

LEIDRAAD LUCHTZUIVEREND GROEN

Fred Tonneijck¹, Barry de Vries² en Vincent Kuypers²

¹ Triple E - Economy, Ecology and Experience, Sweerts de Landasstraat 46, 6814 DG Arnhem.

² Alterra, Wageningen Universiteit en Researchcentrum, Postbus 47, 6700 AA Wageningen.

16 september 2008

Voorwoord

Deze leidraad voor luchtzuiverend groen is geschreven in opdracht van de Dienst Ruimtelijke Ordening (DRO) van de gemeente Amsterdam. De leidraad bevat richtlijnen voor ontwerpers en beheerders om groen functioneel in te zetten bij verbetering van de lokale luchtkwaliteit. De tekst van de leidraad is mede tot stand gekomen op basis van discussies met verschillende medewerkers van de diensten DRO, DIVV, GGD, stadsdelen Bos en Lommer, De Baarsjes, Oost-Watergraafsmeer, groenbeheerders en ES-Consulting.

De auteurs bedanken de betrokken medewerkers voor de stimulerende discussies en hun bijdrage aan de totstandkoming van deze leidraad.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Inhoudsopgave.....	2
1. Inleiding	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
2. Luchtzuiverend groen en ruimtelijke planvorming	4
3. Ruimtelijke schaalniveaus: straat, stad en regio.....	6
4. Effect van luchtzuiverend groen en schaalniveau	7
5. Algemene richtlijnen voor luchtzuiverend groen.....	9
6. Luchtzuiverend groen in de straat	11
7. Luchtzuiverend groen in de wijk.....	15
8. Luchtzuiverend groen in de stad en de regio.....	17
9. Omgang met individuele bomen	18
10. Effectiviteit van houtige gewassen voor verbetering van de luchtkwaliteit.....	19
11. Overige aandachtspunten	23
Literatuur.....	24
Bijlagen	25
Bijlage 1: Relatie groen en luchtkwaliteit	26
Fijn stof (PM ₁₀ en PM _{2,5})	26
Stikstofoxiden (NO ₂)	28
Overwegingen	28
Bijlage 2: Invloed van de groenstructuur	29
Punt- en lijnvormige groenelementen	29
Interceptie.....	29
Depositie.....	31
Vlaktvormige groenelementen	31
Interceptie.....	31
Depositie.....	31
Actuele ontwikkelingen.....	32
Betekenis voor Amsterdam	32
Bijlage 3: Vier schalen als aanpak.....	34
Literatuur	36

1. Inleiding

Amsterdam streeft naar een gezonde leefomgeving voor bewoners en bezoekers. Schone lucht is daarvoor een voorwaarde en groen kan daar een bijdrage aan leveren. Groen zorgt voor een aantrekkelijke leefomgeving, heeft een positief effect op de gezondheid (meer bewegen, meer sociale contacten, minder stress, etc.) en kan bovendien de lucht zuiveren.

De gemeenteraad heeft voor de realisatie van schone lucht in 2006 het Actieplan Luchtkwaliteit vastgesteld. De raad wil graag inzicht in de bijdrage die groen kan leveren aan de luchtkwaliteit in Amsterdam en heeft daarom verzocht onderzoek te doen naar de mogelijke bijdrage van groen aan het verbeteren van de luchtkwaliteit. Tevens is verzocht aan te geven wat de kansen zijn voor luchtzuiverend groen in Amsterdamse situaties. Gezien de vele onzekerheden met betrekking tot de bijdrage van groen, de schaal en de effectiviteit van de te nemen maatregelen is gekozen voor een stapsgewijze aanpak: in de eerste fase een verkenning naar mogelijke maatregelen en de effectiviteit daarvan en in de tweede fase een leidraad voor toepassing van groene maatregelen. De resultaten van de verkenning zijn terug te vinden in het Alterra rapport 1723 “Luchtkwaliteit & Groen, Amsterdam” (2008, in druk), waarvan de belangrijkste hoofdstukken zijn opgenomen in bijlagen 1, 2 en 3.

Uit de verkenning blijkt weliswaar dat aan de hand van vuistregels berekend kan worden dat groen luchtverontreinigende stoffen kan opvangen en absorberen, maar dat de effectiviteit van de inzet van groen afhankelijk is van vele factoren. Het gaat daarbij om kenmerken van het groen, zoals de toegepaste soort, vorm en grootte en kenmerken van de locatie zoals de inrichting, situering ten opzichte van de bron, bodemkenmerken en meteorologische aspecten.

Uit de verkenning blijkt ook dat er tot op heden onvoldoende concreet onderzoek is uitgevoerd om het effect van groenelementen op de luchtkwaliteit ter plaatse te kunnen kwantificeren in relatie tot het huidige meet- en regelvoorschrift. Wel lopen er momenteel verschillende onderzoeken in de praktijk met als doel meer duidelijkheid te krijgen over het belang van bomen bij het modelmatig berekenen van de luchtkwaliteit. In het kader van het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit is recent een kennisoverzicht (Van den Burg en anderen, 2006) over groen en luchtkwaliteit verschenen, op basis waarvan deze praktijkonderzoeken plaatsvinden. Zolang de resultaten uit deze onderzoeken nog niet beschikbaar zijn, is het niet goed mogelijk om het netto effect van toepassing van groen op de lokale luchtkwaliteit en gezondheid te berekenen.

De toepassing van groen kan een bijdrage leveren aan de verbetering van de luchtkwaliteit, indien de richtlijnen van deze leidraad worden gevolgd. Binnen een stedelijke omgeving zijn de effecten hiervan beperkt en stadsgroen is niet het tovermiddel om alle problemen van luchtkwaliteit te verhelpen en de lucht schoner te maken, maar wel een flankerende “No Regret” maatregel. Groene maatregelen komen dus niet in de plaats van brongerichte maatregelen, maar zijn er een aanvulling op.

De leidraad biedt hanteerbare richtlijnen voor weloverwogen aanleg van luchtzuiverend groen in Amsterdam. De leidraad richt zich daarbij vooral op de ontwerpers en beheerders van groen. Basis voor het opstellen van de richtlijnen is de functionaliteit van het groen in relatie tot de luchtkwaliteit. Toepassing is afhankelijk van de specifieke situatie en maatwerk is nodig. Zorgvuldigheid is dan ook geboden bij het kiezen van de juiste groene maatregelen inzake ontwerp, aanplant en onderhoud. Keuzes voor een bepaalde groene infrastructuur moeten op een transparante wijze tot stand komen en kunnen worden verantwoord. De opstelling van deze leidraad is onderdeel van de tweede fase in de uitvoering van Actie 41 uit het Actieplan Luchtkwaliteit. De leidraad sluit aan bij de vier schaalniveaus zoals die zijn omschreven in het bovengenoemde Alterra rapport 1723.

2. Luchtzuiverend groen en ruimtelijke planvorming

Om de gemeentelijke planprocessen beter te kunnen sturen en te beheersen heeft de gemeenteraad van Amsterdam in december 2005 de notitie Plan- en besluitvormingsprocedures ruimtelijke maatregelen 2006 (verder aangeduid met Plaberum) vastgesteld. Dit Plaberum beoogt een instrument te bieden dat duidelijkheid schept bij stadsdelen, centrale diensten en bedrijven en andere actoren over de bestuurlijke besluitvormingsprocedures, de rollen van de verschillende actoren en de fasering bij het opzetten en uitwerken van ruimtelijke plannen. Belangrijk is dat voor alle ruimtelijke plannen dezelfde procedure wordt gevolgd. Standaardisering draagt bij aan professionalisering en versnelling van het planproces en bevordert transparantie, efficiency en inzicht in het proces voor alle betrokken actoren.

Het planproces is ingedeeld in vier fasen, die worden afgesloten met bestuurlijke besluiten. Deze fasen zijn:

- (1) Strategiefase, die wordt afgerond met een strategiebesluit;
- (2) Onderzoeksfase, die leidt tot een projectbesluit;
- (3) Programma- en ontwerpfasen, die leidt tot een investeringsbesluit;
- (4) Uitvoeringsfase, waarin de verschillende uitvoeringsbesluiten worden gerealiseerd.

Het Plaberum is een handleiding die hierbij flexibel kan worden gehanteerd. Bij eenvoudige en/of minder omvangrijke projecten hoeven niet alle fasen te worden doorlopen.

Alle ruimtelijke projecten worden voor zover relevant integraal opgezet met een plan van aanpak voor de volgende drie domeinen

- (1) Fysiek (de ruimtelijke ambities, programma en openbare ruimte);
- (2) Sociaal (het hele scala van voorzieningen op het gebied van onderwijs, welzijn, cultuur, integratie, veiligheid en leefbaarheid);
- (3) Economie (werkgelegenheid, kantoren en bedrijven).

De planvorming aan de hand van het Plaberum moet zodanig plaatsvinden dat luchtzuiverend groen op een weloverwogen wijze kan worden ontworpen, aangeplant en beheerd. Geëigende beslissingen inzake de mogelijkheden van luchtzuiverend groen moeten op enig moment en in elke fase van het Plaberum worden genomen. Het fysieke domein van ruimtelijke projecten dat onder andere gaat over de openbare ruimte, biedt hiertoe de ingang. Zeker als het de luchtzuiverende functie van groen betreft. Groen is ook belangrijk voor andere thema's, maar deze leidraad richt zich uitsluitend op luchtkwaliteit.

Tabel 1.1. beschrijft de acties die in de verschillende fasen van ruimtelijke planvorming moeten worden ondernomen inzake luchtzuiverend groen.

In de Strategiefase (**Fase 1**) moet worden nagegaan of de verwachte concentraties van relevante componenten zoals fijn stof en stikstofdioxide de geldende normen voor luchtkwaliteit overschrijden. Is dit het geval dan komt de inzet van luchtzuiverend groen in beeld.

In de Onderzoeksfase (**Fase 2**) moeten de mogelijkheden en de verwachte effectiviteit van luchtzuiverend groen nader worden verkend en geëvalueerd. Deze fase vereist dat een koppeling wordt aangebracht tussen de verwachte effectiviteit van de te ontwerpen groene infrastructuur voor de lokale concentraties en het luchtkwaliteitsplan. De noodzakelijke randvoorwaarden worden geformuleerd waaraan luchtzuiverend groen moet voldoen.

In de Programma- en Ontwerpfase (**Fase 3**) moet de leidraad altijd worden gebruikt. Elk planproject kent wel openbare ruimte waarvoor groen moet worden ontworpen. Aangezien groen niet alleen een positieve bijdrage levert aan de lokale luchtkwaliteit op knelpunten maar ook aan de algehele luchtkwaliteit van de stad, is toepassing van de leidraad hier van groot belang. Voor de inzet van luchtzuiverend groen op knelpunten gelden additionele en strakkere richtlijnen voor ontwerp en beheer

dan voor groen met een functie voor de stad als geheel. Voor knelpunten moeten de ontwerpen zonder meer op maat worden toegesneden. Ieder definitief ontwerp van luchtzuiverend groen wordt opgeleverd met duidelijke randvoorwaarden voor effectief beheer.

In de Uitvoeringsfase (**Fase 4**) ten slotte wordt het ontworpen groen aangeplant waarna de beheerders er voor zorgen dat dit groen functioneel blijft voor de verbetering van de luchtkwaliteit. De aanplant wordt getoetst aan het ontwerp en het beheer wordt periodiek gecontroleerd opdat het groen de luchtzuiverende functie kan blijven vervullen.

Tabel 1.1. Noodzakelijke acties in elk van de vier fasen van het Plaberum die zijn gericht op de mogelijke inzet van luchtzuiverend groen.

Fase	Naam	Actie
1	Strategiefase	Nagaan of concentraties van luchtverontreiniging de normen overschrijden en zo ja voor welke componenten. Moet een actie worden opgezet in relatie tot het opstellen van een luchtkwaliteitsplan?
2	Onderzoeksfase	Nagaan of groen een bijdrage kan leveren aan verlaging van de concentraties. Moet er een koppeling worden aangebracht tussen het ontwerp van een groene infrastructuur en het luchtkwaliteitsplan?
3	Programma- en Ontwerpfase	Gebruik voor groenontwerp altijd de leidraad. Ontwerp voor een knelpunt in relatie tot luchtkwaliteit een functionele groenstructuur. Regel het beheer van de groenstructuur door het opstellen van de beheerscriteria.
4	Uitvoeringsfase	Plant het groen aan conform het ontwerp en creëer met groen geen ongewenst knelpunt in relatie tot luchtkwaliteit.

