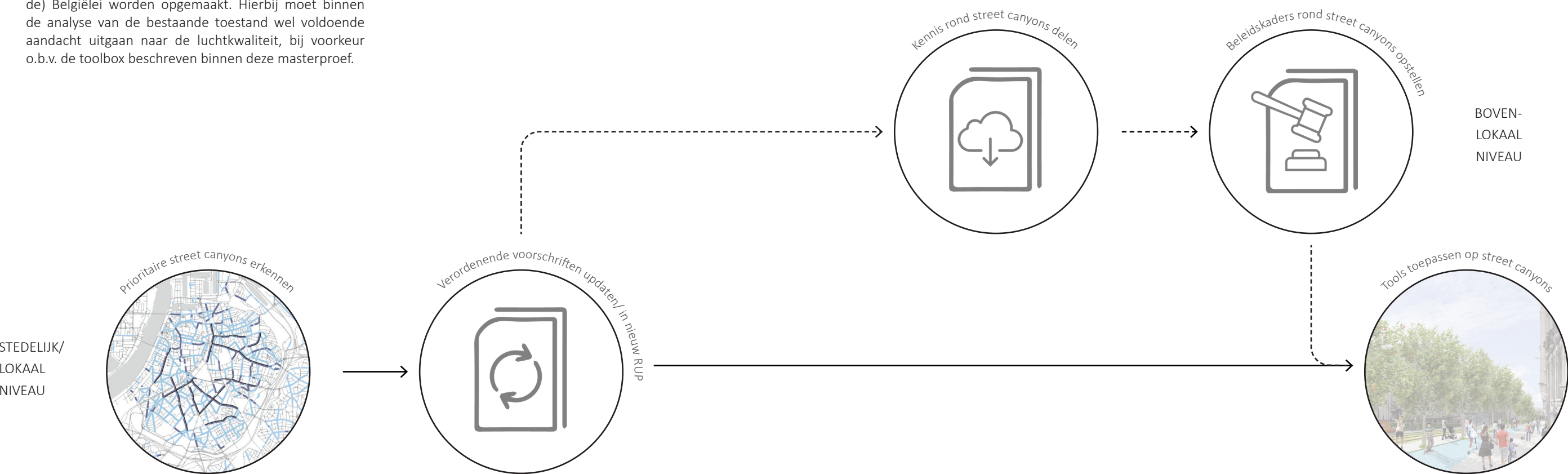
- Anderzijds kan een thematisch RUP voor alle street canyons binnen Antwerpen worden opgemaakt. Dit omvat een meer holistische en efficiëntere aanpak van de luchtkwaliteit voor heel het grondgebied. Gebiedsspecifieke verordenende voorschriften o.b.v. de toolbox kunnen hier een grote meerwaarde voor de luchtkwaliteit op grote schaal betekenen.

Naast het Gewestplan verhindert de Antwerpse Bouwcode de natuurlijke ventilatie met o.a. de ‘harmonieregel’ die de gewenste niet-uniforme bouwconfiguratie bemoeilijkt (zie bijlage 2). De voorschriften van een RUP zouden de voorschriften van de Antwerpse Bouwcode (als stedenbouwkundige verordening) vervangen wanneer deze niet in overeenstemming zijn met elkaar. Het updaten van de Bouwcode blijft echter aan de orde, aangezien er ook sprake kan zijn van aanvullende voorschriften, welke wel blijven gelden. Zo gaat het bijvoorbeeld over de artikels 14 (insprongen en openingen) en 33 (publiciteit aan gevels). Het updaten van enkele artikels ten gunste van de natuurlijke ventilatie (bijlage 2) vormt een interessanter alternatief voor de afwijkingsmogelijkheid binnen artikel 3, om excessieve verantwoording bij vergunningsaanvragen te vermijden. Het uitbreiden van artikel 38 voor enerzijds de verplichting van groendaken op bestaande daken en anderzijds de verplichting van gevelgroen aan voorgevels zou bijvoorbeeld meer compensatiegroen kunnen bevorderen.

Na de erkenning van de bestaande street canyons binnen Antwerpen en het updaten van de voorschriften dient men binnen deze prioritaire straten aan de slag te gaan met de voorgestelde ruimtelijke ingrepen (in combinatie met verkeersmaatregelen). Hier kan de Stad Antwerpen de grootste winsten boeken i.f.v. de luchtkwaliteit, waardoor het voldoen aan doelstellingen uit onder andere het Vlaams Luchtbeleidsplan 2030, de Vlaamse Mobiliteitsvisie 2040, het Routeplan 2030 maar ook de Europese emissienormen eindelijk haalbaar wordt. Afhankelijk van de lokale doelen per street canyon zijn meer extreme scenario’s of een combinatie aan tools mogelijk, waarvoor de scenario’s voor de Belgiëlei goede voorbeelden van afwegingskaders vormen. Hier is een grootschalige ruimtelijke herinrichting op relatief korte termijn mogelijk, met toevoeging van een participatie-traject.

Ook voor bovenlokale beleidsniveaus als de provincies en Vlaanderen is een belangrijke rol weggelegd. De selectie aan problematische street canyons dient idealiter doorvertaald te worden naar alle steden en gemeenten over heel Vlaanderen. Waar vandaag veel meetresultaten omtrent polluenten beschikbaar zijn, dienen deze cijfers gekoppeld te worden aan lokale verkeersintensiteit en AR. Daarnaast kan de bekomen toolbox eenvoudiger vanuit bovenlokaal niveau verspreid worden, ter bevordering van een interdisciplinaire aanpak van de Vlaamse street canyons.

De ruimtelijke ingrepen zouden bijna zoals beleidskaders binnen ruimtelijke beleidsplannen ingebakken moeten worden binnen de ruimtelijke planning in Vlaanderen. Zowel Vlaamse instanties als Vervoerregio's leggen de laatste jaren meer de nadruk op luchtkwaliteit i.p.v. verkeersleefbaarheid binnen hun visievorming rond het mobiliteits- en luchtbeleid. Het 'Ontwerp Routeplan 2030' (Vervoerregio Antwerpen, 2020) vormt hier een veelbelovend voorbeeld naar hoe de mobiliteitsuitdagingen zullen gekoppeld worden aan ruimtelijke uitdagingen. Deze en de vele verschillende visies dienen enkel nog concreet vertaald te worden binnen de ruimtelijke planning zelf.



LITERATUURLIJST

Abdulsahab, A., & Kumar, P. (2010). *Influence of street canyon geometries on the dispersion of nanoparticles*. Paper presented at the 18th International Symposium on Transport and Air Pollution, Dubendorf, Switzerland, 18-19 May 2010.

Abhijith, K., & Gokhale, S. (2015). Passive control potentials of trees and on-street parked cars in reduction of air pollution exposure in urban street canyons. *Environmental Pollution*, 204, 99-108.

Agentschap Informatie Vlaanderen. (2015). *3D GRB*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/42ac31a7-afe6-44c4-a534-243814fe5b58>

Agentschap Informatie Vlaanderen. (2021). *Orthofotomozaïek, middenschalgig, winteropnamen, kleur, 2021, Vlaanderen*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/5f429f28-2d6b-4f3d-831a-492bd86bec1a>

Agentschap Onroerend Erfgoed. (2016). *Beschermde monumenten in Vlaanderen*. Retrieved from <https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/20265>

Agentschap Onroerend Erfgoed. (2022). *Erfgoedobjecten (wetenschappelijke inventarissen)*. Retrieved from <https://geo.onroerenderfgoed.be/downloads>

Agentschap Wegen & Verkeer. (2020). *Basisprincipes inrichting robuust wegennet: Regionale wegen & Interlokale wegen*. Retrieved from https://wegenenverkeer.be/sites/default/files/uploads/documenten/A4_brochure_robuustwegennet_RW_IW.pdf

Agentschap Zorg en Gezondheid. (2022). *Zorgvoorzieningen erkend door het Agentschap Zorg en Gezondheid via POI-service*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/9531f406-ca7c-4987-9e8b-37de471a57b3>

Ai, Z. T., & Mak, C. M. (2018). Wind-induced single-sided natural ventilation in buildings near a long street canyon: CFD evaluation of street configuration and envelope design. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 172, 96-106.

Atelier Jean Nouvel. (2014). One Central Park. Retrieved from <http://www.jeannouvel.com/projets/one-central-park/>

Atelier Romain, Osar, & P.PUL - KULeuven. (2020). *Ontwerpen van toekomstbestendige en gezonde woonomgevingen*. Retrieved from https://besustainable.brussels/wp-content/uploads/2021/03/Gezonde-Woonomgevingen_ontwerprichtlijnen-EINDRAPPORT-1.pdf

Badach, J., Voordeckers, D., Nyka, L., & Van Acker, M. (2020). A framework for Air Quality Management Zones- Useful GIS-based tool for urban planning: Case studies in Antwerp and Gdańsk. *Building and Environment*, 174. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106743>

BD Landscape Architects. (2019). Lovedon Fields. Retrieved from <https://bdlandarch.com/lovedon-fields/>

Beck, I., Jochner, S., Gilles, S., McIntyre, M., Buters, J. T., Schmidt-Weber, C., . . . Traidl-Hoffmann, C. (2013). High environmental ozone levels lead to enhanced allergenicity of birch pollen. *PLoS ONE*, 8(11), e80147.

Beleidsdomein Mobiliteit & Openbare Werken. (2021). *Vlaamse Mobiliteitsvisie 2040*. Retrieved from https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1645112287/Vlaamse_mobiliteitsvisie_2040_DEF_kospcu.pdf

Bigazzi, A. Y., & Rouleau, M. (2017). Can traffic management strategies improve urban air quality? A review of the evidence. *Journal of Transport & Health*, 7, 111-124. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.08.001>

Braeken, J., Plomteux, G., & Steyaert, R. (2015). Belgiëlei. Retrieved from <https://inventaris.onroerenderfgoed.be/themas/11624>

Brugman, P. (2018). De Witte Paardenkastanje. Retrieved from <https://brugmanpraat.typepad.com/brugmanpraat/2018/02/240-de-witte-paardenkastanje.html>

Bvba Verbruggen. (2020). Parkeerstroken Eupenlaan Temse. Retrieved from <https://blauwgroenvlaanderen.be/professionals/projecten/parkeerstroken-eupenlaan-temse/>

CD Vastgoed. (2022). Nieuwbouw kantoren Novo te huur vlakbij Antwerpen Centraal. In.

Civic architecture, & IMG+. (2014). Algenreactor. Retrieved from <https://www.civicarchitects.eu/nl/projects/algenreactor>

Club L 94 Landschapsarchitecte. (2013). Vodafone Campus Düsseldorf. Retrieved from <https://www.cd-vastgoed.com/nl/panden/nieuwbouw-kantoren-novo-te-huur-vlakbij-antwerpen-centraal>

CurieuzeNeuzen. (2019). *CurieuzeNeuzen Vlaanderen: Dynamische blootstelling*. Retrieved from <https://lirias.kuleuven.be/retrieve/552288>

De Coensel, B., Can, A., Degraeuwe, B., De Vlieger, I., & Botteldooren, D. (2012). Effects of traffic signal coordination on noise and air pollutant emissions. *Environmental Modelling & Software*, 35, 74-83.

De Groene Stad. (2008). Bomen: een verademing voor de stad. Retrieved from <https://degroenestad.nl/geen-categorie/bomen-een-verademing-voor-de-stad/>

De Groene Stad. (2015). Groene Route: wandelen door Den Haag Centrum. Retrieved from <https://degroenestad.nl/biodiversiteit/groene-route-wandelen-door-den-haag-centrum/>

De Lijn. (2021). *Doorstromingsgids van bus en tram*. Retrieved from https://static.delijn.be/Images/gids-doorstroming_tcm3-19807.pdf

de Solà-Morales, M. (2012). De Keyserlei, Antwerpen. Retrieved from <https://databank.publiekeruimte.info/project/de-keyserlei-antwerpen/>

de Solà-Morales, M. (2019). Laureaat: Manuel de Solà-Morales. Retrieved from <https://www.vlaamsbouwmeester.be/nl/instrumenten/open-oproep/projecten/oo06b25-antwerpen-operaplein-antwerpen>

De Standaard. (2017). 't Stad is niet voor elke auto (maar niet iedereen weet dat). *De Standaard*. Retrieved from https://www.standaard.be/cnt/dmf20170105_02659974

Debacker, I. (2018). *Richtlijn - Beoordelen van sloopaanvragen van gebouwen opgenomen in de vastgestelde Inventaris van het Bouwkundig Erfgoed*. Retrieved from https://www.onroerenderfgoed.be/sites/default/files/2018-09/richtlijn_beeoordelen_sloopaanvragen.pdf

Departement Mobiliteit en Openbare Werken Vlaanderen. (2017). *Het Vademecum Fietsvoorzieningen*. Retrieved from <https://www.mobiellvlaanderen.be/vademecums/vademecumfiets01.php?a=17>

Departement Omgeving. (2018). *Strategische visie Beleidsplan Ruimte Vlaanderen*. Retrieved from <https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/28360>

Departement Omgeving. (2019). *Luchtbeleidsplan 2030*. Brussel

Departement Ruimtelijke Ordening, W. e. O. E. (2011). *Ruimtelijk Structuurplan Vlaanderen*. Retrieved from https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/atoms/files/RSV2011_0.pdf

Depauw, S., van den Berg, I., Dens, S., Lenzholzer, S., & Steeneveld, G. J. (2018). *Ruimtelijke strategieën voor gezonde omgevingen case streetcanyons*. Retrieved from https://www.gezondleven.be/files/milieu/1_Streetcanyons_Eindrapport_compressed.pdf

Derwent, R., Jenkin, M., & Saunders, S. (1996). Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under European conditions. *Atmospheric Environment*, 30(2), 181-199.

Duranton, G., & Turner, M. A. (2011). The fundamental law of road congestion: Evidence from US cities. *American Economic Review*, 101(6), 2616-2652.

Dzierżanowski, K., Popek, R., Gawrońska, H., Sæbø, A., & Gawroński, S. W. (2011). Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International journal of phytoremediation*, 13(10), 1037-1046.

EPA. (2008). Using cool roofs to reduce heat islands. Retrieved from <https://www.epa.gov/heatislands/using-cool-roofs-reduce-heat-islands>

European Environment Agency. (2019). *Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives>

Fietsraad. (2018). *Een duurzame breedte voor fietsinfrastructuur*. Retrieved from https://fietsberaad.be/wp-content/uploads/20181128_advies_breedte_fietsinfra_DEF2.pdf

Folli, A., Pade, C., Hansen, T. B., De Marco, T., & Macphee, D. E. (2012). TiO2 photocatalysis in cementitious systems: Insights into self-cleaning and depollution chemistry. *Cement and concrete research*, 42(3), 539-548.

Friends of the High Line, James Corner Field Operations, Diller Scofidio + Renfo, & Piet Oudolf. (2009). Design. Retrieved from <https://www.thehighline.org/design/>

Frijters, E., Klijn, O., Driessen, B., Vetrugno, C., Zhang, H., Vietti, M., . . . van Dyck, K. (2018). *Metabolisme van Antwerpen: Stad van Stroom*. Retrieved from <https://archieffalgemeen.omgeving.vlaanderen.be/xmlui/handle/acd/257076>

Gallagher, J., Gill, L. W., & McNabola, A. (2011). Optimizing the use of on-street car parking system as a passive control of air pollution exposure in street canyons by large eddy simulation. *Atmospheric Environment*, 45(9), 1684-1694.

Gezondheid NV. (2019). Hooikoorts (pollinosis). Retrieved from https://www.gezondheid.be/index.cfm?fuseaction=art&art_id=548

Giannopoulou, K., Santamouris, M., Livada, I., Georgakis, C., & Couris, Y. (2010). The impact of canyon geometry on intra urban and urban: Suburban night temperature differences under warm weather conditions. *Pure and Applied Geophysics*, 167, 1433-1449. doi:10.1007/s00024-010-0099-8

Google LLC. (2021). Google Maps. Retrieved from <https://www.google.com/maps/place/Plantin+en+Moretuslei,+Antwerpen/@51.2091143,4.4325338,18.75z/data=!4m5!3m4!1s0x47c3f7106d9d751d:0x300eedb152ecc06d!8m2!3d51.20961!4d4.42933>

Google LLC. (2022). *Typisch verkeer*. Retrieved from <https://www.google.com/maps/place/Orpea+Edegem/@51.1990031,4.419811,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x2cd9aa895420bede!8m2!3d51.1567467!4d4.4266265!5m1!1e1>

Goukens, L. (2017). Belasting op armoede: Milieuzones zijn inbreuk op grondrechten burger. *Civis Mundi*, 46. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/316788489_Belasting_op_armoede_Milieuzones_zijn_inbreuk_op_grondrechten_burger

greencity solutions. (z.d.). The CityTree. Retrieved from <https://greencitysolutions.de/en/citytree/>

Grote, R., Samson, R., Alonso, R., Amorim, J. H., Cariñanos, P., Churkina, G., . . . Mikkelsen, T. N. (2016). Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(10), 543-550.

Gu, Z. L., Zhang, Y. W., Cheng, Y., & Lee, S. C. (2011). Effect of uneven building layout on air flow and pollutant dispersion in non-uniform street canyons. *Building and Environment*, 46(12), 2657-2665.

Gulia, S., Tiwari, R., Mendiratta, S., Kaur, S., Goyal, S. K., & Kumar, R. (2020). Review of scientific technology-based solutions for vehicular pollution control. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(10), 1955-1966.

GZA ziekenhuizen. (z.d.). Campussen. Retrieved from <https://www.gzaziekenhuizen.be/campussen>

Hang, J., Li, Y., Sandberg, M., Buccolieri, R., & Di Sabatino, S. (2012). The influence of building height variability on pollutant dispersion and pedestrian ventilation in idealized high-rise urban areas. *Building and Environment*, 56, 346-360.

Harrison, R. M., Allan, J., Carruthers, D., Heal, M. R., Lewis, A. C., Marner, B., . . . Williams, A. (2021). Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review. *Atmospheric Environment*, 262, 118592.

