

rivm

Rapport 680705012/2008

J. Wesseling | R. Beijk | N. van Kuijeren

Effecten van groen op de luchtkwaliteit

Status 2008

RIVM rapport 680705012/2008

Effecten van groen op de luchtkwaliteit

Status 2008

J. Wesseling
R. Beijk
N. van Kuijeren

Contact:
Joost Wesseling
RIVM/MEV/LVM
Joost.Wesseling@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van VROM, in het kader van Stedelijke luchtkwaliteit, project M/680705/07/MO en in het kader van project V/609300/08/GL, 'Ondersteuning GGD'en', in opdracht van VWS

© RIVM 2008

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Summary

Effects of vegetation on air quality

Status 2008

The effect of vegetation (trees and shrubs) on air quality in and around cities appears not only to be limited but also variable (positive or negative effects). These are the conclusions drawn from a study carried out by the RIVM for the Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) and the coordinating body of Community Health Services (GGDs) in the Netherlands.

The RIVM has compiled an overview of factual information currently available on the effect of vegetation – trees and shrubs – on air quality. Based on this information, the RIVM concluded that the effects of vegetation on particulate matter (PM₁₀) in and around cities are limited.

The presence of vegetation can either increase or decrease the concentrations of ambient PM₁₀. Vegetation growing along a road or planted in the median (islands) has the effect of lowering the average wind speed, possibly resulting in increasing local concentrations of PM₁₀ (negative effect). Conversely, the presence of vegetation may filter out the (larger) particles, thereby lowering PM₁₀ concentrations (positive effect). The net effect of these processes on air quality is, however, generally limited. Within the constraints of experimental uncertainties, the limited body of factual information available to date on such local situations shows that vegetation does not have any effect on ambient nitrogen dioxide (NO₂) levels.

A reduction in PM₁₀ concentrations due to vegetation does not necessarily imply an equal positive effect on public health. The smaller particles, which may well be the most harmful, are the least affected by the presence of vegetation.

Several experiments are currently being performed in the Netherlands on the influence of vegetation on air quality, especially along highways. Others focus on the construction of sound barriers in combination with vegetation. The large scale of these experiments may produce data that will change current insights on the effects of vegetation along national highways.

Key words: air quality, vegetation

Rapport in het kort

Effecten van groen op de luchtkwaliteit

Status 2008

Het effect van groen (bomen en planten) op de luchtkwaliteit in en om steden blijkt beperkt. Bovendien kan de invloed die het groen wel heeft zowel positief als negatief zijn. Dat blijkt uit onderzoek van het RIVM in opdracht van het ministerie van VROM en de GGD's in Nederland.

Het RIVM heeft een overzicht gemaakt van de momenteel beschikbare concrete gegevens ten aanzien van groen, bomen en planten, en luchtkwaliteit. Op basis van de beschikbare informatie concludeert het RIVM dat de effecten van groen op de fijn stof (PM_{10}) concentraties in en om een stad beperkt zijn.

Bomen en planten kunnen de fijnstofconcentraties in de lucht zowel verhogen als verlagen. Zo beïnvloedt, verlaagt, de aanwezigheid van groen langs een weg of in een straat de gemiddelde windsnelheid. Daardoor kan de concentratie fijnstofdeeltjes toenemen. Een positief effect van het groen is echter dat het de (grotere) deeltjes kan afvangen. Het netto-effect van groen op de fijnstofconcentraties blijkt over het algemeen beperkt. De weinige metingen die beschikbaar zijn op het gebied van stikstofdioxide (NO_2) laten geen effecten van groen op de NO_2 -concentraties zien.

Een vermindering van de concentratie fijn stof hoeft niet noodzakelijkerwijs een even grote vermindering van gezondheidsschade op te leveren. Juist de kleine deeltjes, die niet of minder door het groen worden afgevangen, kunnen naar verwachting veel gezondheidsschade veroorzaken.

In Nederland lopen nog verschillende onderzoeken naar de effecten van groen op de luchtkwaliteit langs snelwegen en naar de combinaties van geluidsschermen met groen. Door de grootschalige opzet van deze onderzoeken is het mogelijk dat de inzichten in de effecten van groenstroken langs rijkswegen in de loop van 2009 nog iets zullen veranderen.

Trefwoorden: luchtkwaliteit, groen

Inhoud

Samenvatting		6
1	Inleiding	7
1.1	Inzet van groen in een groter gebied	7
1.2	Inzet van groen als luchtkwaliteitsmaatregel langs wegen	8
1.3	Bescherming van de gezondheid of halen van de norm?	8
1.4	Onderzoek versus hoop	9
2	Recente onderzoeken in Nederland	10
2.1	Recente onderzoeken op het gebied van luchtkwaliteit	10
2.2	Lopende IPL onderzoeken	19
2.3	Overige modellen en methoden	20
3	Luchtkwaliteitsonderzoeken buiten Nederland	21
4	Implicaties voor humane blootstelling	26
4.1	Gezondheidskundig relevante fractie van luchtverontreiniging	26
4.2	Binnenstedelijke effecten van groen	26
4.3	Groen en de inrichting van straten	27
5	Voorlopige conclusies	28
5.1	Overzicht van effecten	28
5.2	Grootschalige inzet van groen	28
5.3	Inzet van groen langs wegen	29
5.4	Implicaties voor blootstelling en gezondheid	29
Literatuur		30
Appendix 1	Wettelijk kader	33

Samenvatting

De inzet van groen om de luchtkwaliteit te verbeteren kan in twee delen worden onderverdeeld: inzet van groen ter verbetering van de achtergrondconcentratie en inzet van groen als lokale maatregel om een knelpunt te bestrijden. Het RIVM heeft een overzicht gemaakt van de momenteel beschikbare concrete gegevens ten aanzien van groen en luchtkwaliteit. Hierbij is dus uitsluitend gekeken naar rapporten, publicaties en studies die concrete resultaten vermelden, dit kunnen zowel metingen als berekeningen betreffen.

Op basis van de momenteel beschikbare informatie kan worden vastgesteld dat de effecten van groen in of nabij steden op de totale PM_{10} -concentraties beperkt zijn. Hoewel stedelijk groen grote hoeveelheden verontreiniging kan afvangen zijn de effecten hiervan op de jaargemiddelde PM_{10} -concentraties beperkt, gemiddeld minder dan 1%. Door het opvullen van beschikbare plantbare ruimte met groen kan het effect op de luchtkwaliteit iets worden vergroot, tot 2.5-7%. Dit betreft de grootschalige PM_{10} -concentraties, niet de effecten van lokale bronnen als wegen. Op de bijdragen hiervan heeft het aanplanten van groen in de wijde omgeving geen effect. Er is weinig concreet bekend over het effect van groen in of nabij steden op de totale NO_2 -concentraties.

Uit de nu beschikbare informatie kan voorzichtig worden geconcludeerd dat groen direct langs een weg slechts een beperkt effect op de (totale) PM_{10} -concentraties heeft. Ingeval van een aaneengesloten groenstrook langs een snelweg kan niet worden uitgesloten dat er direct achter het groen een verhoging van de concentraties optreedt. Waar een afname van de concentratie optreedt, lijkt dat op basis van de beschikbare informatie vooral de deeltjes groter dan circa 2-3 micrometer te betreffen. De resultaten van verschillende studies wijzen er op dat bomen direct langs een stadsweg vooral een effect op de grotere deeltjes hebben. Volgens de beschikbare metingen zijn dit voornamelijk deeltjes groter dan circa 10 micrometer. De beperkte metingen die beschikbaar zijn op het gebied van NO_2 laten, binnen de onzekerheden, geen effecten van groen in een straat op de NO_2 -concentraties zien. Er lopen momenteel nog een aantal onderzoeken van Rijkswaterstaat naar de effecten van groen op de luchtkwaliteit langs snelwegen en naar de combinaties van geluidsschermen met groen. Door de grootschalige opzet van deze onderzoeken kan niet worden uitgesloten dat de inzichten in de effecten van groenstroken langs een rijksweg in de loop van 2009 nog iets zullen veranderen.

Er zijn aanwijzingen dat juist de zeer fijne deeltjes in het bijzonder schadelijk voor de gezondheid zijn. Een vermindering van de concentratie fijn stof, gemeten als PM_{10} , hoeft daarom niet noodzakelijkerwijs een even grote vermindering van gezondheidsschade op te leveren. Binnenstedelijk kunnen enkele aspecten van de plaatsing van groenelementen voor de blootstelling van mensen averechts werken. Zo kan de inrichting van straten er in sommige gevallen voor zorgen dat, als een groenstrook in het midden van de straat wordt gesitueerd, de rijbanen dicht(er) op de woningen worden geplaatst of dat bomen de weg 'afsluiten' van relatief 'schone' lucht. In beide gevallen kan een verhoogde blootstelling niet worden uitgesloten.

1 Inleiding

Groen, bomen en planten, vervullen meerdere nuttige functies. Ze reguleren vochtigheid, geven schaduw en bieden bescherming tegen weer en wind. De aanwezigheid van groen wordt door de meeste mensen over het algemeen dan ook als een positief element van de leefomgeving ervaren.

Een betrekkelijk nieuw aspect van groen is het effect van groen op de luchtkwaliteit, positief zowel als negatief. Sinds enkele jaren wordt steeds meer bij stilgestaan bij dit aspect. Binnen de Nederlandse praktijk van luchtkwaliteitsberekeningen wordt de aanwezigheid van veel bomen langs een (binnenstedelijke) straat als een negatieve factor gezien. Als de bomen de emissies van het verkeer als het ware opsluiten dan nemen de concentraties, in het model, toe. Naar de mogelijk positieve effecten van groen op de luchtkwaliteit wordt al jaren onderzoek gedaan, zowel binnen als buiten Nederland. Het onderzoek kan grofweg in twee delen worden onderverdeeld: inzet van groen ter verbetering van de achtergrondconcentratie en inzet van groen als lokale maatregel om een knelpunt te bestrijden. De inzet van groen om een knelpunt te beperken of voorkomen kan zowel vanuit gezondheidskundige als vanuit juridische motieven voortkomen.

Het voorliggende rapport geeft in hoofdstuk 2 een kort overzicht van de zo veel mogelijk concrete resultaten van recente onderzoeken, meting en modellering, naar de effecten van groen op de luchtkwaliteit binnen Nederland. Tevens wordt geschetst wat er momenteel binnen Nederland aan onderzoek loopt op dit gebied. In hoofdstuk 3 wordt kort stilgestaan bij de belangrijkste ontwikkelingen in het buitenland. Hoofdstuk 4 gaat in op de implicaties voor humane blootstelling en gezondheid die naar voren komen uit de onderzoeksresultaten. Hoofdstuk 5 vat vervolgens samen wat, gegeven de huidige stand der kennis, redelijkerwijs aan effecten op de luchtkwaliteit van de inzet van groen mag worden verwacht.

