

# BOMEN

Een verademing voor de stad









## **COLOFON**

Deze brochure is samengesteld in opdracht van Plant Publicity Holland (PPH) en Vereniging van Hoveniers en Groenvoorzieners (VHG).

### **TEKST:**

Dr. Ir. J.A. Hiemstra  
*(Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO))*  
email: Jelle.Hiemstra@wur.nl

Ir. E. Schoenmaker- van der Bijl  
*(Bureau Ecologie en Landbouw Wageningen)*  
email: info@belw.nl

Drs. A.E.G. Tonneijck  
*(Triple E, Economy -Ecology – Experience)*  
email: fred@tripleee.nl

Medewerking werd verder verleend door Ir. M.H.A. Hoffman  
(Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)), PPH en VHG.

### **FOTOGRAFIE:**

Gemeente Amersfoort, Plant Publicity Holland,  
S. Heijenga, M. Hoffman, H. Keijzers, M. Thönnessen,  
Tuin en Landschap

### **EINDREDACTIE EN PRODUCTIE:**

All-Round Communications, Boskoop

*Februari 2008*

# *Inleiding*

Uit onderzoek is veel informatie beschikbaar gekomen over het effect van bomen en andere vormen van groen op de luchtkwaliteit en de leefbaarheid in de stedelijke omgeving. De brochure geeft een overzicht van de huidige kennis. De intentie is om deze kennis zo praktisch mogelijk te presenteren opdat de positieve werking van bomen beter wordt benut bij het beheersen van de luchtkwaliteit in het stedelijke gebied en bij het ontwerp van functioneel groen.

Deze brochure beschrijft de achterliggende principes als basis voor meer adequate keuzes rond het beheer van bomen en struiken in steden en het ontwerp van functioneel groen. Om directe actie mogelijk te maken zijn daarnaast zo veel mogelijk concrete gegevens over de functionaliteit van verschillende boomsoorten opgenomen.

Onderdelen van de tekst zijn al verschenen in eerdere rapportages voor andere opdrachtgevers van de drie auteurs zoals voor de gemeenten Rotterdam, Nijmegen en Den Haag, de provincie Zuid-Holland en Rijkswaterstaat. De auteurs bedanken alle opdrachtgevers en de betrokken medewerkers voor hun bijdrage in de verschillende fasen van het verzamelen van informatie en het schrijven van deze brochure.



*Malus 'Adams'*

# Inhoudsopgave

<b>SAMENVATTING</b>	8
<b>1 GROENER EN SCHONER</b>	9
<b>2 LUCHTKWALITEIT EN GEZONDHEID</b>	10
2.1 Gezondheidsschade	10
2.2 Stedelijke luchtkwaliteit	10
2.3 Normen voor luchtkwaliteit	11
2.4 Fijn stof	11
<b>3 BEPLANTING ALS LUCHTFILTER</b>	13
3.1 Opname van gasvormige verontreiniging	14
3.2 Verwijdering van fijn stof	15
<b>4 BOMEN EN LUCHTSTROMINGEN</b>	18
4.1 Bomen als windscherm	18
4.2 Luchtzuivering en het belang van porositeit	19
4.3 Alternatieve groenstructuren	21
<b>5 WAAR OP LETTEN</b>	23
5.1 Algemeen	23
5.2 Algemeen in de stad	23
5.3 Dichtbij een bron van luchtverontreiniging	24
5.4 Invloed op lokaal klimaat	25
<b>6 EFFECTIVITEIT VAN BOMEN EN PLANTEN VOOR VERBETERING VAN DE LUCHTKWALITEIT</b>	26
6.1 Fijn stof	26
6.2 Stikstofdioxide	26
6.3 Ozon	27
<b>7 DE GROENE EN SCHONE STAD VRAAGT OM INTEGRAAL ONTWERPEN</b>	31
<b>INTERESSANTE WEBSITES</b>	32
<b>LITERATUURLIJST</b>	33





# Samenvatting

Groen en de slechte luchtkwaliteit in onze steden staan momenteel in de schijnwerpers. Deze brochure belicht de mogelijkheden om onze steden groener en tegelijk schoner te maken. Bomen en overige vormen van groen in het stedelijk gebied werken als een luchtfilter dat volautomatisch en voor niets fijn stof en andere verontreiniging uit de lucht verwijdert. Wij hebben getracht de aanwezige kennis zo praktisch mogelijk te presenteren opdat de positieve werking van bomen en andere vormen van groen beter wordt benut bij het beheersen van de luchtkwaliteit in het stedelijke gebied en bij het ontwerpen en aanplanten van functioneel groen.

De slechte luchtkwaliteit in de steden wordt vooral veroorzaakt door het drukke verkeer. De concentraties van fijn stof en stikstofdioxide overschrijden op drukke locaties de normen voor luchtkwaliteit. Ook de concentraties van ozon zijn dikwijls te hoog. Deze component wordt onder invloed van zonlicht gevormd uit stikstofdioxide en andere stoffen die in de uitlaatgassen zitten.

Bomen hebben veel blad en zijn een sta-in-de-weg voor de wind. Hierdoor zijn bomen het meest efficiënt om verontreiniging uit de lucht te filteren en de concentraties van schadelijke stoffen te verlagen. Bladeren leggen fijn stof vast op hun oppervlak en nemen gasvormige verontreiniging zoals stikstofdioxide en ozon op via de huidmondjes. Loofbomen met platte en brede bladeren nemen vooral gasvormige verontreiniging efficiënt op. Naaldbomen zijn het meest geschikt voor het afvangen van fijn stof vanwege de spitse structuur van de naalden. Loofbomen met ruwe en behaarde bladeren zijn effectiever dan loofbomen met platte en brede bladeren, zij het minder effectief dan naaldbomen.

Bomen vormen een fysiek obstakel en verlagen de windsnelheid. Van oudsher al worden bomen toegepast als windsingels. De door bomen veroorzaakte

veranderingen in het lokale windklimaat hebben op zichzelf ook directe invloed op de verontreinigingsniveaus in de omgeving van de beplanting. De menging van de verontreinigende stoffen met de omringende lucht wordt namelijk beïnvloed. Ondanks de filtering kan de aanwezigheid van bomen dicht bij de weg soms leiden tot hogere concentraties. De demping van de windsnelheid waardoor juist hogere concentraties ontstaan, geeft hier dan de doorslag. In dit soort situaties kan het nuttig zijn om de verspreiding van de verontreinigde lucht te vergroten door het gebladerte minder dicht te maken. Ook alternatieve groenstructuren zoals dak- en gevelgroen kunnen hierbij worden ingezet. Deze filteren wel maar dempen niet de windsnelheid. Iedere situatie vraagt om een eigen creatieve oplossing.

De groene en schone stad vereist een integraal ontwerp. Er is kwalitatief goed groen nodig om de luchtkwaliteit structureel te verbeteren. Bij de soortenkeuze wordt uitgegaan van het principe “de juiste boom op de juiste plaats”. Kijken we naar de luchtkwaliteit in onze steden dan is een goede keuze zeker noodzakelijk.

Boomsoorten die geschikt zijn om verschillende vormen van luchtverontreiniging efficiënt op te nemen en uit de lucht te verwijderen, worden genoemd. Zo ook worden richtlijnen samengevat waar men aan kan en moet denken bij het aanplanten en beheren van bomen met als doel het wegvangen van fijn stof en gasvormige luchtverontreiniging.

Stadslucht bevat een cocktail aan componenten. Een goede mix aan soorten en groenstructuren is inzetbaar om deze cocktail aan te pakken. Groot voordeel van een dergelijke geïntegreerde aanpak is dat deze leidt tot een grote variatie aan soorten. Onze steden worden daardoor gevarieerder en groener en ook nog eens schoner.



# 1 Groener en schoner



De aanwezigheid van groen in onze leefomgeving is zo vanzelfsprekend dat we de waarde ervan nauwelijks beseffen. Zonder groen zou de aarde onleefbaar zijn. Ook in een stadslandschap is groen onmisbaar voor een goed leefklimaat. Groen is meer dan alleen decoratie en recreatie. Tabel 1 geeft een overzicht van de positieve effecten van bomen en overige vormen van groen.

Groen verbetert niet alleen de kwaliteit van water en bodem, ook de kwaliteit van onze lucht heeft baat bij de aanwezigheid van groen, vooral van bomen. Bomen vormen niet alleen een paraplu die ons beschermt tegen de elementen, maar hebben ook een sterke positieve invloed op de kwaliteit van de lucht om ons heen. We hebben het dan niet over de opname van kooldioxide, het gas dat verantwoordelijk is voor de opwarming van de aarde, en ook niet over de productie van zuurstof; maar over het wegvangen van stof en gasvormige luchtverontreiniging.

De aanwezigheid van groen heeft bovendien een positieve invloed op de lichamelijke en psychische gezondheid van mensen en geeft ruimte aan ontspanning en beweging. Adequaat aangelegde beplanting leidt tot wel 10% energiewinst in de aangrenzende bebouwing (Novem, 2003). De economische waarde van huizen in de nabijheid van groen wordt sterk verhoogd.

