



Kennisdocument Vegetatie-luchtkwaliteit ten behoeve van het uitvoeren van een pilotproject langs rijkswegen

DWW 2006-094 /IPL 06.00019

Colofon

1. **Rapportnummer**
DWW 2006-094
2. **Titel en ondertitel**
Kennisdokument Vegetatie en luchtkwaliteit ten behoeve van het uitvoeren van een pilotproject langs rijkswegen
3. **Datum rapport**
December 2006
4. **Nummer rapport uitvoerende organisatie**
06.917
5. **Redactieteam**
Aad van den Burg (projectleider IPL, RWS/DWW)
Henk Swaagsta ES Consulting
Peter Loef VHG
Wijnand Broer(rapportage) CREM, Amsterdam
Giulietta Cohen(rapportage) CREM, Amsterdam
6. **Naam en adres opdrachtnemer**
Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Innovatie Programma Luchtkwaliteit
Postbus 5044
2600 GA Delft
Tel: 015 251 82 85

7. **Projectnaam**
Vegetatie Luchtkwaliteit
8. **Contractnummer**
DWW/2935
9. **Naam en adres opdrachtgever**
Rijkswaterstaat
DGP & VROM
10. **Trefwoorden**
IPL, Vegetatie, luchtkwaliteit, modellering, fijn stof
11. **Type rapport**
Kennisdokument/Onderzoeksrapport

12. Referaat

In dit rapport wordt de kennis vastgelegd die nodig is voor het realiseren van een proefproject waarin de werking van vegetatie op de luchtkwaliteit wordt aangetoond. Aan de hand van dit document zal in 2007 een proefproject worden aanbesteed waarbij marktpartijen gevraagd wordt de bijdrage die vegetatie op de hoeveelheid fijn stof heeft aan te tonen waarbij tevens een ontwikkeld model zal worden gevalideerd.

13. Acceptatie projectleider IP

A. van den Burg



15. Acceptatie afdelingshoofd IP

Drs. W. Hoevers



14. Acceptatie programma manager IPL

drs. J.R.P. Nijland



16. Acceptatie directeur Infrastructuur

Dr. P. Stienstra



De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
1. Inleiding	6
1.1 Achtergrond	6
1.2 Doelstelling van het project	7
1.3 Dit document	8
1.4 Samenwerking kennisdocument	9
1.5 Bronnen	10
2. Marktbenadering en projectstappen	12
2.1 Achtergrond van de marktbenadering	12
2.2 De marktbenadering in het project Vegetatie-luchtkwaliteit	13
2.3 Samenwerkende marktpartijen	14
2.4 Stappen in het samenwerkingsproject	14
2.5 Activiteiten en deelprojecten	15
2.6 Bronnen	15
3. Effecten van beplanting op de luchtkwaliteit langs snelwegen	16
3.1 Inleiding	16
3.2 Achtergrondconcentraties en verkeersconcentraties	16
3.3 Efficiëntie van vegetatie	18
3.3.1 Effecten van individuele planten	18
3.3.2 Effecten van landschapselementen	18
3.4 Biologische aspecten met betrekking tot opname	21
3.4.1 Algemeen	21
3.4.2 NO ₂	21
3.4.3 Fijn stof	22
3.4.4 Overige stoffen	23
3.5 Beplanting als bron voor stoffen en gassen	24
3.5.1 Planten emitteren vluchtige verbindingen	24
3.6 Mechanismen in de interactie tussen vegetatie en luchtkwaliteit	25
3.6.1 Werkingsprincipe 1: Vangen en al dan niet omzetten	25
3.6.2 Werkingsprincipe 2: Depositie door windsnelheidsverlaging	26
3.6.3 Werkingsprincipe 3: Wegsturing	26
3.6.4 Combinatie van vangen, depositie en wegsturen	27
3.6.5 Opeenvolging van structuren	27
3.7 Relevante parameters voor de effecten van beplanting	28
3.8 Situeringaspecten	28
3.8.1 Positie ten opzichte van bronnen	28
3.8.2 Oriëntatie	29
3.8.3 Afstand	29
3.8.4 Ruwheidslengte	29
3.9 Invloed van karakteristieken van de beplantingsstructuur	29
3.9.1 Algemeen	29
3.9.2 Afmetingen	30
3.9.3 Porositeit	31
3.9.4 Soortenverdeling	33
3.9.5 Seizoenskarakteristiek	33
3.10 Effecten van de combinatie van vegetatie en schermen	35
3.10.1 Permeabele schermen	35
3.10.2 Permeabele beplantingsstructuren	36
3.11 Overzicht onderzoeksbronnen gesplitst naar werkingsonderdeel	37
3.11.1 Beïnvloeding luchtstromingen	37
3.11.2 Atmosferische effecten	38
3.11.3 Plantfysiologische eigenschappen + (veldonderzoek)	38
3.11.4 Praktijkonderzoek en calibratie van luchtkwaliteitsmodellen	40
3.12 Conclusies	40
3.13 Literatuurlijst	41

4.Modellering luchtkwaliteit langs rijkswegen	44
4.1 Inleiding	44
4.2 Organisatie	46
4.3 Modellen	47
4.3.1 Modeldefinitie	47
4.3.2 Karakteristiekbeschrijving van de door de deelnemers gehanteerde modellen	48
4.3.3 De uitkomst van een modelberekening	50
4.3.4 Opdrachtgevers voor modelinzet en wensen over de vorm van de uitkomsten	51
4.4 Het groene model	52
4.4.1 Het werkingsgebied van het model	52
4.4.2 Groenmodel of groenmodule	53
4.4.3 Gradatie in complexiteit van modellen	53
4.4.4 Het werken met standaard wegdoorsnedes	55
4.4.5 Parameters in modellen, algemeen en vegetatie-gerelateerd	55
4.4.6 Conclusie: uitgangspunten voor groenmodules	57
4.5 Validering	57
4.5.1 Wijze van validering	57
4.5.2 Eisen aan een meetlocatie	57
4.5.3 Toetsing van modellen	58
4.5.4 Interpretatie	59
4.5.5 Mogelijke additionele metingen	59
4.6 Nawoord	60
5.De waarde van groen en vegetatie langs rijkswegen	61
5.1 Waarde van groen voor de leefomgeving	61
5.1.1 Algemeen	61
5.1.2 Waardering bestaand groen	62
5.2 Vegetatie langs Rijkswegen, de Nederlandse ontwerptraditie	64
5.2.1 De aantrekkingskracht van de snelweg	64
5.2.2 De ontwikkeling van de Nederlandse traditie	64
5.2.3 Vormmiddelen	65
5.3 Aanleg, beheer en onderhoud van beplanting langs rijkswegen	70
5.3.1 Beplantingstypen	70
5.3.2 Fysiologische factoren en stressoren	72
5.3.3 Ecologische waarde	72
5.3.4 Beheer en onderhoud	73
5.4 Kosteneffectiviteit	74
5.4.1 Modificatie versus aanleg nieuw groen	75
5.5 Literatuur	75
6. Randvoorwaarden pilotproject Vegetatie-luchtkwaliteit	76
6.1 Inleiding	76
6.2 Locatiekeuze	76
6.3 Ontwerp proeflocatie	77
6.4 Beschrijving van de gewenste werkzaamheden	79
7.Conclusies en aanbevelingen	80
7.1 Conclusies	80
7.2 Aanbevelingen	81
Bijlage I Statements modelontwikkelaars	82
Bijlage II Octrooi ES-Consulting	85

Voorwoord

In het kader van de toenemende maatschappelijke behoefte aan een gezonde leefomgeving, met in het bijzonder de luchtkwaliteit zijn er door de overheid normen opgelegd waaraan de luchtkwaliteit moet voldoen. Omdat deze normen niet altijd haalbaar zijn, is door Rijkswaterstaat Dienst Weg en Waterbouwkunde (DWW) onderzoek uitgevoerd naar verschillende mogelijkheden om de luchtkwaliteit te verbeteren.

Het Innovatie Programma Luchtkwaliteit (IPL) onder leiding van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en het Ministerie van VROM heeft aan marktpartijen gevraagd complexe vraagstukken op het gebied van luchtkwaliteit op te lossen aan de hand van anticiperend onderzoek. Deze samenwerking tussen overheid en marktpartijen biedt kansen om innovatie te bevorderen.

Eén van de mogelijkheden om de luchtkwaliteit te verbeteren is de implementatie van vegetatie in de vorm van groenstroken langs wegen om de concentratie van norm overschrijdende stoffen zoals fijn stof en NO_x te verminderen. De kennis over dit onderwerp is door verschillende partijen verzameld en uiteindelijk ondergebracht in het kennisdocument dat voor u ligt. Deskundigen van de overheid hebben de inhoud getoetst op de afgesproken procedures en op technische inhoud.

In het kennisdocument is theoretisch onderbouwd wat de effecten van vegetatie op de luchtkwaliteit kunnen zijn. Om in de praktijk aan te kunnen tonen wat de exacte bijdrage is die vegetatie heeft op de verbetering van de luchtkwaliteit, zal er een proefproject uitgevoerd worden. Ook hierbij worden marktpartijen betrokken.

Ik zie de resultaten van dit proefproject met belangstelling tegemoet want een betere luchtkwaliteit is goed voor ons allemaal.



Ir. A.J.B. Lohman
RWS/Staf DG

Samenvatting

Nederland voldoet niet overal aan de Europese richtlijn voor fijn stof (PM₁₀). Op korte termijn zal aan deze situatie weinig veranderen. Uit literatuuronderzoek uitgevoerd in opdracht van het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL) is gebleken dat *vegetatie* een positieve bijdrage kan leveren aan het verbeteren van de luchtkwaliteit in de omgeving van rijkswegen.

Bepanting filtert NO_x, roet en fijn stof uit de lucht door opname via de huidmondjes en/of depositie op het bladoppervlak. De mate waarin dit gebeurt is echter van veel verschillende factoren afhankelijk. Meer inzicht in de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit is nodig om tot een goed beeld te komen van de mogelijkheden om vegetatie langs snelwegen in te zetten voor een verbetering van de luchtkwaliteit.