1.1 Inzet van groen in een groter gebied

In verschillende studies is onderzocht wat het effect van grote groene gebieden op de grootschalige concentraties kan zijn. Door een bewoond gebied, bijvoorbeeld een stad, te omringen met grote stukken groen kan hiermee, in theorie, een verlaging van de grootschalige concentraties in de stad worden bereikt. Hierbij moet voor deeltjesvormige verontreiniging worden bedacht dat de opbouw hiervan buitenstedelijk gebied anders is dan in stedelijk gebied. Een eventuele reductie van de achtergrond heeft dan vooral effect op het rurale, buitenstedelijke, deel van de grootschalige achtergrond. De bijdragen van de stadsachtergrond worden hierdoor niet beïnvloed.

1.2 Inzet van groen als luchtkwaliteitsmaatregel langs wegen

Op plaatsen waar de grenswaarden voor de luchtkwaliteit worden overschreden, wordt tegenwoordig regelmatig de inzet van groenelementen geopperd als mogelijke maatregel om de luchtkwaliteit te verbeteren. Hierbij worden hogere of lagere rijen begroeiing tussen de rijba(a)n(en) en de trottoirs voorzien om de lucht te filteren. Het effect van de begroeiing kan tweeledig zijn: het kan de luchtstromen zodanig beïnvloeden dat de verkeersemisies in verminderde mate de trottoirs en/of de bebouwing bereiken of het kan de lucht filteren door depositie van verkeersemisies in of op de bladeren of naalden van het groen.

Vanuit het juridische kader van de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007 (RBL2007) van het ministerie van VROM is de inzet van groen als maatregel niet mogelijk. In de RBL2007 wordt precies beschreven op welke manier in Nederland de luchtkwaliteit rond wegen moet worden berekend. De toegestane methoden worden omschreven, evenals de hierbij te gebruiken randvoorwaarden en kaders. Het is echter mogelijk om het ministerie van VROM toestemming te vragen om gebruik te maken van andere gegevens¹ dan die welke door VROM beschikbaar zijn gesteld. Tevens kan toestemming worden gevraagd om een andere bepalingmethode voor de luchtkwaliteit te gebruiken² voorzover deze 'passend' en 'kwalitatief gelijkwaardig aan de standaardmethode' is.

Voor de bepaling van de effecten van groen op de luchtkwaliteit zijn tot op heden (zomer 2008) nog geen rekenmethoden of maatreegeffecten in de wet opgenomen. Mogelijke effecten van groen kunnen momenteel dus niet met behulp van een goedgekeurde rekenmethode in rekening worden gebracht. Als gevolg kunnen ze daarom niet als concrete maatregelen om de luchtkwaliteit kwantitatief te verbeteren in een luchtkwaliteitsplan worden opgenomen. Zie Appendix 1 voor meer informatie.

1.3 Bescherming van de gezondheid of halen van de norm?

Een belangrijke vraag bij de inzet van groen is voor welk doel het wordt ingezet, voor welke stof(fen) een resultaat wordt nagestreefd en wat de achterliggende redenen zijn. Twee voor de hand liggende redenen zijn A) bescherming van de volksgezondheid en B) het halen van de wettelijke grenswaarden voor stoffen. Het is evenwel niet zo dat een maatregel gericht op het behalen van de wettelijke grenswaarden ook altijd evenzo positief is voor de gezondheid, zie ook hoofdstuk 4. Verschillende componenten en groottefracties van PM_{10} hebben volgens de huidige inzichten verschillende effecten op de gezondheid. Zo zijn in het bijzonder de kleinste deeltjes (PM_1 en nog kleiner), die afkomstig zijn uit de uitlaat van voertuigen, zeer schadelijk. Voor deeltjesvormige verontreiniging maakt de grootte van de deeltjes echter uit voor het effect van het groen, zie hoofdstuk 2. Als groen langs een weg of in een straat vooral een effect heeft op de grotere deeltjes (als PM_{10}) en minder of geen effect heeft op de kleinste deeltjes (als PM_1) dan gaat een eventuele verlaging van de overall PM_{10} -concentratie, van

¹ Artikel 67 van de RBL2007

² Artikel 71 van de RBL2007

belang voor het voldoen aan de wettelijke grenswaarden, niet helemaal samen met een betere bescherming van de bevolking tegen schadelijke emissies van voertuigen.

1.4 Onderzoek versus hoop

Er is op het moment veel literatuur beschikbaar over de invloed van groen op de luchtkwaliteit. Hier valt echter een duidelijke scheiding in twee groepen literatuur op. Er is een groep van publicaties met daarin de resultaten van eigen fysische modellering of metingen en er is een groep van publicaties waarin vooral op de potentie groen wordt gewezen, zonder deze op de een of andere wijze te onderbouwen. In sommige gevallen worden ook modelresultaten gemeld zonder dat een onderbouwing hiervan wordt geboden. In de tweede groep komt het ook voor dat kleinschalige laboratoriumresultaten zonder onderbouwing worden opgeschaald naar praktische toepassing zonder daarbij op de praktische problemen in te gaan. Publicaties zoals hierboven omschreven suggereren, soms omgeven met de nodige publiciteit, vaak een substantieel effect van groen op de luchtkwaliteit. Als gevolg hiervan wordt misplaatste hoop gewekt. Tezamen met de algemene beeldvorming, waarbij groen veel positieve associaties heeft, leidt dit tot het veelvuldig noemen van groen als oplossing voor luchtknelpunten.

Bij gebrek aan informatie, ondersteunende berekeningen en metingen leidt het er echter wel toe dat de methoden per definitie niet in aanmerking komen voor erkenning als alternatieve rekenmethode in het kader van de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit. Gebruik van met deze methoden berekende maatregeleffecten in een juridisch kader is dan ook niet mogelijk.

2 Recente onderzoeken in Nederland

In dit hoofdstuk worden verschillende onderzoeken die recent in Nederland zijn uitgevoerd, dan wel momenteel worden uitgevoerd, kort besproken. Rapporten en overzichten die enkel een overzicht van bestaande literatuur bieden, zonder concrete nieuwe feiten, worden in de huidige rapportage niet expliciet besproken. Voorbeelden hiervan zijn:

- ‘Kennisdocument Vegetatie-luchtkwaliteit’, een uitgave van Rijkswaterstaat uit 2006, zie www.ipluchtkwaliteit.nl;
- ‘Groen voor lucht’, VHM Kuypers en EA de Vries, uitgave van Alterra, Wageningen UR, 2007;
- ‘Opgelucht’, brochure van bureau BELW, 2008-10-07;
- Actualisatie literatuuronderzoek ‘beplanting en luchtkwaliteit’, Bureau Peutz, 7-12-2006.

2.1 Recente onderzoeken op het gebied van luchtkwaliteit

Windtunnelonderzoek naar de bomenfactor in CAR II

Recent heeft TNO de resultaten van een windtunnelonderzoek naar de bomenfactor in CAR II gerapporteerd (Jonkers, 2008). Hierbij is geconcludeerd dat er, op basis van dat onderzoek, geen reden is om de bomenfactor in CAR II, en dus het negatieve effect van bomenrijen in een street canyon op de luchtkwaliteit, te veranderen. Bomenrijen in een street canyon beperken de verversing van lucht in de canyon en leiden op die manier tot hogere concentraties. Hierbij moet worden aangemerkt dat windtunnelonderzoek de effecten van depositie in groen en het effect van verhoogde turbulentie op chemische reacties in de buitenlucht niet kan vaststellen.

TNO heeft tegelijk op basis van literatuurgegevens een verkennende berekening gemaakt van het positieve effect van de bomen in een straat. Volgens deze grove berekening is de door bomen verwijderde emissie in de orde van ‘honderdsten van procenten’.

Metingen langs en in wegen door het RIVM

Metingen langs de A2

In de periode 2005/2006 heeft het RIVM gedurende één jaar lang de NO₂ -concentraties langs een dwarsprofiel op de A2 nabij Nieuwegein gemeten (Bloemen et al., 2007a). Ter vergelijking zijn door TNO berekeningen met het pakket Pluim Snelweg berekeningen uitgevoerd. De in het studiegebied aanwezige begroeiing is op geen enkele wijze aangepast of geoptimaliseerd. De aanwezige vegetatie kan qua locatie en structuur dus zeer wel suboptimaal zijn geweest. De situatie, inclusief het aanwezige groen, is echter wel redelijk representatief voor veel andere locaties langs snelwegen. Met betrekking tot de effecten van het groen is in het rapport het volgende geconcludeerd:

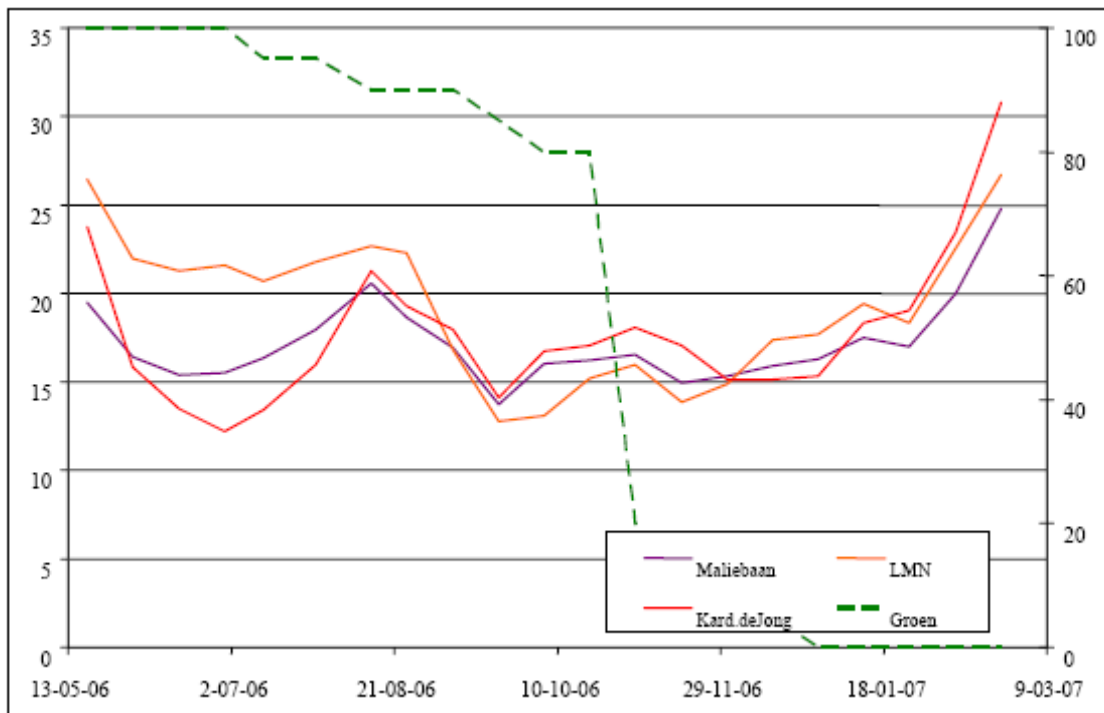
‘De invloed van de vegetatie op de geluidswal aan de westzijde van de A2 is zeer gering tot afwezig. De begroeiing versterkt wel de obstructie van de doorstroming zoals die optreedt door de invloed van een (dichte) geluidswal. Zoals al eerder opgemerkt kan de vegetatie suboptimaal zijn geweest voor het onderzochte effect, adsorptie van luchtverontreinigende componenten.’

