

Academische Werkplaats
MILIEU EN GEZONDHEID

GROEN EN LUCHTKWALITEIT IN EEN STEDELIJKE OMGEVING

Desktopstudie Academische werkplaats Milieu & Gezondheid

Imke van Moorselaar, Saskia van der Zee
(GGD Amsterdam)

December 2020

Colofon

Auteurs: Imke van Moorselaar, Saskia van der Zee

GGD Amsterdam, afdeling Milieu en Gezondheid

Datum: December 2020

Dit project is financieel mogelijk gemaakt door de Academische Werkplaats Milieu en Gezondheid

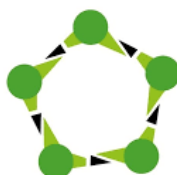
Begeleidingscommissie: RIVM (Joost Wesseling en Ton de Nijs), Wageningen Universiteit (Maarten Krol), GGD werkgroep Lucht (Hans Jansen) en GGD werkgroep Groen, water en gezondheid (Jaap Toet).



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Academische Werkplaats
MILIEU EN GEZONDHEID

Inhoud

GGD Advisering.....	4
1 Aanleiding	6
2 Opzet.....	6
Begeleidingscommissie	6
3 Relatie tussen groen en luchtkwaliteit	7
3.1 Beïnvloeding van concentraties, luchtstroming en indirecte effecten	7
3.1.1 Beïnvloeding van concentraties, zowel positief als negatief (door depositie, diffusie en uitstoot)	7
3.1.2 Beïnvloeding luchtstroming: door dispersie en barrièrewerking.....	8
3.1.3 Indirecte vermindering van uitstoot	9
4 Groen & Luchtkwaliteit: verschillende situaties.....	10
4.1 Groen in ‘street canyon’	10
4.2 Groen bij vrijliggende weg.....	10
4.3 Groene gevels en groene daken.....	11
5 Onderzoek naar de relatie groen en luchtkwaliteit.....	12
5.1 Algemene principes bij het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit door afvang van luchtverontreiniging	12
5.2 Inzicht in hoe afvang van luchtverontreiniging zich verhoudt tot veranderende concentraties	12
5.3 Voorbeeldberekening afvang fijn stof in relatie tot concentraties	13
5.4 Drie Nederlandse studies nader bekeken	14
6 Conclusie.....	15
Literatuur	16
Bijlage 1 Green Junkie: Plant–powered air cleaning	17
Bijlage 2 The impact of City Trees on air quality in the Valkenburgerstraat (Amsterdam)	17
Bijlage 3 Amsterdam's Green Infrastructure : Valuing Nature's Contributions to People’	18
Bijlage 4 Samenvatting van de individuele studies naar effect green walls en green roofs	19
Bijlage 5 Zoektermen literatuur	21

GGD Advisering

- Groen heeft allerlei positieve effecten in de stedelijke omgeving en daarbuiten. Het zorgt onder andere voor schaduw, vermindert het hitte-eilandeffect, draagt bij aan waterberging, beïnvloedt beleving van geluidhinder, verrijkt de stedelijke biodiversiteit, heeft emotionele en esthetische waarde en draagt bij aan de gezondheid van bewoners.
- Groen heeft niet per definitie een positieve invloed op de stedelijke luchtkwaliteit, al denken veel mensen intuïtief van wel en wordt verbetering van de luchtkwaliteit vaak als een positief effect van groen genoemd.
- Er zijn drie soorten (*potentiële*) effecten van groen op de luchtkwaliteit te onderscheiden:
 - I. Directe beïnvloeding van concentraties: zowel positief door afvang van fijn stof en opname NO₂, maar ook negatief door uitstoot van bVOC's of allergenen.
 - II. Beïnvloeding van luchtstromingen: dit effect speelt lokaal en kan zowel positief, negatief of neutraal uitpakken.
 - III. Indirecte vermindering van uitstoot: een groene omgeving stimuleert andere keuzes zoals lopen en fietsen boven autogebruik. Ook blijft er in een stad waar veel ruimte wordt gemaakt voor groen, doorgaans minder ruimte over voor de auto.
- Effecten van groen op de luchtkwaliteit spelen op verschillende schaalniveaus. Het is van belang om een onderscheid te maken tussen lokale effecten in verkeersbelaste straten en effecten van groen op achtergrondconcentraties.
- Algemeen geldt dat bronmaatregelen (*minder uitstoot*) altijd de voorkeur hebben boven het uit de lucht verwijderen van reeds in de lucht aanwezige verontreiniging, die continu opnieuw wordt aangevoerd.
- Voor de lokale luchtkwaliteit is het beste als luchtstromen zo min mogelijk worden gehinderd, zodat luchtvervuiling optimaal kan verwaaien. Groen (*maar ook andere objecten*) in een straat zorgt er vaak voor dat lucht minder vrij door een straat kan stromen. Het negatieve effect dat een gehinderde luchtstroom heeft op de luchtkwaliteit is in die situatie groter dan het positieve effect van luchtverontreinigende deeltjes die achter kunnen blijven op vegetatie.
- Bij het toepassen van vegetatie op verkeersbelaste plekken kan het beste gekozen worden voor groen dat de luchtstroom zo min mogelijk beïnvloedt. Bijvoorbeeld vegetatie op daken en gevels. Vanuit het oogpunt van luchtkwaliteit moeten dicht op elkaar geplante bomen in drukke stadsstraten worden vermeden.
- Het feit dat vegetatie langs verkeersbelaste wegen een negatieve invloed kan hebben op de luchtkwaliteit betekent niet dat het groen in tuinen, parken, stadsbossen of verkeersarme straten ook een negatieve invloed op de luchtkwaliteit heeft. Op de schaal van een hele stad kan het effect van groen op de luchtkwaliteit positief zijn. Dit effect (*i.e. lagere concentraties*

als gevolg van door vegetatie afgevangen verontreiniging) is echter zeer klein en leidt niet tot wezenlijk lagere concentraties en dus lagere blootstelling.

- Een groene omgeving nodigt meer uit tot wandelen en fietsen. Dit kan ertoe leiden dat mensen de auto eerder laten staan. Op die manier kan groen ook indirect bijdragen aan een betere luchtkwaliteit. Ook is er in een stad met veel ruimte voor groen doorgaans minder ruimte voor verkeer en andere bronnen van uitstoot. Ook op die manier draagt een groene omgeving indirect bij aan een betere luchtkwaliteit.