Harry Gugger Studio. (2012). Maya de America. Retrieved from <https://www.hgugger.ch/en/projects/museo-maya-de-america>

Het Facilitair Bedrijf Vastgoed. (2022). *Webkaart vastgoed*. Retrieved from <https://experience.arcgis.com/experience/8b7b1a1875b8479e95dc9107fd83ec5e?locale=nl>

Hofman, J., Wuyts, K., Van Wittenberghe, S., & Samson, R. (2014). On the temporal variation of leaf magnetic parameters: Seasonal accumulation of leaf-deposited and leaf-encapsulated particles of a roadside tree crown. *Science of the total environment*, 493, 766-772.

Huang, Y., Lei, C., Liu, C. H., Perez, P., Forehead, H., Kong, S., & Zhou, J. L. (2021). A review of strategies for mitigating roadside air pollution in urban street canyons. *Environmental Pollution*, 280, 116971.

Huang, Y. D., He, W. R., & Kim, C. N. (2015). Impacts of shape and height of upstream roof on airflow and pollutant dispersion inside an urban street canyon. *Environmental science and Pollution Research*, 22, 2117-2137.

Huang, Y. D., Li, M. Z., Ren, S. Q., Wang, M. J., & Cui, P. Y. (2019). Impacts of tree-planting pattern and trunk heigt on the airflow and pollutant dispersion inside a street canyon. *Building and Environment*, 165. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106385>

Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek. (2020). *Biologische Waarderingskaart en Natura 2000 Habitatkaart - Toestand 2020*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/e17fe655-987c-4c5f-bbae-b10dcd4fcc3>

Inverde, & OC-ANB. (2022). Zoek een boom. Retrieved from <https://bomenwijzer.be/zoeken>

Jeanjean, A. P. R., Buccolieri, R., Eddy, J., Monks, P. S., & Leigh, R. J. (2017). Air quality affected by trees in real street canyons: The case of Marylebone neighbourhood in central London. *Urban Forestry & Urban Greening*, 22, 41-53.

Jiang, W., Boltze, M., Groer, S., & Schuivens, D. (2017). Impacts on low emission zones in Germany on air pollution levels. *Transportation Research Procedia*, 25, 3370-3382. doi:10.1016/j.trpro.2017.05.217

Kalpana, K. (2022). Sorbus aucuparia. Retrieved from <https://alchetron.com/Sorbus-aucuparia>

Keuken, M., van der Gon, H. D., & van der Valk, K. (2010). Non-exhaust emissions of PM and the efficiency of emission reduction by road sweeping and washing in the Netherlands. *Science of the total environment*, 408(20), 4591-4599.

Khan, J., Ketzell, M., Kakosimos, K., Sørensen, M., & Jensen, S. S. (2018). Road traffic air and noise pollution exposure assessment—A review of tools and techniques. *Science of the total environment*, 634, 661-676.

Kind en Gezin. (2020). *Kinderopvangvoorzieningen erkend door Kind en Gezin via POI-service*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/928a7f14-fdef-4ed9-ad94-2dce0b20fbc5>

King, E. A., Bourdeau, E. P., Zheng, X. Y. K., & Pilla, F. (2016). A combined assessment of air and noise pollution on the High Line, New York City. *Transportation research part D: transport and environment*, 42, 91-103.

Kitamura, R. (2009). The effects of added transportation capacity on travel: a review of 235 theoretical and empirical results. *Transportation*, 36, 745-762.

KMI. (z.d.). *Klimaatstatistieken van de Belgische gemeenten Antwerpen*. Retrieved from https://www.meteo.be/resources/climateCity/pdf/climate_INS11002_ANTWERPEN_nl.pdf

Koninklijke Bibliotheek van België, & Agentschap Informatie Vlaanderen. (1777). *Ferraris kaart - Kabinetskaart der Oostenrijkse Nederlanden en het Prinsbisdom Luik, 1771-1778*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/2d7382ea-d25c-4fe5-9196-b7ebf2dbe352>

Koninklijke Bibliotheek van België, & Agentschap Informatie Vlaanderen. (1846). *Vandermaelen kaart, Cartes topographiques de la Belgique, 1846-1854*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/93795cd6-66d3-4310-83b2-5443adfee403>

Kono Designs. (2010). Pasona Urban Farm. Retrieved from <http://konodesigns.com/urban-farm/>

Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: a critical review. *Annu. Rev. Public Health*, 29, 41-55.

Kristóf, G., & Papp, B. (2018). Application of GPU-based large eddy simulation in urban dispersion studies. *Atmosphere*, 9(11), 442.

Kumar, P., Abhijith, K., & Barwise, Y. (2019). *Implementing green infrastructure for air pollution abatement: general recommendations for management and plant species selection*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/335368542_Implementing_Green_Infrastructure_for_Air_Pollution_Abatement_General_Reccomendations_for_Management_and_Plant_Species_Selection

Lai, L., & Cheng, W. (2009). Air quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns. *Science of the total environment*, 407(8), 2724-2733.

LAND Landschapsarchitecten. (2017). Antwerpen - Harmoniepark. Retrieved from <https://atelierruimtelijkadvies.be/park/antwerpen-harmoniepark/>

Lauwers, D., Rybels, S., & Van Acker, M. (2016). *Evaluatie van de verkeers- en vervoersstructuur van het Ruimtelijk Structuurplan provincie Antwerpen*. Retrieved from <https://www.provincieantwerpen.be/content/dam/provant/drem/dienst-mobiliteit/mobiliteitsplanning/Evaluatie%20van%20de%20verkeers-%20en%20vervoersstructuur%20Ruimtelijk%20Structuurplan%20Antwerpen.pdf>

Lemonsu, A., & Masson, V. (2002). Simulation of a summer urban breeze over Paris. *Boundary-Layer Meteorology*, 104(3), 463-490.

LEVS architecten. (2016). Square, Amsterdam. Retrieved from <https://www.levs.nl/projecten/square>

Li, Z., Zhang, H., Wen, C., Yang, A., & Juan, Y. (2020). Effects of height-asymmetric street canyon configurations on outdoor air temperature and air quality. *Building and Environment*, 183, 107195.

Llaguno-Munitxa, M., Bou-Zeid, E., & Hultmark, M. (2017). The influence of building geometry on street canyon air flow: validation of large eddy simulations against wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 165, 115-130.

Ine. (2009). *Duurzame ruimtelijke planning - Maatregelen om de impact van verkeer op de luchtkwaliteit te bevorderen*. Retrieved from <https://www.vlaanderen.be/publicaties/duurzame-ruimtelijke-planning-maatregelen-om-de-impact-van-verkeer-op-de-luchtkwaliteit-te-verminderen>

Ine. (2010). *Actieplan Wegverkeerslawaaï*. Retrieved from https://www.ine.be/sites/default/files/atoms/files/actieplan_wegverkeerslawaaï.pdf

Madireddy, M., De Coensel, B., Can, A., Degraeuwe, B., Beusen, B., De Vlieger, I., & Botteldooren, D. (2011). Assessment of the impact of speed limit reduction and traffic signal coordination on vehicle emissions using an integrated approach. *Transportation research part D: transport and environment*, 16(7), 504-508.

Marshalls. (z.d.). Conservation Priora, Silver Grey, Charcoal & Graphite. Retrieved from <https://media.marshalls.co.uk/image/upload/v1518179490/Marshalls-PS-40--Paving-9598.pdf>

McNabola, A., Broderick, B., & Gill, L. (2009). A numerical investigation of the impact of low boundary walls on pedestrian exposure to air pollutants in urban street canyons. *Science of the total environment*, 407(2), 760-769.

Miao, C., Yu, S., Hu, Y., Bu, R., Qi, L., He, X., & Chen, W. (2020). How the morphology of urban street canyons affects suspended particulate matter concentration at the pedestrian level: An in-situ investigation. *Sustainable Cities and Society*, 55, 102042.

Ming, T., Fang, W., Peng, C., Cai, C., De Richter, R., Ahmadi, M. H., & Wen, Y. (2018). Impacts of traffic tidal flow on pollutant dispersion in a non-uniform urban street canyon. *Atmosphere*, 9(3), 82.

Mobilane. (z.d.). Groene Bushokjes voor Gouda. Retrieved from <https://mobilane.com/be-nl/projecten/groene-bushokjes-voor-gouda/>

Mobiliteit en Openbare Werken Vlaanderen, & Arcadis Belgium. (2020). *Strategisch verkeersmodel voor de transportregio Antwerpen*.

Mobiliteitsraad. (2021). *Advies bijkomende luchtkwaliteitsmaatregelen*. MORA Retrieved from <https://www.mobiliteitsraad.be/mora/publicatie/advies-bijkomende-luchtkwaliteitsmaatregelen>

Moon, K., Hwang, J. M., Kim, B. G., Lee, C., & Choi, J. i. (2014). Large-eddy simulation of turbulent flow and dispersion over a complex urban street canyon. *Environmental Fluid Mechanics*, 14(6), 1381-1403.

Müller Sigrist. (2015). Mehr als Wohnen, Zürich-Leutschenback. Retrieved from <http://www.muellersigrist.ch/arbeiten/bauten/mehr-als-wohnen-zuerich-leutschenbach/>

Ng, W. Y., & Chau, C. K. (2014). A modeling investigation of the impact of street and building configurations on personal air pollutant exposure in isolated deep urban canyons. *Science of the total environment*, 468, 429-448.

Nguyen, T. (2017). Screen Grab. *Scientific American*, 316(4), 23. doi:10.1038/scientificamerican0417-23

Nijhuis, S., de Vries, J., & Noortman, A. (2017). Ontwerpend onderzoek. In W. Simons & D. van Dorp (Eds.), *Praktijkgericht onderzoek in de ruimtelijke planvorming - methoden voor analyse, visievorming en ontwerp*. Wageningen: Uitgeverij Landwerk.

NL Architects. (2012). Kameleon. Retrieved from <http://www.nlarchitects.nl/slideshow/152>

Norfolk, S. (2011). Bus Rapid Transit station, Curitiba, Brazil.

Oasis Designs. (z.d.). Pondy Bazaar Pedestrianization. Retrieved from <https://oasisdesigns.org/pondybazar.asp>

Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-227. doi:10.1080/00046973.1976.9648422

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban Climates*: Cambridge University Press.

Onderzoeksgroep voor Stadsontwikkeling, MINT, & Maes, P. (2019). *Naar een slim, veilig en robuust wegennet als onderdeel van een geïntegreerde visie op mobiliteit en ruimtelijke ontwikkeling*. Retrieved from <https://www.vlaanderen.be/basisbereikbaarheid/toekomstgerichte-vervoersnetwerken/wegennetwerk>

Ontwerpbureau Pauwels. (2012). Fortis Brussel. Retrieved from <https://www.pauwelsontwerp.be/projecten/commercieel/fortis>

Pardi, T. (2021). Prospects and contradictions of the electrification of the European automotive industry: the role of European Union policy. *International Journal of Automotive Technology and Management*.

Porrio, L. (2017). Leo Porrio: Levensduur van een gebouw. Retrieved from <https://www.brandveilig.com/columns/levensduur-van-een-gebouw-48152#:~:text=Uitgaande%20van%20een%20economische%20levensduur,levensduur%20al%20lang%20overschreden%20is>.

Provincie Antwerpen. (2011). *Ruimtelijk Structuurplan Provincie Antwerpen*. Retrieved from https://www.provincieantwerpen.be/content/dam/provant/drem/dienst-ruimtelijke-planning/ruimtelijk-structuurplan/RSPA_3_richtinggevend_deel.pdf.coredownload.pdf

Provincie Antwerpen. (2019). *Beleidsplan Ruimte Provincie Antwerpen - Strategische visie - Conceptnota*. Retrieved from https://www.provincieantwerpen.be/content/dam/provant/drem/dienst-ruimtelijke-planning/PBRA/PBRA_conceptnota_StrategischeVisie.pdf

Provincie Antwerpen. (z.d.). *Fietsroutenetwerk BFF*. Retrieved from <https://geoloket.provincieantwerpen.be/geoloketten/?viewer=extern&LayerTheme=9>

Rafailidis, S., & Schatzmann, M. (1996). Physical Modeling of Car Exhaust Dispersion in Urban Street Canyons—The Effect of Slanted Roofs. In *Air Pollution Modeling and Its Application XI* (pp. 653-654): Springer.

Risom, J., Schuff, S., Martine, L. J., Westermarck, E., Kielgast, L. V., Akers, A., . . . Thorsen, S. (2019). Reducing Air Pollution Through Urban Design. Retrieved from <https://gehlpeople.com/projects/air-quality-copenhagen/>

Rooftop Revolution. (2020). Rooftop Revolution Nijmegen. Rooftop Revolution Nijmegen. Retrieved from <https://www.rooftoprevolution.nl/nijmegen/>

Russo, G. (1892). Columbus Circle. Retrieved from <https://www.alamy.com/stock-photo/columbus-circle-aerial.html>

Ryder Architecture. (2015). 1 West Regent Street. Retrieved from <https://www.ryderarchitecture.com/project/1-west-regent-street/>

Samson, R., Wuyts, K., Van Wittenberghe, S., & Wuytack, T. (2010). Bomen: op je gezondheid! *Bosrevue*, 34, 9-14.

Smet, P. (2016). Fietspaden Kleine Ring. Retrieved from <https://pascalsmet.brussels/project/fietspaden-kleine-ring/>

Snøhetta. (2017). Times Square. Retrieved from <https://snohetta.com/projects/327-times-square>

Sparrus, L. B. (2019). Monitoring van de vitaliteit van mospanelen in de binnenstad van Amsterdam. *Buxbaumiella*, 116, 32-38.

Splittergerber, V., & Saenger, P. (2015). City tree: a vertical plant wall. *Air Pollution XXIII*, 295.

Stad Antwerpen. (2006). *Strategisch Ruimtelijk Structuurplan Antwerpen Ontwerpen*. Retrieved from <https://www.antwerpenmorgen.be/nl/projecten/structuurplan-vandaag/media>

Stad Antwerpen. (2013). *RUP Provinciehuis Harmonie - Toelichtingsnota*. Retrieved from https://www.antwerpen.be/nl/docs/stad/stadsvernieuwing/bestemmingsplannen/RUP_11002_214_10011_00001/RUP_11002_214_10011_00001_TN.pdf

Stad Antwerpen. (2014). *Antwerpen 2020 | 2025 | 2030 Actief & Bereikbaar*. Retrieved from https://antwerpen.n-va.be/sites/afdelingen.n-va.be/files/generated/files/news-attachment/microsoft_voorontwerp_mobiliteitsplan_20140404_def1.pdf

Stad Antwerpen. (2017). *Gemeentelijke stedenbouwkundige verordening - bouwcode - voorschriften*. Retrieved from https://www.antwerpen.be/docs/Stad/Stadsvernieuwing/Bestemmingsplannen/SVO_11002_233_10007_00003/SVO_11002_233_10007_00003_0000Document_sv.html#d2a32751-89e0-4ced-bb4c-4b778f0a145a

Stad Antwerpen. (2022a). Boom. Retrieved from <https://portaal-stadantwerpen.opendata.arcgis.com/datasets/boom/explore?location=51.204726%2C4.416462%2C17.56>

Stad Antwerpen. (2022b). Detailtoegang: Bouwvergunningen. Retrieved from <https://felixarchief.antwerpen.be/zoekwijzers?zoekwijzer=bouwdossiers&pagina=bouwdossiers-inleiding>

Stad Antwerpen. (2022c). Percelen info platform. Retrieved from <https://perceleninfoplatform.antwerpen.be/vergunningen?x=153282.99633188726&y=210404.92399513815>.

Stad Antwerpen. (z.d.). Parkeerzones en tarieven. Retrieved from <https://www.slimnaarantwerpen.be/nl/onstreet/parkeerzones-tarieven>

Stockholm Resilience Centre. (2021). Three things needed for successful climate adaptation in cities. Retrieved from <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2021-09-21-three-things-needed-for-successful-climate-adaptation-in-cities.html>

Stojiljkovic, A., Kauhaniemi, M., Kukkonen, J., Kupiainen, K., Karppinen, A., Denby, B. R., . . . Ketzel, M. (2019). The impact of measures to reduce ambient air PM 10 concentrations originating from road dust, evaluated for a street canyon in Helsinki. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(17), 11199-11212.

T.R.O.P. (2015). Walk of the Town. Retrieved from <https://landezine.com/roof-garden-bangkok-landscape-architecture/>

Takano, Y., & Moonen, P. (2013). On the influence of roof shape on flow and dispersion in an urban street canyon. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 123, 107-120.

Tan, Z., Tan, M., Sui, X., Jiang, C., & Song, H. (2019). Impact of source shape on pollutant dispersion in a street canyon in different thermal stabilities. *Atmospheric Pollution Research*, 10(6), 1985-1993.

Tang, J., McNabola, A., Misstear, B., Pilla, F., & Alam, M. d. S. (2019). Assessing the impact of vehicle speed limits and fleet composition on air quality near a school. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1), 149.

Team Vlaams Bouwmeester. (z.d.). Circulaire stad: Antwerpen als testcase. Retrieved from <https://www.vlaamsbouwmeester.be/nl/instrumenten/Labo-ruimte/antwerpen-circulaire-stad-van-morgen#:~:text=Het%20onderzoekstraject%20'Antwerpen%2C%20de%20circulaire,evolueren%20naar%20duurzame%2C%20circulaire%20steden>.

Timmers, V. R. J. H., & Achten, A. J. (2016). Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric Environment*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>

Toerisme Vlaanderen. (2018). *Toeristisch recreatief fietsnetwerk Vlaanderen*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/c91e9b9d-6465-4dec-beeb-16fdc6d759a0>

Triptyque Architecture. (2017). Marquise Minhocao. Retrieved from <https://triptyque.com/en/project/the-minhocao-marquise/>

Triptyque Architecture. (2019). Villa M. Retrieved from <https://triptyque.com/fr/project/villa-m-2-2/>

Urban Movement. (2022). Marylebone Low Emission Neighbourhood. Retrieved from <http://www.urbanmovement.co.uk/marylebonelen.html>

Van Den Berk Boomkwekerijen. (z.d.). Bomen en struiken, meer dan 1600 soorten. Retrieved from <https://www.vdberk.be/bomen/>

Van den Broeck, P., Lagiewka, F., De Peuter, B., & Vloebergh, G. (2014). *Evaluatiestudie van het strategisch ruimtelijk structuurplan Antwerpen*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/273453418_Evaluatiestudie_van_het_strategisch_ruimtelijk_structuurplan_Antwerpen

van Druenen, T., Van Hooff, T., Montazeri, H., & Blocken, B. (2019). CFD evaluation of building geometry modifications to reduce pedestrian-level wind speed. *Building and Environment*, 163, 106293.