En:

‘De invloed van vegetatie is niet aangetoond en moet voor de onderhavige situatie als zeer gering worden gesteld. Nader onderzoek waarbij de structuur van de vegetatie verder wordt geoptimaliseerd kan wellicht uitsluitsel geven over de mogelijke positieve invloed hiervan.’

Metingen in de Maliebaan

In de periode 2006/2007 heeft het RIVM gedurende een jaar lang de NO₂-concentraties op verschillende locaties op de Maliebaan in Utrecht gemeten en vergeleken met die in de kruisende Nachtegaalstraat en met de metingen van het LML op de Kardinaal de Jong weg (Bloemen et al., 2007b). Omdat de Maliebaan betrekkelijk veel loofbomen bevat is vooral gekeken of er een correlatie kon worden gevonden tussen de hoeveelheid blad van de bomen, en dus het adsorberende vermogen van het groen, en de NO₂-concentratie op de verschillende locaties.



Figuur 1 Gemiddelde NO₂-concentraties (in µg/m³) op de Maliebaan ('Maliebaan'), Nachtegaalstraat ('LMN') en Kardinaal de Jongweg ('Kard.deJong') en de indicatie voor de dichtheid van het bladerdak ('Groen'). Bron: Bloemen et al., 2007

In de betrekkelijk korte periode dat de bomen hun bladeren geheel kwijtraakten veranderde er niets significant aan de verhouding tussen de NO₂-concentraties in de Maliebaan en die op de andere locaties. De overall conclusie van het onderzoek was derhalve als volgt:

‘Op grond van de resultaten binnen dit experiment kan geconcludeerd worden dat er geen effecten op de NO₂-concentraties zijn waargenomen die een verband lijken te hebben met de hoeveelheid blad aan de bomen op de Maliebaan.

Met de opzet van het onderhavige onderzoek kan niet geconcludeerd worden dat er geen adsorptie van een zekere hoeveelheid stikstofdioxide plaats vindt. Echter, de hoeveelheid is dusdanig beperkt dat binnen de onzekerheid van het experiment (10-20%) deze geen invloed heeft op de concentratie stikstofdioxide.’

Metingen aan groen langs een snelweg door het ECN

Het ECN heeft in opdracht van Rijkswaterstaat gedurende vijf dagen metingen verricht aan de luchtkwaliteit langs de A50, bij Vaassen (Weijers et al., 2006). Hierbij zijn metingen verricht aan een stukje snelweg zonder groenelement en een stukje snelweg met een groenstrook (loofbomen) van 5-7 meter dik langs de weg, op circa 3 meter vanaf de rand van de vluchtstrook.



Figuur 2 Het groenelement waaraan door ECN is gemeten. Links van het groen loopt de Rijksweg A50.

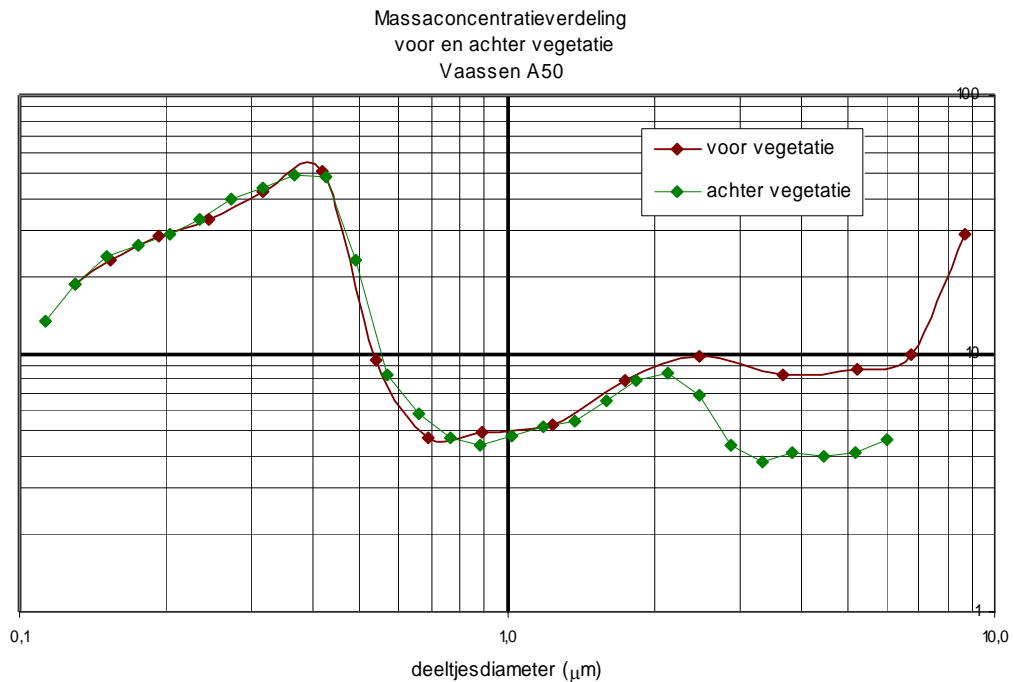
Met betrekking tot het filterende effect van het groenelement wordt in het rapport van ECN opgemerkt dat:

‘De gemeten gasconcentraties (NO, NO₂, CO₂) vlak achter de vegetatie wijken niet af van vlak ervoor. De concentraties rondom de vegetatie zijn wel (enigszins) verhoogd in vergelijking met de situatie zonder vegetatie: de verhoging achter de strook is maximaal 10%. Dit beeld keert in meer of mindere mate terug op alle vijf meetdagen. Het netto effect van enerzijds opname via huidmondjes (concentratieverlagend) en anderzijds verminderde verdunning door obstructie (concentratieverhogend) leidt in het geval van gassen vlak achter de vegetatie kennelijk niet tot een verbeterde situatie (in vergelijking met de situatie zonder de vegetatie). De vergelijkingsmetingen aan fijn stof vlak voor en vlak achter de vegetatiestrook laten wel lagere concentraties zien achter de strook. De afname door adsorptie (en depositie) van stofdeeltjes in de vegetatiestrook wordt geschat op 20% voor PM₁₀ en 17% voor PM_{2,5}.’

Over het effect van het groenelement op de concentraties op iets grotere afstand tot het groenelement wordt geconcludeerd:

'De gelijktijdige metingen op grotere afstand van de vegetatiestrook suggereren, na de aanvankelijke toename direct achter de vegetatiestrook, lagere concentraties voor de gascomponenten achter de vegetatie vanaf ca. 30 m van de weg. Het verschil blijkt statistisch significant ($p < 0,05$) op 90 m afstand in het geval van NO_2 . Gemiddeld over de afstand 45-90 m is het concentratieniveau ca. 20% lager dan langs de referentielijn. Een mogelijke verklaring kan zijn dat de vegetatiestrook (en obstakels i.h.a.) windafwaarts een golf van neerwaartse turbulentie achter het 'obstakel' veroorzaken. Deze toename in de verticale uitwisseling achter het groenelement kan inmenging veroorzaken van (schonere) lucht uit hogere luchtlagen. Op grotere afstand van de weg en de vegetatie (≈ 45 m) zijn de fijnstofconcentraties van dezelfde orde van grootte als de (ongestoorde) referentiemetingen.'

De resultaten van de metingen zijn ook beschreven in een uitgave van het 'Tijdschrift Lucht' (Weijers, 2008). In deze publicatie wordt ook het effect getoond van het groen op de fijnstofconcentraties, afhankelijk van de grootte van de deeltjes. De betreffende figuur is door de auteurs ook aan het RIVM beschikbaar gesteld.



Figuur 3 Een voorbeeld van de massaverdeling vóór en achter de vegetatie, zoals gemeten³ gedurende een deel van 5 oktober 2006. Langs de horizontale as is de deeltjes diameter weergegeven en langs de verticale as de hoeveelheid massa die voor een bepaalde deeltjesgrootte is gemeten (willekeurige eenheden).

Uit de figuur blijkt dat de deeltjes met diameters tot circa 2 μm (dus $\text{PM}_{2.5}$) in deze meting nauwelijks door het groen worden beïnvloedt. Vanaf circa 3 μm (dus PM_{10}) wordt circa 50% van de deeltjesmassa afgevangen. Omdat de meting waarop Figuur 3 is gebaseerd gedurende slechts enkele uren heeft geduurd kan het effect niet zomaar worden generaliseerd. In de loop van 2008 worden door ECN en TNO uitgebreide aanvullende metingen verricht op dezelfde locatie, zie de volgende sectie.

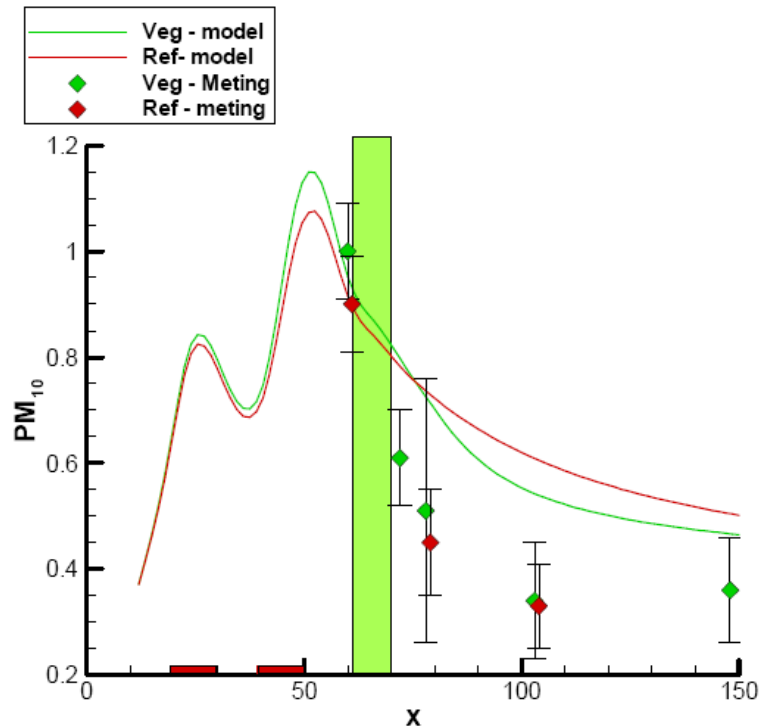
Bij de resultaten van het ECN moet worden bedacht dat alle gerapporteerde effecten op de concentraties ten opzicht van het totaal zijn uitgedrukt, dus niet ten opzichte van de wegbijdrage.