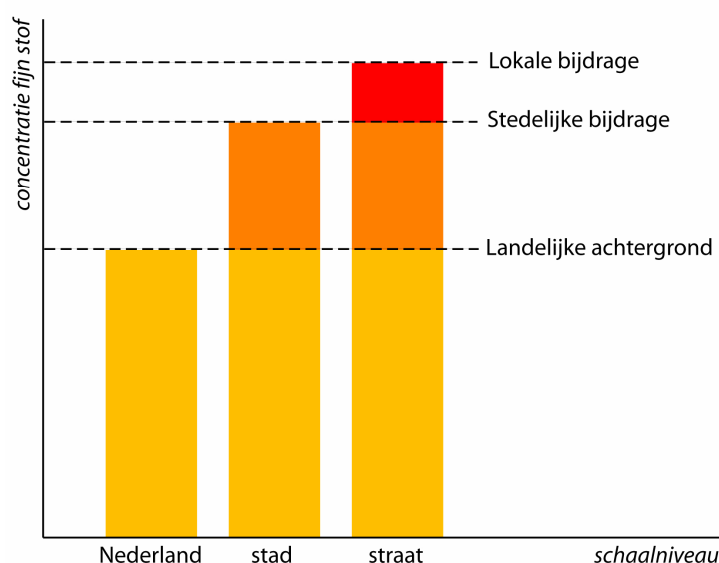
3. Ruimtelijke schaalniveaus: straat, stad en regio

Op sommige drukke locaties (knelpunten) overschrijden vooral de concentraties van fijn stof (PM10) en stikstofdioxide de normen voor luchtkwaliteit. Het betreft daarbij niet alleen de uitlaatgassen. Fijn stof afkomstig van slijtage van de remmen en banden vormt ook een belangrijke bron. De emissiebronnen bevinden zich laag bij de grond en de uitstoot vindt plaats in het directe domein van de burger. Ten opzichte van het gasvormige stikstofdioxide is er voor fijn stof het bijkomende probleem dat neergeslagen deeltjes steeds weer opwaaien onder invloed van de turbulentie van het verkeer. Deze opgewaaiide deeltjes maken een belangrijk deel uit van de totale concentratie fijn stof in de straat.

De bronnen die bijdragen aan luchtverontreiniging verschillen per ruimtelijk schaalniveau. Op het niveau van de drukke stadstraat betreft het vooral de lokale bijdrage door gemotoriseerd verkeer, met een plaatselijke verhoging van de achtergrondconcentraties als gevolg. Op hogere schaalniveaus tellen ook andere bronnen mee. Bijvoorbeeld de uitstoot van bedrijven en invloeden vanuit de regio en daarbuiten. Groene maatregelen kunnen zowel op het niveau van de straat als op het niveau van de stad en regio genomen worden.

In Figuur 3.1 wordt schematisch de opbouw van fijn stof weergegeven. Voor stikstofdioxide is dit patroon min of meer gelijk alleen de onderlinge percentages verschillen. De stedelijke plus lokale bijdrage aan de totale concentratie varieert van 20-50 procent voor stikstofdioxide en bedraagt voor fijn stof maximaal circa 35 procent. Gemiddeld over ons land is de buitenlandse bijdrage aan de concentraties van antropogeen fijn stof circa 65 procent en aan stikstofdioxide circa 40 procent (MNP, 2005). Normen voor fijn stof worden op grote schaal overschreden vaak al in de stedelijke achtergrond.

Groene maatregelen kunnen worden ingezet om zowel de landelijke achtergrond als de stedelijke en lokale bijdragen te verminderen. Voor de gemeente Amsterdam geldt natuurlijk een bestuurlijke verantwoordelijkheid voor vermindering van de stedelijke en lokale bijdragen. Zeker als normen voor luchtkwaliteit worden overschreden. Getalsmatig lijken groene maatregelen langs wegen in de stad meer effect te hebben op het stedelijk niveau van stikstofdioxide dan van fijn stof aangezien voor deze laatstgenoemde component de landelijke achtergrond een groter deel uitmaakt van de totale belasting.



Figuur 3.1. Schematische weergave van de samenstelling van de fijn stof concentratie naar herkomst voor verschillende schaalniveaus.

4. Effect van luchtzuiverend groen en schaalniveau

Het maakt uit of groene maatregelen worden getroffen op het niveau van straat, wijk of stad. Hoge concentraties van stikstofdioxide en fijn stof in een bepaalde straat zijn een optelsom van de landelijke achtergrond, een bijdrage van de gehele stad én een lokale bijdrage van die straat zelf. Voor elk schaalniveau varieert ook de effectiviteit van eventuele groene maatregelen om de concentraties te verlagen. Hoe groter het aanbod aan verontreiniging, des te meer daarvan door planten uit de lucht wordt verwijderd. Tot slot is de hoeveelheid beschikbare ruimte afhankelijk van het schaalniveau waarvoor de groene infrastructuur moet worden ontworpen.

Bij toepassing van luchtzuiverend groen wordt over het algemeen een onderscheid gemaakt tussen regionale en lokale toepassing van groen (Tabel 4.1). Met regionale toepassing wordt bedoeld dat het doel vooral is om verontreiniging uit de lucht te filteren en daarmee een algemene verbetering van de luchtkwaliteit te bereiken. Lokale toepassing houdt in dat luchtvervuiling afkomstig van lokale bronnen zo veel mogelijk afgevangen of verspreid wordt.

Naast de luchtzuivering speelt bij lokale toepassing ook het effect van groenelementen op de plaatselijke windsnelheid en turbulentie een rol. Door demping van de windsnelheid krijgt verontreiniging meer gelegenheid om naar de bodem of bladeren te zakken. Deze zogeheten depositie wordt dus groter. Hoewel de resulterende concentratie zeer lokaal voor en kort achter de groenstructuur kan toenemen, is dit fenomeen toch positief te duiden. Verder van de groenstructuur vandaan is de verontreiniging namelijk minder dan bij een situatie waarin geen groen aanwezig is.

Groene maatregelen op lokaal en regionaal niveau onderscheiden zich vooral door de wijze waarop planten in contact komen met vervuilde lucht. Bij lokale maatregelen wordt ingezet op zuivering van de lucht die van opzij aanstroomt. Bij regionale toepassing verwijderen planten de luchtverontreiniging uit de lucht wanneer deze om het groen heen waait.

Tabel 4.1. Typen toepassingen van luchtzuiverend groen.

Niveau	Principe	Opmerking
Regionale toepassing	Effectieve verwijdering van luchtverontreiniging	Dit wordt wel de 'sink' functie van groen genoemd.
Lokale toepassing	Effectieve verwijdering van luchtverontreiniging plus effect van windbeïnvloeding op de lokale concentraties.	Demping van de windsnelheid kan leiden tot het 'groene tunnel' effect.

De straat

De straat is het niveau waarop groene maatregelen worden genomen tegen lokale bronnen, deze zijn gekoppeld aan (mogelijke) knelpunten. Zie voor overzicht Tabel 4.2. Er is daarom een sterke relatie met het luchtkwaliteitsplan. Principe van de maatregelen is de bestrijding aan de bron. Dit niveau is gericht op de creatie van groene lijnen in de ruimte bijvoorbeeld in de vorm van een aansluitende rij laanbomen, van blokhagen of van gevelgroen. Indien lokale toepassing van groen wordt overwogen, dan moeten de ontwerpen altijd op de specifieke situatie worden toegesneden. Omdat planten meer opnemen naarmate er meer verontreiniging in de lucht zit; werkt aanplant dicht bij de bron positief door op de luchtkwaliteit in de wijk en de stad. Voor fijn stof geldt nog als extra argument dat het door groen opgevangen stof niet meer opwaait als gevolg van het verkeer waardoor de concentraties in een drukke straat ook dalen. Daarbij moet zo veel mogelijk worden voorkomen dat groene maatregelen leiden tot een extra verhoging van de concentraties als gevolg van het groene tunnel effect.

De stad en de regio

Aan de andere kant van het spectrum zijn er verontreinigingsbronnen uit de stad en de regio, die de achtergrondconcentratie veroorzaken. Op dit niveau worden groene maatregelen genomen in relatie tot regionale bronnen. Groene maatregelen op het niveau van de stad beïnvloeden de algehele luchtkwaliteit en veel minder een normoverschrijding op een specifiek knelpunt. Het effect op de algehele luchtkwaliteit is procentueel minder dan bij groene maatregelen in een straat maar het geldt wel voor de gehele stad. Groene maatregelen op het niveau van de stad zijn aan minder strenge eisen onderhevig in vergelijking met de straat. Verbetering van de luchtkwaliteit wordt een extra criterium bij het ontwerpen van groen in de openbare ruimte. In wezen gaat het erom om zoveel mogelijk bladvolume te creëren op een zo groot mogelijk areaal.

De wijk

De wijk is de plek waar straat en stad elkaar ontmoeten. Op wijkniveau worden groene maatregelen genomen tegen verontreiniging uit lokale én achtergrondconcentraties afkomstig van regionale bronnen. Groene maatregelen op lokaal niveau kunnen worden getroffen langs de ontsluitingswegen van wijken, bij sportvelden en bedrijventerreinen. Tegelijkertijd biedt de beschikbare oppervlakte genoeg ruimte om groen aan te planten ter verbetering van de algehele luchtkwaliteit. Het is deze combinatie van lokale en regionale toepassing van groen op wijkniveau die vooral in de planningsfase van bijvoorbeeld nieuwe wijken en bedrijventerreinen goed moet worden overwogen.

Een boom

Groen op het niveau van een boom, struik of grasdak betekent vooral dat de stedelijke achtergrondconcentratie wordt aangepakt en dat het lokale (leef)klimaat wordt verbeterd. Verschillende van deze groenelementen bij elkaar leveren natuurlijk ook een positieve bijdrage bij een knelpunt. Bestaande situaties kunnen vooral worden verbeterd door goed beheer. In relatie tot plannen om bomen te kappen is het belangrijk om te weten hoe te compenseren of te salderen.

Tabel 4.2. Typering van de inzet van luchtzuiverend groen per schaalniveau.

Schaalniveau	Omschrijving¹	Doel	Principe
Straat	Groene lijnen langs (snel)wegen	Reductie concentraties afkomstig uit lokale bronnen	Bestrijding aan de bron.
Wijk	Groene oases en postzegelparkjes	Reductie achtergrondconcentraties afkomstig uit regionale bronnen	Positieve bijdrage aan algehele luchtkwaliteit
Stad en regio	Groen met een regionaal of bovenlokaal karakter		
Één boom	Functie van één boom, struik of grasdak		

¹ Kuypers en De Vries, 2008. (in druk).

5. Algemene richtlijnen voor luchtzuiverend groen

Hoewel toepassing van groen ten behoeve van verbetering van de luchtkwaliteit altijd vraagt om maatwerk zijn er ook algemeen geldende richtlijnen die raken aan de functionele inzet van luchtzuiverend groen. Deze aspecten gelden voor alle bestaande en nog te ontwerpen beplantingen. Tabel 5.1 vat deze aspecten in de vorm van richtlijnen samen. Ten eerste gaat het erom zo veel mogelijk bladoppervlak te creëren. Bladeren zijn immers de belangrijkste plaats waar verontreiniging effectief uit de lucht wordt gefilterd. Ten tweede zijn er gradaties in effectiviteit, bomen zijn het meest effectief en deze effectiviteit neemt vervolgens af van heesters en kruidachtigen naar gras en andere vormen van bodembedekking. Als derde punt geldt dat groenblijvende soorten gedurende het jaar meer verontreiniging verwijderen dan niet groenblijvende. Het mag ook duidelijk zijn dat interen op groen negatief doorwerkt op de heersende luchtkwaliteit.

De effectiviteit verschilt tussen verschillende soorten en is tevens afhankelijk van de component. Daarbij is ook de structuur van de beplanting belangrijk. Hoofdstuk 10 geeft een inschatting van de effectiviteit van de belangrijkste houtige gewassen op basis van kenmerkende eigenschappen van de bladeren. Het gaat hierbij om relatieve verschillen in effectiviteit tussen de soorten. Iedere plant neemt altijd wel iets op.

Voor fijn stof en stikstofdioxide zijn de algemene richtlijnen betreffende de functionele inzet van groen grotendeels gelijk. In termen van toepassing moet vooral met de volgende verschillen rekening worden gehouden:

- (1) De relatieve effectiviteit van soorten verschilt voor de twee componenten omdat de principes van opname verschillend zijn;
- (2) Stikstofdioxide kan zichtbare schade bij planten veroorzaken en daarmee de esthetische waarde van planten verminderen;
- (3) In tegenstelling tot stikstofdioxide waaien deeltjes van fijn stof steeds weer op onder invloed van het verkeer zodat fixatie van deze deeltjes extra belangrijk en ook effectief is;
- (4) Deeltjes van fijn stof worden ook voor een gedeelte uit de lucht verwijderd door takken en twijgen.

Inzet van luchtzuiverend groen impliceert dat groen niet louter een doel op zich is, maar feitelijk een middel dat bijdraagt aan de kwaliteit van de leefomgeving. Om groen optimaal te laten functioneren dient er zorg te zijn voor het creëren van goede groeiomstandigheden bij de aanplant. Planten die goed groeien zijn effectiever dan planten die niet goed groeien. De bewortelingsruimte moet van voldoende omvang zijn en voedingsstoffen en water zijn beschikbaar. Ook de structuur van de bodem moet geschikte groei mogelijk maken en te grote verdichting van de bodem moet worden voorkomen.