Het is duidelijk dat bomen de kwaliteit van de leefomgeving verbeteren. Bij een goede leefomgevingskwaliteit denken we toch op zijn minst aan economisch vitale en florerende steden voor bewoners, gebruikers en bezoekers, aan bruisende steden met een goede sociale ontwikkeling en aan steden die gezond, schoon, mooi, veilig en leefbaar zijn, met voldoende groen en vitale natuur in de directe nabijheid. De brede inzetbaarheid van groen betekent dan ook het scheppen van een goed en multifunctioneel investeringsklimaat.

**TABEL 1** Overzicht van positieve effecten van bomen en andere vormen van groen op het stedelijk klimaat.

<b>LUCHTKWALITEIT</b>	Wegfilteren van stof en luchtverontreiniging
<b>MICROKLIMAAT</b>	Beperking van temperatuur extremen (door schaduw en luwte) Bevochtiging van de lucht: koeler en aangenamer
<b>WATERBEHEER</b>	Waterberging en vermindering van afvoerpieken bij neerslag
<b>ENERGIEBESPARING</b>	Vermindering warmteverliezen (luwte) en noodzaak koeling
<b>WAARDE ONROEREND GOED</b>	Hoger in nabijheid groen
<b>GEZONDHEID</b>	Mogelijkheden voor ontspanning en beweging
<b>BIODIVERSITEIT</b>	Leefmogelijkheden voor vele organismen
<b>BEPERKEN BROEIKASEFFECT</b>	Vastlegging van CO <sub>2</sub>
<b>LANDSCHAP</b>	Afscherming van verkeer en industrie
<b>ESTHETISCH</b>	Verfraaiing van straat en wijk

Bomen in het stedelijk gebied werken als een luchtfilter dat volautomatisch en voor niets fijn stof en andere verontreiniging uit de lucht verwijdert. Weliswaar doet de ene boom dit beter dan de andere, maar alle bomen en overige vormen van groen halen permanent stof en verontreiniging uit de lucht. Door de voortschrijdende verstedelijking neemt het groene areaal echter af. Vermindering van het groene areaal betekent een vermindering van de filtercapaciteit. Het gevolg hiervan is een verslechtering van de luchtkwaliteit en meer schade aan onze gezondheid. Goed beheer van het bestaande groen en vergroting van het groene areaal kunnen de luchtkwaliteit verbeteren en daarmee de gezondheidsschade verminderen.

## 2 Luchtkwaliteit en gezondheid

### 2.1 Gezondheidsschade

De lucht bevat een groot scala aan componenten. Sommige hiervan zijn schadelijk voor onze gezondheid, andere niet. De meest schadelijke componenten voor de volksgezondheid in Nederland zijn fijn stof en ozon. De meest actuele schatting (in 2003) van de vervroegde sterfte geassocieerd met kortdurende blootstelling aan hoge concentraties van deze componenten in ons land bedraagt 2.300-3.500 personen voor fijn stof en 1.100-2.200 personen voor ozon. In totaal komt dit neer op 3.400-5.700 personen per jaar die vervroegd overlijden als gevolg van kortdurende blootstelling (MNP, 2005). Nu staan veel mensen jaar in, jaar uit bloot aan te hoge concentraties luchtverontreiniging en niet alleen gedurende een korte periode. Voor een goede schatting van de effecten van dergelijke lange-termijn blootstelling ontbreken voornamelijk betrouwbare gegevens. Voor Nederland wordt geschat dat jaarlijks 12.000 tot 24.000 mensen door deze oorzaken eerder sterven.

### 2.2 Stedelijke luchtkwaliteit

Wie langs een drukke (snel)weg woont, maakt twee keer zoveel kans om te overlijden aan hart- en vaatziekten of aan een longaandoening (Hoek en anderen, 2002). De slechte luchtkwaliteit in de stad is vooral te wijten aan het drukke wegverkeer. Uitlaatgassen van dit verkeer worden op leefniveau uitgestoten en dat dan ook nog eens op plaatsen waar veel mensen aanwezig zijn. Vooral dieselloertuigen produceren veel fijn stof. Dit fijn stof staat de laatste tijd volop in de belangstelling. Fijn stof wordt uitgedrukt als PM10 en omvat alle deeltjes met een diameter van 10 µm (0,01 mm) en kleiner. PM10 bevat vele giftige verbindingen zoals zware metalen en organische stoffen en is daardoor schadelijk

voor de volksgezondheid. PM10 is vooral aanwezig in de uitlaatgassen van het verkeer, maar het is ook afkomstig van autobanden en remmen.

Behalve fijn stof bevatten uitlaatgassen nog andere belangrijke componenten in hoge concentraties zoals stikstofoxiden (som van stikstofmonoxide en stikstofdioxide) en vluchtige organische stoffen. Tabel 2 geeft een beknopt overzicht van de meest belangrijke luchtverontreinigingscomponenten van het wegverkeer en de schadelijkheid voor onze gezondheid.

**TABEL 2**  
Luchtverontreiniging afkomstig van het wegverkeer en de hieruit voortvloeiende schade aan de volksgezondheid.

VERONTREINIGING	AANDUIDING	GEZONDHEIDSSCHADE
Fijn stof	PM10	Fijn stof leidt tot schade aan de gezondheid en vervroegde sterfte.
Stikstofoxiden	NO + NO <sub>2</sub>	Uit NO <sub>2</sub> en VOS wordt onder invloed van zonlicht ozon (O <sub>3</sub> ) gevormd.
Vluchtige organische stoffen	VOS	Verhoogde concentraties van ozon in de zomermaanden leiden tot gezondheidsschade en vervroegde sterfte.

Bij de verbranding van benzine en diesel in motoren worden door de hoge verbrandingstemperatuur stikstof en zuurstof uit de lucht omgezet in stikstofmonoxide. Vervolgens wordt de gevormde stikstofmonoxide geoxideerd en ontstaat er stikstofdioxide. Daarnaast komen bij verbranding van fossiele brandstof ook altijd

vluchtige organische stoffen vrij. Stikstofdioxide en vluchtige organische stoffen uit de uitlaten resulteren onder invloed van zonlicht in de vorming van ozon. Hoge concentraties van ozon komen vooral in de zomer voor (zomersmog) en leiden net als fijn stof tot schade aan de volksgezondheid.

### 2.3 Normen voor luchtkwaliteit

De laatste jaren is de luchtkwaliteit in Nederland sterk verbeterd en is de mate van blootstelling van burgers aan luchtverontreiniging door succesvol beleid sterk gereduceerd. Desondanks veroorzaakt luchtverontreiniging nog steeds gezondheidsschade en is aandacht voor verdere verbetering van de luchtkwaliteit nodig.

In Europees verband zijn richtlijnen voor de luchtkwaliteit vastgesteld in de zogeheten Kaderrichtlijn Luchtkwaliteit. Nederland heeft deze Europese richtlijnen nationaal vertaald in het Besluit Luchtkwaliteit dat sinds 2001 van kracht is. Voor Nederland zijn vooral de normen voor fijn stof en stikstofdioxide van belang, hoewel het Besluit Luchtkwaliteit ook op een aantal andere componenten, zoals ozon, betrekking heeft. Voor fijn stof moest in 2005 aan de gestelde norm worden voldaan, voor stikstofdioxide is dit 2010.

Normen voor luchtkwaliteit zijn bedoeld om de risico's voor de gezondheid van mensen tot een minimum te beperken. Overschrijding van normen is juridisch niet toelaatbaar. Vaak wordt echter vergeten dat normen niet gelijk mogen worden gesteld aan schadevrije drempels. Het voldoen aan normen betekent nog niet dat de burger geen last meer heeft van de verontreiniging. Vooral voor fijn stof is nog geen concentratieniveau vastgesteld dat niet schadelijk is voor de volksgezondheid.



Elke verlaging van de hoeveelheid fijn stof in de lucht is winst in termen van volksgezondheid. Dit gegeven staat los van de discussie of de concentraties al of niet de norm overschrijden.

### 2.4 Fijn stof

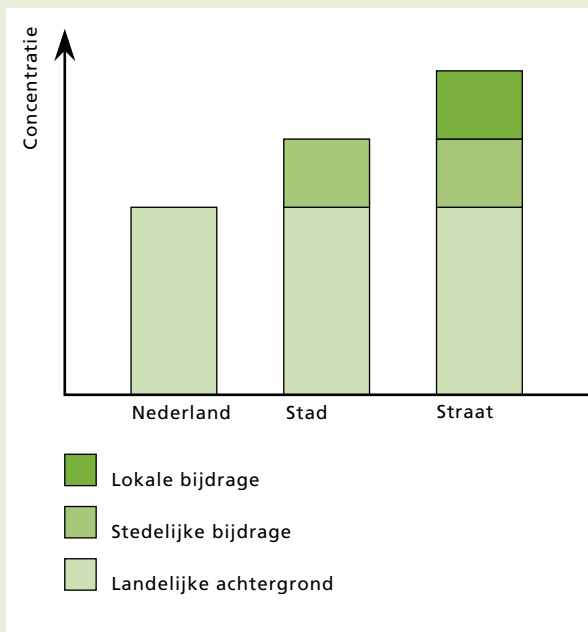
Overal in Nederland ademen we stofdeeltjes in. PM10 dringt door tot de luchtwegen en de longen. Niet alle deeltjes zijn echter schadelijk. Zo vallen ook zeezout en opwaaiend bodemstof tot de categorie van fijn stof. De totale hoeveelheid van PM10 evenals de fractie van schadelijke deeltjes hierin nemen toe naarmate er sprake is van meer verkeer. De belasting met fijn stof is dan ook sterk afhankelijk van de locatie waar iemand zich bevindt. Inzicht in de herkomst van PM10 is belangrijk om op een specifieke locatie gerichte maatregelen te kunnen nemen ter verlaging van de concentratie.