ENVI-Met berekeningen aan de ECN metingen bij Vaassen

Met ENVI-Met (zie hoofdstuk 3 voor een korte beschrijving van het model) heeft de Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek (VITO) de opstelling waaraan door ECN is gemeten doorgerekend (Janssen, 2008). Volgens de auteurs van dat rapport worden de fijnstofconcentraties redelijk goed gemodelleerd. De verschillen tussen metingen en berekeningen suggereren dat de ruimtelijke verspreiding van fijn stof in het model wordt overschat, mogelijk als gevolg een te hoge

³ Figuur verkregen van Ernie Weijers, ECN, weergegeven met toestemming.

diffusieparameterisatie. In tegenstelling tot de metingen vinden de ENVI-met berekeningen achter de barrière een daling van de concentraties tot circa 10% voor zowel PM₁₀ als PM_{2.5}.



Figuur 4 Uitgemiddelde en genormaliseerde PM₁₀ waarden op de referentie- (rood) en de vegetatielijn (groen). De foutenvlag geeft de spreiding op de metingen weer.

Bron: Janssen, 2008

De NO-concentraties worden volgens de auteurs goed beschreven door het model. Achter de groenstructuur worden reducties tot 30% gemodelleerd die overeenkomen met de meetwaarden. Deze afname is grotendeels het gevolg van de toegenomen reactie van NO met ozon, leidend tot hogere NO₂-concentraties. Het model berekent overigens lagere NO₂-concentraties achter het groen dan door ECN zijn gemeten.

De meeste gevonden effecten van het groen op de concentraties zijn volgens de berekeningen toe te schrijven aan de aerodynamische effecten, de beïnvloeding van de stroming door het groen. Volgens de studie heeft depositie slechts een beperkte impact op de afname van de concentraties achter het groen. Ook bij de resultaten van VITO moet worden bedacht dat alle gerapporteerde effecten op de concentraties ten opzicht van het totaal zijn uitgedrukt, dus niet ten opzichte van de wegbijdrage. Aangezien de wegbijdragen kleiner zijn dan de achtergrondconcentraties is het effect van het groen op de wegbijdrage relatief groter. Hoe veel is echter niet bekend maar een factor twee is niet onmogelijk. De nog lopende metingen (zie sectie 2.2) zullen hierover uitsluitsel moeten geven.

Statusoverzicht en modellering aan groen langs snelwegen door TNO

In 2004 heeft TNO, samen met Plant Research International (PRI), een onderdeel van de universiteit van Wageningen, een studie uitgevoerd naar de toenmalige 'state of the art' met betrekking tot de effecten van groen op de luchtkwaliteit (Wesseling et al., 2004). Afgezien van een literatuuronderzoek is ook zelf theoretisch onderzoek gedaan naar de effecten van groenelementen langs een snelweg. Op basis van algemene stromingsformules is een model opgesteld om de fractie fijn stof die bij doorstroming van een groenelement wordt uitgefilterd in te schatten. Tevens is gekeken naar de stromingseffecten langs een barrière langs een weg, in het bijzonder de verdeling van het aandeel lucht die door de barrière gaat en het aandeel lucht dat eroverheen gaat.

De belangrijkste conclusies zijn de volgende:

- Er zijn schattingen gemaakt van de effecten van poreuze groenelementen op de luchtkwaliteit. Afhankelijk van de exacte situatie vangen groenelementen onder gemiddelde meteorologische omstandigheden en bij een uniforme concentratieverdeling in de lucht maximaal 15-20% van de PM_{10} af en maximaal 10% van de NO_2 .
- Vooral de grotere deeltjes, zoals bijvoorbeeld PM_{20} tot PM_{50} , worden volgens het model sterk gefilterd. De filterende werking van groen voor kleinere deeltjes, zoals PM_1 tot $PM_{2.5}$, is zeer klein, in de orde van procenten of minder. Het effect op de PM_{10} -concentraties is beperkt. De reden is dat de kleinere deeltjes de luchtstroming grotendeels volgen terwijl de grotere deeltjes, door hun grotere massa, eerder op een takje of blaadje botsen en daarop blijven plakken.
- Ten gevolge van een poreus groenelement langs de weg neemt de windsnelheid af waardoor direct achter het groenelement juist weer een verhoging van de concentratie van NO_2 en PM_{10} kan optreden.
- De inzet van groenelementen om luchtkwaliteitsknelpunten langs snelwegen op te lossen wordt betwijfeld. Groenelementen op iets grotere afstand tot een snelweg kunnen naar verwachting wel een (beperkt) positief op de daarachter gelegen gebieden hebben.
- Op basis van de beschikbare literatuur is geschat dat het effect van groen op de grootschalige concentraties van NO_2 en PM_{10} in de orde van maximaal 1% zal zijn.

In het rapport wordt verder geconstateerd dat een geluidsscherm op korte afstand van een weg vermoedelijk effectiever is dan een groenelement. De door TNO gemodelleerde effecten van een groenelement zijn in de metingen van ECN teruggevonden.

Modelstudies door de WUR

Groen langs de N201

In opdracht van de provincie Noord-Holland heeft Alterra onderzocht in hoeverre een aantal geplande groengebieden in het plangebied van de N201 kunnen bijdragen aan een verlaging van de achtergrondconcentratie nabij het geplande nieuwe tracé van de N201 (Van Hove, 2005). In de studie is gekeken naar het deel van het tracé bij Uithoorn, Aalsmeer en Amstelveen. Omdat tot op heden nog geen gevalideerde modellen voor dit soort berekeningen beschikbaar zijn heeft de auteur op basis van een zogenaamd ‘boxmodel’ een aantal ruwe schattingen gemaakt van de mogelijke effecten. Het gaat in de studie om drie stukken bos, van 60, 85 en 200 hectares. Voor de schattingen is uitgegaan van een mix van 90% loofbomen en 10% naaldbomen. In de rapportage wordt expliciet stilgestaan bij de beperkingen van de studie. De algehele conclusie is:

‘In deze studie zijn ruwe schattingen gemaakt waaruit kan worden geconcludeerd dat het effect waarschijnlijk gering zal zijn (<1%). De geplande bosgebieden zijn te klein om een meetbare verlaging van de achtergrondconcentratie aan fijn stof nabij de N201 te bewerkstelligen. Dit geldt waarschijnlijk ook indien de geplande groengebieden bestaan uit naaldbos om het maximale effect te bereiken. Deze resultaten zijn in overeenstemming met literatuurgegevens.’

De genoemde effecten van kleiner dan 1% hebben betrekking op de grootschalige concentraties. Ten aanzien van het effect van de bospercelen op de luchtkwaliteit in de percelen zelf wordt geconcludeerd:

‘Het fijn stof komt terecht op het bladerdek en in de randen van het bos, waardoor de luchtkwaliteit onder het bladerdek relatief goed is. De geplande bosgebieden kunnen dus wel belangrijke oases van betere luchtkwaliteit vormen, temeer aangezien zij ook de concentraties van andere luchtverontreinigingen zoals stikstofdioxide kunnen verlagen. In combinatie met recreatie zouden deze gebieden zeer waardevol kunnen zijn voor bewoners in het gebied.’

De betreffende afname is echter niet in de studie zelf berekend of geschat maar overgenomen uit eerder werk uit het buitenland.

Optimalisatie van geluidsschermen

In 2005 is door de WUR het rapport ‘Optimalisatie van geluidsschermen voor verbetering van de luchtkwaliteit’ uitgebracht (Hofschreuder et al., 2005). In het rapport worden concentraties berekend langs een kale weg en langs wegen met daarnaast een kaal geluidsscherm, een poreus geluidsscherm, een begroeid geluidsscherm en situaties met een voorscherm c.q. groenstrook. De berekeningen zijn echter niet met een (gebruikelijk) Gaussisch model of een variant daarop verricht maar met een boxmodel dat de weg en de directe zijkant dekt en dus van geheel andere aard is dan het boxmodel dat bij de studie aan de N201 is gebruikt. Hierbij worden de verkeersemisies geacht instantaan en uniform op te mengen tot een hoogte van 5 meter. De invloed van het scherm op het concentratieprofiel wordt als

verwaarloosbaar aangenomen. Een kaal scherm heeft volgens de berekeningen een verhogend effect op de PM_{10} -concentraties, variërend van 2% op 4 meter naast de weg tot 8% op 64 meter naast de weg. Deze algemene, en met afstand toenemende, verhoging wordt in geen enkele andere berekening of windtunnelmeting aan schermeffecten gevonden. Voor de depositieberekeningen aan begroeide schermen wordt een zeer intensief contact tussen de lucht en het groen aangenomen. Onder die aannames leidt de aangenomen depositie tot een sterke afname van de PM_{10} -concentraties achter de schermen. Afhankelijk van de aangenomen configuratie en de atmosferische condities worden concentratieafnames tot ruim 80% berekend. Voor een met klimop begroeid scherm worden reducties tot 30% berekend.

Gezien het afwijkende gebruikte model, de resultaten hiervan voor de situatie van een kaal scherm en de aannames met betrekking tot het contact tussen de lucht en de begroeiing is lastig in te schatten in hoeverre een realistisch beeld is gegeven van de situatie naast een weg, eventueel met een scherm.

2.2 Lopende IPL onderzoeken

In het kader van het InnovatieProgramma Luchtkwaliteit (IPL) van Rijkswaterstaat worden momenteel verschillende meetprogramma's uitgevoerd (zie ook <http://www.ipluchtkwaliteit.nl/>).

Door de grootschalige opzet van de IPL onderzoeken kan expliciet niet worden uitgesloten dat de inzichten in de effecten van groenstroken langs een rijksweg nog iets zullen veranderen.