1 | Aanleiding

GGD-en worden regelmatig geconfronteerd met plannen voor het ‘vergroenen’ van gebouwen, straten en steden met als doel het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit. Groen heeft talloze voordelen voor klimaat en gezondheid. Daarnaast beïnvloeden bomen, struiken en planten de depositie van verontreinigende stoffen in de lucht en kunnen sommige gasvormige verbindingen via de huidmondjes in de vegetatie worden opgenomen. Hoe groter het groene gebied, hoe meer dat een rol gaat spelen. Zo heeft Nationaal Park de Hoge Veluwe bijvoorbeeld een aantoonbaar gunstig effect op de luchtkwaliteit. Een andere vraag is echter of het aanplanten van groen in dichtbevolkte gebieden en specifiek in drukke straten een effectieve maatregel is om de lokale luchtkwaliteit te verbeteren. Die vraag proberen we in deze desktopstudie te beantwoorden. Daarbij gaat het *niet* om de afvangstcapaciteit van het groen (*in kg per boom of per tijdseenheid*), maar om de vraag in welke mate de *concentratie* verandert in de lucht die mensen inademen. En dan vooral op locaties waar mensen langdurig worden blootgesteld. Dat is immers voor de gezondheid het meest relevant.

2 | Opzet

In 2008 heeft het RIVM een rapport geschreven over de effecten van groen op de luchtkwaliteit (Wesseling et al. 2008). In 2011 heeft deze studie een update gekregen (Wesseling et al. 2011). Sinds 2011 zijn er veel nieuwe studies verschenen die de relatie groen en luchtkwaliteit op verschillende manieren hebben onderzocht. Er blijft discussie over de vraag of groen nu wel of niet werkt om de lucht schoner te maken.

In deze desktopstudie, in het kader van de Academische werkplaats Milieu & Gezondheid, is gekozen voor een praktische insteek. We hebben gekeken naar reviewstudies die sinds 2011 zijn verschenen. Studies waarin enkel naar het effect op depositie is gekeken zijn buiten beschouwing gelaten. Om een effect van groen (*door beïnvloeding luchtkwaliteit*) in relatie tot gezondheid te beoordelen gaat het om de verandering in concentratie. En dan vooral op plekken waar mensen langdurig worden blootgesteld.

Deze desktopstudie moet niet gezien worden als een systematische wetenschappelijke review, zoals die in internationale wetenschappelijke tijdschriften. In deze studie geven we een update over de kennis die sinds 2011 is ontwikkeld. Samen met experts uit verschillende kennisinstellingen is geprobeerd om tot consensus te komen over wat geconcludeerd kan worden over de effecten van groen op de luchtkwaliteit in een stedelijke omgeving. Deze conclusies zijn vertaald in praktische handvaten voor advisering in de praktijk.

Begeleidingscommissie

In samenspraak met een begeleidingscommissie is dit document tot stand gekomen. De begeleidingscommissie bestond uit verschillende experts uit verschillende kennisinstellingen en vakgebieden. Dit waren vanuit het RIVM (Joost Wesseling en Ton de Nijs), Wageningen Universiteit (Maarten Krol), GGD werkgroep Lucht (Hans Jansen) en GGD werkgroep Groen, water en gezondheid (Jaap Toet). Onze speciale dank gaat uit naar de leden van de begeleidingscommissie die met hun kennis een waardevolle bijdrage aan dit project hebben geleverd.

3 | Relatie tussen groen en luchtkwaliteit

De relatie tussen groen en luchtkwaliteit is complex. Voor een beter begrip is het goed om definities helder te hebben. Waar hebben we het in deze studie over als we praten over groen en wat is luchtkwaliteit?

Groen is er in vele soorten en maten. In de stad van een klein geveltuintje tot een stadsbos, buiten de stad van weides tot grote natuurgebieden. Het is allemaal groen. Voor luchtkwaliteit geldt eigenlijk hetzelfde. Er is niet één definitie van luchtkwaliteit. Verschillende stoffen bepalen samen de luchtkwaliteit. In relatie tot gezondheid is er vooral aandacht voor fijn stof, roet, stikstofdioxide (NO₂) en ozon.

Om het effect van groen (*door beïnvloeding luchtkwaliteit*) in relatie tot gezondheid te beoordelen gaat het om de verandering in concentratie, uitgedrukt in microgram per kubieke meter (µg/m³). In veel studies wordt het effect van groen uitgedrukt in termen van depositie: de hoeveelheid door vegetatie afgevangen verontreiniging. Maar luchtverontreiniging wordt continu uitgestoten, verspreid, uit de lucht verwijderd door droge en natte depositie op allerlei oppervlakken (*groen en niet-groen*), omgezet in andere verbindingen, en van grote afstanden aangevoerd. Daarom is ter beoordeling van de invloed op de luchtkwaliteit de *verandering* in concentratie van belang in de lucht die we inademen.

Deze desktopstudie richt zich op bovengenoemde componenten van luchtverontreiniging. Bomen langs straten, vegetatiebarrières (zoals heggen), groene gevels en groene daken zijn groenelementen die worden bestudeerd. Verschillende termen van groen worden in dit stuk door elkaar gebruikt. Daarmee wordt bedoeld op de hierboven beschreven groenelementen.

Als eerste stap beschrijven we in algemene zin de mechanismen waardoor groen effect kan hebben op luchtkwaliteit. De relatie tussen groen en luchtkwaliteit is complex, contextafhankelijk, wordt bepaald door verschillende processen en speelt op verschillende schaalniveaus (Barwise et al. 2020). Daarbij is het van belang een onderscheid te maken tussen effecten in door verkeer belaste straten en effecten van groen op grootschalige achtergrondconcentraties.

3.1 Beïnvloeding van concentraties, luchtstroming en indirecte effecten

Om de complexe relatie inzichtelijk te maken, kan het effect van groen op de luchtkwaliteit grofweg worden teruggebracht tot twee processen: opname van verontreiniging (*door diffusie of depositie*) en dispersie (*door beïnvloeding van luchtstromen*). Daarnaast kan het groen zelf ook bijdragen aan luchtverontreiniging door de uitstoot van pollen, vluchtige organische verbindingen en stikstofmonoxide uit de bodem (Air Quality Expert Group, 2018, Hartig et al. 2014). Als derde hypothetisch mechanisme onderscheiden we groen dat gezond gedrag stimuleert en op die manier indirect tot minder uitstoot leidt.

3.1.1 Beïnvloeding van concentraties, zowel positief als negatief (door depositie, diffusie en uitstoot)

Depositie treedt op als een luchtvervuilende stof neerslaat op een blad of stam. Gasvormige verbindingen zoals NO₂ en ozon kunnen door [huidmondjes](#) in de vegetatie door diffusie worden opgenomen (Barwise et al. 2020). Huidmondjes zijn microscopisch kleine openingen in de buitenste laag van het blad, die een plant gebruikt om CO₂ op te nemen en O₂ uit te scheiden. Depositie treedt meer op bij de iets grovere fijn stofdeeltjes (Wesseling et al. 2011) en diffusie bij gasvormige stoffen.