Figuur 1 geeft schematisch de concentratieniveaus van PM10 weer voor verschillende situaties. Een grote hoeveelheid fijn stof komt aanwaaien uit het buitenland. Dit fijn stof ligt als het ware als een deken over Nederland. Deze zogeheten landelijke achtergrond veroorzaakt dat op elke plek in Nederland een zekere hoeveelheid fijn stof in de lucht aanwezig is. Het verkeer in en om de stad voegt aan de landelijke achtergrond vervolgens een extra hoeveelheid fijn stof toe. De gemiddelde concentratie in de stad is dan ook verhoogd in vergelijking met de landelijke achtergrond. Tot slot leidt intensief verkeer in nauwe straten of op drukke wegen en pleinen

lokaal tot hoge piekconcentraties. Deze plekken met heel hoge niveaus zijn dus vaak in de stad gesitueerd en worden ook wel hot-spots genoemd. Hier worden de normen voor de hoeveelheid fijn stof in de lucht vaak overschreden. Bouwprojecten liggen stil omdat technische maatregelen ontbreken die de verslechtering van de luchtkwaliteit kunnen aanpakken. Deze bouwstop leidt naar schatting tot een economische schade van enkele miljarden.

#### FIGUUR 1

Opbouw van de concentratie PM10 in de stad (gewijzigd naar Oosterbaan en anderen, 2006)



Hoge concentraties van fijn stof in een bepaalde straat zijn dus een optelsom van de landelijke achtergrond, een stedelijke bijdrage én een lokale bijdrage door het verkeer in die straat zelf. Maatregelen om dergelijke hoge concentraties op een hot-spot te verlagen kunnen dan ook in principe op verschillende plaatsen worden genomen. We kunnen proberen om de landelijke achtergrond te verlagen. Ook de stedelijke bijdrage kan omlaag en we kunnen specifieke maatregelen inzetten op de plek van de hot-spot. Welke maatregelen we ook nemen, planten en bomen zijn op al die plekken inzetbaar om fijn stof en andere verontreiniging uit de lucht te verwijderen.

# 3 *Beplanting als luchtfilter*

Alle planten en bomen verwijderen stof en gasvormige verontreiniging uit de lucht. De ene plant doet dit beter dan de andere. Het maakt ook niet uit waar de plant groeit: buiten in de stad, op het platteland, binnen in kantoor of in de huiskamer. Bomen hebben veel blad en zijn een sta-in-de-weg voor de wind. Hierdoor zijn bomen het meest efficiënt om verontreiniging uit de lucht te filteren en luchtconcentraties te beïnvloeden. Zo is depositie van stof uit de atmosfeer op een bos 2 tot 16 maal groter dan op een lage vegetatie.

Amerikaanse onderzoekers laten zien dat bomen in de stad tonnen aan allerlei verontreiniging opnemen (Nowak,1995). Als gevolg hiervan becijferen ze dat stadsbeplanting miljoenen dollars waard is.

Recent onderzoek voor Antwerpen heeft aangetoond dat bij aanwezigheid van veel bomen in de stad de piekconcentraties van ozon 8% lager zijn dan bij afwezigheid daarvan (Benefits of Urban Green Space; [www.vito.be/bugs](http://www.vito.be/bugs)). Schattingen voor de West Midlands, een grootstedelijk gebied in Engeland, geven aan dat bij een verdubbeling van het aantal bomen 140 mensen per jaar minder overlijden, doordat meer bomen meer fijn stof opnemen.

De wijze waarop bomen de kwaliteit van de lucht beïnvloeden, is bekend. Het gaat hierbij om twee belangrijke verschijnselen:

- 1 Directe effecten: Effectieve verwijdering van fijn stof en gasvormige verontreiniging door de bladeren;
- 2 Indirecte effecten: Verandering van windsnelheid en turbulentie en daarmee van de plaatselijk concentraties van luchtverontreiniging door de beïnvloeding van de verspreiding van luchtverontreiniging.

Deze verschijnselen treden tegelijkertijd in meer of mindere mate op. Kennis daarover geeft niet alleen inzicht in de manier waarop het groen werkt. Deze kennis kan immers ook worden gebruikt om vast te stellen hoe belangrijk bestaand groen is voor de luchtkwaliteit en hoe we op de beste manier groen kunnen toepassen om de kwaliteit van de lucht te verbeteren. Bladeren zijn wezenlijk voor een effectieve verwijdering van verontreiniging uit de lucht. Voor verwijdering van fijn stof zijn ook stammen, takken en twijgen van bomen en struiken belangrijk. De wijze waarop bladeren verontreiniging opnemen, is afhankelijk van het type vervuiling. Zo worden gasvormige verontreinigingen als stikstofoxiden en ozon in het inwendige van het blad opgenomen terwijl deeltjes van fijn stof op het uitwendige oppervlak van bladeren worden vastgelegd.

**TABEL 3**  
Opname van verschillende typen luchtverontreiniging door bladeren.

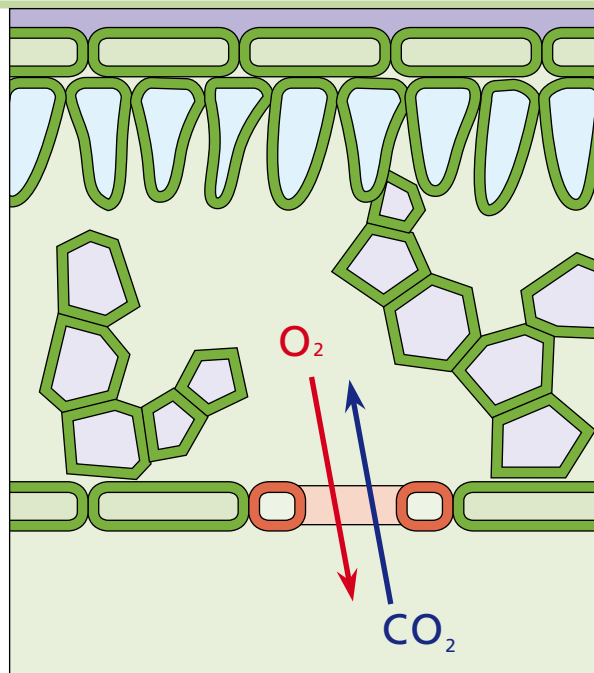
SOORT VERONTREINIGING	MECHANISME	GESCHIKTE BLADKENMERKEN
Ozon, stikstofdioxide	Absorptie	Platte en brede bladeren van loofbomen
Vluchtige organische stoffen (PCB's, dioxinen, furanen)	Adsorptie	Dikke en vetachtige waslaag (cuticula) op blad, vooral bij naaldbomen
Fijn stof (PM10)	Impactie	Spitse vorm zoals naalden van naaldbomen. Ruwe, behaarde en plakkerige bladeren van loofbomen.

Tabel 3 geeft een overzicht van de verschillende mechanismen via welke de bladeren effectief verontreiniging uit de lucht verwijderen. Hoewel de mechanismen kunnen verschillen is het effect op de luchtkwaliteit in alle gevallen hetzelfde. De aanwezigheid van bladeren leidt ertoe dat minder verontreiniging in de lucht aanwezig is. Voor alle componenten geldt hierbij dat hoe groter het aanbod aan vervuiling, hoe meer de boom opneemt dan wel vastlegt. Zolang de boom zelf er maar weinig of geen last van ondervindt. Dicht bij een bron van luchtverontreiniging waar de concentraties hoog zijn, neemt een boom dus meer verontreiniging op dan op enige afstand.

### 3.1 Opname van gasvormige verontreiniging

Planten kunnen gasvormige componenten zowel via de huidmondjes als via de cuticula opnemen. De cuticula is het buitenste laagje van het blad dat bestaat uit een vetachtige substantie en dat de plant onder andere beschermt tegen uitdroging. Huidmondjes zijn afsluitbare openingen in het blad waardoorheen continu gasuitwisseling tussen blad en omgeving plaatsvindt.

Stikstofoxiden en ozon komen voornamelijk via de huidmondjes het blad binnen. Dit proces van opname via de huidmondjes noemen we absorptie. Ieder blad heeft een groot netwerk van inwendige holtes die via huidmondjes in contact staan met de buitenlucht (zie ook Figuur 2). Vanuit deze holtes wordt kooldioxide opgenomen in de cellen van het blad en worden zuurstof en water afgegeven aan de omgevingslucht. De holtes vergroten de oppervlakte van het blad en daarmee de capaciteit van de gasuitwisseling enorm. Bij een volwassen beuk bijvoorbeeld is deze inwendige oppervlakte circa 15.000 m<sup>2</sup> groot. Dit is gelijk aan het oppervlak van twee voetbalvelden.



