



LONGEN VAN DE STAD



Eindrapportage pilotproject
Stadhuisplein Eindhoven

SAMENVATTING

Samenwerkingspartners:



Gemeente Eindhoven

www.eindhoven.nl



Technische Universiteit Eindhoven

Department of the Built Environment

Unit Building Physics and Services

www.tue.nl



Air Liquide

www.airliquide.com



ENS Clean Air

www.ens-cleanair.com

Projectleiding namens samenwerkingspartners:

Dr. ir. Roel Gijsbers

r.gijsbers@ens-cleanair.com

+31(0) 681 804 115

© oktober 2021 – Longen van de Stad

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door print-outs, kopieën, of op welke manier dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de projectpartners.

De volledige rapportage kan worden aangevraagd door een e-mail te sturen naar info@ens-cleanair.com

Projectsamenvatting

Wereldwijd neemt de omvang van de bevolking toe en met name het inwoneraantal in steden is sterk groeiende. Ook in Nederland is de verwachting dat driekwart van de totale bevolkingsgroei in de grote gemeenten zal plaatsvinden. Zo ook in Eindhoven, waar een geplande stedelijke verdichting zal zorgen voor een schaa sprong van 235.000 naar 300.000 inwoners in 2040, met een toename van hoogbouw in de binnenstad. Om gelijktijdig met een verdichting de stad nóg aantrekkelijker te maken voor wonen, werken en recreëren is 'Gezonde Verstedelijking' een belangrijk thema in de toekomstige stadsontwikkeling.

Gezonde verstedelijking

Voor gezonde verstedelijking is een gezond leefklimaat van groot belang. Gezondheid van mensen wordt zowel beïnvloed door het eigen gedrag als door omgevingsfactoren. De leefomgeving heeft een grote impact op de ziektelast (4-14%) en driekwart hiervan is toe te schrijven aan luchtkwaliteit. De eigen leefgewoonten zijn als individu te beïnvloeden, de omgeving waarin geleefd wordt niet of nauwelijks. Hoewel de luchtkwaliteit in Europa en in Nederland in de loop der jaren verbeterd is, voldoet deze op veel plaatsen niet aan de advieswaarden van de World Health Organization (WHO), die in september 2021 zijn aangescherpt.

De impact van luchtverontreiniging in stedelijk gebied

In een stad zijn vele bronnen van luchtverontreiniging aanwezig, zoals verkeer, ruimteverwarming en industrie, maar een groot deel van de vervuiling is afkomstig van buiten de stad. Blootstelling aan een slechte luchtkwaliteit verslechtert de gezondheid van stadsbewoners, met name van kwetsbare

groepen zoals kinderen, ouderen en mensen met onderliggende aandoeningen. Naast het negatieve gezondheidseffect leidt luchtvervuiling ook tot aanzienlijke economische schade (o.a. door ziekteverzuim). Wat betreft de luchtkwaliteit is de ligging van de stad Eindhoven bijzonder ongunstig: de stad is omringd door industrie- en landbouwgebieden, belangrijke wegverbindingen en een vliegveld.

Van alle soorten luchtverontreiniging veroorzaakt fijnstof (Particulate Matter, PM) de meeste gezondheidsschade. Gezondheidsproblemen als gevolg van blootstelling aan fijnstof uiten zich vooral als hart- en vaatziekten en in de vorm van luchtwegaandoeningen; recent is er ook veel aandacht voor het veronderstelde causale verband met een verhoogd infectierisico en ernstiger verloop van COVID-19. Het is algemeen geaccepteerd dat blootstelling aan fijnstof gezondheidsproblemen veroorzaakt, er is echter ook aangetoond dat een verlaging van deze blootstelling leidt tot een verbetering van de gezondheid. Bovendien is door meerdere instanties bewezen dat luchtkwaliteitsbeleid kosteneffectief is en diverse sociaal-economische voordelen biedt.