IPL Schermeffecten, Harderwijk

Vlakbij Harderwijk, langs de A28, is een proeftuin ingericht om de effecten van geluidsschermen op de luchtkwaliteit te meten. Afgezien van 'kale' geluidsschermen van verschillende hoogtes worden ook de effecten van zogenaamde geoptimaliseerde schermen gemeten. Een van deze schermen betrof een poreus scherm van groen op gespannen draden. Hierbij is het idee dat de doorstromende lucht door het groen wordt gefilterd. De resultaten van de verschillende metingen worden in de loop van 2009 verwacht.

IPL Groeneffecten, Vaassen

Op dezelfde locatie langs de A50 bij Vaassen als waar in 2006 gedurende een aantal dagen door ECN aan de effecten van groen is gemeten loopt een vervolgstudie. Zowel gedurende de zomer als gedurende de winter van 2008 wordt door ECN, TNO en PRI een aantal weken lang het effect van het groen op de luchtkwaliteit gemeten. De resultaten hiervan worden met behulp van het CFD model Pan-Air doorgerekend. De resultaten van de metingen worden in de loop van 2009 verwacht.

IPL Groeneffecten, Valburg

Op een locatie langs de A50 bij Valburg wordt door een consortium van Stadsregio Arnhem Nijmegen, Wageningen UR (Alterra, Animal Science Group, Meteorologie en Luchtkwaliteit), KEMA en Integralis PP het effect van het groen op de luchtkwaliteit gemeten. Een aandachtspunt bij dit onderzoek is het effect van verschillende soorten bomen langs de weg, loofbomen versus naaldbomen. De resultaten van het onderzoek worden met behulp van ENVI-met doorgerekend. De resultaten van de metingen worden in de loop van 2009 verwacht.

2.3 Overige modellen en methoden

Los van de hierboven genoemde onderzoeken zijn er in Nederland publicaties verschenen waarin zeer grote effecten van groen worden gesuggereerd, soms voor stikstofdioxide maar vooral voor fijn stof. Jaargemiddelde fijnstofreducties van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en afnames van het aantal etmaaloverschrijdingen tot circa 90% worden hierbij geclaimd. De onderliggende rekenmethoden zijn echter niet openbaar beschreven of beschikbaar. De grote claims zijn tot op heden door geen enkel ander model en door geen enkel onafhankelijk experiment ondersteunt. Wegens het ontbreken van de details van de rekenmethoden kan niet volledig worden uitgesloten dat de betreffende rekenmethoden een wetenschappelijke basis hebben.

3 Luchtkwaliteitonderzoeken buiten Nederland

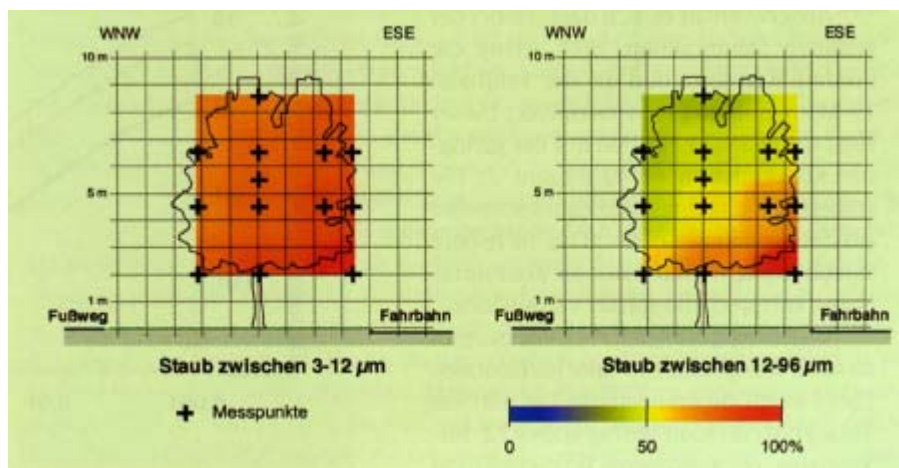
De hier besproken onderzoeken en overzichten zijn zeker niet alles wat er gedurende de afgelopen jaren in het buitenland heeft plaatsgevonden. Het zijn echter wel de onderzoeken en overzichten waar in discussies over groen en luchtkwaliteit regelmatig naar verwezen wordt.

Workshop naar het filterend potentieel van groen

In juni 2007 heeft er in Berlijn een workshop plaatsgevonden om het potentieel van groen voor de filtering van fijn stof te bespreken (Endlicher et al., 2007). Een enkele bijdrage bestond uit presentatie van concrete meetresultaten en wordt hieronder nader besproken (Langner, 2007). De meeste andere bijdragen volstonden met het schetsen van het potentieel op basis van verschillende modellen, zonder deze met metingen te onderbouwen. Als zodanig heeft de workshop niet in concrete nieuwe inzichten geresulteerd.

Het effect van enkele bomen langs een weg

Door Langner (2007) is onderzoek naar depositie- en concentratiemetingen aan losse bomen (*Acer Platanoides*) langs een drukke weg gepresenteerd. Een betrekkelijk uitgebreide bespreking van dezelfde metingen was eerder ook al elders gepubliceerd (Langner, 2006). Uit het onderzoek is gebleken dat vooral de grotere deeltjes, in het onderzoek gaat het dan om PM_{12} - PM_{96} , op de bladeren deponeren. De gemeten concentraties van kleinere deeltjes, PM_3 - PM_{12} , zijn dermate uniform over de boomkruin dat wordt aangenomen dat het effect van de boom op deeltjes van deze grootte gering is.

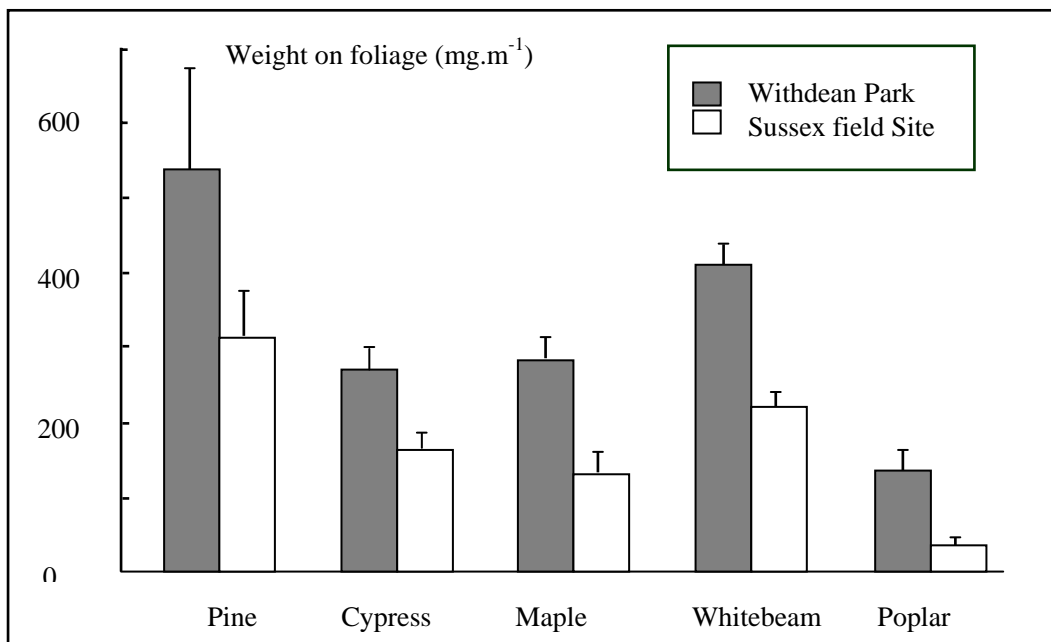


Figuur 5 Gemiddelde relatieve concentratie van twee stoffracties binnen de boomkruin, loodrecht op de weg. Bron: Langner, 2006

Uit depositiemetingen in de groenelementen is gebleken dat het potentieel voor filtering van PM₁₀ van de verkeersbijdrage circa 11% bedraagt. Ten opzichte van de totale PM₁₀ belasting bedraagt het potentieel voor filtering van PM₁₀ circa 4%.

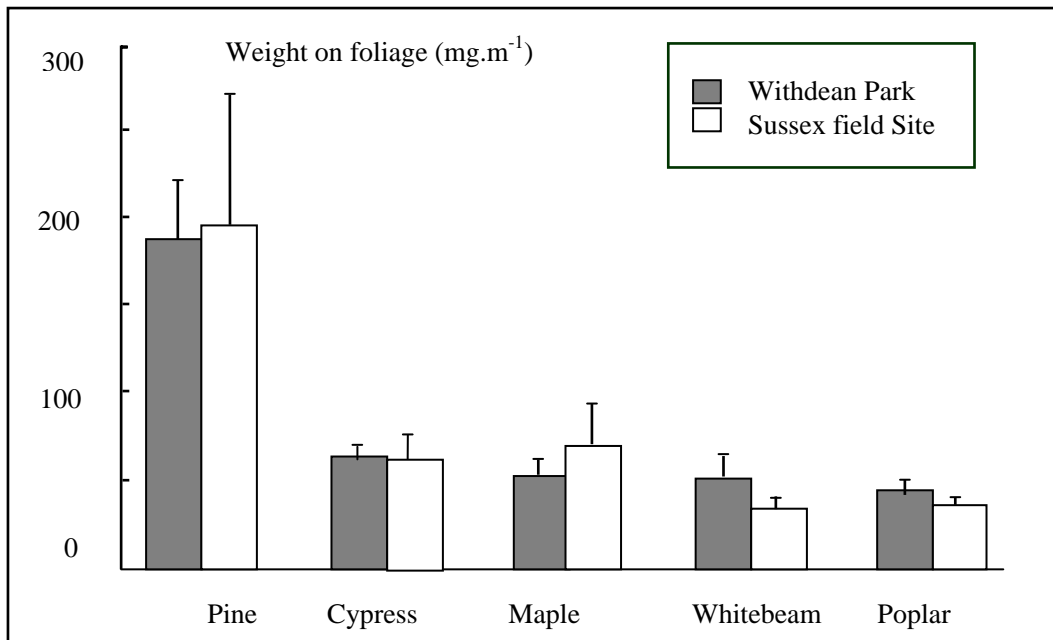
Depositie in bomen langs een weg

Iets ouder maar wel concreet is een studie van Beckett et al. (2000). Hierin zijn op twee locaties, een achtergrondlocatie en een sterk door verkeeremissies belaste locatie, metingen verricht aan depositie van verontreiniging op verschillende soorten bomen. Het gaat om pijnbomen, cipressen, esdoorn, meelbes en populier. De metingen zijn voor twee deeltjesgroottes verricht, fijnere met een gemiddelde diameter van 2 µm en grotere met een gemiddelde diameter van 15-18 µm. Uit de metingen bleek dat door de bladeren van de door wegverkeer belaste bomen aanzienlijk meer grotere deeltjes worden gevangen dan door de bladeren van de bomen op de achtergrondlocatie, zie Figuur⁴ 6. Voor de fijnere deeltjes maakt de locatie blijkbaar niet veel uit, op beide locaties wordt grofweg evenveel stof gevangen, zie Figuur 7.