**FIGUUR 2**  
Schema van de gasuitwisseling via huidmondje aan de onderzijde van een blad; Kooldioxide (CO<sub>2</sub>) wordt opgenomen en zuurstof (O<sub>2</sub>) wordt afgestaan. De cuticula aan de bovenzijde van het blad is in blauw weergegeven.

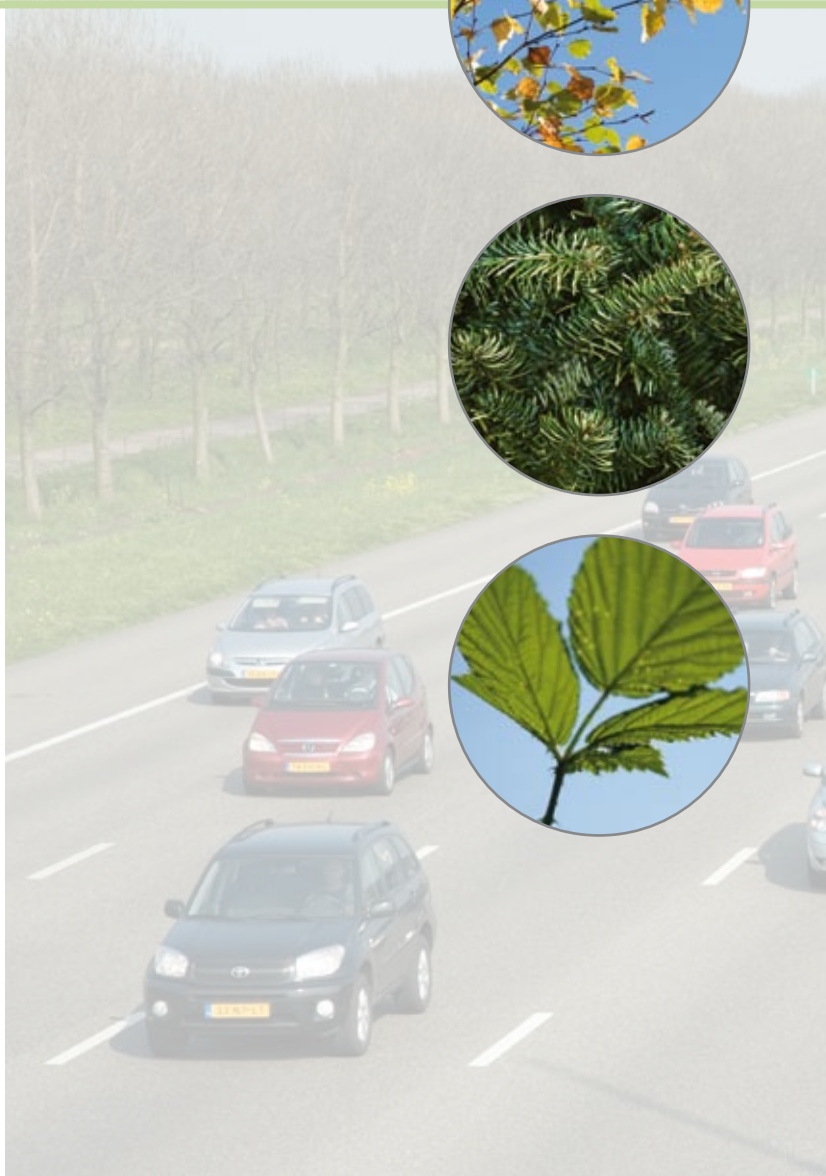
Om voldoende kooldioxide op te kunnen nemen moeten er grote hoeveelheden lucht door het blad stromen. Daarbij komen ook de andere bestanddelen van de lucht waaronder de door het verkeer uitgestoten gassen in contact met het inwendige van het blad. Stikstofoxiden en ozon zijn goed oplosbaar en geabsorbeerde hoeveel-

heden kunnen goed worden verwerkt in het blad. Meestal zijn de huidmondjes overdag open en 's nachts gesloten. De verwijdering van gasvormige verontreiniging uit de lucht is overdag dan ook groter dan 's nachts. De opname is optimaal indien de huidmondjes onbelemmerd kunnen worden aangestroomd door de omgevingslucht. Dit is vooral het geval bij platte en brede bladeren waar de huidmondjes direct aan het bladoppervlak liggen.

Voor veel vluchtige organische stoffen zoals PCB's, dioxinen en furanen vormt de cuticula de belangrijkste route van opname. Dit proces noemen we adsorptie. Deze stoffen zijn vaak niet oplosbaar in water maar wel in de vetachtige bestanddelen van de cuticula. De opname via de cuticula heeft als voordeel dat deze gewoon doorgaat gedurende de nacht, wanneer de huidmondjes gesloten zijn, en in de wintermaanden wanneer de dan groene planten weinig actief zijn. Na opname in de cuticula worden de vluchtige organische stoffen langzamerhand afgegeven aan het inwendige van het blad. Bladeren met een dikke cuticula die veel vetachtige bestanddelen bevat, zijn zeer geschikt voor het wegvangen van dit type organische componenten. Hierbij kunnen we denken aan naalden van naaldbomen maar ook aan bijvoorbeeld een plant als boerenkool.

### 3.2 Verwijdering van fijn stof

Fijn stof valt of waait als het ware op het blad. Dit proces noemen we impactie. Deeltjes van fijn stof moeten hiervoor direct met het blad in contact komen dan wel dicht genoeg bij het blad zijn om elektrostatisch te worden aangetrokken. Oneffenheden op het blad zoals een ruw oppervlak en blad-haren versterken het proces. Ook de mate van vochtigheid en 'plakkerigheid' van het blad is van invloed.

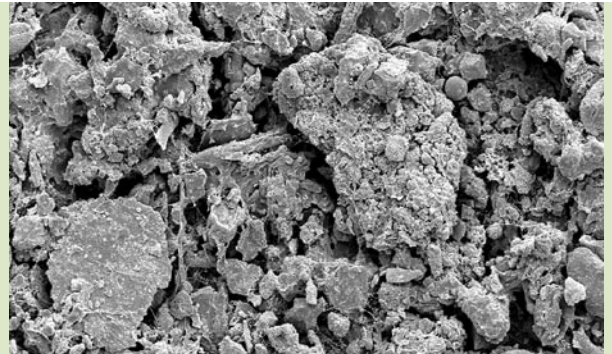
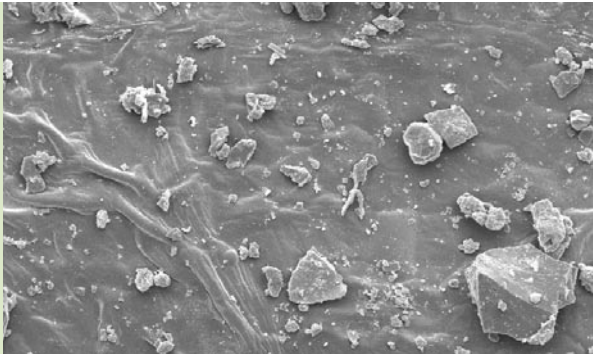




Vooral naaldbomen vangen fijn stof efficiënt af. Dit heeft alles te maken met de naaldstructuur en de relatief spitse vorm. Niet alleen naalden en bladeren maar ook stammen, takken en twijgen nemen deel aan het wegvangen van fijn stof. Een warrige takstructuur werkt hierbij positief. Stofdeeltjes komen niet terecht in het inwendige van het blad en worden dan ook niet verwerkt zoals het geval is voor gasvormige componenten. De deeltjes blijven op het uitwendige oppervlak van de boom achter. Het maakt voor het wegvangen van fijn stof in principe dan ook niet uit of bladeren en naalden aan bomen levend of afgestorven zijn, zolang ze maar in contact komen met vervuilde lucht. In de loop van

het seizoen gaan de bladeren steeds meer stofdeeltjes bevatten (Figuur 3). Een gemiddelde stadsboom vangt per jaar netto circa 100 gram fijn stof af. Een volwassen boom vangt netto wel 1,4 kilogram per jaar af.

Na opname blijft een deel van het afgevangen stof vastzitten. Een ander deel komt weer los van het blad door relatief sterke wind of spoelt met regenwater van het blad af. Eenmaal op de grond kan het fijn stof met het water weggespoeld worden in het riool of zich hechten aan de bodem waar het voor langere tijd wordt opgeslagen. Sommige verbindingen die aan de stofdeeltjes vastzitten, kunnen in de bodem onschadelijk worden gemaakt.

