

FIJN STOF EN DE BUITENRUIMTE

oplossingen om fijn stof af te vangen met groene en technische elementen



Fijn stof en de buiten ruimte

Oplossingen om fijn stof af te vangen met groen en technische elementen

Rapport nummer:

0012010

Auteurs:

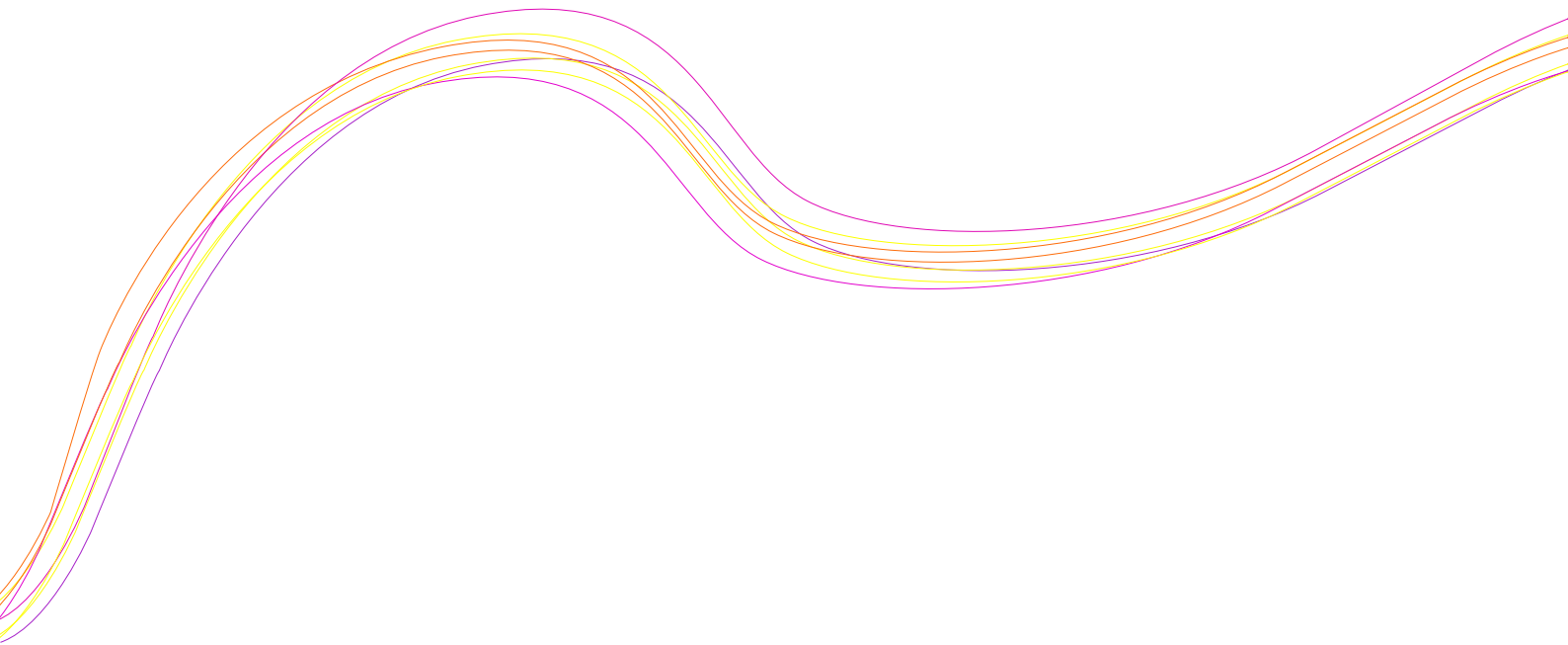
Harry Veldman

Vincent Herzog

Van Hall Larestein, Velp 2010

Begeleider:

Jaap Spoelstra





Samenvatting

Ons onderzoek naar fijn stof valt in twee delen uiteen in een literatuuronderzoek en in het aandragen van oplossingen van de fijn stof problematiek.

Na een presentatie van ons onderzoeksopzet in hoofdstuk 1, gaan we in de daaropvolgende hoofdstukken, hoofdstuk 2 t/m 4, in op de vraag wat fijn stof is, de herkomst van fijn stof en de effecten op het leefklimaat in Nederland. Fijn stof blijkt vaak een antropogene oorsprong te hebben en komt in de stad de grootste concentratie voor. Daarnaast zijn de kleinste deeltjes fijn stof ($PM_{0,1}$) het gevaarlijkst voor de gezondheid.

In het tweede deel van ons onderzoek komen groene en technische oplossingen om de hoek kijken. In hoofdstuk 5 geven we een overzicht van de mogelijkheden om fijn stof af te vangen door middel van interceptie onder te verdelen in: impactie, sedimentatie en diffusie. Deze afvangmogelijkheden zijn te bereiken door middel van groene elementen, technische constructies en preventieve maatregelen. De groene oplossingen presenteren wij in hoofdstuk 6. Daar onderzoeken we de effecten van groene hindernissen, de plaatsing van groen in de stad en de effecten van de verschillende landschapselementen.

Het volgend hoofdstuk biedt een overzicht van

preventieve maatregelen en de verschillende technische ingrepen die door ingenieurs worden aangedragen. Wij behandelen de geluidswal, glazen dak, elektromagnetisch veld, afzuigingmogelijkheden en de 'wassende weg'. Op basis van de presentatie van de groene en technische ingrepen hebben wij in hoofdstuk 8 onze ontwerpprincipes gegeven. Met behulp van een puntenwaarderingsysteem koppelen we de ingrepen aan drie verschillende situaties in de stad: de woonstraat, wijkontsluitingsweg en de stadsontsluitingsweg. In ons waarderingsysteem worden de effectiviteit van het afvangen van fijn stof, de prijsindicatie, de milieuaspecten, de beleving en de toepasbaarheid meegenomen.

In de discussie vragen wij beleidsmakers te kijken naar de manier van weergeven van de problematiek van de fijn stofdeeltjes omwille van de gezondheid. En bieden we een aantal oplossingen aan bedrijven en ontwerpers die de problematiek van de fijn stof willen meenemen in stedelijke ontwerpplannen.

Inhoudsopgave

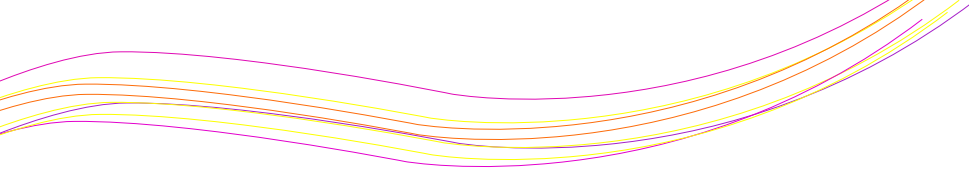
Samenvatting	8
Inleiding	10
1. Onderzoeksopzet	12
2. Wat is fijn stof	15
2.1 Luchtvervuiling	
2.2 Soorten fijn stof	16
2.3 Normen voor fijn stof	
2.3.1 Europese maatregelen	
2.3.2 Nederlandse maatregelen	17
2.4 Herkomst en hoeveelheid van fijn stof	
2.4.1 Antropogene bijdragen fijn stof	18
2.4.2 overige bijdragen fijn stof	
2.4.3 Lokale bronbijdragen	19
2.5 Conclusies	
3. Gezondheid en fijn stof	21
3.1 Oorzaak gezondheidsklachten	
3.2 Risico's	22
3.2.1 Acute effecten	
3.2.2 Chronische effecten	23
3.2.3 Lage fijn stof concentraties	
3.3 Conclusies	



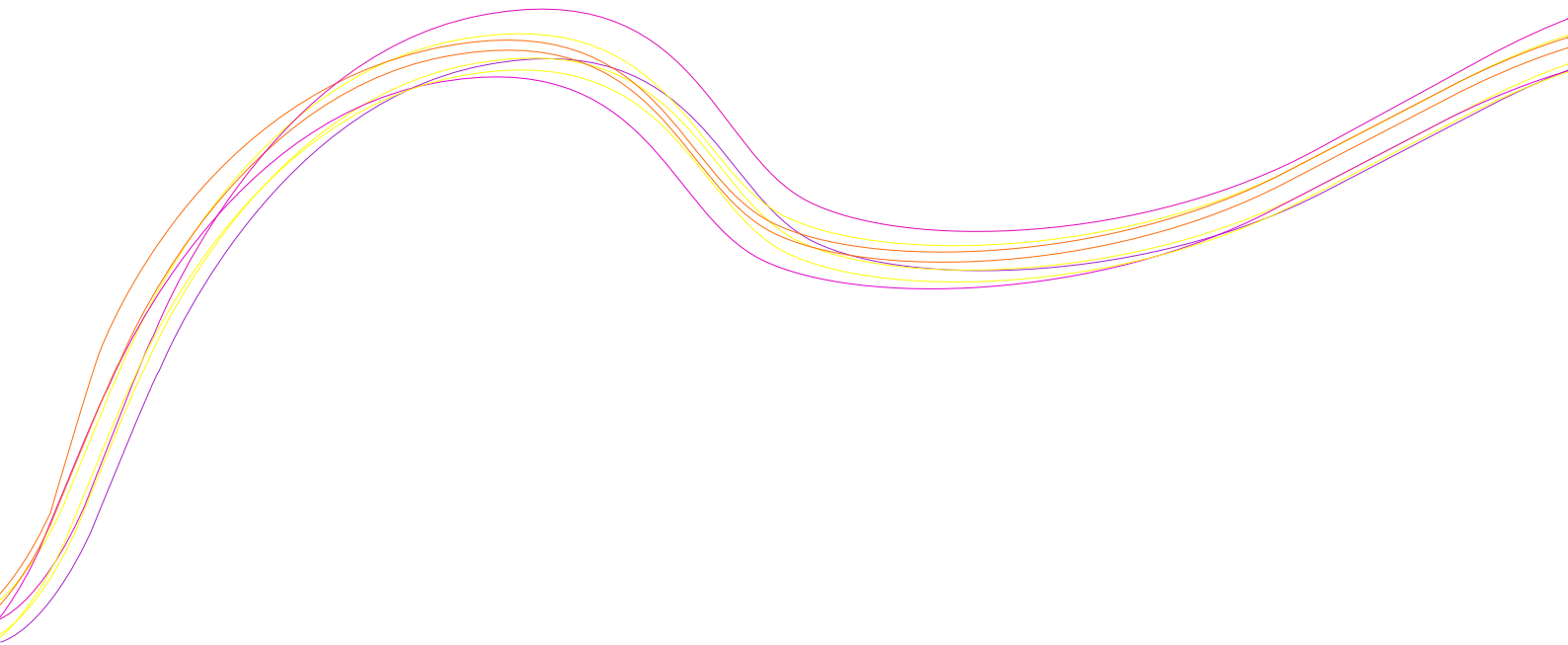
Inhoudsopgave

4. Fijn stof in kaart	
4.1 Meten van de fijn stof concentraties	25
4.1.1 Zeezoutcorrectie	
4.1.2 PM _{2.5} –metingen	26
4.2 Fijn stof concentraties en overschrijdingen	27
4.2.1 Gemiddelde jaar PM ₁₀ -concentratie en overschrijding	
4.2.2 Daggemiddelde PM ₁₀ -concentratie en overschrijding	30
4.2.3 Gemiddelde jaar PM _{2,5} -concentratie en overschrijding	33
4.3 Conclusies	
5. Methoden afvangen van fijn stof	35
5.1 Werking van interceptie	
5.2 Structuurafhankelijkheid in het klein	
5.3 Structuurafhankelijkheid in het groot	36
5.4 Methodes voor het afvangen van fijn stof	
5.4.1 Afvangen door middel van groene elementen	
5.4.2 Afvangen met behulp van technische constructies	37
5.4.3 Afvangen met het nemen van preventieve maatregelen	
5.5 Conclusies	
6. Fijn stof afvangen met groen	39
6.1 Werking van groen	
6.2 Onderzoek	
6.3 Biologische aspecten	40
6.4 Structurele aspecten	42
6.4.1 Bomenrij / Windsingels	43
6.4.2 Bos	
6.4.3 Haag	44
6.4.4 Dak en gevelbegroeiing	
6.4.5 De ideale groenstructuur	45
6.5 Conclusies	

7. Afvangen van fijn stof door middel van preventieve en technische ingrepen	47
7.1 Preventieve maatregelen	
7.1.1 Slijtage van banden, remmen en asfalt	
7.1.2 De invloed van snelheid op luchtverontreinigende emissies	48
7.1.3 Roetfilters en katalysatoren	
7.2 Geluidswal	49
7.3 Glazen dak	50
7.4 Elektromagnetisch veld	51
7.5 Ontwikkelingen van ideeën voor de bestrijding fijn stof	52
7.5.1 Afzuiging via de riolering	
7.5.2 De wassende weg	53
7.6 Conclusies	
8. Afvang principes	55
8.1 De woonstraat	
8.1.1 Afvangen door middel van schanskorf	56
8.1.2 Fijn stof afvangen door middel van een haag	57
8.1.3 Fijn stof afvangen door middel van afzuiging	
8.1.4 Fijn stof afvangen door middel van gevelgroen	58
8.1.5 Fijn stof afvangen door middel van elektromagnetische velden	
8.2 De wijkontsluitingsweg.	59
8.2.1 Afvangen door middel van schanskorf	
8.2.2 Fijn stof afvangen door middel van een haag	60
8.2.3 Fijn stof afvangen door middel van afzuiging	61
8.2.4 Fijn stof afvangen door middel van bomen	62
8.2.5 Fijn stof afvangen door middel van haag en bomen	63
8.2.6 Fijn stof afvangen door middel van elektromagnetische	64
8.3 De stadsontsluitingsweg	65
8.3.1 Fijn stof afvangen door middel van afzuiging	
8.3.2 Fijn stof afvangen door middel van bomen aan twee kanten	66



8.3.3	Fijn stof afvangen door middel van haag in combinatie met twee rij bomen	67
8.3.4	Fijn stof afvangen door middel van drie rijen hagen en bomen	68
8.3.5	Fijn stof afvangen door middel van elektromagnetische velden.	69
8.4	Afvang principes samengevat	70
8.5	Conclusies	73
	Discussie	74
	Aanbevelingen	75
	Literatuurlijst	76



10



Voorwoord

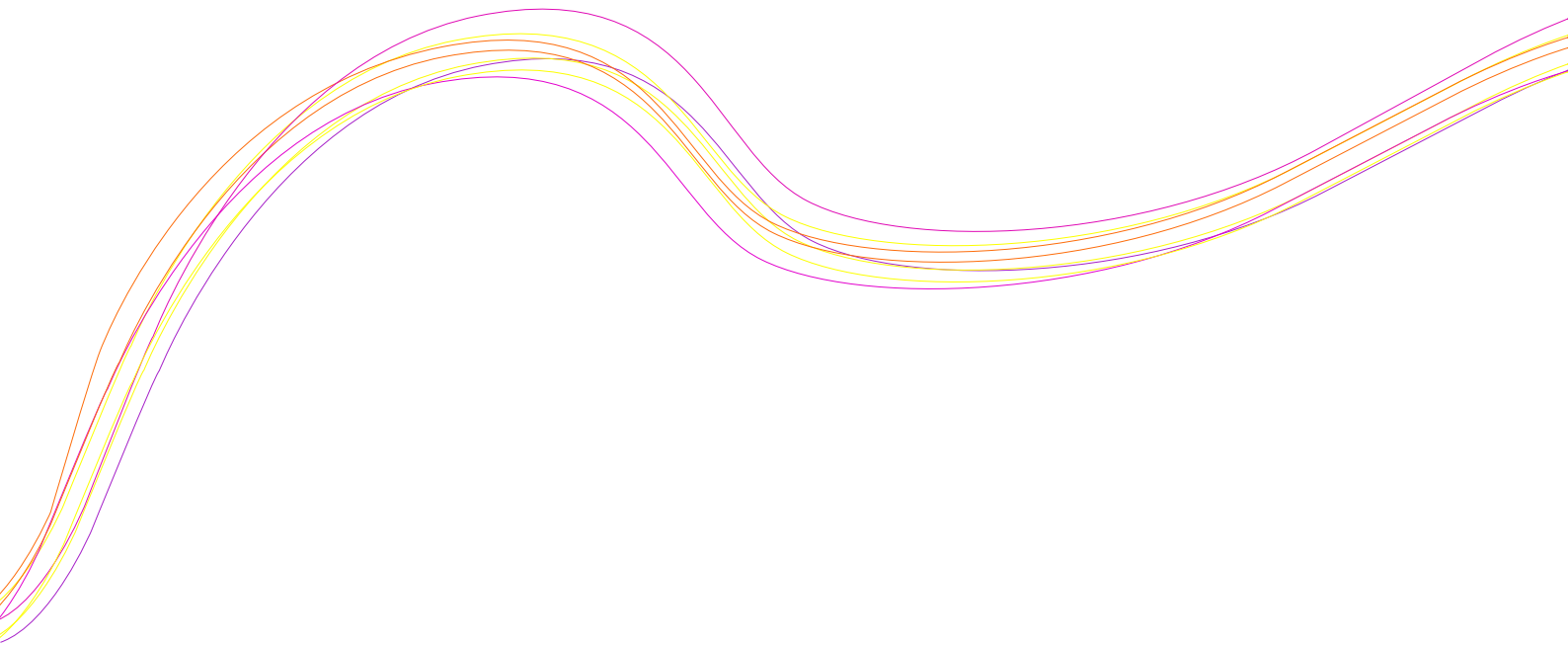
Dit onderzoeksrapport is geschreven in het kader van de afstudeeropdracht van de opleiding Tuin- en landschapsinrichting, Major planuitwerking en realisatie, aan de Hogeschool van Hall Larenstein te Velp. Het onderzoek dat voor u ligt is het eindresultaat van 12 weken onderzoek naar welke ingrepen er in de openbare ruimte toepasbaar zijn ten behoeve van het afvangen van fijn stof.

Voor de totstandkoming van dit rapport zijn ondermeer verschillende lezingen en bestaande studies gebruikt. Wij willen onze begeleider vanuit Hogeschool van Hall Larenstein, dhr. J. Spoelstra, bedanken voor de prettige en leerzame begeleiding.

11

Arnhem, 29 maart 2010

Harry Veldman & Vincent Herzog





Inleiding

Fijn stof is op dit moment een probleem waar velen zich druk mee bezig houden. Het probleem met fijn stof doet zich vooral voor rondom en in de steden. Om het fijn stof gehalte te verlagen, worden er verschillende manieren ontwikkeld. Het toepassen van fijn stof remmende maatregelen zal op grotere schaal toegepast kunnen worden.

De centrale vraag van dit onderzoek luidt:

‘Met welke ingrepen (technische en groene) in de openbare ruimte kan fijn stof gevangen worden?’

Met dit rapport willen wij inzicht geven waar de problemen zich voordoen en wat de mogelijke oplossingen zijn voor het afvangen van fijn stof. Hierbij zullen we bestaande afvang principes, zowel met groen als technische systemen, analyseren en vergelijken met elkaar. Verder willen we aan de hand van verschillende straatsituaties ontwerpprincipes aandragen.

Het rapport dient als naslagwerk voor iedereen die bezig is met de probleemstelling fijn stof en voor studenten en docenten van de Hogeschool Van Hall Larenstein. We proberen ontwerpers en ingenieurs bewust te maken van de mogelijkheden die er bestaan op het gebied van het bestrijden van fijn stof.

Onze manier van onderzoeken is op te delen in verschillende fases. In de eerste fase hebben we toegelicht waar de fijn stof problematiek zich voordoet

en welke schade deze kan aanrichten aan de mens. In de tweede fase beschrijven we de mogelijkheden van het afvangen van fijn stof, zowel met beplantingselementen als met technische ingrepen. De derde fase zal bestaan uit ontwerpprincipes die men kan toepassen in de stad voor het afvangen van fijn stof.