De doelstelling van het te ontwikkelen project Vegetatie-luchtkwaliteit is:

Onderzoeken of en zo ja in welke mate het toepassen van vegetatie langs een (rijks)weg bijdraagt aan de verbetering van de luchtkwaliteit (vooral nog afgebakend tot PM₁₀ en NO₂) en op welke wijze dit kan worden vertaald naar modellen zodat de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit ook in andere infrastructurele projecten kan worden meegenomen.

Het project zal zich richten op de concentratie fijn stof (PM₁₀) en op stikstofdioxide (NO₂). Over het al dan niet betrekken van PM_{2,5} zal later een beslissing worden genomen.

Voor de ontwikkeling van het voorliggende kennisdocument heeft IPL gekozen voor een samenwerkingsproject met marktpartijen. Belangrijke reden hiervoor is de nieuwheid van het onderwerp, waardoor een samenwerking vanuit verschillende disciplines en invalshoeken wenselijk is.

De waarde van groen

De indruk bestaat dat groenvoorziening alleen maar geld kost. Maar dat investeren in groen ook belangrijke maatschappelijke en economische baten kan opleveren wordt vaak niet beseft. Groen kan, naast een positieve bijdrage aan de luchtkwaliteit, op diverse andere terreinen een positieve bijdrage leveren, waaronder: gezondheid, luchtkwaliteit, werken, wonen, energiebesparing, geluid, veiligheid en recreatie. Met behulp van een maatschappelijke kosten-baten analyse kunnen deze baten ook economisch worden gewaardeerd.

Vegetatie langs rijkswegen

Nederland kent een rijke traditie van ontwerpen rond (snel)wegen. In de regel zijn geomorfologie, cultuurhistorie en ecologie en beleving de belangrijkste ontwerp motieven om beplanting toe te passen of juist niet. Bij voorkeur wordt gebruik gemaakt van inheemse beplanting en de vorm varieert van laanbeplanting tot singelbeplanting of een kruidachtige beplanting. De laatste twee decennia is een beweging ingezet waarbij de snelweg meer en meer in samenhang met de ontwikkeling van het hele omliggend gebied wordt gezien. De aantrekkingskracht van de snelweg blijkt zo groot dat niet enkel kan worden volstaan met het ontwerpen van het groen direct rond de weg. Het effect van een weg reikt immers veel verder dan alleen de berm. Momenteel wordt gepleit om de weg integraal met het gebied te ontwerpen. Op deze manier kunnen bijvoorbeeld een wegverbreding samen met een natuur en woningbouwopgave worden aangepakt. Zo is geen sprake meer van inpassing van de weg in het landschap, maar het landschap ontwikkelt zich in samenspraak met de weg.

Uitgaande van een goed landschapsplan ten aanzien van de inpassing van een beplanting, draagt deze beplanting bij aan de ecologische waarde in de omgeving. Bij de keuze van vegetatie dient daarnaast onder meer rekening te worden gehouden met de standplaatsfactoren en de groeisnelheid. Het is bijvoorbeeld belangrijk te weten hoe de bodemgesteldheid, de watervoorziening, de lichtinval en de beschikbare voedingsstoffen zich verhouden tot het doel dat men met de te realiseren beplanting heeft. In dit kader is het ook goed te weten welke externe factoren spelen die wellicht invloed hebben op de groei van de

plant. Hierbij valt te denken aan strooizout, uitlaatgassen, verontreinigd water, uitstoot van omliggende industrie, opwarming door woongebieden, wateroverlast of gebrek door technische factoren en nog vele andere stressoren welke de reguliere groei van planten positief en negatief kunnen beïnvloeden op de plantlocatie.

Beheer en onderhoud zijn ook uit kostenoverwegingen belangrijke factoren. Hierbij kan gedacht worden aan het snoeien van bomen, periodieke vitaliteitscontrole van bomen, plaatsen van boompalen, het dunnen van struwelen en maaibeheer. Doordat de uiteindelijke kosten van aanleg en beheer van veel factoren afhankelijk zijn, is het zonder vastgestelde projectlocatie niet mogelijk vooraf een exacte kostenindicatie te geven. Bij de toepassing van groen met specifieke doeleinden (zoals het verbeteren van de luchtkwaliteit) kan het bovendien noodzakelijk zijn om bijvoorbeeld grotere maten aan te planten, een afwijkend beheer te voeren en de beplantingen te monitoren. Een recente ontwikkeling in Nederland is de mogelijkheid om groen te leasen. Hierbij kan gedacht worden aan beplanting die in bakken wordt aangeleverd en verhuurd.

De relatie Vegetatie-luchtkwaliteit

Beplanting verlaagt concentraties schadelijke stoffen in de lucht (zowel verkeersgerelateerd als achtergrondgerelateerd). Dit effect is gekoppeld aan ontwerpregels, die door middel van modellering kunnen worden nagebootst. De effectiviteit van groene elementen om verontreiniging uit de lucht te verwijderen is zowel van biologische (bijvoorbeeld bladvorm) als van structurele aspecten (bijvoorbeeld porositeit van de vegetatie) afhankelijk. Het contact tussen verontreiniging en bladeren is essentieel voor de filterende werking van planten. Beplanting vangt verontreiniging af door middel van verticale depositie wanneer lucht over de beplanting heen wordt geleid. De zuiverende werking is beter wanneer de lucht tot in het landschapselement kan doordringen dan wanneer de lucht bij de rand wordt tegengehouden, zoals bij een geluidsscherm. Aangezien de wind het transportmiddel is voor de stoffen, is porositeit ofwel doordringbaarheid het beslissend criterium.

De mate van ruwheid bepaalt de mate van turbulentie; hoe groter de ruwheid hoe meer turbulentie en dus depositie. Het effect van breedte van een beplantingsstructuur hangt sterk samen met de totale porositeit van de structuur. Zo zal een bos (in totaal een niet-poreuze hindernis) een veel kleiner beschermd gebied opleveren dan een windsingel (wel poreus). De porositeit en dichtheid van de groenstrook dient dus te worden geoptimaliseerd om de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit maximaal te benutten.

De mate van doorstroombaarheid is eveneens een belangrijk aandachtspunt/ontwerpfactor. Een te grote dichtheid belemmert de doorstroming. Bij correcte doorstroombaarheid werkt beplanting concentratieverlagend over het gehele beschermde gebied.

Modellering

Een selecte groep van deskundigen heeft in een aantal bijeenkomsten gewerkt aan de uitwerking van de mogelijkheden en uitgangspunten voor modellering van de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit. Door het opzetten van een goede rekenwijze voor de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit kan een voorschot worden genomen op de ontwikkeling om vegetatie in luchtkwaliteitsmodellen op te nemen. Door bovendien af te stemmen met Europese regelgeving kan de Nederlandse ontwikkeling een voorbeeld worden voor ontwikkelingen elders.

Ten aanzien van modellering zijn de volgende uitgangspunten naar voren gekomen:

- Vorm: Geen apart model maar een aan bestaande modellen koppelbare module.
- Doel: Berekening effecten vegetatie op luchtkwaliteit. Effecten zijn driedelig: luchtstromingsbeïnvloeding (verplaatsing met als gevolg versterkte of verminderde menging), afvang en depositie.
- Uitkomst: Terminologie passend bij regelgeving, dus jaargemiddelde concentraties en overschrijding van daggemiddelde waardes.
- Complexiteit: Standaardsituaties: Basismodule, eenvoudig hanteerbaar voor "iedereen".
Complexe situaties: Geavanceerd model, alleen hanteerbaar door specialisten.
- Parameters: Ruimtelijke kenmerken: Afstand tot de weg, herhaling, ruwheidslengte
Uiterlijke fysieke kenmerken: Hoogte, breedte, doorsnedeprofiel
Interne fysieke kenmerken: Loof-/naaldbomen, struiken, bermbegroeiing,

porositeit, bladoppervlak
Plantenkenmerken: Bladruwheid, waslaag, opnamekarakteristieken
Tijdskenmerken: Seizoensinvloeden

Voorbeeld-

doorsnedes: Deze kunnen worden gebruikt om snel grote effecten duidelijk te maken, maar zijn niet voldoende om de diversiteit van locaties te beschrijven.

Validatie

Doordat groen in de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit onderdeel kan worden van een juridisch krachtenveld, is het van groot belang om modellen op een goede manier te valideren, zodat ze ook in juridische zin als berekeningswijze geaccepteerd worden. Niet alleen een of meer groenmodules dienen te worden getoetst, ook het model dat gebruikt gaat worden als analysemodel (bijvoorbeeld Envi-Met), aansluitend op het screeningsmodel, dient dezelfde procedure te volgen. Toetsing van modellen vindt plaats op basis van vergelijking van stromingspatronen in model en buitenlucht, vergelijking van concentratievelden berekend door het model en in de buitenlucht, en vergelijking van depositie berekend door het model (en eventueel gemeten in de buitenlucht). Voor elk aspect is passende meetapparatuur nodig. Hierop wordt in het kennisdocument kort ingegaan. Bovendien dient aandacht te worden besteed aan de noodzaak van additionele metingen. Zo kan het goed zijn om naast de metingen van PM₁₀ en PM_{2.5} ook metingen te hebben van de grootteverdeling van PM met betrekking tot de kleinere deeltjes, zoals PM_{1.0} en submicron klassen. Het meten daarvan is lastig (en duur), maar niet onmogelijk, en het is zinvol gezien de enorme gevoeligheid van de invangcapaciteit van vegetatie met betrekking tot de grootte van de deeltjes.

Het proefproject

Op basis van de in het kennisdocument gepresenteerde informatie wordt geconcludeerd dat een proefproject Vegetatie-luchtkwaliteit haalbaar is, omdat:

- 1) de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit is aangetoond (hoofdstuk 3)
- 2) een model met randvoorwaarden is geschept (hoofdstuk 4)
- 3) een aanbestedingsvorm mogelijk is (hoofdstuk 2 en 6)

De aanbeveling is dan ook om een 'go'-beslissing te nemen ten aanzien van de ontwikkeling van een aanbestedingsdocument. De wijze van aanbesteding van zo'n project is met dit kennisdocument niet vastgelegd. Een concurrentiegerichte dialoog (een innovatieve aanbestedingsmethode) lijkt echter een goede mogelijkheid. Om tot goede resultaten te kunnen leiden en een daadwerkelijke validatie van een groenmodule, zal het project in ieder geval aan diverse randvoorwaarden moeten voldoen. Deze randvoorwaarden hebben onder meer betrekking op de locatiekeuze (achtergrondconcentratie fijn stof en bijdrage van het wegverkeer), het ontwerp van de proeflocatie (structuur beplanting en meetopstelling) en uit te voeren handelingen en metingen. In dit kennisdocument is een longlist van mogelijke randvoorwaarden opgenomen. Deze lijst vormt, samen met de informatie over de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit en de mogelijkheden voor modellering, een belangrijke input voor een eventueel aanbestedingsdocument.