Figuur 6 Massa van grotere deeltjes gevangen door bladeren op een verkeersbelaste locatie (Withdean Park) en een achtergrondlocatie (Sussex field site). Bron: Beckett, 2000

⁴ Wegens de matige grafische kwaliteit van de oorspronkelijke figuren zijn ze overgetekend.



Figuur 7 Massa van fijnere deeltjes gevangen door bladeren op een verkeersbelaste locatie (Withdean Park) en een achtergrondlocatie (Sussex field site). Bron: Beckett, 2000

Uit de metingen van Beckett volgt dus, net als uit de studie van Langner (2006) dat de filterende werking van bomen langs een weg voor de fijnere stofdeeltjes aanzienlijk kleiner is dan die voor grotere stofdeeltjes.

Modellering met ENVI-met door VITO (Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek)⁵

ENVI-met is een 3D numeriek stromingsmodel (CFD – Computational Fluid Dynamics) waarbij het te simuleren domein wordt opgedeeld in een eindig aantal discrete punten. Het grid dat op die manier ontstaat, bestaat uit reguliere kubusvormige cellen. Per cel worden een aantal fysische parameters berekend zoals windsnelheid en windrichting, temperatuur en vochtigheid maar ook concentraties van deeltjes en gassen. De resolutie van een cel bedraagt 1 tot 10 meter en een typisch domein beslaat uit 60 × 60 × 30 roostercellen. Afhankelijk van de complexiteit van het domein en de beschikbare rekencapaciteit kan dit uiteraard uitgebreid worden. ENVI-met is ontwikkeld door het team van prof. Michael Bruse van de Universiteit van Mainz (www.envi-met.com) en uitgebreid met een luchtkwaliteitmodule door VITO (www.vito.be).

⁵ Deze korte beschrijving van de mogelijkheden van ENVI-met is op verzoek van het RIVM aangeleverd door Stijn Janssen, Bart De Maerschalck, Clemens Mensink - VITO, 20 juni 2008

ENVI-Met onderscheidt zich allereerst van andere stedelijke CFD-modellen door de uitgebreide set meteorologische parameters die berekend worden. Grootheden zoals luchtvochtigheid en straling die belangrijk zijn voor de beschrijving van het microklimaat en de luchtkwaliteit worden expliciet meegenomen in de berekeningen. Daarnaast onderscheidt het model zich ook door de gedetailleerde wijze waarop vegetatie in rekening wordt gebracht. Aan elk kubusvormig element van het modeldomein kunnen bepaalde fysische eigenschappen verbonden worden die effect kunnen hebben op de aerodynamische stroming, lokale temperatuur en luchtvochtigheid, en het gedrag van deeltjes en gassen. In geval van vegetatie wordt een cel als een meer of minder poreus element beschouwd dat weerstand biedt tegen de stroming en bovendien in staat is stof en gassen op te nemen (absorptie van gassen in de stomata, invangen van deeltjes) of de samenstellingen te wijzigen. De mate waarin dit gebeurt, hangt af van de lokale klimatologische omstandigheden, de concentraties van luchtverontreiniging en van de biologische eigenschappen van de vegetatie. De impact kan bijgevolg sterk variëren in tijd (seizoensgebonden, weersafhankelijk et cetera) maar ook lokaal in ruimte (vorm en dichtheid van de kruin).

Dankzij de eigenschap van het model om CFD berekeningen te combineren met een gedetailleerde vegetatiemodule, wordt het ENVI-met model momenteel ingezet in het kader van onderzoek geïnitieerd door het Innovatie Programma Luchtkwaliteit (IPL, www.ipluchtkwaliteit.nl). Binnen dit onderzoek wordt getracht om een antwoord te vinden op de vraag wat de impact is van vegetatie op luchtkwaliteit langs snelwegen.

Modellering van de effecten van stedelijk groen

Het Benefits of Urban Green Space (BUGS) project was een samenwerkingsverband tussen een aantal Europese kennisinstellingen waarbinnen de effecten van groen in stedelijk gebied zijn onderzocht. Het ging hierbij om meteorologische effecten, geluid en luchtkwaliteit. De resultaten van het project zijn uitgebreid beschreven door De Ridder (2003), (2004a) en (2004b).

Ten aanzien van luchtkwaliteit is in de studie geconcludeerd dat op het niveau van een park of een grote wijk PM_{10} reducties in de orde van enkele microgrammen mogelijk zijn. Deze reductie wordt in de studie echter vrijwel geheel gehaald door de afschermdende werking van groen in een park. De depositie van PM_{10} op of in het groen is praktisch verwaarloosbaar (Bruse et al., 2002).

Met betrekking tot de effecten van bomen in een street canyon wordt opgemerkt dat dit kan resulteren in verhoogde concentraties in de straat. Hoewel, volgens de studie, er wel beperkt sprake is van depositie, is het afschermdende effect van de bomen aanzienlijk groter.

Modellering van depositie in stedelijk groen

In de Verenigde Staten wordt al geruime tijd door de USDA Forest Service onderzoek verricht naar de depositie van verontreiniging in groen, met name in stadsgroen, zie Nowak (1994) en Nowak et al. (2000). In Wesseling et al. (2004) wordt een samenvatting van verschillende studies van Nowak gegeven. De gemiddelde effecten van het groen op de totale concentraties in de buitenlucht gedurende

de periode dat de bomen blad dragen zijn kleiner dan 1%. In beboste gebieden zijn de afnames van de concentraties maximaal 7% voor NO₂ en 11% voor PM₁₀.

Recent zijn door de USDA Forest Service luchtkwaliteitberekeningen uitgevoerd voor een groot aantal steden in de VS (Nowak, 2006). Hoewel stedelijk groen volgens de studie substantiële hoeveelheden verontreiniging kan afvangen zijn de effecten hiervan op de jaargemiddelde concentraties slechts beperkt, gemiddeld minder dan 1%.

Reductie van de (stedelijke) achtergrondconcentratie door groen

In Engeland is een studie uitgevoerd (Bealey et al., 2007) die het idee van de USDA Forest Service een stap verder voert. Niet alleen is geschat wat het effect van groen op de totale PM₁₀-concentraties is, maar ook de effecten van een uitbreiding van de hoeveelheid groen zijn geschat. Voor deze uitbreiding is een deel van de in principe beplantbare beschikbare ruimte opgevuld met groen waarna het effect op de luchtkwaliteit met behulp van berekeningen is geschat. Concentratieafnames in de orde van 2,5-7% kunnen, volgens de berekeningen, in Engeland worden gerealiseerd door 25% van de in principe beplantbare beschikbare ruimte op te vullen met groen.

In een vergelijkbare studie (McDonald et al., 2007), door deels dezelfde onderzoeksgroep, zijn detailberekeningen voor het gebied de 'West Midlands' en voor de stad Glasgow verricht. De berekende effecten op de totale PM₁₀-concentraties, indien 25% van de beschikbare beplantbare ruimte met bomen wordt gevuld, zijn respectievelijk 3% en 0,4%. Het totale ruimtebeslag dat hiermee is gemoeid is niet bekend. In het centrum van Glasgow is de verontreiniging het grootst. Hier is het effect van extra beplanting echter beperkt. De grootste effecten worden in de randen van de stad behaald, waar betrekkelijk veel ruimte voor extra beplanting beschikbaar is.

De auteurs van beide studies maken ook de opmerking dat de emissie van VOC's door bomen tot een toename van ozon en fijnstofconcentraties kan leiden. Bomen kunnen verder een bron van pollen vormen.

4 Implicaties voor humane blootstelling

In Nederland worden veel mensen blootgesteld aan luchtverontreiniging. Deze blootstelling kan gezondheidseffecten veroorzaken, variërend van benauwdheid en hoesten tot longproblemen en verergering van hart- en vaatziekten, zie Gauderman et al. (2007), Brunekreef et al. (1997) en Hoek et al. (2002). De omvang van de effecten van blootstelling aan fijn stof in Nederland is geschat op ca. 12.000-24.000 vroegtijdige sterfgevallen per jaar (Staatsen en Knol, 2005). Vanuit dat oogpunt is het belangrijk om te weten op welke manier de inzet van groen de blootstelling aan luchtverontreiniging en daarmee de gezondheid van mensen kan beïnvloeden. In dit hoofdstuk worden de implicaties van de plaatsing van groenelementen voor humane blootstelling beschreven.

4.1 Gezondheidskundig relevante fractie van luchtverontreiniging

Luchtverontreiniging is een verzamelnaam voor verschillende stoffen. NO₂ wordt als goede indicator gezien van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging. Naast NO₂ wordt vaak gekeken naar de hoeveelheid fijn stof in de lucht. Fijn stof, vaak gemeten als PM₁₀, is een verzameling van stofdeeltjes van verschillende grootte en chemische samenstelling. Fijn stof komt bij inademing op verschillende plaatsen in de luchtwegen en longen terecht al naar gelang de grootte van de deeltjes. Deeltjes kunnen uiteenlopen van ultrafijne deeltjes (PM_{0,1}) tot de grovere fractie fijn stof (PM₁₀). In het algemeen geldt: hoe kleiner de deeltjes, hoe dieper zij in de luchtwegen en longen doordringen. Er zijn aanwijzingen dat vooral de verkeersemisies zoals roetdeeltjes een belangrijke rol spelen. Deze deeltjes komen voor het grootste deel in de fractie tot PM_{2,5} voor (MNP, 2005).

Uitkomsten van metingen van ECN, zie hoofdstuk 2, lijken erop te wijzen dat groenelementen vooral de grotere stoffractie zou kunnen afvangen (tussen 2 en 10 micrometer). Een vermindering van de concentratie fijn stof, gemeten als PM₁₀, hoeft daarom niet per se een even grote vermindering van gezondheidsschade op te leveren.

4.2 Binnenstedelijke effecten van groen

Blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtverontreiniging vindt vooral binnenstedelijk plaats. Tot nu toe zijn vooral onderzoeken gedaan naar de effecten van groenelementen op concentraties verontreinigende componenten langs provinciale- en snelwegen. Een onderzoek dat wel binnenstedelijk is uitgevoerd liet geen effect zien van loofbomen op de concentratie stikstofdioxide (Bloemen et al., 2007a). Daarom is op dit moment niet te zeggen op welke manier de blootstelling van mensen in steden precies wordt beïnvloedt door plaatsing van groenelementen.