Van Raemdonck, H. (2020). UA: 83% of streets in Antwerp are 'street canyons'. *new mobility news*. Retrieved from <https://newmobility.news/2020/04/01/ua-83-of-streets-in-antwerp-are-street-canyons/>

Verhaert, J., & De Pooter, B. (2015). *Antwerpen Actief & Bereikbaar - Mobiliteitsplan 2020-2025-2030*. Retrieved from Antwerpen: https://assets.antwerpen.be/srv/assets/api/download/59251c86-b7d3-4680-a7a7-140405af3a5f/mobiliteitsplan_DEF_web.pdf

Vervoerregio Antwerpen. (2020). *Routeplan 2030 - Regionaal mobiliteitsplan - Ontwerpversie*. Retrieved from https://routeplan2030.be/wp-content/uploads/2021/09/Vervoerregio-Antwerpen-Routeplan-2030_ontwerpversie-april-20.pdf

Vito. (2019). ATMO-street. Mapping air quality to street level. Retrieved from <https://vito.be/en/atmo-street>

Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming. (2022). *Onderwijsaanbod in Vlaanderen en Brussel via POI-service*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/b2027867-cd3e-4e67-b6f1-aec3ff878f44>

Vlaams Verkeerscentrum. (2017). *Verkeersindicatoren snelwegen Vlaanderen 2016*. Retrieved from Antwerpen: <https://www.verkeerscentrum.be/sites/default/files/2019-06/rapport-verkeersindicatoren-2016-v1.pdf>

Vlaamse Milieumaatschappij. (2006). *Infiltratiegevoelige bodems – (Watertoets)*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/BCB20388-3DEB-4436-AECD-F3B311EE2602>

Vlaamse Milieumaatschappij. (2017). *Overstromingsgevoelige gebieden 2017 - (Watertoets), correctie 13/07/2017*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/f5b2c84c-0d78-4efa-a97d-7cd172726572>

Vlaamse Milieumaatschappij. (2020a). *Effecten van Covid-19 maatregelen op de luchtkwaliteit in Vlaanderen*. Retrieved from <https://www.vmm.be/publicaties/effect-van-covid-19-maatregelen-op-de-luchtkwaliteit-in-vlaanderen>

Vlaamse Milieumaatschappij. (2020b). *Luchtkwaliteit in de Antwerpse agglomeratie - jaarrapport 2019*. Retrieved from <https://www.vmm.be/publicaties/luchtkwaliteit-in-de-antwerpse-agglomeratie-jaarrapport-2019#:~:text=De%20voornaamste%20conclusies%3A,NO2%20op%20verkeersintensieve%20locaties>.

Vlaamse Milieumaatschappij. (2021a). Europese doelstellingen vs. WGO-advieswaarden. Retrieved from <https://www.vmm.be/lucht/evolutie-luchtkwaliteit/europese-doelstellingen-vs-wgo-advieswaarden>

Vlaamse Milieumaatschappij. (2021b). Hoe evolueert de luchtkwaliteit in Vlaanderen? Retrieved from <https://www.vmm.be/lucht/evolutie-luchtkwaliteit/hoe-evolueert-de-luchtkwaliteit-in-vlaanderen>

Vlaamse Milieumaatschappij. (2021c). *Luchtkwaliteit in de Antwerpse agglomeratie - jaarrapport 2020*. Retrieved from <https://www.vmm.be/publicaties/luchtkwaliteit-in-de-antwerpse-agglomeratie-jaarrapport-2020>

Vlaamse Milieumaatschappij. (2021d). *Uitstoot en luchtkwaliteit in Vlaanderen - evaluatie 2020 - samenvatting*. Retrieved from https://emis.vito.be/sites/emis/files/articles/91/2020/JV_Lucht_synthese_2020_def_TW.pdf

VlaamseOverheid.(2000).GewestplanAntwerpen-Algemeneenaanvullendevoorschriften.Retrievedfromhttps://www.antwerpen.be/docs/Stad/Stadsvernieuwing/Bestemmingsplannen/GWP_02000_222_00014_00013/GWP_02000_222_00014_00013_0000Document_sv.html#52ecbe55-be77-4f10-9bcf-c7a8f2ca8c8e

Vlaamse Overheid. (2009). *GRUP Afbakening Grootstedelijk Gebied Antwerpen*. Retrieved from https://www.antwerpen.be/docs/Stad/Stadsvernieuwing/Bestemmingsplannen/RUP_02000_212_00195_00001/RUP_02000_212_00195_00001_0000Document_tn.html

Vlaamse Overheid. (2022). *GRBgis*. Retrieved from <https://download.vlaanderen.be/Producten/Detail?id=1&title=GRBgis>

Vlaamse Overheid. (z.d.). Wegennetwerk. Retrieved from <https://www.vlaanderen.be/basisbereikbaarheid/toekomstgerichte-vervoersnetwerken/wegennetwerk>

Vlaamse Regering. (2010). *Ontwerp Mobiliteitsplan Vlaanderen - informatief deel*. Retrieved from <https://mobiliteitsplanvlaanderen.be/ontwerp-globaal.pdf>

Vlaamse Vervoersmaatschappij De Lijn. (2022). *Haltes Vlaamse vervoersmaatschappij De Lijn, toestand 17/02/2022*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/3c31c3f6-58a3-431c-99d1-c186ea6f2a19>

Vlachokostas, C., Achillas, C., Michailidou, A. V., & Moussiopoulos, N. (2012). Measuring combined exposure to environmental pressures in urban areas: An air quality and noise pollution assessment approach. *Environment international*, 39(1), 8-18.

Voordeckers, D., Lauriks, T., Denys, S., Billen, P., Tytgat, T., & Van Acker, M. (2021). Guidelines for passive control of traffic-related air pollution in street canyons: An overview for urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 207. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103980>

Voordeckers, D., Meysman, F. J. R., Billen, P., Tytgat, T., & Van Acker, M. (2021). The impact of street canyon morphology and traffic volume on NO2 values in the street canyons of Antwerp. *Building and Environment*, 197, 107825.

Vos, E. J. P., Maiheu, B., Vanderkom, J., & Janssen, S. (2013). Improving local air quality in cities : To tree or not to tree. *Environmental Pollution*, 183, 113-122.

Wang, L., Pan, Q., Zheng, X., & Yang, S. (2017). Effects of low boundary walls under dynamic inflow on flow field and pollutant dispersion in an idealized street canyon. *Atmospheric Pollution Research*, 8(3), 564-575.

West 8, BeersNielsen, & Sweco. (2021). West 8 together with the municipality of Rotterdam unveils plan to revitalize Coolsingel boulevard. Retrieved from https://www.west8.com/west_8_together_with_the_municipality_of_rotterdam_unveils_plan_to_revitalize_coolsingel_boulevard/

Wonen Vlaanderen. (2022). *Vlaamse inventaris van ongeschikt en onbewoonbare woningen via POI-service*. Retrieved from <https://www.geopunt.be/catalogus/datasetfolder/d8d7514e-52f6-4a60-a074-6d9b8666d09f>

World Health Organization. (2018). Environmental noise guidelines for the European Region.

World Health Organization. (2021). Chapter 2. Air pollution. In *Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment*.

Xie, X., Huang, Z., Wang, J., & Xie, Z. (2005). The impact of solar radiation and street layout on pollutant dispersion in street canyon. *Building and Environment*, 40(2), 201-212.

Yang, F., Gao, Y., Zhong, K., & Kang, Y. (2016). Impacts of cross-ventilation on the air quality in street canyons with different building arrangements. *Building and Environment*, 104, 1-12.

Zajic, D., Fernando, H., Calhoun, R., Princevac, M., Brown, M., & Pardyjak, E. (2011). Flow and turbulence in an urban canyon. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(1), 203-223.

Zhang, L., Zhang, Z., Feng, C., Tian, M., & Gao, Y. (2021). Impact of various vegetation configurations on traffic fine particle pollutants in a street canyon for different wind regimes. *Science of the total environment*, 789, 147960.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1 | EXTRA RICHTLIJNEN PLANNINGSCONTEXT

Richtlijnen voor boulevards binnen het Strategisch Ruimtelijk Structuurplan Antwerpen (Stad Antwerpen, 2006)

Voetpaden en fietspaden

- Voetpaden worden aan beide zijden van de straat voorzien en zijn **minimaal 1,5m breed (2,5m volgens de Vlaamse Regering)**. Voetpaden moeten verbreed worden in winkelgebieden.
- Fietspaden worden aan minstens één zijde voorzien, zo dicht mogelijk tegen de voetpaden. Deze zijn **gescheiden van de weg** bij een snelheid van 50km/h, gemengd gebruik mag bij 30km/h.

Openbaar vervoer

- OV moet in zijn eigen bedding rijden, en **een vrijliggende tram- of busbaan is 6m breed**. Bij 50km/h zijn veiligheidsmaatregelen (scheidingsbermen en duidelijke oversteekpunten). De ligging van de berm moet specifiek per geval onderzocht worden.

Boulevards

- De gewenste snelheid (op de boulevards en Leien) is **50km/h**. De snelheid buiten de Leien moet 30km/h zijn.
- Bij vier rijstroken mogen asymmetrische stroken ontworpen worden, enkel de buitenste (bredere) banen mogen door vrachtwagens gebruikt worden.
- Parkeerstroken mogen enkel voorzien worden als deze geen ruimte van de rijbanen innemen.
- Daar waar mogelijk worden bomenrijen geplaatst.**

Vademecum Fietsvoorzieningen (Departement Mobiliteit en Openbare Werken Vlaanderen, 2017)

Binnen het Vademecum Fietsvoorzieningen worden enkele ontwerprichtlijnen voor fietsvoorzieningen opgesteld (Departement Mobiliteit en Openbare Werken Vlaanderen, 2017). Deze is geldig op Vlaams niveau, maar wordt ook aangeraden door de provincie Antwerpen. Qua breedte zou de Belgiëlei (50 km/h) een aanbevolen breedte van minstens 175cm hebben met een tussenstrook van minstens 50cm.

Gekeken naar de spitsuurintensiteit van de Belgiëlei van gemiddeld 879 v/h en het percentage aan bromfietsen van 4% wordt een **breedte van 3,5m aangeraden**. Bij een vrijliggend fietspad wordt echter wel een tussenstrook van minstens 1m verwacht, of een **schuwafstand van 50cm t.o.v. een parkeerstrook**. Voor de verharding wordt een bitumineuze verharding aangeraden, aangezien hier een optimale vlakheid behouden blijft, maar cementbeton is ook een goede optie.

De tabellen uit het Vademecum werden in 2018 geïntegreerd tot ‘de Fietsmaat’ als één helder overzicht binnen het advies van de Fietsraad, en werd de eenvoudige leidraad ‘1m = 1 fietser, 2m = 2 fietsers’ toegepast (Fietsraad, 2018). De fietsintensiteit vormt nu de vaste basis voor de gewenste breedtes. Daarnaast wordt nu ook rekening gehouden met bredere fietsen en nieuwe voortbewegingstoestellen als e-steps. Gekeken naar de spitsuurintensiteit van de éénrichtingsfietspaden van de Belgiëlei van 542 fietsers/steppers/scooters per uur wordt een **breedte van 3m aangeraden**.

Routeplan 2030 (Vervoerregio Antwerpen, 2020)

Het Ontwerp Routeplan 2030 vormt een multimodaal en regionaal mobiliteitsplan voor de Vervoerregio Antwerpen (Vervoerregio Antwerpen, 2020). Hierin worden enkele kwaliteitseisen gesteld voor de inrichting de fietsvoorzieningen. De fietspaden op de Belgiëlei worden aangeduid als ‘bovenlokaal functioneel fietsnetwerk’ (BFF), waar de **breedte van een éénrichtingsfietspad 2-3m en voor een tweerichting en vrijliggend fietspad 3-4m bedraagt** (Vervoerregio Antwerpen, 2020). Deze volgen naar eigen zeggen het Vademecum Fietsvoorzieningen.

Openbaar vervoer (De Lijn, 2021)

Binnen de richtlijnen van De Lijn (2021) worden enkele minimum-maten aangegeven voor tram- en businfrastructuur (tabel 8). Daarbij wordt wel aangegeven dat voornamelijk trams een hoogwaardige voor van openbaar vervoer vormen, waardoor dat deze best een eigen bedding krijgen toebedeeld. De Lijn raadt ook steeds schuwafstanden aan van de minimale breedte tot obstakels of andere infrastructuur. Omwille van de karakterisering als hoogwaardig vervoersmiddel raadt men dus ook bij een vrije en centrale trambaan aan beide zijde een zone van 2-2,5m aan. Bomen worden specifiek best om de 25m voorzien, op een afstand van 12,5m van een bovenleidingpaal.

Tabel 8: Overzichtstabel van gewenste breedte- en hoogtematen (De Lijn, 2021; Departement Mobiliteit en Openbare Werken Vlaanderen, 2017; Fietsraad, 2018; Stad Antwerpen, 2017; Vervoerregio Antwerpen, 2020)

TRAM-baan (Antwerpen - Gent)	Min. B (m)	Min. H (m)	Min. L (m)
Tram (gemiddeld)	2,4	3,8	
Spoorlijn	1		
Eigen bedding enkelrichting	3,2	3,7	
Eigen bedding dubbelrichting	<u>6,2</u>	3,7	
sRSA (Stad Antwerpen, 2006)	6		
Gemengd verkeer (50km/h)	3,05 (+0,5)		
Tussen boom en spoorlijn	2		
TRAM-halte			
Tussen haltes, dubbelrichting	6,5		
Halte met hokje (DeLijn)	<u>2</u>		
Halte met hokje (CROW)	2,5		
Halte zonder hokje	2		
BUS-baan			
Stadsbus	2,5	3,3	
Enkelrichting	3,05		
Dubbelrichting	6,1		
50km/h 1 rijstrook/ rijrichting >1 rijstrook / rijrichting (2x2): rechts			
RIJBAAN			
Rijstrookbreedte	2,75		
(De Lijn, 2021)			
FIETSPADEN			
Vademecum Fietsvoorzieningen (DMOW, 2017)	1,75		
Schuwafstand t.o.v. parking	+0,5		
"" afh. van spitsuurintensiteit & 4% bromfietsen	3,5		
Fietsmaat (Fietsraad, 2018)	<u>3</u>		
BFF enkelrichting (Vervoerregio Antwerpen, 2020)	2-3		
BFF dubbelrichting (Vervoerregio Antwerpen, 2020)	3-4		
50km/h			
VOETPADEN			
sRSA (Stad Antwerpen, 2006)	1,5		
(DMOW, 2017)	<u>2,5</u>		
PARKING			
Parallel - bouwcode (Stad Antwerpen, 2017)	<u>2,2</u>		

BIJLAGE 2 | UITTREKSELS BOUWCODE

(Stad Antwerpen, 2014)

Artikel 3 Afwijkingsmogelijkheid

"1. De vergunningverlenende overheid kan afwijkingen toestaan op de voorschriften in DEEL 2 RUIMTELIJKE KWALITEIT en DEEL 3 TECHNISCHE KWALITEIT van deze verordening.

De afwijking kan worden toegestaan omwille van o.a. de grote omvang van het project, zijn erfgoedwaarde, de voorgestelde innovatieve en verbeterende oplossing of conflicterende en onoplosbare voorwaarden vanuit andere of sectorale regelgeving.

De afwijking kan pas toegestaan worden indien de vergunningverlenende overheid oordeelt dat door de afwijking voorgestelde werken minstens gelijkwaardig zijn aan de toegelaten werken voorgesteld in de overige voorschriften van deze bouwcode. De gelijkwaardigheid dient beschouwd te worden over het geheel van deze voorschriften en dus bijeengenomen minstens dezelfde mate van veiligheid, leefbaarheid, beeldkwaliteit en duurzaamheid garanderen en dit zowel voor het gebouw waarop de aanvraag betrekking heeft, als voor de ruimere omgeving.

De afwijking dient tevens in overeenstemming te zijn met de goede plaatselijke ruimtelijke ordening en, indien van toepassing, de historische waarde van het gebouw of het stadsgezicht.

2. Motivatie afwijkingen

De motiveringsnota is een informatief document horend bij de vergunningsaanvraag dat de afwijking bij een aanvraag tot het bekomen van een stedenbouwkundige vergunning beschrijft en motiveert.

De motiveringsnota moet duidelijkheid geven over de gewenste afwijking(en) van het project ten opzichte van de verordening. De motiveringsnota beschrijft de motieven die aanleiding geven tot de vraag tot afwijking. Ze beschrijft de te verwachten impact van deze afwijkingen op de kwaliteiten die door de verordening worden beoogd voor het project en de omgeving. Hierbij komen minimaal volgende elementen aan bod:

- een opsomming van de bepalingen van de algemene bouwverordening waarvan wordt afgeweken;
- de aard en de omvang van alle afwijkingen;
- een duidelijke en expliciete motivering voor de afwijkingen, waarbij de aanvrager aantoont of beschrijft;
- waarom niet aan de betreffende bepalingen wordt voldaan;
- of de afwijking(en), zowel voor het gebouw op zich als voor de ruimere omgeving, een verbetering betekent(en);
- of de achterliggende logica en doelstelling van de betreffende voorschriften gerespecteerd worden;
- of de in de afwijking voorgestelde werken minstens gelijkwaardig zijn aan de toegelaten werken voorgesteld in de overige voorschriften van deze bouwcode en dus minstens dezelfde mate van veiligheid, leefbaarheid, beeldkwaliteit en duurzaamheid bieden;
- of in het geval van een regularisatie: de feitelijke en juridische historiek van het dossier."