1. Onderzoeksopzet

14

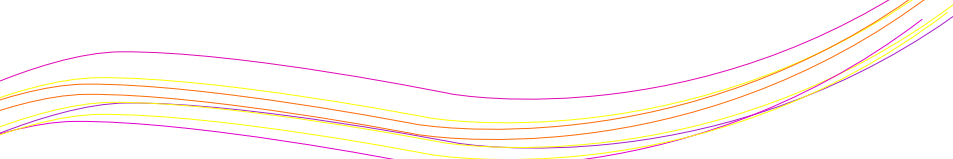
In dit hoofdstuk zullen wij een korte impressie geven van het onderwerp van ons onderzoek. Verder kaderen we hier het onderwerp in en laten we onze werkwijze zien die we toepassen tijdens het onderzoek.

1.1 Definitie van ‘fijn stof’

Om een goed begin te maken met ons onderzoek willen wij eerst de definitie van fijn stof helder maken. Wat zien wij als fijn stof? Fijn stof is een vorm van inhaleerbare deeltjes-vormige luchtverontreiniging, een complex mengsel van deeltjes van een verschillende grootte. De deeltjes zijn een diverse chemische samenstelling van mineralen zoals zout, vezels, organometalverbindingen en koolwaterstoffen.

1.2 Vraagstelling

Nederland voldoet niet aan de nieuwe Europese norm tegen fijn stof. Fijn stof is schadelijk voor de gezondheid en door het niet voldoen aan de norm van de Europese Unie kunnen er bijvoorbeeld sancties opgelegd worden zoals bouwstops. Hoge fijn stof concentraties komen veel voor in de binnensteden. Om deze problemen terug te dringen kan het fijn stof worden afgevangen. De beperkte ruimte in de binnenstad en het groeiend probleem van fijn stof geven aanleiding om nieuwe oplossingen op het gebied van het fijn stof probleem. In de laatste jaren is er veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van het afvangen van fijn stof, waarbij gekeken is naar oplossingen met beplanting maar ook door middel van technische ingrepen.



Vanuit de centrale vraag hebben we deelvragen opgesteld die ons helpen bij het inkaderen van ons onderzoek.

- Wat is fijn stof, waar komt het vandaan en in welk gebied Nederland is het probleem het grootst?
- Wat is de normering van fijn stof?
- Welke invloeden heeft fijn stof op de gezondheid?
- Hoe heeft groen een positieve werking op het fijn stof?
- Welke bomen, struiken etc. en welke structuren helpen bij het vangen van fijn stof?
- Welke technische oplossingen zijn te vinden voor het opvangen van fijn stof?
- Hoe kunnen we groene en technische oplossingen met elkaar vergelijken?

handvatten ontwikkelen en deze overzichtelijk en schematisch weer geven in een schema.

1.3 Werkwijze

We zullen door middel van een literatuurstudie ons verdiepen in de problematiek en de herkomst hiervan, waarna we in de hoofdstukken daaropvolgend de huidige manieren van het afvangen van fijn stof bespreken. De volgende stap in ons rapport is ontwerp





2. Wat is fijn stof

(bron: Matthijsen J. & Visser H. 2006)

Fijn stof is een vorm van luchtvervuiling. Dit kan veroorzaakt worden door natuurlijke en menselijke bronnen. Fijn stof kan onderscheiden worden in primair en secundair fijn stof. Het fijn stof in Nederland komt voor het grootste deel uit het buitenland, de grootste fijn stof veroorzaker in Nederland is het verkeer.

2.1 Luchtvervuiling

Luchtvervuiling is het verschijnsel waarbij de ons omringende lucht wordt verontreinigd door stoffen die afkomstig zijn van natuurlijke bronnen of van antropogene (menselijke) bronnen. Onder natuurlijke bronnen kunnen we verstaan vulkanen, stof en rook van bosbranden. Bronnen van menselijke oorsprong hebben drie hoofdoorzaken:

- Landbouw (ammoniak vanuit mest en kunstmest)
- Industrie (zware metalen, stikstofoxide en chemicaliën)
- Verkeer (vuurwerk en het verkeer door verbrandingsmotoren, remmen- en bandenslijtage)

De antropogene bronnen zijn de grootste veroorzakers van fijn stof.

Tot fijn stof worden in de lucht zwevende deeltjes kleiner dan 10 micrometer gerekend. Fijn stof bestaat uit deeltjes van verschillende grootte, herkomst en chemische samenstelling. De normen voor fijn stof

worden in Europa op veel plaatsen overschreden, vooral langs drukke wegen.

Bij fijn stof wordt er onderscheid gemaakt tussen primaire en secundaire deeltjes:

- Primair fijn stof ontstaat door verbranding, wrijving of verdamping. Voorbeelden zijn de verbranding van fossiele brandstoffen (aardolie, aardgas en steenkool) en het malen van stoffen in de industrie (zoals de mengvoeder-, metaal- of chemiebedrijven). Naast de antropogene bronnen, kan de natuur ook een oorzaak zijn van fijn stof. Door de wind (die deeltjes van gebouwen of rotsen afschuurt) en de verdamping van zeewaterdruppels;
- Secundair fijn stof ontstaat als moleculen van verzurende stoffen zoals stikstofoxiden (NO_x), zwaveldioxide (SO_2), ammoniak (NH_3), vluchtige organische stoffen en ozon (O_3) zich verbinden tot vaste deeltjes. Deze kunnen zich ook aan primaire deeltjes hechten.

In dit onderzoek wordt er verder ingegaan op het primaire fijn stof.

2.1 Soorten fijn stof

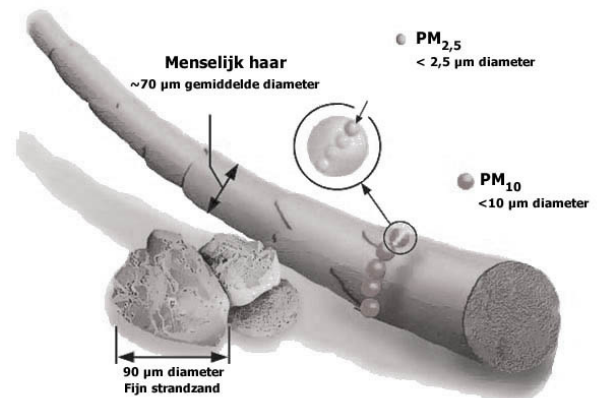
Bij het ordenen van primair fijn stof in soorten wordt er onderscheid gemaakt in grootte van de deeltjes:

- PM_{10} : deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 10 micrometer. Het zijn deeltjes met een omvang van 2,5 tot 10 micrometer (een micrometer is een duizendste millimeter). Dit zijn onder andere opwaaiend wegenstof en slijtagedeeltjes uit motoren en remmen. Deze deeltjes krijgen in de literatuur de stofduiding PM_{10} .
- $PM_{2,5}$: deeltjes met een aerodynamische diameter kleiner dan 2,5 micrometer. Deze komen vooral uit de uitlaten van dieselmotoren (dieselroet).
- $PM_{0,1}$: deeltjes kleiner dan 0,1 micrometer (ultra-fijnstof).
-

2.2 Normen voor fijn stof

2.2.1 Europese maatregelen

Halverwege de jaren negentig van de vorige eeuw heeft de Europese Commissie zich bezig gehouden met de systematiek van de luchtkwaliteitsrichtlijnen in de diverse EG-lidstaten, hetgeen heeft geresulteerd in de EG-Kaderrichtlijn luchtkwaliteit waarin de uitgangspunten voor het luchtkwaliteitsbeleid zijn vastgelegd. Binnen het stelsel van de kaderrichtlijn



Figuur 2.1 Ingezoomd op fijn stof deeltjes
Bron: Mmk.be

Naar figuur EPA

staan luchtkwaliteitsnormen centraal: normen die aangeven waaraan de kwaliteit van de lucht in de lidstaten op een bepaald moment moet voldoen. Omdat sprake is van een kaderrichtlijn, bevat de kaderrichtlijn de luchtkwaliteitsnormen niet zelf. Wel biedt de Kaderrichtlijn de juridische basis voor het vaststellen van zulke normen in zogenaamde 'dochterraichtlijnen'.

De Europese Unie heeft regels vastgesteld om de hoeveelheid fijn stof in de lucht te verminderen (zie tabel 2.1). Deze regels houden in dat er maar een bepaalde hoeveelheid fijn stof in de lucht aanwezig mag zijn. Sinds 2005 moeten alle lidstaten zich aan deze regels houden.

¹⁾PM is hierbij de afkorting voor particulate matter, aantal micrometer staat voor de grootte van de deeltjes

Daarnaast krijgen lidstaten die wel maatregelen nemen, maar de normen toch niet halen, uitstel van maximaal drie jaar. Het is de bedoeling dat lidstaten tussen 2010 en 2020 de uitstoot van fijn stof met 20 procent terugbrengen. De nieuwe Europese norm voor het jaargemiddelde voor $PM_{2,5}$ wordt in 2015 gesteld op $25 \mu/m^3$.

2.2.2 Nederlandse maatregelen

Uit een recent onderzoek van het ministerie van VROM blijkt dat Nederland voor 2011 voldoet aan de Europese eisen voor fijn stof. In Nederland is de hoeveelheid fijn stof in de lucht met 25 procent gedaald ten opzichte van 1994. Dit komt doordat er in Nederland al veel maatregelen genomen zijn om de concentratie fijn stof tegen te gaan

2.3 Herkomst en hoeveelheid van fijn stof

De grootschalige fijn-stofconcentratie (PM_{10}) bedroeg

	Per 1 januari 2005	Per 1 januari 2010
Jaargemiddelde	40 microgram per kubieke meter	20 microgram per kubieke meter
Daggemiddelde	50 microgram per kubieke meter	40 microgram per kubieke meter
Maximum aantal overschrijdingen per jaar	35 dagen	7 dagen

Tabel 2.1 Europese normen voor PM_{10}
Bron VROM, 2009

in 2007 gemiddeld over Nederland $25 \mu/m^3$. Uit berekeningen blijkt dat 43% van de bestanddelen van fijn stof in lucht van antropogene herkomst is. Tweederde deel daarvan is afkomstig uit buitenlandse bronnen en een derde deel komt uit Nederland zelf. Dat betekent dat (minimaal) 15% van de fijn-stofconcentratie met Nederlands beleid beïnvloedbaar is. Het overgrote deel van de buitenlandse bijdrage, namelijk driekwart, kent zijn oorsprong in emissies uit de landen in de directe omgeving van Nederland: Duitsland, België, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk.

2.3.1 Antropogene bijdragen fijn stof

In deze subparagraaf benoemen we de verschillende antropogene bijdragen:

- De sector Verkeer (bijvoorbeeld roet uit dieselmotoren. Daarnaast ontstaat fijn stof door wrijving van remmen, afschuren van rubber banden en het wegdek) levert de

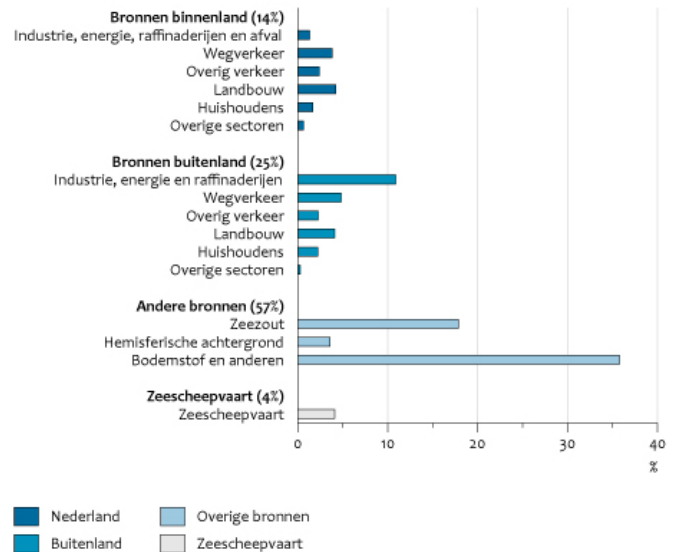
grootste bijdrage aan de gemiddelde fijnstofconcentratie, namelijk 13%. Hiervan is 6% van binnenlandse en 7% van buitenlandse oorsprong.

- De sectoren Industrie, Energie en Raffinaderijen volgen met een bijdrage van 12%; slechts 1 procentpunt hiervan is binnenlands.
- De bijdrage van de sector Landbouw (bijvoorbeeld veebedrijven, door stro en gedroogde mest in stallen) is naar schatting 8%, waarvan de helft uit Nederland. Verder zijn er bijdragen van huishoudens (4%) en internationale scheepvaart (4%) aan de gemiddelde fijnstofconcentratie.

2.3.2 Overige bijdragen fijn stof

De overige 57% komt niet uit antropogene bronnen en bestaat grotendeels uit bijdragen van zeezout, bodemstof, de grootschalige hemisferische achtergrond en andere bronnen (Matthijssen en Visser, 2006). Deze restpost 'andere bronnen' betreft circa 15% van de fijn-stofconcentratie in Nederland. Het bestaat uit stof van biologische oorsprong, zoals afbraakproducten van organisch materiaal en bacteriën, secundair organisch aerosol (SOA) en water. Er is tot slot nog een sluitpost die het gevolg is van kalibratie van de modelberekeningen aan metingen. Delen van deze vaak slecht bekende bijdragen aan fijn stof zijn van antropogene oorsprong.

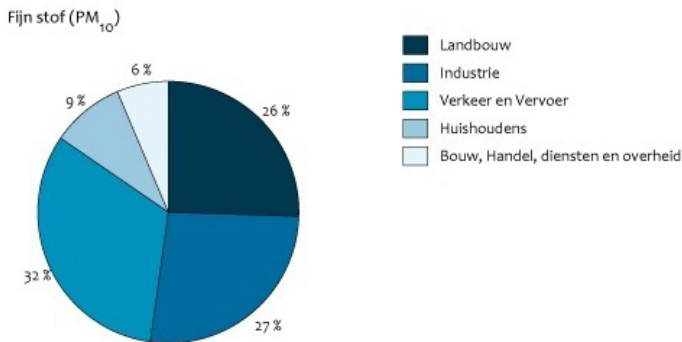
Opbouw fijnstofconcentratie, 2007



Bron: MNP.

2.3.3 Lokale bronbijdragen

De totale antropogene Nederlandse bijdrage in straten en snelwegen kan door lokale verkeersbijdragen stijgen tot 45% in vergelijking met de 14% gemiddeld voor Nederland. De Nederlandse bijdrage is vergelijkbaar groot in de buurt van de locaties van grote landbouwstallen en in de nabijheid van op- en overslag van droge bulkgoederen in de havens.



Bron: Emissieregistratie.

CBS/sep09/0181
www.compendiumvoordeleefomgeving.nl

Figuur 2.3 De landbouw, industrie en het verkeer en vervoer leveren de grootste bijdragen aan de fijn stof emissies. Wat betreft de antropogene afkomst.

Nederlands beleid heeft op dit soort locaties dus meer invloed op de fijn-stofconcentraties dan gemiddeld.

Conclusies:

- Bron maatregelen hebben zin als ze op Europees niveau worden bepaald. De verontreiniging van de mens is gemiddeld ruim 40% van het ontstaan van fijn stof.
- Europese norm van PM_{10} ligt hoger dan de norm voor $PM_{2,5}$.
- Verkeer levert voor Nederland de grootste bijdrage aan fijn stof in de steden en langs snelwegen.
- Goed beleid heeft positieve invloed op hoge fijn-stofconcentratie.
- Van de fijn stof in Nederland (100%) komt er 14% voort uit binnenlandse bronnen, 25% uit buitenlandse bronnen 4% uit de zeescheepvaart en 57% komen voort uit andere bronnen bijv. zeezout en bodemstoffen.
- Het fijn stof dat in Nederland geproduceerd (100%) wordt, is te verdelen in: het verkeer (32%), de landbouw (27%), industrie (27%), huishoudens (9%), en bouw, handel en andere diensen (6%).
- Lokaal kan het percentage fijn stof stijgen tot wel 45%, in vergelijking met het gemiddelde van 14% voor Nederland.



N02 **fijnstof**

	
60	67

www.denhaag.nl/lucht

BOEYS



3. Gezondheid en fijn stof

(Bron: GGD Hollands Midden 2006)

Uit onderzoek blijkt dat er een verband bestaat tussen concentraties fijn stof en gezondheidsklachten. Sommige soorten fijn stof zijn schadelijker voor de gezondheid dan andere. Waarschijnlijk bepaalt de oorsprong van het stof het effect op de gezondheid. Ook de grootte is van betekenis: hoe kleiner de deeltjes, hoe dieper ze in de luchtwegen kunnen doordringen.

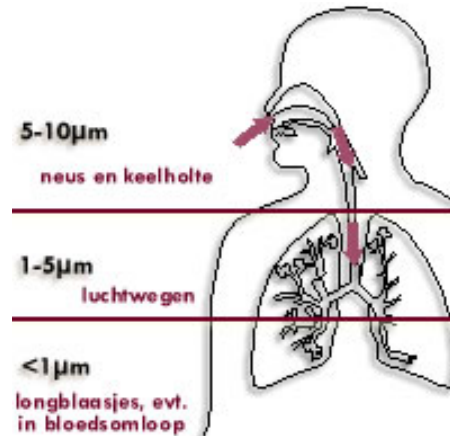
Uit het oogpunt van de volksgezondheid is fijn stof een ernstig milieuprobleem. Het is nog niet precies duidelijk hoe de gezondheidseffecten ontstaan. Verondersteld wordt dat de nadelige gevolgen vooral het gevolg zijn van door mensen veroorzaakte bronnen zoals het verkeer. Wie langs een drukke (snel)weg woont, maakt twee keer zoveel kans om te overlijden aan hart- en vaatziekten of aan een longaandoening (Hoek et al, 2002).

3.1 Oorzaak gezondheidsklachten

De kleinere deeltjes dringen het diepst door in de longen. Zo kan PM_{10} door mechanische en giftige inwerking de slijmafvoer in de luchtwegen verstoren, ademhalingsklachten uitlokken en de gevoeligheid voor luchtweginfecties verhogen. Ondermeer de aanwezigheid van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) in sommige stofdeeltjes bevordert de ontwikkeling van longkanker. Andere toxische stoffen kunnen zich na afzetting in de longen

nog verder in het (menselijk) lichaam verspreiden via de bloedbaan of het lymfestelsel. $PM_{0,1}$ dringt dieper door in de longen dan PM_{10} , en heeft een veel groter oppervlak per eenheidsmassa, en kan rechtstreeks in de bloedsomloop komen. Gezondheidseffecten kunnen al bij een lage blootstelling optreden, daar is geen klassieke drempelwaarde voor. Welke normstelling ook zal worden gekozen, de bijbehorende gezondheidseffecten voor de bevolking zijn nooit helemaal uit te sluiten.

23



Figuur 2.4 Hoe kleiner de stofdeeltjes, hoe gevaarlijker ze zijn. Stofdeeltjes met een diameter van minder dan 10 micrometer zetten zich af in de keel en de bovenste luchtwegen. De kleinere deeltjes met een diameter van 2,5 micrometer komen in de longblaasjes terecht.