Bij de aanplant van luchtzuiverend groen moet het groenbeheer goed en liefst structureel zijn geregeld. Het beheer van groen moet als een investering worden gezien en niet louter als kostenpost. Dit groen moet blijvend en op een zinvolle manier een functie kunnen vervullen die maatschappelijk belangrijk wordt geacht. Tegenover het beheer van groen in de openbare ruimte staan dus maatschappelijke baten.

Tabel 5.1. Algemene richtlijnen voor de inzet van luchtzuiverend groen.

Algemene richtlijn	Opmerking
Vergroot het bestand aan bomen.	Bomen zijn het meest effectief bij het verwijderen van verontreiniging uit de lucht.
Verhoog het aandeel van wintergroene soorten.	Komt jaarrond de algemene luchtkwaliteit ten goede maar vooral inzake fijn stof.
Creëer goede groeiplaatsen.	De functionaliteit van luchtzuiverend groen moet worden gewaarborgd.
Plant het juiste groen op de juiste plek.	De effectiviteit van luchtzuivering hangt af van een goede groei en ontwikkeling van het groen.
Gebruik soorten die zijn aangepast aan de stedelijke omgeving.	Vooraf ook van belang om te voorkomen dat toegepaste soorten schade ondervinden van de heersende luchtverontreiniging. Gevoeligheid voor luchtverontreiniging is afhankelijk van de component en varieert tussen soorten en cultivars.
Gebruik bodembedekkers.	Vooraf om opwaaiend fijn stof in het domein van de burger en passant vast te leggen.
Zorg voor functionele compensatie bij verlies aan groen.	Interen op groen als gevolg van inbreiding en kap werkt negatief door op de luchtkwaliteit.
Regel het groenbeheer structureel.	De functionaliteit van luchtzuiverend groen moet ook voor de langere termijn worden gewaarborgd en eventuele negatieve effecten moeten worden voorkomen.

6. Luchtzuiverend groen in de straat

Notoire knelpunten in de stad zijn straten met druk verkeer die aan één of beide kanten zijn bebouwd. Goede verspreiding van luchtverontreiniging is hier vaak het probleem. De gemeente is van zins voor deze straten op basis van een luchtkwaliteitsplan maatregelen te nemen om de lokale concentraties te verlagen.

Figuur 6.1. visualiseert de verschillende bronnen van fijn stof voor een straat met aan weerszijden bebouwing. Bovenop de landelijke achtergrond en de stedelijke bijdrage voegt het verkeer in de straat extra fijn stof toe dat voor een groot deel in de straatlucht aanwezig blijft. Zolang de deeltjes van fijn stof niet verdwijnen door afvangst of anderszins, waaien neergeslagen deeltjes steeds weer op onder invloed van de turbulentie van het verkeer. Afhankelijk van het type voertuig kunnen deeltjes tot een hoogte van wel 5 tot 7 meter worden opgewaaid. Deze opgewaaide deeltjes maken een belangrijk deel uit van de totale concentratie van fijn stof in de straat.

Indien toepassing van luchtzuiverend groen in een knelpuntstraat wordt overwogen, moeten de ontwerpen altijd op de specifieke situatie van de straat worden toegesneden. Bestrijding van luchtverontreiniging dichtbij de weg werkt positief door op de luchtkwaliteit in de stad omdat planten meer opnemen naarmate er meer verontreiniging in de lucht zit. Kenmerkend voor groene toepassingen in straten is dat vervuilde lucht zijwaarts en in ideale situaties zelfs loodrecht op groenelementen aanstroomt. Zo veel mogelijk moet worden voorkomen dat groenelementen als windsingels gaan fungeren en leiden tot een extra verhoging van de concentraties als gevolg van het groene tunnel effect. Voor fijn stof geldt nog als extra argument dat het door groen gefixeerde stof niet meer opwaait als gevolg van turbulentie van het verkeer. Tot slot is de hoeveelheid beschikbare ruimte afhankelijk van het schaalniveau waarvoor de groene infrastructuur moet worden ontworpen.

Tabel 6.1 geeft een overzicht van de belangrijkste richtlijnen.

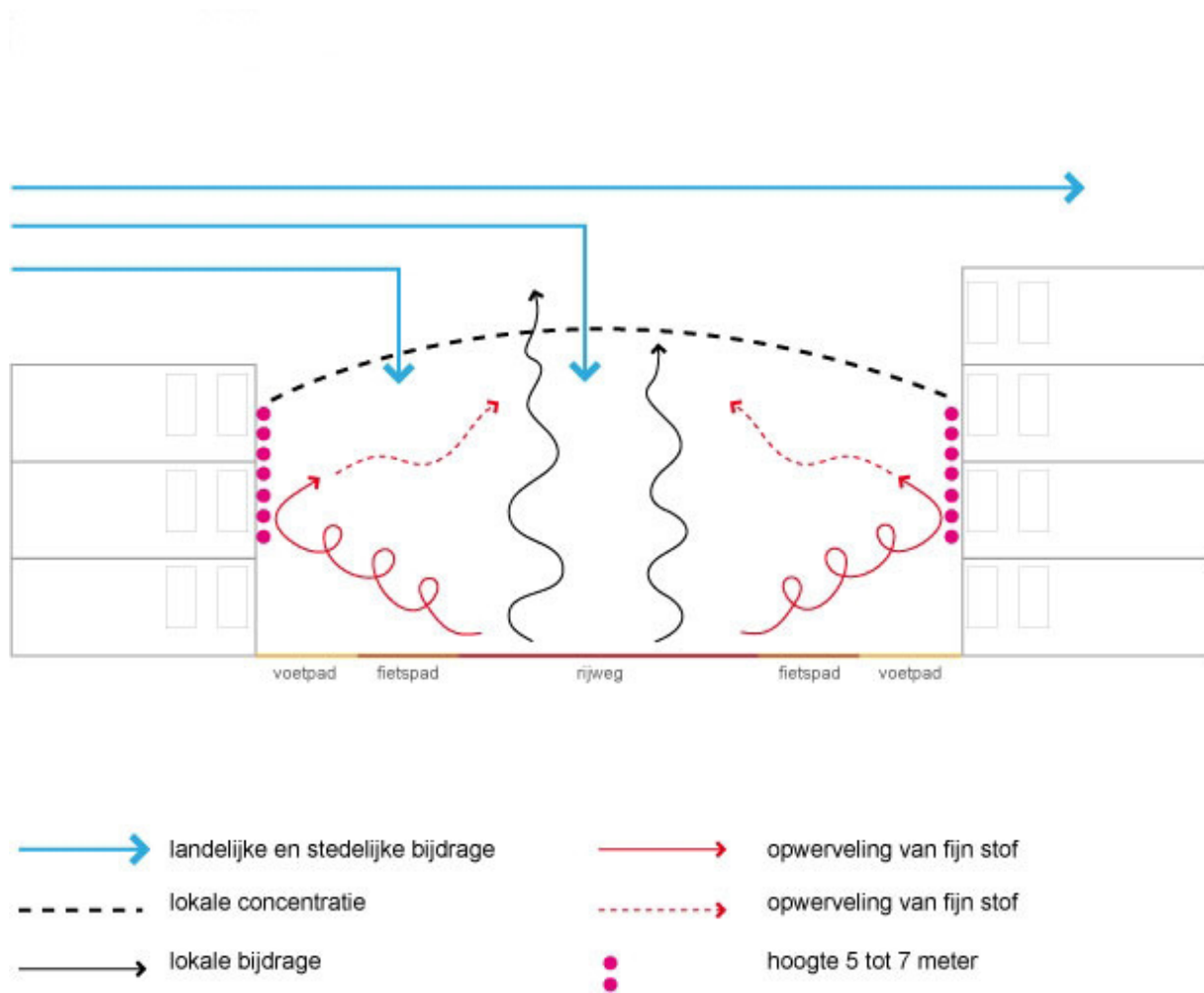
Tabel 6.1. Richtlijnen voor de inzet van luchtzuiverend groen in straten.

Richtlijn	Opmerking
Ontwerp op hoogte van groenelement.	Volgens een vuistregel is het afgeschermd gebied achter het groenelement 15 keer de hoogte van dat element.
Ontwerp op breedte van groenelement.	Maak de groene lijn maximaal één tot twee bomen breed. Bredere elementen fungeren als windsingel waarbij de vervuilde lucht over het gebladerte heengaat.
Zorg voor voldoende optische porositeit.	Vervuilde lucht moet door het gebladerte heen kunnen. Bij een optische porositeit van 50% of groter wordt het groene tunnel effect voorkomen. Dit kan worden bereikt via goede soortkeuze of via gericht beheer.
Let indien mogelijk bij ontwerp op de meest voorkomende windrichting en de situering van het groenelement ten opzichte van de weg.	Groenelementen zijn het meest effectief indien deze loodrecht worden aangestroomd door vervuilde lucht.
Zorg voor aansluitend bladoppervlak van onder tot boven.	Zorg dat vervuilde lucht op elk niveau door gebladerte gaat en dat er geen 'lekken' zijn. Plant heesters onder opgekroonde bomen en maak gebruik van bodembedekking.
Zorg voor aansluitend bladoppervlak in de lengterichting.	Zorg dat vervuilde lucht door gebladerte gaat en dat er geen 'lekken' zijn.
Vergroot de porositeit indien er sprake is van het groene tunnel effect.	Dit kan bijvoorbeeld door om en om bomen te verwijderen of door gerichte snoei uit te voeren.

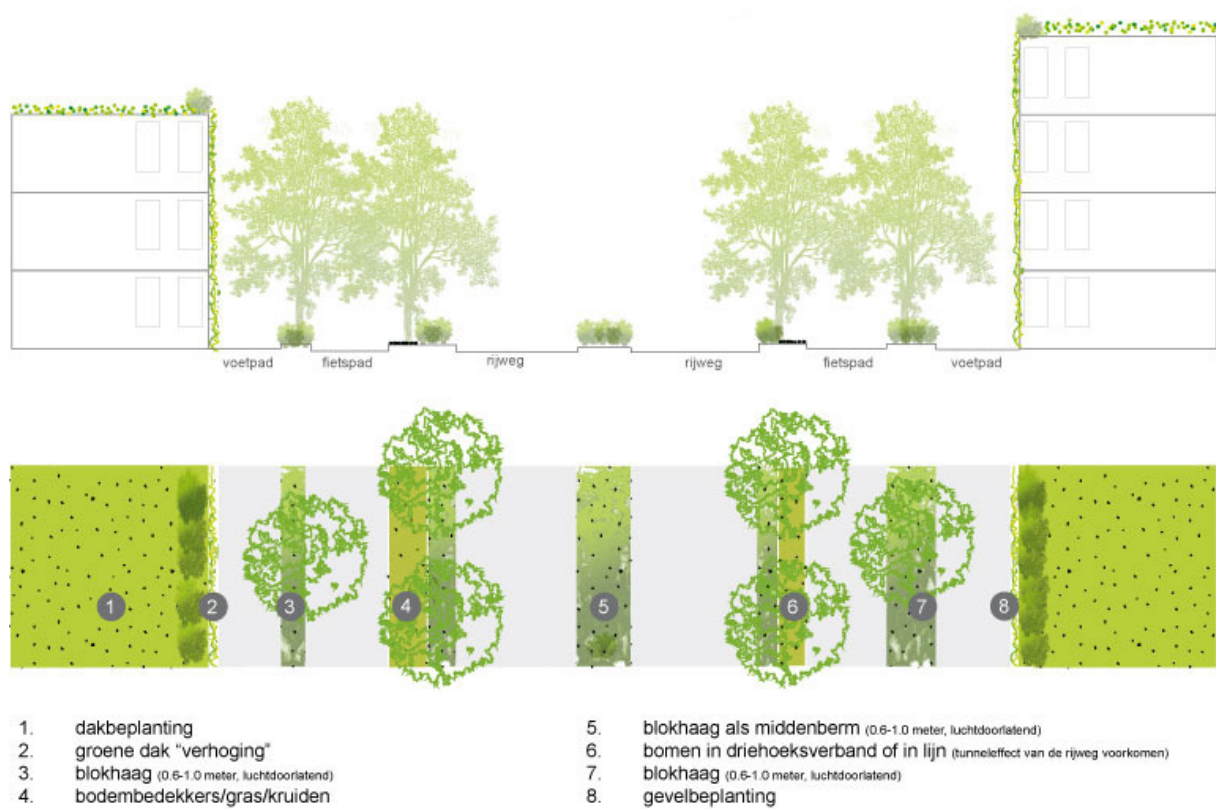
Selecteer een effectieve soort afhankelijk van de component.	Voor een eerste selectie zie Hoofdstuk 10.
Kies inzake stikstofdioxide voor plantensoorten met platte en brede bladeren indien soortspecifieke gegevens over effectiviteit ontbreken.	Stikstofdioxide wordt via de huidmondjes door bladeren opgenomen. Deze opname is het meest effectief bij platte en brede bladeren. Dit geldt ook voor de andere, veel voorkomende en gasvormige componenten.
Kies inzake fijn stof voor naaldbomen of voor plantensoorten met ruwe en behaarde bladeren indien soortspecifieke gegevens over effectiviteit ontbreken.	Naaldbomen zijn het meest geschikt voor verwijdering van fijn stof uit de lucht, gevolgd door loofbomen (en andere plantensoorten) met ruwe en behaarde bladeren.
Selecteer houtige gewassen met een warrige takstructuur	Een warrige takstructuur verbetert de afvangst van fijn stof, ook in de bladloze periode.
Verhoog het aandeel van wintergroene soorten.	Komt jaarrond de algemene luchtkwaliteit ten goede maar vooral inzake fijn stof.
Selecteer houtige gewassen die het dode blad 's winters vasthouden.	Bladeren hoeven niet levend te zijn om fijn stof uit de lucht te verwijderen.
Maak gebruik van blokhagen.	Dicht langs de weg tot maximaal 1 meter hoogte fixeren blokhagen fijn stof en verminderen daarmee het opwaaien.
Pas altijd bodembedekking toe.	Ook bodembedekkers fixeren fijn stof. Hoe ruwer die bedekking des te effectiever. Zo zijn extensief beheerde, kruidenrijke mengsels effectiever dan frequent gemaaid gras.
Pas gevelgroen toe op kale muren van aangrenzende woningen en zorg voor voldoende hoogte.	Gevelgroen neemt effectief verontreiniging op. Zorg dat gevelgroen minimaal 5 tot 7 meter hoog kan worden. Op deze hoogte doet zich als gevolg van langrijdende vrachtwagens een tweede piek van fijn stof voor.
Creëer groene schermen bij gebrek aan fysieke ruimte.	Bijvoorbeeld klimplanten langs metalen rasters en vergelijkbare systemen.