Voorschrift gunstig voor de luchtkwaliteit

Voorschrift mits verstrenging nog gunstiger voor de luchtkwaliteit

Voorschrift ongunstig voor de luchtkwaliteit

Artikel 6 Harmonie en draagkracht

"1. Dit artikel is van toepassing voor alle delen van de constructie. Zowel het hoofdgebouw als de uitsprongen (erkers, zonneweringen, ...) en aanbouwen dienen qua vorm, grootte, materiaalkeuze, plaatsing en kleur afgestemd te zijn op de architectuur van de totale constructie als op de omgeving.

2. In een omgeving waar de bestaande bebouwing homogene kenmerken vertoont, moeten de op te richten of de te verbouwen gebouwen zodanig worden ontworpen dat ze in harmonie zijn met de kenmerken van de omgeving. De kenmerken van de omgeving worden bepaald door het referentiebeeld. Het referentiebeeld wordt gevormd door de gebouwde omgeving die de begrenzing vormt met de buitenruimte en bestaat uit de gebouwen welke inzake harmonische samenhang het talrijkste zijn en dus kenmerkend voor de betreffende omgeving kunnen genoemd worden.

Harmonie met de omgeving begint met voldoende kennis van de ruimtelijke kenmerken van de omgeving. Deze kennis dient ingezet te worden opdat het op te richten of te verbouwen gebouw op doelbewuste en gemotiveerde wijze een relatie aangaat met de omgeving. Ongeacht of de gebouwen op zich al dan niet een bijzondere beeldwaarde hebben vormen ze samen een eenheid, een straatbeeld, een bouwblok of een typische wijk. Het is daarom essentieel om bij toevoegingen of wijzigingen aan bestaande gebouwen of bij nieuwbouw steeds de ruimere context van de werken te bekijken en de voorgestelde werken uit te voeren "in harmonie met de omgeving". Met "harmonie met de omgeving" wordt bedoeld het samengaan van het gebouw met zijn omgeving. In gebieden waar de bebouwing een sterke samenhang vertoont, zal het over het algemeen wenselijk zijn om de schaal en de geleding van de bestaande bebouwing te volgen. Dat wil nog niet zeggen dat alle uiterlijke kenmerken zomaar gekopieerd moeten worden. Het gebouw moet dus niet uniform of eenvormig zijn met zijn omgeving maar wel een bewuste relatie aangaan met zijn omgeving. In sommige gevallen is het denkbaar dat ook een contrast of een interpretatie kan zorgen voor het goed samengaan van het gebouw met de omgeving, zeker wanneer dit de kwaliteit van de omgeving ten goede komt. Daarom is het aangewezen om het gebouw in een ruimer gebied te zien omdat op die schaal de harmonie duidelijker merkbaar is. Dit ruimer gebied is het referentiebeeld om de harmonie aan te toetsen. Soms is het referentiebeeld een bouwblok of een wijk, andere keren is de straat zelf een uitstekend referentiebeeld om de harmonie te bepalen, maar meestal kijkt men naar de gebouwen langs dezelfde zijde van de straat als het gebouw waarvoor de vergunningsaanvraag wordt ingediend en dit van straathoek tot straathoek. Het gebouw wordt steeds bekeken vanuit een logisch geheel in de omgeving waar een harmonische samenhang merkbaar is.

Harmonie is niet eenduidig of kwantitatief te definiëren. Elke aanvraag zal daarom apart beschouwd moeten worden, waarbij ook rekening kan gehouden worden met toekomstige ontwikkelingen. In de ontwikkeling van de stad tekenen zich vaak tendensen af voor een nakende transformatie. Het bestaande referentiekader hoeft daarom niet zomaar bevroren te worden. Het kan morgen al voorbijgestreefd zijn. Daarom is het mogelijk om op basis van artikel 3 gemotiveerd af te wijken op deze harmonieregel waarbij men moet aantonen dat een afwijking op het huidige referentiebeeld noodzakelijk is om kwaliteitsvolle evoluties te faciliteren en zo de stedelijke omgeving te verbeteren. De harmonieregel staat dan ook open voor voortschrijdend inzicht bij kwaliteitsvolle feitelijke of lopende ontwikkelingen. Deze regel werkt graduele evoluties niet tegen en laat toe het referentiebeeld ten goede te veranderen.

3. De aard en grootte van de functie, de typologie en schaal van een project worden afgetoetst aan de draagkracht van de omgeving en dit voor alle delen van de constructie.

Verwevenheid van functies is een essentieel kenmerk van een binnenstedelijk gebied. Maar een te grote mix van verschillende functies of een te grote concentratie van één bepaalde functie kan tevens voor conflicten en overlast zorgen. Voorbeelden van overlast hierbij zijn geluidsproductie, parkeerdruk, mobiliteitsgeneratie, laden en lossen, dag- of nachtactiviteiten. Ook is er een verschil tussen typologieën die niet via de functiebeperkingen kunnen opgevangen worden. De impact van een groot appartementsgebouw is bijvoorbeeld heel anders dan dat van een rijhuis voor één gezin. De typologie en schaal kunnen overlast genereren door middel van concentraties.

Daarom wordt de draagkracht van de omgeving getoetst bij elk voorstel van functie, typologie en schaal."

Artikel 14 Insprongen en openingen aan voorgevels

"1. Een insprong grenzend aan de openbare ruimte en op het gelijkvloers moet 's nachts afgesloten kunnen worden indien:

1. de diepte van de insprong groter is dan 2 meter en meer dan de helft van de breedte van de insprong bedraagt;
2. of indien de insprong naar achter toe verbreedt of hoeken heeft die onzichtbaar zijn vanaf de openbare ruimte.

2. De insprongen, dieper dan 2 meter achter de bouwlijn, moeten verlicht worden.

Insprongen zijn onder andere nissen, entreeruimten of overdekte buitenruimten aan de woning. Deze insprongen mogen geen nadelige effecten hebben op het gebruik van de openbare ruimte.

Voor bepaalde grotere projecten kan de voorgevel van de straatwand doorlopen naar een binnengebied. Dergelijke doorgangen worden niet als insprong of als opening beschouwd.

Insprongen moeten steeds overzichtelijk blijven. Daarom zijn ze best niet te diep, zeker niet als ze bovendien smal zijn. Als dit toch zo is, dan moeten ze omwille van de sociale veiligheid afsluitbaar zijn en/of verlicht worden.

3. De vrije hoogte van elke toegankelijke insprong bedraagt minstens 2,50 meter.

De minimale hoogte van 2,50 meter wordt ingegeven door enerzijds de voorgeschreven minimale plafondhoogte en het wellicht lagere niveau van het maaiveld, anderzijds de vereiste isolatie- en afwerkingstechnieken van de vloerplaat en de aantrekkelijkheid van de ruimte en continuïteit tussen binnen en buiten.

4. Deuren, ramen en poorten in gevels die grenzen aan het openbaar domein en die zich geheel of gedeeltelijk bevinden beneden 2,60 meter boven het aangrenzende maaiveld, mogen niet opendraaien over het openbaar domein, tenzij het nooduitgangen betreffen die niet als enige in- of uitgang gebruikt worden.

Deze regel heeft tot doel de veiligheid van de voetgangers op het openbaar domein te garanderen. Nooduitgangen die enkel in geval van effectieve nood opendraaien op het openbaar domein kunnen hierop een uitzondering vormen. Bij één enkele ingang/uitgang van collectieve gebouwen (kantoren, appartementen, winkels) is een teruggetrokken deur mogelijk, zodat opendraaien naar buiten veilig kan. Schuifdeuren als enige deur voldoen niet aan de normen gesteld door de brandweer, tenzij ze voorzien zijn van een paniekbeslag.

Opendraaiende luiken mogen alleen geopend en gesloten worden langs de buitenzijde. Deze handeling kan gestimuleerd worden via de vormgeving ervan."

Artikel 15 In- en uitsprongen aan daken

"In- en uitsprongen in hellende daken dienen op ten minste 0,60 meter van de perceelsgrens te worden ingeplant. De in- en uitsprongen mogen de kroonlijst niet onderbreken, tenzij de harmonie van het straatbeeld dit toelaat. De afmetingen van de in- en uitsprongen moeten in verhouding zijn tot de oppervlakte van het dakvlak en de schuine dakvorm dient duidelijk herkenbaar te blijven.

In het dakvlak van het basisvolume kunnen een aantal in- en uitsprongen gemaakt worden, zoals dakterrassen of dakkapellen. Dakuitsprongen worden in omvang beperkt om de vorm van het schuine dak niet te veel aan te tasten. Ze moeten op ten minste 0,60 meter van de perceelsgrens gelegen zijn om de impact op bezonning, lichttoetreding en privacy op de aanpalende percelen te beperken."

Artikel 17 Behoud en heraanplanting

"1. Met het oog op het bewaren van bestaande waardevolle natuurlijke, cultuurhistorische of landschappelijke elementen moet de inplanting van de vergunningsplichtige werken zo worden bepaald dat de aanwezige waardevolle landschappelijke en ecologische elementen maximaal behouden kunnen blijven.

2. De inplanting van de vergunningsplichtige en meldingsplichtige werken worden zo bepaald dat de aanwezige bomen maximaal behouden kunnen blijven.

3. Bij het verlenen van de vergunning kan de vergunning verlenende overheid bij gemotiveerde beslissing beplantingsbepalingen opnemen:

1. met het doel aanplantingen aan te leggen en/of te herstellen. Deze voorwaarden slaan op de boomsoort, de hoeveelheid bomen, de kwaliteit en de stamomtrek alsook de wijze van aanleg;
2. met het doel kleinschalige landschapselementen aan te leggen of te herstellen;
3. met het doel beplantingen te voorzien die een gepaste inkleding van de constructie in de omgeving tot doel hebben en als dusdanig als groenbuffers dienst doen;
4. met het doel beplantingszones te voorzien die vrij blijven van onder- en bovengrondse constructies, zodanig dat nieuwe en bestaande aanplantingen mogelijk zijn en afwatering en infiltratie vergemakkelijkt wordt.

4. Elke opgelegde beplanting of herbeplanting moet uiterlijk in het derde jaar dat volgt op de stedenbouwkundige vergunning worden uitgevoerd, tenzij anders werd bepaald in de vergunning."

Artikel 33 Zaak-gebonden publiciteit

"Dit artikel doet geen uitspraak over publiciteitsinrichtingen of uithangborden die vrijgesteld zijn van een stedenbouwkundige vergunning (BVR tot bepaling van handelingen waarvoor geen stedenbouwkundige vergunning nodig is van 16/7/2010 en latere wijzigingen). Dit betreft ondermeer verkiezingspubliciteit, niet-lichtgevende uithangborden van maximaal 4 vierkante meter, maar ook door de overheid beschikbaar gestelde dragers met het oog op socioculturele en politieke affichage, sensibiliseringsacties of voortvloeiend uit wettelijke bepalingen.

1. Algemene principes:

1. Zaakgebonden publiciteit wordt enkel toegestaan op steigerdoeken, **gevels (gelijklopend, haaks of op uitsprongen)**, op het dak en op totems.
2. De grootte (breedte, hoogte, doorlopend of uitgesneden letters of logo, ...) dient steeds in verhouding te zijn met de maat van het gebouw.
3. In CHE-gebied, binnen een straal van 50 meter van beschermde monumenten, voor inventarispenden en beschermde monumenten en binnen stads- of dorpsgezichten geldt dat publiciteit op het gevelvlak en op het dak enkel mag bestaan uit losse letters.
4. Flits- of knipperlichten, lichtkranten of laserverlichting zijn niet toegestaan.
5. Publiciteit mag enkel verlicht worden met klemtoonverlichting. Losse letters of logo's mogen inwendig verlicht worden.

Publiciteit is een vast onderdeel van het stedelijk landschap en heeft hier een grote impact op. Naar analogie met vele steden dringt zich vaak een gebiedsgerichte aanpak op.

Publiciteit mag geen hinder veroorzaken voor de woonfunctie en dus niet voor raamopeningen geplaatst worden. Publiciteit mag evenmin afbreuk doen aan de globale beeldkwaliteit van een straat en moet dus om evidente reden beperkt en discreet blijven in omvang en uitstraling.

De nieuwe vorm van reclameborden spelen echter ook meer en meer in op de vorm van buurtverfraaiing, door gevelafwerking, rechtstreekse of inwendige aanstraling, bijhorende parkaanleg, enz. Om aandacht te trekken voorzien ze ook meer en meer bewegende onderdelen, zoals rolstoelen, tri-visions, enz. De meest recente vormen van publiciteitsvoering, zoals lichtkranten, LED-verlichting, lasers, ... spelen op een moderne manier in op ondernemingschap en zaakvoering. Vanuit verkeersveiligheid en de woon- en leefkwaliteit worden flits- of knipperlichten, lichtkranten en laserverlichting niet toegestaan, tenzij in zeer uitzonderlijke (tijdelijke) gevallen. Hiervoor kan dan een gemotiveerde afwijking bekomen worden op basis van artikel 3 van deze bouwcode. Dit verbod moet eveneens de nodige garanties voorzien dat de nieuwe technologie bij dynamische borden (o.a. LED-panelen) niet misbruikt zal worden. Ze mogen in geen geval de verkeersveiligheid en/of de leef-, woon- en beeldkwaliteit in het gedrang brengen.

Alle zaakgebonden publiciteit moet worden verwijderd zodra er een einde wordt gesteld aan de activiteit waarop zij betrekking hebben, behalve wanneer zij een cultuurhistorische waarde heeft.

2. Plaatsing in het gevelvlak en aan vaste uitsprongen:

1. Ze dient minstens 0,60 meter verwijderd te blijven van de grens met het naburige eigendom.
2. Ze mag niet voor gevelopeningen geplaatst worden of gevelornamenten bedekken. Indien ze geplakt of gespoten wordt op een gevelopening mag ze maximaal 50 % van de opening bedekken en geen raamkaders bedekken.

Voorschrift gunstig voor de luchtkwaliteit

Voorschrift mits verstrenging nog gunstiger voor de luchtkwaliteit

Voorschrift ongunstig voor de luchtkwaliteit

3. Plaatsing haaks op het gevelvlak:

1. Een banier dient geplaatst te worden: binnen de zone tussen 2,60 meter boven het aangrenzende maaiveld en de 3de verdieping/ binnen een afstand van maximum 0,60 meter ten opzichte van de gevel/op minstens 0,60 meter van de eigendomsgrens.

2. De afmetingen van een lichtbak moet voldoen aan volgende voorwaarden: maximum 0,60 meter hoog/**maximum 0,60 meter uit de gevel**/minimum 0,60 meter gelegen van de eigendomsgrens.

4. Plaatsing op het dak:

1. De publiciteit dient gelijk te lopen met de kroonlijst
2. De dimensies van de publiciteit zijn in verhouding met de grootte van het gebouw en het aangrenzende openbaar domein.
3. Lichtborden (o.a. LED-verlichting) zijn toegelaten langs het baanwinkelgebied detailhandel, de Singel, de Ring en in industriegebieden met een beperking tot 1 paneel per gebouw en geïntegreerd in het gebouw (bv. als wand van de technische verdieping). De vergunningsduur wordt beperkt tot maximaal 5 jaar.

5. Totems:

1. Zijn toegelaten langs het baanwinkelgebied, de Singel, de Ring en in industriegebieden
2. Verlichting is mogelijk via aanstraling of inwendige verlichting.

Eén dynamisch lichtbord ten behoeve van meerdere bedrijven kan een betere uiting zijn van het ruimtelijk beeld dan een bos van logo's, voor zover het lichtbord geen bijkomende boodschappen communiceert. Een gezamenlijke totem binnen een bedrijvenpark is wellicht ook een betere optie, dan een individuele bewegwijzering.

De plaatsing op alleenstaande borden of totems kan bij voorkeur enkel als er geen ander middel is om de zakelijke activiteit bekend te maken met een plaatsing op minstens 1 meter van de rooilijn en minstens 2 meter van de perceelsgrenzen. Een gezamenlijk initiatief van meerdere zaken/bedrijven op één totem leidt in vele gevallen tot een fraaiër straatbeeld. In zeer uitzonderlijke gevallen kan een totem ook toegestaan worden in het kernwinkelgebied mits op geen enkele andere manier voldoende visibiliteit gecreëerd kan worden zoals het geval bij winkelgalerijen met een zeer beperkte gevelbreedte."

Artikel 38 Groendaken

"1. Het is verplicht om nieuwe daken van meldings- en vergunningsplichtige constructies aan te leggen als een groendak, indien deze daken een helling hebben van minder dan 15° en een oppervlakte hebben van ten minste 20 vierkante meter.

Een groendak is een dak bedekt met vegetatie en een aantal onderliggende lagen die nodig zijn voor de ontwikkeling van deze vegetatie en de opslag van regenwater. Zowel vanuit duurzaamheid als vanuit beeldkwaliteit heeft een groendak een aantal belangrijke voordelen ten opzichte van een gewoon dak. Ze zorgen voor een kleinere hoeveelheid afgevoerd regenwater en beperken gelijktijdig het piekdebiet bij stortbuien. Ook verminderen ze het "urban heat island" effect en werken ze als (extra) dakisolatie. Door hun groene karakter zijn ze aangenamer om op te kijken en verhogen ze de biodiversiteit. Omwille van deze positieve effecten is het verplicht om alle platte daken ten minste als extensief groendak aan te leggen.

Er bestaat een onderscheid tussen intensieve (daktuinen) en extensieve (vegetatiedaken) groendaken.

Intensieve groendaken bestaan uit grassen, kruiden, struiken of zelfs bomen. Die daken kunnen het best vergeleken worden met gewone tuinen, zowel qua uitzicht als onderhoud en gebruik. Ze kunnen zelfs gebruikt worden als moestuin of ingezet worden voor stadslandbouw. De intensieve begroeiing van dergelijke daken vraagt om een voldoende dikke substraatlaag en een aangepaste, betreedbare constructie. Intensieve daktuinen bufferen meer dan 50 liter neerslag per vierkante meter dakoppervlakte.