Lokale weersomstandigheden en eigenschappen van de vegetatie bepalen in welke mate depositie optreedt. Depositie treedt vooral op bij lage windsnelheid (Wesseling et al. 2011). Van invloed zijn

dichtheid en porositeit van het bladerdek, grootte van het blad, textuur van het bladoppervlakte en of de vegetatie wintergroen is (Baldauf, 2017). Depositie als mechanisme voor schonere lucht (*i.e. lagere concentraties*) heeft op lokale schaal en stadsniveau geen wezenlijke invloed op de luchtkwaliteit (Barwise et al. 2020, Wesseling et al. 2011). In paragraaf 5.1 gaan we hier nader op in en geven we een voorbeeld berekening.

Nadelige effecten van groen op de luchtkwaliteit

Het groen kan zelf een bron van luchtverontreiniging zijn door de uitstoot van pollen en biogene vluchtige organische stoffen (bVOC's). Negatieve effecten op de luchtkwaliteit veroorzaakt door dergelijke uitstoot kan groter zijn dan een eventuele verbetering van de luchtkwaliteit (Barwise et al. 2020). Om nadelige aspecten voor de luchtkwaliteit te minimaliseren is een zorgvuldige selectie van het soort planten en bomen belangrijk. Barwise et al. (2020) geeft een overzicht van bomen met bijbehorende emissies van bVOC's en pollen ([klik hier voor overzicht](#)). In een artikel van Horticultural Science wordt ook een overzicht gegeven van soorten met een lage bVOC uitstoot ([klik hier voor artikel](#)). Luchtkwaliteit is natuurlijk niet het enige argument bij de selectie van bomen en planten. Voor de biodiversiteit is het bijvoorbeeld belangrijk om inheemse bomen en planten te gebruiken.

Depositie versus lagere blootstelling

Er bestaat een belangrijk onderscheid tussen de verwijdering van verontreinigende stoffen (*via depositie of opname via huidmondjes*) en een lagere blootstelling aan luchtverontreiniging. Depositie leidt niet per definitie tot wezenlijk lagere concentraties, en dus een lagere blootstelling. De invloed van vegetatie op de luchtkwaliteit moet dan ook niet worden beoordeeld op basis van de geschatte depositie, maar op basis van de concentratie in de lucht. Immers, de concentratie in de lucht bepaalt hoeveel verontreiniging er wordt ingeademd (Wesseling et al. 2011).

Op lokale schaal kan soms een vermindering van blootstelling worden bereikt door een verandering van luchtstromen en barrièrewerking van vegetatie (Barwise et al. 2020). Dat brengt ons bij het tweede mechanisme in de relatie groen en luchtverontreiniging: dispersie en barrièrewerking.

3.1.2 Beïnvloeding luchtstroming: door dispersie en barrièrewerking

Dispersie omvat de verspreiding en verdunning van luchtverontreiniging. In het RIVM rapport van 2011 (Wesseling et al. 2011) wordt uiteengezet hoe luchtverontreiniging zich langs een weg gedraagt. Begrip hierover is van belang om de effecten van vegetatie op de luchtkwaliteit langs een weg of in een straat goed te kunnen duiden. Samengevat komt het erop neer dat concentraties in een straat of langs een weg hoofdzakelijk worden bepaald door: 1) de hoeveelheid uitstoot, 2) locatie van de uitstoot en 3) de verdunning van de uitstoot met schone lucht, bepaald door de hoeveelheid lucht die door de straat of langs de weg waait (Wesseling et al. 2011).

Vegetatie kan de verspreiding van verontreinigende stoffen bevorderen door extra turbulentie, maar ook beperken door de luchtstroming in een straat te verminderen (Barwise et al. 2020, Abhijth et al. 2017). Studies die de invloed van groene barrières op de luchtkwaliteit hebben onderzocht hebben grotendeels betrekking hebben op atmosferische verspreiding, en velen hebben de verspreidingseffecten van het groen vergeleken met die van grijze infrastructuur of andere niet-poreuze barrières (Barwise et al. 2020). Meestal is dus geen vergelijking gemaakt met situaties zonder groen of zonder barrières. Voor de luchtkwaliteit zou een dergelijke situatie het meest ideaal zijn, omdat er dan een maximale hoeveelheid schone lucht door een straat kan stromen en de uitstoot maximaal verdund kan worden.

Groene barrières kunnen de afstand tussen de bron van luchtverontreiniging en een fiets- of wandelpad vergroten. In zo'n geval kan een groene barrière tot lagere blootstelling leiden (Barwise et al. 2020, Baldauf et al. 2017, Abhijith et al. 2017). Er zijn echter ook situaties waarin groene barrières tot hogere concentraties kunnen leiden. In de praktijk hangt dit af van de manier waarop de groene barrière de luchtstroming voor en achter de barrière beïnvloedt (Barwise et al. 2020).

Studies richten zich veelal op de (gemodelleerde) blootstelling van voetgangers naast een groene barrière. Naar het effect ter hoogte van de gevels van woningen is veel minder onderzoek gedaan terwijl dit vanuit oogpunt van (langdurige) blootstelling een belangrijkere plek is. In bijlage 2 wordt een voorbeeld gegeven van een in Amsterdam uitgevoerd onderzoek naar de invloed van 'City-trees' op de gemodelleerde blootstelling aan de gevel in een drukke straat.

In hoofdstuk 4 worden een aantal generieke aspecten van groene barrières voor verschillende lokale omstandigheden beschreven. Effecten van een groene barrière op de luchtkwaliteit worden hoofdzakelijk bepaald door dispersie (*interacties met luchtstroom en turbulentie*) en niet zozeer door depositie (Barwise et al. 2020).

3.1.3 Indirecte vermindering van uitstoot

Een groene omgeving is vaak een aantrekkelijke omgeving. Groen kan een route naar een bestemming aantrekkelijker maken wat ertoe kan leiden dat mensen de voorkeur geven aan wandelen of fietsen, boven het gebruik van de auto (Hartig et al., 2014). Bij dit soort keuzes spelen natuurlijk ook andere factoren een rol zoals afstand tot de bestemming, beschikbaarheid van geschikte infrastructuur (zoals trottoirs, fietspaden) en veiligheid. In een stad met veel ruimte voor groen is doorgaans minder ruimte voor verkeer en andere bronnen van uitstoot. Ook op die manier kan een groene omgeving indirect bijdragen aan een betere luchtkwaliteit in de stad. Verder is in een groene omgeving zelf de luchtkwaliteit doorgaans beter, omdat er geen uitstoot van verontreinigende stoffen door verkeer of andere bronnen is (Markevych et al., 2017).

4 | Groen & Luchtkwaliteit: verschillende situaties

4.1 Groen in 'street canyon'

Er is brede consensus dat bomen in een verkeersbelaste street canyon negatieve invloed hebben op de luchtkwaliteit (Barwise et al. 2020, Abhijith et al. 2017). Dit geldt voor alle mogelijke manieren waarop bomen in een street canyon worden geplaatst. Voor de lokale luchtkwaliteit is het in principe het beste als luchtstromen zo min mogelijk worden gehinderd, zodat vervuiling optimaal kan verwaaien.