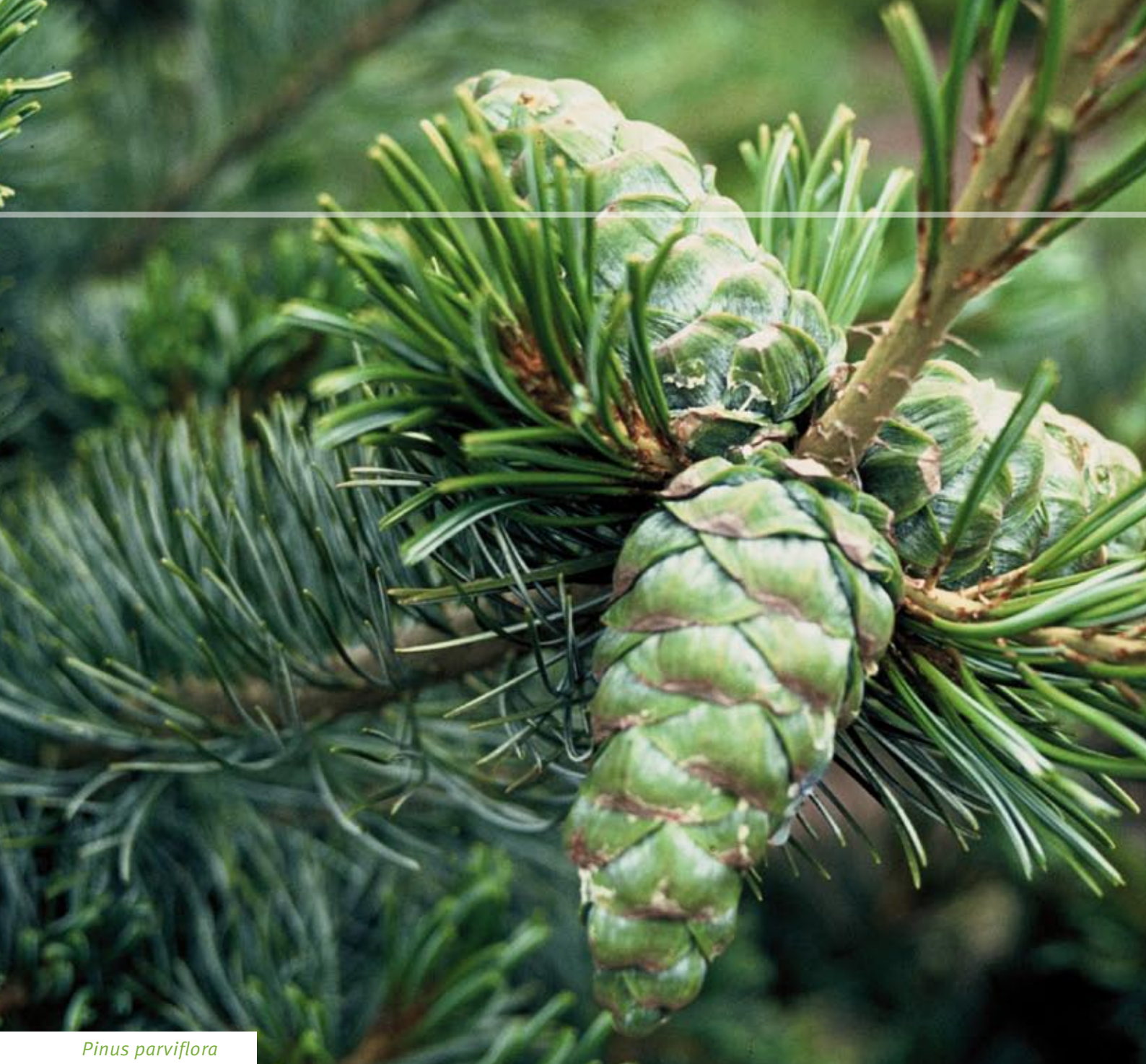


### FIGUUR 3

Fijn stof op het blad van wilde wingerd in juni (links) en in oktober (rechts)

(Uit Thönnessen, 2005)





*Pinus parviflora*

# 4 Bomen en luchtstromingen

## 4.1 Bomen als windscherm

Dat naalden zo effectief deeltjes van fijn stof kunnen afvangen, heeft alles te maken met de wijze waarop deze naalden door hun spitse vorm de luchtstroming beïnvloeden. Wanneer de verontreinigde lucht tegen de spitse naald botst, wordt deze lucht ietwat afgebogen. In de lucht aanwezige fijn stof deeltjes vliegen door hun massa nog even rechtdoor en komen op die manier in contact met het oppervlak van de naald. Hier worden ze vervolgens vastgehouden.

We weten allemaal dat bomen een fysiek obstakel vormen en effect hebben op de windsnelheid en de turbulentie. Van oudsher al worden bomen daarom toegepast als windsingels. Verlaging van de windsnelheid en veranderingen in turbulentie van de lucht zijn van grote invloed op de effectiviteit waarmee bomen vervuiling uit de lucht verwijderen. Daarnaast leiden deze veranderingen van het lokale windklimaat ook direct tot veranderingen van de concentraties van

schadelijke stoffen in de omgeving van de beplanting doordat ze het mengen van de verontreiniging met de omringende lucht beïnvloeden.

In het bos kan het zelfs windstil zijn, terwijl het daarbuiten hevig kan waaien. Het bos vormt een barrière voor de wind. Bij de rand van het bos wordt de lucht als het ware omhoog gestuwd. De lucht gaat niet door het bos heen maar gaat er overheen. Een bosrand werkt daarom precies zo als een dichte windsingel. In Figuur 4 is het windgedrag rond een bos schematisch weergegeven. Ook vóór de bosrand neemt de windsnelheid al af. Op korte afstand aan de lizijde van het bos (van de wind af) is de windsnelheid echter al weer normaal. Het zogeheten beschermde gebied met een verlaagde windsnelheid is relatief klein. Hetzelfde verschijnsel doet zich voor bij een groene windsingel die potdicht is. Ook hier wordt de lucht als het ware tegengehouden en omhooggestuwd en valt achter de hindernis als het ware weer naar beneden.



**FIGUUR 4**

Luchtstroming over een bos. De wind waait van links over het bos heen. Op korte afstand achter het bos is de windsnelheid weer normaal. De omvang van het beschermde gebied met een verlaagde windsnelheid is met blauw aangegeven.

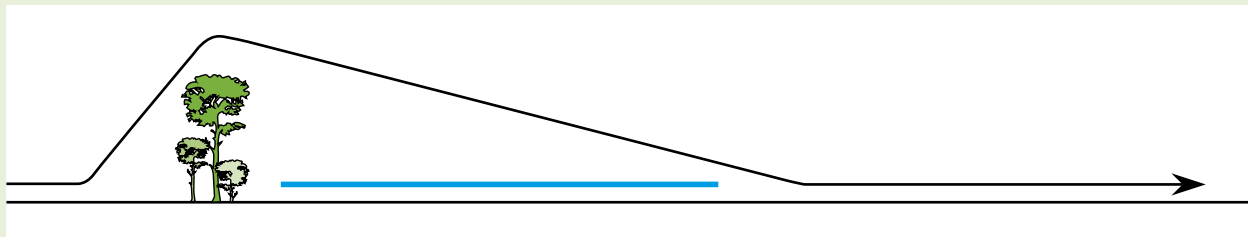


Anders is het bij een (half)open bomenrij. Een bomenrij die in meer of mindere mate open is, laat een deel van de wind wel door in tegenstelling tot een groene windsingel of een bos. Ook bij een open groenstructuur neemt de windsnelheid af maar minder dan bij een dichte windsingel. De afstand achter de open bomenrij tot waar de windsnelheid weer normaal wordt, is echter veel groter dan die bij een bos of gesloten singel. Met andere woorden, het beschermde gebied achter een open groenstruc-

tuur waarbinnen de windsnelheid is verlaagd, is relatief groot. Als vuistregel geldt dat het beschermde gebied achter een open bomenrij een lengte heeft van 15 tot 20 maal de hoogte van de bomen in de rij. Verlaging van de windsnelheid in dit beschermde gebied kan op zichzelf leiden tot verandering van concentraties.

#### FIGUUR 5

Luchtstroming rond een meer of minder open bomenrij. De wind nadert van links. De omvang van het beschermde gebied met een verlaagde windsnelheid is met blauw aangegeven. Het beschermde gebied heeft een lengte van 15 tot 20 maal de hoogte van de bomenrij.



## 4.2 Luchtzuivering en het belang van porositeit

Bomen aan de rand van een bos zijn effectiever in het opnemen van vervuiling dan bomen midden in een bos. Immers, bomen aan de rand worden ook zijwaarts door de lucht aangestroomd terwijl bomen midden in het bos alleen met het topje van hun kruin contact met de vervuilde lucht hebben. Door de schermwerking van

de bosrand komen de meeste bladeren in het bos niet in aanraking met de vervuilde lucht. Ook vrijstaande bomen zijn om deze reden meer effectief dan de afgeschermde bomen in een bos. Het is dit aspect dat er voor pleit om groen meer aan te leggen in de vorm van vrijstaande bomen en lijnelementen dan in de vorm van



bossen als het erom gaat de concentratie op een specifieke locatie te verbeteren. Natuurlijk nemen bossen wel degelijk veel verontreiniging uit de lucht op, vooral ook omdat het een groot areaal betreft. Bossen zijn daarom vooral geschikt om de landelijke achtergrond te verlagen. Naar schatting verwijderen alle bossen in Nederland gezamenlijk 7200 ton fijn stof per jaar (Houben en anderen, 2006). Dit is 17% van de totale hoeveelheid fijn stof die jaarlijks in ons land wordt uitgestoten.