4.3 Groen en de inrichting van straten

De bijdrage van emissies van wegverkeer aan de concentratie luchtverontreiniging neemt snel af wanneer de afstand tot de weg groter wordt (Fischer, 2007). Dit is vooral zo bij componenten als roet, elementair koolstof, stikstofdioxide en ultrafijne deeltjes. Het is daarom belangrijk wegverkeer zo ver mogelijk van de direct omwonenden te plaatsen. Uit dat oogpunt is het (her)inrichten van een straat met een brede middenstrook met groenelementen niet altijd verstandig. Een brede middenberm zorgt er in de meeste gevallen voor dat de rijstroken dicht op de bebouwing komen te liggen waardoor direct omwonenden aan een nog hogere concentratie blootgesteld worden. De concentratieverlagende effecten die mogelijk te verwachten zijn van de groenelementen kunnen deze hogere concentraties hoogstwaarschijnlijk niet teniet doen, zie ook de resultaten van (Jonkers, 2008).

Wanneer twee parallelle rijen grote bomen langs een weg staan kunnen de kruinen van de bomen de weg als het ware afsluiten. Het gevolg is dat de luchtverontreiniging onder de bomen blijft hangen en deze veel moeilijker mengt met relatief schone lucht. De concentraties laag bij de weg kunnen daarom hoog blijven. Wanneer bebouwing dicht op de weg staat kunnen de bewoners hierdoor worden blootgesteld aan hogere concentraties luchtverontreiniging dan strikt noodzakelijk is.

5 Voorlopige conclusies

5.1 Overzicht van effecten

In onderstaande tabel worden de eerder besproken berekende en gemeten effecten van groen op de NO₂ en PM₁₀-concentraties samengevat.

Tabel 1 Overzicht van gerapporteerde effecten van groen op de luchtkwaliteit.

Bron	Inzet	Effect NO ₂ *	Effect PM ₁₀ *
Wesseling et al., 2004	Langs snelweg	kleiner dan 10%	kleiner dan 15-20%
Bloemen et al., 2007a	Langs snelweg	'zeer gering'	-
Bloemen et al., 2007b	Binnenstedelijke weg	kleiner dan 10-20%	-
Weijers et al., 2006	Langs snelweg	10% <u>toename</u> tot 20% <u>afname</u>	(a)
Janssen et al., 2008	Langs snelweg	kleiner dan 10% (b)	kleiner dan 10% (b)
Hove, 2005	Groot gebied	-	kleiner dan 1%
Nowak, 2006	Groot stedelijk gebied	kleiner dan 1%	kleiner dan 1%
Bealey, 2007	Groot gebied	-	2-7%
McDonald, 2007	Groot (stedelijk) gebied	-	3% (ruraal gebied), 0.4% (urbaan gebied)
Langner, 2007	Binnenstedelijke weg	-	4%
Beckett, 2000	Binnenstedelijke weg	-	(c)
Hofschreuder, 2005	Langs snelweg	-	tot 80% (d)
De Ridder, 2003	Street canyon	-	netto negatief
De Ridder, 2004	Stadspark / wijk	-	'enkele microgrammen'
Jonkers, 2008	Street canyon	20-60% <u>hogere</u> verkeersbijdrage	20-60% <u>hogere</u> verkeersbijdrage

- (*) Voor wegen is het effect over het algemeen ten opzichte van de wegbijdrage.
- (a) Het effect van het groen op de deeltjes is complex. Er treedt wel depositie op maar de concentraties achter het groen zijn hoger dan op het stuk zonder groen.
- (b) De door Janssen et al. gerapporteerde effecten zijn ten opzichte van de totale concentratieniveaus. Relatief ten opzichte van de wegbijdragen zijn de effecten dus groter. Een factor twee groter is hierbij niet onmogelijk.
- (c) Weinig depositie van kleinere deeltjes in bomen langs een binnenstedelijke weg.
- (d) Zie de opmerkingen hierbij in hoofdstuk 2.

5.2 Grootschalige inzet van groen

Op basis van de momenteel beschikbare informatie kan worden vastgesteld dat de effecten van groen in of nabij steden op de totale PM₁₀-concentraties beperkt zijn. Hoewel stedelijk groen grote hoeveelheden verontreiniging kan afvangen zijn de effecten hiervan op de jaargemiddelde PM₁₀-concentraties beperkt, gemiddeld minder dan 1%. Door het opvullen van beschikbare plantbare ruimte

met groen kan het effect op de luchtkwaliteit iets worden vergroot, tot 2,5-7%. Dit betreft de grootschalige PM₁₀-concentraties, niet de effecten van lokale bronnen als wegen. Op de bijdragen hiervan heeft het aanplanten van groen in de wijde omgeving geen effect.

Er is weinig concreet bekend over het effect van groen in of nabij steden op de totale NO₂-concentraties.

5.3 Inzet van groen langs wegen

Uit de nu beschikbare informatie kan voorzichtig worden geconcludeerd dat groen direct langs een weg slechts een beperkt effect op de (totale) PM₁₀-concentraties heeft. Ingeval van een aaneengesloten groenstrook langs een snelweg kan niet worden uitgesloten dat er direct achter het groen een verhoging van de concentraties optreedt. Waar een afname van de concentratie optreedt, lijkt dat op basis van de beschikbare informatie vooral de deeltjes groter dan circa 2-3 µm te betreffen. Depositie lijkt een relatief kleine rol te spelen bij de afname van de PM₁₀-concentraties.

De resultaten van verschillende studies wijzen er op dat bomen direct langs een stadsweg vooral een effect op de grotere deeltjes hebben. Volgens de beschikbare metingen zijn dit met name deeltjes groter dan circa 10 µm. De beperkte metingen die beschikbaar zijn op het gebied van NO₂ laten, binnen de onzekerheden, geen effecten van groen in een straat op de NO₂-concentraties zien.

Er lopen momenteel nog een aantal onderzoeken van Rijkswaterstaat naar de effecten van groen op de luchtkwaliteit langs snelwegen en naar de combinaties van geluidsschermen met groen. Door de grootschalige opzet van deze onderzoeken kan niet worden uitgesloten dat de inzichten in de effecten van groenstroken langs een rijksweg in de loop van 2009 nog zullen veranderen.

5.4 Implicaties voor blootstelling en gezondheid

Momenteel kan voorzichtig uit de beschikbare gegevens worden geconcludeerd dat met name de grove fractie fijn stofdeeltjes door groen eventueel afgevangen wordt. Er zijn aanwijzingen dat juist de zeer fijne deeltjes in het bijzonder schadelijk voor de gezondheid zijn. Een vermindering van de concentratie fijn stof, gemeten als PM₁₀, hoeft daarom niet noodzakelijkerwijs een even grote vermindering van gezondheidsschade op te leveren.

Binnenstedelijk kunnen enkele aspecten van de plaatsing van groenelementen voor de blootstelling van mensen averechts werken. Zo kan de inrichting van straten er in sommige gevallen voor zorgen dat, als een groenstrook in het midden van de straat wordt gesitueerd, de rijbanen dicht(er) op de woningen worden geplaatst of dat bomen de weg 'afsluiten' van relatief 'schone' lucht. In beide gevallen kan een verhoogde blootstelling niet worden uitgesloten.

Literatuur

Bealey W.J., A.G. McDonald, E. Nemitz, R. Donovan, Estimating the reduction of urban PM₁₀ concentrations by trees within an environmental information system for planners, *Journal of Environmental Management* 85 (2007) 44–58.

Beckett K.P., P. Freer-Smith, and G. Taylor, Effective tree species for local air quality management, *Journal of Arboriculture* 26(1), January 2000.

Bloemen H.J.T., Uiterwijk W., Putten E. van, Wesseling J., De invloed van bebouwing en vegetatie op luchtkwaliteit, RIVM rapport 729999003, 2007a.

Bloemen H.J.T., Uiterwijk W., Wesseling J., Invloed van vegetatie op stikstofdioxideniveaus. Een oriënterend onderzoek, RIVM rapport 680705003, 2007b.

Brunekreef B., Janssen N.A.H., de Hartog J., Harssema H., Knape M., van Vliet P. Air Pollution from truck traffic and Lung Function in Children Living near Motorways. *Epidemiology*. *Epidemiology* 1997; 8:298-303.

Bruse M., M. Bürger, E. Lahme, A. Bohnstedt, K. Jesionek en A. Ihde, BUGS: Measurements and model simulations in WP MICRO, Deliverable 18, Part 2: Year 2, Ruhr-University Bochum, 2002.

Endlicher W., O. Gorbachevskaya, C. Kappis, M. Langner (Hrsg.), Tagungsband zum Workshop über den wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotenzial (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen, am 1. Juni 2007 in Berlin/Adlershof, BERLINER GEOGRAPHISCHE ARBEITEN 109, Berlin 2007

Fischer P., Marra M., Wesseling J., Cassee F.R. Invloed van de afstand tot een drukke verkeersweg op de lokale luchtkwaliteit en de gezondheid: een quick scan. Briefrapport id: 863001005. 2007. Bilthoven, RIVM.

Gauderman W.J., Vora H., McConnell R., Berhane K., Gilliland F., Thomas D. et al. Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study. *Lancet* 2007; Online January 26, 2007(DOI:10.1016/S0140-6736(07)60037-3).

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

Hofschreuder P.(A&F), F. Tonnejck (PRI), E. Hofschreuder (Sight), Optimalisatie van geluidsschermen voor verbetering van de luchtkwaliteit, WUR, Project code. 630-5490100, Augustus 2005.

Hove L.W.A. van, De invloed van de geplande groengebieden nabij de N201 op de achtergrondconcentratie van fijn stof, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, 2005.

Janssen S., B. de Maerschalcck, J. Vankerkom en J. Vliegen, Modelanalyse van de IPL meetcampagne langs de A50 te Vaassen ter bepaling van het effect van vegetatie op luchtkwaliteit langs snelwegen; ENVI-met modellering van de ECN 2006 meetcampagne te Vaassen, Eindrapport, VITO rapport: 2008/IMS/R/241, juli 2008.

Jonkers S. Effecten van bomen in het CAR II model. TNO rapport 2008-U-R0234/B, 2008.

Langner, M., Natürliche Filter: Die Filtering von Feinstauben durch Stadtbäume, Das TASPO magazin, 3, 2006.