1

Inleiding

1.1 Achtergrond

Nederland voldoet niet overal aan de Europese richtlijn voor fijn stof (PM₁₀) en ook op korte termijn zullen de normen voor fijn stof niet worden gehaald. Althans, niet met de huidige (voor)genomen bronmaatregelen. Ook de normen voor stikstofdioxide (NO₂; vanaf 2015) zullen op hot spots¹ nog steeds worden overschreden. De normen voor fijn stof gelden al vanaf 2010, het halen van deze normen wordt de saneringsopgave. Het niet halen van de normen van de luchtkwaliteit heeft gevolgen voor zowel de gezondheid, als economische ontwikkeling, doordat een groot aantal bouwprojecten, zoals wegverbredingen en de aanleg van bedrijventerreinen en nieuwbouwwijken, door het overschrijden van de normen in het gedrang komt. In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de problematiek rond fijn stof en NO₂.

Het ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft samen met VROM bij de Tweede Kamer een wetsvoorstel ingediend waarvan het Nationale Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) de kern is. Het wetsvoorstel treedt naar verwachting volgend jaar (2008) in werking. In Nederland zijn in de wetgeving ruimtelijke ordening en de normen voor luchtkwaliteit aan elkaar gekoppeld. VROM kiest voor een flexibele koppeling, die in het wetsvoorstel voor de wet luchtkwaliteit tot uitdrukking komt in:

Gebiedsgerichte programma's

Overheden in gebieden die niet voldoen aan de Europese normen voor luchtkwaliteit kunnen een gebiedsgericht programma opzetten. Bouwprojecten in deze gebieden mogen doorgaan, mits maatregelen worden genomen om de luchtkwaliteit in het hele gebied minimaal op gelijk niveau te houden.

"In betekenende mate"

Grote ruimtelijke projecten die de luchtkwaliteit significant verslechteren worden indirect getoetst aan de Europese normen voor luchtkwaliteit. Kleine projecten, met een niet belangrijke invloed, hoeven niet getoetst te worden.

Innovatieprogramma Luchtkwaliteit

Ieder gebied waar de Europese normen worden overschreden mag een gebiedsgericht programma opstellen. Het Rijk ondersteunt deze programma's, maar gemeenten zijn niet verplicht dergelijke programma's te ontwikkelen. Het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL is een project in opdracht van VROM en DWW) is erop gericht om projectspecifieke maatregelen te ontwikkelen. Deze maatregelen zijn noodzakelijk om het NSL te doen slagen. Het totale budget van IPL bedraagt 20 miljoen Euro (tot en met 2008). De Nederlandse regering, de provincies en gemeenten hebben gezamenlijk ruim één miljard Euro beschikbaar gesteld voor bronmaatregelen.

¹ hotspots, zijn de lokale gebieden waarbij de norm wordt overschreden

Oplossingsrichtingen voor het terugdringen van fijn stof kunnen allereerst gezocht worden bij de bron. Bronmaatregelen (maatregelen gericht tegen de vervuiler) kunnen zich op verschillende niveaus bevinden. Op het niveau van een brongerichte (politieke) aanpak, zoals bevordering van openbaar vervoer teneinde privé-vervoer te verminderen, invoering van tolheffing en andere mobiliteitsbeperkende maatregelen, maar ook op het gebied van het gebruik van bijvoorbeeld roetfilters bij bussen, vrachtauto's en gewone dieselauto's. Daarnaast kan aandacht worden besteed aan de invloed van emissies via banden/remmen, wegdekken/asfalt en omgeving. Ten behoeve van een aanpak aan de bron is in 2006 door DWW een prijsvraag uitgeschreven gericht op 'schoner, stiller en homogener asfalt'. Bij het perceel 'schoner' zijn ideeën aan marktpartijen gevraagd om de opwerping van fijn stof op een ZOAB (zeer open asfalt beton) verharding tegen te gaan omdat dit een bijdrage levert aan de overschrijding van het PM₁₀ op piekdagen.

Naast een aanpak aan de bron kan ook gekeken worden naar de overdracht van fijn stof, door te onderzoeken wat schermen, gebouwen of vegetatie kunnen bijdragen aan een beperking van de overdracht. In Duitsland is bijvoorbeeld uit verschromingen gebleken dat vegetatie in bepaalde situaties een gunstige invloed op de opname van zeer fijn stof kan hebben². PM_{2.5} bleek opgenomen te worden door de huidmondjes van de vegetatie, in plaats van louter op het bladoppervlak neer te slaan. Ten behoeve van de gegevensverzameling rond de overdracht van fijn stof zijn (zomer)metingen uitgevoerd door DWW bij bestaande locaties met vegetatie. Ten slotte kunnen mogelijke oplossingen gezocht worden bij de ontvanger, zoals bouwen met aandacht voor luchtkwaliteit. Dit heeft wel gezondheidsvoordelen, maar leidt niet tot het voldoen aan normen, omdat de normen beschreven zijn voor de buitenlucht.

De bijdrage van voertuigen aan de fijn stof concentratie uitgesplitst naar verschillende voertuignormeringen laat zien dat de bijdragen veel kleiner zijn bij nieuwe voertuigen. Ondanks dat hierop geen invloed kan worden uitgeoefend, zijn deze gegevens wel van belang als input (variabele) voor de verkenning van de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit.

Het IPL is onderdeel van de afdeling bijzondere programma's van Rijkswaterstaat /Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW). Binnen dit innovatieprogramma wordt onderzocht welke maatregelen kunnen bijdragen aan een verbetering van de luchtkwaliteit. Het programma tracht - via innovatieve weg - op korte termijn een bijdrage te leveren aan het voldoen aan de gestelde normen, voornamelijk bij 'hotspots', oftewel: op en rondom rijkswegen bij dichtbevolkte gebieden. Binnen IPL lopen momenteel meerdere programma's, waaronder:

- Katalytische afbraak NO_x langs rijkswegen
- Optimalisatie geluidsschermen voor een betere luchtkwaliteit
- Effect van (nat)reinigen rijksweg op fijn stof concentratie³
- Rijkswegen overkappen en lucht behandelen
- Dynamisch verkeersmanagement op basis van het luchtbericht
- Diverse maatregelen: IPL-database internationaal

Uit literatuuronderzoek⁴ uitgevoerd in opdracht van het IPL is gebleken dat *vegetatie* een positieve bijdrage kan leveren aan het verbeteren van de luchtkwaliteit in de omgeving van rijkswegen. Beplanting filtert namelijk NO_x, roet en fijn stof uit de lucht. Bomen nemen CO₂ op en geven daar (overdag) zuurstof voor terug. De bladeren vangen het stof op en worden schoongespoeld tijdens een regenbui.⁵ Het ontbreekt echter nog aan praktijkgegevens om de rol van vegetatie afdoende te onderbouwen en in luchtkwaliteitmodellen zichtbaar te maken.

1.2 Doelstelling van het project

Als doelstelling wil DWW de bijdrage van vegetatie aan de luchtkwaliteit in kaart brengen en modelleren, waarbij de invloed op fijn stof (PM₁₀) en stikstofdioxide (NO₂) centraal staan. Of

² Interview Pieter Paul de Kluiver

³ Onderzoek het nat reinigen van snelwegen, DWW, Nijmegen 2006

⁴ Peutz; actualisatie literatuuronderzoek "beplanting en luchtkwaliteit" 7-12-2006

⁵ De baten van de groene stad- Groenforum p22

ook de fijn stof fractie PM_{2,5} meegenomen zal worden, is afhankelijk van het benodigde en beschikbare budget.

De doelstelling van het te ontwikkelen project Vegetatie -luchtkwaliteit is:

Onderzoeken of en zo ja in welke mate het toepassen van vegetatie langs een (rijks)weg bijdraagt aan de verbetering van de luchtkwaliteit (vooral nog afgebakend tot PM₁₀ en NO₂) en op welke wijze dit kan worden vertaald naar modellen zodat de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit ook in andere infrastructurele projecten kan worden meegenomen.

Centrale onderzoeksvragen binnen het proefproject zullen zijn:

- *In hoeverre verbetert groen langs de weg de luchtkwaliteit?*
- *Versterkt een uitgekiend beplantingsstelsel de werking?*
- *Op welke wijze kan het effect van groen met rekenmodellen worden gekwantificeerd?*

Op basis van de uitkomsten van het proefproject zullen de mogelijkheden voor de opname van vegetatie in het meet- en rekenvoorschrift door IPL worden onderzocht⁶. Het voorliggende kennisdocument is daar niet op gericht en ook niet voor geschikt. In het meet- en rekenvoorschrift is een aantal regels vastgelegd over de manier waarop luchtkwaliteitonderzoeken (zoals onderzoeken ter onderbouwing van bestemmingsplannen en milieuvergunningen) uitgevoerd dienen te worden.

1.3 Dit document

Dit kennisdocument bundelt literatuur en kennis uit interviews en expertbijeenkomsten om zodoende een gezamenlijke kennisbasis te bieden voor marktpartijen die een bijdrage zouden willen leveren aan het verzamelen van praktijkgegevens en modelleren van de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit. Dit document is hiermee een deelbijdrage aan het totale project. De doelgroep van dit kennisdocument zijn de diverse *stakeholders* in dit project, waaronder het bedrijfsleven (groenverzoekers), kennisinstellingen (modelontwikkelaars en adviesbureau's) en overheid.

De onderzoeksvragen die in *dit document* beantwoordt zullen worden:

- welke beschikbare kennis met betrekking tot de centrale onderzoeksvragen is reeds voorhanden en welke kennis ontbreekt nog?
- aan welke randvoorwaarden moet het project voldoen, als aanzet naar het aanbestedingsdocument in 2007?