Het contact tussen verontreiniging en bladeren is essentieel voor een effectieve filtering door bomen. Bomen waar de vervuilde lucht door het gebladerte heen gaat, zijn effectiever dan bomen in windsingels die potdicht zijn. Bij “poreuze” groenelementen nemen veel meer bladeren deel aan het zuiveringsproces dan bij dichte elementen. Immers, ook de bladeren binnen in de boomkroon komen dan in contact met de vervuilde lucht en kunnen daar hun zuiverende werk doen. Bij opgekroonde bomen gaat veel van de vervuilde lucht onder de kroon door en wordt niet gezuiverd. Het is dan ook zeer functioneel om onder opgekroonde bomen extra struiken aan te planten die met hun blad verontreiniging uit de lucht halen waar de stammen van de opgekroonde bomen dit niet of nauwelijks doen.

Het belang van een goede porositeit van groenelementen is zeer groot. Porositeit is een veel gehanteerde maat om een idee te krijgen van de hoeveelheid lucht die door het gebladerte heen gaat. Een kruin is poreus indien door het gebladerte heen de blauwe lucht kan worden waargenomen. Hoe meer blauw, des te groter is

de porositeit. Omdat de mate van porositeit goed op het oog kan worden geschat, spreken we ook wel van optische porositeit.

Niet altijd leidt de filtering door bomen tot lagere concentraties op de plek waar de boom groeit. Bomen pal naast de weg filteren wel maar ze dempen ook de windsnelheid. Als gevolg van deze demping van de windsnelheid worden de uitlaatgassen met minder lucht gemengd dan in een situatie zonder bomen. Het netto effect van concentratieverhoging door demping van de windsnelheid en concentratieverlaging door de filtering van groen is vaak een verhoging van de concentraties op de plek waar de boom staat. Voor PM10 is dit het geval indien de porositeit van de beplanting kleiner is dan 40%. Dit laat onverlet dat het groenelement uiteraard nog steeds deeltjes vangt en daarmee PM10 uit de lucht verwijdert.

Dit effect van stijging van de concentratie als gevolg van de windsnelheidsdemping door bomen wordt ook wel aangeduid met het ‘groene tunnel effect’. De verspreiding van vooral de kleinere deeltjes wordt in dit soort situaties dusdanig beperkt dat filtering door groen dit niet kan compenseren. Het ‘groene tunnel effect’ kan worden voorkomen door te zorgen voor een beplanting met voldoende porositeit (meer dan 40%). Dit is te bereiken door een aanplant van de juiste boomsoorten met voldoende open kruinen, dan wel door gericht beheer.

Het ‘groene tunnel effect’ treedt alleen op binnen 100 tot 150 meter van de weg wanneer de uitlaatgassen nog niet volledig zijn gemengd met de omgevingslucht. In het overgrote deel van Nederland is dus van enig tunnel effect geen sprake en leidt de filterfunctie van bomen altijd tot een daling van de concentratie. Naar schatting vangen groenelementen bij gemiddelde meteorologische omstandigheden maximaal 15-20% van het fijn stof (PM10) af.

De concentratie van stikstofdioxide kan maximaal met 10% worden verlaagd door een groenelement met een juiste porositeit (Wesseling en anderen, 2004).

### 4.3 Alternatieve groenstructuren

De aanwezigheid van bomen leidt dus altijd tot filtering maar niet altijd tot lagere concentraties op de plek waar die boom staat. Dicht bij een vervuilingsbron kan het 'groene tunnel effect' tot een dusdanige windsnelheidsdemping leiden dat ondanks de filtering de concentratieniveaus lokaal te hoog worden. Het kan ook zijn dat er gewoonweg geen ruimte is om bomen te planten. In zulke situaties kunnen klim- en leiplanten een oplossing bieden. Deze groenstructuren dempen de windsnelheid niet en leiden dus ook niet tot verhoging van de concentraties dicht bij de weg. Ze halen wel verontreiniging uit de lucht. Ook de positieve functies van verschillende vormen van dakgroen worden steeds meer belicht.

Er bestaat veel belangstelling voor de toepassing van klimop (*Hedera helix*) op kale muren in straten om fijn stof af te vangen. Klimop kan per vierkante meter muur wel drie tot acht vierkante meter blad bezitten en tot zes gram fijn stof bevatten (Dunnett en Kingsbury, 2004). Daarnaast is deze plant ook nog eens groenblijvend zodat ze het hele jaar als filter functioneert. Deze eigenschap is vooral belangrijk voor het verwijderen van fijn stof. Ten opzichte van kale muren betekent klimop een geweldige vergroting van het filterende oppervlak. Vergroening van kale muren verbetert bovendien het aanzien van de stad aanzienlijk. In Monaco, waar de bevolkingsdichtheid drie maal zo groot is als in de grote steden in Nederland, worden sinds 2005 ook de gevels gebruikt om meer groen in de stad te brengen. Tegelijkertijd verwijderen deze groene gevels verontreiniging uit de lucht.

**TABEL 4**  
Belangrijke structurele aspecten van beplantingen

<b>BREEDTE</b>	Bij een brede beplanting (bijvoorbeeld een bos) is er aan de lijszijde geen beschermd gebied met een verlaagde windsnelheid. Bij een smallere beplanting zoals een lijnbeplanting is dit wel het geval. De omvang van het beschermde gebied is afhankelijk van de hoogte van de beplanting.
<b>HOOGTE</b>	Reductie van de windsnelheid achter een rij bomen is meetbaar tot op een afstand van 20 maal de hoogte. In dit gebied zijn ook de concentraties verlaagd. Hier is sprake van lokale bescherming tegen de vervuiling.
<b>POROSITEIT</b>	Voor lokale bescherming dicht bij een bron (drukke weg) moet de porositeit meer dan 40% bedragen voor optimale zuivering van vervuilde lucht en ter voorkoming van het groene tunnel effect. Bij geringere porositeiten bestaat de kans dat door de aanwezigheid van bomen, ondanks de filtering, de concentraties toch lokaal toenemen.
<b>RAND</b>	Randeffecten verhogen de turbulentie en versterken de verwijdering van luchtverontreiniging door groen. Creëer daarom scherpe overgangen waar mogelijk.
<b>HOEVEELHEID</b>	Hoe meer groen hoe beter. Al het groen levert een bijdrage aan de verwijdering van vuile stoffen uit de lucht. Dit is de zogeheten bulkvangst. Optimaliseer de lokale bescherming door lijnelementen herhaald aan te planten op afstanden van 150-200 meter van elkaar.
<b>SOORTEN</b>	Gebruik bij voorkeur inheemse soorten met bladkenmerken die effectief zijn om één of meer luchtverontreinigingscomponenten uit de lucht te verwijderen. Gebruik een mix van soorten om de cocktail van luchtverontreiniging aan te pakken.
<b>TYPE</b>	Alle groen filtert luchtverontreiniging uit de lucht. Dit geldt ook voor gevel- en dakbegroeiing. Waar ruimte voor bomen ontbreekt, zijn gevel- en dakgroen aantrekkelijke mogelijkheden.





*Picea pungens*

# 5 *Waar op letten*

## 5.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt in een aantal richtlijnen samengevat waar men aan kan en moet denken bij aanplant en beheer van bomen met als doel het wegvangen van fijn stof en gasvormige luchtverontreiniging.

Alle bomen, struiken, bossen, windsingels en hagen verbeteren door hun filterende werking de luchtkwaliteit aantoonbaar en kosteloos. Echter niet alle soorten werken in dit opzicht hetzelfde en zeker niet voor iedere schadelijke stof. Om de cocktail van schadelijke stoffen aan te pakken is dan ook een goede mix van verschillende bomen en struiken nodig.

Gassen zoals stikstofdioxide en ozon worden vooral goed opgenomen door loofbomen met brede en gladde bladeren. Voor organische componenten vormt de waslaag op het blad (cuticula) de belangrijkste route van opname. Bladeren met een dikke cuticula zoals naalden van naaldbomen doen het goed. Loofbomen met ruwe, behaarde en plakkerige bladeren zijn geschikt voor het afvangen van stofdeeltjes. Deze deeltjes blijven dan op het blad liggen en worden eventueel door de regen ervan afgespoeld. Fijn stof wordt echter het beste afgevangen door naaldbomen. Naaldbomen zijn vaak groenblijvend. Aanplant van groenblijvende soorten is zeer aantrekkelijk omdat deze ook in de wintermaanden fijn stof uit de lucht halen. Voor ozon is dit minder van belang want de (te) hoge concentraties hiervan zijn vooral in de zomermaanden een probleem (zomersmog).

Voor aanplant van de juiste soorten moet natuurlijk op meer eigenschappen worden gelet dan alleen op de vermindering van fijn stof en zomersmog. Een bijkomende overweging kan bijvoorbeeld zijn dat els en berk aanleiding kunnen geven tot allergische reacties bij

mensen. En ook pluus, vruchten of vallend blad kunnen in sommige situaties zoveel overlast veroorzaken dat dit een belangrijk argument is bij de soortenkeuze. Een ander aspect om rekening mee te houden is de gevoeligheid van de bomen zelf voor luchtverontreiniging. Hierin bestaan grote verschillen die ook afhankelijk zijn van het type luchtverontreiniging.

Daarnaast is het natuurlijk een eerste vereiste dat de groeiplaats geschikt is voor de gekozen boomsoorten en dat de beschikbare ruimte (boven- en ondergronds) ook gedurende langere tijd voldoende is voor een gezonde ontwikkeling van de bomen zonder dat ze overlast veroorzaken. De uiteindelijke invulling van een ontwerp is daarom altijd maatwerk waarvoor specialistische kennis noodzakelijk is. Enerzijds van bomen, hun groei-eigenschappen en de eisen die ze stellen aan hun groeiplaats.

Kennis hiervan wordt o.a. ontwikkeld in het Gebruiks-waarde Onderzoek Laanbomen (zie [www.straatbomen.nl](http://www.straatbomen.nl)). Anderzijds kennis van aerodynamica en het effect van bomen en groen op luchtstromen. Een voorbeeld van een hierop gebaseerd systeem is de Integraal Technisch Groen Ontwerpsystematiek of het ES-systeem ([www.es-consulting.nl](http://www.es-consulting.nl)). Deze systematiek is een Nederlandse innovatieve ontwikkeling, is wereldwijd de eerste rekenmethodiek van dit soort, en is specifiek bedoeld om groenstructuren methodisch en gericht in te kunnen zetten voor energiebesparing, geluidsbeperking en luchtkwaliteitsverbetering.

## 5.2 Algemeen in de stad

Alle bomen (en andere vegetaties) verwijderen vuile stoffen uit de lucht en zijn effectief bij wat we noemen de regionale bescherming. Regionale bescherming heeft

vooral als doel om op grote schaal verontreiniging uit de lucht te filteren ter verbetering van de algemene luchtkwaliteit. Dit wordt ook wel aangeduid met ‘bulkvangst’.

Op het niveau van de stad is een aantal richtlijnen te formuleren die er vooral op zijn gericht om het effectieve oppervlak aan groen in stand te houden en te vergroten.

**TABEL 5**  
Effectief groenbeheer in de stad

1	Vergroot het aantal bomen om de filtercapaciteit te verhogen.
2	Gezonde, goed groeiende bomen hebben het meeste effect; zorg daarom voor goede groei-omstandigheden.
3	Zorg dat bomen volwassen kunnen worden.
4	Gebruik bomen die zijn aangepast aan de stedelijke omgeving en die liefst weinig onderhoud nodig hebben.
5	Zorg voor voldoende variatie om de cocktail van verontreiniging efficiënt aan te pakken.
6	Gebruik naaldbomen (bij voorkeur groenblijvend) voor effectieve opname van fijn stof gedurende het jaar.
7	Gebruik voor de opname van fijn stof als alternatief loofbomen met ruwe en behaarde bladeren.
8	Gebruik loofbomen met platte en brede bladeren voor de effectieve opname van stikstofdioxide en ozon.
9	Gebruik geen soorten die gevoelig zijn voor luchtverontreiniging.
10	Beperk het gebruik van boomsoorten die veel vluchtige organische stoffen uitscheiden en vermijd grootschalige aanplant hiervan opdat de productie van zomersmog niet wordt gestimuleerd.

### 5.3 Dichtbij een bron van luchtverontreiniging

Dichtbij een bron zoals een drukke weg kan groen helpen bij het verlagen van de concentratie ter plekke (lokale bescherming). Houd er rekening mee dat de eventuele verlaging van de concentratie zeer lokaal is en aan de lizijde van de boom plaatsvindt. Het beschermende effect kan worden herhaald door op enige afstand een tweede lijn met bomen aan te planten.

**TABEL 6**  
Bescherming bij bron van luchtverontreiniging

1	Draag er zorg voor dat de kruin van de boom vervuilde lucht kan doorlaten (> 50% optische porositeit), hetzij via goede soortkeuze hetzij via gericht beheer.
2	Voorkom dat bomen de windsnelheid dichtbij de bron teveel dempen (het zogeheten groene tunnel effect) en daardoor lokaal tot hogere concentraties aanleiding kunnen geven, ondanks hun luchtzuiverende werking.
3	Combineer opgekroonde bomen met een ondergroei van kruidachtigen en struiken om effectief blad te hebben op de verschillende niveaus.
4	Bomen met een warrige takstructuur leveren een bijdrage aan de opname van fijn stof ook indien er geen blad aan de boom zit.
5	Plant waar mogelijk bomen in lijnen loodrecht op de aanstromingsrichting van vervuilde lucht en laat deze lijnen terugkomen in de wijk.
6	Zorg voor een ongestoorde zijwaartse aanstroming van bomen dichtbij een bron van luchtvervuiling.
7	Gebruik bomen niet alleen dichtbij de bron van emissie vanwege de grote afvangst, maar ook rondom gevoelige objecten zoals scholen, ziekenhuizen en bejaardenhuizen.



## 5.4 Invloed op lokaal klimaat

Bomen hebben invloed op het lokale klimaat. Voor individuele bomen is vooral het effect van beschaduwing bruikbaar.

**TABEL 7**  
**Beschaduwing**

<b>1</b>	Plant bomen voor het beschaduwen van geparkeerde auto's opdat minder vluchtige organische stoffen uit de benzinetanks verdampen.
<b>2</b>	Gebruik alternatieve groenstructuren zoals gevelgroen, pergola-achtige structuren en dakgroen indien er geen plaats is voor bomen of indien de luchtcirculatie teveel wordt beperkt.



# 6 Effectiviteit van bomen en planten voor

Er is kwalitatief goed groen nodig om de luchtkwaliteit structureel te verbeteren. 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. In Tabel 8 wordt daarom een inschatting van deze effectiviteit gemaakt op basis van de eigenschappen van de bladeren. 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.

## 6.1 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).

## 6.2 Stikstofdioxiden

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

- 1 Loofbomen zijn effectiever in de absorptie van stikstofdioxiden 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 stikstofdioxiden 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).

Stikstofdioxiden kunnen schadelijk zijn voor planten. Indien bomen en struiken worden aangeplant om de concentraties van stikstofdioxiden 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 stikstofdioxiden, zijn met een (+) aangeduid.

# verbetering van de luchtkwaliteit



## 6.3 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 8) 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 8). 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 emitteren (Kolom 5 van Tabel 8) 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 voorkomen.

**TABEL 8** Schatting van de effectiviteit van de belangrijkste soorten om de concentraties van fijn stof, stikstofoxiden en ozon in de lucht te verlagen.

**KOLOM SOORT**

\* Genoemde eigenschappen gelden ook voor de cultivars van de genoemde soort.

**KOLOM FIJN STOF (AFVANGEN), STIKSTOFOXIDEN (ABSORPTIE) EN OZON (ABSORPTIE)**

■ : Minst effectief  
 ■ ■ ■ : Meest effectief

**KOLOM STIKSTOFOXIDEN**

+ Soorten die veel stikstofdioxide absorberen en hier niet gevoelig voor zijn (op basis van Japans onderzoek)

**KOLOM OZON**

+ Soorten die de ozonconcentratie effectief doen dalen in de stad (op basis van Engels onderzoek)

- Soorten die de ozonconcentratie doen stijgen in de stad (op basis van Engels onderzoek)

**KOLOM EMISSIE VAN VLUCHTIGE ORGANISCHE STOFFEN**

■ : Geringe emissie  
 ■ ■ ■ : Veel emissie

• De emissie van vluchtige organische stoffen is bij deze soorten niet meetbaar.

**BRONVERMELDING**

① Takahashi en anderen, 2005  
 ② Donovan en anderen, 2005

③ Stewart en Hewitt, 2002  
 ④ Nowak en anderen, 2002

SOORT	FIJN STOF PM10	STIKSTOFOXIDEN NO+NO <sub>2</sub>	OZON O <sub>3</sub>	EMISSIE VAN VLUCHTIGE ORGANISCHE STOFFEN ③ ④
<b>HEESTERS</b>				
<i>Amelanchier lamarckii</i>	■	■	■	•
<i>Berberis xfrickartii</i> *	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■
<i>Chaenomeles</i>	■	■ ■	■ ■	
<i>Corylus colurna</i>	■ ■	■ ■	■ ■	+
<i>Euonymus (bladverliezend)</i>	■	■ ■ ■ + ①	■ ■ ■	•
<i>Euonymus (bladhoudend)</i>	■ ■	■ ■ ■ + ①	■ ■ ■	•
<i>Hedera</i>	■ ■	■	■	•
<i>Ilex xmeserveae</i>	■ ■	■ ■	■ ■	+
<i>Lonicera (bladverliezend)</i>	■	■	■	•
<i>Lonicera (bladhoudend)</i>	■ ■	■		
<i>Mahonia</i>	■ ■	■ ■	■ ■	■ ■ ■ ■
<i>Potentilla fruticosa</i>	■ ■	■ ■	■ ■	■
<i>Rosa</i>	■ ■	■ ■	■ ■	■
<i>Spiraea</i>	■	■ ■	■ ■	■
<b>KLIMPLANTEN</b>				
<i>Clematis</i>	■	■	■	•
<i>Fallopia</i>	■	■ ■ ■	■ ■ ■	•
<i>Hedera</i>	■ ■ ■	■	■	•
<i>Lonicera</i>	■	■ ■	■ ■	•
<i>Parthenocissus</i>	■	■ ■	■ ■	•
<i>Pyracantha</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	•
<i>Rosa</i>	■ ■	■ ■	■ ■	■
<i>Wisteria</i>	■	■ ■	■ ■	•

SOORT	FIJN STOF PM10	STIKSTOFOXIDEN NO+NO <sub>2</sub>	OZON O <sub>3</sub>		EMISSIE VAN VLUCHTIGE ORGANISCHE STOFFEN ③ ④	
<b>NAALDBOMEN</b>						
<i>Ginkgo biloba</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■		■	
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	■ ■ ■	■	■		■	
<i>Pinus nigra</i>	■ ■ ■	■	■	+	■	
<i>Pinus sylvestris</i> *	■ ■ ■	■	■		■	
<i>Taxus</i>	■ ■ ■	■	■		■	
<b>HAGEN</b>						
<i>Carpinus betulus</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■	
<i>Fagus</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Ligustrum</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<b>LOOFBOMEN</b>						
<i>Acer platanoides</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	② ●	
<i>Acer pseudoplatanus</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	●	
<i>Aesculus</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Ailanthus altissima</i>	■	■ ■ ■	■ ■ ■		■	
<i>Alnus cordata</i>	■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	●	
<i>Alnus glutinosa</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	●	
<i>Alnus xpaethii</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	●	
<i>Betula ermanii</i> *	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	■	
<i>Betula nigra</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	■	
<i>Betula pendula</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	■	
<i>Betula utilis</i> *	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	■	
<i>Carpinus betulus</i> *	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■	
<i>Crataegus xpersimilis</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	●	
<i>Fagus sylvatica</i> *	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Fraxinus angustifolia</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Fraxinus excelsior</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	●	
<i>Fraxinus ornus</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Gleditsia triacanthos</i> *	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Koelreuteria paniculata</i>	■	■ ■	■ ■		■ ■ ■ ■	
<i>Liquidambar styraciflua</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■ ■ ■ ■	
<i>Liriodendron tulipifera</i>	■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Magnolia kobus</i>	■	■ ■	+	■ ■	■	
<i>Malus</i> *	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	●	
<i>Parrotia persica</i>	■ ■	■	■			
<i>Platanus xhispanica</i> *	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■ ■ ■ ■	
<i>Populus</i> *	■ ■	■ ■ ■	+	■ ■ ■	-	■ ■ ■ ■
<i>Prunus</i> *	■ ■	■ ■ ■	+	■ ■ ■	+	●
<i>Pyrus calleryana</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Quercus palustris</i>	■ ■	■ ■ ■	+	■ ■ ■	-	■ ■ ■ ■
<i>Quercus robur</i> *	■	■ ■ ■	+	■ ■ ■	-	■ ■ ■ ■
<i>Salix alba</i> *	■ ■	■ ■ ■	+	■ ■ ■	-	■ ■ ■ ■
<i>Sophora japonica</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		●	
<i>Sorbus</i>	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	■	
<i>Tilia cordata</i> *	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■		■	
<i>Tilia europaea</i> *	■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	■	
<i>Ulmus</i> *	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	+	■	

A photograph of a brick building with windows and lush green foliage in the foreground. The building is made of reddish-brown bricks and has several windows with dark frames. The foliage is dense and green, partially obscuring the building. The overall scene is bright and sunny.

## 7 *De groene en schone stad*

*Tilia xeuropaea*

# vraagt om integraal ontwerpen

In de voorgaande hoofdstukken is uiteengezet dat groen kan worden benut om de luchtkwaliteit in het stedelijk gebied te verbeteren. Groen in een wijk is dus niet alleen mooi, maar ook functioneel. Daarnaast heeft het ook marktwaarde. Uit onderzoek dat begin 2005 door het Ministerie van VROM werd gepubliceerd blijkt dat de belangrijkste woonwensen in Nederland bestaan uit een betaalbare woning en een groene omgeving. Ook uit andere onderzoeken is gebleken dat groen in de omgeving de marktwaarde van huizen doet stijgen. Daarnaast is meermaals aangetoond dat groen in de woonomgeving een positieve invloed heeft op de leefbaarheid in een wijk, op de sociale veiligheid en op het welbevinden van de bewoners.

Om al deze functies duurzaam te kunnen vervullen is kwalitatief goed groen nodig dat bovendien vanaf het begin van de aanleg van een wijk (of van een ander infrastructureel project) functioneel moet zijn. Deze gedachte vormt de kern van het concept van de Groene Stad. De Groene Stad heeft als uitgangspunt dat de groene infrastructuur aan woonwijken een meerwaarde geeft vanaf het begin van aanleg of herstructurering. Dit betekent dat het groen technisch en financieel een integraal onderdeel is van het projectplan. Vanaf het begin van planvorming is het groen even belangrijk als de rode, de grijze en de blauwe functies. Bij oplevering van de wijk is het groen dan ook al aanwezig. Het is daarbij zo aangelegd dat het gewenste groenbeeld reeds zichtbaar is. Het onderhoud van het groen is gegarandeerd.

Bij de soortenkeuze wordt uitgegaan van het principe “de juiste boom op de juiste plaats”, waarbij het zinvol is om gebruik te maken van de beschikbare kennis op dit gebied. Kijken we naar de luchtkwaliteit in onze steden dan is een goede keuze zeker op zijn plaats. En keuzemogelijkheden zijn er genoeg.

Luchtverontreiniging in steden bevat een cocktail aan schadelijke stoffen met als belangrijkste fijn stof, stikstofdioxide en ozon. Een goede mix aan soorten en groenstructuren is inzetbaar om deze cocktail aan te pakken. Groot voordeel van een dergelijke geïntegreerde aanpak is dat deze leidt tot een grote variatie aan soorten. In Hoofdstuk 6 van deze brochure is voor de belangrijkste soorten in het gangbare sortiment, aangegeven wat ze kunnen bijdragen aan verbetering van de luchtkwaliteit. Hiermee vormt dat hoofdstuk een praktisch handvat om tot de juiste beplantingskeuze te komen. Onze steden worden daardoor gevarieerder en groener en ook nog eens schoner!



## **INTERESSANTE WEBSITES**

**De Groene Stad:**

[www.degroenestad.nl](http://www.degroenestad.nl)

**ES Consulting:**

[www.es-consulting.nl](http://www.es-consulting.nl)

**Gebruikswaardeonderzoek Laanbomen:**

[www.straatsbomen.nl](http://www.straatsbomen.nl)

**Benefits of Urban Green Space:**

[www.vito.be/bugs](http://www.vito.be/bugs)

**De Groene Denktank:**

<http://gdt.vito.be/>

**Die Grüne stadt:**

[www.die-gruene-stadt.de](http://www.die-gruene-stadt.de)

**Organisatie van gemeentelijke groen-voorzieners in Duitsland**

[www.galk.de](http://www.galk.de)

**The Green City:**

[www.thegreencity.co.uk](http://www.thegreencity.co.uk)

**Royal Forestry Society**

[www.rfs.org.uk](http://www.rfs.org.uk)

**The Green Roof Centre, Sheffield**

[www.thegreenroofcentre.co.uk](http://www.thegreenroofcentre.co.uk)

**Trees for Cities**

[www.treesforcities.org/html/informationrepo/](http://www.treesforcities.org/html/informationrepo/)





# Literatuurlijst

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.

Dunnett, N., Kingsbury, N., 2004. *Planting green roofs and living walls*. Timber Press, Portland, Oregon, VS.

Houben, B., Jongbloed, F., Kroon, T., Prins, M., Terhürne, R., 2006. *Bos als fijnstoffilter. Een literatuurstudie. Rapport van Geldersch Landschap en Geldersche Kasteelen*, Arnhem.

Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., Van den Brandt, P.A., 2002. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *The Lancet* 360, 1203-1209.

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

Novem, 2003. *Energetische stedenbouw*. In: *NEO: Nieuw EnergieOnderzoek in Praktijk*, 2NEO-03.03, Novem, pag. 17-22.

Nowak, D.J., 1995. *Trees pollute? A "TREE" explains it all*, Proceedings of the 7<sup>th</sup> National Urban Forest Conference, American Forests, Washington, DC, p. 28-30.

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.

Oosterbaan, A., Tonneijck, A.E.G., de Vries, E.A., 2006. *Kleine landschapselementen als invangers van fijn stof en ammoniak. Rapport Alterra 1419*, Wageningen, Nederland.

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

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

Thönnessen, M., 2005. *Feinstaub und Innerstädtisches Grün – Eine Übersicht*, April 2005.

Wesseling, J.P., Duyzer, J., Tonneijck, A.E.G., van Dijk, C.J., 2004. *Effecten van groenelementen op NO<sub>2</sub> en PM10-concentraties in de buitenlucht*, TNO-Rapport R 2004/383, september 2004.







Postbus 81, 2770 AB Boskoop  
[www.pph.nl](http://www.pph.nl)



vereniging  
van hoveniers en  
groenvoorzieners

Postbus 1010, 3990 CA Houten  
[www.vhg.org](http://www.vhg.org)