Er kunnen natuurlijk andere redenen dan luchtkwaliteit zijn om bomen in een street canyon te plaatsen. Door met verschillende factoren rekening te houden kan het negatieve effect van bomen op luchtverontreiniging worden verkleind.

Van belang is de afstand tussen bomen en de oppervlakte van de straat die door de boomkroon wordt bedekt. Als algemene regel geldt: hoe meer ruimte tussen de bomen en boomkronen, des te beter dat is voor de luchtkwaliteit. In street canyons met bestaande bomen of waar bomen worden vervangen is het voor een betere luchtkwaliteit van belang dat de standdichtheid, grootte en dichtheid van de kroon en hoogte van de boom tot een minimum worden beperkt. Dit kan door uitdunnen, snoeien en de keuze voor kleinere en lichter gekroonde soorten (Barwise et al. 2020).

Net als bomen wordt het gebruik van hagen in verkeersbelaste street canyons afgeraden (Barwise et al. 2020). Er zijn weinig studies die de invloed van hagen in een street canyon op de luchtkwaliteit hebben onderzocht (Abhijith et al. 2017). De paar studies die er zijn laten verschillende resultaten zien en de concentraties worden gerapporteerd op het voetpad. Vanuit het oogpunt van langdurige blootstelling en gezondheid is het relevanter om de concentratie op de gevel van woningen te onderzoeken.

4.2 Groen bij vrijliggende weg

Een vrij liggende weg kenmerkt zich doordat beide zijden van de weg open zijn met hier en daar vrij staande gebouwen en andere bouwwerken (Abhijith et al. 2017). Langs een vrijliggende weg kunnen bomen en struiken voorkomen die als een vegetatiebarrière kunnen werken.

Een dergelijke groene vegetatiebarrière kan de luchtkwaliteit op het achterliggende voetpad verbeteren. Hierbij moet worden opgemerkt dat de effecten afhangen van windomstandigheden (*snelheid en richting*), temperatuur, relatieve vochtigheid en de fysieke kenmerken van de barrière. Hoge en dichte vegetatie is nodig en er mogen geen gaten of breuken in de barrière zijn. Als optimale dikte wordt 10 meter of meer aanbevolen en de minimale hoogte moet minstens 2 meter zijn (Barwise et al. 2020). Bovengenoemde kenmerken zijn cruciaal voor de werking van een vegetatiebarrière. Een vegetatiebarrière met lage dichtheid (poreus) kan leiden tot vermindering van de windsnelheid, wat weer kan leiden tot een opstapeling van vervuilende stoffen en een verslechtering van de luchtkwaliteit aan de andere kant van de barrière (Baldauf et al. 2017).

In een stedelijke omgeving komen vrijliggende wegen met vegetatiebarrières niet of nauwelijks voor. Daarbij zal een vegetatiebarrière van 10 meter breed en minimaal 2 meter hoog in weinig Nederlandse steden een realistische optie zijn.

4.3 Groene gevels en groene daken

Groene gevels en daken kunnen een verkoelend effect hebben, wat gunstig kan zijn voor het binnenklimaat en tot minder energiegebruik en daarmee tot minder uitstoot van luchtverontreiniging kan leiden. Een andere vraag is of en in welke mate het afvangen van verontreiniging door groene gevels en daken leidt tot lagere concentraties in stad en straat. Er zijn weinig studies die verbetering van luchtkwaliteit door groene daken en gevels hebben onderzocht (Abhijith et al. 2017). De studies die er zijn laten zien dat er depositie kan plaatsvinden, maar dat deze minder is in vergelijking met bomen en vegetatiebarrières. In de review van Abhijith et al. (2017) worden in modelstudies afnames tot 95% in luchtverontreinigende componenten door groene gevels genoemd, en voor groene daken 2-52%. Omdat dit extreem hoge reducties zijn, hebben we de individuele studies beoordeeld die in het review van Abhijith et al., (2017) worden samengevat. Ook een in Manchester uitgevoerde studie (Speak et al., 2012) is meegenomen. Een korte samenvatting van de bevindingen per studie staat in bijlage 4.

De modelstudies waarin naar concentratie is gekeken geven aan dat groene gevels en –daken de luchtkwaliteit op sommige plekken verbetert en op andere plekken verslechtert. In andere studies wordt alleen het effect op depositie beschreven. Een algemene conclusie over de effectiviteit op de blootstelling valt naar ons oordeel op basis van deze studies niet te trekken.

Het is een feit dat het grootste deel van de luchtverontreiniging in een straat überhaupt niet in contact komt met de vegetatie van groene daken en gevels. Tegelijkertijd is het aannemelijk dat groene gevels en daken (*ten opzichte van 'gewone' gevels en daken*) minder of wellicht geen, negatieve effecten hebben op de doorstroming van lucht. Het vergroenen van gevels en daken zou daarom kunnen worden gezien als 'no regret' maatregel, die vanuit klimaat oogpunt voordelen heeft en vanuit oogpunt van luchtkwaliteit geen duidelijke nadelen.

5 | Onderzoek naar de relatie groen en luchtkwaliteit

Onderzoek naar de relatie tussen groen en luchtkwaliteit is uitdagend. Er worden verschillende methodes toegepast om de effecten van groen op de luchtkwaliteit te onderzoeken. Elke methode kent beperkingen en de resultaten zijn met (grote) onzekerheid omgeven. Idealiter blijken effecten uit onderzoek in de praktijk. Dit soort onderzoek (*op basis van praktijkmetingen*) is echter moeilijk uit te voeren, omdat het vaak niet mogelijk is om in precies eenzelfde omgeving op hetzelfde moment een situatie met en zonder groen rechtstreeks met elkaar te vergelijken. Daardoor ontbreekt een controlesituatie en zonder controle kunnen effecten niet goed worden bepaald. Dit is de reden dat de meeste studies op het gebied van groen en luchtkwaliteit gebaseerd zijn op modellen en windtunnelexperimenten. Dit soort studies worden op hun beurt beperkt doordat complexe meteorologische omstandigheden in de echte wereld en kenmerken van verkeersstromen moeilijk te modelleren zijn. Dit zorgt voor onzekerheid in de resultaten.

5.1 Algemene principes bij het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit door afvang van luchtverontreiniging

Luchtverontreiniging afvangen om de lokale luchtkwaliteit te verbeteren is geen efficiënte methode om tot wezenlijk lagere concentraties luchtverontreiniging te komen. In bijlage 1 en 2 worden twee studies nader toegelicht die deze aanpak kiezen om met groen de luchtkwaliteit te verbeteren. Hier lichten we in algemene zin kort toe waarom de afvang van luchtverontreiniging niet tot wezenlijk lagere concentraties luchtverontreiniging hoeft te leiden. Deze redenen gelden voor groen, maar ook voor andere methodes die luchtverontreiniging proberen af te vangen om de luchtkwaliteit te verbeteren.