Bereik van het kennisdocument

In het proefproject zal eerst de bijdrage van vegetatie aan luchtkwaliteit aangetoond moeten worden, uitgaande van PM₁₀ en NO₂. Hierna kunnen gerelateerde onderwerpen wellicht meegenomen worden. Deze bredere context is goed om reeds te benoemen, zodat deze onderwerpen bij een "go" beslissing voor een proefproject in een later stadium wel weer overwogen of meegenomen kunnen worden:

- In toekomst wellicht ook op bedrijventerreinen toepassen.
- PM_{2,5} meenemen.
- De kosteneffectiviteit van verschillende maatregelen tegen elkaar afwegen, zoals vegetatie versus schermen.

⁶ Het Mrv is gebaseerd op artikel 6 van het Besluit luchtkwaliteit 2005.

Het document is opgebouwd uit de volgende hoofdstukken:

- De marktbenadering en projectstappen (hoofdstuk 2)
- Effecten van beplanting op de luchtkwaliteit langs snelwegen: een wetenschappelijke onderbouwing (hoofdstuk 3)
- Modelleren van de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit (hoofdstuk 4)
- De waarde van groen en vegetatie langs rijkswegen (hoofdstuk 5)
- Randvoorwaarden pilotproject Vegetatie-luchtkwaliteit (hoofdstuk 6)
- Conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 7)

1.4 Samenwerking kennisdocument

Het project was niet mogelijk geweest zonder de input van een groot aantal partijen, waaronder interne deskundigen binnen DWW, een 'kerngroep' en de deskundigen die zitting hadden in de 'expertgroep', bestaande uit een aantal subgroepen gericht op deelonderwerpen binnen het voorgenomen project.

De *kerngroep* bestond uit Aad van de Burg (DWW/IPL), de projectleider, Henk Swaagstra (ES-Consulting), Peter Loef (VHG) en Wijnand Broer en Giulietta Cohen (CREM).

De *interne deskundigen binnen DWW* waren: Aad van de Burg, Theo Cornelissen, Daniel Veenhuijsen (tot 1 november 2006)/ Rikle de Boer, Paul Fortuin, Wim Hoevers, Peter Jan Keizer, Chrisjan Leermakers, Hans Paalman.

De expertgroep bestond uit drie subgroepen, namelijk de subgroep 'modellen', de subgroep 'Groen' en de subgroep 'Overheid':

De subgroep 'Modellen' werd aangestuurd door Henk Swaagstra. Als deelnemers in de Subgroep Modellen zijn uitgenodigd een aantal modelontwikkelaars c.q. modeleigenaren (TNO, Kema, ECN, VITO), aangevuld met een aantal modelgebruikers en specifieke deskundigen. Het gaat om de volgende personen:

Aad van den Burg	DWW
Daniel Veenhuijsen	DWW (tot 1 november 2006)
Paul Fortuin	DWW
Niels Lanser	DWW
Sander Pijlman	DWW
Vincent Kuijpers	Alterra
Jeroen Heslen	Peutz
Jesper Harbers (vervanger)	Peutz
Ernie Wijers	ECN
Alex Vermeulen (vervanger)	ECN
Koen de Ridder	VITO (België)
Joost de Wolff	Kema
Jan Duyzer	TNO
Sander Jonkers	TNO
Aad Bezemer	Ministerie van VROM
Peter Hofschreuder	Wageningen UR
Julio Mosquera Losada (vervanger)	Wageningen UR
Fred Tonneijck	Plant Research International Wageningen
Pieter-Paul de Kluiver	ES Consulting
Henk Swaagstra	ES Consulting, tevens coördinatie/notulen

Koen de Ridder (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) is aan deze groep toegevoegd vanwege zijn expertise met het o.a. in het Europese onderzoek BUGS (Benefits of Urban Green Space) gebruikte, in Duitsland ontwikkelde, EnviMet model, waarin vele aspecten van beplanting verwerkt zijn. VITO is geen modeleigenaar van ENVI-Met. Michael Bruse (Universiteit Bochum) is modeleigenaar, en een basisversie van het model (als executable, niet de broncode) is vrij beschikbaar voor iedereen. Modeluitbreidingen in de

toekomst door VITO (verbeteringen fijn stof, NO-NO₂-O₃ chemie, volledig jaar doorrekenen, etc) zullen wel afgeschermd worden.

Peter Hofschreuder en Fred Tonneijck zijn aan deze groep toegevoegd vanwege hun specifieke kennis op het gebied van meteorologie en uitwisseling tussen beplanting en atmosfeer, resp. kennis van de samenhang tussen beplanting en luchtkwaliteit. Aad Bezemer heeft in de laatste fase meegesproken over de connectie met het bestaande Meet- en Rekenvoorschrift.

Bovenstaande instanties en bedrijven zijn niet de enige die werken met modellen. Gekozen is voor een groep van beperkte omvang. Het is niet uitgesloten dat hier zich in de toekomst anderen bij aan gaan sluiten. Enkelen hebben die interesse reeds kenbaar gemaakt.

De subgroep 'Groen' werd aangestuurd door Peter Loef. Deze groep bestond uit groenvoorzieners en hoveniers. Het gaat om de volgende personen:

Peter Loef	VHG, coördinatie
Richard Maaskant	VHG
André Hoek	Hoek Hoveniers
Bert van Helvoirt	van Helvoirt Groenprojecten
Wim van Ginkel	Van Ginkel Groep
Lex Roeleveld	Stichting Heg en Landschap

De subgroep 'Overheid' bestond uit de volgende personen:

Lien de Voogd	DCMR/ Rotterdam
Hanno Frijs	Gemeente Tilburg
Tertius Hanekamp	Steunpunt Routeontwerp/ RWS VROM

1.5 Bronnen

In dit kennisdocument is van een groot aantal bronnen gebruik gemaakt. Aan het eind van ieder hoofdstuk zal daarom een kort overzicht worden gegeven van de relevante bronnen.

- *Actualisatie literatuuronderzoek "Beplanting en luchtkwaliteit"- Peutz rapportnr FL 17485-1 (concept van juli 2006)*
- *"De functie van groen bij verbetering van de luchtkwaliteit" samenvatting tbv congres "de groene gezonde stad" donderdag 17 november 2005*
- *De invloed van geplande groengebieden nabij de N201 op de achtergrondconcentratie van fijn stof. L.W.A. van Hove 15 februari 2006*
- *Groen voor lucht- Alterra Vincent Kuypers 1 februari 2006*
- *"Groen moet"- Over de waarden van Groen in de stedelijke vernieuwing- Vincent Kuypers & Jos jonkhof- WUR 2005*
- *Luchtkwaliteitsbeleid in beweging?- IP Milieuwerk*
- *Fijn stof een overwaaiend probleem -Tijdschrift Lucht p. 6-11, juni 2006*
- *Recht op groen, advies over de groene kwaliteit van de openbare ruimte- Publicatie RLG 05/6, juni 2005*
- *Milieu- Opinieblad van de Vereniging van Milieuprofessionals-2006 nr6- Kosten luchtverontreiniging door fijn stof in Nederland p17-20*
- *Cox, T., K. Buis en P. Meire (2004), Datacompilatie in het kader van SMER en MKBA voor de actualisatie van het Sigmaphan. Universiteit van Antwerpen, Ecosystem Management Research Group. Antwerpen.*
- *Goosen, H., E.C.M. Ruijgrok, S. Mager, M. Hoosbeek (1996). Natuurontwikkeling en de mogelijkheden voor koolstof opslag, Instituut Voor Milieuvraagstukken. Amsterdam.*
- *Minami, K., J. Goudriaan, E.A. Lantinga & T. Rimura (1993). Significance of grasslands in emission and absorption of greenhouse gases. Proceedings of the XVII International Grassland Congress, 13-16 Febr. 1993. Palmerston N., New Zealand, 1231-1238.*
- *Nocker, de, L., Vermoote, S en T. Heck (2004). "Valuation of environmental impacts based on preferences revealed in political negotiations and public referenda", in: NewEx New Elements for the Assessment of External costs from Energy Technologies, Report to*

the European Commission, DG Research, Technological Development and Demonstration, Stuttgart

- Sikkema, R. en G.J. Nabuurs (1994). *Bossen en hout op koolstofbalans*. Stichting Bos en Hout, Wageningen.
- Groot, de, R.S., (1992). *Functions of Nature. Evaluation of nature in environmental planning. management and decision making*. Wolters Noordhoff BV. Groningen.

Geconsulteerde websites

- www.ipluchtkwaliteit.nl
- www.ipo.nl
- www.minInv.nl
- [www.treesfortravel .nl](http://www.treesfortravel.nl); Trees for Travel (= particuliere stichting verantwoordelijk voor de verkoop van klimaatcertificaten), 2005:
- www.fijnstofclash.nl/ habiforum

2

Marktbenadering en projectstappen

2.1 Achtergrond van de marktbenadering

DWW maakt voor de opzet en invulling van het project Vegetatie– luchtkwaliteit gebruik van de zogenaamde ‘marktbenadering’. Achtergrond van deze marktbenadering is de nota Mobiliteit en de hieraan gekoppelde *Innovatiebrief Mobiliteit en Water*. Deze brief is op 21 juni 2006 door staatssecretaris Karla Peijs van Verkeer en Waterstaat aan de voorzitter van de Tweede Kamer gericht. In de innovatiebrief wordt onder meer vermeld:

“Innovaties komen tot stand door een samenspel van een groot aantal partijen die samen het innovatiesysteem dragen. Iedere partij heeft daarbij een eigen rol. Op basis van een grondige expertise van het innovatiesysteem en in interactie met haar partners dient de overheid per beleidsveld haar rol expliciet te bepalen. Iedere sector kent haar eigen karakteristieke innovatiesysteem. Om hierop in te spelen dient een specifiek instrumentarium te worden ontwikkeld. Zorgvuldig opgezette beleidsexperimenten en een overheid in de rol van *launching customer* spelen hierbij een belangrijke rol. De basis voor dit instrumentarium wordt gelegd door een gezamenlijke visieontwikkeling in iedere sector. Het SCP (Sociaal Cultureel Planbureau) vult specifiek de rol van de overheid nader in. Zij pleit voor een interactief model waarin de overheid haar eigen rollen bepaalt in relatie tot andere partijen. De overheid bepaalt de innovaties niet zelf, maar geeft daaraan richting en volgt daarbij bovenal de richting van maatschappelijke ontwikkelingen.