Hoe een structuur van luchtzuiverend groen in een knelpuntstraat er uit zou kunnen zien, wordt in Figuur 6.2. geschetst. Lucht met verontreiniging uit de omgeving van de straat (dit is de landelijke achtergrond plus de stedelijke bijdrage) wordt voorgezuiverd bij passage over dakgroen en de toppen van de boomkruinen voordat het bijdraagt aan de concentratie in de straat.

De uitlaatgassen van het verkeer in de straat zelf worden in eerste instantie opgevangen door enigszins luchtdoorlatende blokhagen van 0,6 tot 1 meter hoogte. Ook andere groenstructuren zijn hier mogelijk zoals bijvoorbeeld klimplanten op metalen rasters. Vooral voor de vastlegging van opwaaiend fijn stof is deze structuur belangrijk. Vervolgens passeert de verkeersgerelateerde verontreiniging bomen die of lineair of in driehoeksverband zijn aangeplant, waarbij wordt gelet op de noodzakelijke porositeit. Boven de rijweg moet namelijk het groene tunnel effect worden voorkomen. In de hoogte is het gewenst de verschillende bladlagen van bomen en hagen op elkaar te laten aansluiten.



Figuur 6.1. De bronnen en verspreiding van fijn stof in een straat met aan weerszijden bebouwing.



Figuur 6.2. Totaalconcept voor de het gebruik van groen in een straat ter verbetering van de lokale luchtkwaliteit.

7. Luchtzuiverend groen in de wijk

De wijk is de plek waar straat en stad elkaar ontmoeten en waar een combinatie mogelijk is van groene maatregelen gericht op zowel lokale als regionale bronnen. Groene maatregelen voor reductie van luchtverontreiniging veroorzaakt door lokale bronnen kunnen worden getroffen langs de snelwegen, op- en afritten en ontsluitingswegen van wijken en terreinen. Lokale toepassing van groen in dit soort situaties is gericht op de creatie van groene lijnen langs de wegen bijvoorbeeld in de vorm van een aansluitende rij laanbomen of groene geluidsschermen. Hiervoor gelden in eerste instantie dezelfde richtlijnen als die welke in Tabel 6.1. zijn gepresenteerd. Een klein aantal richtlijnen kan hieraan worden toegevoegd. Vooral omdat er op wijkniveau meer fysieke ruimte beschikbaar is voor de aanplant van groen. Het is soms mogelijk en zinvol om groene lijnen van bomen op vaste afstand van elkaar terug te laten komen. We spreken dan van repeterende groene lijnen. Hiermee kan een groter gebied toch min of meer als een oase van schone lucht worden ingericht. De additionele richtlijnen zijn vermeld in Tabel 7.1.

In wijken en bij sportcomplexen, kantoorparken en bedrijventerreinen is vaak ruimte aanwezig om groen aan te planten ter verbetering van de algehele luchtkwaliteit. Zie Tabel 7.2. voor de hier geldende richtlijnen. Op dit niveau kan het soms zinvol zijn om kleine oases van schone lucht te creëren. Het gaat hier dan om kleine parkjes met bomen die middels een gesloten bladerdek de ruimte afschermen van de vervuilde lucht uit de omgeving. In feite is dit dus een omkering van het groene tunnel effect.

Tabel 7.1. Extra richtlijnen voor de inzet van luchtzuiverend groen op wijkniveau gericht op lokale bronnen.

Richtlijn	Opmerking
Ontwerp groene lijnen loodrecht op de windrichting.	Bij loodrechte aanstromen van vervuilde lucht is de filtering door groen het meest effectief
Ontwerp repeterende lijnen	Volgens een vuistregel is het afgeschermd gebied achter het groenelement 15 keer de hoogte van dat element. Plaats dan een tweede element evenwijdig aan het eerste op een afstand van circa 10 keer de hoogte en zo verder.
Vergroen geluidschermen.	Waar sprake is van geluidschermen, vergroen deze met gevelgroen. Optimaal is om het groenelement op enige afstand vóór het geluidsscherm te planten opdat de vervuilde lucht door de beplanting heengaat. Plant achter het geluidscherm (van de weg af geredeneerd) bomen bij voldoende ruimte. Aanplant van bomen beschermt additioneel tegen geluidhinder.

Tabel 7.2. Richtlijnen voor de inzet van luchtzuiverend groen op wijkniveau gericht op regionale bronnen.

Richtlijn	Opmerking
Varieer de soorten op basis van hun effectiviteit om verschillende componenten uit de stadslucht te verwijderen.	Doel is om de cocktail van verontreiniging aan te pakken. Zie ook Hoofdstuk 10 voor de effectiviteit van verschillende houtige gewassen.
Varieer ook in verschillende typen van groen	Bomen, heesters, kruidenrijke vegetaties en andere typen van vegetaties zorgen voor blad op verschillende hoogten.
Breid vooral het bomenbestand uit.	Vanwege hun grote ruwheid en bladoppervlakte zijn bomen het meest effectief en kunnen in een versteende omgeving worden toegepast.
Laat bomen tot volle wasdom komen.	Een volwassen boom vangt wel tot 14 keer meer fijn stof af dan een gemiddelde stadsboom.
Vergroen kale oppervlaktes	Toepassing van dak- en gevelgroen maakt deze niet-functionele oppervlakten functioneel en legt geen beslag op de openbare ruimte. Bedekking van 20% van het dakoppervlak met grasdaken leidt tot meetbare verbetering van de luchtkwaliteit in de wijk.
Indien zinvol, creëer oases van schone lucht	Doel is om verblijfsruimten af te schermen door 'omkering' van het groene tunnel effect.

8. Luchtzuiverend groen in de stad en de regio

Groene maatregelen op het niveau van de stad inclusief de regio dragen bij aan de aanpak van regionale bronnen. Het betreft hier vooral de vermindering van de stedelijke bijdrage en eventueel van de grootschalige landelijke achtergrondconcentratie. Doel van deze maatregelen is een verbetering van de algehele luchtkwaliteit in de stad. Om dit doel te bereiken moet de capaciteit van de groene 'sink' weloverwogen worden uitgebreid. Tabel 8.1 somt de belangrijkste richtlijnen op om de inzet van luchtzuiverend groen op niveau van stad en regio te verbeteren. Deze richtlijnen zijn aanvullend op de eerder in Tabel 5.1. vermelde algemene richtlijnen.

Tabel 8.1. Richtlijnen voor de inzet van luchtzuiverend groen in de stad en de regio.

Richtlijn	Opmerking
Varieer de soorten op basis van hun effectiviteit om verschillende componenten uit de stadslucht te verwijderen.	Doel is om de cocktail van verontreiniging aan te pakken. Zie ook Hoofdstuk 10 voor de effectiviteit van verschillende houtige gewassen.
Varieer ook in verschillende typen van groen	Bomen, heesters, kruidenrijke vegetaties en andere typen van vegetaties zorgen voor blad op verschillende hoogten.
Breid vooral het bomenbestand uit.	Vanwege hun grote ruwheid en bladoppervlakte zijn bomen het meest effectief en kunnen in een versteende omgeving worden toegepast.
Laat bomen tot volle wasdom komen.	Een volwassen boom vangt wel tot 14 keer meer fijn stof af dan een gemiddelde stadsboom.
Vergroen kale oppervlaktes	Toepassing van dak- en gevelgroen maakt deze niet-functionele oppervlakten functioneel en legt geen beslag op de openbare ruimte.
Leg in de regio bossen aan.	Bossen zijn vooral effectief om de achtergrondconcentratie te verlagen. Tevens is door afscherming de luchtkwaliteit in het bos beter dan daarbuiten.
Verrijk het landelijk gebied met landschapselementen als struwelen en houtwallen.	Ook in het landelijke gebied bevinden zich bronnen van verontreiniging zoals snelwegen en intensieve dierhouderijen. Landschapselementen verwijderen meer dan gemiddeld verontreiniging uit de lucht.

9. Omgang met individuele bomen

Alle groen draagt bij aan verbetering van de luchtkwaliteit. Ook al is het positieve effect van een boom, struik of grasdak niet direct meetbaar. Op dit zeer lokale niveau levert groen vooral een extra bijdrage aan de verlaging van de stedelijke achtergrondconcentratie.

In relatie tot plannen om bomen te kappen is het belangrijk te weten hoeveel verontreiniging een boom uit de lucht verwijdert. Een gemiddelde stadsboom fixeert naar schatting 100 gram fijn stof per jaar. Een volwassen boom wel 1,4 kilogram. Het hangt natuurlijk van de concrete situatie af hoeveel een individuele boom werkelijk opneemt.

Mogelijkheden om op dit schaalniveau situaties te verbeteren beginnen vaak bij het aanpassen van het beheer. Het mag duidelijk zijn dat interen op groen negatief doorwerkt op de heersende luchtkwaliteit. Functionele compensatie bij verlies aan groen is dan belangrijk.

Tabel 9.1. Richtlijnen voor de inzet van luchtzuiverend groen op het schaalniveau van één boom.

Richtlijn	Opmerking
Zorg voor functionele compensatie bij verlies aan groen.	Interen op groen als gevolg van inbreiding en kap werkt negatief door op de luchtkwaliteit.
Breidt het areaal aan klein groen uit	Bijvoorbeeld gevel- en balkontuintjes en vergroening van particuliere tuinen.

10. Effectiviteit van houtige gewassen voor verbetering van de luchtkwaliteit

Alle planten dragen bij aan verbetering van de luchtkwaliteit. De ene plantensoort is hiervoor echter meer geschikt dan de andere en de effectiviteit van een soort is afhankelijk van het type luchtverontreiniging. Bladeren vormen de belangrijkste plaats waar gasvormige luchtverontreiniging en fijn stof uit de lucht worden gefilterd. Verschillen in de bouw van het blad en in de hoeveelheid blad bepalen in grote mate de verschillen in effectiviteit tussen soorten. Over de precieze effectiviteit van verschillende soorten bomen en struiken om de luchtkwaliteit te verbeteren ontbreekt nog veel informatie. Hiemstra en anderen (2008) hebben recent een inschatting gemaakt van deze effectiviteit op basis van de eigenschappen van de bladeren. De gegevens uit deze studie zijn vermeld in Tabel 10.1. Het gaat hierbij om relatieve verschillen in effectiviteit tussen soorten. Immers, alle planten verwijderen in meer of mindere mate verontreiniging uit de lucht. Omdat sommige planten door de uitstoot van vluchtige organische verbindingen de ozonvorming kunnen stimuleren, is in de laatste kolom de hierover bekende informatie samengevat.

1. EFFECTIVITEIT INZAKE VERWIJDERING VAN FIJN STOF (PM10)

Met betrekking tot fijn stof is de effectiviteit geschat aan de hand van de volgende criteria:

- (1) Naaldbomen zijn effectiever in het verwijderen van fijn stof dan loofbomen;
- (2) Binnen de categorie van loofbomen zijn bomen met ruwe en behaarde bladeren effectiever dan die met gladde en platte bladeren;
- (3) Soorten die groenblijvend zijn verwijderen meer fijn stof dan soorten die niet groenblijvend zijn;
- (4) Soorten met een groot bladoppervlak vangen meer fijn stof af dan soorten met een klein bladoppervlak. In deze zin zijn bomen dus effectiever dan struiken.