Bron: Mmk.be

3.2 Risicogroepen

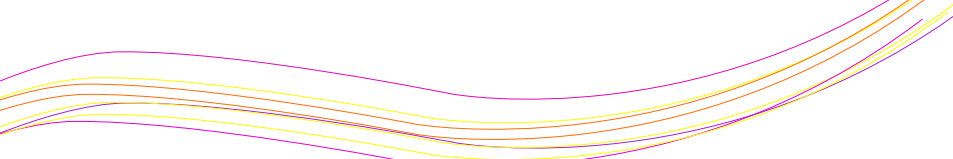
Mensen die vatbaar zijn voor luchtverontreiniging behoren tot de risicogroepen. We onderscheiden twee risicogroepen. De eerste groep bestaat uit mensen die meer kans hebben grotere hoeveelheden vervuilende stoffen in te ademen. De tweede groep zijn mensen die gevoeliger zijn voor de inademing van vervuilende stoffen zoals bijvoorbeeld volwassenen met aandoeningen aan de luchtwegen en hart- en vaatziekten. Ernstige gezondheidseffecten zoals sterfte en ziekenhuisopname kunnen hier een vervolg van zijn.

Ook ouderen en kinderen lijken extra gevoelig. Kinderen op scholen bij drukke wegen hebben vaker

luchtwegklachten, dit geldt vooral van kinderen die daar al gevoelig voor waren. Het verband tussen verkeersintensiteit en luchtwegklachten bij kinderen blijkt vooral groot ten aanzien van de intensiteit van vrachtverkeer. In de toekomst zal een groter deel van de bevolking extra gevoelig zijn voor fijn stof. Dit komt door de toenemende vergrijzing en het toenemend aantal mensen met astma en hart- en vaatziekten.

3.2.1 Acute effecten

Acute effecten treden op nadat iemand kort (enkele uren tot enkele dagen) is blootgesteld aan hoge concentraties. Deze gezondheidseffecten die hierbij optreden zijn beter bekend, dit omdat hierover Nederlandse gegevens beschikbaar zijn. Deze effecten treden op als gevolg van blootstelling aan fijn stof



gedurende enkele dagen. Gezondheidskundige studies, die de effecten van kortdurende blootstelling aan fijn stof belichten, wijzen uit dat in Nederland jaarlijks enige duizenden mensen vroegtijdig overlijden. De duur van deze levensverkortening is vermoedelijk kort: enkele dagen tot maanden. Fijn stof heeft effect op onder andere hart- en longfuncties. Zo wordt 1 à 2 procent van de spoedopnamen voor long- of hart- en vaataandoeningen in Nederland toegeschreven aan fijn stof. Dergelijke resultaten zijn niet alleen in Nederland, maar overal op de wereld gevonden en ze zijn vrij robuust.

3.2.2 Chronische effecten

Er staan veel mensen jaar in, jaar uit bloot aan een matige tot hoge concentraties luchtverontreiniging en niet alleen gedurende een korte periode (< etmaal). Dit kan voor chronische gezondheidseffecten zorgen. De gezondheidseffecten hiervan zijn moeilijk te bepalen en zijn onzeker. Het ontbreken van gegevens in Europa bemoeilijkt het maken van een schatting van de omvang van gezondheidseffecten voor Nederland. Als Amerikaanse studies geldig worden verklaard voor Europa dan is de schatting dat langdurende blootstelling aan fijn stof leidt tot een levensduurverkorting in de orde van een jaar, in vergelijking met een levenlang zonder fijn stof. Uit onderzoek blijkt dat naast vroegtijdige sterfte fijn stof een toename van klachten aan de luchtwegen, hoesten en benauwdheid, vermindering van de longfunctie, toename van ziekenhuisopname voor luchtwegklachten en hart- en vaatziekten, en overlijden kan veroorzaken.

3.2.3 Lage fijn stof concentraties

Uit gezondheidskundige studies blijkt dat er ook bij lage fijn stof concentraties nog gezondheidseffecten zijn, zij het minder ernstig en minder omvangrijk dan bij hoge concentraties. Dit betekent dat, hoewel de luchtkwaliteit verbetert met elke concentratievermindering, er geen grote gezondheidswinst mag worden verwacht bij een daling van de fijn stof concentratie van net boven een grenswaarde naar net eronder.

Conclusies

- **De deeltjes kleiner dan 10 en 2,5 micrometer verschillen van elkaar, omdat ze tot verschillende diepte de luchtwegen binnendringen.**
- **De deeltjes kleiner dan 0,1 micrometer stimuleren waarschijnlijk de bloedklontering, wat een verklaring zou kunnen zijn voor een hoger aantal hartziekten langs drukke wegen.**
- **De cijfers van de actuele effecten zijn vrij hard, de cijfers van de chronische effecten zijn onzeker.**
- **De gevoelheid voor fijn stof zal toenemen in de toekomst, dit door de vergrijzing.**



vuile lucht

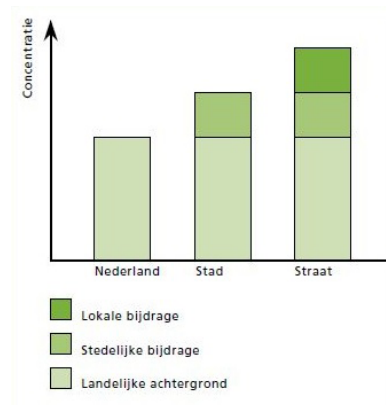
4. Fijn stof in kaart

(bron: Hiemstra, J.A. et al. 2008 & Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), 2008)

Overal in Nederland ademen we fijn stof deeltjes in. Fijn stof dringt door tot de neus- en keelholten, $PM_{2,5}$ tot $PM_{0,1}$ kunnen dringen door tot in de luchtwegen en de longen en kunnen zelfs in de bloedsomloop terecht komen. Figuur 4.1 geeft schematisch de concentratieniveaus van PM_{10} weer voor verschillende situaties. Een grote hoeveelheid fijn stof komt 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.

4.1 Meten van de fijn-stofconcentraties

De ruimtelijke beelden van de fijn-stofconcentraties zijn gebaseerd op de combinatie van gemodelleerde concentraties en de metingen in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). Voor de schatting van het aantal dagen overschrijding van PM_{10} -concentraties van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is gebruikgemaakt van de relatie tussen het jaargemiddelde en het aantal dagen overschrijding.



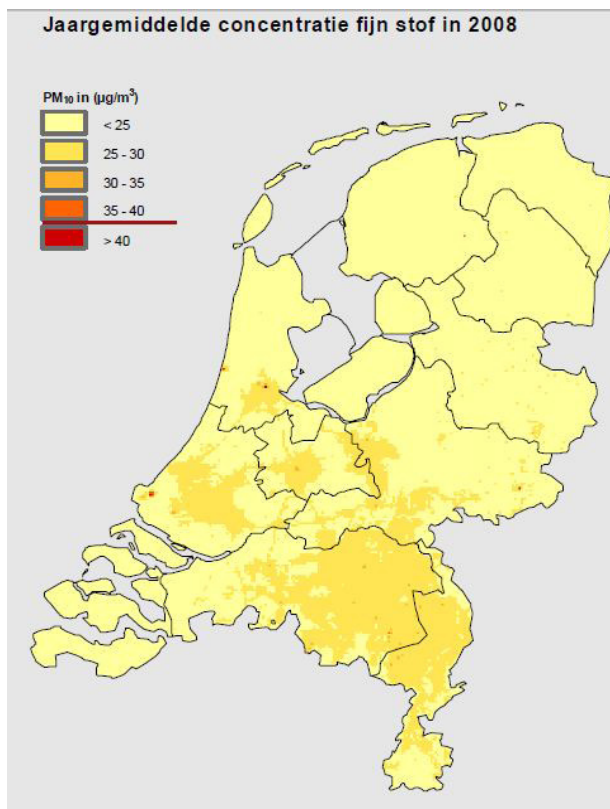
Figuur 3.1 Opbouw van de concentratie PM_{10} in de stad.

4.1.1 Zeezoutcorrectie

In Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit (RBL; Staatscourant, 2007b) is vastgelegd dat natuurlijke stoffen die bijdragen aan de PM_{10} -concentraties, buiten beschouwing worden gelaten bij het beoordelen van de luchtkwaliteit. In de RBL van 2007 is daarom voor de jaargemiddelde PM_{10} -concentratie een absolute zeezoutcorrectiewaarde per gemeente opgenomen. Voor de kortdurende blootstelling (< een etmaal) is tevens een correctie van minus 6 overschrijdingsdagen per jaar opgenomen. Beide correcties zijn van belang bij het toetsen van, onder andere, lokale projecten. Deze correctie geldt voor de Nederlandse normering.

4.1.2 $PM_{2,5}$ -metingen

Recent zijn in het kader van de nieuwe kaderrichtlijn Luchtkwaliteit op diverse locaties in het (LML) $PM_{2,5}$ -metingen opgestart. Daarnaast heeft het Planbureau voor de Leefomgeving een eerste slag gemaakt in het opzetten van de grootschalige concentratiekaart (GCN) voor $PM_{2,5}$, om een eerste indruk te geven van de concentratieniveaus in Nederland. Het gaat hier echter wel om indicatieve resultaten zonder officiële status en waar geen rechten aan ontleend kunnen worden.



Figuur 3.2 Ruimtelijke verdeling van de jaargemiddelde concentratie PM₁₀.
Bron: Grootschalige Concentratiekaart Nederland (Velders et al., 2009).

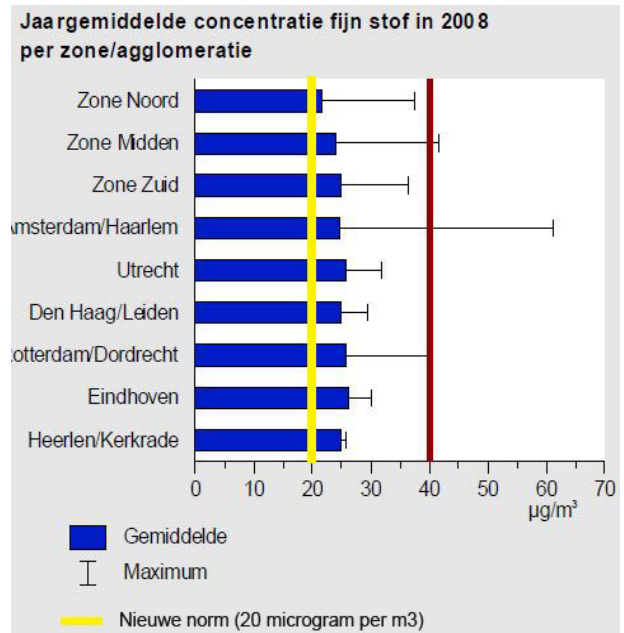
4.2 Fijn stof concentraties en overschrijdingen

De norm voor voortdurende blootstelling van de bevolking is 40 µg/m³ voor het jaargemiddelde. In 2008 bedroeg de jaargemiddelde PM₁₀-concentratie, gemiddeld over heel Nederland, 23 µg/m³.

De nieuwe norm is 20 µg/m³ geworden, dit is dus lager dan het gemiddelde van Nederland in 2008. De plekken waar de norm het meest wordt overschreden liggen in de Randstad en zuidoost Nederland

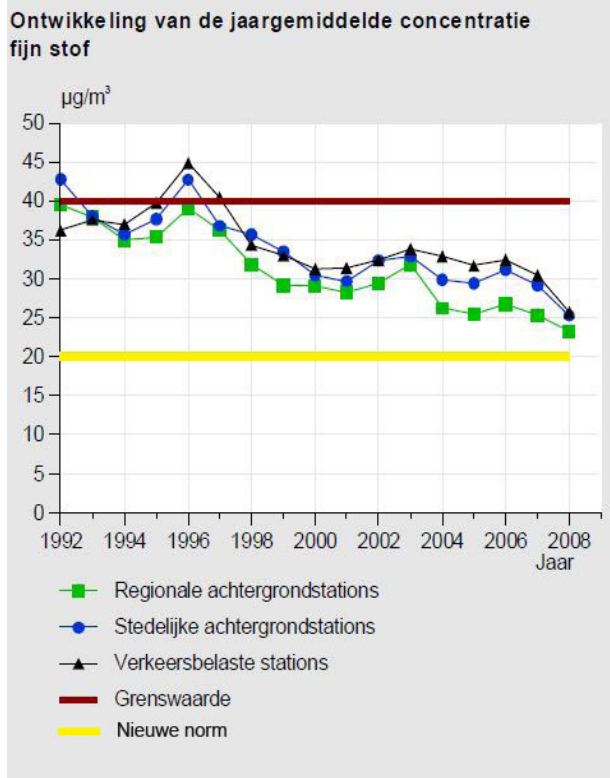
Het jaargemiddelde van de PM_{10} -concentraties in 2008 ligt voor alle zones en stedelijke gebieden (gemiddeld) onder de norm van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Met de nieuwe norm van $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voldoen Nederland met de cijfer uit 2008 niet aan de nieuwe norm.



Figuur 3.3 Verdeling van de jaargemiddelde fijn stofconcentratie in zones en stedelijke gebieden.

Bron: G CN-grid



Figuur 3.4 *Ontwikkeling van de jaargemiddelde concentraties.*
 Bron: *Gemeten daggemiddelden per type LML-station*
Dataselectie: 50% databeschikbaarheidscriteria per station per kalenderjaar

De PM₁₀-concentraties worden behalve door ontwikkelingen in emissies tevens door de meteorologische condities beïnvloed die van jaar tot jaar verschillen. Zo betrof 2003 een ongunstig meteorologisch jaar (warm en droog jaar) bron: KNMI, 2003 wat tot hogere fijn-stofconcentraties heeft geleid. De daling op stedelijke achtergrondstations en verkeersbelaste stations in 2008 hangt deels samen met wijzigingen in het LML die rond 2007 en 2008 hebben plaatsgevonden.

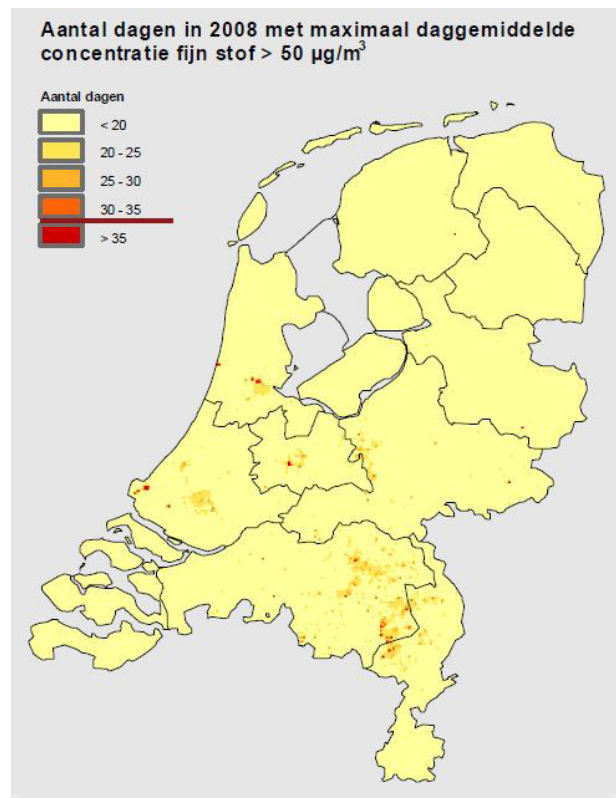
Bij de nieuwe normering voldoet het jaargemiddelde concentratie fijn stof niet aan de gestelde norm.

4.2.2 Daggemiddelde PM_{10} concentratie en overschrijding.

Ruimtelijke verdeling van het aantal dagen met overschrijding van de norm voor kortdurende blootstelling van de bevolking.

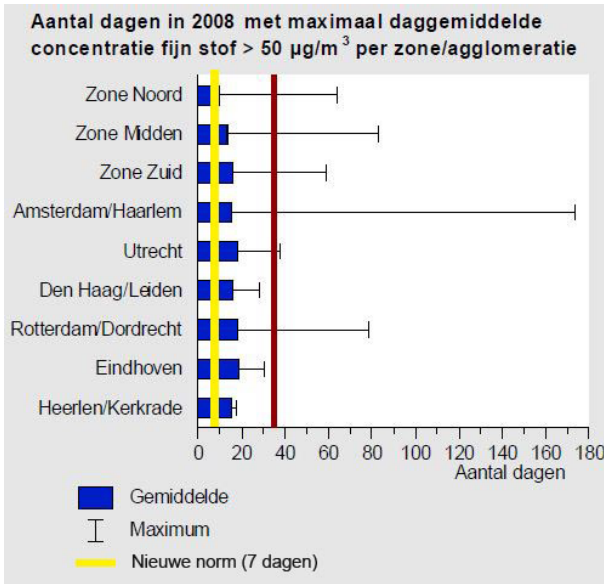
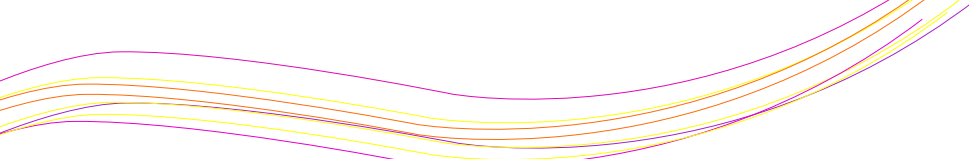
De grenswaarde voor de kortdurende blootstelling (< een etmaal) van de bevolking (maximale overschrijding van het dag gemiddelde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wordt vanuit het noorden naar het zuiden in toenemende mate overschreden. Deze overschrijdingen worden veroorzaakt door de toenemende invloed van bronnen in zowel Nederland als in het omringende buitenland. De grenswaarde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor het daggemiddelde, is in 2008 slechts op een beperkt aantal locaties meer dan 35 dagen overschreden, maar liggen daarmee wel nog steeds boven de norm waaraan vanaf 2005 moet worden voldaan.

Tegenwoordig is de norm aangescherpt naar maximale daggemiddelde concentratie fijn stof van $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit heeft weinig invloed op de omvang van de locaties waar norm overschrijding plaats vindt. De enkele rode plekken (> 35 dagen) zouden wat groter kunnen worden.



Figuur 3.5 Ruimtelijke verdeling van het aantal dagen met overschrijding van de norm voor kortdurende blootstelling van de bevolking.

Bron: Grootsschalige Concentratiekaart Nederland Omgerekend met CAR-II jaarconcentratie/dagnormoverschrijding-relatie



Figuur 3.6 Aantal dagen met overschrijdingen van de maximale daggemiddelde PM₁₀-concentratie in zones en stedelijke gebieden.
Bron: Naar dagnorm omgerekend GCN-grid

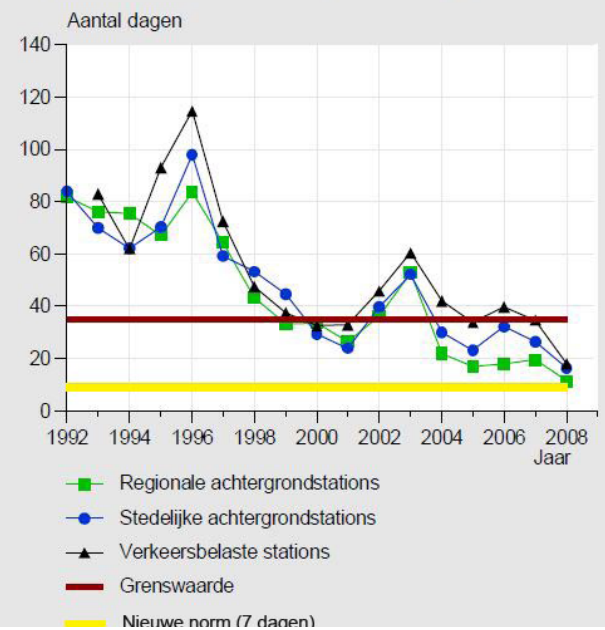
Het aantal dagen met kortdurende blootstelling van de overschrijdingen van de maximale daggemiddelde PM₁₀-concentratie in de stedelijke gebieden gemiddeld onder de norm van 35 dagen.

In de nieuwe norm mag er een overschrijding zijn van maximaal zeven dagen. Dit betekent dat er in elke stedelijke gebieden een gemiddelde overschrijding plaats gaat vinden.