Uitgestoten luchtverontreiniging verspreidt zich overal naar toe. Hiervan komt maar een klein deel in contact met het groen. Van het kleine deel dat in contact komt met groen wordt vervolgens maar een klein deel opgenomen door het groen. Bovendien wordt er continu nieuwe verontreiniging uitgestoten en ook van elders aangevoerd. Dit maakt dat het niet te verwachten is dat lokale concentraties luchtvervuiling wezenlijk lager worden door luchtverontreiniging af te vangen. Dus ook al blijft een (*heel klein*) deel van de luchtvervuiling achter op planten, dan betekent dit niet per definitie dat ook de concentraties luchtvervuiling lager zijn geworden. De concentratie in de lucht bepaalt hoeveel verontreiniging er wordt ingeademd, en daarmee het effect op de gezondheid.

5.2 Inzicht in hoe afvang van luchtverontreiniging zich verhoudt tot veranderende concentraties

In het artikel '*Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects*' van Nowak et al. (2013) is een schatting gemaakt van de hoeveelheid door bomen afgevangen PM_{2.5} stof in 10 Amerikaanse steden, en is vervolgens doorerekend wat het effect daarvan is op de concentratie. De hoeveelheid afgevangen PM_{2.5} per jaar varieerde van 4,7 ton per jaar in Syracuse NY, 37,4 ton in New York City, tot 64,5 ton per jaar in Atlanta, Georgia. Uiteraard moet worden opgemerkt dat de hoeveelheid afgevangen fijn stof, naast het aantal bomen in de stad, ook afhankelijk is van het oppervlakte van de stad. De invloed op de concentratie is berekend op basis van de flux per uur (*het product van de depositiesnelheid, die afhankelijk is van de wind en de concentratie per uur*). De hoeveelheid weggevangen PM_{2.5} werd per uur berekend op basis van de hoogte van de menglaag, het oppervlakte van de stad en de actuele PM_{2.5} concentratie zoals gemeten op automatische meetstations. Dit leidde tot een procentuele afname in PM_{2.5} concentratie die varieerde van 0,05% in San Francisco (*bij een afgevangen hoeveelheid PM_{2.5} van 5,5 ton/jaar*) tot 0,24% in Atlanta (*bij een afgevangen hoeveelheid PM_{2.5} van 64,5 ton/jaar*).

Dit zijn bescheiden verbeteringen in de luchtkwaliteit. De auteurs concluderen desondanks dat *“Modeling of broad-scale effects of pollution removal by trees on PM2.5 concentrations and human health reveal that trees can produce substantial health improvements and values in cities.”* Naar aanleiding van die conclusie wordt door Whitlow et al. (2014) in een ‘Letter to the editor’ betoogd dat de conclusie niet strookt met de gerapporteerde bescheiden verbeteringen. Als voorbeeld wordt benoemd dat, bij een jaargemiddelde PM2.5 concentratie van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, een verbetering van 0,24% de concentratie laat afnemen van 10 naar $9,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dat de verbetering van de concentratie in de lucht, ondanks het grote aantal per jaar afgevangen kilo’s fijn stof, zeer bescheiden is, is een gevolg van het feit dat luchtverontreiniging in een stad of straat continu wordt aan- en afgevoerd. De hoogte van de menglaag (*het onderste deel van de atmosfeer waarin verontreiniging zich ophoopt*) varieert met het weer, seizoen en tijd van de dag.

5.3 Voorbeeldberekening afvang fijn stof in relatie tot concentraties

Aan de hand van een sterk versimpelde weergave van de werkelijkheid geven we een voorbeeldberekening van hoe afvang van luchtverontreiniging zich verhoudt tot veranderende concentraties. Om een indruk te geven van het volume lucht dat jaarlijks boven een stad als Amsterdam (*met een oppervlakte van 216 km^2*) wordt verplaatst, gaan we ervan uit dat de stad een box is van $14,7 \text{ km} \times 14,7 \text{ km}$. De jaargemiddelde windsnelheid bedraagt $4,9 \text{ m/s}$. Ervan uitgaande dat de wind dwars door de box waait is de verversingssnelheid: $14700 \text{ m} / 4,9 \text{ m/s} = 3000$ seconden. Dat betekent dat de lucht boven de stad elke 50 minuten wordt vervangen door nieuwe instromende lucht, ofwel 29 keer per dag.

Hoeveelheid lucht op jaarbasis

Om te berekenen hoeveel fijn stof er op jaarbasis door de box waait gaan we uit van een jaargemiddelde menglaaghoogte van 1000 m . De box heeft dan een volume van 216 km^3 ($14,7 \text{ km} \times 14,7 \text{ km} \times 1 \text{ km}$). Dat betekent dat het volume van de box (216 km^3 lucht) ruim 10.000 keer per jaar wordt verversd ($525600 \text{ min. per jaar} / 50 \text{ min.}$) en dat er op jaarbasis dus een volume van $2,16$ miljoen $\text{km}^3 = 2,16 \times 10^{15} \text{ m}^3$ lucht door de box waait.

Hoeveelheid fijn stof op jaarbasis

Uitgaande van een jaargemiddelde fijn stofconcentratie van $20 \text{ microgram}/\text{m}^3$, betekent dit dat er op jaarbasis 43200 ton fijn stof door de box waait ($20 \text{ microgram}/\text{m}^3 \times 2,16 \times 10^{15} \text{ m}^3 = 4,32 \times 10^{16} \text{ microgram} = 43200 \text{ ton}$).

Veranderde concentratie door afvang fijn stof door groen

Uitgaande van een afvangstcapaciteit van $0,1 \text{ kg}$ fijn stof per boom per jaar en $1.000.000$ bomen in Amsterdam ([bron: gemeente Amsterdam](#)), betekent dit dat er $100.000 \text{ kg} = 100 \text{ ton}$ fijn stof wordt afgevangen. Dat is $0,23\%$ van de totale hoeveelheid fijn stof die jaarlijks ‘door Amsterdam heen waait’. Dat komt vrij goed overeen met de percentages zoals die (*op andere wijze*) zijn berekend in het artikel van Nowak, 2013.

Het bovenstaande voorbeeld geeft uiteraard een sterk vereenvoudigd beeld van de werkelijkheid, onder meer omdat transport van luchtstromen plaatsvindt in zowel horizontale als verticale richting, de windsnelheid varieert met de hoogte en bebouwing en er ook lucht van boven de menglaag kan instromen. Niettemin geeft dit voorbeeld een indicatie van de hoeveelheid lucht en fijn stof die op jaarbasis een stad passeert.