Voor zover bekend is fijn stof niet schadelijk voor planten. Bij de keuze van soorten hoeft dus geen rekening te worden gehouden met aspecten van gevoeligheid voor fijn stof.

De waardering van de effectiviteit is in de tabel weergegeven op een schaal van 1 (minst effectief) tot 3 (meest effectief).

2. EFFECTIVITEIT INZAKE VERWIJDERING VAN STIKSTOFOXIDEN

Met betrekking tot stikstofdioxide is de effectiviteit ingeschat aan de hand van de volgende criteria:

- (1) Loofbomen zijn effectiever in de absorptie van stikstofdioxide dan naaldbomen;
- (2) Binnen de categorie van loofbomen zijn bomen met gladde en platte bladeren effectiever dan die met ruwe en behaarde bladeren;
- (3) Soorten met een groot bladoppervlak absorberen meer stikstofdioxide dan soorten met een klein bladoppervlak. In deze zin zijn bomen dus effectiever dan struiken.

De waardering van de effectiviteit is in de tabel weergegeven op een schaal van 1 (minst effectief) tot 3 (meest effectief).

Stikstofdioxide kunnen schadelijk zijn voor planten. Indien bomen en struiken worden aangeplant om de concentraties van stikstofdioxide te verlagen, moet rekening worden gehouden met aspecten van gevoeligheid. Ook deze gevoeligheid varieert tussen soorten. Soorten waarvan op basis van Japans onderzoek (Takahashi en anderen, 2005) bekend is dat ze kunnen worden aangeplant in een omgeving met veel stikstofdioxide, zijn met een (+) aangeduid.

3. EFFECTIVITEIT INZAKE VERWIJDERING VAN OZON

Het effect van bomen op de concentratie van ozon is zeer complex. Ozon wordt gevormd uit stikstofdioxide en vluchtige organische verbindingen bij hogere temperaturen en onder invloed van zonlicht. Boomsoorten kunnen dan ook op velerlei manieren de ozonconcentratie beïnvloeden:

- (1) Als gevolg van de verdamping van water door de bladeren dempen planten de temperatuurstijging en remmen daarmee de vorming van ozon in vergelijking met een situatie zonder planten;
- (2) Bomen en struiken absorberen stikstofdioxide (Kolom 3 in Tabel) in meer of mindere mate. Hoe meer stikstofdioxide wordt opgenomen des te minder ozon kan worden gevormd;
- (3) Bomen en struiken absorberen zelf ozon in meer of mindere mate;
- (4) Bomen emitteren zelf vluchtige organische stoffen in verschillende hoeveelheden (zie Kolom 5 in Tabel 10.1.). Deze organische stoffen dragen bij aan de vorming van ozon. Hoe meer van dit soort verbindingen wordt geëmitteerd, hoe meer de ozonproductie wordt gestimuleerd.

In kolom 4 wordt een inschatting gemaakt van de effectiviteit van bomen en struiken om ozon te absorberen. Qua effectiviteit loopt de absorptie van ozon parallel aan die van stikstofdioxide omdat de opnameprocessen vergelijkbaar zijn. De waardering van de effectiviteit wordt dan ook weergegeven op een schaal van 1 (minst effectief) tot 3 (meest effectief).

Tussen haakjes wordt aangegeven welke soorten volgens Engels onderzoek (Donovan en anderen, 2005) de ozonconcentratie in de stad effectief kunnen doen dalen (+) of doen stijgen (-).

Soorten die relatief veel vluchtige organische stoffen produceren (Kolom 5 van Tabel) kunnen aanleiding geven tot een stijging van de ozonniveaus. Hoewel deze soorten ook ozon absorberen, is het netto effect een stijging van de ozonniveaus. Indien verlaging van ozonconcentraties gewenst is kan **grootschalige** aanplant van deze soorten daarom beter worden vermeden.

Tabel 10.1. Effectiviteit (1 is minst effectief, 2 is matig effectief en 3 is meest effectief) van houtige planten en cultivars (cv's) om verschillende componenten uit de lucht te verwijderen. Voor verdere uitleg zie de tekst.

Bomen en heesters	Fijn stof (PM10)	Stikstofoxiden (NO+NO ₂)	Ozon (O ₃)	Emissie van vluchtige organische stoffen ^{3,4}
Loofbomen en heesters				
Acer platanoides + cv's	1	3	3 (+) ²	Niet meetbaar
Acer pseudoplatanus + cv's	1	3	3 (+)	Niet meetbaar
Aesculus	2	3	3	Niet meetbaar
Ailanthus altissima	1	3	3	Gering
Alnus cordata	1	3	3 (+)	Niet meetbaar
Alnus glutinosa + cv's	1	3	3 (+)	Niet meetbaar
Alnus x spaethii	2	3	3 (+)	Niet meetbaar
Amelanchier lamarckii	1	1	1	Niet meetbaar
Betula ermanii + cv's	2	3	3 (+)	Gering
Berberis x frikartii + cv's	2	2	2	Matig
Betula nigra	2	3	3 (+)	Gering
Betula pendula	2	3	3 (+)	Gering
Betula utilis + cv's	2	3	3 (+)	Gering
Carpinus betulus + cv's	2	3	3	Gering
Chaenomeles spp.	1	2	2	
*Corylus colurna	2	2	2 (+)	Niet meetbaar
Crataegus x persimilis + cv's	1	3	3 (+)	Niet meetbaar
Euonymus (niet-groenblijvend)	1	3 (+) ¹	3	Niet meetbaar
Euonymus (groenblijvend)	2	3 (+) ¹	3	Niet meetbaar
Fagus sylvatica + cv's	2	3	3	Niet meetbaar
Fraxinus angustifolia + cv's	1	3	3	Niet meetbaar
Fraxinus excelsior + cv's	1	3	3 (+)	Niet meetbaar
Fraxinus ornus + cv's	1	3	3	Niet meetbaar
Fraxinus pennsylvanica	2	3	3	Niet meetbaar
Gleditsia triacanthos + cv's	2	3	3	Niet meetbaar
Hedera (heester) spp.	2	1	1	Niet meetbaar
Ilex x meserveae	2	2	2 (+)	Niet meetbaar
Koelreuteria paniculata	1	2	2	Veel
Liquidambar styraciflua	2	3	3	Veel
Liriodendron tulipifera	1	3	3	Niet meetbaar
Lonicera spp. (niet-groenblijvend)	1	1	1	Niet meetbaar
Lonicera spp. (groenblijvend)	2	1		
Magnolia kobus	1	2 (+)	2	Gering
Mahonia spp.	2	2	2	Veel

Malus + cv's	2	3	3 (+)	Niet meetbaar
Parrotia persica	2	1	1	
Platanus x hispanica + cv's	2	3	3	Veel
Populus + cv's	2	3 (+)	3 (-)	Veel
Potentilla fruticosa	2	2	2	Gering
Prunus + cv's	2	3 (+)	3 (+)	Niet meetbaar
Pyrus calleryana + cv's	1	3	3	Niet meetbaar
Quercus palustris	2	3 (+)	3 (-)	Veel
Quercus robur + cv's	1	3 (+)	3 (-)	Veel
Rosa spp.	2	2	2	Gering
Salix alba + cv's	2	3 (+)	3 (-)	Veel
Sophora japonica	2	3	3	Niet meetbaar
Sorbus spp.	2	3	3 (+)	Gering
Spiraea spp.	1	2	2	Gering
Tilia cordata + cv's	2	3	3	Gering
Tilia europaea + cv's	1	3	3 (+)	Gering
Ulmus + cv's	2	3	3 (+)	Gering
Naaldbomen				Gering
Ginkgo biloba + cv's	1	3	3	Gering
Metasequoia glyptostroboides	3	1	1	Gering
Pinus nigra	3	1	1 (+)	Gering
Pinus sylvestris + cv's	3	1	1	Gering
Taxus spp.	3	1	1	Gering
Hagen				Gering
Carpinus betulus spp.	2	3	3	Gering
Fagus spp.	2	3	3	Niet meetbaar
Ligustrum spp.	2	3	3	Niet meetbaar
Gevelgroen				Niet meetbaar
Clematis spp.	1	1	1	Niet meetbaar
Fallopia spp.	1	3	3	Niet meetbaar
Hedera spp.	3	1	1	Niet meetbaar
Lonicera spp.	1	2	2	Niet meetbaar
Parthenocissus spp.	1	2	2	Niet meetbaar
Pyracantha spp.	2	3	3	Niet meetbaar
Rosa spp.	2	2	2	Gering
Wisteria spp.	1	2	2	Niet meetbaar

¹ Takahashi en anderen, 2005

² Donovan en anderen, 2005.

³ Stewart en Hewitt, 2002.

⁴ Nowak en anderen, 2002.

11. Overige aandachtspunten

Bij het ontwerp en beheer van groen is het goed om ook een doorkijk te hebben naar de andere vormen van interactie tussen groen en luchtkwaliteit. In Tabel 10.1 wordt hiervan een overzicht gegeven. Vegetaties en vooral bomen beïnvloeden de stedelijke atmosfeer op vier verschillende manieren. In deze leidraad zijn tot nu alleen de richtlijnen vermeld met betrekking tot de effectieve verwijdering van gassen en stof door groen.

Naast effectieve verwijdering van verontreiniging kan groen ook indirect de luchtkwaliteit verbeteren door vermindering van de energiebehoefte van gebouwen met als gevolg minder emissie van de energiecentrales, en door demping van de temperatuur waardoor de vorming van ozon wordt gereduceerd. Verschillende boomsoorten emitteren veel vluchtige organische stoffen waardoor bij **grootschalige** aanplant de vorming van ozon juist kan worden bevorderd. Het cumulatieve effect van deze factoren bepaalt het totale effect van stadsgroen op de luchtkwaliteit in onze steden.

Tabel 11.1. Effecten van groen op de stedelijke luchtkwaliteit anders dan door effectieve verwijdering van verontreiniging.

Effect van groen	Principe
Effect op temperatuur en microklimaat	Verlaging van de temperatuur als gevolg van verdamping van water door bladeren dempt de ozonvorming (en ook het hitte-eiland effect); Beschaduwning van auto's op parkeerplaatsen leidt tot minder emissie van vluchtige organische stoffen uit benzinetanks.
Vermindering van energiebehoefte van gebouwen	Isolatie (dak- en gevelgroen) en demping van de windsnelheid door windsingels leiden tot verminderde energiebehoefte van gebouwen en tot verminderde emissie van energiecentrales.
Emissie van vluchtige organische stoffen	Een aantal boomsoorten emitteert relatief veel van deze stoffen en stimuleert bij grootschalige aanplant de vorming van ozon.

Naar aanleiding hiervan kunnen nog verschillende richtlijnen worden genoemd die ook een positieve bijdrage leveren aan verbetering van de luchtkwaliteit.

Tabel 11.2. Richtlijnen voor de inzet van groen om indirect een positieve bijdrage te leveren aan de stedelijke luchtkwaliteit.

Richtlijn	Opmerking
Zorg voor beschaduwning van geparkeerde auto's.	Plant bomen of ontwerp pergola's op parkeerplaatsen om benzinetanks van auto's uit direct zonlicht te houden. Dit zorgt ervoor dat minder vluchtige organische stoffen uit de tanks verdampen. Houd rekening met het groene tunnel effect.
Beperk het grootschalig gebruik van boomsoorten die veel vluchtige organische stoffen uitscheiden.	Voor nadere informatie zie Hoofdstuk 10. Vermijd grootschalige aanplant van deze soorten opdat de productie van zomersmog niet wordt gestimuleerd.
Maak waar mogelijk gebruik van windsingels bij gebouwen en pas dak- en gevelgroen toe.	Dit leidt tot een vermindering van de energiebehoefte van gebouwen.

Literatuur

Donovan, R.G., Stewart, H.E., Owen, S.M., Mackenzie, A.R., Hewitt, C.N., 2005. Development and application of an urban tree air quality score for photochemical pollution episodes using the Birmingham, United Kingdom, area as a case study. *Environmental Science and Technology* 39, 6730-6738.

Hiemstra, J.A., Schoenmaker-van der Bijl, E., Tonneijck, A.E.G., 2008. *Bomen: Een verademing voor de stad*. Uitgave van Plant Publicity Holland (PPH) en Vereniging van Hoveniers en Groenvoorzieners (VHG).

Kuypers, V.H.M., De Vries, E.A., 2008. *Luchtkwaliteit & Groen*, Amsterdam. Alterra rapport 1723, Wageningen UR, in druk.

MNP, 2005. *Milieubalans 2005*. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven, Nederland.

Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., Ibarra, M., 2002. Brooklyn's urban forest. Gen. Tech. Rep. NE-290. Newton Square, PA. U.S. Department of Agriculture, Forest service, Northeastern Research station, 107 p.

Stewart, H., Hewitt, C.N., 2002. Lancaster University (www.es.lancs.ac.uk/people/cnh).