Het aantal dagen met een normoverschrijding van de grenswaarde van $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vertoont een grillig verloop waarbij een langetermijndaling zichtbaar is. Sterker nog dan het verloop van de jaargemiddelde fijn-stofconcentraties wordt het verloop in de PM_{10} -overschrijdingsdagen beïnvloed door meteorologische condities van jaar tot jaar.

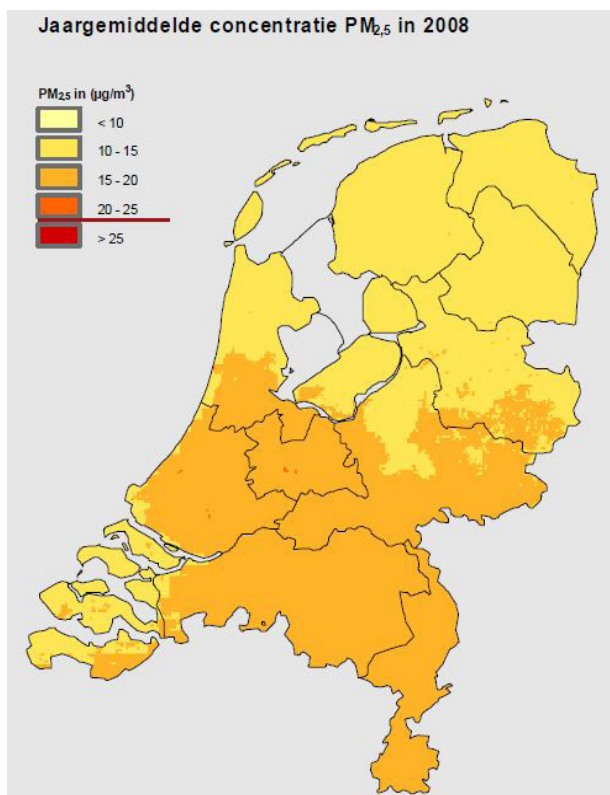
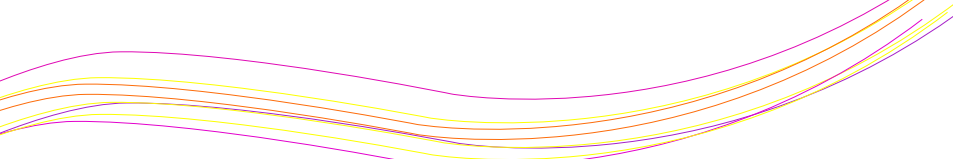
De grens in 2008 ligt bij de rode horizontale lijn 35 dagen. Anno 2010 is het aantal dagen verlaagt naar zeven. De daggemiddelde concentratie liggen dan als nog onder de nieuwe norm.

Ontwikkeling van het aantal dagen met maximaal daggemiddelde concentratie fijn stof $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Figuur 3.7 Ontwikkeling van het aantal dagen met overschrijding van de norm voor kortdurende blootstelling van de bevolking.

Bron: Dataselectie: 50% databeschikbaarheidscriteria per station per Kalenderjaar
Gemeten daggemiddelden per type LML-station



Figuur 3.8 Ruimtelijke verdeling van de jaargemiddelde concentratie PM_{2,5}.
Bron: Indicatief onderdeel van de Grootschalige Concentratiekaart Nederland (Velders et al., 2009) zonder officiële status.

4.2.3 Gemiddelde Jaar PM_{2,5}-concentratie en overschrijding

In dit figuur is een indicatieve kaart van de PM_{2,5}-concentraties in Nederland weergegeven om een eerste indruk te geven van de concentratieniveaus en verdeling in Nederland. Deze kaart heeft geen officiële status en er kunnen geen rechten aan ontleend worden. Vanaf 2015 is er voor PM_{2,5} een grenswaarde van 25 µg/m³. Vanaf 2010 geldt dit niveau als streefwaarde.

De metingen laten zien dat in de huidige inschatting er nog maar een beperkt aantal locaties zijn met mogelijke overschrijdingen van de PM₁₀-grenswaarde. Deze locaties liggen in de buurt van de havens van Amsterdam en Rotterdam, gekoppeld aan de daar aanwezige op- en overslagactiviteiten van droge bulkgoederen, in landbouwgebieden dicht in de buurt van stallen met intensieve veehouderij en bij enkele drukke snelwegen en straten in grote steden.

35

Conclusies:

- Er is te weinig informatie beschikbaar over cijfers van PM_{2,5}.
- Kortdurende overschrijding van daggemiddelde is meer dan langdurige overschrijding van jaargemiddelde.
- Metingen van fijn stof is weer afhankelijk.
- Nederland voldoet met de metingen uit 2008 aan de nieuwe normen uit 2010.





5. Methoden afvangen van fijn stof

Om de luchtkwaliteit te verbeteren is het noodzakelijk om deze deeltjes te onderscheppen en vast te houden. Dit noemen we interceptie. Interceptie vindt plaats op het moment dat lucht met fijn stof gebroken wordt als het bijvoorbeeld ergens doorheen waait.

5.1 Werking van interceptie

Interceptie bestaat uit drie processen:

- Bij **impactie** (afvangen) wordt onder invloed van de wind het fijn stof afgevangen doordat dit door zijn massastraagheid botst met een obstakel. Fijn stof wordt hierbij door de wind als het ware in de afvanging geblazen. Dit is het meest effectieve proces. Afhankelijk van de vorm van het obstakel en de soorten of materialen waaruit deze bestaat, wordt meer of minder fijn stof afgevangen.
- **Sedimentatie** (neerslaan) kan ook plaatsvinden waarbij fijn stof onder invloed van de zwaartekracht neerslaat op een obstakel. Hierbij is de mate van bedekking van het gebied of object van belang.
- Naast afvangen en neerslaan speelt **diffusie** (verdunning) ook een rol. Obstakels beïnvloeden het stromingspatroon van de lucht en daarmee de verspreiding van luchtvervuiling. De lucht wordt door een obstakel gedwongen om een andere weg te volgen. Vaak is dat over het obstakel heen,

waardoor de vervuilde lucht in aanraking komt met schonere lucht uit een hogere laag. Deze luchtstromen vermengen zich waardoor de concentratie van de meest vervuilde luchtstroom verlaagd wordt. Indien de vermenging niet optimaal is, kan ook een ophoping achter het element plaatsvinden, doordat er een lijwervel ontstaat.

5.2 Structuurafhankelijkheid in het klein (bron: Pye, 1987 & Beckett, 2000)

Fijn stof kun je uit de lucht filteren door het af te vangen, te laten neerslaan en het te laten verdunnen. Hiervoor heb je bepaalde structuren nodig die het fijn stof tegenhouden als deze met de wind mee waaien. De oppervlakte waar het fijn stof tegen aan waait dient onregelmatig van opbouw te zijn. Dit zorgt voor turbulentie in de lucht, waardoor er meer contactmomenten kunnen ontstaan op het object. Hierdoor worden de stofdeeltjes geladen en zorgt elektrostatische lading voor een groter interceptievermogen en blijven ze achter op het ruwe oppervlakte. Doordat fijn stof uit fijne deeltjes bestaat, kun je ze ook afvangen met een plakkerig oppervlakte. De wind met stof deeltjes waait door het plakkerige oppervlakte, deeltjes blijven kleven en de 'schone' lucht gaat verder.

5.3 Structuurafhankelijkheid in het groot

Naast dat individuele vormen een bijdrage kunnen leveren aan het afvangen van fijnstof, heeft de verschijningsvorm ook invloed op de luchtkwaliteit (luchtstromingaspecten).

Dit speelt met name bij lijnvormige elementen (houtwallen, houtsingels, geluidswal, muren, enz.). Een lijnvormig element heeft verschillende verschijningsvormen en verschilt daardoor ook in structuur. In figuur 5.1 zijn de lijnvormige elementen in drie categorieën ingedeeld.

Bovenaan in figuur 5.1 is een gesloten lijnvormig element weergegeven. Hierbij kan gedacht worden aan een geluidsscherm of een dichte haag. Het gesloten lijnvormige element werkt als een windscherm. De luchtstroom wordt door het element tegengehouden en gaat er overheen. Het contact met het element is minimaal. Alleen de buitenkant van het element oefent een afvangende functie uit, waardoor de afvangst minimaal is.

Bij het poreuze lijnvormige element, bijvoorbeeld een half open haag (figuur 5.1, midden) gaat een deel van de luchtstroom door het element heen. Verontreiniging in deze luchtstroom wordt veel beter afgevangen dan bij een gesloten lijnvormig element het geval is, doordat er meer contact met het element gemaakt wordt. De afvangst wordt versterkt door de turbulentie in het lijnvormige element. Dit wordt veroorzaakt

door de aanwezigheid van onregelmatigheden zoals takken en twijgen of poreuze elementen. Hoe onsamenhangender de structuur, hoe effectiever de afvangst. Om voldoende afvangst te genereren is een zekere mate van doorlaatbaarheid (porositeit) nodig, zodat de luchtstroom het lijnvormige element in kan.

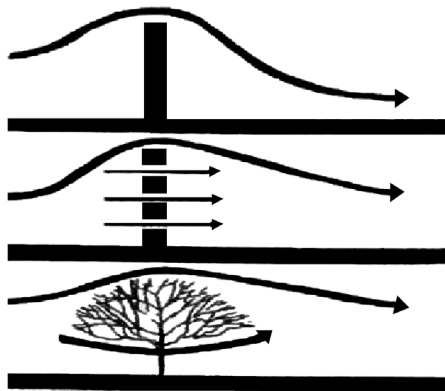
Een onvolledig lijnvormig element (figuur 5.1, onder) splitst de luchtstroom in twee aparte stromen. Een deel stroomt over het lijnvormige element heen en een andere deel stroomt onder het lijnvormige element door. Het contact is meer dan bij een gesloten lijnvormig element, waardoor meer mogelijkheden zijn om stof af te vangen, maar minder dan bij een poreus lijnvormig element. De afvangst blijft relatief klein.

5.4 Methodes voor het afvangen van fijn stof

5.4.1 Afvangen door middel van groene elementen
Vegetatie kan ook fijn stof onderscheppen en vasthouden (interceptie). Dit vindt plaats op alle bovengrondse delen van de vegetatie. De grootste hoeveelheid fijn stof 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 kruidachtige soorten. Interceptie vindt plaats op het moment dat het fijn stof contact maakt met de vegetatie. De houtige delen van vegetaties dragen ook bij aan de interceptie, hierbij is de takstructuur van belang (Beckett, 1998).

5.4.2 Afvangen met behulp van technische constructies

Technische elementen kunnen ook bijdragen aan het afvangen van fijn stof, bijvoorbeeld een geluidswal. Door een poreus materiaal te gebruiken kan een deel van de luchtstroom door de geluidswal stromen. Het fijn stof dat mee komt met deze luchtstroom wordt voor een deel afgevangen. Ook kan er door middel van nieuwe technologie natuurlijke processen worden nagebootst. Door het opwekken van elektromagnetische velden kunnen (schadelijke) stofdeeltjes worden aangetrokken en zo worden afgevangen.



*Figuur 5.1 boven: gesloten lijnvormige beplanting (bijv. een geluidscherm of een dichte haag)
midden: poreus lijnvormig element (bijv. half open haag, geluidswal van schanskorven)
onder: onvolledig lijnvormig element (bijv. bomenrij zonder ondergroei)*

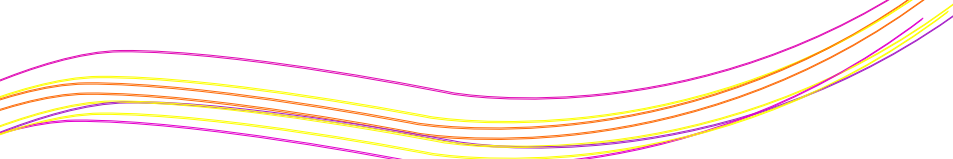
5.4.3 Afvangen met het nemen van preventieve maatregelen

Om fijn stof te weren uit de binnenstad kan men ook denken aan preventieve maatregelen, bijvoorbeeld verkeersremmende maatregelen. Door auto's minder hard te laten rijden zal het brandstofverbruik ook afnemen waardoor automatisch de uitstoot van fijn stof ook terug loopt. Aanpassingen aan voertuigen vallen onder preventieve maatregelen, bijvoorbeeld het monteren van roetfilters. Deze zorgen ook voor een vermindering van de uitstoot van fijn stof.

Conclusies

- Er zijn verschillende manieren om fijn stof te filteren uit de lucht: impactie, sedimentatie en diffusie.
- Landschappelijke structuren helpen op verschillende manieren aan luchtzuivering. Een poreus lijnvormig element werkt beter dan een onvolledig lijnvormig element en die weer beter dan een gesloten lijnvormig element.
- Groen draagt mee aan het filteren van fijn stof door middel van interceptie.
- Door technische voorzieningen kunnen we natuurlijke processen nabootsen, elektromagnetische velden die fijn stof aantrekken.
- Preventieve maatregelen kunnen ook bijdragen aan het verminderen van de uitstoot van fijn stof, zoals verkeersremmende maatregelen en roetfilters.





6. Fijn stof afvangen met groen

(Bron: Hiemstra, J.A. et al. 2008, Schoenmaker E. et al. 2008 & Ottel  M. 2010.)

Bomen hebben veel blad, hebben een luchtige structuur en zijn wind-brekend. Hierdoor zijn bomen het meest efficiënt om fijn stof uit de lucht te verwijderen en luchtconcentraties te beïnvloeden.

Planten en bomen kunnen ook een negatief effect hebben. Dit doordat soms de bomen te dicht bij elkaar staan, zodat fijn stof zich niet kan mengen met de schonere lucht.

6.1 Werking van groen

Het wegvangen van fijn stof is in feite een mechanisch proces. Daarbij is het belangrijk dat de vervuilde lucht goed door de kroon kan stromen zodat er turbulenties ontstaan en er interceptie kan plaats vinden. Een onregelmatige opbouw van de vegetatie zorgt voor meer turbulentie in de lucht, zodat er meer **impactie** (afvangen) plaats vindt. Hierbij zijn vegetatie-eigenschappen zoals de ruwheid van het oppervlak essentieel. Fijn stof hecht zich het best aan een bladoppervlak dat ruw, harig of plakkerig is. Sommige planten en bomen hebben een elektrostatische lading, wat ook voor een groter interceptievermogen kan zorgen. De houtige delen van vegetaties dragen ook bij aan de impactie, hierbij is de takstructuur van belang.

Sedimentatie (neerslaan) vindt plaats wanneer fijn stof onder invloed van de zwaartekracht neerslaat op het blad. Hierbij is de mate van oppervlakt met groen bedekking van belang. Het afgevangen stof op

de bladeren of naalden wordt verwijderd als de boom wisselt van blad. Het blad dat in contact komt met de grond kan het fijn stof afgeven aan de bodem.

Naast impactie en sedimentatie is er ook **diffusie** (verduunning). Bomen als solitair of als bomenrij beïnvloeden luchtstromen en daarmee zorgen ze er voor dat fijn stof zich gaat mengen met de schonere luchtstromen.

Aangevoeld is dat de effectiviteit van groene elementen om verontreiniging uit de lucht te verwijderen zowel van biologische als van structurele aspecten afhankelijk is. Het is duidelijk dat een strikt onderscheid tussen beide aspecten niet altijd kan worden gemaakt. In de navolgende paragrafen 6.3 en 6.4 worden het belang van de biologische en van de structurele aspecten nader toegelicht.

6.2 Onderzoeken

Er is veel literatuur aanwezig dat aantoont dat planten en bomen een invloed hebben op de luchtkwaliteit. Deze literatuur is in twee groepen te delen.

Er is een groep die zich vooral op de potentie van groen richt, zonder dit op een goede manier te onderbouwen.

De andere groep bestaat uit publicaties met daarin de resultaten van eigen fysische modellering of meting. Deze publicaties zijn ook negatiever over het afvangen van fijn stof door planten en bomen dan de andere groep. Er zijn verschillende manieren

om achter het fijn stof gehalte te komen: fysische modellering en metingen. Het verschil hier tussen is dat bij de fysische modellering verschillende condities precies nagebootst kunnen worden, zodat men de maximale interceptie kan ontdekken. Dit wordt in de praktijk tijdens metingen, nooit bereikt omdat de omstandigheden (wind, regen, temperatuur etc.) steeds weer veranderen.

Er zijn niet veel harde gegevens bekend die laten zien wat de precieze percentages zijn voor het interceptie van fijn stof.

6.3 Biologische aspecten

De effectiviteit om luchtverontreiniging af te vangen verschilt tussen plantensoorten. In het algemeen zijn naalden van coniferen (zowel dode als levende) vanwege de spitse vorm effectiever dan bladeren van loofbomen. De effectiviteit verschilt echter ook tussen verschillende coniferen. Zo zijn soorten van het geslacht *Pinus* effectiever dan *Cypressen*. Dit komt doordat naaldbomen voor meer botsing zorgen, ook wordt gezegd dat de puntjes van de naalden elektrisch geladen zijn en daardoor beter fijnstof opvangen en vasthouden. Voordeel van coniferen is ook dat de meeste groenblijvend zijn en dus ook in de wintermaanden fijn stof uit de lucht halen. Voor het opnemen van stikstofoxiden en ozon is de gaswisseling van de bladeren bepalend. Daarbij zijn loofbomen effectiever dan naaldbomen, en loofbomen met grote gladde bladeren effectiever dan bomen met behaard

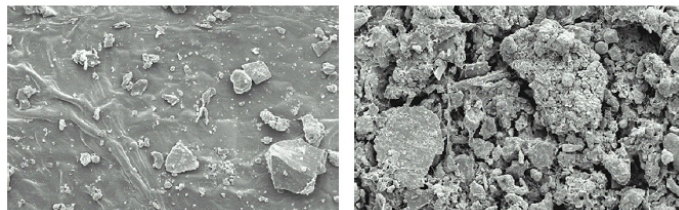
of plakkerig blad. Ook hierbij geldt dat hoe groter het bladoppervlak is, hoe groter de opname. Een boom met stamdiameter van 20 cm bijvoorbeeld heeft circa tien keer zoveel effect als een jonge boom van 6-7 cm stamdiameter.

Bij de loofbomen zijn soorten met behaard of plakkerig blad en soorten met veel kleine (deel)blaadjes effectiever dan soorten met groot glad blad. De groenblijvende soorten hebben op jaarbasis ook een groter effect dan bladverliezende soorten.

Fijn stof kan ook door mos worden gereduceerd.

Dit kan omdat mos geen wortels heeft, zodat mos met zijn hele oppervlakte fijn stof kan opnemen. Een nadeel is dat mos alleen fijn stof opneemt als het nat is. Bij grote droogte, is de reductie van fijnstof lastig, omdat het mos dan niet werkt.

In tabel 6.1 wordt de schatting van de effectiviteit van de belangrijkste soorten om de concentratie van fijn stof in de lucht te verlagen.