Ruimte geven aan de burgers, bedrijven en andere overheden is hierbij van wezenlijk belang om de gewenste doelstellingen te realiseren. Ook de SER (Sociaal Economische Raad) en het Innovatieplatform pleiten bij grote maatschappelijke uitdagingen zoals milieu, veiligheid en verkeerscongestie voor een overheid die richting en ruimte geeft aan innovaties die nodig zijn om de doelmatigheid en effectiviteit van het overheidsbeleid te verbeteren. Zo geven zij aan dat de overheid via innovatief aanbesteden gericht investeringen kan bundelen en functionele eisen kan stellen aan opdrachtnemers. In het verlengde hiervan ligt het advies van het AWT (Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid) waarin het aangeeft dat de overheid zich als een gedreven netwerkspeler moet opstellen in het innovatiesysteem. In 2005 hebben bedrijven, kennisinstellingen en overheid gezamenlijk het initiatief genomen voor een Innovatieberaad Mobiliteit en Water. Per sector is een gezamenlijke analyse verricht van innovatie. Belangrijk onderdeel van deze analyse was het bepalen van de rolverdeling tussen bedrijfsleven, kennisinstellingen en overheid.⁷ “

⁷ Zie ook Raad voor Verkeer en Waterstaat, “Innoveren, een kwestie van doen” (2005) en DHV/Dialogic, “Speerpunt of speldenprik. Innovatie- en kennissystemensectoren verkeer, bouw, logistiek, luchtvaart en water” (2004)

2.2 De marktbenadering in het project Vegetatie-luchtkwaliteit

De keuze voor een marktbenadering is erop gericht om complete producten in te kopen in plaats van productonderdelen. Marktpartijen werken samen om tot een compleet product te komen. In het voortraject van de aanbesteding worden marktpartijen al uitgenodigd om mee te denken over de formulering van de aanbesteding, zodat de aansluiting bij de markt optimaal is.

De meerwaarde voor de betrokken marktpartijen is met name kennisontwikkeling en de mogelijkheid om door middel van samenwerking op internationaal niveau voorloper te worden op een specifiek terrein, in dit geval op het thema Vegetatie-luchtkwaliteit. Er ligt een direct economisch belang in het versterken van de concurrentiepositie van de Nederlandse bedrijven op de mobiliteits- en watermarkt, die mondiaal als zeer innovatief worden beschouwd.

Meerdere vormen van marktbenadering zijn mogelijk:

- **Collectiviteiten programma**
Bij deze werkvorm heeft een onderzoeksinstituting of ingenieursbureau de projectleiding en worden bedrijven en overheden gevraagd te participeren.
- **Samenwerkingsovereenkomst**
Bij deze werkvorm worden de vraagstelling en mogelijke oplossingen in samenwerking met relevante marktpartijen uitgewerkt in een opdrachtomschrijving en daarna aanbesteed. Deze aanpak is aantrekkelijk als een branche nog weinig ervaring heeft met nieuwe contractvormen.

Voor het project Vegetatie–luchtkwaliteit heeft IPL gekozen voor de laatste vorm van marktbenadering, namelijk de samenwerkingsovereenkomst (verder samenwerkingsproject genoemd). Belangrijke reden hiervoor is de nieuwheid van het onderwerp, waardoor een samenwerking bij het uitwerken van de opdrachtomschrijving wenselijk is. Na de marktbenadering en gewenste samenwerkingsvorm zijn verschillende aanbestedingsvormen mogelijk:

- **Prijsvraag**
Bij een prijsvraag omschrijft een opdrachtgever de onderzoeksvraag op hoofdlijnen en dienen bedrijven ideeën in die ze na selectie zelf ontwikkelen, toepassen en monitoren. Voor het project Vegetatie-luchtkwaliteit is deze vorm minder goed bruikbaar in verband met de concrete afbakening van het project en het feit dat de branche nog niet veel ervaring heeft met dit type marktbenadering.
- **Internetveiling**
Hierbij omschrijft de opdrachtgever exact wat gevraagd wordt en kunnen bedrijven via Internet inschrijven. De laagste inschrijver verwerft het project. Inschrijvers kunnen gedurende een vaste periode meerdere lagere biedingen uitbrengen. Voor het project Vegetatie-luchtkwaliteit is deze benadering niet goed geschikt omdat de omschrijving van het product nog onvoldoende duidelijk is. Deze benadering is mogelijk wel toepasbaar als de randvoorwaarden van het product/project goed beschreven zijn.
- **Concurrentie gerichte dialoog**
Een aanbesteding volgens de concurrentiegerichte dialoog is een aanbesteding die algemeen bekend wordt gemaakt, waaraan ondernemers mogen verzoeken deel te nemen en waarbij de aanbesteder een dialoog voert met de tot de procedure toegelaten ondernemers, ten einde een of meer oplossingen te zoeken die aan de behoeften van de aanbesteder beantwoorden en op grond waarvan de geselecteerde ondernemers zullen worden uitgenodigd om in te schrijven.
De concurrentiegerichte dialoog is bedoeld voor het aanbesteden van bijzonder complexe opdrachten waarbij de aanbesteder objectief gezien niet in staat is de technische middelen of de juridische en financiële voorwaarden voor het project te bepalen. De aanbesteder kan slechts in dialoog met ondernemers de specificaties van het werk bepalen waaraan hij behoefte heeft. De aanbesteder last de dialoofase in na de selectie van ondernemers die zich hebben aangemeld. De dialoog wordt gevoerd op basis van een 'beschrijvend document' dat wel het te bereiken resultaat beschrijft maar niet de mogelijke oplossingen. Na de beëindiging van de dialoog volgt de uitnodiging tot

inschrijving en verloopt de procedure verder op dezelfde wijze als de inschrijvingsfase van de niet-openbare procedure.

De dialoog is vertrouwelijk. Na beëindiging van de dialoog schrijft iedere deelnemer aan de dialoog in met de eigen oplossing of oplossingen die hij in samenspraak met de aanbesteder heeft geformuleerd.

Deze aanbestedingsvorm is goed bruikbaar voor het project Vegetatie-luchtkwaliteit.

2.3 Samenwerkende marktpartijen

De marktpartijen die gevraagd zijn om te participeren in het samenwerkingsproject Vegetatie – luchtkwaliteit zijn:

- Vereniging van Hoveniers en Groenvoorzieners (VHG)
- Individuele groenvoorzieners en hoveniers
- Kennis en adviesbureaus
- Modelontwikkelaars

2.4 Stappen in het samenwerkingsproject

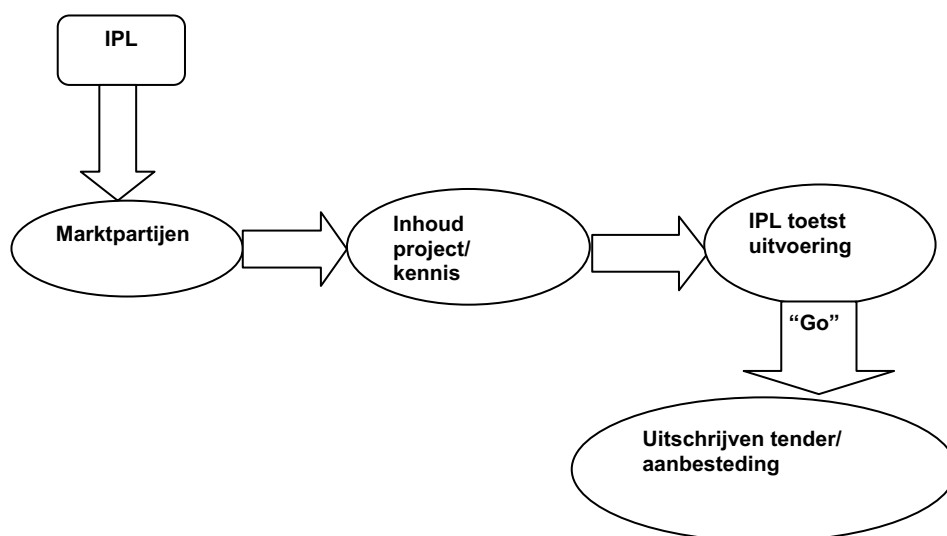
Het project (opstellen kennisdocument en proefproject) omvat de volgende stappen:

1. De marktpartijen (zoals groenvoorzieners, modelontwikkelaars, consultants) worden samengebracht om vast te stellen welke vragen er zijn op het gebied van vegetatie langs rijkswegen en luchtkwaliteit. De volgende vragen vormen hierbij de basis:
 - Hoe kan je ervoor zorgen dat vegetatie ingezet kan worden als maatregel voor luchtkwaliteit?
 - Hoe kun je ervoor zorgen dat bestaande vegetatie meegenomen kan worden in de berekeningen?
 - Hoe kan je vegetatie(profielen) optimaliseren?

Bij deze stap heeft IPL een regiefunctie en een faciliterende functie. De marktpartijen definiëren zelf wat de inhoud moet zijn van een project.

2. Aan de hand van de discussies tussen de verschillende partijen wordt een beslissing genomen over een project waarin de eerdergenoemde vragen beantwoord kunnen worden. De marktpartijen nemen een beslissing over de inhoud van het project. Het IPL toetst of ze een dergelijk project wil laten uitvoeren. Indien ja, dan stap 3.
3. Vervolgens wordt een tender uitgeschreven door IPL om het project uit te voeren.
4. Op basis van de uitkomsten van het project zorgt IPL voor de acceptatie van vegetatie in het meet- en rekenvoorschrift.