Takahashi, M., Higaki, A., Nohno, M., Kamada, M., Okamura, Y., Matsui, K., Kitani, S., Morikawa, H., 2005. Differential assimilation of nitrogen dioxide by 70 taxa of roadside trees at an urban pollution level. *Chemosphere* vol. 61, 633-639.

Van den Burg, A. en anderen (Red.), 2006. Kennisdocument *Vegetatie-luchtkwaliteit ten behoeve van het uitvoeren van een pilotproject langs rijkswegen*. Rapport DWW 2006-094 /IPL 06.00019.

Bijlagen

De bijlagen omvatten relevante onderdelen van het eindrapport *Luchtkwaliteit & Groen, Amsterdam*. Dit rapport geeft een overzicht van de staat van kennis betreffende de relatie tussen groen en luchtkwaliteit. *Luchtkwaliteit & Groen, Amsterdam* is in 2006 in opdracht van DRO geschreven door Alterra en in 2008 op enkele punten geactualiseerd.

1. Relatie Groen en luchtkwaliteit
2. Invloed van de groenstructuur
3. Vier schalen als aanpak

Bijlage 1: Relatie groen en luchtkwaliteit

Dat Groen voor de productie van zuurstof en de opname van CO₂ zorgt - en daarmee voor de constante verversing van de lucht die wij inademen - leert elk kind op de basisschool. Groen kan daarom als een collectief goed worden beschouwd, maar aanleg en onderhoud van groen zijn ook een kostenpost. Het belang van groen voor de zuivering van verontreinigingen uit de lucht was tot recent minder bekend. Pas nu luchtkwaliteit een nationale urgentie in ruimtelijke en economische zin is, is er hernieuwde aandacht voor onderzoek in Nederland. Het nationale onderzoek wordt gevoed door langjarig onderzoek uit die landen, waar problemen met de luchtkwaliteit al langer urgent zijn. Dit zijn Japan (Tokio), de Verenigde Staten (Chicago en LA), Engeland (Regio Londen) en Duitsland (Ruhrgebied), kortom waar verstedelijking en industrie tot slechte luchtkwaliteit hebben geleid. Het groen is in die landen geen doel op zichzelf, maar een van maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren en vooral ook een maatregel die bijdraagt tot verbetering van het imago en de leefbaarheid van de steden.

De filterwerking, geleidingswerking en het opnamevermogen van groen is feitelijk boerenwijsheid. Windsingels, hagen, houtwallen, geriefbosjes en groene schermen rond erven en boomgaarden zijn niet aangeplant als decor, maar als uiterst functionele bescherming van de leefomgeving op het erf, van kwetsbare gewassen, als energiebron en als klimaatregelaar. Die boerenwijsheid toepassen kan in en om steden snel leiden tot een vernieuwende kijk op het groen, terwijl in academische kringen en onder planologen en juristen de wetenschappelijke bewijsvoering van de meerwaarde een harde voorwaarde is voor investeringen. De vraag die aldus opdoemt is wat groene maatregelen nu precies doen met de vuile lucht en of er in de normatieve benadering ruimte kan worden gemaakt voor boerenwijsheden. Om de boerenwijsheden te onderbouwen met een wetenschappelijke bewijsvoering zijn onlangs in opdracht van het innovatieprogramma luchtkwaliteit op twee plaatsen langs de A50 (bij knooppunt Valburg en bij Vaassen) meetproeven gestart. Hier worden de luchtverontreinigende stoffen die tot problemen leiden - fijn stof en stikstofoxiden - gemeten.

Fijn stof (PM₁₀ en PM_{2,5})

Interceptie van fijn stof is het onderscheppen en vasthouden van fijn stof door de vegetatie. De interceptie van fijn stof vindt plaats op alle bovengrondse delen van de vegetatie. De grootste hoeveelheid komt op het blad terecht. De mate van interceptie varieert per soort. Door de grotere omvang, onderscheppen bomen fijn stof beter dan bijvoorbeeld struik- en kruidachtigen. Interceptie vindt plaats op het moment dat het fijn stof contact maakt met het groen. Een onregelmatig oppervlak zorgt voor meer turbulentie in de lucht waardoor er meer contactmomenten kunnen ontstaan. Hierbij zijn vegetatie-eigenschappen zoals de ruwheid van het oppervlak essentieel. Fijn stof hecht zich beter aan een oppervlak dat plakkerig, ruw en harig is, zeker als het vochtig is (Pye, 1987). Daarnaast zorgt de elektrostatische lading die vegetatie kan hebben, ook voor een groter interceptievermogen. (Beckett, 2000b). De houtige delen van bomen en struiken dragen ook bij aan de interceptie (Beckett, 1998).

Interceptie van fijn stof bestaat enerzijds uit het onder invloed van de wind afvangen van fijn stof. Fijn stof wordt dan door de wind de groenstructuur ingeblazen. Anderzijds bestaat interceptie uit het onder invloed van de zwaartekracht neerslaan (depositie) van het fijn stof op het groen. Hierbij is de mate van bedekking van het gebied van belang. Modelmatig onderzoek in de West-Midlands (Groot-Britannië) laat zien dat een bedekking van 25% Groen een concentratieverlaging van fijn stof in de lucht van 10% kan opleveren (Steward, 2002). Fijn stof (PM₁₀) wordt nauwelijks opgenomen door vegetaties, omdat de deeltjes te groot zijn om door de huidmondjes van de bladeren te kunnen dringen. De fijnste fractie (PM_{2,5} tot PM₁) zou wel opgenomen kunnen worden door soorten met grote huidmondjes – o.a. de populier (o.a. Beckett, 2000a).

Er zijn weinig gegevens over de ordegrrootte van het opname vermogen. Hierdoor is de hoeveelheid fijn stof die een boom kan afvangen, moeilijk te kwantificeren. Wel kan gesteld worden dat dit

afhankelijk is van de boomsoort, de grootte van de boom en het aanbod van fijn stof. Over de omvang van de depositie van fijn stof op vegetaties is meer bekend. In figuur 2.1 is de depositie van fijn stof berekend voor bomen in Chicago (er is daarbij geen rekening gehouden met het afvangen). Een deel van het neergeslagen fijn stof komt door verwaaiing weer in de lucht of door afspoeling in de bodem. In de schatting is rekening gehouden met het verwaaien of afspoelen van 50% van het fijn stof.

Figuur 2.1: Depositie van fijn stof op bomen per diameterklasse

DBH* (cm)	0-7	8-15	16-30	31-46	47-61	62-76	77+
PM ₁₀ (gr/jr)**	7	21	55	141	270	355	465

* Diameter op borsthoogte (ca. 1.30m)

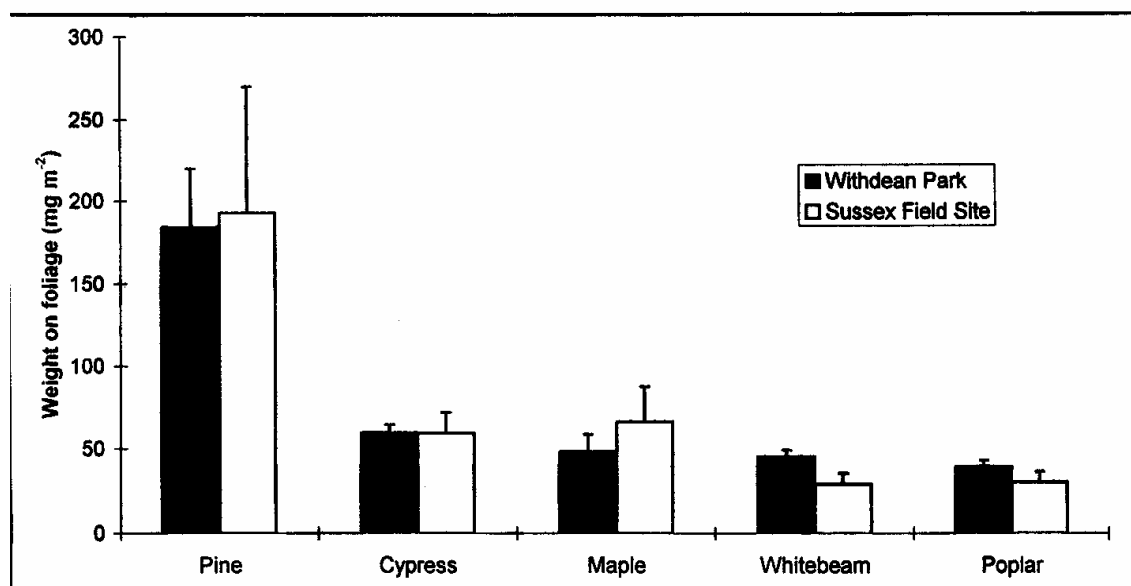
** Met de veronderstelling dat 50% is verwaaid/afgespoeld.

Uit figuur 2.1 blijkt dat grote bomen beduidend effectiever zijn dan kleine bomen, dit komt vooral door het verschil in oppervlak. Uit deze gegevens blijkt dat op een gemiddelde stadsboom (± 30 cm doorsnee) jaarlijks ongeveer 100 gram fijn stof neerslaat die niet terugkeert in de atmosfeer. Het daadwerkelijke neergeslagen fijn stof is tenminste twee keer zo groot, maar omdat er weinig gegevens bekend zijn over het verwaaiings-/afspoelingspercentage is deze veilige marge ingebouwd (Nowak, 1994).

Modelstudies wijzen erop dat geoptimaliseerd groen ongeveer 20% van de aangeboden hoeveelheid fijn stof uit de lucht kan filteren (Wesseling, 2004). Dit zou betekenen dat bij een piek aanbod van 40 $\mu\text{g/l}$ een reductie van 8 $\mu\text{g/l}$ haalbaar is, waardoor op een dergelijke plek de luchtkwaliteit aan de jaargemiddelde norm voldoet en het aantal overschrijdingsdagen flink kan worden beperkt. Uit de metingen langs de A50 bij Valburg moet over de precieze werking van groen meer bekend worden (Stadsregio Arnhem Nijmegen & IPL, 2007).

Door het grotere volume van bomen en het grotere bladoppervlak zijn bomen effectiever dan andere planten. Uit onderzoek blijkt dat naaldbomen meer geschikt zijn dan loofbomen (Beckett, 2000a). In figuur 2.2 is de depositie van fijn stof op enkele boomsoorten weergegeven.

Figuur 2.2: Depositie van PM₁₀ op bomen (Bron: Beckett, 2000a)



Pine = Grove Den; Cypress = cipres/conifeer; Maple = esdoorn; Whitebeam = Abeel en Poplar = populier

Uit de figuur blijkt dat met name Pinus-achtigen (o.a. grove den) maar ook cipres, een groter vermogen hebben om fijn stof te onderscheppen dan de in de proef meegenomen loofbomen. Dit is in andere onderzoeken ook aangetoond (o.a. Nowak, 1994).

De meetopstelling bij knooppunt Valburg langs de A50 bestaat uit 100 meter beplanting met grove den (*Pinus sylvestris*) en 100 meter met linde (*Tilia tomentosa* 'Brabant' met een ondergroei van laurierkers *Prunus laurocerasus* 'Caucasika', om die verschillen aan te tonen. Daarnaast worden in een strook van 100 meter zonder beplanting de verplaatsing van het fijn stof en de concentratieverschillen in fijn stof (PM10 en PM 2,5) gemeten (Stadsregio Arnhem Nijmegen, 2008). In de meetopstelling bij Vaassen wordt gemeten aan een bestaande (gemengde) structuur.

Stikstofoxiden (NO₂)

Planten kunnen een breed scala aan luchtverontreinigende stoffen opnemen. Gasvormige luchtverontreinigende stoffen zoals NO₂ worden grotendeels opgenomen door de huidmondjes op het blad. Daarnaast wordt een klein deel door de cuticula opgenomen (<5%). De hoeveelheid en grootte van de huidmondjes verschillen per (boom)soort. Brede dunne bladeren hebben een grotere opname capaciteit dan bijvoorbeeld naalden (Hanson, 1991). Uit onderzoek in Chicago blijkt dat per hectare jaarlijks 12,4 kg NO₂ wordt opgenomen door vegetaties (Nowak, 1994). In de Amsterdamse situatie zal dat hoogstens afwijken, doordat de opname afhankelijk is van het aanbod van NO₂.

De openingstoestand van de huidmondjes is bepalend voor de grootte van de opname. Deze neemt lineair toe met de openingstoestand (Neubert, 1993). De openingstoestand is licht- en waterafhankelijk. De weerstand van het blad om NO₂ op te nemen is klein. Eenmaal opgenomen door het blad ontstaan nitraat en nitriet. Deze worden omgezet naar eiwitten en aminozuren (detoxicificatie). Afhankelijk van de snelheid van de omzetting door de plant, is NO₂ meer of minder schadelijk (bijv. groeireductie). Uit Japans onderzoek blijkt dat met name Populier (*Populus nigra*) en Robinia (*Robinia pseudo-acacia*) goed bestand zijn tegen NO₂ (Takahashi, 2005). Van sommige boomsoorten is bekend dat ze geremde groei vertonen door een te hoog aanbod van NO₂ in de lucht.