Figuur 6.1 Fijn stof op het blad van een wingerd in juni (links) en in oktober (rechts)
Bron Thonnessen, 2005

Heesters

	afvangen van fijn stof
Amelanchier lamarckii	*
Berberis x frikartii ')	**
Chaenomeles	*
Corylus colurna	**
Euonymus (bladverliezend)	*
Euonymus (bladhoudend)	**
Hedera	**
Ilex x meserveae	**
Lonicera (bladverliezend)	*
Lonicera (bladhoudend)	**
Mahonia	**
Potentilla fruticosa	**
Rosa	**
Spiraea	*

Klimplanten

Clematis	*
Fallopia	*
Hedera	***
Lonicera	*
Parthenocissus	*
Pyracantha	**
Rosa	**
Wisteria	*

Naaldbomen

	afvangen van fijn stof
Ginkgo biloba ')	*
Metasequoia glyptostroboides	***
Pinus nigra	***
Pinus sylvestris ')	***
Taxus	***

Hagen

Carpinus betulus	**
Fagus	**
Ligustrum	**

Loofbomen

Acer platanoides ')	*
Acer pseudoplatanus ')	*
Aesculus	**
Ailanthus altissima	*
Alnus cordata	*
Alnus glutinosa ')	*
Alnus x spaethii	**
Betula ermanii ')	**
Betula nigra	**
Betula pendula	**
Betula utilis ')	**
Carpinus betulus ')	**
Crataegus x persimilis ')	*
Fagus sylvatica ')	**
Fraxinus angustifolia ')	*
Fraxinus excelsior ')	*
Fraxinus ornus ')	*
Fraxinus pennsylvanica	**

¹ Genoemde eigenschappen gelden ook voor de cultivars van de genoemde soort

Loofbomen

	afvangen van fijn stof
Gleditsia triacanthos ')	**
Koelreuteria paniculata	*
Liquidambar styraciflua	**
Liriodendron tulipifera	*
Magnolia kobus	*
Malus ')	**
Parrotia persica	**
Platanus x hispanica ')	**
Populus ')	**
Prunus ')	**
Pyrus calleryana ')	*
Quercus palustris	**
Quercus robur*	*
Salix alba ')	**
Sophora japonica	**
Sorbus	**
Tilia cordata ')	**
Tilia europaea ')	*
Ulmus ')	**
Weining afvangning	*
Middelmatige afvangning	**
Veel afvangning	***

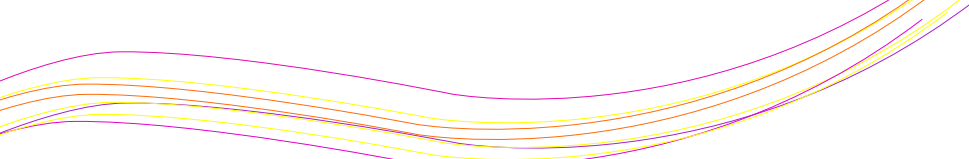
Tabel 6.1 Lijst met plantsoorten die fijn stof afvangen

Bron Hiemstra, J.A. et al, 2008

') Genoemde eigenschappen gelden ook voor de cultivars van de gemoemde soort

6.4 Structurele aspecten

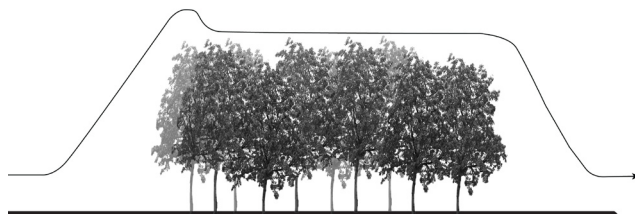
Belangrijk bij fijn stofreductie is de prestatie van de beplantingsstructuren. Het effect van een enkele plant wordt meer dan evenredig versterkt als in plaats daarvan een lijnvormige vegetatiestructuur neergezet wordt.



Figuur 6.1 Fijn stof blijft onder de boom kroon hangen ('Canyon effect')

6.4.1 Bomenrij / Windsingel

Bomenrijen en windsingels die haaks op de heersende windrichting staan zorgen voor het grootste effect. Zulke groenstructuren werken dubbelop: als filter en als barrière voor de vervuilde lucht. Enerzijds zorgen ze voor interceptie en sedimentatie, anderzijds zorgen ze voor diffusie, omdat ze een deel van de vervuilde lucht naar de hogere en schonere luchtlagen stuurt. De aanwezigheid van bomen leidt altijd tot interceptie maar dat betekent niet altijd dat er een lagere concentratie fijn stof ontstaat. In een straat kan het 'Canyon effect' voorkomen. Dit omdat het fijn stof niet door de wind wordt weggevoerd en ondanks de interceptie van het fijn stof is het concentratieniveau lokaal te hoog.

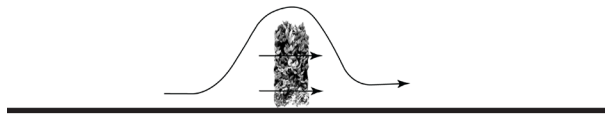


Figuur 6.2 Werking van bos ten opzichte van luchtstroom

6.4.2 Bos

Een bos werkt als een barrière, bij de rand van het bos wordt de luchtstroom als het ware omhoog gestuwd. De luchtstroom gaat niet door het bos heen maar gaat er overheen. Een bosrand werkt daarom precies zo als een dichte windsingel, de luchtstroom wordt naar hogere luchtlagen gestuurd en wordt op deze manier niet opgevangen.

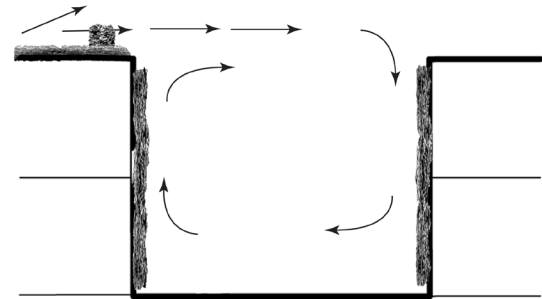
Maar bossen nemen wel veel verontreiniging uit de lucht op, dit omdat bos een groot areaal in Nederland heeft. Bossen zijn daarom vooral geschikt om de landelijke achtergronden te verlagen. Naar schatting verwijderen alle bossen in Nederland gezamenlijk 7200 ton fijn stof per jaar. Dit is 17% van de totale hoeveelheid fijn stof die jaarlijks in ons land wordt uitgestoten.



Figuur 6.3 Werking van een haag.

6.4.3 Haag of heesterbeplanting

Een haag of heesterbeplanting kan langs de wegwand er voor zorgen dat een deel van de fijn stof van auto's wordt opgenomen. Hoe hoger de haag of heesterbeplanting hoe meer fijn stof kan worden afgevangen. Als men de haag of heesterbeplanting op een verdere afstand van de bron neerzet betekent dit, dat er een betere menging van de lucht plaats vindt. Dus is de concentratie fijn stof lager. Een nadeel hier van is dat er minder fijn stof wordt afvangen. Het fijn stof wordt vermengd met de schonere lucht, zodat de concentratie fijn stof omlaag gaat.

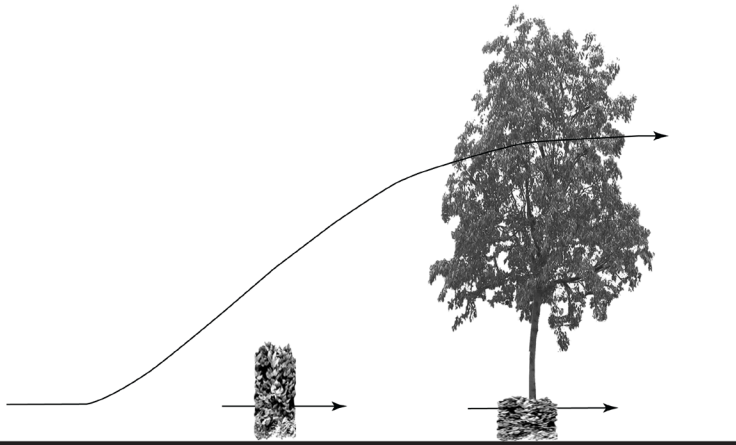
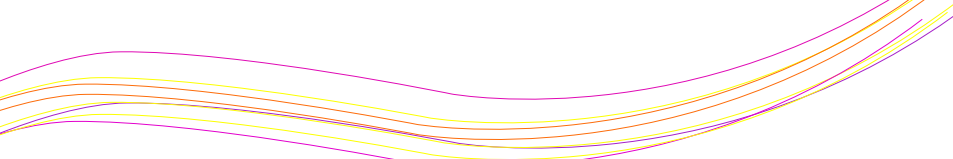


Figuur 6.4 Werking van dak- en gevelbegroeiing

6.4.4 Dak- en gevelbegroeiingen

Er zijn verschillende groendaken: “intensief groendak” en “extensief groendak”. Een extensief groendak is een dak met lage beplanting dat met name bestaat uit: vetplantjes, kruiden, mossen en/of grassen. Deze planten hebben weinig hoogteverschillen toch zorgt het wel voor interceptie. Een “intensief groendak” is een tuin met hogere beplanting en in meerdere lagen. Door de hoogte zorgen ze voor interceptie, sedimentatie en diffusie.

Door gevelbegroeiing in smalle straten toe te passen hoeft men geen bomen te gebruiken. Het voordeel van toepassing van gevelbegroeiing is dat er een goede doorstroom van schone en vervuilde lucht plaats vindt, zodat er geen ‘Canyon effect’ kan optreden.



Figuur 6.5 Ideale groenstructuur combinatie van meerdere hagen en bomenen.

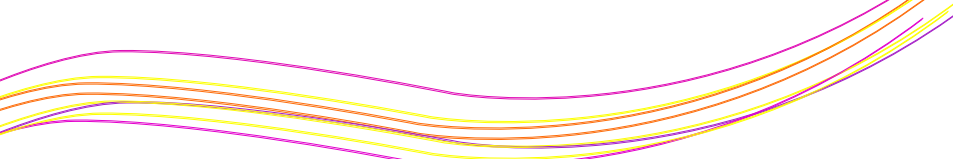
6.4.5. De ideale groenstructuur

De combinatie van een haag of heesterbeplanting en een bomenrij is een sterke combinatie, omdat er één groot groen scherm ontstaat. Als deze combinaties (haag of heesterbeplanting en bomen) rond de 30 meter wordt herhaald, wordt de gefilterde lucht meerdere keren gefilterd.

Conclusie

- Dichte hindernissen (beplanting en schermen) leiden tot sterke daling van de windsnelheid aan de windluwe zijde en vermindert dus voor mindere afvang van fijn stof.
- Gematigd open hindernissen (beplanting) leidt tot een gematigd en gelijkmatig windklimaat aan de windluwe zijde, en meer afvang van fijn stof.
- Indien groen in en om de stad geoptimaliseerd wordt ten behoeve van fijn- stofreductie, kunnen deze positieve effecten worden benut ter verbetering van de locaties in de stad die in verhoogde mate met fijn stof worden belast.
- Onderzoek toont aan dat landschapselementen zoals windsingels en hagen de luchtkwaliteit rond wegen aantoonbaar kunnen verbeteren. Dit geldt zowel voor NO_x als voor fijn stof.
- Coniferen en naaldbomen werken het beste als fijn stof afvangers.
- De ideale groenstructuur is een combinatie van hagen of heesterbeplanting en bomenrij, met een herhaling om de 30 meter.
- In smalle straten is gevelbegroeiing effectiever dan bomen ('Canyon effect').
- Mosdaken zijn alleen onder natte omstandigheden effectief.





7. Afvangen van fijn stof door technische en preventieve ingrepen

Om de luchtkwaliteit te verbeteren in en rond de steden zijn er meerdere oplossingen mogelijk. Er kan gekozen worden uit oplossingen met het toepassen van groen en er kunnen technische constructies gebruikt worden bij het afvangen van fijn stof. In dit hoofdstuk zullen we ingaan op de technische en preventieve maatregelen. Bij technische constructies kan er gedacht worden aan geluidswallen, overkappingen of elektromagnetische velden. De technische constructies bootsen een natuurlijk proces na dat helpt bij het afvangen van fijn stof. Verder zijn er ook oplossingen te bedenken waarbij je het probleem bij de bron aanpakt. Dit zijn de preventieve maatregelen. Hier kun je denken aan maatregelen waar bestaande verkeerssituaties worden aangepast.

7.1 Preventieve maatregelen

Dit zijn ingrepen en maatregelen die direct betrekking hebben op de bron die fijn stof veroorzaakt. Deze kunnen gelden voor industrie en verkeer. Bedrijven en overheden houden zich ook bezig met maatregelen en ontwikkelingen die de fijn stof uitstoot beperken. Deze groepen zijn ook druk bezig met het aanpakken van het probleem. Overheden geven subsidies voor ontwikkeling en aanschaf van producten die aanschaf van fijn stof remmende maatregelen stimuleren. En de auto- en bandenindustrie ontwikkelen technische ingrepen om het fijn stof terug te dringen of af te vangen.

7.1.1 Slijtage van banden, remmen en asfalt. (bron: Milieu en Natuur Planbureau (MNP), 2005)
Een kwart van al het fijn stof wordt veroorzaakt door slijtage van autobanden, remblokken en asfalt. De resten zijn niet weg te filteren. Banden en remblokken dragen in Nederland zorg voor 1,6 miljoen kilo fijn stof. Asfalt is goed voor 1,4 miljoen kilo. Door slijtage verliest een autoband een à twee kilo rubber tijdens de gemiddelde levensduur. Vrachtwagenbanden verliezen zelfs zo'n negen à twaalf kilo. Dit betekent dat negen procent van het bandenslijpsel als fijn stof in de lucht verdwijnt.

Om deze vervuiling tegen te gaan in de binnensteden dien je al het verkeer daar te weigeren. Dit is een niet of nauwelijks toe te passen maatregel. Toch kan je wel andere maatregelen treffen. Zo zouden er minder vrachtauto's toegang kunnen krijgen tot de binnenstad. Bandenfabrikanten en de Europese Unie zijn ook bezig met de problematiek van fijn stof. De Europese Unie doet dit door middel van het verscherpen van de regelgeving en autobandenfabrikanten ontwikkelen hun technieken. Voor het maken van autobanden worden aromatische oliën gebruikt. Vanaf 2009 is het verboden voor autobandenfabrikanten om deze oliën te verwerken in de banden. Een niet slijtende autoband bestaat niet. Het is wel zo dat banden steeds slijtvaster worden omdat de industrie en de klanten erom vragen.

7.1.2 De invloed van snelheid op luchtverontreinigende emissies

De relatie tussen snelheid en emissies is het laatste decennium complexer geworden. In het verleden hingen de luchtverontreinigende emissies van voertuigen primair samen met het brandstofverbruik. Sinds het begin van de jaren negentig is er echter Europese regelgeving die de emissies van voertuigen in fasen terugbrengt, de zogenaamde Euronormen. Het is dus niet zozeer alleen de rijsnelheid alsook de mate van dynamiek (versnellen en afremmen) die van invloed is op luchtverontreinigende emissies.

De snelheden van motorische voertuigen zou omlaag kunnen worden gebracht. Doordat er minder hard wordt gereden zal de uitstoot van fijn stof minder zijn. Om de snelheden te verminderen kunnen er aanpassingen worden getroffen. Hierbij kan gedacht worden aan drempels en druppels in de weg. Tevens dragen deze ingrepen bij aan de veiligheid. Als je de snelheid wil vertragen heb je de rem nodig. Echter bij het gebruik van de remmen, slijten deze en werken de maatregelen misschien averechts.

7.1.3 Roetfilters en katalysatoren

Dieselauto's zijn verantwoordelijk voor 8 miljoen kilo fijn stof. Om de uitstoot te verminderen kunnen ook technisch preventieve maatregelen getroffen worden. Een roetfilter heeft een filterelement van poreus keramisch materiaal. De kanalen van het gesloten roetfilter zijn aan één zijde afgesloten, zo zijn de



Figuur 6.1 De onderhoudsvrije roetfilter van Opel.
bron: Opel

ingangskanalen aan het einde en de uitgangskanalen aan het begin afgesloten. Zo zullen de uitlaatgassen door de zijwanden moeten dringen, wanneer ze dit doen blijven de kleine roetdeeltjes in de poriën plakken en stroomt de rest van het uitlaatgas door. Het opgevangen roet moet verbrand worden, anders raakt het filter verstopt. Roet verbrandt als het voertuig met hogere snelheid rijdt (dan wordt de motor warm), vanaf 70 kilometer per uur.

Deze techniek wordt door de overheid gestimuleerd in de vorm van subsidies. Tot 1 januari 2009 konden automobilisten gebruik maken van de subsidieregeling Retrofit, die bedoeld is om de aanschaf van roetfilters voor bestaande personenauto's en lichte bestelwagens met een dieselmotor te bevorderen. Voor filters in

nieuwe auto's hebben fabrikanten verschillende manieren ontwikkeld om het filter ook bij lage snelheden schoon te branden. Die filters houden 99 procent van de roetdeeltjes tegen.

Een vraag die men bij een roetfilter stelt is, waar gaat het verbrande fijn stof heen? Fijn stof komt in de filter terecht en de filter wordt schoon gebrand, dus wat er overblijft zijn nog kleinere fijn stof deeltjes, die weer verder kunnen doordringen in het menselijk lichaam. Dus een roetfilter helpt om het PM_{10} uit de lucht te vangen, maar wat er uit de uitlaat komt is kleiner en dus schadelijker voor de gezondheid.

7.2 Geluidswal

Er zijn bedrijven actief in de ontwikkeling van geluidswallen met een dubbele functie. De eerste functie is geluid reduceren. De tweede functie houdt zich bezig met filteren van fijn stof. De schermen behouden hun reinigende werking door regelmatige spoeling met (regen)water. Deze dubbele werking draagt bij aan extra milieuruimte waardoor ruimtelijke ontwikkelingen eerder uitvoerbaar kunnen worden. Hieronder bespreken we de precieze werking van een scherm dat ontwikkeld wordt door TAUW en Hollandscherm. De andere schermen werken in grote lijnen volgens dezelfde principes.

De korfconstructie met een steenachtige reststof biedt enerzijds de normale geluidsreducerende



Figuur 6.2 Fijn stof filterende geluidswal
bron. Hollandscherm

werking. Anderzijds hebben laboratoriumproeven uitgewezen dat de reststof ook NO en NO_x volledig omzet in nitraat en nitriet. Tevens vindt goede afvang plaats van fijn stofdeeltjes door filtratie en adsorptie. De stoffen binden aan het schermmateriaal. Een regenbui of sproeibeurt spoelt het scherm vervolgens af. Zo wordt de zuiverende werking van het scherm weer volledig hersteld. Het belaste spoelwater kan opgevangen en waar nodig ter plaatse gezuiverd worden. Een bijkomend voordeel is dat het scherm tevens CO_x vastlegt zodat het ook een bijdrage levert aan het terugdringen van de broeikasgasemissies.

De korfconstructie met de werkzame stof kan op diverse manieren worden toegepast in infrastructurele werken. Naast de geluidsschermen en -wallen langs gemeentelijke, provinciale en rijkswegen is het concept

ook toepasbaar in voorzetschermen en tunnels. Dit laatste is mogelijk omdat het omzettingsproces niet afhankelijk is van licht, in tegenstelling tot toepassingen waarin titaandioxide wordt gebruikt.

Systeem eigenschappen:

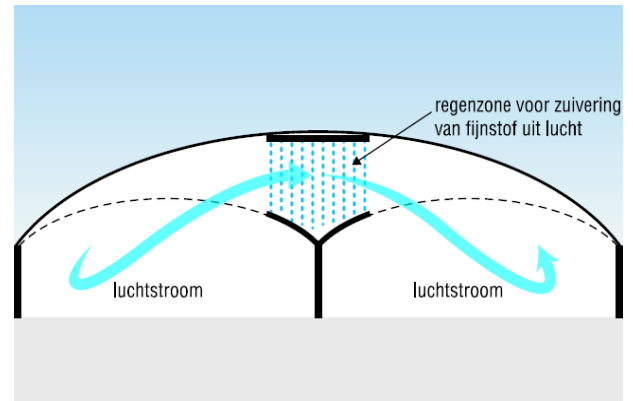
Het fijn stof wordt gebonden aan het steenmateriaal dat ook NO_x absorbeert. Verder wordt CO_x ook gebonden. Het materiaal dat gebruikt wordt als vulling is een restmateriaal en daardoor een zeer milieuvriendelijk systeem.