5.4 Drie Nederlandse studies nader bekeken

In de bijlagen 1 t/m 3 worden drie studies die de afgelopen jaren in Nederland zijn verschenen besproken. Dit zijn: *“Green Junkie: Plant-powered air cleaning?”*, *“The impact of City Trees on air quality in the Valkenburgerstraat (Amsterdam)”* en het RIVM rapport *“Amsterdam's Green Infrastructure : Valuing Nature's Contributions to People”*

Deze Nederlandse studies worden nader uitgelicht omdat met metingen en modelberekeningen is geprobeerd om de effectiviteit van groen op de luchtkwaliteit vast te stellen. Green Junkie en City Tree hebben destijds tot veel publiciteit geleid en er werden grote verwachtingen gewekt, die niet werden waargemaakt.

Dat is op zich niet verrassend want uitlaatgassen van het verkeer verspreiden zich alle kanten op en er stroomt hooguit een zeer klein deel (met de benodigde zeer lage luchtsnelheid) langs en door de planten, waarvan vervolgens maar een klein deel wordt afgevangen. Bovendien wordt er continu nieuwe verontreiniging uitgestoten en aangevoerd.

De nadere analyse en conclusies kunnen worden gebruikt in de beoordeling van nieuwe projectvoorstellen bij gemeentes, waarin met groen wordt geprobeerd om de lokale luchtkwaliteit te verbeteren.

De RIVM-studie is een maatschappelijke kosten baten analyse (MKBA). In de bijlage worden beknopt de aannames van die studie met betrekking tot de luchtkwaliteit besproken. Een beter inzicht in de aannames die aan een dergelijke MKBA ten grondslag liggen kan helpen bij het interpreteren van de resultaten met betrekking tot de relatie groen en luchtkwaliteit. In deze studie wordt niet naar concentratieveranderingen gekeken, maar naar de hoeveelheid depositie die potentieel door groen kan worden afgevangen. Deze depositie wordt uitgedrukt in euro's op basis van kentallen uit de MKBA.

6 | Conclusie

Groen heeft allerlei positieve effecten in de stedelijke omgeving en daarbuiten. Het zorgt o.a. voor schaduw, vermindert het hitte-eilandeffect, draagt bij aan waterberging, beïnvloedt beleving van geluidhinder, verrijkt de stedelijke biodiversiteit, heeft emotionele en esthetische waarde en draagt bij aan de gezondheid van bewoners. Als een van de positieve effecten van groen wordt vaak het verbeteren van de luchtkwaliteit genoemd. Maar de relatie tussen groen en luchtkwaliteit is complex. Er zijn drie soorten (*potentiële*) effecten van groen op de luchtkwaliteit te onderscheiden:

- I. Directe beïnvloeding van concentraties: zowel positief door afvang van fijn stof en opname NO₂, maar ook negatief door uitstoot van bVOC's of allergenen.
- II. Beïnvloeding van luchtstromingen: dit effect speelt lokaal en kan positief, negatief of neutraal uitpakken.
- III. Indirecte vermindering van uitstoot: een groene omgeving stimuleert andere keuzes zoals lopen en fietsen boven autogebruik. Ook blijft er in een stad waar veel ruimte wordt gemaakt voor groen, doorgaans minder ruimte over de auto.

Op basis van de recente wetenschappelijke literatuur en de studies die we zelf hebben geëvalueerd concluderen wij dat er geen wezenlijk positief effect is van groen op de achtergrondconcentraties. En dat bomen en struiken op verkeersbelaste plekken de lokale luchtkwaliteit (*i.e. concentraties*) negatief kunnen beïnvloeden en voor een slechtere luchtkwaliteit kan zorgen.

Er zijn talloze redenen om voor meer groen in de stad te kiezen, maar het verbeteren van de luchtkwaliteit hoort daar niet bij. Voor het verbeteren van de luchtkwaliteit zijn bronmaatregelen en verminderen van uitstoot het meest effectief.

Literatuur

Air Quality Expert Group. Impacts of Vegetation on Urban Air Pollution, 2018. [Rapport](#)

Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., (...), Di Sabatino, S., Pulvirenti, B. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. Atmospheric Environment (2017)

Baldauf, R. "Roadside vegetation design characteristics that can improve local, near-road air quality." Transportation research part D: Transport and environment 52 (2017): 354-361.

Barwise, Y., Kumar, P. Designing vegetation barriers for urban air pollution abatement: a practical review for appropriate plant species selection. npj Clim Atmos Sci 3, 12 (2020).

CE-Delft, 2017. Handboek Milieuprijzen 2017. Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impact. Publicatienummer: 17.7A76.64, Delft.

Green Junkie: Plant-powered air cleaning? B.G. Heusinkveld, C. Lelieveld. Stimulus Project 2016. [Rapport](#)

Han et al. A review on particulate matter removal capacity by urban forests at different scales (Review). Urban Forestry and urban greening. Volume 48, February 2020, Article number 126565.

Hartig, T., Mitchell, R., De Vries, S., & Frumkin, H. (2014). Nature and health. Annual review of public health, 35, 207-228.

Kumar P. et al, The nexus between air pollution, green infrastructure and human health (Review). Environment International Volume 133, December 2019, Article number 105181

Markevych, I., Schoierer, J., Hartig, T., Chudnovsky, A., Hystad, P., Dzhambov, A. M., ... & Lupp, G. (2017). Exploring pathways linking greenspace to health: theoretical and methodological guidance. Environmental research, 158, 301-317.

Remme R, de Nijs T, Paulin M. Natural Capital Model : Technical documentation of the quantification, mapping and monetary valuation of urban ecosystem services. RIVM report 2017-0040

Nowak, David J., et al. "Modeled PM2. 5 removal by trees in ten US cities and associated health effects." Environmental pollution 178 (2013): 395-402.

Speak, A.F., J.J. Rothwell, S.J. Lindley, C.L. Smith. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city, Atmospheric Environment, Volume 61, 2012, Pages 283-293, ISSN 1 352-2310. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.07.043>.

TNO report. The impact of City Trees on air quality in the Valkenburgerstraat (Amsterdam). TNO 2019 R10497. [Rapport](#)

Wesseling, J., R. Beijl N. van Kuijeren. Effecten van groen op de luchtkwaliteit Status 2008 . RIVM rapport 680705012/2008

Wesseling, J., S. van der Zee, GGD Amsterdam A. van Overveld. Het effect van vegetatie op de luchtkwaliteit: update 2011 - RIVM Rapport 680705019

Whitlow, Thomas H., et al. "Comments on "Modeled PM2. 5 removal by trees in ten US cities and associated health effects" by Nowak et al.(2013)." Environmental Pollution 191 (2014): 256.

Xing, Y., Brimblecombe, P. Trees and parks as “the lungs of cities”. Urban Forestry and Urban Greening, 48 (2020).