Er zijn aanwijzingen dat de opname van stikstof in de wortelzone wordt afgeremd door de NO₂-opname van bladeren (o.a. Pérez-Soba 1993). Dit zou betekenen dat dit andersom niet het geval is - en de opnamecapaciteit van stikstof uit de lucht gegarandeerd is. Modelstudies wijzen erop dat ongeveer 10% van de aangeboden hoeveelheid NO₂ uit de lucht gefilterd kan worden door het geoptimaliseerde groen (Wesseling, 2004). Dit zou betekenen dat bij een piek aanbod van 40 µg/l een reductie van 4 µg/l haalbaar is, waardoor op een dergelijke plek de luchtkwaliteit aan de jaargemiddelde norm voldoet en het aantal overschrijdingsdagen flink kan worden beperkt.

Overwegingen

Groen filtert altijd luchtverontreinigende stoffen uit de lucht, ongeacht wat voor groen het is. Loofbomen filteren óók fijn stof uit de lucht, maar naaldbomen zijn hierin effectiever. Aanleg van groen kan dus getypeerd worden als een 'geen spijt'-maatregel.

Soms kunnen groenelementen concentratieverhogingen veroorzaken, maar dat is dan het gevolg van de vorm van de groenstructuur. De concentratieverhoging komt doordat de luchtverontreiniging blijft hangen onder de beplanting: het tunneleffect. Aan de andere kant betekent dit dat de luchtverontreiniging niet over de stad verspreid wordt. Vaak wordt dit als nadeel gezien, maar in sommige situaties biedt dit juist weer kansen.

Bijlage 2: Invloed van de groenstructuur

De structuur waarin het stedelijk groen geordend is, heeft nauwelijks natuurlijke kenmerken. Een optimale groenstructuur om luchtverontreiniging in te vangen – komt dicht in de buurt van ouderwetse karakteristieke landschapselementen, die werden aangeplant om o.a. het stof buiten het erf en van de gewassen weg te houden. Ze hebben een gevarieerd sortiment en zijn niet 100 % gesloten. Het verschil met een natuurlijke groenstructuur is dat de ordening volledig wordt bepaald door de plek waar het groen staat en dat alle vegetatielagen volledig ontwikkeld zijn. Soms is het te nat of te droog voor bomen, soms is het te donker voor kruiden en grassen of te winderig voor bomen en struiken, soms zijn er te weinig voedingsstoffen in de bodem aanwezig om meer dan wat mos, grassen en kruiden te voeden. Wat natuurlijke en aangeplante groenstructuren gemeen hebben is dat ze uit vlakken, lijnen en punten kunnen bestaan. Omvorming van bestaand stedelijk groen of nieuw aan te leggen groen, met het optimaliseren van de invangcapaciteit als specifiek doel, is een ontwerpopgave waarbij de hieronder beschreven aspecten van belang zijn.

Punt- en lijnvormige groenelementen

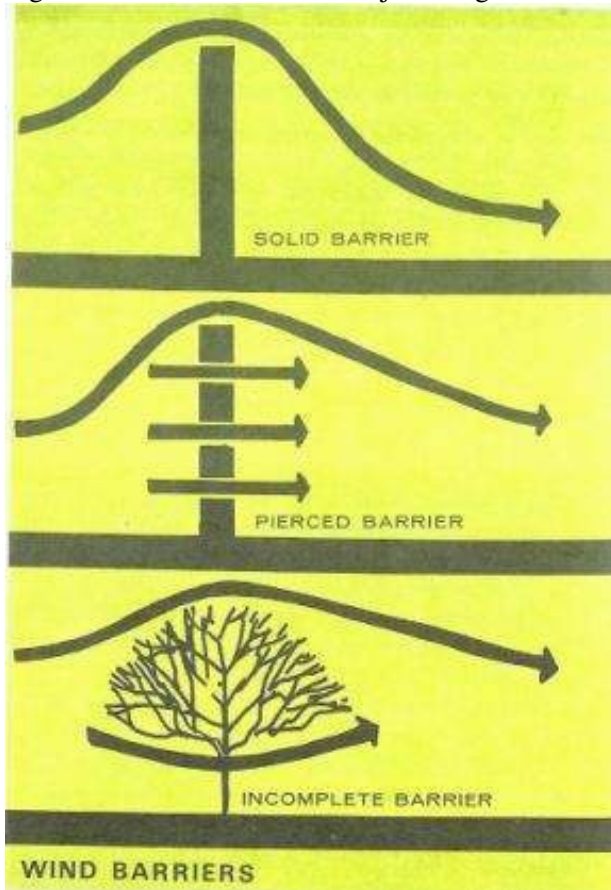
Interceptie

Lijnvormige elementen zijn lintbeplantingen waarvan het bladerdek aaneensluit. Voorbeelden van lintbeplantingen zijn houtsingels, houtwallen en bomenrijen (al dan niet met ondergroei). Lijnvormige bossen en bomenrijen waarvan het bladerdek niet aaneensluit, behoren niet tot deze categorie. Lijnvormige elementen kunnen in drie categorieën worden ingedeeld:

- Gesloten lijnvormige elementen;
- (Optisch) poreuze lijnvormige elementen;
- Onvolledige lijnvormige elementen.

In onderstaande figuur 3.1 is het type element en de bijbehorende luchtstroming weergegeven. Wat voor een lijnvormig element geldt, geldt in principe ook voor een puntvormig element.

Figuur 3.1: Verschillen tussen lijnvormige elementen



- boven: gesloten lijnvormig element (bijv. geluidsscherm of een dichte haag)
 midden: poreus lijnvormig element (bijv. halfopen haag, of bomenrij met ondergroei)
 onder : onvolledig lijnvormig element (bijv. bomenrij zonder ondergroei)

Gesloten lijnvormig element

Bovenaan in figuur 3.1 is een gesloten lijnvormig element weergegeven. Het gesloten lijnvormige element werkt als een soort horde bij het hordelopen: Evenals een atleet die over de horde heen gaat, gaat de luchtstroom over het gesloten lijnvormige element heen. Het contact met het element is minimaal. Alleen de buitenkant van het element oefent een afvangende functie uit, waardoor de afvangst minimaal is.

Poreus lijnvormig element

Doel van het poreuze lijnvormige element (figuur 3.1, midden) is dat een groot deel van de luchtstroom door het element heen gaat. Verontreiniging in deze luchtstroom wordt veel beter afgevangen dan bij depositie het geval is, doordat er meer contact met het element gemaakt wordt. De afvangst wordt versterkt door de turbulentie **in** het lijnvormige element. Deze turbulentie wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van onregelmatigheden zoals takken en twijgen, bladeren en bladstructuur. Hoe warriger de structuur, hoe effectiever de afvangst. Om voldoende afvangst te genereren is een zekere mate van porositeit nodig zodat de luchtstroom het lijnvormige element in kan. Ook gaat een deel van de luchtstroming over het lijnvormige element heen. Dit deel gedraagt zich zoals bij een gesloten lijnvormig element. De optimale porositeit is afhankelijk van de homogeniteit van de samenstelling van de lucht. Een groenstructuur als poreus lijnvormig element is in staat om circa 15% tot 20% van het stof dat er doorheen gaat af te vangen (Wesseling, 2004). Een poreuze lijnstructuur kan de concentratie van een gas als stikstofdioxide met maximaal 10% verlagen.

Onvolledig lijnvormig element

Een onvolledig lijnvormig element (figuur 3.1, onder) splitst de luchtstroom in twee aparte stromen. Een stroomt over het lijnvormige element heen en een stroomt onder het lijnvormige element door. Het contact is meer dan bij een gesloten lijnvormig element, waardoor meer mogelijkheden zijn om stof af te vangen, maar minder dan bij een poreus lijnvormig element. De afvangst blijft klein.

Depositie

De depositie van fijn stof op bomen en struiken is 3 keer zo groot als de depositie op gras en lagere vegetaties (Steward, 2002). De omvang en de ruwheid van het groene oppervlak spelen een grote rol, op elementen met een ruwer en groter uitwendig oppervlak kan meer deponeren. Bomen in bossen hebben vaak een kleiner bladoppervlak en kleinere kroon dan vrijstaande bomen en bomen in lijnvormige elementen. Hierdoor zijn individuele bomen in bossen vaak minder effectief, maar daar staat tegenover dat bossen vaak een groter oppervlak beslaan. Daarnaast is bekend dat scherpe overgangen zoals bosranden de depositie ter plaatse verhogen. Bomen in een lijnstructuur of aan de rand van een bos zijn om deze reden effectiever in de opname van verontreiniging dan bomen middenin een bos.

Vlakvormige groenelementen

Onder vlakvormige elementen worden aaneengesloten bosjes en bossen verstaan. Parken en natuurgebieden kunnen uit meerdere vlakvormige elementen bestaan (meerdere opstanden afgewisseld met bijvoorbeeld grasvelden). Een bos kan variëren in soort, hoogte, leeftijd en structuur.

Interceptie

Een bos beslaat een groter aaneengesloten oppervlak waardoor het een gesloten element (figuur 3.1) vormt. Door de gesloten structuur, is er nauwelijks sprake van luchtstroming door het element. Dit heeft tot gevolg dat de interceptie minimaal is. Ook is hierdoor de homogeniteit van de samenstelling van de lucht nauwelijks van belang. De afvangst vindt alleen plaats aan de randen en op de toppen van het bos. Door enige variatie in hoogte en abrupte overgangen aan de randen kan de afvangst nog enigszins vergroot worden, maar dit blijft minimaal. Bosjes en bossen zonder ondergroei houden afhankelijk van de grootte het midden tussen gesloten element en een onvolledig element.

Depositie

Depositie op vlakvormige elementen is per vierkante meter minder groot dan op kleinere elementen, maar vlakvormige elementen beslaan vaak een groter oppervlak. Dit verschil wordt veroorzaakt door randeffecten. Aan randen kan beter contact gemaakt worden tussen de luchtverontreiniging en de groenstructuur, dit betekent dat bij een gelijk oppervlak lijnelementen meer luchtverontreinigende stoffen op nemen dan vlakvormige elementen. Op basis van onderzoek wordt geschat dat op bomen in Chicago als gevolg van depositie jaarlijks circa 234 ton aan fijn stof neerslaat. Dit komt overeen met ongeveer 28.3 kg fijn stof per hectare per jaar (Nowak, 1994). Dit sluit aan bij de mogelijkheden van Nederlandse bossen. Op één hectare bos staan in Nederland ongeveer 200 volwassen bomen. Per volwassen boom in stadsparken zou dan 141 gram fijn stof worden afgevangen. Door de extremere invloed van wegen, wind en de beperkte groeimogelijkheden zullen stadsbomen meer stof verwerken, maar zal er ook meer verwaaien: 100 gram/jaar als capaciteit voor een gemiddelde stadsboom is daarom een conservatieve schatting.

De depositie van fijn stof leidt tot een vermindering van de concentratie in de stedelijke achtergrond. De dichtheid van een element en het bladerdek zorgen er samen voor dat de luchtlaag in het element afgescheiden is van de rest van de omgeving. Het fijn stof komt terecht op het bladerdek en in de randen van parkbossen, waardoor de luchtkwaliteit onder het bladerdek relatief goed is. Zo kan de

concentratie fijn stof op begroeide verkeersluwe plekken tot 38% lager zijn dan in de onbegroeide omgeving (Dorchinger, 1980).

Actuele ontwikkelingen

In opdracht van de ministeries van Verkeer en Waterstaat en VROM werkt het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL) aan innovatieve oplossingen die bijdragen aan verbetering van de luchtkwaliteit. Het programma is gericht op de omgeving van snelwegen en op het verbeteren van de modellering. De focus ligt op snelwegen bij dichtbevolkte gebieden omdat het bronbeleid pas op termijn toereikend zal zijn om de luchtkwaliteit voor wat betreft stikstofdioxide en fijn stof aan de normen te laten voldoen, onderwijl kunnen de onderzoeksresultaten van het IPL bijdragen aan verbetering. Een van de thema's waar het IPL zich op richt is vegetatie. Het IPL heeft o.a. de meetproeven langs de A50 bij Valburg en Vaassen gefinancierd en ook in de proeftuin bij Putten langs de A28.

Vanuit ministerie van LNV wordt ook onderzoek gefinancierd. Dit onderzoek ondersteunt met name de agendering en het bewustwordingsproces bij de diverse lagere overheden en het opzetten van pilots. Dit onderzoek vindt veelal plaats in het kader van het programma Groen in en om Steden GIOS (Kuypers, 2007). Er wordt ook onderzoek verricht naar de betekenis van landschapselementen in relatie tot bronnen (Oosterbaan en anderen, 2006).

Nationaal én internationaal wordt onderzoek gedaan naar de relatie groen en luchtkwaliteit. In Nederland zijn onder meer WUR (PRI, Alterra, ASG), ECN, RIVM, KEMA en TNO bezig met onderzoek aan groen en luchtkwaliteit, maar in het buitenland vindt meer onderzoek plaats. In Japan is veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen bomen en stikstofdioxide. In Duitsland vindt vooral onderzoek plaats aan gevelbegroeiing en aan berm. In België wordt groen langs de Antwerpse Ring door VITO onderzocht. In Groot-Brittannië wordt veel aandacht gericht op groen en gezondheid en in de Verenigde Staten op de kostenkant en de efficiency. Naast diverse literatuurstudies, volgt het Nederlandse onderzoek globaal gezien vier sporen:

- In het eerste spoor wordt getracht de bijdrage van groen aan luchtkwaliteit te preciseren. Enerzijds door de werking van groen in beeld te brengen (bijv. welke soorten filteren hoeveel luchtverontreiniging uit de lucht?). hier wordt momenteel aan gewerkt en anderzijds door de effecten van de vorm te verhelderen. Het onderzoek in dit spoor is voornamelijk gericht op opgaande lijnvormige elementen zoals groene schermen en singels (RIVM, ECN, WUR, GGD).
- Het tweede spoor is modelmatig van aard. Geprobeerd wordt om bestaande modellen te verbeteren, dan wel nieuwe modellen te ontwikkelen (WUR, TNO, ECN, KEMA).
- Het derde spoor is een juridisch spoor - het salderingsvraagstuk. Hierin wordt onderzocht hoe groen door middel van een emissie-immissie benadering gebruikt kan worden om als saldering conform het Besluit Luchtkwaliteit in te zetten bij ruimtelijke ontwikkelingen (WUR).
- Tot slot is een praktisch spoor uitgezet dat - ondanks alle nog onbeantwoorde vragen - de wetenschappelijke resultaten omzet naar de praktijk door het opzetten van stedelijke pilots (WUR, Triple E).

Diverse marktpartijen spelen in op de problematiek van de luchtkwaliteit door innovatieve groene oplossingen te ontwikkelen tot in de praktijk toepasbare systemen, waaronder projectontwikkelaars, (wegen)bouwbedrijven, dakdekkers, groenvoorzieners, adviesbureaus en productontwikkelaars.

Betekenis voor Amsterdam

Uit bovenstaande samenvatting van de voornaamste onderzoeken op het gebied van groen, luchtkwaliteit en gezondheid blijkt dat groene maatregelen in positieve zin kunnen bijdragen aan de luchtkwaliteit. Er zijn goede kansen om groen op de juiste manier in te zetten, omdat de principes bekend zijn. Op het kwantificeerbare vlak zijn er echter nog leemten in kennis: van een beperkt aantal boomsoorten is de mate waarin luchtverontreinigingen worden ingevangen bekend. Dit geeft beperkingen aan het optimaliseren van groenstructuren. Desalniettemin kan op basis van fysiologische kenmerken een theoretische schatting gemaakt worden welke boom- en struiksoorten in welke mate

bijdragen aan het afvangen van gassen en stofdeeltjes. Toepassing is echter altijd afhankelijk van de specifieke situatie – de ligging van groen ten opzichte van de bron, de groeiplaatsomstandigheden en de beschikbare ruimte. Maatwerk is dus vereist.

Aangezien de normstelling voor luchtkwaliteit slechts kwantitatieve normen kent - en wettelijk accepteert als aantoonbare bijdrage aan de oplossing van een overschrijding daarvan - wordt nu getracht die achterstand in te halen door metingen te verrichten. De validatie van deze metingen en het in ontwikkeling zijn van nieuwe modellen laat echter zeker nog tot eind 2009 op zich wachten. Tot die tijd moeten we het doen met boerenwijsheid. De realiteit is dat de afname van het groene areaal in en om steden de komende jaren op kan lopen tot 20%, omdat er vanuit de compacte stad gedachte veel druk op de groene ruimte bestaat. Kleinschalige groenstructuren als wegbegeleidende groene berm en hagen zijn door de bezuinigingen in de loop van de tijd verdwenen, en oude bomen worden in de regel wel vervangen, maar door jonge kleine boompjes, die per saldo veel minder bijdragen aan de zuivering. Kortom het stedelijk groen bevindt zich op een glijdende schaal. Het perspectief van schone lucht, opheffen van de bouwstops en de beperkingen in de ruimtelijke ontwikkelingen kunnen ook op de korte termijn al worden beantwoord. Kiezen voor een praktische en pragmatische aanpak: Nieuwe groenelementen en groenstructuren kunnen nu worden gerealiseerd en bestaande structuren kunnen nu worden geoptimaliseerd vanuit de wetenschap dat elke boom minimaal 100 gram/jr minder fijn stof in de leefomgeving oplevert. Voorts kan veel meer inspanning worden verricht door groene vlakken op daken en verticaal groen tegen muren aan te brengen, zonder dat dit nieuwe ruimte vergt, want de stad groeit nu eenmaal en de compacte stad heeft ook nog steeds vele voordelen.

Bijlage 3: Vier schalen als aanpak

Op die vier verschillende schaalniveaus kunnen groene maatregelen een duidelijke bijdrage leveren aan de verbetering van de luchtkwaliteit. De schaalniveaus verschillen in aard, omvang en insteek. Op elk schaalniveau zijn er andere participanten in het proces nodig om een zinvolle en effectieve pilot op te tuigen en uit te voeren.

Schaalniveau I: Wat is de functie van één boom?

Het eerste schaalniveau is gericht op zeer lokale situaties. Op het niveau van een boom, struik of grasdak. Groen op dit schaalniveau aanpakken betekent vooral dat de achtergrondconcentratie of het klimaat in de buurt wordt verbeterd. Meerdere groene elementen – bijvoorbeeld groene gevels of boomgroepen - op dit schaalniveau bij elkaar zijn ook in staat om knelpunten aan te pakken. Hoe kan het groen bij jou in de straat extra bijdragen aan het verbeteren van de luchtkwaliteit? Mogelijkheden om op dit schaalniveau situaties te verbeteren beginnen bij het aanpassen van het beheer. Betrokkenen zijn vooral de groenbeheerders en de bewoners.

In relatie tot plannen om bomen te kappen is het belangrijk om te weten hoe te compenseren of te salderen. 1 boom = 10.000 km is daarvoor een goede rekenmaat. Uitgangspunt is dat voor 10.000 km autokilometers gemiddeld 800 liter brandstof wordt verstoekt. Bij het verbrandingsproces komen roetdeeltjes en gassen vrij. Gemiddeld over LPG, benzine en diesel hebben we het over de hoeveelheid in kilo's, die één loofboom van gemiddelde ouderdom en omvang gedurende een jaar maximaal kan opnemen; het is van de lokale situatie afhankelijk of dat ook echt wordt opgenomen. Voor die ene boom kan een groene gevel met voldoende bladoppervlak hetzelfde effect bereiken.



Geveltuinen



Ruimte voor kleinschalig groen?

Schaalniveau II: Wat kunnen groene lijnen langs (snel)wegen betekenen?

Het tweede schaalniveau is gericht op lijnen in de ruimte. Lijnvormig groen wordt ingezet om kwetsbare groepen af te schermen van bronnen en dus veelal gekoppeld aan knelpunten. Naast luchtzuivering speelt ook geleiding van de vervuiling een rol. De configuratie van het groen kan daarbij afwijken van het bekende patroon: de bomenrij van één soort op exact dezelfde afstand. Participanten zijn vooral milieukundigen, planologen, ontwerpers en beheerders van de bronnen. Bewoners en groenbeheerders spelen daarbij vaak een bijrol.

Een groene afscherming bestaat niet per definitie alleen uit bomen, maar ook uit heggen, innovatieve begroeiende geluidschermen of verticaal groen met een filterende capaciteit. Ten opzichte van harde geluidschermen veroorzaken groene geluidschermen minder verspreiding van het fijn stof en concentreert het stof zich op plekken waar het minder problemen oplevert.



A10 Zuid



A10 West

Schaalniveau III: Wat is de functie van postzegelparkjes?

Groen als oase van betere luchtkwaliteit in een vervuilde omgeving, dat is het derde schaalniveau. Uit onderzoek blijkt in bossen in stedelijke gebieden de hoeveelheid stof in de lucht onder bomen tot 38% beter kan zijn. Dit biedt mogelijkheden om op wijkniveau “oases” met een betere luchtkwaliteit te creëren. Bij de binnenstedelijke projectontwikkeling kan veel meer aandacht worden besteed aan groene publieke ruimtes. Interpolis bouwde in het centrum van Tilburg het hoofdkantoor en voorzag dat van een fraaie toegankelijke binnentuin. In Amsterdam zijn vele binnentuinen, maar die zijn zeer beperkt toegankelijk.

In Rotterdam is gestudeerd op de functie van de postzegelparken (of zgn. pocketparken) in ruimtelijke zin. De conclusie over de groene maat voor een leefbare buurt kwam daarbij op 15-20 % groen in de directe omgeving (in de compacte stad). Als het perspectief de komende 10-20 jaar 20% verlies aan groen is, dan betekent dat wat voor de verversing in de buurt.



Frederiksplein, Amsterdam



Mogelijkheden op de IJ-oever?

Schaalniveau IV: Optimaliseren van de groene scheggen

Schaalniveau IV bestaat uit groen met een regionaal of bovenlokaal karakter. Voorbeelden hiervan kunnen stedelijke uitloopgebieden zijn, vaak zijn bij de ontwikkeling, naast allerlei gemeentelijke sectoren (soms van meer dan een gemeente) ook provincies, de Rijksoverheid en diverse maatschappelijke organisaties zoals ANWB, Recron of Natuurmonumenten betrokken.

40 hectare bos, met gemiddeld 100 bomen per hectare omvat zo'n 4000 bomen. Op de vraag of dat zoden aan de dijk zet, luidt het antwoord: Ja, zeker als je het op strategische plekken inzet, in gelaagde lijnen of als gelaagde clusters gericht op de heersende windexpositie en specifieke bronnen. Het gaat dan om vele kilo's luchtverontreiniging die uit de atmosfeer onttrokken worden, voordat ze het stedelijke milieu gaan belasten.



Nieuw water in Rembrandtpark



Westpoort Transformatorweg

Als we die positieve bijdrage binnen afzienbare tijd kunnen kwantificeren, dan kunnen we mogelijk aantonen dat op veel plaatsen de berekende luchtkwaliteit slechter lijkt te zijn, dan hij daadwerkelijk op de meeste momenten is. Tevens kan financiering van groenprojecten gevonden worden in ruimtelijke opgaven voor saldering. Daarnaast kan deze strategie er toe bijdragen dat compensatie niet langer een blok aan het been is, maar een wenkend perspectief wordt voor nieuwe ruimtelijke projectontwikkeling.

Literatuur

- Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith & G. Taylor, 1998. *Urban woodlands: Their role in reducing the effects of particulate pollution*. Environmental Pollution 99: 347-360.
- Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith & G. Taylor, 2000a. *Effective tree species for local air-quality management*. Journal of Arboriculture 26: 12-19.
- Beckett, K.P., P.H. Freer-Smith & G. Taylor, 2000b. *The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites*. Arboricultural Journal 24: 209-230.
- Hanson, P.J. et al, 1991. *Dry deposition of reactive nitrogen compounds: a review of leaf, canopy and non-foliar measurements*. Atmospheric Environment 25A: 1615-1634.
- Kuypers, V.H.M., de Vries, E.A., 2007. *Groen voor Lucht*. Publicatie ministerie van LNV
- Neubert, A. et al, 1993. *Uptake of NO NO₂ and O₃ by sunflower (Helianthus annuus L) and tobacco (Nicotiana tabacum L) – dependence on stomatal conductivity*. Atmospheric environment 27A: 2137-2145.
- Nowak, D.J., 1994. Air pollution removal by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (eds.). *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Gen. Techn. Report NE 186.
- Oosterbaan, A., Tonneijck, A.E.G., de Vries, E.A., 2006. *Kleine landschapselementen als invangers van fijn stof en ammoniak*. Rapport 1419, Alterra, Wageningen.
- Pérez-Soba, M. et al, 1993. *Nitrogen uptake by needles of scotch pine (Pinus sylvestris L) when exposed to gaseous ammonia and ammonium fertilizer in the soil*. Plant and Soil 153: 231-242.
- Pye, K., 1987. *Aeolian dust and dust deposits*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Steward, et al. 2002. *Trees and sustainable urban air quality*. Brochure, Lancaster University and Centre for Ecology and Hydrology, Lancaster, UK.
- Stadsregio Arnhem Nijmegen & IPL, 2007; *FLORA: Meten aan vegetaties voor schone lucht*. Prijsvraag 2007 en ontwikkelrapport 2008.
- Takahashi M. et al, 2005. *Differential assimilation of nitrogen dioxide by 70 taxa of roadside trees at an urban pollution level*. Chemosphere 61: 633-639.
- Wesseling, J.P., Duyzer, J., Tonneijck, A.E.G., Van Dijk, C.J , 2004. *Effecten van groenelementen op NO₂ en PM₁₀ concentraties in de buitenlucht*. TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn. R2004/383.