52

7.3 Glazen dak

Movares doet momenteel testen met halfronde glazen tunnelconstructies over verkeerswegen heen. Deze constructies hebben speciaal gevormde tunnelmonden om te voorkomen dat de vervuilende stoffen in hoge concentraties naar buiten komen. Het overhuiden is een praktische maatregel om lokaal de problematiek van een slechte luchtkwaliteit op te lossen. Zonder aanvullende voorzieningen wordt het probleem echter alleen maar verschoven.

Om te voorkomen dat de uitgestoten stoffen dan in relatief hoge concentraties naar buiten treden zijn er aan de tunnelmonden schoepen aangebracht zodat een groot deel van de lucht, door het verkeer in beweging gebracht, in de tunnel gaat circuleren. De tunnelmonden zijn iets hoger dan de rest van de

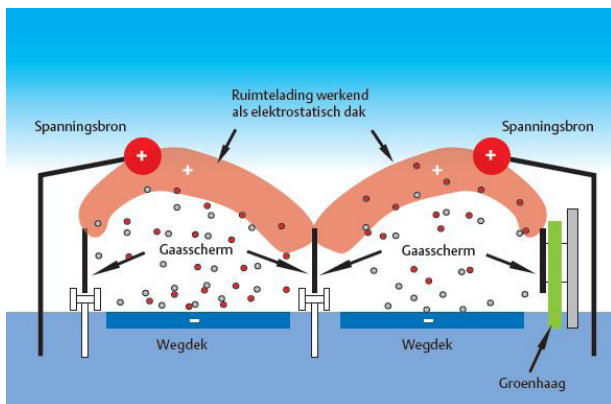


Figuur 7.3 Principe van de zuivering van fijn stof uit de tunnellucht in de sociale tunnelmond.

Bron. Movares

overhuiving. Hierdoor neemt de luchtsnelheid op deze plek af en is het mogelijk het fijn stof af te vangen met elektrostatisch geladen lamellen. De uitstoot van NO_x wordt gereduceerd door bij de tunnelmonden schermen en lamellen aan te brengen voorzien van TiO_2 . Deze stof legt de stikstofoxiden vast. Onder invloed van UV-licht ontstaat vervolgens nitraat dat met regenwater wegspoelt.

Uitgangspunt van het ontwerp is een gebogen stalen constructie met een huid van koud gebogen glas. Deze glassoort, die op de bouwplaats in de juiste vorm wordt gebogen, heeft Vákár (constructief ontwerper bij Movares) tien jaar geleden ontwikkeld. Als constructief ontwerper merkte hij dat architecten vaak ronde transparante vormen wilden gebruiken. Het concept



Figuur 7.4 Schematische weergave van het fijn stof reductie systeem.
bron: TU Delft & BAM Nederland

is even slim als eenvoudig. Koud gebogen glas, dat inmiddels geïmplementeerd is en verkrijgbaar onder de naam Freeform glass, bestaat uit twee geharde glasplaten met daartussen een speciale folie. Deze folie verbindt de twee platen en zorgt er bij kortstondige belasting voor dat de sandwichconstructie zich als het ware gedraagt als een enkele laagruit met een dikte van de gehele sandwich. Bij langdurige belasting maakt de folie het echter mogelijk dat de ruiten min of meer onafhankelijk van elkaar bewegen. Glas is natuurlijk transparant hierdoor is het toe te passen in steden zonder dat je de binnenstad ‘vervuild’ met betonwerk en donkere tunnels.

Systeem eigenschappen:

Reduceert fijn stof met behulp van het elektrisch geladen lamellen. Daarnaast worden stikstofoxiden gereduceerd door schermen en lamellen met titanium

dioxide. Onder invloed van UV-licht worden de afgevangen stoffen omgezet in nitraat. Door de transparantie te gebruiken in binnen steden.

7.4 Elektromagnetisch veld

Dit fijn stof reductie systeem is gebaseerd op een wereldwijd patent van de Technische Universiteit Delft. Het betreft een samenwerkingsverband van de Technische Universiteit Delft en BAM.

Het systeem reduceert de fijn stof concentratie in de omgeving waar het is geïnstalleerd. Het concept (de systeemopbouw) moet worden afgestemd op de lokale omstandigheden. Het principe berust op enerzijds het creëren van een ruimtelading (elektrostatisch dak) boven de weg en anderzijds op het opladen van het fijn stof. Door deze lading is het mogelijk het fijn stof te manipuleren en te sturen. De ontwikkelde methode maakt gebruik van fijne draden, die boven de weg aan (licht)masten worden bevestigd, en een metalen geaard scherm van gaas in de berm. Door het elektrostatische veld van de draad worden de geladen fijn stof deeltjes naar het metalen geaarde scherm van gaas geleid. Bovendien dragen alle andere tegengesteld geladen of geaarde objecten in de directe omgeving van de weg, zoals bomen, gebouwen en auto's extra bij aan de reductie van het fijn stof gehalte omdat

ze de geladen fijn stof deeltjes aantrekken. Dankzij het elektrostatische karakter heeft het systeem geen invloed op de omgeving, communicatie apparatuur en dergelijke en is het ongevaarlijk voor mens en dier.

Systeem eigenschappen:

Reduceert fijn stof met behulp van het elektrisch laden van het fijn stof en het realiseren van een elektrostatische ruimte die zich gedraagt als een elektrostatisch dak.

7.5 Ontwikkelingen van ideeën voor de bestrijding fijn stof

7.5.1 Afzuiging via de riolering

ARCADIS, heeft een methodiek ontwikkeld die kan bijdragen aan de oplossing van het fijn stof probleem in Nederland. Door de uitstoot van fijn stof veroorzaakt door autoverkeer af te zuigen via het bestaande rioolsysteem, kan de concentratie fijn stof in de lucht worden verminderd. De eerste proeven wijzen uit dat een vermindering tot circa 10% mogelijk is.

De techniek maakt gebruik van het bestaande rioolsysteem en is snel operationeel te maken. De werking ervan is simpel, het principe berust op het zo dicht mogelijk bij de bron afvangen van fijn stof. Het is bekend dat een groot deel van het fijn stof afkomstig



is van wegen en (vracht)auto's.

Het afzuigen van het fijn stof gebeurt door centrale afzuiginstallaties, die verbonden zijn met de bestaande rioolputten en rioolleidingen in de weg. In plaats van putdeksels krijgen de putten roosters om de afzuiging te optimaliseren. De lucht wordt vervolgens 'gewassen' en via het bestaande rioolsysteem afgevoerd.

Systeem eigenschappen:

Het systeem zuigt het fijn stof af via de rioolputten het riool in. Het fijn stof gaat aan het water kleven en blijft in het riool.

Overall toe te passen, bijvoorbeeld in kleine smalle straten en is daarom heel toegankelijk.

7.5.2 De wassende weg

De wassende weg zorgt naar verwachting voor een reductie van het schadelijke fijn stof en een vermindering van het verkeerslawaai.

De weg wordt gereinigd door middel van een systeem dat geïntegreerd is in het wegdek. Onder en naast het wegdek is een leidingsysteem en een groot waterreservoir aangelegd. Via de regenpijpen van panden naast de weg stroomt het regenwater naar het reservoir. Tijdens een 'wasbeurt' wordt het water uit het reservoir naar een hoger gelegen kunststof goot gepompt. Het water stroomt vervolgens door holle ruimtes van het asfalt dat voor 25 procent uit holle ruimtes bestaat.

De fijn stof deeltjes worden geabsorbeerd in het

asfalt en er blijft dan minder in de lucht hangen. Het vuile water wordt aan de andere kant van de weg opgevangen en afgevoerd naar het riool. Dit samen met het 'wassen' van de weg kan een reductie van acht procent opleveren.

Systeem eigenschappen:

Door de open asfalt structuur absorbeert het fijn stof en het water voert het fijn stof af.

Overall toe toepassen, en heeft een dubbele werking (ook geluidabsorberend.)

Conclusies

- **Er zijn een aantal goede technische manieren voor het afvangen van fijn stof.**
- **Combinaties van geluid en fijn stof afvangen is een mooie oplossing langs snel- en rondwegen.**
- **Door fijn stof af te vangen met een glazen koepel kan men het fijn stof zuiveren.**
- **Men kan het hoogste percentage fijn stof afvangen door middel van een elektromagnetisch veld.**
- **Er wordt nog steeds gezocht naar nieuwe ontwikkelingen bijv. het afzuigen via de riolering en de met water gewassen weg.**





8. Principedetails

(Bron: Hinterleirner J., z.j.)

In dit hoofdstuk beschrijven we de ontwerpprincipes. Hiervoor is er een verdeling gemaakt van een aantal straatprofielen: een woonstraat (5 - 10 meter breed), een wijkontsluitingsweg (10 - 15 meter breed), en een stadsontsluiting (15 meter breed en breeder). De door ons beschreven afvang mogelijkheden voor het afvangen van fijn stof uit hoofdstuk 5 en 6 worden hier gekoppeld aan verschillende ontwerpprincipes.

Voor de beoordeling van de verschillende ontwerpprincipes zijn er verschillende criteria opgesteld. De criteria zijn verwerkt in de overzichtstabel 8.1 in paragraaf 8.4. Er is gewerkt met de volgende criteria: het afvangen van fijn stof, prijs indicatie van het desbetreffende product, milieu aspecten, de beleving en de toepasbaarheid, deze zijn weer onderverdeeld in scores goed, matig en slecht.

Niet elk principe vangt even veel fijn stof af. Bij de meeste principes zijn er geen harde cijfers van het percentage van afvang bekend. We hebben de principes verdeeld in scores: goed vangt veel fijn stof af, matig vangt in mindere mate fijn stof af en slecht vangt nog minder af.

Voor de kosten van de principes zijn er inschattingen gemaakt. Bij deze inschattingen zijn de kosten van de aanleg en de kosten van het onderhoud bij elkaar gevoegd. Het microklimaat, biodiversiteit en waar het afgevangen fijn stof heen spoelt vallen onder de milieuaspecten.

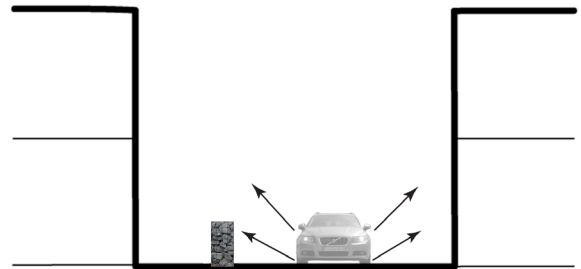
Beleving is voor iedereen anders, de ontwerpprincipes bestaan uit groene en grijze afvangmethodes. Groene

ontwerpprincipes zorgen voor extra voordelen die de grijze principes niet hebben, namelijk: verbetering van microklimaat in de stad, biodiversiteit en gezondheid. De ontwerpprincipes voor de desbetreffende straat zijn door ons gekozen. We hebben gekeken wat er mogelijk is qua ruimte in de verschillende straten. Maar sommige ontwerpprincipes zijn beter toepasbaar, dan de andere. We hebben ook gekeken naar nieuwe manieren van afvangen, we hebben één van die opties er bijgevoegd, namelijk afvangen van fijn stof door middel van afzuiging.

8.1 De woonstraat

In de woonstraat is er niet veel ruimte voor het plaatsen van voorzieningen voor het afvangen van fijn stof. Er is in deze situatie gekozen voor de volgende methoden voor het afvangen van fijn stof door middel van: schanskorf, haag, afzuiging, gevelgroen en elektromagnetische velden.

57



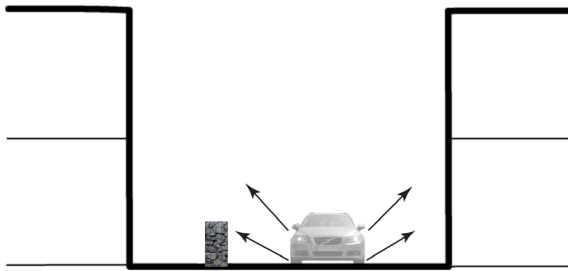
8.1.1 Afvangen door middel van schanskorf

Sterke punten:

- Zelf reinigende werking.
- Hergebruik van stenen restafval.
- Fijn stof wordt omgezet in nitraat.
- Het is gemakkelijk toepasbaar.

Zwakke punten:

- In een kleine straat is het afvangen niet optimaal.
- Zorgt voor extra stenige uitstraling in de stad.
- In een droge periode kan de schanskorf verzadigd zijn.
- Moet zich in de praktijk nog bewijzen.



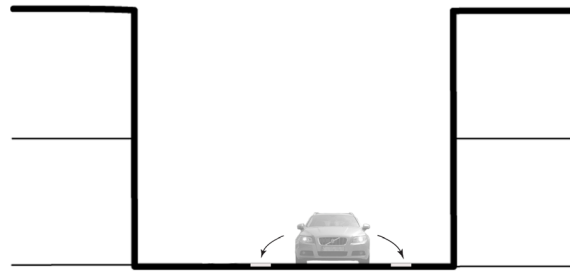
8.1.2 Fijn stof afvangen door middel van een haag of heesterbeplanting

Sterke punten:

- Goedkoop in aanschaf.
- Groen is een wijkverfraaiing.
- Verbetering van microklimaat in de stad.
- Zorgt voor extra voordelen (biodiversiteit, gezondheid, beleving etc.)

Zwakke punten:

- Het afgevangen fijn stof komt in de grond terecht of op de bestrating.
- Door zijn toe te passen afmeting werkt het niet optimaal.
- Is onderhoud gevoelig.
- Niet alle soorten kunnen even goed afvangen.



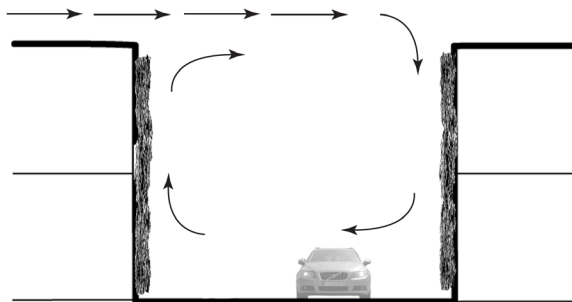
8.1.3 Fijn stof afvangen door middel van afzuiging

Sterke punten:

- Gebruik van bestaande elementen.
- Het is dicht bij de bron toepasbaar.
- In elke straat met waterafvoer door middel van riolering toepasbaar.
- Is toepasbaar in combinaties met groen.

Zwakke punten:

- Vuil komt in 'schoon water' afvoer van de rioleringen.
- Dient nog verder onderzocht te worden.



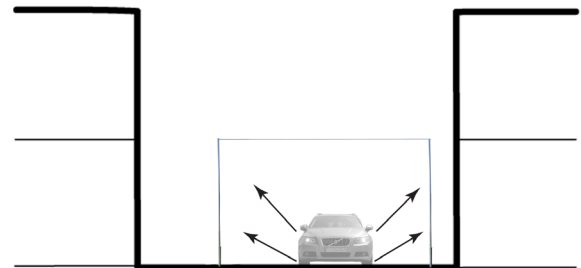
8.1.4 Fijn stof afvangen door middel van gevelgroen

Sterke punten:

- Compacte groene toepassing.
- Beste groen oplossing in een kleine straat (geen canyon effect).
- Verbetering van microklimaat in de stad.
- Zorgt voor extra voordelen (biodiversiteit, gezondheid, beleving etc.).

Zwakke punten:

- Erg duur in aanleg.
- Is in binnensteden door architectonische/ monumentale gebouwen niet gewenst.
- Onderhoud kosten zijn hoog.
- Lage levensduur van de systemen.



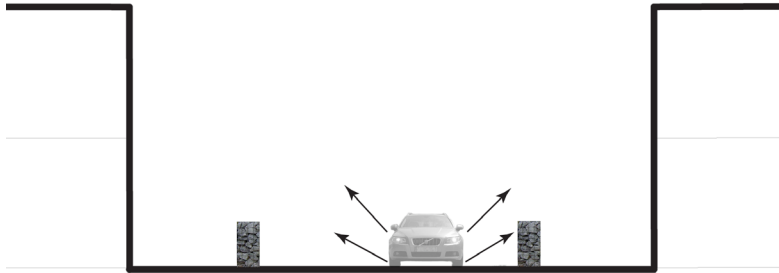
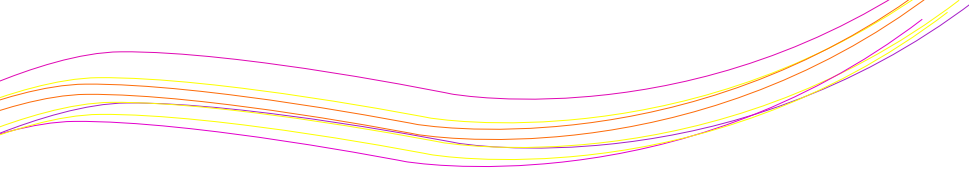
8.1.5 Fijn stof afvangen door middel van elektromagnetische velden

Sterke punten:

- Gebruik van bestaande elementen.
- Het is dicht bij de bron toepasbaar.
- Een effectieven manier van afvangen.
- Het is overal toepasbaar.

Zwakke punten:

- Geen fraai beeld.
- Energie verbruik.
- Dient nog verder onderzocht te worden.



8.2 Afvang principes in een wijkontsluitingsweg

Bij een wijkontsluitingsweg is er meer ruimte voor het plaatsen van afvang voorzieningen. In deze situatie is er gekozen voor de volgende manieren: schanskorven, haag, afzuiging, bomen, haag met bomen en elektromagnetische velden.

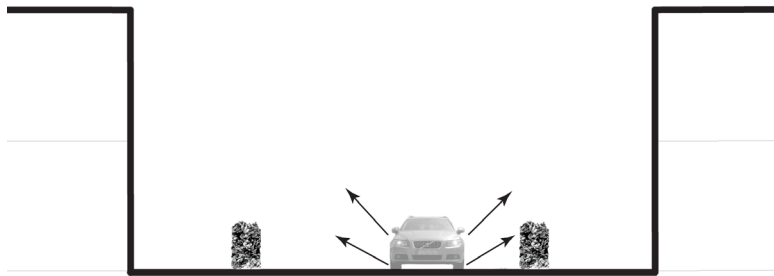
8.2.1 Afvangen door middel van schanskorf

Sterke punten:

- Zelf reinigende werking.
- Hergebruik van stenen restafval.
- Fijn stof wordt omgezet in nitraat.
- Het is gemakkelijk toepasbaar.

Zwakke punten:

- Door de afmetingen werkt het niet optimaal.
- Zorgt voor extra stenige uitstraling in de stad.
- In een droge periode kan de schanskorf verzadigd zijn.
- Moet zich in de praktijk nog bewijzen.



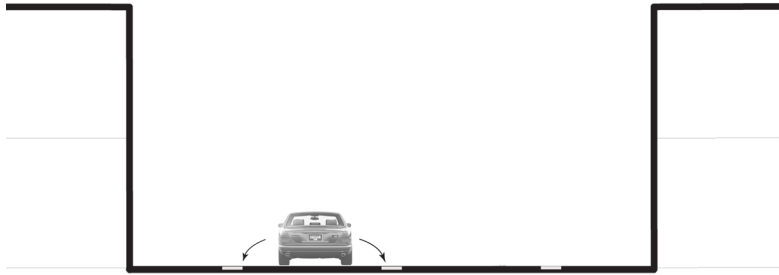
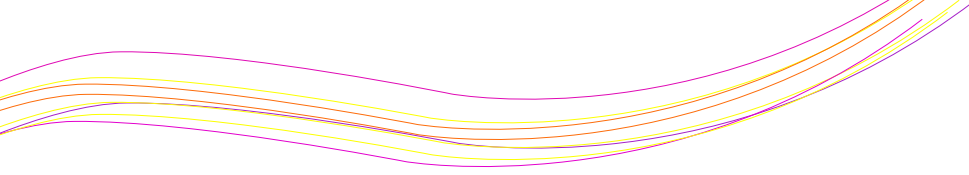
8.2.2 Fijn stof afvangen door middel van een haag

Sterke punten:

- Goedkoop in aanschaf.
- Groen is een wijkverfraaiing.
- Verbetering van microklimaat in de stad.
- Zorgt voor extra voordelen (biodiversiteit, gezondheid, beleving etc.).