Extensieve groendaken hebben slechts een lichte begroeiing, vergelijkbaar met een rotsbegroeiing. Er wordt gebruik gemaakt van mossen, vetplanten en kruiden. Daardoor is het onderhoud gering. De substraatlaag (en meestal ook vegetatielaag) is dunner dan bij een intensief groendak en de belasting geringer. Dit type groendak is daarom vooral aangewezen bij renovaties. Wel moet de bestaande dakstructuur het totale gewicht van het groendak bij maximale verzadiging, aankunnen. Is dat niet zo, dan moet men de dakstructuur aanpassen.

Voor een groendak of rieten dak zijn soms speciale voorzieningen (zoals filter of voorbehandeling) nodig wanneer het afgevoerde water wordt opgevangen in een hemelwaterput. Daarenboven vloeit er een veel kleinere hoeveelheid regenwater naar de hemelwaterput. Daarom heeft het weinig zin om de afwatering ervan verplicht aan te sluiten aan de hemelwaterput. Groendaken zijn verplicht bij "nieuwe daken" van gebouwen. Dat zijn daken waarbij de hele constructie van het dak nieuw wordt aangelegd en dit zowel bij nieuwbouw, herbouw of renovatie. Glazen daken en dakherstelings- of instandhoudingswerken van bestaande daken vallen niet onder dit artikel.

2. In afwijking van §1 moet het dak van ruimten waarvan het plafond zich bevindt onder het aangrenzende maaiveld, voorzien worden van een grondlaag met een dikte van minimaal 1 meter, tenzij een gelijkwaardig groenplan met plantgaten wordt voorgelegd.

3. Indien op het dak energieopwekkende systemen, zoals zonnepanelen of -collectoren, geplaatst worden, of een dakterras aangelegd wordt, dan vervalt de verplichting om een groendak te plaatsen voor de oppervlakte die deze voorzieningen innemen op het dak.

Energieopwekkende systemen en dakterrassen zijn perfect te combineren met een groendak. Studies hebben aangetoond dat een combinatie van zonnepanelen met groendaken elkaar zelfs in positieve zin beïnvloeden. Deze combinatie zorgt echter voor een dubbele investering (zowel de aanleg van het groendak als de aankoop van het energiesysteem). Omwille van deze financiële gevolgen neemt de bouwcode deze uitzondering op de verplichting van een groendak op. Uiteraard is het steeds aan te bevelen om ook in deze gevallen een groendak te voorzien.

4. Daken van constructies en gebouwen waarvan de vergunning in tijd beperkt is zijn vrijgesteld van dit artikel.

5. Bij eengezinswoningen is een groendak niet verplicht indien de dakwaterafvoer naar een hemelwaterput is voorzien.

De bouwcode voorziet een afwijking op de verplichting van groendaken bij eengezinswoningen omdat de voordelen van hergebruik in deze gevallen meestal niet opwegen tegen de voordelen van groendaken.

In andere projecten is een afwijking mogelijk op basis van artikel 3 van deze bouwcode. Deze afwijking moet gemotiveerd worden aan de hand van een waterbalans waarbij aangetoond wordt dat het hergebruik van regenwater een belangrijke troef betekent voor het te vergunnen gebouw. Dit zal voornamelijk het geval zijn bij weinig compacte gebouwen met grote platte daken en een hoge bezettingsgraad, zoals een school.

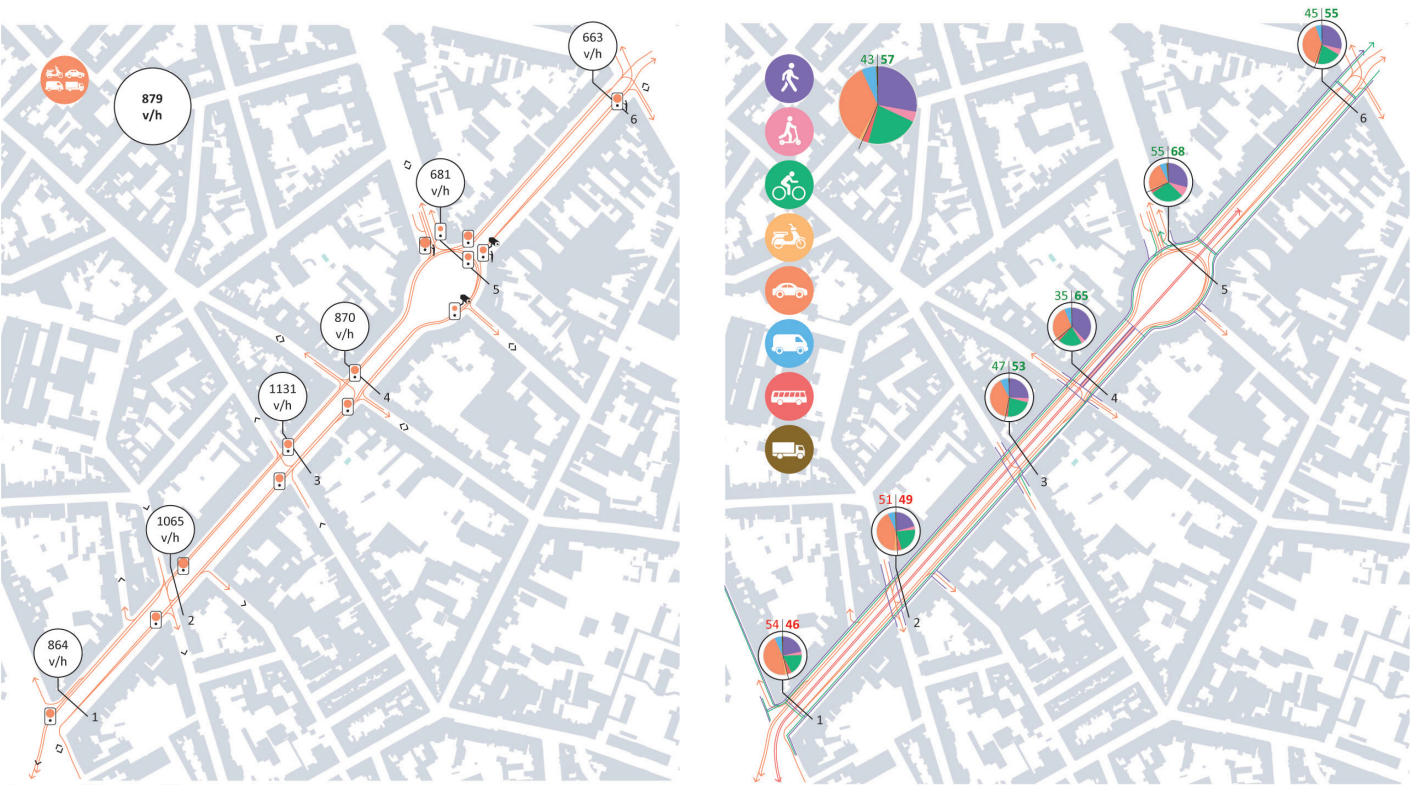
6. Blinde gevels en wachtgevels van hoofdgebouwen moeten voorzien worden van gevelbegroeiing.

Een verticale gevelbegroeiing biedt voor een groot deel dezelfde voordelen als een groendak, met name een vermindering van het hitte-eilandeffect, een verhoging van de beeldkwaliteit en biodiversiteit,...

De aanplantingen dienen bij voorkeur te gebeuren met inheems of autochtoon plantgoed."

BIJLAGE 3 | VERKEERSINTENSITEIT & MODAL SPLIT

Figuur 169: De analyse-kaarten welke de verkeersintensiteit en de modal split weergeven, met nummering van de meetpunten 1-6



Tabel 9: De berekende verkeersintensiteit tijdens twee spitsmomenten op donderdag 24 maart 2022

Verkeersintensiteit	v/10min.	
	7u45 - 9u15	16u30 - 18u
1	108	180
2	169	186
3	163	214
4	152	138
5	91	136
6	83	138

Verkeersintensiteit	v/h		Gemiddelde
	7u45 - 9u15	16u30 - 18u	
1	648	1080	864
2	1014	1116	1065
3	978	1284	1131
4	912	828	870
5	546	816	681
6	498	828	663
Gemiddelde	766	992	879

Tabel 10: De berekende Modal Split tijdens twee spitsmomenten op donderdag 24 maart 2022

Modal split		7u45 - 9u15 /10min.		Fiets	Scooter	Auto	Bestelwagen	OV	Vrachtwagen
		Voetganger	Step						
		1	44	6	36	6	79	14	8
		2	40	6	70	8	120	24	13
		3	94	16	110	2	119	31	8
		4	138	12	112	2	123	19	10
		5	58	35	107	2	66	11	1
		6	13	3	37	3	66	9	4
		Gemiddelde	65	13	79	4	96	18	7

Modal split		16u30 - 18u /10min.		Fiets	Scooter	Auto	Bestelwagen	OV	Vrachtwagen
		Voetganger	Step						
		1	68	8	56	2	156	18	12
		2	96	12	72	8	156	16	10
		3	108	12	66	4	180	26	8
		4	170	14	56	4	106	28	12
		5	146	20	92	2	98	30	18
		6	124	20	58	4	116	16	2
		Gemiddelde	119	14	67	4	135	22	10

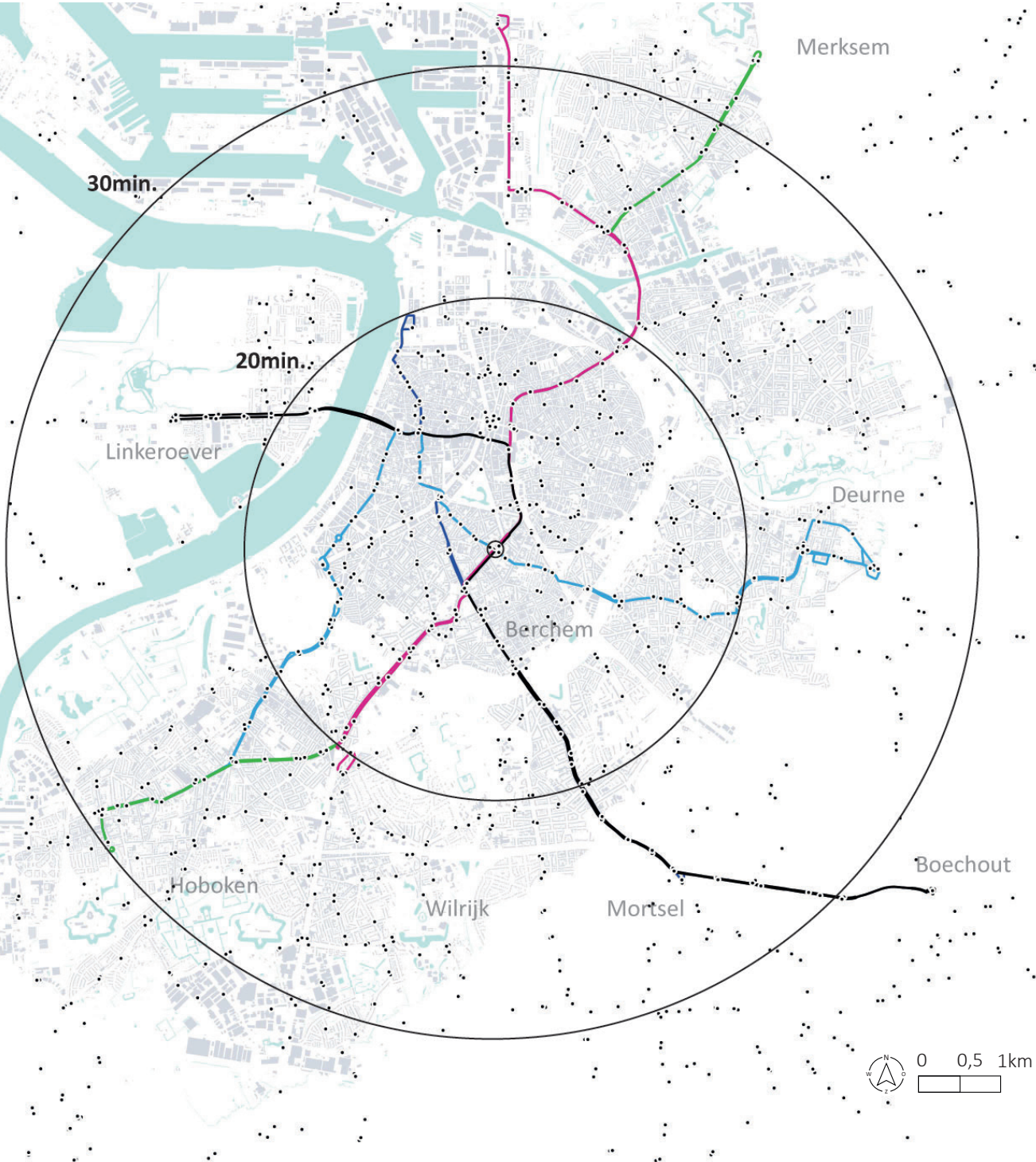
Modal split		7u45 - 9u15 /h		Fiets	Scooter	Auto	Bestelwagen	OV	Vrachtwagen
		Voetganger	Step						
		1	264	36	216	36	474	84	48
		2	240	36	420	48	720	144	78
		3	564	96	660	12	714	186	48
		4	828	72	672	12	738	114	60
		5	348	210	642	12	396	66	6
		6	78	18	222	18	396	54	24
		Gemiddelde	387	78	472	23	573	108	44

Modal split		16u30 - 18u /h		Fiets	Scooter	Auto	Bestelwagen	OV	Vrachtwagen
		Voetganger	Step						
		1	408	48	336	12	936	108	72
		2	576	72	432	48	936	96	60
		3	648	72	396	24	1080	156	48
		4	1020	84	336	24	636	168	72
		5	876	120	552	12	588	180	108
		6	744	120	348	24	696	96	12
		Gemiddelde	712	86	400	24	812	134	62

Gem. Modal split		/h		Fiets	OV	Scooter	Auto	Bestelwag	Vrachtwagen
		Voetganger	Step						
		1	336	42	276	60	24	705	96
		2	408	54	426	69	48	828	120
		3	606	84	528	48	18	897	171
		4	924	78	504	66	18	687	141
		5	612	165	597	57	12	492	123
		6	411	69	285	18	21	546	75
		Gemiddelde	550	82	436	53	24	693	121

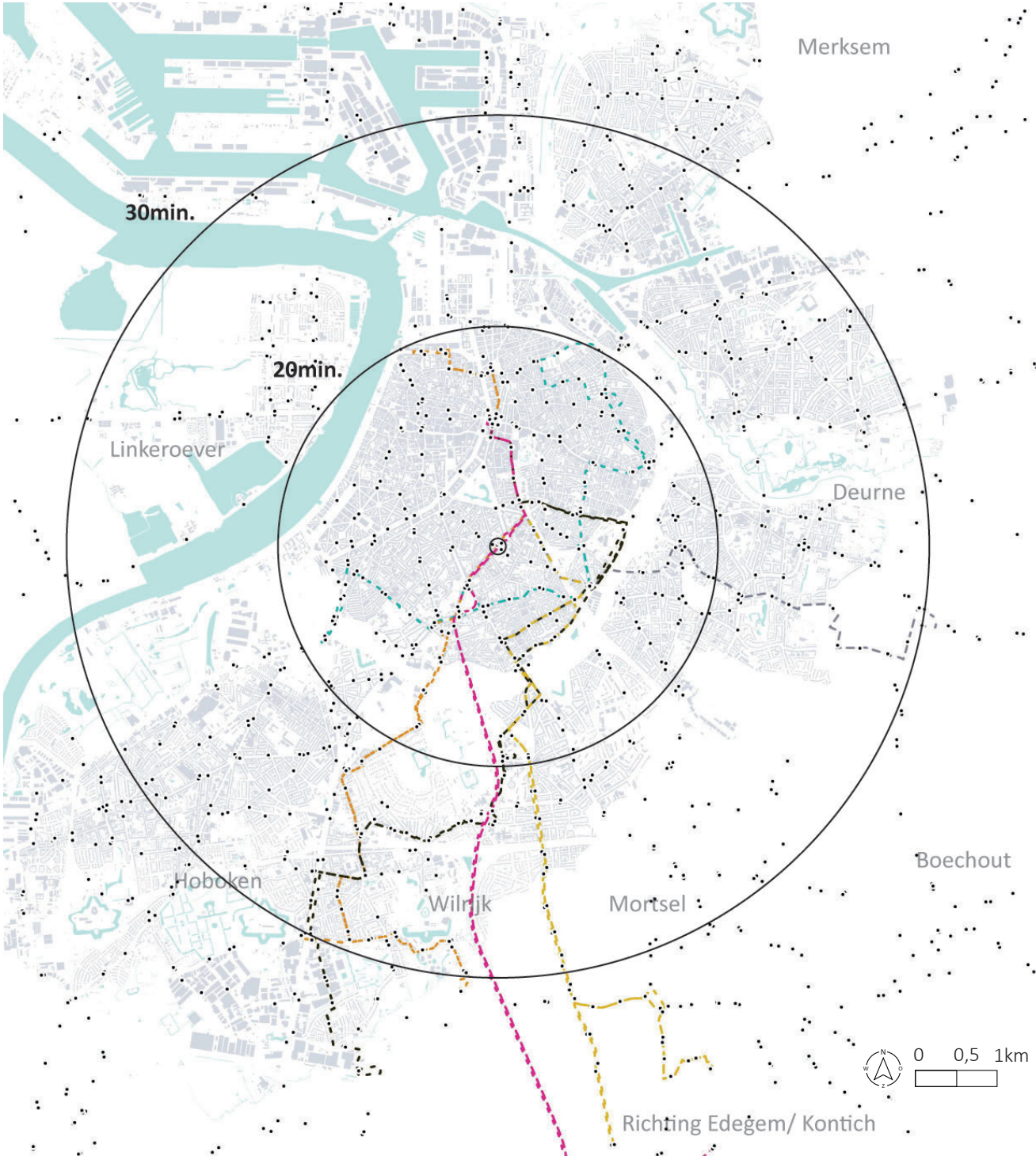
Gem. Modal split					
	Groen	Uitstoot	SOM	Groen%	Uitstoot%
1	714	834	1548	46%	54%
2	957	1008	1965	49%	51%
3	1266	1101	2367	53%	47%
4	1572	861	2433	65%	35%
5	1431	660	2091	68%	32%
6	783	645	1428	55%	45%
	1120,5	851,5	1972	57%	43%