Bijlage 1 Green Junkie: Plant–powered air cleaning

In 2016 is door het Wageningen University Research Centre (WUR) in opdracht van het AMS Institute (AMS) het onderzoeksproject “*Green Junkie: exploring added value of a green innovation for an economic vital city*” uitgevoerd. Hierin zijn claims van speciaal gekweekte kamperfoelieplantjes om fijn stof uit de lucht te filteren onderzocht in de praktijk. Daartoe werd een proefopstelling geplaatst op de President Kennedylaan, een drukke straat in Amsterdam-Zuid. Aan weerszijden van de weg werd een verticale buis geplaatst (*hoogte 1,7 m, diameter 30 cm*) die geheel gevuld werd met kamperfoelieplantjes. Buitenlucht werd van onderaf aangezogen en door de buis geleid. Aan de onderkant (*ingang*) en aan de bovenkant (*uitgang*) werd de concentratie roet gemeten met een micro-aethalometer gedurende 1,5 uur. De snelheid waarmee de lucht door de buis werd geleid bedroeg 0,2 m/s.

Er werd geen verschil gevonden in de roetconcentratie onderin en bovenin de buis (*dus na passage door de met kamperfoelieplantjes gevulde buis*). Omdat het vermoeden bestond dat dit het gevolg zou kunnen zijn van een te lage dichtheid van kamperfoelieplantjes in de buis, werd het experiment enkele maanden later herhaald in de binnenlucht. Daar werd de buis gevuld met een grotere dichtheid aan plantjes, in een laboratorium op 200 meter van een drukke weg, waarbij de lucht met een snelheid van 0,07 m/s door de buis werd geleid. Ook in die setting was er geen significant verschil in roetconcentratie voor en na passage door de buis. De conclusie van het onderzoek is dat de harige kamperfoelieplantjes (Green Junkie) geen verbetering van de luchtkwaliteit tot gevolg had.

Bijlage 2 The impact of City Trees on air quality in the Valkenburgerstraat (Amsterdam)

In de Valkenburgerstraat in Amsterdam is in 2018 een experiment uitgevoerd in de Valkenburgerstraat met als doel te onderzoeken of de luchtkwaliteit ter plaatse kan worden verbeterd door het plaatsen van acht zogenaamde [City Trees](#). Deze City Trees bestaan uit roestvrijstalen objecten gevuld met mosplantjes. De objecten zijn drie meter breed en vier meter hoog. Ze zijn aan twee zijden open en zuigen, met behulp van ventilatoren, lucht door de met mosplantjes gevulde objecten.

In tegenstelling tot het Green Junkie experiment zijn geen luchtmetingen uitgevoerd, maar is de effectiviteit van de City Trees onderzocht met CFD modellen. Met het model is het ruimtelijk

(driedimensionaal) beeld van de concentratie van fijn stof en stikstofdioxide berekend aan de gevel van de woningen in de Valkenburgerstraat. De berekeningen zijn uitgevoerd met City Trees die 'uit staan', met City Trees die 'aan staan' en zonder City Trees. De simulatie toonde aan dat de City Trees niet leiden tot verbetering van de luchtkwaliteit in de Valkenburgerstraat. Hoewel het rapport melding maakt van een subtiele afname in PM10 concentratie (tot 0,16 µg/m³ als jaargemiddelde) is er tegelijkertijd sprake van een toename van de NO₂ concentratie (tot 0,28 µg/m³). De aannames kennen grote onzekerheden.

Dat beide bovenbeschreven onderzoeken niet tot een verbetering van de lokale luchtkwaliteit hebben geleid is op zich niet verrassend. Uitlaatgassen van het verkeer verspreiden zich namelijk alle kanten op en er stroomt hooguit een zeer klein deel (met de benodigde zeer lage lichtsnelheid) langs en door de planten, waarvan weer een klein deel wordt afgevangen. Bovendien wordt er continu nieuwe verontreiniging uitgestoten en aangevoerd.

Bijlage 3 Amsterdam's Green Infrastructure : Valuing Nature's Contributions to People'

In het RIVM rapport Amsterdam's Green Infrastructure (2019) is voor vier scenario's van 'vergroening' van de stad berekend wat de in euro's uitgedrukte winst zou zijn met betrekking tot zeven parameters waaronder luchtkwaliteit. De verbetering van de luchtkwaliteit is gebaseerd op het afvangen van fijn stof (PM10). In de studie, een zogenaamde maatschappelijke kostenbaten analyse (MKBA), is veranderende luchtkwaliteit gebaseerd op het afvangen van fijn stof, gedefinieerd als PM10.

In het rapport wordt duidelijk vermeld dat het planten van bomen langs verkeersaders ook nadelig kan zijn voor de luchtkwaliteit in straten. Dit is ook de reden dat één van de vier scenario's (*i.e. groenblauwe verbindingen*) niet is doorgerekend. Er zijn twee scenario's doorgerekend, waarbij de auteurs het voorbehoud maken (p23) dat de resultaten, zoals in alle MKBA's, met grote onzekerheid zijn omgeven. Geschat is dat er per jaar 340 ton PM10 wordt afgevangen door het groen in Amsterdam.

De winst met betrekking tot PM10 is uitgedrukt als kg depositie op groen per jaar. De gezondheidswinst is berekend op basis van de kengetallen die in het Handboek Milieuprijzen zijn benoemd en die de basis vormen van MKBA analyses in Nederland (CE Delft, 2017). Voor fijn stof (PM10) bedraagt de milieuprijs 44,6 euro per kg voor de gemiddelde emissie in Nederland. De berekening is dus gebaseerd op emissie en niet op concentratie. Voor de gezondheid is echter de concentratie in de lucht relevant, dat is immers de lucht die we inademen.

Bijlage 4 Samenvatting van de individuele studies naar effect green walls en green roofs

Overzicht van studies waarnaar wordt verwezen in Abhijith et al., 2017 in figuur 5 van het artikel.

Abhijith, K.V., Kumar, P., Gallagher, J., (...), Di Sabatino, S., Pulvirenti, B. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review. Atmospheric Environment (2017)

Aanleiding: het artikel van Abhijith rapporteert reducties in concentratie tot 97% (voor UFP) als gevolg van green walls. Dat lijkt onrealistisch hoog, daarom hebben we in de individuele studies teruggezocht hoe die percentages tot stand zijn gekomen.

Met betrekking tot de reductie tot 97% in UFP wordt in Abhijith verwezen naar het artikel van Morakinyo, 2016. In de literatuurlijst staan twee artikelen van Morakinyo uit 2016, het is niet duidelijk naar welke van de twee wordt verwezen, daarom hebben we ze beiden beoordeeld.

Morakinyo, T.E., Lam, Y.F., Hao, S. Evaluating the role of green infrastructures on near-road pollutant dispersion and removal: Modelling and measurement (2016) Journal of Environmental Management, 182, pp. 595-605. &

Morakinyo, T.E., Lam, Y.F. Simulation study of dispersion and removal of particulate matter from traffic by road-side vegetation barrier (2016) Environmental Science and Pollution Research, 23 (7), pp. 6709-6722.