Het verbeteren van de stedelijke luchtkwaliteit is daarom een belangrijk punt van aandacht in beleid ten behoeve van een 'gezonde verstedelijking'. Eindhoven voert al jaren een actief beleid om de luchtkwaliteit te verbeteren, als pilotstad in het programma 'Slimme en Gezonde Stad' en recent als één van de deelnemende gemeenten aan het 'Schone Lucht Akkoord' (SLA)¹. In aansluiting daarop maakte de gemeente haar ambities met betrekking tot de verbetering van de luchtkwaliteit kenbaar met het Bidboek 'Gezondheidswinst door Schonere Lucht in 2030'², met een scala aan maatregelen strevend naar minimaal 50% gezondheidswinst voor de inwoners van Eindhoven.

Verbetering van luchtkwaliteit op hotspots

Vanuit de wetenschap en vanuit de markt nemen de kennis en de mogelijkheden toe om gericht en gevalideerde fijnstof-reducerende maatregelen te nemen. In 2014 werd een door ENS Clean Air ontwikkelde luchtzuiveringstechnologie voor het eerst experimenteel toegepast in een parkeergarage in de gemeente Cuijk, met als resultaat dat:

- Binnen de parkeergarage een sterke reductie van de fijnstofconcentratie gemeten werd.
- Er signalen werden ontvangen (van lokale winkeliers en omwonenden) dat ook in de directe omgeving van de garage een verlaging van de fijnstofconcentratie merkbaar was (als gevolg van lagere uitstoot van fijnstof via de ventilatielucht).

Zo ontstond het idee voor implementatie van luchtzuiveringstechnologie in bestaande infrastructuur in de binnenstedelijke omgeving: **De 'Longen van de Stad' aanpak**. Hierbij fungeren infrastructuurle voorzieningen en gebouwen zoals een parkeergarage, een tunnel, een OV-station of straatmeubilair als luchtzuiverende Long in de Stad, met als doel om fijnstofconcentraties te verminderen op plekken waar hoge concentraties fijnstof en een hoge mate aan blootstelling samenkomen; de zogenaamde hotspots (Figuur 1).



Figuur 1 — Het principe van de Longen van de Stad, met als voorbeeld de toepassing in een ondergrondse parkeergarage.

Eindhoven als Living Lab

In het Longen van de Stad project fungeerde het centrum van Eindhoven als 'Living Lab' voor onderzoek naar de grootschalige implementatie van luchtzuiveringstechnologie in de openbare ruimte met als centrale vraag: **'Wat is de toegevoegde waarde van gerichte integratie van luchtzuivering, voor de verbetering van de stedelijke luchtkwaliteit?'** Er is onderzocht welke fijnstof concentratiereducties gedurende relevante perioden haalbaar zijn, en hoe zich dit vertaalt naar een vermindering van gezondheidsrisico, een indicator die van grote betekenis is voor de inbedding van mitigatiemaatregelen in (lokaal) beleid. Dit project werd uitgevoerd door een consortium bestaande uit de gemeente Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven, Air Liquide, en ENS Clean Air; en bestond uit drie fasen:

Fase 1: Haalbaarheidsonderzoek (2015-2016)