Figuur 2.1. Stappen in het samenwerkingsproject



2.5 Activiteiten en deelprojecten

In het samenwerkingsproject Vegetatie–luchtkwaliteit vinden de volgende activiteiten en deelprojecten plaats:

1. Parallel aan het project zijn door ECN (zomer)metingen uitgevoerd aan een stuk vegetatie langs de A50 bij Vaassen. Het hoofddoel van dit project is: nagaan wat de effecten zijn van een bepaald soort vegetatie op de luchtkwaliteit. De uitkomsten van dit project zullen medio 2007 worden gepubliceerd.
2. Tijdens een workshop Vegetatie–luchtkwaliteit is de aftrap voor het samenwerkingsproject gegeven. Voor deze workshop is een selecte groep van deskundigen uitgenodigd, afkomstig uit de verschillende marktpartijen⁸.
3. Modelontwikkelaars formuleren in onderling overleg de randvoorwaarden waaraan een model moet voldoen om de effecten van beplanting op een goede manier in de uitkomst van een model te integreren. Het resultaat van deze activiteit is opgenomen in hoofdstuk 4.
4. Om inzicht te krijgen in de bestaande vegetatieprofielen langs rijkswegen wordt een deelproject uitgevoerd waarin een beknopte landschappelijk-ruimtelijke analyse wordt gemaakt van een aantal veelvoortkomende vegetatieprofielen (beeld vegetatieprofielen). Tevens wordt in dit deelproject een korte beschrijving meegenomen van de historie van de landschappelijke inpassing van de rijkswegen. Het resultaat van deze activiteit is opgenomen in hoofdstuk 5.

2.6 Bronnen

- Workshop Vegetatie – Luchtkwaliteit 27 juli 2006 Bomen centrum Baarn- DWW
- Innovatiebrief *Mobiliteit en Water* 21 juni 2006

⁸ Workshop Vegetatie-Luchtkwaliteit 27 Juli 2006 Bomen centrum Baarn- DWW/IPL 06.00014

3

Effecten van beplanting op de luchtkwaliteit langs snelwegen: een wetenschappelijke onderbouwing

F.Tonneijck en H. Swaagstra
Triple E en ES Consulting

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt geanalyseerd welke mechanismen ten grondslag liggen aan een mogelijk effect dat vegetatie op de luchtkwaliteit kan hebben en worden bronnen aangehaald die dat onderbouwen.

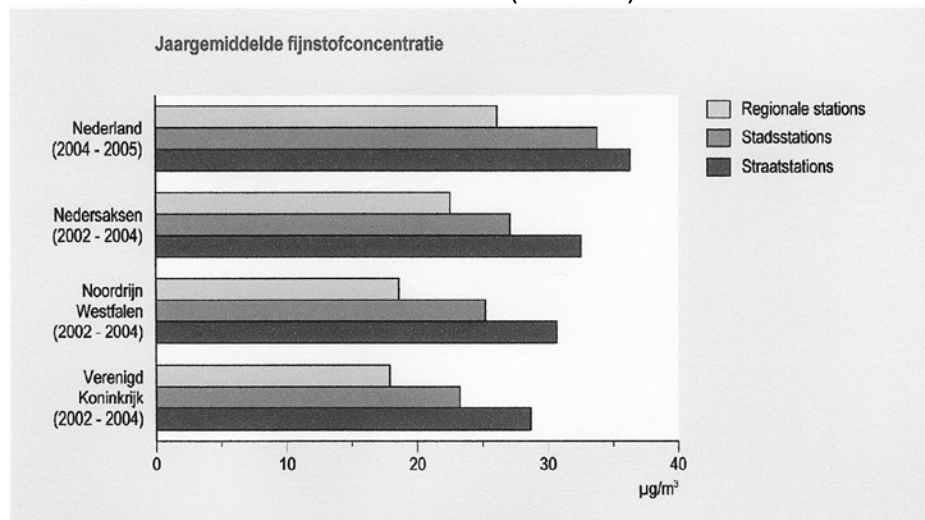
Dit wil geenszins zeggen dat dit een alomvattende verantwoording is. Onderzoeksbronnen komen uit velerlei context, en meestal wordt slechts een deel van het totale verhaal onderzocht. Uitkomsten zijn niet altijd in de terminologie die wij voor deze toepassing graag zouden willen zien. Aan het getal in kilo's stof per strekkende kilometer hebben we niet zoveel, bij een uitkomst in luchtstromingspatronen is nog niets gezegd over het gedrag van fijn stof of chemische omzetting van gassen. Het is het combineren van uitkomsten dat ons zicht geeft op de werkelijke effecten in praktijksituaties, en wel op een manier en in een terminologie die we kunnen gaan gebruiken bij het in onze regelgeving verantwoord meerekenen van de effecten van vegetatie op de luchtkwaliteit.

Ter onderbouwing voor specifieke onderzoeksvelden zijn slechts dan bronnen geaccepteerd indien tenminste twee onafhankelijke bronnen elkaar bevestigen (één verhaal is geen verhaal).

3.2 Achtergrondconcentraties en verkeersconcentraties

Onderzoek door het Milieu en Natuur Planbureau en RIVM geeft inzicht in de herkomst van het fijn stof. Achtergrondconcentraties, afkomstig uit veel, veraf gelegen bronnen, vormen het leeuwendeel van de fijnstofbelasting.

Figuur 3.1. verschillen in belasting tussen regionale en stads- en straatstations door effect verkeer (Bron: MNP)



Figuur 3 De concentratieverschillen tussen fijnstofmetingen in stad/straat en regionale omgevingen in Nederland, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk. Het beeld dat de laatste twee jaren in Nederland gevonden wordt, komt beter overeen met de waarnemingen in buitenlandse meetnetten. Bron: AIRBASE, LML.

Ook op zwaar belaste locaties draagt het verkeer ten hoogste voor de helft bij zoals blijkt uit het rapport “Fijn stof nader bekeken: de stand van zaken in het dossier fijn stof” van Buijsman/Beck/van Bree/Cassee/Koelemeijer/Matthijssen/Thomas/Wieringa; RIVM, Milieu en Natuur Planbureau. Dit betekent dat in de berekeningen omtrent de effecten van beplanting ook de effecten van beplanting op achtergrondconcentraties opgenomen dienen te worden zodat een representatieve koppeling met veldonderzoek ontstaat.

Dit betekent dat de rol van doorstroming en depositie ten opzichte van achtergrondconcentratie ook in beschouwing dient te worden genomen, zoals ook in de “box-berekening” gebeurt, gehanteerd in de casestudy uit 2006 van Duijf, M./dr. P. Hofschreuder; The reduction of the concentration of particulate matter at the Prins Hendrikkade in Amsterdam (lit. 10).

Bij deze methode wordt een virtuele box over een locatie geplaatst waarbinnen de processen die de luchtkwaliteit bepalen zich afspelen. Het “boxmodel” voor een locatie bestaat uit aantal gestapelde boxberekeningen. Dit aangezien de dispersie van fijn stof op 1,5 meter hoogte beneden boomkruinen aanzienlijk kan verschillen van dispersie op de hoogte van boomkruinen.

Achtergrond en wegbelasting komen gezamenlijk aan op de beplantingsstructuur. Beplanting maakt geen onderscheid in herkomst van een stofdeeltje, zodat effecten per definitie gelden voor de combinatie van achtergrond- en verkeersconcentraties.

Lineaire beplantingselementen zuiveren alle vuile lucht ongeacht de bron van herkomst indien de vervuilde lucht de beplanting kan bereiken. Indien langs een doorgaande verbinding slechts bomen zonder onderbegroeiing zijn geplaatst zal zuivering van verkeersgerelateerde emissies gering zijn maar achtergrondconcentraties worden door de boomkruin gezuiverd. Indien langs een doorgaande verbinding slechts lage beplanting geplaatst is, zal de zuivering vooral verkeersgerelateerde emissies betreffen. Een lineaire beplantingsstructuur met onderbegroeiing en bomen zal derhalve zowel verkeers-gerelateerde als achtergrondemissies zuiveren.

3.3 Efficiëntie van vegetatie

3.3.1 Effecten van individuele planten

Bodem en vegetatie vormen een groot oppervlak voor het opnemen van luchtverontreiniging en vervullen een wezenlijke rol bij de transfer van verontreiniging uit de atmosfeer naar de biosfeer. Aangezien het oppervlak aan bladeren vele malen groter is dan het oppervlak van de onderliggende bodem, kunnen vegetaties worden beschouwd als een belangrijke 'sink' voor luchtverontreiniging. Deze algemene eigenschap van vegetaties waarbij verontreiniging op het blad deponert, wordt ook wel aangeduid met de term 'bulkvangst'. Depositie naar de vegetatie wordt gecontroleerd door verschillende factoren zoals atmosferische turbulentie, fysische en chemische eigenschappen van de component, de aanwezigheid van een gradiënt in concentratie tussen de atmosfeer en de vegetatie en de aard en activiteit van plantoppervlakten (Hanson & Lindberg, 1991).

Planten spelen dus een belangrijke rol bij het verwijderen van stoffen uit de atmosfeer. Vooral bomen zijn efficiënt vanwege hun grote omvang, grote oppervlak tot volume ratio, grote aantal twijgen en de aanwezigheid van ruwe en/of harige oppervlaktestructuren (Smith en Staskawicz, 1977). Deze onderzoekers concluderen dan ook dat de aanplant van bomen en van windsingels de luchtkwaliteit in verblijfsgebieden kan verbeteren. Bij toepassing wordt over het algemeen een onderscheid gemaakt tussen lokale en regionale bescherming. Met de eerste wordt bedoeld dat een specifiek object nabij het groenelement beschermd wordt, bijvoorbeeld tegen een ongunstig windklimaat of tegen luchtverontreiniging. Het tweede houdt in dat het doel vooral is om verontreiniging uit de lucht te filteren om een algemene verbetering van de luchtkwaliteit te bereiken.