BIJLAGE 4 | OPENBAAR VERVOER OP MACRONIVEAU



Figuur 170: De bereikbaarheid (zonder overstappen) en de reistijd van de trams welke op of nabij de Belgiëlei stoppen, schaal 1:75.000 (Vlaamse Overheid, 2022; Vlaamse Vervoersmaatschappij De Lijn, 2022)

- TRAM**
- 2** P+R Merksem- Hoboken
 - 6** P+R Luchtbal- P+R Olympiade
 - 15** Regatta- P+R Boechout
 - 4** Hoboken- Groenplaats- Silsburg
 - 7** Eilandje- Mortsels



Figuur 171: De bereikbaarheid (zonder overstappen) en de reistijd van de bussen welke op of nabij de Belgiëlei stoppen, schaal 1:75.000 (Vlaamse Overheid, 2022; Vlaamse Vervoersmaatschappij De Lijn, 2022)

- BUS**
- 17** Brouwersvliet- Centraal Station- UZA
 - 20** Rooseveltplaats- Berchem- Borsbeek
 - 21** Neerland- Middelheim- Rooseveltplaats
 - 32** Rooseveltplaats- Berchem Station- Edegem
 - 191** Snelbus Antwerpen- Kontich- Rumst
 - 30** Stuivenberg- Berchem Station - Station Zuid

BIJLAGE 5 | TOOLS I.F.V. DE WINDRICHTING

Tabel 11: De toepassing van de verschillende tools voor pollutie-captatie in functie van de dominante windrichting

	LOODRECHT	PARALLEL	ALGEMEEN
CAPTATIE			
Aanplanten bomen	> plaatsing één zijde; windwaarts + grootste captatie-effect + reductie conc. op voetgangersniveau (Zhang, Zhang, Feng, Tian, & Gao, 2021)	> symmetrische plaatsing rijen + gelijke captatie polluenten (Zhang et al., 2021)	> symmetrische dubbele bomenrij > windwaartse, enkele bomenrij > aan druk bevolkte plekken +grootste captatie-effect
Aanplanten struiken	> centrale haag midden in street canyon + reductie conc. op voetgangers-niveau windwaartse zijde (Zhang et al., 2021)	> symmetrische plaatsing struiken aan beide zijden > centrale, benedenwindse struik + grootste captatie-effect + reductie conc. op voetgangersniveau + reductie hittestress (EPA, 2008; Zhang et al., 2021)	> symmetrische plaatsing struiken aan beide zijden > centrale, benedenwindse struik > aan druk bevolkte plekken + grootste captatie-effect + reductie conc. op voetgangersniveau + reductie hittestress
Aanplanten verticaal groen	> verticaal groen op windwaartse zijde + extra captatie (Depauw et al., 2018)		> aanplanting verticaal groen + extra captatie

Tabel 12: De toepassing van de verschillende tools voor blootstellings-reductie in functie van de dominante windrichting

	LOODRECHT	PARALLEL	ALGEMEEN
BLOOTSTELLING			
Aanplanten bomen	> aanplanting één zijde; lijwaarts > lage porositeit (diepe street canyon) + reductie blootstelling op voetgangersniveau (Kumar, Abhijith, & Barwise, 2019; Zhang et al., 2021)	> aanplanting één zijde + lagere PM-conc. voetgangersniveau SCHUIN > aanplanting één zijde > hogere porositeit + minder blootstelling dan 2 rijen - hogere conc. dan zonder bomen (Abhijith & Gokhale, 2015; Zhang et al., 2021)	> aanplanting één zijde > lage densiteit/ hoge porositeit > lage plant-dichtheid (0,5 of opening gelijk aan de kroonbreedte) > medium grootte + reductie blootstelling (voetpaden) (Abhijith & Gokhale, 2015; Zhang et al., 2021)
Aanplanten struiken	> centrale haag + efficiëntere reductie blootstelling (tot 40%) (Kristóf & Papp, 2018; McNabola, Broderick, & Gill, 2009)	> symmetrische plaatsing struiken aan beide zijden > centraal geplaatste struik benedenwinds + reductie concentraties op voetgangersniveau	> niet-poreuze haagkanten > continue hagen > symmetrische plaatsing struiken aan beide zijden > centrale, benedenwindse struik > plaatsing bij autokant > plaatsing voor bomen (t.o.v. weg) > hoogte 0,9-2m > breedte 1,5m of meer (Y. Huang et al., 2021; Kumar et al., 2019; McNabola et al., 2009; Zhang et al., 2021)
Parking	> parallel parkeren	> parallel parkeren	> parallel parkeren

Tabel 13: De toepassing van de verschillende tools voor pollutie-ventilatie in functie van de dominante windrichting

	LOODRECHT	PARALLEL	ALGEMEEN
VENTILATIE			
Aanplanten bomen	> geen bomen - verslechteren luchtkwaliteit (Y. Huang et al., 2021; Zhang et al., 2021)	> symmetrische plaatsing bomenrijen + positief effect op luchtkwaliteit + gelijke spreiding polluenten (Y. Huang et al., 2021; Zhang et al., 2021)	> soorten met hoge kroonporositeit, lage LAD en lage stamhoogte > aanplanten aan lage dichtheid > vermijden grote kroonvolumes > voldoende ruimte tussen bomen onderling en bebouwing voorzien > beperken boomhoogte tot onder de daken van de bebouwing + verbeteren comfort (tegen windsnelheid) (Depauw et al., 2018; Voordeckers, Lauriks, et al., 2021)
Aanplanten struiken	> geen struiken - verhelpt neerslag windwaartse zijde niet (vortex) (Zhang et al., 2021)	> symmetrische plaatsing + verhoogd dynamica + gelijke spreiding polluenten (Jeanjean, Buccolieri, Eddy, Monks, & Leigh, 2017; Zhang et al., 2021)	> vermijden waar wind aan bron gedempt wordt > vermijden aan parkeerplaatsen (blijven hangen pollutie) + verzekerd ventilatie (Depauw et al., 2018; Voordeckers, Lauriks, et al., 2021)
Variatie bouwhoogte	> step-up street canyon + een divergente luchtstroom zorgt voor een verversing van de ventilatie binnen de street canyon (Miao et al., 2020; Ming et al., 2018; Voordeckers, Lauriks, et al., 2021)		> step-up street canyon > geïsoleerde inkepingen in daken > benedenwindse hoogbouw + divergente, verse luchtstromen (down-washing) + turbulentie (Gu, Zhang, Cheng, & Lee, 2011; Li et al., 2020)
Setback	> volledige verticale setback aan lijwaartse zijde (AR<2) > volledige horizontale setback (AR>2) > gedeeltelijke horizontale setback op dak-niveau > getrapd dak + verbetering luchtstroming + verbeterde luchtkwaliteit op niveau van de voetganger (AR>2) (Ine, 2009; Ng & Chau, 2014)	> geen setbacks > geen laterale reclameborden > geen overhangende balkons - verhinderen dominante luchtstroom - verhogen blootstelling grondniveau (Ng & Chau, 2014)	> geen laterale reclameborden > geen overhangende balkons > geen setbacks of > volledige verticale setback aan lijwaartse zijde (AR<2) > getrapte daken + verbetering luchtstroming
Dakvorm	> windwaarts schuin dak > step-up zadeldak > afwaarts schuin dak > bovenwinds schuin dak binnen UCL > benedenwinds schuin dak boven UCL > naar buiten hellende daken > step-up (lijwaarts) zadeldak + geen trapeziumvormig dak + geen gewelfd dak + geen windafwaarts schuin dak + geen inwaarts schuin dak + geen step-down (windwaarts) zadeldak + turbulentie + pollut-dispersie (Abdulsahab & Kumar, 2010; Rafailidis & Schatzmann, 1996; Takano & Moonen, 2013; Voordeckers, Lauriks, et al., 2021; Xie, Huang, Wang, & Xie, 2005)	Onvoldoende onderzocht	> niet-plat dak (AR<1) > zadeldak (deelparameters; dakhoogte/ gebouwhoogte van 1/6, 18° of AR=0,5) > windafwaarts schuin dak > step-up zadeldak > afwaarts schuin dak > naar buiten hellende daken + turbulentie + pollut-dispersie + enkele luchtvortex-structuur (Llaguno-Munitxa, Bou-Zeid, & Hultmark, 2017)
Permeabiliteit	> voids > combinatie van voids tot één dwarse stroming + grootste effecten bij loodrechte windrichting (Yang, Gao, Zhong, & Kang, 2016)	Onvoldoende onderzocht > geen voids > voids met horizontaal element - voids onderbreken channeling flow/ trekken vervuilde lucht naar binnengebied bouwblok (Ai & Mak, 2018; Ng & Chau, 2014)	> combi voids tot 1 dwarse stroming > voids met horizontaal element > drempelwaarde max. 20% in steden > drempelwaarde max. 10% bij AR<2 - voids op grondniveau nadelig voor comfort + toelevering van frisse lucht + vernietigen van dubbele vortex-structuren + verhogen lucht-uitwisseling (van Druenen, Van Hooff, Montazeri, & Blocken, 2019; Voordeckers, Lauriks, et al., 2021; Yang et al., 2016)

BIJLAGE 6 | RANGSCHIKKING VEGETATIESOORTEN

Tabel 14: Rangschikking van vegetatiesoorten naar geschiktheid voor een gemixte toepassing van de verschillende tools, met inbegrip van de karakteristieken en afmetingen (Van Den Berk Boomkwekerijen, z.d.), de pollenvriendelijkheid (Gezondheid NV, 2019), afzetting (Depauw et al., 2018) en schaduwtolerantie (Inverde & OC-ANB, 2022)

In-/Uitheems	Categorie	Soort	Porositeit	Max. H	Max. B	Vorm	Hooikoorts	PM ₁₀	NO ₂ , NO	O ₃	VOS
	i Loofboom	Appelboom	half open	9	10	rond	PV	2	3	3	1
	i Loofboom	Lijsterbes	half open	12	10	ovaal	PV	2	3	3	1
	i Loofboom	Winterlinde	half open	30	>15	ovaal	PV-PO	2	3	3	1
	i Naaldboom	Grove den	half open	40	>15	rond	PV	3	1	1	1
	i Loofboom	Zomereik	half open	40	>15	rond	PV	1	3	3	3
	i Loofboom	Populier	half open	30	>15	rond	PO	2	3	3	3
	i Loofboom	Schietwilg	half open	30	>15	ovaal	PO	2	3	3	3
	i Loofboom	Plataan	half open	35	>15	rond	PV-PO	2	3	3	3
	i Loofboom	Gewone es	half open	40	>15	rond	PO	1	3	3	0
	i Loofboom	Ruwe berk	half open	20	10	ovaal	PO!	2	3	3	1
	i Loofboom	Zwarte els	half open	20	10	ovaal	PO!	1	3	3	0
	i Loofboom	Paardenkastanj	dicht	30	>15	rond	PV-PO	2	3	3	0
	i Loofboom	Gewone esdoor	dicht	40	15	ovaal	PV	1	3	3	0
	i Loofboom	Iep	dicht	40	>15	ovaal	PV	2	3	3	1
	i Loofboom	Els	dicht	20	10	ovaal	PO!	2	3	3	0
	i Loofboom	Beuk	dicht	15	10	ovaal	PO	2	3	3	0
	i Loofboom	Haagbeuk	dicht	20	10	ovaal	PO	2	3	3	0

In-/Uitheems	Categorie	Soort	Porositeit	Max. H	Max. B	Vorm	Hooikoorts	PM ₁₀	Afzetting NO ₂ , NO	O ₃	Emissie VOS	Licht
	i Haag	Ligusterhaag	dicht	4	/	snoeivorm	PV	2	3	3	1	LS
	i Haag	Beukenhaag	half open	1,5	/	snoeivorm	PO	2	3	3	0	LS
	i Haag	Haagbeuk	half open	3	/	ovaal	PO	2	3	3	0	LS

In-/Uitheems	Categorie	Soort	Porositeit	Max. H	Max. B	Vorm	Hooikoorts	PM ₁₀	Afzetting NO ₂ , NO	O ₃	Emissie VOS	Licht
u Heester		Struikganzerik	dicht	1	/	rond	PV	2	2	2	2	LS
u Heester		Zuurbes Amstel	dicht	1	/	rond	PV	1	1	0	0	LS
u Heester		Blauwe hult	dicht	4	/	rond	PV	2	3	3	0	SL
u Heester		Mahoniestruik	dicht	2,5	/	ovaal	PV	2	2	2	1	LS
u Heester		Klimop	dicht	1,5	/	snoeivorm	PO	1	2	2	0	SL
u Heester		Spierstruik	dicht	1,5	/	rond	PO	2	1	1	0	LS
u Heester		Struikkamperfo	dicht	0,5	/	snoeivorm	PO	1	1	1	0	SL
u Heester		Struikkamperfo	dicht	0,5	/	snoeivorm	PO	2	2	2	3	SL
u Heester		Dwergkwee	half open	1	/	rond	PV	2	2	2	0	SL
u Heester		Kardinaalsmuts	half open	4	/	ovaal	PV	2	2	2	0	SL
u Heester		Krentenboom	half open	6	/	ovaal	PV	2	2	2	1	SL
u Heester		Stamroos	open	1,2	/	rond	PV	1	2	2	1	L
u Heester		Boomhazelaar	half open	20	/	ovaal	PO	1	3	3	0	LS

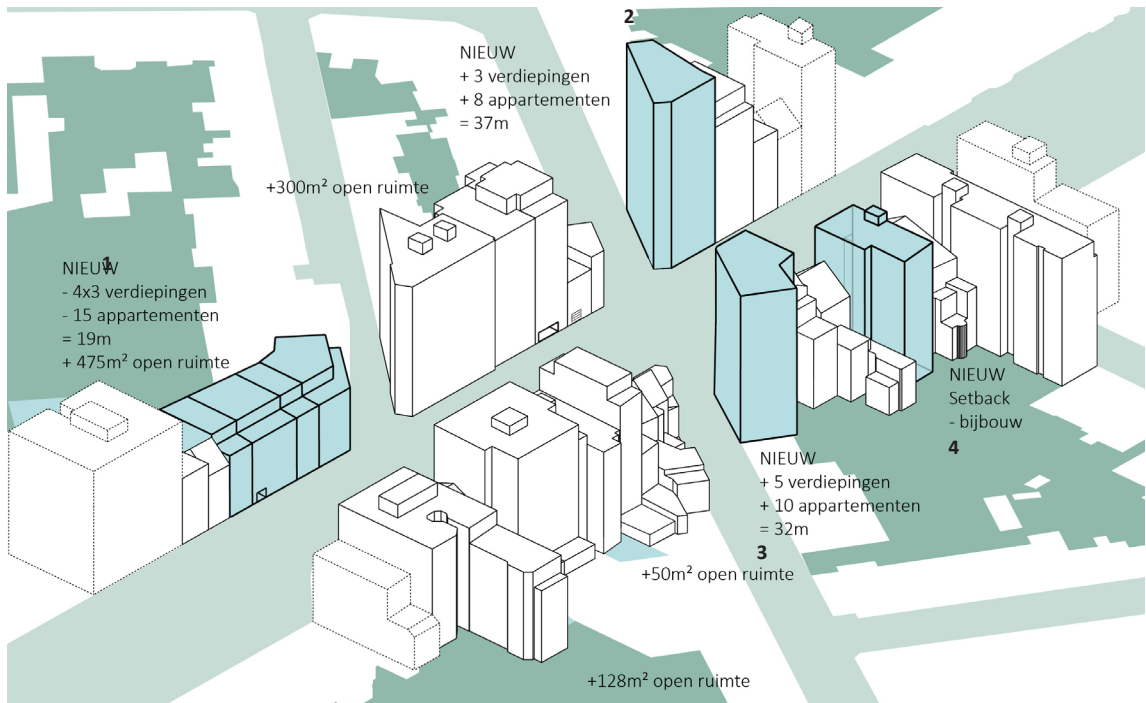
In-/Uitheems	Categorie	Soort	Porositeit	Max. H	Max. B	Vorm	Hooikoorts	PM ₁₀	Afzetting NO ₂ , NO	O ₃	Emissie VOS	Licht
i Klimplant		Klimop	dicht	1,5	/		PO	3	1	1		LS
i Klimplant		Kamperfoelie	dicht	0,5	/		PO	1	2	2		LS
i Klimplant		Wilde wingerd	Half open	30	10		PV	1	2	2		LS
i Klimplant		Blauwe regen	Half open	15	40		PO	1	2	2		L
i Klimplant		Clematis	Dicht	6	2		PV	1	1	1		LS

BIJLAGE 7 | GEWIJZIGDE OPPERVLAKTEN PER SCENARIO

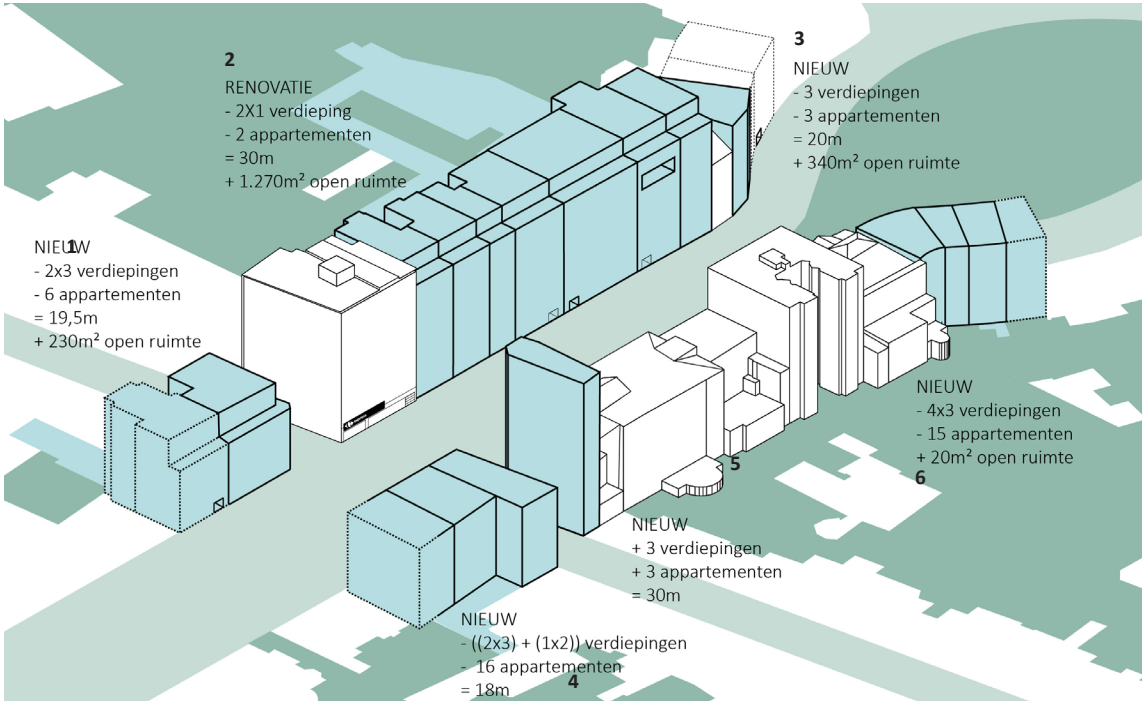
Tabel 15: De geschatte gewijzigde oppervlaktes (en volumes) aan parkeerplaatsen en groen per scenario en per sectie

SECTIE 1					
Oppervlakte (m ²)	2022	Scenario1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Parkeerplaatsen	280	290	66	334	298
Groen (open ruimte)	757	1035	1028	837	664
Groen (dak)	0	0	4221	0	807
Groen (beplanting)	0	743	112	420	216
Groen (beplanting dak)	0	0	718	0	424
Groen (som open)	757	1035	5249	837	1471
Groen (som beplanting)	0	743	830	420	640
Volume (m ³)					
Groen (bomen)	51336	51336	16500	7000	12076
Groen (beplanting)	0	1114,5	1976	840	944
Groen (som)	51336	52450,5	18476	7840	13020
Vershil		1114,5	-32860	-43496	-38316

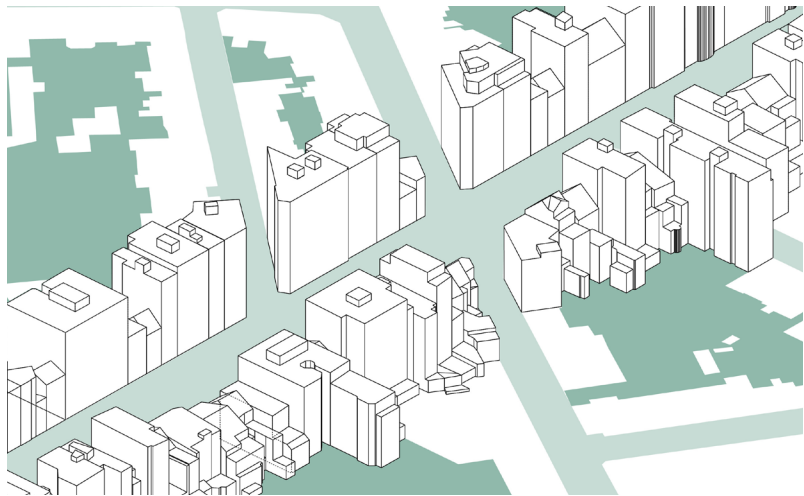
SECTIE 2					x
Oppervlakte (m ²)	2022	Scenario1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Parkeerplaatsen	108	0	71	216	84
Groen (open ruimte)	352	690	986	752	846
Groen (dak)	0	0	5218	0	736
Groen (beplanting)	218	646,5	113	686	527
Groen (beplanting dak)	0	0	105	0	0
Groen (som open)	352	690	6204	752	1582
Groen (som beplanting)	218	646,5	218	686	527
Volume (m ³)					
Groen (bomen)	1536	67836	3375	7000	8050
Groen (beplanting)	30	969,75	802	1372	1054
Groen (som)	1566	68805,75	4177	8372	9104
Vershil		67239,75	2611	6806	7538



Figuur 172: De aangebrachte wijzigingen aan de bebouwing binnen scenario 2.1

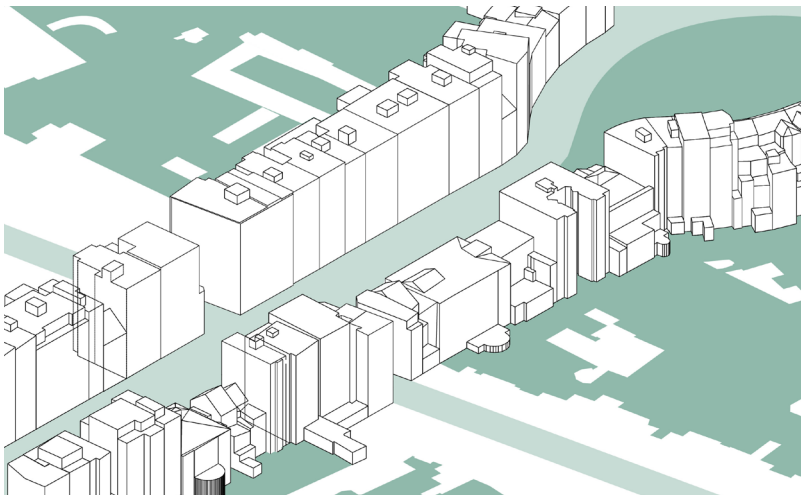


Figuur 174: De aangebrachte wijzigingen aan de bebouwing binnen scenario 2.2



Figuur 173: De oorspronkelijke bebouwing binnen de eerste sectie (links naar rechts, 2022)

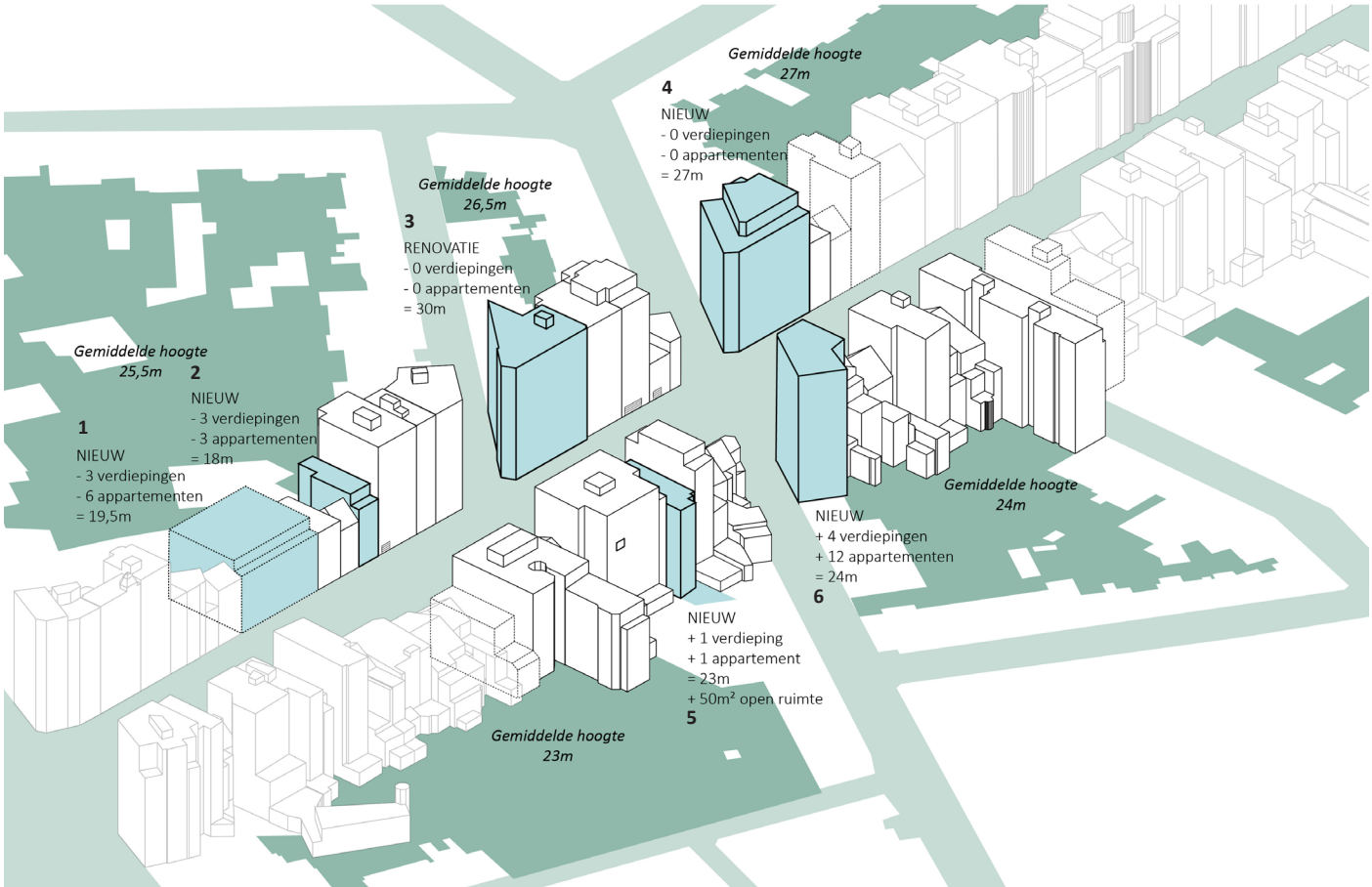
- 1: Belgiëlei 188-180
1956 | 1965 | 1967 | 1964
- 2: Belgiëlei 158
1926
- 3: Haringrodestraat 17-19
1914
- 4: Belgiëlei 161
1964



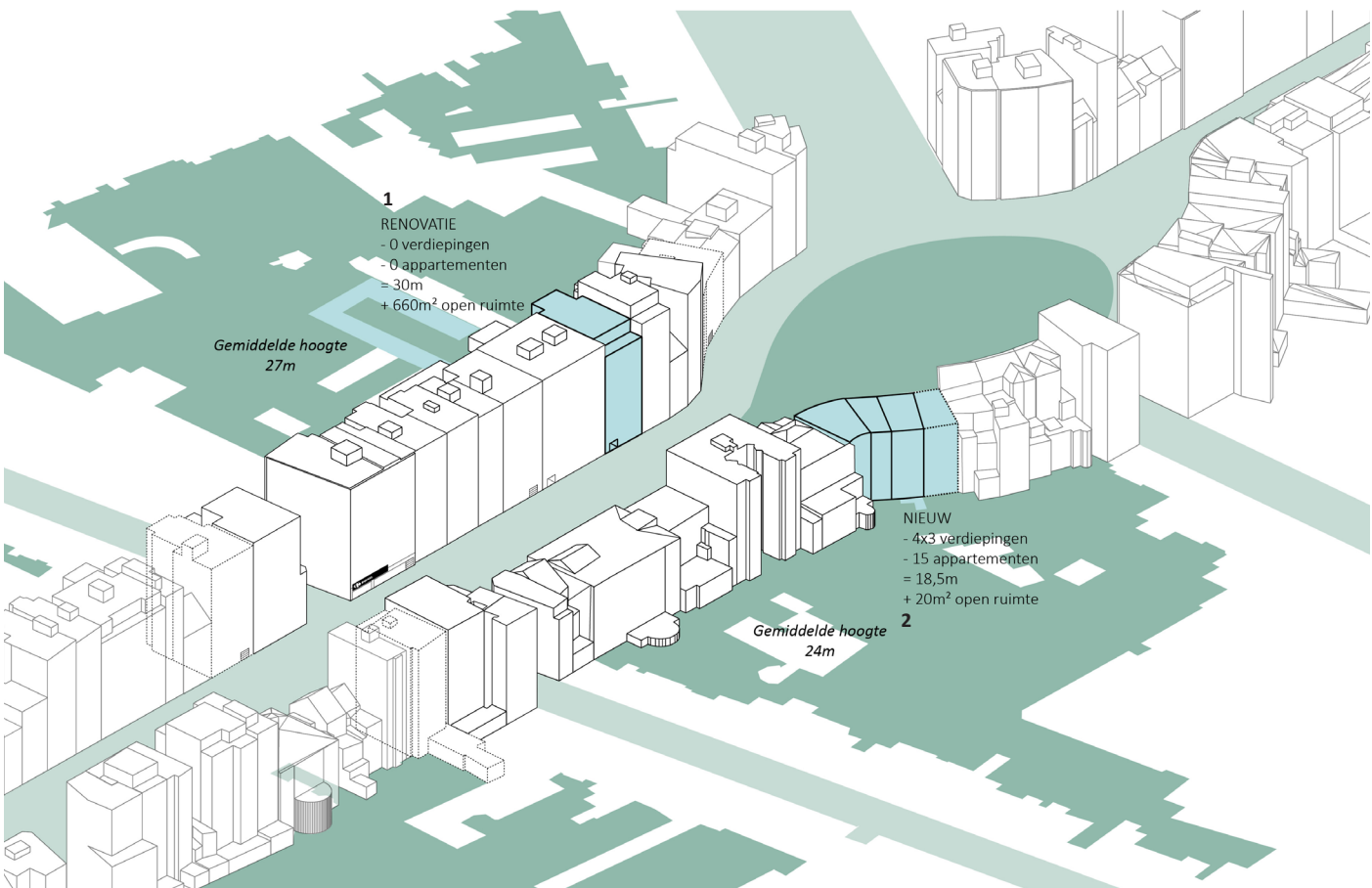
Figuur 175: De oorspronkelijke bebouwing binnen de tweede sectie (links naar rechts, 2022)

- 1: Belgiëlei 112-108
1966 | 2006
- 2: Belgiëlei 102-90
2007 | 2010 | 1964 | 1986
| 1967 | 1958 | 1968
- 3: Belgiëlei 84
1963
- 4: Belgiëlei 109-103
1956 | 1967 | 1929
- 5: Lange Leemstraat 221
1978
- 6: Belgiëlei 87-81
1959 | 1957 | 1961 | 1957

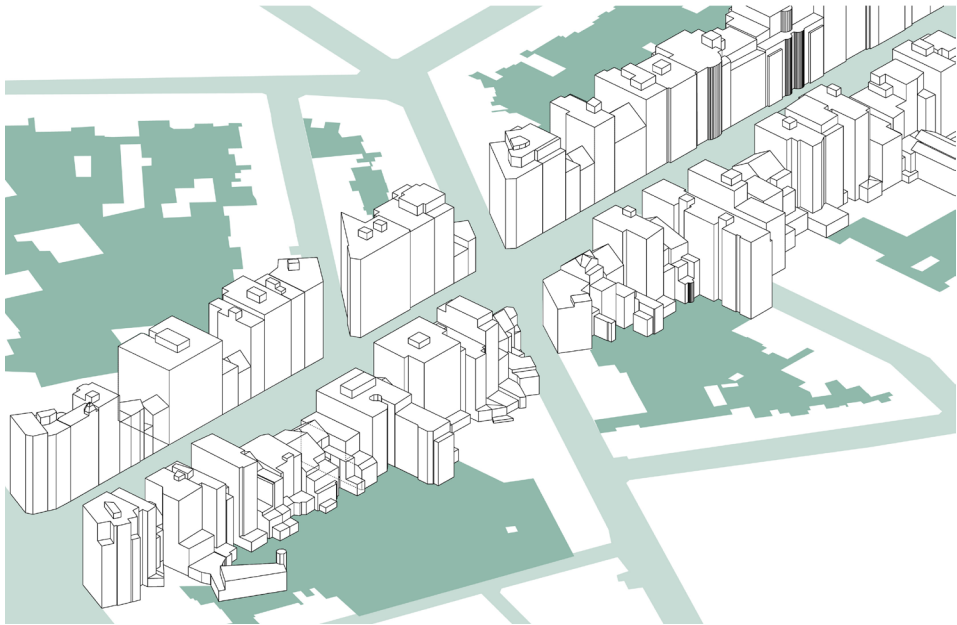
Scenario 4



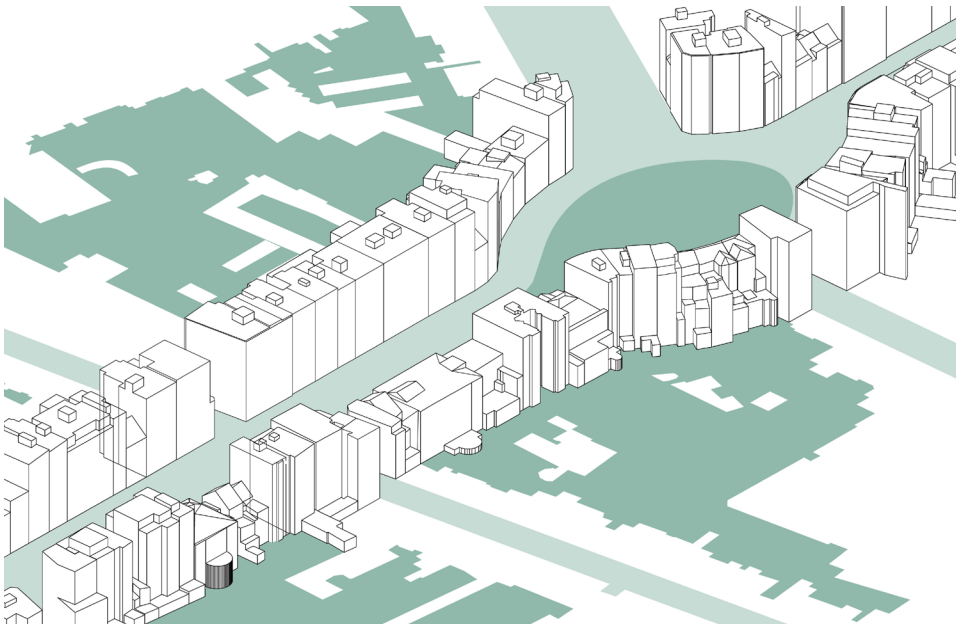
Figuur 176: De aangebrachte wijzigingen aan de bebouwing binnen scenario 4.1, in relatie tot de onmiddellijke omgeving