In beide studies van Morakinyo wordt PM_{2.5} (geen UFP, UFP komt in beide artikelen niet voor) gemodelleerd met het CFD model ENVI-met. Er worden verschillende scenario's gemodelleerd, in een gebied van ca 50 m x 30 m x 40 m hoogte in een straat met verschillende varianten groen. In 1 van de studies worden de CFD simulaties vergeleken met kortdurende metingen. In geen van de beide studies zijn de door Abhijith genoemde percentages terug te vinden. Waarschijnlijk is het afgeleid uit onderstaande figuur (Morakinyo, J Env Man 2016). Daarin wordt een niet-poreuze groene muur vergeleken met een doorlatende vegetatie-barrière. In de eerste zijn de concentraties dichtbij de bron hoger en direct achter de muur lager. Maar de luchtstroming is in beide situaties heel anders en laat geen uitspraak toe over het effect van het groen op de gevel, de auteurs doen dit zelf ook niet.

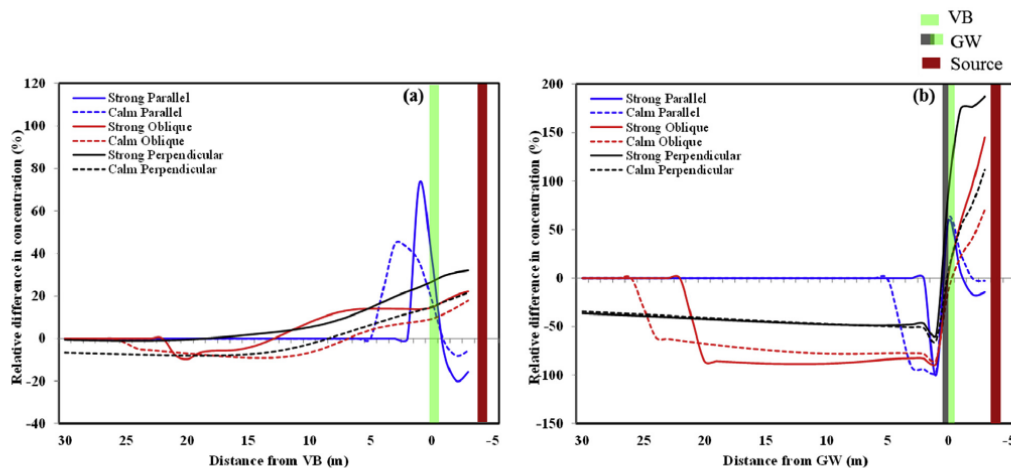


Fig. 4. Average relative difference in concentration downwind at 1.4 m height at the KSPs for (a) VB and (b) GW. (Light green on the figures indicates VB, Light green with grey signifies GW while Mahogany red signifies the traffic source. These three items are not drawn to scale). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

Tong, Z., Baldauf, R.W., Isakov, V., Deshmukh, P., Max Zhang, K.

Roadside vegetation barrier designs to mitigate near-road air pollution impacts (2016) . *Science of the Total Environment*, 541, pp. 920-927.

In dit artikel wordt wel (*onder meer*) een groene gevel vergeleken met een gewone gevel. In Abhijth wordt PM10 genoemd, de auteurs hebben het over 'particles'. De conclusie is:

Fig. 5b shows that the horizontal gradients behind a solid barrier with vegetation cover (Case 3) are very similar to that behind a solid barrier (Case 2), which suggests that the additional particle reduction by having vegetation cover on solid barriers is insignificant because the total leaf surface area of vegetation cover is small in contrast with the tree stands and the boundary layer formed along the solid barrier surface likely inhibits air flow through the vegetation.

Ook in dit artikel wordt geen reductie tot 50% gerapporteerd. Maar wel wordt ook in dit het verloop in concentratie als afstand tot de bron voor verschillende scenario's weergegeven en het lijkt erop dat Abhijth het voor een willekeurige afstand heeft afgelezen.

Pugh, T.A.M., MacKenzie, A.R., Whyatt, J.D., Hewitt, C.N.

Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons (2012) *Environmental Science and Technology*, 46 (14), pp. 7692-7699.

CFD model. CiTTyCAT, Londen. Dit artikel rapporteert inderdaad op basis van CFD model een afname in PM10 concentratie tot 62% en in NO₂ concentratie tot 43% in een street canyon, uitgaande van een windsnelheid van 0,5 m/s (*jaargemiddeld in NL is dat 4,9 m/s*). Hoe dat is berekend valt uit het artikel niet af te leiden, ze geven alleen het resultaat.

Yang, J., Yu, Q., Gong, P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago (2008) *Atmospheric Environment*, 42 (31), pp. 7266-7273.

In dit artikel is de depositie van PM10 (en NO₂ en ozon) berekend van 19,8 ha groene daken in Chicago. Ze drukken de depositie uit in kg. En vergelijken dat met de depositie zoals die optreedt in een 'normaal' stedelijk gebied. En dan kom je uit op 14% meer depositie van PM10 door de groene daken. Er zijn dus deposities in kg/ha vergeleken, geen concentraties in de lucht.

Baik, J.-J., Kwak, K.-H., Park, S.-B., Ryu, Y.-H. Effects of building roof greening on air quality in street canyons (2012) Atmospheric Environment, 61, pp. 48-55.

Modellering met een CFD model, uitgaande van NOx in ppb; als gevolg van groen dak een lagere temperatuur in de street canyon en als gevolg daarvan lagere concentratie NOx. Omdat het in de street canyon als gevolg van het afkoeling beter doorwaait (?)

Speak, A.F., Rothwell, J.J., Lindley, S.J., Smith, C.L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city (2012) Atmospheric Environment, 61, pp. 283-293.

In dit onderzoek is voor 4 typen beplanting op groene daken met metingen vastgesteld hoeveel PM gedeponeerd was. Op basis daarvan is berekend hoeveel PM er per jaar kan worden afgevangen. Er was een factor 8 verschil in afvangstcapaciteit tussen de soort die het minst en het meest kon afvangen. Als alle daken van Manchester daarmee bedekt zouden worden zou er 2,3 ton PM10 per jaar kunnen worden afgevangen. Het effect is niet uitgedrukt in termen van concentratieverandering die dat tot gevolg zou hebben.

Bijlage 5 Zoektermen literatuur

Hieronder staan de zoektermen die we hebben gebruikt in het literatuuronderzoek naar reviewstudies. Daarnaast hebben we gebruik gemaakt van artikelen die door de begeleidingscommissie zijn aangedragen.

Literatuuronderzoek (Scopus) van de periode 2012 t/m 2019.

- Zoektermen 'vegetation + air quality', Field Environmental Sciences, type: review
- Zoektermen 'air quality' AND "green space" type: review

Reviews uit tabel: <https://www.nature.com/articles/s41612-020-0115-3/tables/1>