Zwakke punten:

- Het afvangen fijn stof komt in de grond terecht of op de bestrating.
- Door zijn toe te passen afmeting werkt het niet optimaal.
- Is onderhoud gevoelig.
- Niet alle soorten kunnen even goed afvangen.



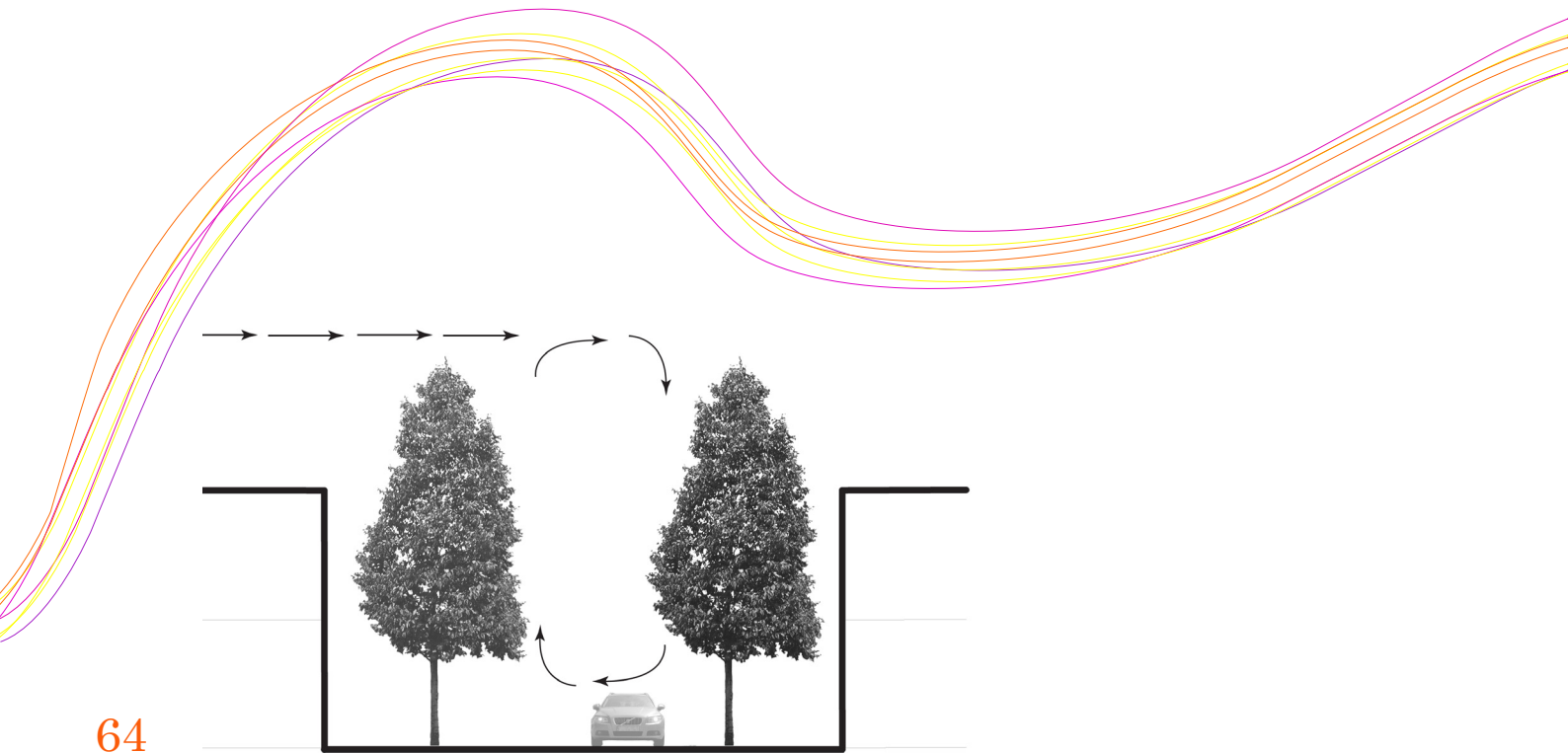
8.2.3 Fijn stof afvangen door middel van afzuiging

Sterke punten:

- Gebruik van bestaande elementen.
- Het is dicht bij de bron toepasbaar.
- Elke straat met waterafvoer door middel van riolering toepasbaar.
- Het is overal toepasbaar.
- Is toepasbaar in combinaties met groen.

Zwakke punten:

- Vuilheid komt in 'schoon water' afvoer van de rioleringen.
- Dient nog verder onderzocht te worden.



64

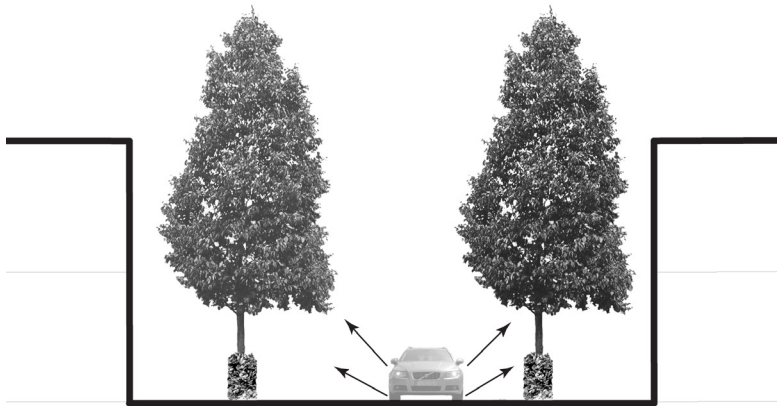
8.2.4 Fijn stof afvangen door middel van bomen

Sterke punten:

- Goedkoop in aanschaf.
- Groen is een wijkverfraaiing.
- Verbetering van microklimaat in de stad.
- Zorgt voor extra voordelen (biodiversiteit, gezondheid, beleving etc.).

Zwakke punten:

- Het afvangen fijn stof komt in de grond terecht of op de bestrating.
- Is onderhoud gevoelig.
- Niet alle bomen kunnen even goed afvangen.
- Doordat de bomen te dicht op elkaar staan kan er 'Canyon effect' ontstaan.



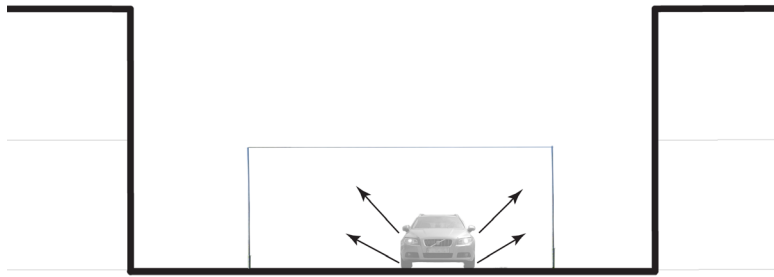
8.2.5 Fijn stof afvangen door middel van haag en bomen

Sterke punten:

- Goedkoop in aanschaf.
- Groen is een wijkverfraaiing.
- Verbetering van microklimaat in de stad.
- Zorgt voor extra voordelen (biodiversiteit, gezondheid, beleving etc.).

Zwakke punten:

- Het afgevangen fijn stof komt in de grond terecht of op de bestrating.
- Is onderhoud gevoelig.
- Niet alle bomen kunnen even goed afvangen.
- Als de bomen te dicht op elkaar geplaatst kan er 'Canyon effect' ontstaan.



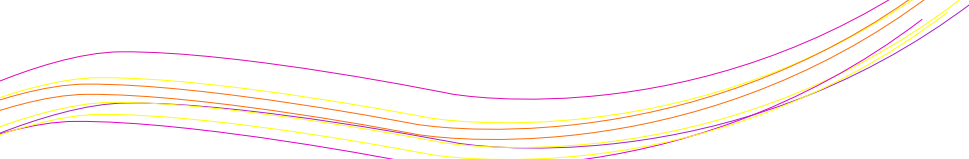
8.2.6 Fijn stof afvangen door middel van elektromagnetische velden

Sterke punten:

- Gebruik van bestaande elementen.
- Het is dicht bij de bron toepasbaar.
- Een effectieve manier van afvangen.
- Het is overal toepasbaar.

Zwakke punten:

- Geen fraai beeld.
- Een hoog energie verbruik.
- Dient nog verder onderzocht te worden.



8.3 Afvang principes in een stadsontsluiting

Bij een stadsontsluiting is er veel ruimte in het profiel. Voor de stadsontsluiting is er gekozen voor de volgende manieren: afzuiging, twee rijen bomen, haag in combinatie met twee rij bomen, drie rijen hagen en bomen en elektromagnetische velden.

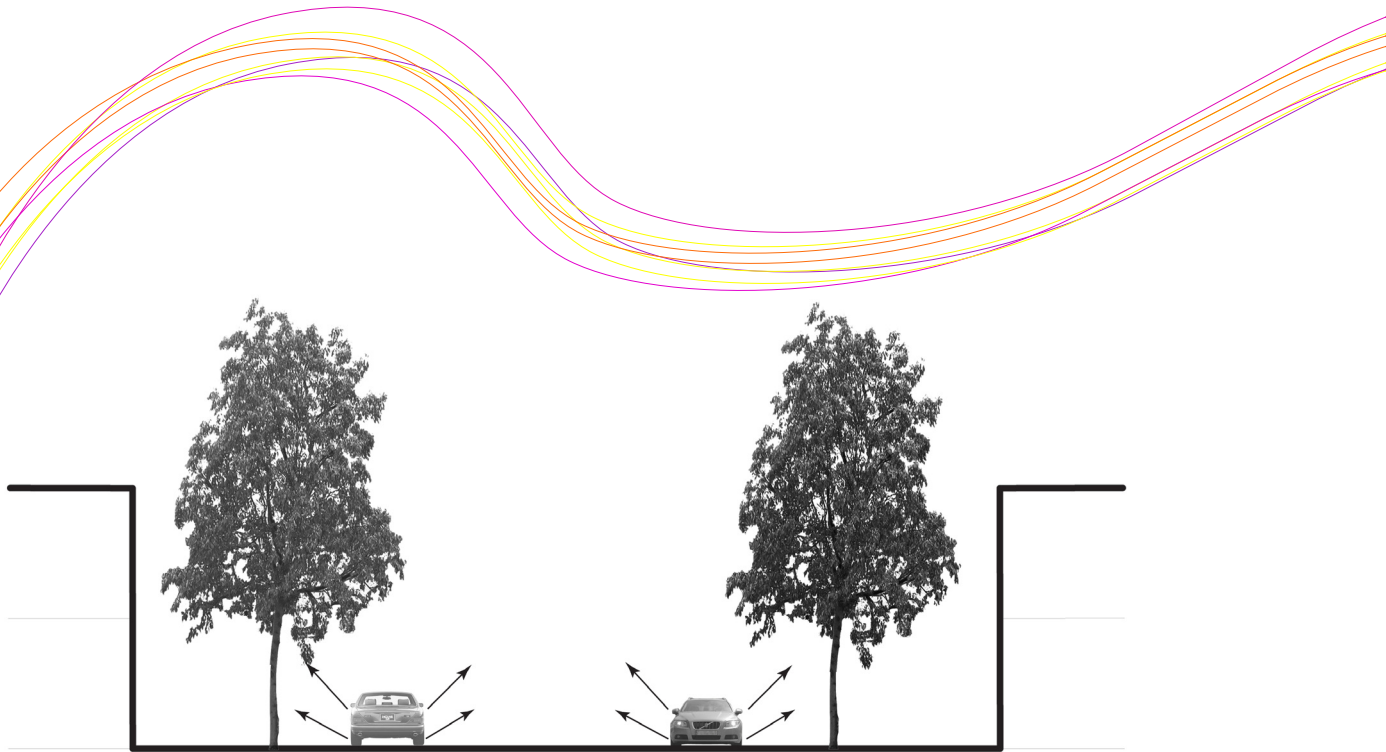
8.3.1 Fijn stof afvangen door middel van afzuiging

Sterke punten:

- Gebruik van bestaande elementen.
- Het is dicht bij de bron toepasbaar.
- Elke straat met waterafvoer door middel van riolering toepasbaar.
- Het is overal toepasbaar.
- Is toepasbaar in combinaties met groen.

Zwakke punten:

- Vuilheid komt in 'schoon water' afvoer van de rioleringen.
- Dient nog verder onderzocht te worden.



8.3.2 Fijn stof afvangen door middel van bomen aan twee kanten

Sterke punten:

- Goedkoop in aanschaf.
- Groen is een wijkverfraaiing.
- Verbetering van microklimaat in de stad.
- Zorgt voor extra voordelen (biodiversiteit, gezondheid, beleving ect.)

Zwakke punten:

- Het afvangen fijn stof komt in de grond terecht of op de bestrating.
- Is onderhoud gevoelig.
- Niet alle bomen kunnen even goed afvangen.
- Als de bomen te dicht op elkaar staan kan er 'Canyon effect' ontstaan.



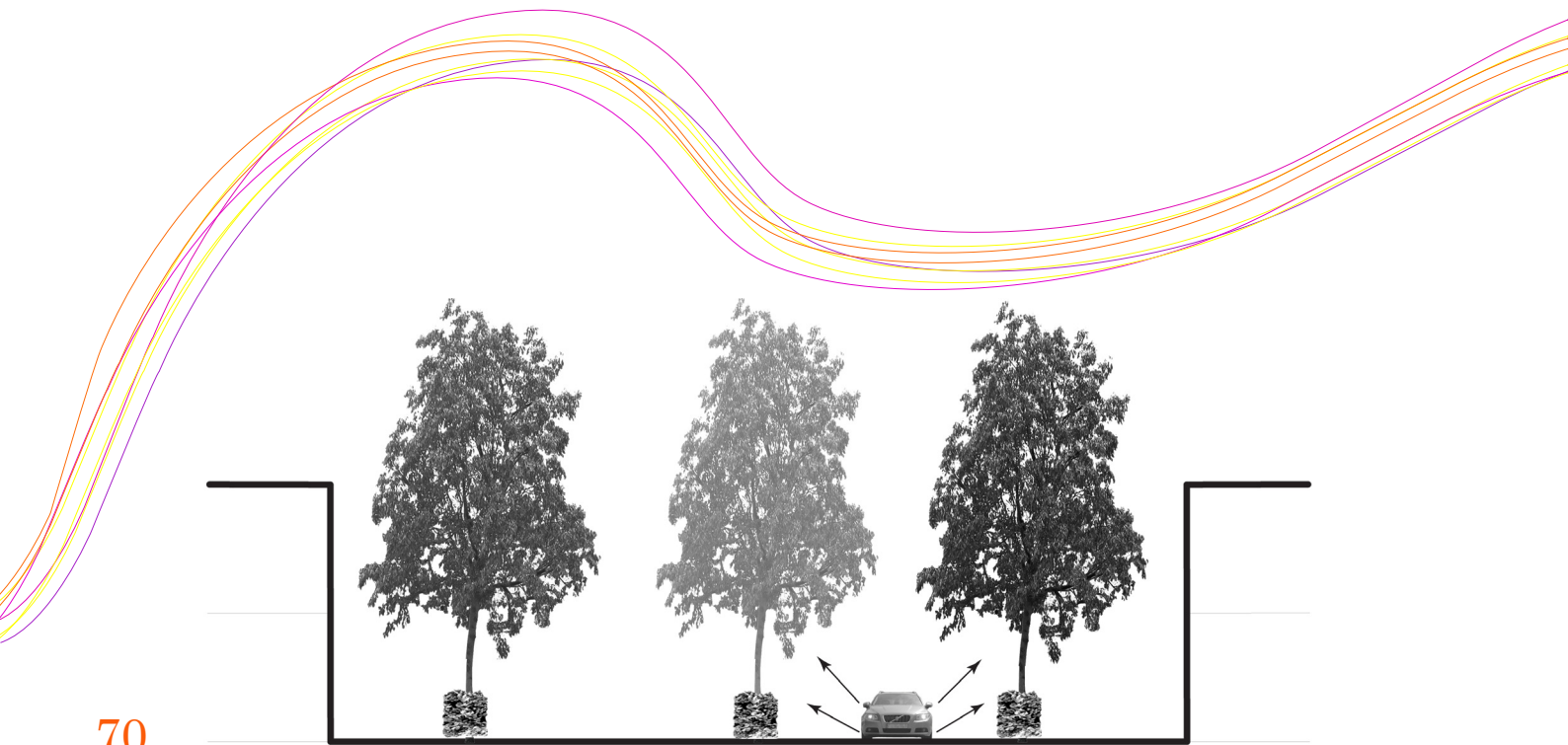
8.3.3 Fijn stof afvangen door middel van haag in combinatie met twee rij bomen

Sterke punten:

- Goedkoop in aanschaf.
- Groen is een wijkverfraaiing.
- Verbetering van microklimaat in de stad.
- Zorgt voor extra voordelen (biodiversiteit, gezondheid, beleving etc.)

Zwakke punten:

- Het afgevangen fijn stof komt in de grond terecht of op de bestrating.
- Is onderhoud gevoelig.
- Niet alle bomen kunnen even goed afvangen.
- Als de bomen te dicht op elkaar staan kan er 'Canyon effect' ontstaan.



70

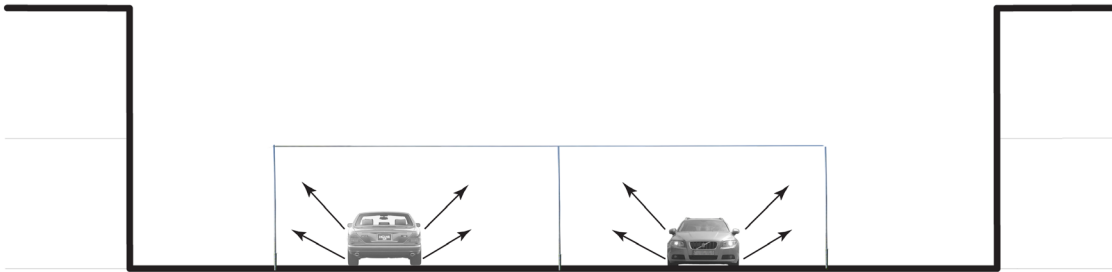
8.3.4 *Fijn stof afvangen door middel van drie rijen hagen en bomen*

Sterke punten:

- Goedkoop in aanschaf.
- Groen is een wijkverfraaiing.
- Verbetering van microklimaat in de stad.
- Zorgt voor extra voordelen (biodiversiteit, gezondheid, beleving etc.)
-

Zwakke punten:

- Het afgevangen fijn stof komt in de grond terecht of op de bestrating.
- Is onderhoud gevoelig.
- Niet alle bomen kunnen even goed in afvangen.
- Als de bomen te dicht op elkaar staan kan er 'Canyon effect' ontstaan.



8.3.5 Fijn stof afvangen door middel van elektromagnetische velden

Sterke punten:

- Maakt gebruik van bestaande elementen.
- Het is dicht bij de bron toepasbaar.
- Een effectieve manier van afvangen.
- Het is overal toepasbaar.

Zwakke punten:

- Geen fraai beeld.
- Energie verbruik.
- Dient nog verder onderzocht te worden.

8.4 Afvang principes samengevat

In deze pagagraaf worden de vorige paragrafen samengevat en er wordt de beste optie voor de verschillende situaties gekozen. De keuze wordt gemaakt door middel van een punten systeem. Aan de vijf beoordelingscriteria en aan de plus- en minpunten zijn punten gekoppeld. (tabel 8.1)

Afvangen fijn stof	Punten	Prijs indicatie	Punten	Milieu aspecten	Punten
+	7	+	5	+	3
-/+	4	-/+	3	-/+	2
-	1	-	1	-	1

Beleving	Punten	Toepasbaarheid	Punten
+	3	+	5
-/+	2	-/+	3
-	1	-	1

Tabel 8.1 Beoordelingscriteria's

De punten voor de beoordelingscriteria verschillen, dit omdat ze niet allemaal even belangrijk zijn. De hoeveelheid afgevangen fijn stof is voor ons het belangrijkste, daarom is daar ook de meeste punten mee te behalen. De prijs indicatie en de toepasbaarheid zijn ook veel punten waard. Milieu aspecten en de beleving krijgen het minst aantal punten.

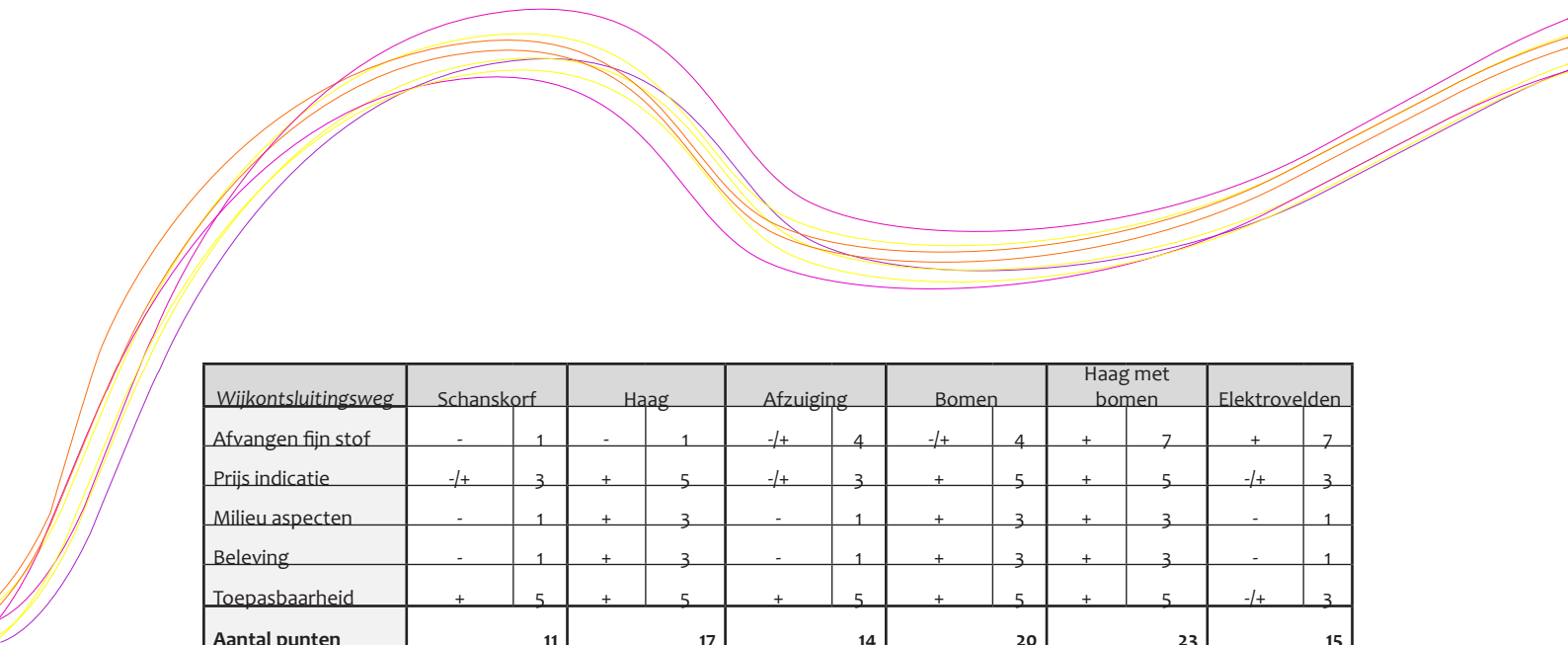
Woonstraat	Schanskorf		Haag		Afzuiging		Gevelgroen		Elektrovelden	
Afvangen fijn stof	-	1	-	1	-/+	4	-/+	4	+	7
Prijs indicatie	-/+	3	+	5	-/+	3	-	1	-/+	3
Milieu aspecten	-	1	+	3	-	1	+	3	-	1
Beleving	-	1	+	3	-	1	+	3	-	1
Toepasbaarheid	+	5	+	5	+	5	-	1	+	5
Aantal punten	11		17		14		12		17	

Tabel 8.2

Woonstraat

In de woonstraat zijn de haag en het elektromagnetisch veld de beste methoden om fijn stof af te vangen. Het verschil zit in de manier: de haag vangt in verhouding met het elektromagnetisch veld niet zo goed af. Maar de haag scoort bij de andere criteria alleen maar plussen, terwijl het elektromagnetisch veld een aantal minnen heeft.

Als men kijkt naar puur het afvangen van fijn stof is een elektromagnetisch veld in een woonstraat de beste oplossing.



Wijkontsluitingsweg	Schanskorf		Haag		Afzuiging		Bomen		Haag met bomen		Elektrovelden	
Afvangen fijn stof	-	1	-	1	-/+	4	-/+	4	+	7	+	7
Prijs indicatie	-/+	3	+	5	-/+	3	+	5	+	5	-/+	3
Milieu aspecten	-	1	+	3	-	1	+	3	+	3	-	1
Beleving	-	1	+	3	-	1	+	3	+	3	-	1
Toepasbaarheid	+	5	+	5	+	5	+	5	+	5	-/+	3
Aantal punten	11		17		14		20		23		15	

Tabel 8.3

Wijkontsluitingsweg

74

Voor de wijkontsluitingsweg scoren de bomen en bomen met haag het beste. Bomen met haag scoort beter dan gewone bomen, dit is omdat door de extra haag er een grotere (qua oppervlakte) filterbereik is. Het elektromagnetisch veld die in de woonstraat nog het beste was, is voorbijgestreefd door de groene principes.

De beste oplossing voor een wijkontsluitingsweg zijn bomenrijen met daaronder een haag of hoge en gesloten heesterbegroeiing.

Stadsontsluitingsweg	Afzuiging		2 rijen bomen		2 rijen bomen met haag		3 rijen bomen met haag		Elektrovelden	
	-	1	-	1	-/+	4	+	7	+	7
Afvangen fijn stof	-	1	-	1	-/+	4	+	7	+	7
Prijs indicatie	-/+	3	+	5	+	5	+	5	-/+	3
Milieu aspecten	-	1	+	3	+	3	+	3	-	1
Beleving	-	1	+	3	+	3	+	3	-	1
Toepasbaarheid	+	5	+	5	+	5	+	5	-/+	3
Aantal punten	11		17		20		23		15	

Tabel 8.4

Stadsontsluitingsweg.

Bij de stadsontsluitingsweg scoort de dubbel rij bomen met haag lager dan de drie rijen bomen met haag. Dit komt doordat een stadsontsluitingsweg groter is, dus er is meer ruimte voor groen, en een extra rij bomen.

De beste oplossing voor deze principe is drie rijenbomen met daaronder een haag of hoge en gesloten heesterbegroeiing.

Conclusie

Als er ruimte is voor de groen principes dan zijn de groen principes de beste oplossing, dit komt niet alleen omdat deze principes zo goed fijn stof kunnen afvangen. Maar ze scoren in vergelijking met de niet groen principes veel hoger op de prijs indicatie, milieu aspecten, beleving en de toepasbaarheid.



Discussie

Tijdens ons onderzoek hebben wij diverse literatuur gelezen. In die literatuur komen er methodes en bevindingen naar voren die bij ons vragen oproepen. Om deze bevindingen te bespreken willen wij een discussie starten. De punten die wij hier willen bespreken zijn de normen waarmee de fijn stof problematiek wordt bepaald, hoe slecht fijn stof werkelijk voor de gezondheid is en welk effect het afvangen heeft.

Normen en meting voor fijn stof

76

De waarde van de Europese norm wordt bepaald door middel van gewicht. Er wordt gekeken hoeveel microgram fijn stof er per kubieke meter in de lucht zit. Fijn stof bestaat uit verschillende zwevende deeltjes zoals zout en zand, maar ook lood, ijzer, kobalt, koper en nog andere zware metalen. Niet alle deeltjes zijn even schadelijk voor de gezondheid.

Het zou volgens ons beter zijn als de deeltjes in een kubieke meter geteld worden en dan beoordeeld worden op de schade die de stoffen kunnen aanrichten. Als er volgens dit principe gemeten zou worden is het makkelijker in kaart te brengen waar de problemen zich echt voor doen en kan er gericht naar een oplossing gezocht worden.

Gezondheid en fijn stof

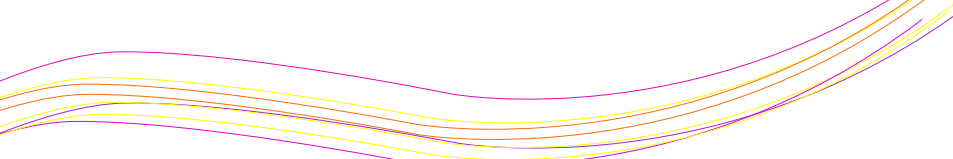
Omdat fijn stof schadelijke deeltjes bevat kun je er van uitgaan dat het slecht is voor de gezondheid

als je er dagelijks aan bloot gesteld wordt. Tijdens ons onderzoek hebben we de gezondheidseffecten ook belicht. We hebben geconstateerd dat PM_{10} niet verder dan de neus en keelholte komen, $PM_{2,5}$ komt tot in de luchtwegen en kleiner dan $PM_{0,1}$ komt tot in de longblaasjes en eventueel in de bloedsomloop. Hieruit maken we op dat hoe kleiner het fijn stof is hoe schadelijker het is voor de gezondheid, echter zijn er weinig gegevens bekend over de gevolgen van $PM_{2,5}$. Om goed in kaart te kunnen brengen hoe schadelijk fijn stof is voor de gezondheid is het in onze ogen noodzaak om over meer gegevens te beschikken van de gevolgen van $PM_{2,5}$ en de gezondheid.

Fijn stof afvangen met groen

In binnensteden bestaat de kans dat er veel autoverkeer in smalle straten is, dit in combinatie met veel mensen. Door dat er veel mensen in en rond de stad wonen, lopen ze een grote kans om in aanraking te komen met een hoge concentratie fijn stof. Om dit fijn stof af te vangen is er op grote schaal groen nodig op de plaatsen waar er een hoge fijn stof concentratie is. Dit houdt in dat er in de stad geen gevel, straat en plek onbenut mag blijven om groene maatregelen te treffen ten behoeve van het afvangen van fijn stof. Het is in de praktijk onmogelijk om de stad te voorzien van afvangende maatregelen.

Het zou naïef zijn om te denken dat we het fijn stof probleem helemaal kunnen oplossen met de maatregelen die er getroffen kunnen worden. De



problemen worden verzacht maar blijven. In situaties met te hoge fijn stof concentraties zoals binnensteden zal er gekozen moeten worden voor een oplossing die het grootst verzachtende effect heeft op het probleem.

Technische hulpmiddelen voor afvangst van fijn stof

Veel bedrijven houden zich bezig met de fijn stof problematiek. Er wordt gezocht naar een manier om fijn stof uit de lucht te filteren door middel van technische constructies. Momenteel zijn er al enkele systemen die getest worden in praktijk situaties. Veel van die systemen beloven een reductie van 10% van het fijn stof. Er zijn echter weinig gegevens bekend over het daadwerkelijke percentage van de afvang. Veel van deze technieken zullen zich in de toekomst nog moeten bewijzen of ze echt de oplossing zijn voor het fijn stof probleem. Bovendien is het juist in stedelijke gebied belangrijk ook te letten op milieu en beleving.

Advies

Wanneer gemeentes actief bezig zijn met het fijn stof probleem kan dit zorgen voor een goed imago van de stad. De ingrepen die getroffen kunnen worden voor het afvangen van fijn stof verschillen van uitstraling en effectiviteit. Het is daarom aan de hand van de conclusies te bepalen welke oplossingen het beste zijn.

Het advies is dat men goed naar de manier van de metingen dient te kijken. Het is verstandig om helder te krijgen waaruit de schadelijke stoffen bestaan in het gebied waar er een te hoge fijn stof concentratie is. Om de gezondheidsproblemen beter in kaart te krijgen dient er meer onderzoek gedaan te worden naar de schade die fijn stof kan aanrichten. Hierbij moet er speciaal gekeken worden naar de kleinere deeltjes fijn stof, omdat die dieper in het lichaam dringen.

Er zijn voor het afvangen van fijn stof technische mogelijkheden. Op sommige plaatsen worden er al proeven gedaan met deze technische opstellingen, echter is er nog weinig bekend over de effectiviteit van afvangen van deze producten.

77

Onze aanbevelingen samengevat:

- **Breng de problematiek van $PM_{2,5}$ in beeld.**
- **Kijk nog eens goed naar gezondheid en fijn stof, vooral $> PM_{10}$.**
- **Stel de werkelijke fijn stof problematiek vast, in aantal deeltjes en concentraties omdat de norm nu eenmaal in concentraties is.**
- **Maak als gemeente onderscheid tussen de verschillende typen wegen.**
- **Stel bij elke weg in de stad de bedreiging van fijn stof vast.**
- **Neem de aanbevolen afvangprincipes per straattypen over.**



Literatuurlijst

Literatuur

- Burg A. van den, et al. (2006)
Kennisdocument Vegetatie-luchtkwaliteit ten behoeve van het uitvoeren van een pilotproject langs
rijkswegen
- Buijsman E, et al (2005)
Fijn stof nader bekeken
- GGD Hollands Midden (2006)
- 78 Hiemstra, J.A, et al. (2008)
Bomen een veradming voor de stad.
- Kuypers V.H.M. & Vries E.A. de (2007)
Groen voor lucht
- Matthijssen J. & Visser H. (2006)
PM10 in Nederland
- Oosterbaan A. , Tonnejck A.E.G. & Vries E.A. de (2006)
Kleine landschapselementen als invangers van fijn stof en ammoniak
- Ottele M. (2010)
The design of vertical green.
- 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), (2008)
Jaaroverzicht Luchtkwaliteit 2008.
- Schoenmaker E, et al. (2008)
Opgelucht groen vermindert fijn stof



Websites

<http://www.milieuloket.nl/9353000/1/j9vvhurbs7rzkq9/vhurdyxr08mj>

<http://www.rivm.nl/milieuportaal/dossier/fijnstof/>

<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/500037008.pdf>

<http://www.mmk.be/vrij.cfm?id=194>

http://www.vmm.be/lucht/luchtkwaliteit/luchtvervuilende-stoffen/welke/fijn_stof.html/

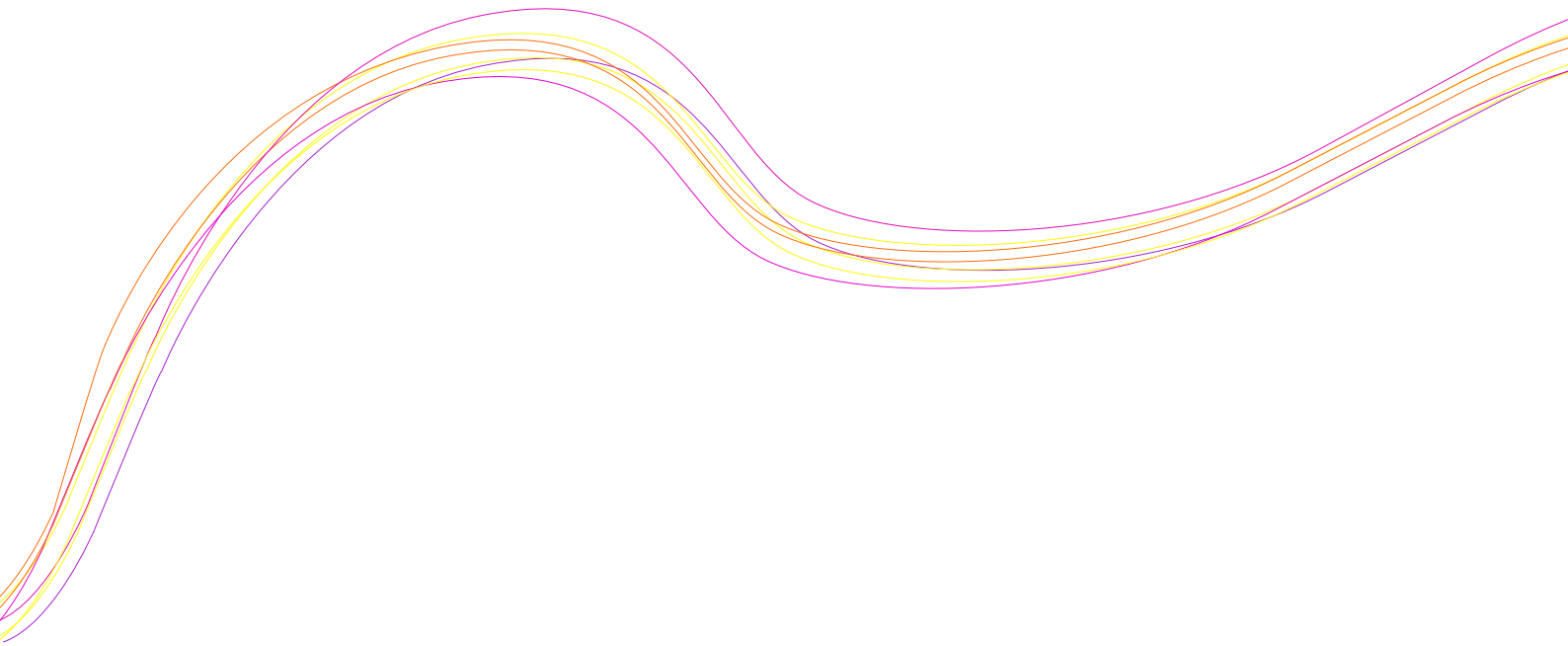
http://www.europa-nu.nl/id/vhcoga3e7ipz/fijnstof_verbeteren_van_de#p2

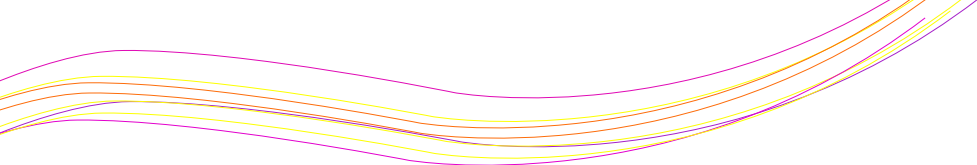
<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0340-Gezondheidseffecten-van-fijn-stof-en-ozon.html?i=13-128>

http://www.groeneruimte.nl/dossiers/groen_en_luchtkwaliteit/

<http://www.functioneelgroen.nl/functioneelgroen/Pages/Documenten.aspx>

<http://www.functioneelgroen.nl/functioneelgroen/Pages/Luchtgroen.aspx>





Colofoon

FIJN STOF EN DE BUITEN RUIMTE

oplossingen om fijn stof af te vangen met groen en technische elementen

Jaar van uitgave: April 2010

Drukker Repro Larenstein

Voor vragen of inlichtingen

Harry Veldman
Slaakweg 211
6826 GG Arnhem
Harryveldman@hotmail.com

Vincent Herzog
Slaakweg 193
6826 GE Arnhem
Vincentherzog@hotmail.com