Figuur 178: De aangebrachte wijzigingen aan de bebouwing binnen scenario 4.2, in relatie tot de onmiddellijke omgeving



Figuur 177: De oorspronkelijke bebouwing binnen de eerste sectie (links naar rechts, 2022)



Figuur 179: De oorspronkelijke bebouwing binnen de tweede sectie (links naar rechts, 2022)

BIJLAGE 9 | BIJDRAGE PER SCENARIO

Scenario 1

Tabel 16: De subjectieve beoordeling van de bijdrage van scenario 1 voor de Belgiëëlei

Parameters	Score	Argumentatie
Prioriteiten		Aantal rijbanen afstemmen op verkeersintensiteit Meer (toegankelijke) groene ruimte creëren Meerdere niveaus aan groen voorzien
Opgeloste knelpunten		+ Meer ruimte voor verschillende soorten fietsers + Meer groen voor captatie + Meer toegankelijk groen + Meer biodiversiteit
Verbetering luchtkwaliteit	++	+ Paardenkastanje stoot geen VOS uit, t.o.v. plataan + Beukenhaag, boomhazelaar en struikkamperfoelie kunnen efficiënt NO _x en O ₃ opnemen + Klimop kan zeer efficiënt PM ₁₀ opnemen - Dicht bladerdek verminderd de ventilatie en polluenten blijven hangen - Gras is niet effectief voordelig voor captatie - Twee rijbanen per rijrichting houden verkeer en uitstoot in stand
Vermindering blootstelling	+	+ Dicht struikgewas houdt polluenten het best tegen + Struikgewas wordt best nabij de vervuiler of centraal geplaatst + Parallelle parkeerplaatsen vormen ook een prima barrière - Er wordt geen expliciete aandacht besteed aan blootstelling - De hagen en parkeerplaatsen zijn niet continue aangeplant/ bezet
Haalbaarheid - Algemeen	+	+ Ingrepen enkel op het publiek domein dus beperkte tijdshorizont + Het gemotoriseerd verkeer wordt minimaal verstoord - Beheer is intensiever, bv. boomhazelaar moet geknot worden want deze kan tot 20m hoog worden, haagbeuk en beukenhaag jaarlijks gesnoeid
Haalbaarheid - Planningscontext	+++	+ Ingrepen enkel op het publiek domein dus geen schending van voorschriften + Respect voor verbindingsfunctie als ‘secundaire weg’ (RSPA) en ‘boulevard’ + Breedte-normen van Fietsmaat, s-RSA en VVW worden gerespecteerd
Leefbaarheid & comfort	+	+ Er is meer toegankelijke groene ruimte (bv. om hond uit te laten) + Er is meer passageruimte voor fietsers (per rijrichting) - Er wordt geen expliciete aandacht besteed aan blootstelling - Het fietspad ligt tussen de toegankelijke groene ruimte en het voetpad - Pollenonvriendelijke soorten als de hazelaar, haagbeuk en paardenkastanje triggeren hooikoorts, haagbeuk op tijd snoeien voorkomt wel het bloeien en produceren van pollen
Veiligheid	+/-	+ Er is meer passageruimte voor fietsers per rijrichting - Groen op meerdere niveaus kan voor minder zichtbaarheid zorgen
Bereikbaarheid	++	+ Respect voor verbindingsfunctie als ‘lokale weg’ (RSPA) en ‘boulevard’ + De wegingdeling blijft ongewijzigd en de tramhalte wordt gewaarborgd
Hitte-reductie	++	+ Groen reduceert hittestress: heesters en struiken verlagen de hittestraling + Grote bomen zorgen voor grootschalige schaduwvorming

Scenario 2

Tabel 17: De subjectieve beoordeling van de bijdrage van scenario 2 voor de Belgiëëlei

Parameters	Score	Argumentatie
Prioriteiten		Bebouwing en beplanting afstemmen op de optimale ventilatiezones Luchtstromen via open ruimte gebieden en Belgiëëlei begeleiden Bescherming tegen hoge windsnelheden op hot spots
Opgeloste knelpunten		+ Een betere natuurlijke ventilatie en zo minder luchtvervuiling
Verbetering luchtkwaliteit	++	+ Open bladerdek van bomen en heesters verzekerd luchtstroming... + Meer variatie in bebouwing verhoogd de turbulentie... + Step-up structuren bevorderen downwash-effecten... + ... en dit verbeterd de natuurlijke ventilatie, waardoor pollutent-concentraties worden verdund - Open bladerdek verminderd captatie van polluenten - Huidige wegingdeling houdt verkeer en uitstoot in stand
Vermindering blootstelling	-	+ De symmetrische wegingdeling geeft bij de dominante parallelle windrichting een gelijke verspreiding aan polluenten - Open en discontinue struikgewas houdt weinig polluenten tegen - Er wordt geen expliciete aandacht besteed aan blootstelling
Haalbaarheid - Algemeen	--	+ Ingrepen op het publiek domein zijn beperkt + Het gemotoriseerd verkeer wordt niet verstoord - Ingrepen gebeuren voornamelijk op privaat domein... - ...wat om nieuwe voorschriften omtrent bouwregels vraagt - ...wat toch tot een lange realisatie-horizont (min. 50 jaar) kan leiden - Beheer is intensiever, waar heesters en struiken laag gehouden moeten worden op de ‘rotonde’
Haalbaarheid - Planningscontext	--	+ Voor ingrepen op het publiek domein is geen schending van voorschriften + Respect voor verbindingsfunctie als ‘secundaire weg’ (RSPA) en ‘boulevard’ - Breedte-normen van Fietsmaat wordt niet gerespecteerd (2,5 i.p.v 3m) - De Harmonieregel van de bouwcode van Antwerpen wordt niet gerespecteerd (geen max. bouwhoogte van de gem. bouwhoogte in de rij) - Artikel 14 van de bouwcode wordt niet gerespecteerd, waarbij de verticale setback (insprong) van meer dan 2m niet afgesloten kan worden.
Leefbaarheid & comfort	+	+ Aandacht voor minimale comfort hotspots; beschermd tegen wind + Bomen aan hotspots bieden schaduw - Er wordt geen expliciete aandacht besteed aan blootstelling
Veiligheid	+/-	+ Gemeenschappelijke laad- en loszones vermijden dubbel parkeren - Er worden geen bevorderende maatregelen genomen
Bereikbaarheid	+/-	+ De wegingdeling blijft ongewijzigd en de tramhalte wordt gewaarborgd
Hitte-reductie	+	+ Groen reduceert hittestress: heesters en struiken verlagen de hittestraling

Tabel 18: De subjectieve beoordeling van de bijdrage van scenario 3 voor de Belgiëlei

Parameters	Score	Argumentatie
Prioriteiten		Aantal rijbanen afstemmen op verkeersintensiteit Beschermd promenade creëren waar kwetsbare functies op aantakken Beschermd hot spots creëren
Opgeloste knelpunten		Minder blootstelling van actieve weggebruikers aan polluenten en pollen Meer ruimte voor verschillende soorten fietsers
Verbetering luchtkwaliteit	+/-	+ Een lijwaartse bomenrij verlaagd het negatieve captatie-effect + Beperking concentraties aan pollen - Niet-poreuze heesters verminderen de natuurlijke ventilatie - Twee rijbanen per rijrichting houden verkeer en uitstoot in stand
Vermindering blootstelling	++	+ De laanpositie vergroot de afstand tussen de actief en passief verkeer + Dicht struikgewas nabij vervuiler (centraal en continue aangeplant) houdt polluenten het best tegen + Parallele parkeerplaatsen vormen ook een prima barrière - Parkeerplaatsen zijn niet altijd bezet (discontinue barrière) - De tramhaltes verminderen de oppervlakte voorzien voor barrières
Haalbaarheid - Algemeen	-	+ Ingrepen enkel op het publiek domein dus beperkte tijdslijn - Tegenstand te verwachten van eigenaars lijwaartse garages - De volledige aanpassing van de wegindeling vergt tijd- en middelen - De grote hoeveelheid aan heesters vergt een intensiever beheer
Haalbaarheid - Planningscontext	++	+ Ingrepen enkel op het publiek domein dus geen schending van voorschriften mogelijk + De verbindingsfunctie als ‘secundaire weg’ (RSPA) wordt gerespecteerd + Breedte-normen van Fietsmaat, s-RSA en VVW worden gerespecteerd - Belemmering recht van doorgang
Leefbaarheid & comfort	++	+ De actieve weggebruiker staat centraal + Er is meer groen en toegankelijke groene ruimte + Het vermijden van pollenonvriendelijke soorten gaat hooikoorts tegen - Het secundaire voetpad wordt mogelijks nog blootgesteld aan polluenten wanneer niet alle parkeerplaatsen volzet zijn
Veiligheid	+	+ Er is meer passageruimte voor voetgangers op de promenade + Kwetsbare groepen worden op de promenade gescheiden van verkeer - Eén fietspad voor beide rijrichtingen, gelijklopend met het voetpad, kan voor ongelukken bij uitwijken/ inhalen zorgen - Groen hagen en heesters kunnen voor minder zichtbaarheid zorgen
Bereikbaarheid	-	+ De verbindingsfunctie als ‘lokale weg’ (RSPA) wordt gerespecteerd + De tramhalte op de Belgiëlei wordt gewaarborgd - De asym. laanpositie maakt keren (U-turn) op de Belgiëlei zelf onmogelijk - De parkings tussen de rijbanen en de tramberm is moeilijk bereikbaar - Garages aan de lijwaartse zijde zijn niet bereikbaar
Hitte-reductie	++	+ Groen reduceert hittestress: heesters en struiken verlagen de hittestraling + De lijwaartse bomenrij biedt schaduw langs de promenade

Tabel 19: De subjectieve beoordeling van de bijdrage van scenario 4 voor de Belgiëlei

Parameters	Score	Argumentatie
Prioriteiten		Inzetten op zowel verkeers-, mitigerende als passieve maatregelen Bebouwing en beplanting afstemmen op voorschriften en reglementen Bescherming tegen polluenten, zon en hoge windsnelheden op hot spots
Opgeloste knelpunten		Meer ruimte voor verschillende soorten fietsers Meer toegankelijk groen en biodiversiteit Minder blootstelling van actieve weggebruikers aan polluenten en pollen Een betere natuurlijke ventilatie en zo minder luchtvervuiling
Verbetering luchtkwaliteit	+	+ Een lijwaartse bomenrij verlaagd het negatieve captatie-effect, en lijsterbes kent een goede porositeit voor ventilatie en een goede afzetting + Klimop kan zeer efficiënt PM10 opnemen + Meer variatie in bebouwing verhoogd de turbulentie en step-up structuren bevorderen downwash-effecten, wat de natuurlijke ventilatie verbeterd - Huidige wegindeling houdt verkeer en uitstoot in stand - Niet-poreuze heesters en hagen verminderen de natuurlijke ventilatie
Vermindering blootstelling	+	+ Combinatie van struikgewas en bomenrij als barrière + Dicht struikgewas (nabij vervuiler en centraal) houdt polluenten tegen + Parallele parkeerplaatsen vormen een prima barrière - Het struikgewas, de bomenrij en de parkeerplaatsen worden niet continue aangeplant/ bezet aan beide zijden van de street canyon (discontinu) - De blootgestelde tramhaltes verminderen de opp. voor barrières
Haalbaarheid - Algemeen	++	+ Ingrepen op het publiek domein kennen een korte tijdshorizont + De beperkte wegindeling-aanpassing vergt minder discussie publ. actoren + Het gemotoriseerd verkeer wordt minimaal verstoord + Behouden van groen en vergroten actieve ruimte verhoogd gedragenheid - Private ingrepen enkel voor oudere gebouwen: relatief korte tijdshorizont - Beheer is intensief, maar minder intensief t.o.v. voorgaande scenario’s
Haalbaarheid Planningscontext	+++	+ Voor ingrepen op het publiek domein is geen schending van voorschriften + Respect voor verbindingsfunctie als ‘secundaire weg’ (RSPA) en ‘boulevard’ + Respecteren breedte-normen van Fietsmaat, s-RSA, VVW en De Lijn + De (Harmonieregel van de) bouwcode van Antwerpen wordt gerespecteerd + De voorschriften uit het Gewestplan worden gerespecteerd + De gewenste kernverdichting (BRV) wordt gerespecteerd
Leefbaarheid & comfort	++	+ Er is meer toegankelijke groene ruimte + Het vermijden van pollenonvriendelijke soorten gaat hooikoorts tegen + Aandacht voor minimale comfort hotspots; beschermd tegen wind en zon - De zuidelijke actieve assen worden minimaal beschermd tegen blootstelling (geen bomenrij, minder en discontinue barrières)
Veiligheid	+	+ Er is meer passageruimte voor fietsers (per rijrichting) + Gemeenschappelijke laad- en loszones vermijden dubbel parkeren - Groen hagen en heesters kunnen voor minder zichtbaarheid zorgen
Bereikbaarheid	+	+ Respect voor verbindingsfunctie als ‘lokale weg’ (RSPA) en ‘boulevard’ + De wegindeling blijft ongewijzigd en de tramhalte wordt gewaarborgd - De parkings tussen de rijbanen en de tramberm is moeilijk bereikbaar
Hitte-reductie	++	+ Groen reduceert hittestress: heesters en struiken verlagen de hittestraling + De lijwaartse bomenrij biedt schaduw langs noordelijke zonkant

De transformatie van 'street canyons' voor een gezonde luchtkwaliteit

Antwerpen

Het enkel toepassen van verkeersmaatregelen blijkt ontoereikend voor het oplossen van de slechte luchtkwaliteit die heerst binnen onze Vlaamse steden. Daarom reikt Laura Adams (25) binnen haar masterproef ruimtelijke tools aan voor de aanpak van sterk vervuilde ‘street canyons’. Via deze maatregelen maken we beter kans op het halen van de leefbaarheids- en gezondheidsdoelstellingen.



Laura Adams

Master Stedenbouw &
Ruimtelijke Planning

De slechte luchtkwaliteit door vervuilende stoffen heeft een sterke impact hebben op onze gezondheid. Ondanks maatregelen op het vlak van ‘groene’ technologie, uitstootnormen en verkeersstrategieën blijft ongeveer 60% van de Vlaamse bevolking blootgesteld aan te hoge concentraties. Zo stelt het Vlaamse Luchtbeleidsplan als doel de geschatte 4.800 vroegtijdige overlijdens door fijn stof van 2018 tegen 2030 te reduceren tot 3.000.

Steden kennen de hoogste concentraties aan vervuilende stoffen, wat in combinatie met een grote dichtheid aan inwoners de blootstelling vergroot. Daarnaast zorgen ruimtelijke kenmerken ervoor dat vervuiling langer blijft hangen. Bijvoorbeeld lange straten met hoge rijhuizen, bekend als ‘street canyons’, beperken de natuurlijke verversing van de lucht. Een soort permanente smogvorming waar we nooit bij stilstaan.

Toolbox voor stedenbouwkundigen

Wetenschappelijke studies stellen al verschillende gunstige ruimtelijke ingrepen voor. De praktische toepassing van deze ingrepen is echter beperkt en nog

onbekend bij ruimtelijke planners. Want luchtkwaliteit is niet enkel belangrijk voor een milieuambtenaar, maar ook stedenbouwkundigen moeten naast een goede ruimtelijke ordening een gezonde leefomgeving nastreven. Daarom stelde Adams een compacte toolbox samen met maatregelen voor alle soorten street canyons, bij alle windrichtingen.

Twaalf problematische street canyons binnen de Antwerpse Ring

Dimitri Voordeckers, werkzaam binnen de onderzoeksgroep voor stadsontwikkeling aan de Universiteit van Antwerpen, identificeert momenteel de aanwezige street canyons in de Antwerpse binnenstad. Uit deze lijst selecteerde Adams de twaalf langste, drukste en meest problematische street canyons, waaronder de gekende Nationalestraat, Turnhoutsebaan, Mechelsesteenweg en de Plantin en Moretuslei. Vervolgens koos zij de meest typerende street canyon om de toolbox op uit te testen; de Belgiëlei.



Vier scenario's voor de Belgiëlei

Adams werkte vier theoretische scenario's uit voor de Belgiëlei. Binnen het eerste scenario zet zij in op meer groen als natuurlijke luchtfilter binnen de straatinrichting: geveltuintjes, klimplanten, struikgewas enzovoort.



Daarbij ruilt ze de huidige platanenrijen in voor beter absorberende paardenkastanjes. Het tweede scenario volgt een meer vernieuwend standpunt, namelijk het verhogen van de ventilatie binnen de straat via het verwijderen van de laanbomen, het aanpassen van de monotone bouwhoogtes en het ‘perforeren’ van gebouwen [FOTO]. Deze aanpassingen verzwakken enigszins het karakter van de 19e eeuwse boulevard, maar bevorderen in extreme mate de luchtverversing. Het derde scenario focust op de blootstelling van de actieve weggebruikers aan luchtvervuiling, via een heroriëntering van de wegindeeling. Hier wordt een heuse wandel- en fietspromenade gevormd, gescheiden van het verkeer door de tram berm, hagen en een bomenrij van lijsterbes [FOTO]. Tenslotte vormt het vierde scenario een realistische mix van de voorgaande scenario's, gekeken naar de ouderdom van de bebouwing, de Antwerpse bouwcode en de weginfrastructuur-reglementering.

Deze masterproef vormt een belangrijke tussenstap tussen de theorie en de praktijk. Adams hoopt dat stedenbouwkundigen de toolbox oppakken om als volgende stap de stedelijke street canyons effectief te gaan aanpakken. Daarbij moeten zij wel rekening houden met de plaatselijke noden van de bewoners en gebruikers om samen een gezonde én gedragen straat te creëren.