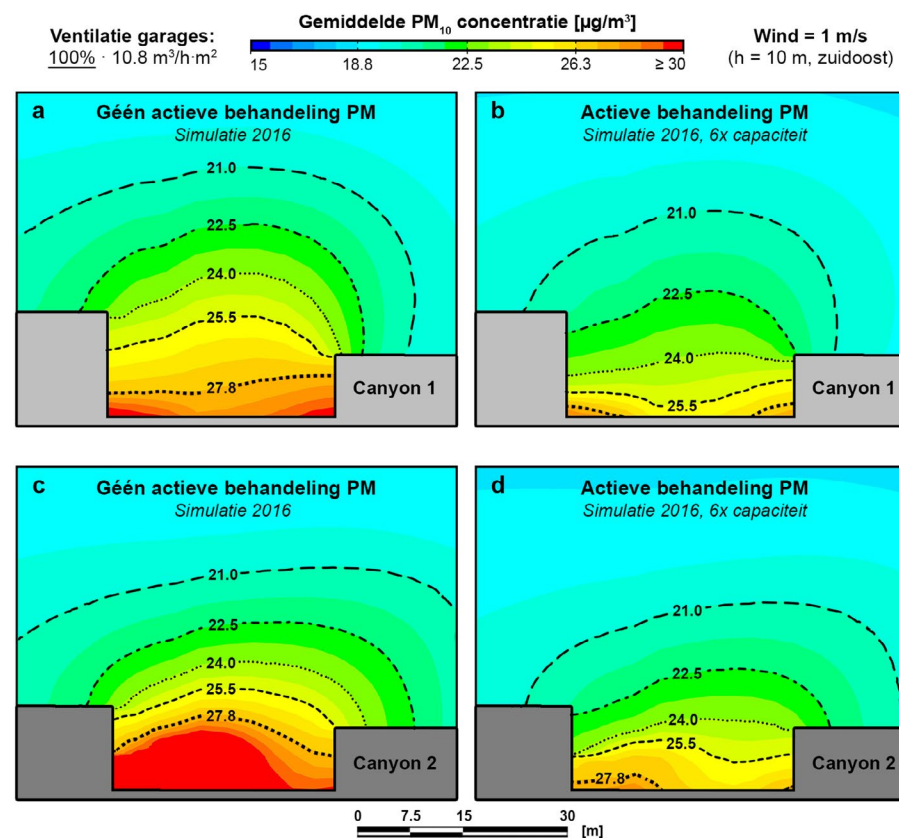
Met behulp van luchtstromingssimulaties werd aangetoond dat de Longen van de Stad aanpak veel potentieel heeft (Figuur 2). De fijnstofconcentraties werden verlaagd met 30 tot 50% in de directe omgeving van parkeergarages en met 10% tot op een kilometer afstand. De resultaten van dit onderzoek zijn gepubliceerd in een wetenschappelijk tijdschrift³.

Fase 2: Effectstudies (2017-2018)

Op het Stadhuisplein in Eindhoven werd een tijdelijke proefopstelling geplaatst: Een luchtzuiveringsinstallatie verwijderde fijnstof uit de ventilatielucht van de parkeergarage onder het plein en stootte deze gezuiverde lucht vervolgens uit over het plein. Op en in de directe omgeving van het plein zijn luchtkwaliteitsmetingen gedaan met zeer hoogwaardige meetapparatuur voor fijnstof en weersomstandigheden. De resultaten van deze meetcampagne zijn gebruikt voor publicaties in wetenschappelijke tijdschriften^{4,5}. Metingen lieten zien dat:

- Stedelijk fijnstof een groot aandeel van de kleinste, meest schadelijke fijnstoffractie (PM_{10}) bevat (regelgeving bestaat alleen voor de grovere fijnstoffracties, PM_{10} en $PM_{2,5}$).
- Er grote verschillen bestaan in lokale fijnstofconcentratie tussen de verschillende meetlocaties (als gevolg van bebouwingsdichtheid en lokale stromingsverschijnselen).
- Zeer grote verschillen in lokale fijnstofblootstelling ontstaan door variaties in verkeerintensiteit.

- De fijnstofconcentraties in de ondergrondse parkeergarage substantieel hoger zijn dan de achtergrondconcentraties in de stad; actieve behandeling van de ventilatielucht draagt bij aan een lagere blootstelling op straatniveau.
- De fijnstofconcentratie in de ventilatielucht van de parkeergarage sterk kan worden gereduceerd door luchtzuivering (tot beneden de achtergrondconcentratie); de garage wordt hierdoor netto een luchtzuiverend element in de stad.

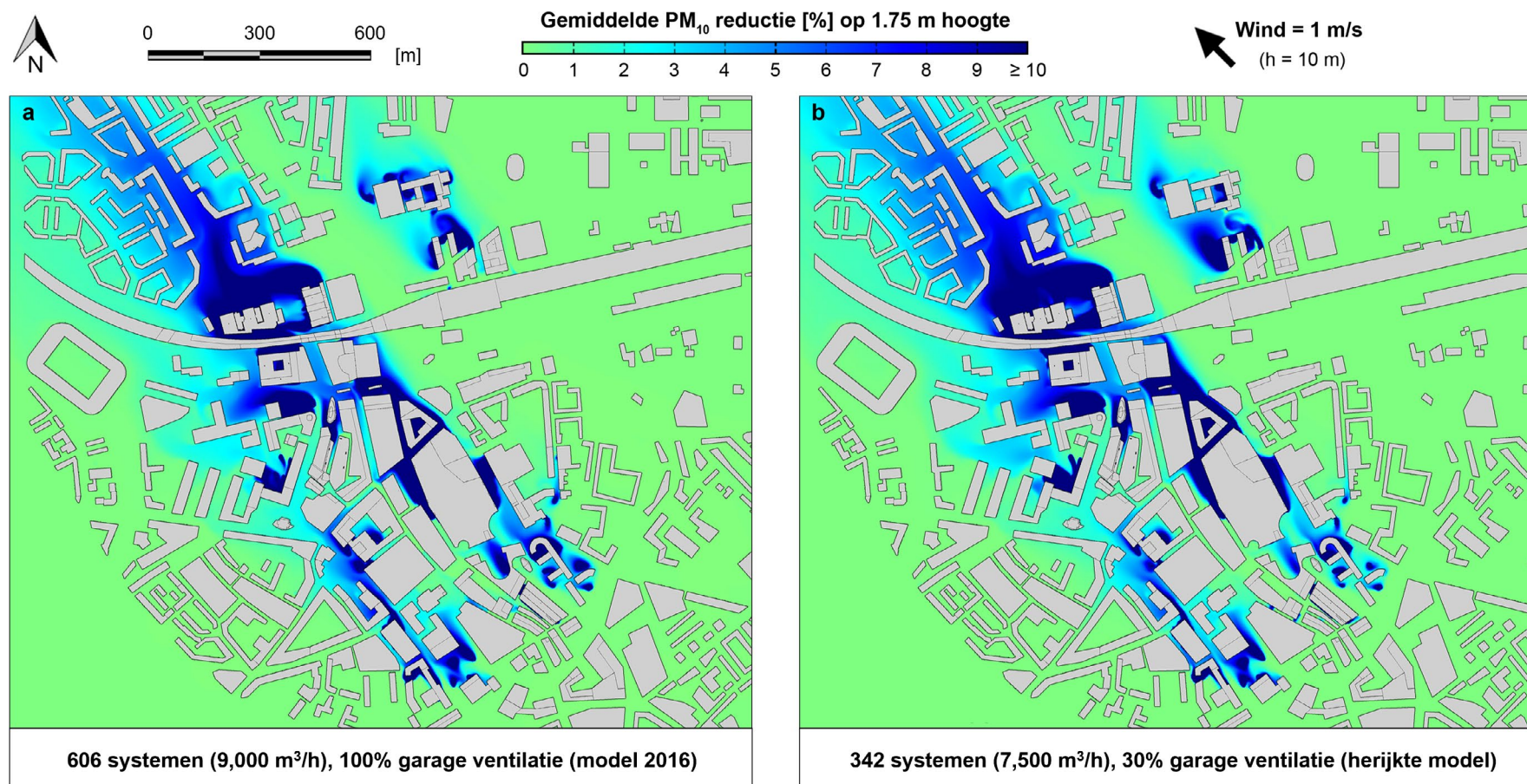


Figuur 2 — PM_{10} concentraties in verticale doorsnede voor een situatie zonder (a, c) en mét (b, d) toepassing van luchtzuivering in aanliggende parkeergarages op twee verschillende posities in een street canyon.

Fase 3: Hoog resolutie computermodellen (2015-2021)

Gedurende het hele project is gewerkt aan hoog resolutie computermodellen waarmee de effecten van luchtzuiveringsinterventies (virtueel) kunnen worden bepaald. Implementatie van de (meet)resultaten uit de effectstudies in Eindhoven en in andere (proef)projecten hebben geleid tot verfijning en een herijking van de haalbaarheidsstudie uit 2016 (fase 1). Hierbij bleek

de in de haalbaarheidsstudie benodigde luchtzuiveringscapaciteit te zijn overschat: Het berekende luchtzuiveringseffect op de omgevingslucht door luchtzuivering in parkeergarages is al haalbaar met 55% van de oorspronkelijke reinigingscapaciteit (Figuur 3). De resultaten van deze simulaties zijn gebruikt voor publicaties in wetenschappelijke tijdschriften^{5,6,7}.

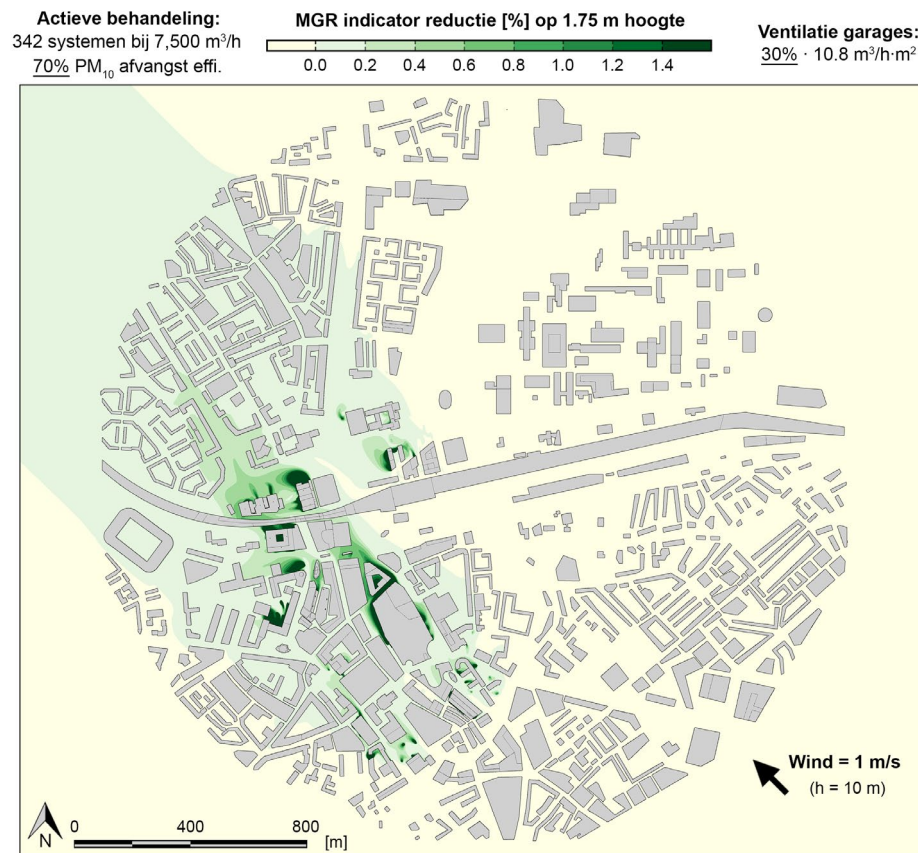


Figuur 3 — Vermindering van PM₁₀ concentraties op 1,75 m hoogte bij toepassing van 606 Aufero systemen in het model uit 2016 (links) en 342 Aufero systemen in het herijkte model (rechts).

Verlaagd gezondheidsrisico

Uit de projectresultaten blijkt dat Longen van de Stad een technisch haalbare strategie is die leidt tot een aanzienlijke vermindering van fijnstofblootstelling. Het positieve gezondheidseffect van niet ingeademd fijnstof kan op lokaal niveau worden gekwantificeerd. De absolute PM_{10} concentratievermindering varieert in het gebied van circa 0,5 tot $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, voor het gemodelleerde scenario, waarmee het verminderde blootstellings-

risico kan worden berekend voor de populatie die aanwezig is in dit gebied. Bij toepassing van de Milieugezondheidsrisico indicator (MGR) blijkt dat het totale gezondheidsrisico hierdoor kan worden vermindert met 0,5 tot 1,5 procentpunt (Figuur 4). Dit lijkt gering, maar de 3-4% die direct wordt toegerekend aan een slechte luchtkwaliteit wordt hierdoor met circa een kwart vermindert in het betreffende gebied.



Figuur 4 — Verminderd percentage gezondheidsrisico volgens de Milieugezondheidsrisico (MGR) indicator als gevolg van luchtzuivering in 16 parkeergarages.

Brede inzetbaarheid

Longen van de Stad kan op vele wijzen worden geïntegreerd in de stedelijke infrastructuur. Parallel aan het Longen van de Stad project in Eindhoven zijn wereldwijd diverse gerelateerde onderzoeksprojecten en effectstudies uitgevoerd aan de hand van luchtstromingssimulaties en praktijkmetingen, waarbij actieve luchtzuiveringstechnologie werd geïmplementeerd in bestaande infrastructuur. Dit heeft geleid tot aanvullende kennis over het optimaal inzetten van luchtzuiveringstechnologie in een variëteit aan toepassingen (Figuur 5). Op gebiedsniveau is de luchtzuivering toegepast in verkeersintensieve gebieden, zoals naast een snelweg, in een snelwegtunnel, in nauwe stadsstraten (street canyons), in een stadspark, op schoolpleinen maar ook in voertuigen zoals straatveegmachines. Op gebouwniveau betreft het toepassingen in diverse parkeergarages, trein- en metrostations, een busterminal en in de binnentuin van een schoolgebouw. Iedere individuele toepassing heeft lokaal effect. Bij meer toepassingen ontstaat een cumulatief effect, dat bovendien een groter gebied bestrijkt.

Luchtkwaliteit als instrument voor stadsontwikkeling

Schone lucht in een stad is een gezamenlijk belang voor alle belanghebbenden: burgers, overheid, kennisinstellingen en bedrijven. Longen van de Stad kan een doeltreffende aanvulling zijn op landelijk en regionaal luchtkwaliteitsbeleid. Om de verspreiding van schadelijke luchtverontreiniging te voorkomen, en blootstelling aan (lokale) piekconcentraties te verminderen, is de aanpak van lokale bronnen het meest effectief. Het merendeel van het fijnstof komt

echter van buiten de stad en het verminderen van lokale emissies heeft daarop geen invloed. **Geïntegreerde actieve luchtreiniging reduceert zowel het aandeel van lokale bronnen als niet-lokale bronnen binnen de lokale fijnstofconcentraties.** Longen van de Stad is daarom een betekenisvolle aanvulling op bestaande beleidsmaatregelen om de luchtkwaliteit in de stad te verbeteren.

Door mitigatiemaatregelen te focussen op 'hotspot' locaties met een hoge mate van blootstelling, wordt een maximaal effect bereikt. Dit effect is met de modelbenadering in het project Longen van de Stad Eindhoven inzichtelijk gemaakt: Doelgerichte toepassing van luchtzuiveringstechnologie kan de gezondheidsrisico's voor de aanwezige populatie aanzienlijk verminderen. Ook is er een berekening gemaakt van de vermindering van sociaal-economische kosten voor de populatie in het centrum en de omliggende wijken en zijn er een aantal businessmodellen toegelicht waarmee de mitigatiemaatregelen kunnen worden bekostigd.

De urgentie voor gezonde verstedelijking wordt wereldwijd breed gedragen en ook reeds omgezet in acties en beleid. Met de aanpak en nieuwe kennis van Longen van de Stad wordt er een belangrijk instrument toegevoegd aan de toolkit voor verduurzaming en verbetering van het stedelijke leefmilieu. De stad van de toekomst kan zelfreinigend zijn, en in Eindhoven zijn hiervoor de eerste stappen gezet.

¹ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/convenanten/2020/01/13/bijlage-1-schone-lucht-akkoord>

² Gemeente Eindhoven (2021) 50% Gezondheidswinst door Schonere Lucht in 2030 – Bidbook gemeente Eindhoven.

³ Blocken B, Vervoort R, van Hooff T (2016) Reduction of outdoor particulate matter concentrations by local removal in semi-enclosed parking garages: A preliminary case study for Eindhoven city center, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 159:80-98 (doi: 10.1016/j.jweia.2016.10.008).

⁴ Vervoort R, Jenniskens G, van Hooff T, Blocken B (*in voorbereiding*) Full-scale measurements of spatiotemporal PM concentration distribution in the city center of Eindhoven and generalized implications for experimental assessment of PM mitigation strategies.

⁵ Onderwerp van een later te publiceren detailstudie getiteld "Reduction of Particulate Matter concentrations by local removal in the city centre of Eindhoven: A full scale validation study", onderdeel van een PhD-project van R. Vervoort naar stromingsverschijnselen in relatie tot luchtkwaliteit in stedelijk gebied.

⁶ Vervoort R, van Hooff T, Blocken B (*in voorbereiding*) Reduction of particulate matter concentrations inside semi-enclosed parking garages by means of active PM removal.

⁷ Vervoort R, Gijsbers R, van Hooff T, Blocken B (*in voorbereiding*) Large-scale reduction of particulate matter concentrations in urban environments: additional numerical analyses for the city center of Eindhoven.

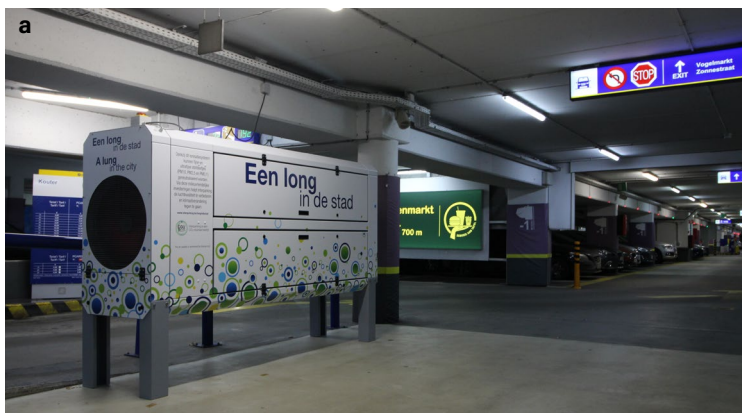
⁸ Suez Air Division, RATP, Air Parif. <https://www.ratp.fr/groupe-ratp/newsroom/developpement-durable/la-region-ile-de-france-la-ratp-et-le-groupe-suez>

⁹ Studio Roosegaarde. <https://www.studioroosegaarde.net/stories/smog-free-tower>

¹⁰ BlueWoods. <https://www.skycleaner.rs/en/>

¹¹ Suez Air Division https://www.youtube.com/watch?v=EgZPfb7N9kw&feature=emb_logo

¹² Ravo Benelux. <https://ravobenelux.fayat.com/nl/productassortiment/ravo/hygion>



Figuur 5 — Integratie van luchtzuivering in (a) Interparking parkeergarage Kouter in Gent (België), (b) metrostation Alexandre Dumas in Parijs (Frankrijk)⁸, (c) de Smog Free Tower op locatie Tianjin (China)⁹, (d) de Skycleaner in Belgrado (Servië)¹⁰, (e) de AirAdvanced-InspiR op een schoolplein in Poissy (Frankrijk)¹¹ en (f) de HYGIION straatveegwagen¹².

Wilt u de volledige
eindrapportage ontvangen?

U kunt het rapport aanvragen
door te e-mailen naar:
info@ens-cleanair.com



EINDHOVEN

TU/e EINDHOVEN
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Air Liquide

ENS*