Langner, Staubumsatz in verkehrsexponierten Baumkronen und Partikelverteilung in städtischen Grünflächen, in Tagungsband zum Workshop über den wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotenzial (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen, ed. Endlicher, 2007.

McDonald A.G., W.J. Bealey, D. Fowler, U. Dragosits, U. Skiba, R.I. Smith, R.G. Donovan, H.E. Brett, C.N. Hewitt, E. Nemitz, Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM₁₀ in two UK conurbations, Atmospheric Environment 41 (2007) 8455–8467.

MNP, Fijn stof nader bekeken; de stand van zaken in het dossier fijn stof. Rapport 500037008. 2005. Bilthoven, Milieu- en Natuur Planbureau.

Nowak D.J., D.E. Crane, J.C. Stevens, Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, Urban Forestry & Urban Greening 4, (2006) 11 5-123.

Nowak D.J.. Air pollution removal by Chicago's urban forest, pp 63–82. In McPherson, E.G., D.J. Nowak, and R.A. Rowntree (Eds.). 1994. Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station General Technical Report NE-GTR-186.

Nowak D.J., Crane D.E., Stevens J.C., and Ibarra M., in review, Brooklyn's Urban Forest. USDA Forest Service Gen. Tech. Report NE-290, 2000.

Ridder K. de, Benefits of Urban Space (BUGS), First Research Brief, Contract EVK4-CT-2000-00041, Vito, 2003.

Ridder K. de, Benefits of Urban Space (BUGS), Research Summary, Contract EVK4-CT-2000-00041, Vito, December 2004a.

Ridder K. de, V. Adamec, A. Banuelos, M. Bruse, M. Bürger, O. Damsgaard, J. Dufek, J. Hirsch, F. Lefebvre, J.M. Perez-Lacorzana, A. Thierry, C. Weber, An integrated methodology to assess the benefits of urban green space, *Science of the Total Environment* 334–335, 489–497, 2004b.

Rijkswaterstaat, Kennisdocument Vegetatie-luchtkwaliteit ten behoeve van het uitvoeren van een pilotproject langs rijkswegen, DWW 2006-094 /IPL 06.00019, 2006.

Staatsen B.A.M., Knol A.B. Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980 - 2020. RIVM report 500029001. 2005. Bilthoven, RIVM.

Weijers E.P., G.P.A. Kos, W.C.M. van den Bulk en A.T. Vermeulen, Onderzoek naar de luchtkwaliteit rondom een vegetatiestrook langs de snelweg, ECN rapport E--07-011, 2006.

Weijers E., G. Kos en T. Cornelissen, Groen langs de weg, *Tijdschrift Lucht*, Sdu uitgevers, april 2008.

Wesseling, J., J. Duyzer, A. Tonneijck, C. van Dijk (2004): Effecten van groenelementen op NO₂ en PM₁₀ -concentraties in de buitenlucht, TNO rapport R2004/383.

Appendix 1 Wettelijk kader

In de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007 (RBL2007) wordt precies omschreven op welke manier in Nederland aan de luchtkwaliteit rond wegen kan worden gerekend. De toegestane methoden worden omschreven evenals de hierbij te gebruiken randcondities. Voor de maatregel van het plaatsen van geluidsschermen om de luchtkwaliteit te verbeteren wordt in de RBL2007 beschreven op welke wijze de effecten op de luchtkwaliteit kunnen worden berekend. Om de effecten van maatregelen die de emissies van voertuigen beïnvloeden te bepalen stelt het ministerie emissiefactoren beschikbaar. Andere maatregelen dan hierboven genoemd komen in de regeling niet voor en kunnen dan ook niet in het kader van de wet worden ingezet. Het is evenwel mogelijk om het ministerie van VROM toestemming te vragen om gebruik te maken van andere gegevens⁶ dan die welke door VROM beschikbaar zijn gesteld. Tevens kan toestemming worden gevraagd om een andere bepalingsmethode voor de luchtkwaliteit te gebruiken⁷ voorzover deze ‘passend’ en ‘kwalitatief gelijkwaardig aan de standaardmethode’ is.

Voor de bepaling van de effecten van groen op de luchtkwaliteit zijn tot op heden (zomer 2008) nog geen rekenmethoden of maatreegeffecten in de wet opgenomen. Mogelijke effecten van groen kunnen momenteel dus niet met behulp van een goedgekeurde rekenmethode in rekening worden gebracht. Als gevolg kunnen ze daarom niet als concrete maatregelen om de luchtkwaliteit kwantitatief te verbeteren in een luchtkwaliteitplan worden opgenomen. Mogelijk wordt op termijn de berekening van groeneffecten tot op zekere hoogte in de RBL opgenomen. Zo lopen binnen het project Innovatie Platform Luchtkwaliteit (IPL) van Rijkswaterstaat verschillende projecten met groenelementen die wellicht tot een kwantificering van groeneffecten kunnen leiden. Indien deze kwantificering zodanig robuust is dat de effecten kunnen worden gegeneraliseerd dan kan Rijkswaterstaat het ministerie van VROM verzoeken om deze effecten in de RBL op te nemen.

De toetsing van de andere gegevens of andere methoden zal in de praktijk plaatsvinden door het RIVM namens de minister van VROM. Na deze toetsing brengt het RIVM een advies uit aan de minister van VROM die uiteindelijk een besluit neemt. Experimenten die er op zijn gericht om uiteindelijk tot de toevoeging van een maatregel binnen de RBL te leiden dienen volgens het RIVM in principe aan verschillende criteria te voldoen om er voor te zorgen dat de eventueel gemeten effecten op de luchtkwaliteit ook daadwerkelijk aan de genomen maatregel kunnen worden toegeschreven.

⁶ Artikel 67 van de RBL2007

⁷ Artikel 71 van de RBL2007

De criteria zijn de volgende:

- De onderliggende experimenten dienen conform de relevante referentiemethoden (of gelijkwaardig) te zijn uitgevoerd met apparatuur waarvan de gelijkwaardigheid expliciet tijdens de experimenten is vastgesteld. De statistische onzekerheden moeten bekend zijn en systematische effecten dienen aantoonbaar te zijn uitgesloten.

Oftewel, de experimenten dienen volgens ‘good practice’ regels te zijn uitgevoerd en de onzekerheden dienen te zijn vastgesteld. Aangezien het praktisch ondoenlijk is om voor de meting van fijn stof enkel referentiemethoden te gebruiken is de inzet van andere apparatuur niet te vermijden. Hierbij dient echter wel door een concrete vergelijking met referentieapparatuur te worden aangetoond dat de ingezette apparatuur voldoende recht doet aan de feitelijke situatie. Hierbij moet onder andere worden gedacht aan de gevoeligheid voor vocht, temperatuurafhankelijkheid van de apparatuur en de gevoeligheid van de apparatuur voor de verdeling van de deeltjesgrootte. Deze relaties dienen zoveel mogelijk op de locatie van de metingen te worden bepaald. Eventuele correctiefactoren die hier uit volgen dienen van onzekerheden te worden voorzien.

- De voorgestelde maatregelen moeten toepasbaar en generaliseerbaar zijn binnen de RBL.

De tijdens de experimenten gemeten effecten moeten representatief zijn op dezelfde tijdsbasis als waarop de grenswaarden gelden. Een kort lopende meting is bijvoorbeeld niet geschikt om tot een effect op jaargemiddelde basis te leiden. Binnen de RBL kunnen geen sterk locatiespecifieke maatregelen worden gedefinieerd. De voorgestelde maatregel moet daarom voldoende simpel en/of algemeen zijn dat deze generaliseerbaar is en in algemene termen kan worden beschreven. De maatregелеffecten dienen ook voldoende simpel te worden omschreven. Het is bijvoorbeeld niet mogelijk dat voor iedere locatie eerst een ingewikkelde stromingsberekening nodig is voordat een maatregелеffect kan worden bepaald.

- Het effect van de maatregel moet logisch en helder uit de fysica en chemie van de maatregel volgen en verder ook generaliseerbaar zijn.

Om een resultaat van een experiment te generaliseren moeten de resultaten via algemeen begrijpelijke en wetenschappelijke principes uit de getroffen maatregel volgen. Voorbeelden zijn aanpassingen van stromingspatronen door maatregelen of verhoogde depositie en/of adsorptie ten gevolge van langs de weg getroffen voorzieningen. Het effect van een zogenaamde ‘black box’ is per definitie niet generaliseerbaar.

- Het maatregелеffect moet voor een lokale maatregel groter zijn dan de 2σ onzekerheid in het effect.

Het effect van de maatregel moet dus niet alleen statistisch significant zijn maar ook nog eens extra marge hebben. De generalisatie van de maatregel in de RBL zal ook tot toepassing ervan leiden in de nodige situaties die qua omstandigheden maar beperkt lijken op die waarbij de metingen zijn gedaan. Ook in die situaties zal een maatregel naar verwachting een positief effect op de luchtkwaliteit moeten hebben.

- Het maatregel-effect moet voor een lokale maatregel niet-triviaal zijn.

Het effect van de maatregel moet buiten de ruis van een berekening vallen. Als een maatregel enkel op jaargemiddelde parameters ingrijpt dan lijkt een vereist minimum effect van circa 5% niet onredelijk. Echter, voor een concrete korte-termijn maatregel kan hierop een uitzondering worden gemaakt. Als een maatregel bijvoorbeeld alleen in de spits ingrijpt, en daar een aantoonbaar effect van tientallen procenten heeft, kan er gemiddeld over een jaar mogelijk toch een klein effect overblijven dat wel degelijk als niet-triviaal kan worden beoordeeld.

- De maatregel moet robuust en stabiel zijn in de tijd, met name betreffende het eventueel benodigde onderhoud en de werking.

Een maatregel moet een voldoende gegarandeerd effect hebben dat constant is zolang de maatregel is getroffen. Voor een betonnen geluidsscherm is dat betrekkelijk simpel. Voor een katalytische afvanginstallatie is dat, wegens degradatie, al minder simpel. Bij een groenmaatregel moet duidelijk zijn welk aspect van het groen op welke wijze bijdraagt aan het effect (stromingsbeïnvloeding of depositie). Voor dat kenmerk moet worden gezorgd dat het groen voldoende zorg krijgt om te blijven werken op de wijze die is voorzien.

- De maatregel moet een duidelijk gedefinieerd en begrensd toepassingsgebied hebben.

Het moet duidelijk zijn waar de maatregel wel en niet toepasbaar is. Langs een snelweg is over het algemeen aanzienlijk meer ruimte beschikbaar dan in een binnenstedelijke omgeving. Sommige maatregelen zijn derhalve alleen langs een snelweg mogelijk.

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl