



De invloed van de geplande groengebieden nabij de N201 op de achtergrondconcentratie van fijn stof

L.W.A. van Hove

In opdracht van Provincie Noord-Holland en Grontmij (ing. S. Jak projectleider)

15 februari 2006

05/ALT3781

©2005 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Samenvatting	4
1. Inleiding	5
2. De relatie tussen groen en luchtkwaliteit	6
2.1 Effectiviteit van fijn stof opname door groen	6
2.2 Lijnvormige en vlakvormige elementen	8
3. Het effect van groen op de fijn stof concentratie nabij de N201	11
3.1 Geplande groengebieden	11
3.2 Effect op de achtergrondconcentratie	13
3.3 Het effect op de totale concentratie	15
3.4 Interessante locaties	15
4. Conclusies en aanbevelingen	15
4.1 Conclusies	15
4.2 Aanbevelingen	16
Geraadpleegde literatuur	17
Bijlage: Schatting van de invloed van een bos op de achtergrondconcentratie van fijn stof.	19

Samenvatting

In opdracht van de provincie Noord-Holland is onderzocht in hoeverre de geplande groengebieden in het plangebied van de N201 kunnen bijdragen aan een verlaging van de achtergrondconcentratie nabij het nieuwe tracé van de N201. Een model om het effect door te rekenen is nog niet beschikbaar. Daarom zijn ruwe schattingen gemaakt. Hieruit en uit literatuurgegevens kan worden afgeleid dat het effect waarschijnlijk gering zal zijn ($< 1\%$). De geplande bosgebieden zijn te klein om een meetbare daling van de achtergrondconcentratie te bewerkstelligen. Geadviseerd wordt om onderzoek te doen naar de inzet van lijnvormige groenelementen (bomenrijen, windsingels, houtwallen) om de nadelige gevolgen van de N201 voor de fijn stof concentraties in de leefomgeving te beperken. Een gerichte inzet van lijnvormige groenelementen zou een effectieve bijdrage kunnen leveren aan een verlaging van de fijn stof concentratie nabij de N201.

1. Inleiding

In november 2004 hebben de provincie Noord-Holland en de gemeenten Aalsmeer, Uithoorn en Haarlemmermeer de Realisatieovereenkomst N201+ getekend ter bekrachtiging van het zogenaamde Masterplan N201+. Dit is het plan dat de provincie Noord-Holland heeft opgesteld voor de aanleg van de nieuwe N201 om de bebouwde kom van Aalsmeer en Uithoorn. Bovendien zorgen nieuwe aansluitingen op de A4 en de A9 voor een betere afwikkeling van het verkeer uit de regio naar de hoofdwegen. Deze maatregelen hebben een positief effect op de bereikbaarheid, leefbaarheid en verkeersveiligheid in de regio.

De gevolgen van het Masterplan N201+ voor de luchtkwaliteit zijn uitgebreid onderzocht door TNO (Weinhold 2005). In aansluiting hierop zijn door de provincie een aantal onderzoeksvragen geformuleerd naar mogelijke maatregelen om de luchtkwaliteit te verbeteren. Een van de onderzoeksvragen is: In hoeverre groenstructuren in en nabij het plangebied van de N201 kunnen bijdragen aan een vermindering van de fijn stof (PM10) concentraties? Het is namelijk bekend dat planten in staat zijn om - actief en passief – aanzienlijke hoeveelheden gassen en deeltjes uit de lucht te verwijderen. De accumulatie op en in planten van stoffen uit de lucht is veelvuldig aangetoond (Van Hove 1989; Beckett et al. 1998, 2000a en b; Freer-Smith et al. 2005). In Nederland en daarbuiten is er een toenemende belangstelling naar de mogelijke inzet van groen om de luchtkwaliteit te verbeteren in de bebouwde omgeving.

In deze studie is onderzocht in hoeverre groenstructuren in het plangebied van de N201 kunnen bijdragen aan een verlaging van de achtergrondconcentraties aan fijn stof nabij het toekomstige tracé van de N201. Meer specifiek gaat het om aaneengesloten vegetatieoppervlakken (hier ‘vlakvormig element’ genoemd). Een drietal alternatieven is onderzocht:

1. Het effect van de huidige plannen m.b.t. groenontwikkeling in het gebied.
2. Het maximaal te behalen effect in de toegewezen gebieden, b.v. door een aanpassing van het type vegetatie in de huidige plannen.
3. Mogelijke interessante nieuwe locaties voor groenontwikkeling die de luchtkwaliteit in en nabij het plangebied zouden kunnen verbeteren.

In hoofdstuk 2 wordt eerst een inventarisatie van de beschikbare kennis gemaakt. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op het effect van de drie alternatieven op de achtergrondconcentratie nabij de N201. Hoofdstuk 4 bevat conclusies en aanbevelingen.

2. De relatie tussen groen en luchtkwaliteit

2.1 Effectiviteit van fijn stof opname door groen

Deeltjes uit de lucht hechten zich voornamelijk aan de buitenkant van planten. Dit in tegenstelling tot luchtverontreinigende gassen en zeer kleine deeltjes ($<0.1 \mu\text{m}$) die voor een belangrijk deel in het blad terecht komen. De efficiëntie waarmee een beplanting in staat is om deeltjes af te vangen, hangt van vele factoren af (Tonneijck en Blom-Zandstra, 2002; Wesseling et al, 2004). Kennis over deze factoren is van belang voor het inrichten van de ruimte met groenelementen. Belangrijke factoren zijn:

1. Plantensoort (wijze van opname, vorm en oppervlakte van de bladeren, al of niet groenblijvend, takstructuur)
2. Structuur van de groenelementen (breedte en hoogte, ruwheid, porositeit of doordringbaarheid)
3. Blootstelling (aard van de component, blootstellingsniveau)
4. Locatie (afstand tot de bron van emissie, aanwezigheid van bebouwing)
5. Omstandigheden (groeiomstandigheden, microklimaat)

Alle planten vangen dus in meer of mindere mate fijn stof af en elke vegetatie is beter dan geen vegetatie. Door hun grotere volume en groter bladoppervlak vangen bomen 2 - 16 maal meer fijn stof af dan een lage vegetatie (Fowler et al., 1989).

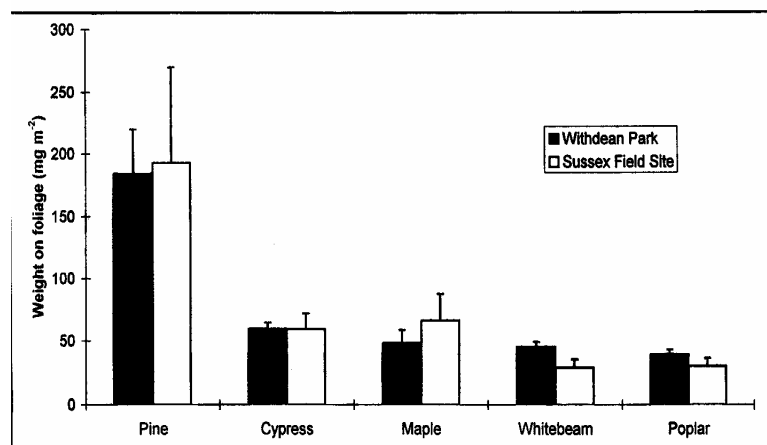


Fig. 1. Depositie van PM10 op bomen (Beckett et al., 2000a).
Pine grove den; Cypress cypres; Maple esdoorn; Whitebeam abeel; Poplar populier.

Fig. 1 geeft de depositie van fijn stof op een aantal boomsoorten. Door hun fijne naaldstructuur zijn naaldbomen effectiever in het afvangen van deeltjes dan loofbomen. Ook hebben naaldbomen een groter totaal bladoppervlak dan loofbomen. Verder zijn veel naaldboomsoorten ook in de winter groenblijvend. Hoewel loofbomen hun bladeren in de winter verliezen, kunnen zij toch van waarde zijn aangezien ook takken deeltjes afvangen. Dit geldt vooral voor soorten met een meer complexe takstructuur (Freer-Smith et al., 2005).

In tabel 1 zijn de boomsoorten ingedeeld naar hun bruikbaarheid om fijn stof af te vangen. Behalve naaldbomen zijn gewone esdoorn, vogelkers en zachte berk geschikt door hun harige bladoppervlak. Zomereik, schietwilg en zwarte populier stoten relatief veel vluchtige organische stoffen uit en zijn daarom minder geschikt om in grote aantallen aan te planten (Donovan 2002). Door de vorm van de kroon is de gewone es minder geschikt om fijn stof af te vangen. De andere boomsoorten nemen een tussenpositie in. Voor de struikachtige vegetatie geldt dat rode kamperfoelie (*Lonicera xylosteum*), framboos (*Rubus idaeus*), wilde lijsterbes (*Sorbus aucuparia*) en vuilboom (*Rhamnus frangula*) zeer geschikt zijn.

Tabel 1. Geschiktheid van verschillende boomsoorten om PM10 af te vangen (De Vries, 2005).

Boomsoorten		
Zeer geschikt	Geschikt	Matig geschikt
Fijnspar <i>Picea abies</i>	Europese lariks <i>Larix decidua</i>	Zomereik <i>Quercus robur</i>
Bergden <i>Pinus mugo</i>	Spaanse aak <i>Acer campestre</i>	Schietwilg <i>Salix alba</i>
Zwarte den <i>Pinus nigra cvs</i>	Vederesdoorn <i>Acer negundo</i>	Zwarte populier <i>Populus nigra</i>
Grove den <i>Pinus sylvestris</i>	Zwarte els <i>Alnus glutinosa</i>	Gewone es <i>Fraxinus excelsior</i>
Taxus <i>Taxus baccata</i>	Haagbeuk <i>Carpinus betulus</i>	
Gewone esdoorn <i>Acer pseudoplatanus</i>	Beuk <i>Fagus sylvatica</i>	
Vogelkers <i>Prunus padus</i>	Amerikaanse vogelkers <i>Prunus serotina</i>	
Zachte berk <i>Betula pubescens</i>	Meelbes <i>Sorbus aria</i>	
	Kleinbladige linde <i>Tilia cordata</i>	
	Zoete kers <i>Prunus avium</i>	

2.2 Lijnvormige en vlakvormige elementen

Behalve de plantensoort heeft de structuur van het groenelement een belangrijke invloed op het afvangen van fijn stof. We kunnen onderscheid maken tussen lijnvormige en vlakvormige elementen. Lijnvormige elementen zijn lintbeplantingen waarvan het bladerdek aaneensluit. Voorbeelden van lintbeplantingen zijn windsingels, houtwallen en bomenrijen (al dan niet met ondergroei). Bomenrijen waarvan het bladerdek niet aaneensluit, behoren niet tot deze categorie. Onder vlakvormige elementen worden aaneengesloten bosgebieden verstaan. Parken en natuurgebieden kunnen uit meerdere vlakvormige elementen bestaan (meerdere opstanden afgewisseld met bijvoorbeeld grasvelden).

Lijnvormige elementen

Lijnvormige elementen hebben een grote invloed op de windsnelheid en stromingspatroon en daarmee op de verspreiding en verdunning van luchtverontreinigende componenten en op de opname door de bladeren (Fig. 2). Het contact tussen verontreiniging in de lucht en bladeren is essentieel voor de filterende werking van groenelementen. Daarom zijn poreuze elementen, waar een deel van de aanstromende lucht doorheen stroomt, efficiënter dan dichte elementen. Dichte elementen vormen een praktisch ondoorlaatbaar obstakel voor de lucht en de verontreinigde lucht komt dus weinig in contact met de groene plantendelen. Ook als een deel van de verontreinigende aanstromende lucht onder het bladerdek doorstroomt, is de efficiëntie veel minder.

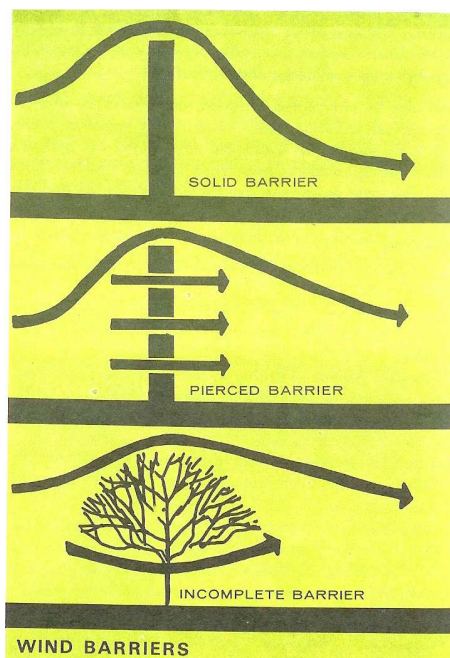


Fig. 2. Effect structuur van lijnvormig groenelement op luchtstroom. Een gesloten element (boven), een poreus element (midden, b.v. halfopen haag, of bomenrij met ondergroei), onvolledig element (b.v. bomenrij zonder ondergroei) (Uit Robinette, 1972).

Het effect van poreuze lijnvormige groenelementen op de fijn stof concentratie is onderzocht in een gezamenlijke studie van TNO en Plant Research International van Wageningen-UR (Wesseling et al., 2004). Met behulp van eenvoudige modellen zijn schattingen gemaakt van de invloed van poreuze groenelementen op de concentraties van NO₂ en fijn stof. Poreuze elementen zijn zinvol als groene buffer tussen de weg en bijvoorbeeld een woonwijk.

Belangrijk voor de filterwerking van een lijnelement is de plaats (benedenwinds of bovenwinds) en de afstand tot de bron. Dicht bij de weg dempen deze elementen ook de windsnelheid, waardoor de uitlaatgassen met minder lucht worden gemengd en dus in concentratie toenemen. Het netto resultaat van de positieve en negatieve effecten van groenelementen op de concentratie dicht bij de bron (1 – 3 maal elementhoogte) is afhankelijk van de optische porositeit van het groenelement en de grootte van de stofdeeltjes. (fig. 3).

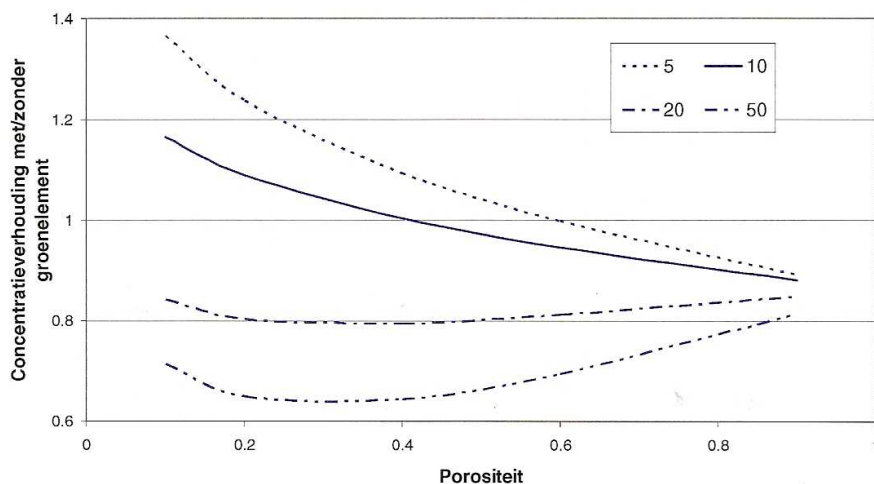


Fig. 3. Effect van een groenelement op de concentratie op korte afstand (1-3 elementhoogte) achter dit element als functie van de optische porositeit en de deeltjesgrootte (Wesseling et al., 2004). De concentratie is weergegeven als relatieve maat ten opzichte van de concentratie vlak naast de weg. 5, 10, 20 en 50 zijn achtereenvolgens PM5, PM10, PM20 en PM50.

In fig. 3 gaat het dus om de aanvoer van lucht met een niet-homogene samenstelling. De figuur toont dat de verhouding tussen PM10 concentratie met en zonder groenelement kleiner dan 1 wordt bij een porositeit van 0.4. Bij een porositeit van 0.6 wordt ook de verhouding tussen P5 concentratie met en zonder groenelement kleiner dan 1.

Het filtereffect is echter optimaal indien de afstand tussen bron en groenelement voldoende groot is (100-150 m). De luchtverontreiniging is dan goed met de lucht gemengd; er is dus sprake van een homogene samenstelling van de lucht. Het dempende effect van een groenelement op de windsnelheid speelt dan geen rol meer en een groenelement leidt dan altijd tot een verlaging van de concentratie. Het afvangende vermogen van het groenelement is optimaal bij een optische porositeit van 20 tot 30%. Uit de berekeningen blijkt dat bij gemiddelde meteorologische omstandigheden een lijnvormig groenelement bestaande uit naaldbomen bij een horizontaal aanstromen van de lucht ca.15% van de doorstromende PM10 kan afvangen. Het filteren van een luchtstroom door een lijnvormig groenelement heeft een beperkt en lokaal effect op de luchtkwaliteit. Het effect strekt zich uit van ongeveer 10 maal de hoogte van het groenelement (Raupach et al. 2001, Fig. 4).

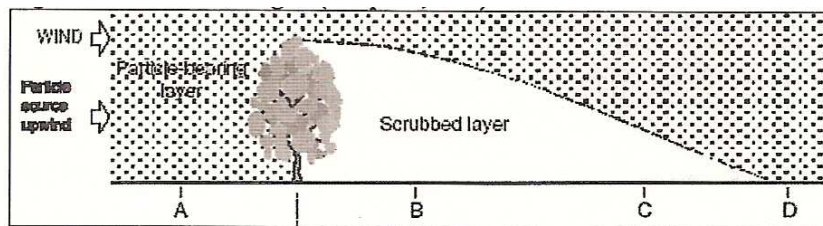


Fig. 4. Filtereffect van een lijnvormig groenelement bij een aanvoer van een goed gemengde lucht.

Bij de inrichting van een gebied kunnen lijnvormige elementen bijdragen aan een verlaging van de fijn stof concentratie. Het gaat hierbij om situaties met hoge concentraties (piekconcentraties) door bijvoorbeeld autoverkeer. Afhankelijk van de hoeveelheid verontreiniging die de aanwezige beplanting opneemt, kunnen de concentraties benedenwinds meer of minder zijn verlaagd. Het is belangrijk dat lijnvormige groenelementen zo dicht mogelijk bij het te beschermen object staan, omdat vlak achter het lijnvormige element het effect het grootst is. Behalve het wegvangen van fijn stof uit horizontaal aanstromende lucht, vindt er ook verticale depositie op lijnvormige elementen plaats. Echter, door hun relatief kleine oppervlak is deze minder belangrijk.

Vlakvormige elementen

Bij lijnvormige groenelementen is interceptie van fijn stof uit aanstromende lucht het belangrijkste proces en speelt verticale depositie een minder grote rol, terwijl bij vlakvormige elementen juist het laatste het belangrijkste is. Vlakvormige groenelementen

zijn hierdoor per m² minder effectief in het verwijderen van fijn stof dan lijnvormige groenelementen. Vlakvormige elementen zijn dus vooral van belang voor de achtergrondconcentratie. Hoe groter het vegetatieoppervlak in een gebied, des te groter het effect. Ook hier geldt weer dat een hoge vegetatie effectiever is dan een lage vegetatie. De verticale depositie van fijn stof op bossen is ongeveer 3x groter dan de depositie op gras en lagere vegetaties (Steward, 2002). Literatuurgegevens over het effect van vlakvormige groenelementen op de achtergrondconcentratie van fijn stof zijn schaars. Net als bij lijnvormige elementen zijn de (weinige) resultaten alleen gebaseerd op modelstudies. Een schatting voor Chicago (VS) is dat de bomen in de stad (samen 11% boombedekking) in een jaar ongeveer 234 ton PM10 afvangen, wat overeen komt met ongeveer 283 kg fijn stof per ha per jaar. Daarmee verlagen zij het gehalte in de lucht met gemiddeld 0.4% (Nowak, 1994). In stadsdelen met veel bomen kan de verlaging 2% bedragen. In Philadelphia (VS) is de gemiddelde verlaging berekend op 0.7%. In de West Midlands, een gebied van 900 km² in het midden van Groot-Brittannië, is eind jaren '90 een onderzoek gedaan naar de invloed van groen op de luchtkwaliteit in het gebied. Dit in verband met de effecten op menselijke gezondheid. De studie laat zien dat een verdubbeling van het aantal bomen in het gebied het aantal sterfgevallen door PM10 kan verminderen met maximaal 400 per jaar (Donovan et al., 2005).

Het fijn stof komt terecht op het bladerdek en in de randen van het bos, waardoor de luchtkwaliteit onder het bladerdek relatief goed is. Schattingen van Dorchinger (1980) laten zien, dat fijn stof concentraties onder het bladerdek tot 38% lager kunnen zijn. Dit wordt bevestigd in een studie van het Vlaamse Instituut voor Technologie en Ontwikkeling (VITO) en de universiteit van Bochum (de Ridder, 2004).

3. Het effect van groen op de fijn stof concentratie nabij de N201

3.1 Geplande groengebieden

Figuur 5 geeft een overzicht van de geplande groengebieden ten zuiden en ten noorden van toekomstige traject van de N201. Het gebied ten zuiden van de N201 in de Thamerpolder bestaat uit 85 ha bos en de gebieden ten noorden van de N201 in de Bovenkerkerpolder bestaan uit 60 ha bos en 140 ha rietland.

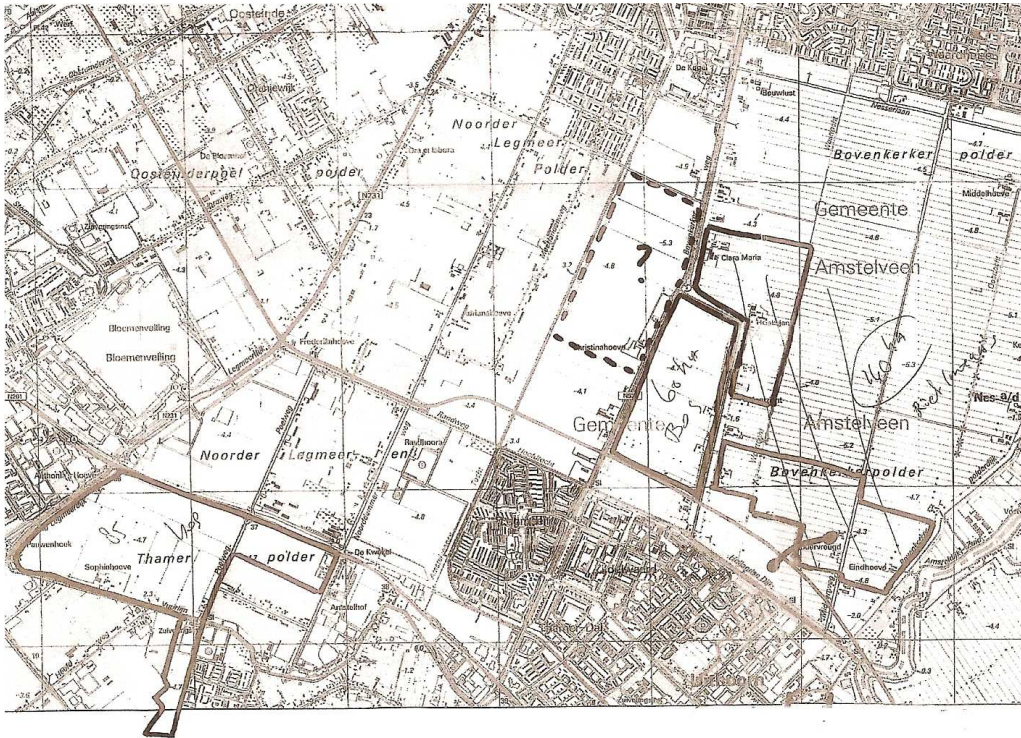


Fig. 5. Geplande groenontwikkelingsgebieden ten zuiden en ten noorden van het toekomstige tracé van de N201.

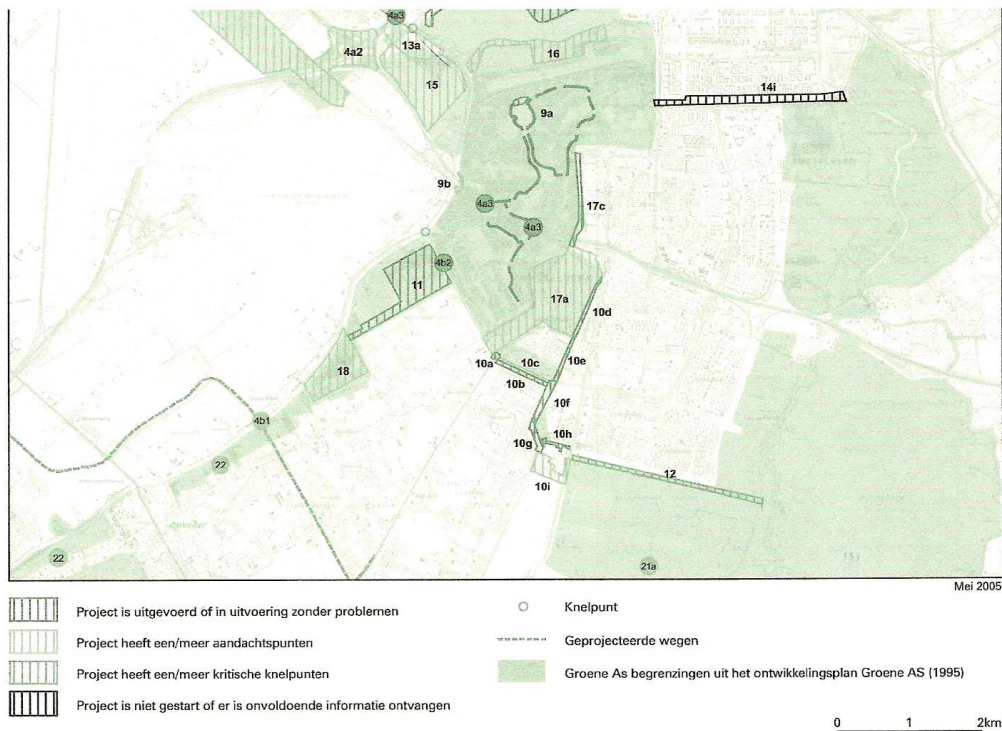


Fig. 6. De geplande groengebieden in de Groene as, de verbindingzone Amstelland-Spaarnwoude.

3.2 Het effect op de achtergrondconcentratie

Ongetwijfeld levert groen in een gebied een belangrijke bijdrage aan een verlaging van de achtergrondconcentratie. Voor zover bekend is er echter nog geen gevalideerd model beschikbaar waarmee dit effect kan worden gekwantificeerd voor de Nederlandse situatie (*P. Hofschreuder, mondelinge mededeling*). Hierdoor is het niet goed mogelijk om het effect van de nieuwe, geplande groengebieden op de achtergrondconcentratie van fijn stof nabij de N201 door te rekenen.

Om desondanks een indicatie te krijgen over de orde van grootte van het effect is m.b.v. een zogenaamd box model een ruwe schatting gemaakt (Graedel and Crutzen, 1993). Hierbij wordt een denkbeeldige doos over een gebied gezet en wordt de concentratieverandering in de doos t.g.v. emissies, depositie en chemische omzettingen berekend. Voor het berekenen van de depositie zijn gegevens uit Nowak (1994) gebruikt. Deze gegevens hebben betrekking op de depositie van PM10 op een bos samengesteld uit 90% loofbomen en 10% naaldbomen. Een gedetailleerde uitwerking van de berekeningen wordt in bijlage A gegeven. Uitgegaan is van min of meer gemiddelde meteorologische omstandigheden. Voor de achtergrondconcentratie van fijn stof is $30 \mu\text{g m}^{-3}$ genomen. Alleen het groen dat zich bovenwinds van de N201 bevindt is van direct belang voor de achtergrondconcentratie nabij de N201. Voor het geplande bos in de Bovenkerkerpolder betekent dit dat wind uit het noorden of noordoosten dient te waaien voor een effect en voor het geplande bos in de Thamerpolder wind uit het zuidwesten. Tabel 2 geeft het resultaat van de berekeningen, waarbij voor de breedte loodrecht op de windsnelheid (breedte van de doos) 1000 m is genomen. Het effect van de huidige plannen voor bos is berekend en het effect indien alle geplande groengebieden bestaan uit bos om het maximale effect te bereiken. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de periode met en zonder blad.

Tabel 2. Schatting van het effect van de geplande bosgebieden bestaande uit 90% loofbomen en 10% naaldbomen in de Bovenkerkerpolder en Thamerpolder op de achtergrondconcentratie van fijn stof.

	Oppervlakte (ha)	Met blad*		Zonder blad**		Jaargemiddeld	
		Conc. ($\mu\text{g m}^{-3}$)	% verla-ging	Conc. ($\mu\text{g m}^{-3}$)	% verla-ging	Conc. ($\mu\text{g m}^{-3}$)	% verla-ging
Bovenkerkerpolder	60	29.93	0.23	29.98	0.08	29.96	0.12
Bovenkerkerpolder alles bos	200	29.77	0.76	29.92	0.27	29.88	0.40
Thamerpolder	85	29.90	0.33	29.97	0.11	29.94	0.17

*: mei-oktober, **: november-april

Tabel 2 laat zien dat het geplande bosgebied een gering effect op de achtergrondconcentratie voor fijn stof zal hebben. Dit geldt ook indien alle geplande groengebieden bestaan uit bos. Het effect zal groter zijn indien de bosgebieden bestaan uit naaldbos. Echter, met de bestaande literatuurgegevens was het niet mogelijk om het effect hiervan door te rekenen.

Nog een paar kanttekeningen: Onder Nederlandse klimaatomstandigheden, met een gemiddelde hogere luchtvochtigheid, zal de depositie waarschijnlijk groter zijn (*Hofschreuder, persoonlijke mededeling*). Verondersteld werd dat de concentraties in de gehele box goed gemengd zijn en dus over de gehele hoogte van de grenslaag gelijk zijn. In de werkelijkheid is dit niet het geval en zullen de concentraties in de lagere luchtlagen, d.w.z. nabij het leefniveau (onderste 4 m), lager zijn dan in de hogere luchtlagen.

Nogmaals dient te worden benadrukt dat bovenstaande schattingen een indicatie geven. Het blijven berekeningen gebaseerd op theoretische aannamen die nog voor discussie vatbaar zijn. Desondanks kan men op grond hiervan en op grond van beschikbare literatuurgegevens concluderen dat het effect van de huidige plannen m.b.t. groenontwikkeling in de nabijheid van de N201 op de achtergrondconcentratie gering zal zijn. Dit geldt waarschijnlijk ook indien alle geplande gebieden voor groenontwikkeling zijn beplant met naaldbomen om het maximale effect te bereiken. In verhouding tot de grote totale massa aan fijn stof in de atmosfeer zijn de oppervlakten van de geplande gebieden te klein om een meetbare verlaging van de achtergrondconcentratie van fijn stof te bewerkstelligen. Wel kunnen zij plaatselijk oases van betere luchtkwaliteit vormen, vooral indien zij met hoge vegetatie zijn beplant.

3.3 Het effect op de totale concentratie

Ook is gekeken naar de invloed van de geplande groengebieden op de totale concentratie van fijn stof (achtergrond + t.g.v. verkeeremissies). Het geplande bosgebied van 60 ha in de Bovenkerkerpolder heeft mogelijk een directe invloed op de totale concentratie in het aangrenzende gedeelte van de N201. Indien de bomen vlak grenzen tot aan de N201, heeft dit een dempende invloed op de windsnelheid boven dit gedeelte van de N201. Hierdoor nemen de concentraties aan fijn stof boven de weg en vlak naast de weg toe. Op de woonomgeving in Aalsmeer of in Amstelveen heeft dit echter geen effect. Hiervoor is de afstand tussen woongebied en dit gedeelte van de toekomstige N201 te

groot. Het geplande bosgebied in de Thamer polder is te ver weg van het toekomstige traject van de N201, maar zou wel een effect kunnen hebben op de concentraties boven de N231.

3.4 Interessante locaties

Een mogelijk interessante locatie voor groenontwikkeling is het gebied tussen de N201 en de wijken Legmeer, Zildewaard van de gemeente Uithoorn. Het gebied biedt ruimte om met groenstructuren fijn stof concentraties afkomstig van verkeer op de N201 te verwijderen. Vooral lijnvorige groenstructuren zouden een bijdrage kunnen leveren aan een verlaging van de fijn stof concentraties. Bovendien kunnen lijnvormige elementen zorgen voor minder geluidsoverlast en minder lichtoverlast door het verkeer op de N201.

4. Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

- Elke vegetatie vangt fijn stof af, maar een hoge vegetatie is effectiever in het verwijderen van fijn stof uit de atmosfeer dan een lage vegetatie. Door hun fijnmazige structuur zijn naaldbomen effectiever dan loofbomen.
- Onderscheid dient te worden gemaakt tussen vlakvormige (aaneengesloten bosgebieden) en lijnvormige groenelementen (windsingels, bomenrijen, houtwallen). Voor het verlagen van de achtergrondconcentratie zijn vooral vlakvormige groenelementen van belang, terwijl lijnvormige groenelementen een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan het direct wegvangen van verkeersgerelateerde luchtverontreinigingen. Lijnvormige groenelementen zijn effectiever in het verwijderen van fijn stof dan vlakvormige groenelementen.
- Er is nog geen gevalideerd model beschikbaar waarmee het effect van de geplande groengebieden op de achtergrondconcentratie van fijn stof nabij de N201 kan worden berekend.
- 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.

- 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 stikstofoxiden kunnen verlagen. In combinatie met recreatie zouden deze gebieden zeer waardevol kunnen zijn voor bewoners in het gebied.

4.2 Aanbevelingen

- Een interessante locatie voor groenontwikkeling zou het gebied tussen de N201 en de woonwijken in Uithoorn kunnen zijn. Het gebied biedt ruimte om met groenstructuren fijn stof concentraties afkomstig van verkeer op de N201 te verwijderen. Het verdient aanbeveling deze optie verder te onderzoeken.
- Het verdient aanbeveling onderzoek te doen naar de inzet van lijnvormige groenelementen om de nadelige gevolgen van de N201 voor de fijn stof concentraties in de leefomgeving te beperken. Recente studies hebben aangetoond dat lijnvormige groenelementen effectief verkeersgerelateerde luchtverontreinigingen (fijn stof, stikstofoxiden) kunnen wegvangen.

5. Geraadpleegde literatuur

Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. and Taylor, G. (1998). Urban woodlands: Their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental pollution* 99, 347-360.

Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. and Taylor, G. (2000a). Effective tree species for local air-quality management. *Journal of Arboriculture* 26, 12-19.

Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H. and Taylor, G. (2000b). The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites. *Arboricultural Journal* 24, 209-230.

Beckett, K.P., Stewart, H.E., Owen, S.M., Mackenzie, A.R., Hewitt, C.N. (2005). Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global change biology* 6, 995-1003.

De Ridder, K. (2004). Benefits of Urban Green Space (BUGS), Deliverable 18, year 2; PM10 particle reduction.

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

Freer-Smith, P.H., Beckett, K.P., Taylor, G. (2005). Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* x *trichocarpa* 'Beaupré', *Pinus nigra* and *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution* 133, 157-167.

Fowler, D., Cape, J.N., Unsworth, M.H. (1989). Deposition of atmospheric pollutants on forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 324, 247-265.

Graedel, T.E. and Crutzen, P.J. (1993). Atmospheric change. An earth system perspective. W.H. Freeman and Company. New York.

Nowak, D.J. (1994). Air pollution removal by Chicago's urban forest. In: Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project (eds. E.G. McPherson, D.J. Nowak, R.A. Rowntree). Pp. 63-81. United States Department of Agriculture. Forest Service. Northeastern Forest Experimental Station. General Technical Report NE-186.

Raupach, M.R., Woords, N., Dorr, G., Leys, J.F. and Cleugh, H.A. (2001). The entrapment of particles by windbreaks. *Atmospheric Environment* 35: 3373-3383.

Robinette, G.O. (1972). Plant, people and environmental quality. American Society of Landscape Architects Foundation.

Steward H.E. (2002). Trees and sustainable urban air quality. Brochure, Lancaster University and Centre for Ecology and Hydrology, Lancaster, UK.

Tonneijck, A.E.G. en Blom-Zandstra, M. (2002). Landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit rond de Ruit van Rotterdam. Een haalbaarheidsstudie. Nota 152, Plant Research International, Wageningen.

Monteith, J.L. and Unsworth, M.H. (1990). Principles of environmental physics. Edward Arnold.

Van Hove, L.W.A. The mechanism of NH₃ and SO₂ uptake by leaves and its physiological effects. Ph.D. Thesis. Wageningen Universiteit.

Weinhold, O. (2005). Effectbeoordeling (luchtkwaliteit) Masterplan N201+ en saldobenadering. TNO Bouw en Ondergrond, Apeldoorn.

Wesseling, J.P., Duyzer, J., Tonneijck, A.E.G. en van Dijk, C.J. (2004). Effecten van groenelementen op NO₂ en PM10 concentraties in de buitenlucht. Rapport R2004/383, TNO, Apeldoorn.

De Vries, E.A. (2005). Het fijne van fijn stof. Een onderzoek naar de mogelijkheden om groen in te zetten tegen fijn stof. Afstudeerscriptie. In opdracht van: Gemeente Nijmegen, afdeling milieu, bureau duurzame ontwikkeling (M.C. van Ginkel). Alterra Centrum Landschap en Saxion Hogescholen, Ruimtelijke Ordening & Planologie

Bijlage A: Schatting van de invloed van een bos op de achtergrondconcentratie van fijn stof.

Om een indicatie te krijgen van het effect van de geplande groengebieden nabij de N201 op de achtergrondconcentratie werden berekeningen uitgevoerd met een zogenaamd 'simple box model'. Figuur A.1 geeft een voorbeeld van een dergelijk model.

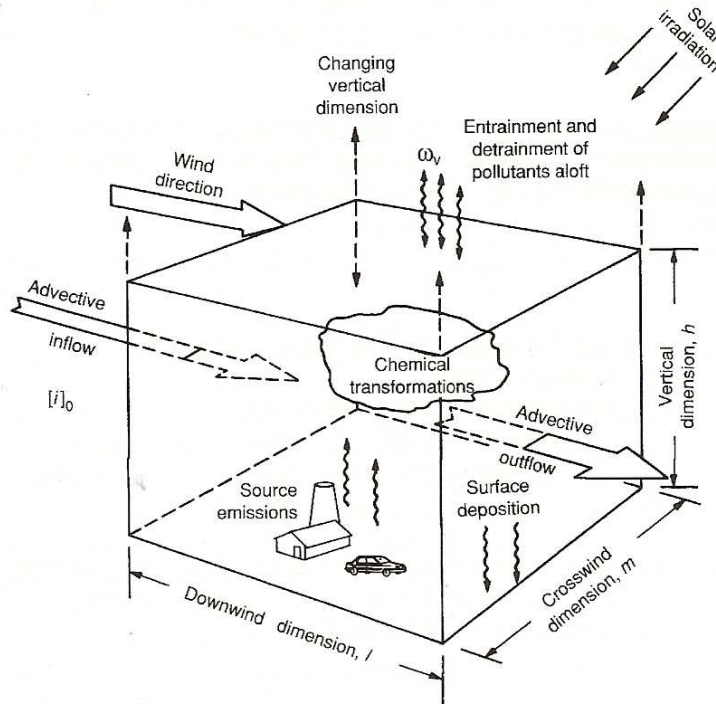


Fig. A.1. Simpel 'box-model' volgens Graedel and Crutzen (1993)

De hoogte van de doos geeft de hoogte van de menglaag of grenslaag weer of, m.a.w.: Tot welke hoogte de luchtverontreiniging door turbulentie kan worden gemengd. De menghoogte kan variëren van 300 m, b.v. in de vroege ochtend, tot 1600 m in de middag. In de berekeningen werd een gemiddelde hoogte van 1000 m aangenomen. Ook werd verondersteld dat de concentratie in de gehele doos door menging hetzelfde is en dat er geen transport loodrecht op de windrichting plaats vindt. Belangrijke processen zijn:

- Emissies
- Depositie
- Aanvoer van lucht ('advective inflow')
- Afvoer van lucht ('advective outflow')
- Verdunning door groei van de doos (toename van de hoogte van de menglaag gedurende de dag)
- Meenemen van luchtverontreinigingen door verplaatsing van luchtlagen ('entrainment')
- Chemische omzettingen

Voor de achtergrondconcentratie bovenwinds van de geplande groengebieden (d.i. de concentratie van de ingaande lucht) werd $30 \mu\text{g m}^{-3}$ verondersteld. In deze studie werd berekend wat de invloed is van de droge depositie van fijn stof naar de geplande

groengebieden op de uitgaande concentratie van de doos (d.i. de concentratie benedenwinds van de geplande groengebieden). Alle andere processen werden buiten beschouwing gelaten.

Depositie

Het depositieproces bestaat uit de volgende stappen:

- Transport vanuit de 'bulk'-laag in de atmosfeer naar de bovenkant van de vegetatie
- Transport door de grenslaag van de vegetatie-elementen
- Ad- of absorptie aan het vegetatieoppervlak en transport tot in de bladeren of naalden.

Bovenstaande stappen kunnen aan de hand van een tweedimensionaal weerstandsmodel, naar analogie van de wet van Ohm ($i = \Delta V / R$), worden beschreven. De totale weerstand voor de depositie (r_t) bepaalt de depositieflux (F_d in $\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$) volgens:

$$F_d = \frac{C_z - 0}{r_t} \quad (\text{A.1})$$

Hierin is C_z de concentratie op referentiehoogte boven de vegetatie. De concentratie aan het bladoppervlak of in het blad wordt per definitie op 0 gesteld (= de aarde in het elektriciteitschema). De reciproke waarde van r_t wordt de depositiesnelheid genoemd:

$$v_d = \frac{F_d}{C_z} = \frac{1}{r_t} \quad (\text{A.2})$$

Voor r_t geldt:

$$r_t = r_a + r_b + r_c \quad (\text{A.3})$$

De weerstand r_a is de aërodynamische weerstand voor het transport in de atmosfeer. Deze wordt afgeleid uit het windprofiel boven een oppervlak. De weerstand r_b wordt bepaald door de turbulentie-intensiteit in de atmosfeer en het type gas of deeltje. De 'canopy'-weerstand r_c is een weerstand voor de opname van een gas of deeltje door het oppervlak. Alle weerstanden hebben de dimensie s m^{-1} . Op de berekening van deze weerstanden wordt hier niet ingegaan.

Verandering in achtergrondconcentratie van fijn stof

De concentratie in de uitgaande lucht van de doos is het resultaat van de hoeveelheid fijn stof die wordt aangevoerd en de hoeveelheid die door depositie verdwijnt. Hiervoor geldt:

$$F_d = \frac{fC_{in} - fC_{uit}}{A} = \frac{f(C_{in} - C_{uit})}{A} \quad (\text{A.4})$$

In deze formule is f de hoeveelheid lucht die per tijdseenheid door de doos stroomt (in $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$). Deze wordt berekend uit de windsnelheid en het oppervlakte loodrecht op de windsnelheid ('crosswind dimensions'):

$$f = u.h.m \quad (A.5)$$

A is het depositieoppervlak, in dit geval het aantal m² bosgebied. Verondersteld wordt dat de ingaande windsnelheid gelijk is aan de uitgaande windsnelheid.

Uit de bovenstaande vergelijkingen kan voor een evenwichtssituatie de volgende vergelijking worden afgeleid:

$$a = \frac{1}{1 + \left(\frac{v_d \cdot A}{u.h.m}\right)} \quad (A.6)$$

$$C_{uit} = aC_{in} \quad (A.7)$$

Hierbij is C_z in vergelijking (A.1) gelijk gesteld aan C_{uit} in vergelijking (A.4). Vergelijking (A.6) laat zien dat:

- De verlaging in achtergrondconcentratie groter wordt naarmate de depositiesnelheid en het oppervlakte van het gebied toenemen.
- De verlaging minder groot wordt naarmate de windsnelheid en hoogte van de menglaag toenemen.

Tabel A.1. Gebruikte variabelen

variabele	afkorting	eenheid	grootte	
windsnelheid	u	m s ⁻¹	3	<i>Monteith and Unsworth (1990)</i>
Aërodynamische	r _a	s m ⁻¹	7	<i>Monteith and Unsworth (1990)</i>
Quasi boundary layer weerstand	r _b	s m ⁻¹	2	<i>Monteith and Unsworth (1990)</i>
Canopy weerstand	r _c	s m ⁻¹	78* 239**	<i>Nowak (1994)</i>
Hoogte menglaag	h	m	1000	
Breedte loodrecht op windsnelheid	m	m	1000	

* mei-oktober, ** november-april, voor een bos bestaande uit 90% loofbomen en 10% naaldbomen.