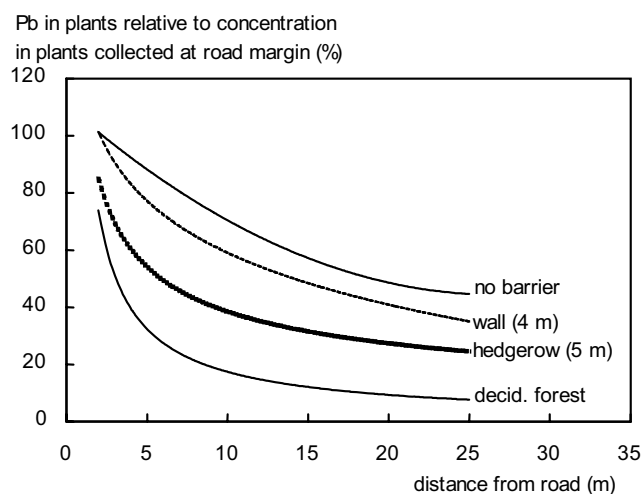
Dit hoofdstuk geeft een onderbouwing van het effect van groen op de luchtkwaliteit. De nadruk ligt op de problematiek van verkeersgerelateerde luchtverontreiniging rond snelwegen en op de effectiviteit van groene elementen om lokaal de concentraties van stikstofdioxide (NO₂) en fijn stof (PM₁₀) te beïnvloeden (lokale bescherming). Planten kunnen beide componenten opnemen en deels uit de lucht verwijderen (Tonneijck en Blom-Zandstra, 2002). De belangrijke en algemene eigenschap van vegetaties om vuile stoffen uit de lucht op te nemen en daarmee de achtergrondconcentraties te verlagen (regionale bescherming) blijft hierbij dus buiten beschouwing.

3.3.2 Effecten van landschapselementen

Windsingels kunnen een belangrijke rol spelen bij de depositie van koper, lood en zink naar de bodem en vegetatie langs een snelweg (Heath et al., 1999). Volgens deze onderzoekers vormen concentraties van zware metalen in de bodem en vegetatie een goede indicatie voor de verspreiding van deeltjes en fijn stof van het wegverkeer. De atmosferische depositie van de verschillende metalen is relatief groot direct langs de snelweg en in de bodem van de windsingel. Achter de windsingel dalen de gehalten van de verschillende metalen snel met toenemende afstand tot de windsingel.

In figuur 3.2 wordt de invloed van verschillende typen barrières op de verspreiding van deeltjes rond een snelweg onderstreept aan de hand van metingen van loodconcentraties in de vegetatie. De loodconcentratie als maat voor de verspreiding van stofdeeltjes neemt onder alle omstandigheden af met toenemende afstand tot de weg. De snelheid van afname in aanwezigheid van hagen en bomen is vooral in de eerste 10 tot 15 meter van de weg veel groter dan die in open terrein en ook groter dan die in aanwezigheid van een 4 meter hoog geluidsscherm. Op 25 meter afstand van de snelweg bedraagt de loodconcentratie in planten in afwezigheid van een barrière ongeveer 45% van die in planten dicht bij de snelweg. In aanwezigheid van hagen en loofbos is dit gedaald tot ongeveer 20% respectievelijk 5%.

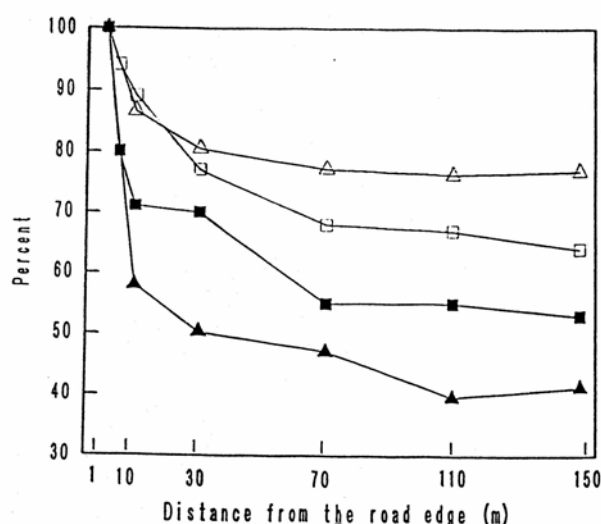
Figuur 3.2 effecten van verschillende typen barrières ('no barrier', geen barrière; 'wall', geluidsscherm; 'hedgerow', hagen; deciduous forest, loofbos) op de concentratie van lood in planten op verschillende afstanden ten opzichte van dat in planten direct langs snelwegen in Baden-Württemberg (naar gegevens van Schweikle, 1999).



Nasrullah et al. (1994) bestudeerden het effect van beplanting langs snelwegen op de verspreiding van NO₂ (Figuur X2). Beplantingen met bomen van maximaal circa 15 meter hoogte op het niveau van de weg reduceerden de NO₂ concentratie in belangrijke mate tot op een afstand van 150 meter. Afhankelijk van de afstand tot de weg was deze afname maximaal 17%. De afname in concentratie met toenemende afstand tot de weg was in aanwezigheid van beplanting gemiddeld circa 12% groter dan die in open terrein.

Figuur 3.3. Afname in concentratie van NO₂ door beplanting op verschillende afstanden van de rand van een verkeersweg (Nasrullah et al., 1994). Het gebied met bomen (hoogte circa 15 m.) en struiken was 100 meter breed en de afstand tot de rand van de verkeersweg was 1 tot 300 meter.

- Beplanting op winderige dagen; ▲ beplanting bij kalm weer;
- Open terrein op winderige dagen; △ open terrein bij kalm weer.

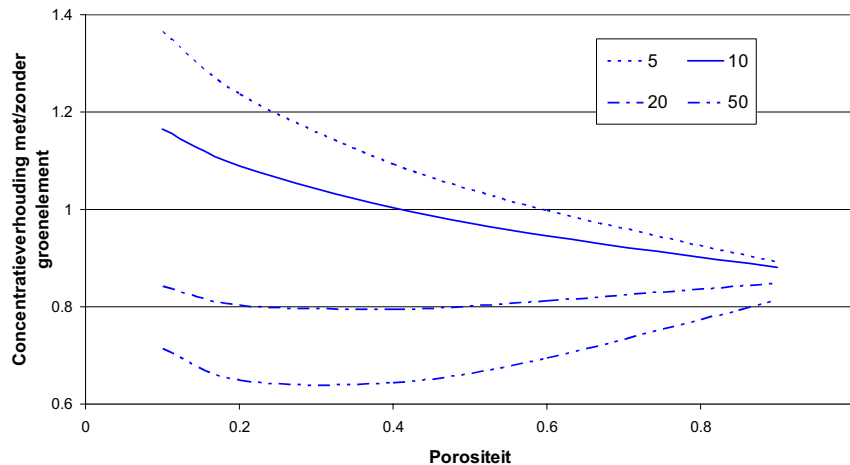


In bovenbeschreven studies is niet gekeken naar de precieze oorzaak van de geconstateerde afname in concentratie en de rol van de beplanting hierbij. Wesseling et al. (2004) hebben schattingen gemaakt van de invloed van poreuze groenelementen op de concentraties van NO₂ en PM₁₀. Poreuze groenelementen zijn elementen waar de vervuilde lucht in meer of mindere mate door de kroon heengaat en als zodanig in contact komt met de bladeren binnenin de kroon. Afhankelijk van de situatie vangen groenelementen bij gemiddelde meteorologische omstandigheden ca. 15-20% van het aanbod aan PM₁₀ af. Vanwege de

bladvorm zijn coniferen het meest efficiënt. Terwijl groenelementen dichtbij de weg (dit is de emissiebron) verontreiniging opnemen, 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 dichtbij de bron is afhankelijk van de optische porositeit van het groenelement en de grootte van de stofdeeltjes.

Figuur 3.4. effect van een groenelement op de concentratie kort achter dit element als functie van de optische porositeit en de deeltjesgrootte (Wesseling et al., 2004). 5, 10, 20 en 50 refereren aan achtereenvolgens PM5, PM10, PM20 en PM50.



Voor concentratieverhoudingen kleiner dan 1.0 is de netto concentratie met groenelement lager dan de concentratie zonder groenelement. Bij lagere porositeiten is er naar verwachting voor zowel PM10 als voor PM5 een globaal negatief effect, de concentraties worden hoger. Dit laat onverlet dat het groenelement uiteraard nog steeds deeltjes vangt. Alleen is het effect van de snelheidsdemping lokaal groter dan het effect van de deeltjesvangst. Bij hogere porositeiten (>50%) is het netto effect van het groenelement op de concentraties positief. Voor stofdeeltjes met een diameter van 20 µm en groter resulteert een groenelement dichtbij de weg altijd in een verlaging van de concentratie kort achter dit element. Op 100 tot 150 meter van de weg is het verkeersgerelateerde fijn stof volledig gemengd met 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.

Zonder rekening te houden met het effect van de windsnelheidsdemping op de concentratie dichtbij de weg kunnen groenelementen de concentratie van NO₂ met maximaal 10% reduceren (Wesseling et al, 2004). De opname van NO₂ door bladeren is het grootst voor gewassen gevolgd door loofbomen. Het belang van groenelementen dichtbij wegen is vooral gelegen in een zuivering van de lucht in een omgeving waarin de concentraties hoog zijn. Afhankelijk van de hoeveelheid verontreiniging die de aanwezige beplanting opneemt, kunnen de concentraties benedenwinds meer of minder zijn verlaagd. Voor een effectieve verlaging van de concentraties is het in ieder geval opportuun om bomen aan te planten bij de rand van de bebouwing op circa 100 tot 150 meter van de verkeersweg. In dergelijke situaties leidt het filterende effect van groenelementen altijd tot verlaging van de concentraties.

De studie van Wesseling et al. (2004) levert aanwijzingen dat de effectiviteit van groene elementen om verontreiniging uit de lucht te verwijderen zowel van biologische (bijvoorbeeld bladvorm) als van structurele aspecten (bijvoorbeeld porositeit) afhankelijk is. Het is duidelijk dat een strikt onderscheid tussen beide aspecten niet altijd kan worden gemaakt. In het navolgende wordt het belang van de biologische en van de structurele aspecten nader uitgediept.

3.4 Biologische aspecten met betrekking tot opname

3.4.1 Algemeen

Planten kunnen een groot scala aan luchtverontreinigingcomponenten opnemen. Als gevolg van deze opname kunnen de concentraties in de omgevingslucht worden verlaagd. Afhankelijk van de component wordt gasvormige luchtverontreiniging door bladeren opgenomen via de huidmondjes en/of via de cuticula. De cuticula is het buitenste laagje van het blad dat bestaat uit een vetachtige substantie die de plant beschermt tegen uitdroging. Huidmondjes zijn afsluitbare openingen in het blad waardoor gasuitwisseling tussen blad en atmosfeer plaatsvindt. Opname via de huidmondjes wordt absorptie genoemd terwijl adsorptie staat voor opname via de cuticula. Deeltjesvormige luchtverontreiniging wordt op een andere manier afgevangen. Deeltjes deponeren op bladeren en andere plantendelen en worden vervolgens vastgehouden. Door neerslag of bij relatief hoge windsnelheden kunnen deze deeltjes van de plantendelen worden verwijderd.

Het contact tussen verontreiniging en bladeren is essentieel voor de filterende werking van planten. Beplanting vangt verontreiniging af door middel van verticale depositie wanneer lucht over de beplanting heen wordt geleid. Beter zou het zijn om de lucht met daarin de verontreiniging door de beplanting heen te leiden. De doordringbaarheid van beplanting waarvoor de optische porositeit als maat wordt gehanteerd, moet dan wel voldoende groot zijn.

3.4.2 NO₂

NO₂ wordt door planten vrijwel uitsluitend opgenomen via de huidmondjes. De openingstoestand van de huidmondjes is dus bepalend voor de mate waarin gasuitwisseling kan plaatsvinden. De opname neemt lineair toe met de mate waarin de huidmondjes zijn geopend (Neubert et al., 1993). De belangrijkste factoren die het openen en sluiten van de huidmondjes beïnvloeden, zijn de lichtintensiteit en de watervoorziening van het blad. Onder invloed van licht en voldoende aanvoer van water vanuit het blad gaan de huidmondjes open. Bij onvoldoende wateraanvoer zullen de huidmondjes sluiten om overmatig vochtverlies door verdamping te voorkomen. Tijdens het transport door de huidmondjes naar het inwendige van het blad ondervinden gassen een zekere weerstand. Deze zogenaamde huidmondjesweerstand of geleidbaarheid bepaalt naast andere soortspecifieke eigenschappen zoals de opbouw van de cuticula en de weerstand van de cellen in het blad (mesophyl) de mate waarin NO₂ wordt opgenomen. Voor NO₂ zijn deze interne weerstanden relatief klein (Van der Eerden et al., 1998). De interne concentratie van NO₂ in het blad mag daarom als nihil worden verondersteld.

Plantensoorten met veel actieve huidmondjes per eenheid bladoppervlak nemen relatief veel gas uit de lucht op. Dit betreft in het algemeen planten met brede en dunne bladeren. Bladeren van loofbomen zijn om deze reden effectiever in het opnemen van gasvormige luchtverontreiniging dan naalden van coniferen. Dit strookt met de waarnemingen van Hanson en Lindberg (1991). De maximale geleidbaarheidsfactor voor NO₂ bleek voor loofbomen te variëren tussen 1,2 en 1,3 mm seconde⁻¹ en voor naaldbomen tussen 0,3 en 0,8 mm seconde⁻¹. De hogere geleidbaarheid van loofbomen versus die van naaldbomen impliceert een hogere potentiële opnamecapaciteit op bladniveau.

Voor acht verschillende gewassen is na blootstelling aan 500 ppb NO₂ een significante relatie aangetoond tussen de NO₂ opname en het totale bladoppervlak bij de oogst (Okano et al., 1988). Een groter bladoppervlak betekende een hogere opname van NO₂. In dit onderzoek was ook een significante relatie aantoonbaar tussen opname en huidmondjesgeleidbaarheid; soorten met een hoge geleidbaarheid namen relatief veel NO₂ op in vergelijking met soorten met een lage geleidbaarheid. De huidmondjesdichtheid en de relatieve groeisnelheid bleken niet gecorreleerd met de opname. Dit betekent dat per eenheid van oppervlakte de activiteit van de huidmondjes meer bepalend is voor de opname van NO₂ dan het absolute aantal

ervan. De auteurs concludeerden dat dit fenomeen de verschillen in NO₂-gevoeligheid tussen soorten in termen van beschadiging en groeireductie zou kunnen verklaren. De als relatief gevoelig beoordeelde soorten zonnebloem en radijs vertoonden een hoge NO₂-opname terwijl de als tolerant aangemerkte soorten maïs en sorghum relatief weinig NO₂ opnamen. Een zelfde relatie tussen opname en huidmondjesgeleidbaarheid is door Okano et al. (1989) aangetoond voor enkele boomsoorten bij een blootstellingniveau van 300 ppb NO₂. De auteurs berekenden dat populier onder optimale omstandigheden en bij een blootstelling aan 60 ppb NO₂ circa 0,2 mg NO₂ opneemt per dm² blad per dag. Voor toepassing is het dus gewenst om boomsoorten te selecteren die NO₂ goed kunnen opnemen en tevens relatief ongevoelig zijn. Tabel 3.1 vermeldt op basis van Japans onderzoek een aantal stadsbomen, dat zeer goed in staat is stikstofdioxide op te nemen en onschadelijk te maken (zie Tonneijck en Kuypers, 2006). Kronkelwilg en Zwarte populier behoren hiertoe. Beide horen tot de wilgenfamilie. Deze familie bevat veel soorten die goed in staat zijn om stikstofdioxide te absorberen. Ook soorten uit de vlinderbloemenfamilie zoals Gewone acacia en Honingboom doen dit efficiënt.

Tabel 3.1 Bomen die stikstofdioxide zeer goed kunnen opnemen en verwerken (uit Takahashi et al., 2005).

Gewone acacia	<i>Robinia pseudoacacia</i>
Honingboom	<i>Sophora japonica</i>
Kronkelwilg	<i>Salix babylonica</i>
Magnolia	<i>Magnolia kobus</i>
Yoshino-kers	<i>Prunus yedoensis</i>
Zelkova	<i>Zelkova serrata</i>
Zwarte populier	<i>Populus nigra</i>

Er zijn aanwijzingen dat de opname van stikstof via de bladeren de opname via de wortels zou afremmen, het werkingsmechanisme is echter niet bekend (Perez-Soba & Van der Eerden, 1993; Srivastava & Omrod, 1986). Dit zou betekenen dat opname van stikstof uit de lucht niet geremd wordt door eventueel stijgende stikstofniveaus in de bodem. Daarnaast is ook aangetoond dat de opname van stikstof uit de lucht over een groot concentratiebereik proportioneel toeneemt met een toenemende concentratie van NO₂. Hiermee lijkt de capaciteit van planten om NO₂ vast te leggen ook gegarandeerd te zijn in situaties met een structureel hoge NO₂-belasting zoals die voorkomt langs drukke snelwegen.

3.4.3 Fijn stof

Planten vangen stofdeeltjes uit de lucht af door een aantal vrij simpele fysische processen. Biologisch gezien hangt de effectiviteit dan ook af van een paar

eigenschappen van bladeren en het oppervlak daarvan. Deeltjes moeten direct met het blad in contact komen dan wel dicht genoeg bij het blad zijn om elektrostatisch te worden aangetrokken. Dit mechanisme wordt versterkt wanneer een laminaire luchtstroom verstoord wordt door een ruw oppervlak (Beckett et al., 2000). Depositie van stof is optimaal wanneer de bladeren vochtig zijn, een ruw en/of behaard bladoppervlak bezitten en elektrostatisch geladen zijn (Pye, 1987). De effectiviteit van opname van deeltjes door bomen neemt toe indien de oppervlaktes van bladeren en schors ruw of 'plakkerig' zijn (Beckett et al., 1998). Afgevangen stof kan worden verwijderd door neerslag en op de bodem terecht komen. Ook door wind kan stof van het blad verwijderd worden, alleen zijn hier wel relatief hoge windsnelheden voor nodig. Zo gaat Nowak (1994) uit van 50% resuspensie; dit wil zeggen dat van de totale hoeveelheid fijn stof die een boom opneemt, de helft weer verwaait naar de lucht.

De effectiviteit om stof af te vangen verschilt tussen plantensoorten. In het algemeen zijn naalden van coniferen (zowel dode als levende) vanwege de spitse vorm effectiever dan bladeren van loofbomen. De effectiviteit verschilt echter ook tussen verschillende coniferen onderling. Zo zijn soorten van het geslacht *Pinus* (den) effectiever dan cypressen. Hoewel coniferen effectiever fijn stof afvangen dan loofbomen, zijn bladeren van loofbomen juist meer geschikt voor het absorberen van gasvormige luchtverontreiniging. Voordeel van coniferen is ook dat de meeste groenblijvend zijn en dus ook in de wintermaanden fijn stof uit de lucht halen

Binnen de Europese gemeenschap wordt volop gediscussieerd over de normstelling voor PM₁₀. Het is waarschijnlijk dat nieuwe normstelling zich zal richten op de nog fijnere deeltjes omdat deze schadelijker zijn voor de gezondheid dan PM₁₀. Ook deze kleinere deeltjes worden beter vastgelegd door naaldbomen dan door loofbomen. En mogelijk zelfs beter dan PM₁₀.

3.4.4. Overige stoffen

Naast NO₂ en fijn stof vereisen ozon (O₃), vluchtige organische stoffen (VOS) en zware metalen specifieke aandacht.

Ozon op leefniveau wordt niet geëmitteerd maar wordt gevormd uit NO₂ en VOS onder invloed van zonlicht. Het niveau van O₃ is dichtbij de weg lager dan op enige afstand en is in de zomer hoger dan in de winter. Ozon is schadelijk voor de volksgezondheid en de vegetatie, waarbij planten gevoeliger reageren dan mensen. Ozon wordt uitsluitend via de huidmondjes van bladeren opgenomen. Alle processen die voor de opname van NO₂ belangrijk zijn, zijn dus ook belangrijk voor de opname van O₃. Over het algemeen zijn de interne weerstanden voor opname van O₃ in het blad iets geringer en wordt O₃ beter door planten geabsorbeerd dan NO₂. Soms kan de cuticula aan de buitenkant van de bladeren worden aangetast door blootstelling aan ozon. Deze aantasting heeft effect op het functioneren van de huidmondjes met als gevolg dat de absorptie van O₃ wordt bemoeilijkt.

Ozon wordt dus zeer effectief door planten weggevangen uit de lucht. Wanneer een hoeveelheid lucht met 150 ppb ozon (300 µg m⁻³) een bos met bomen van vier tot vijf meter hoogte passeert, blijkt 60 tot 90 ppb van de ozon weggevangen te worden indien de lucht één uur stil staat boven het bos (Robinette, 1972). Indien de lucht acht uur stilstaat, is de reductie zelfs 120 ppb. Hogere bomen zijn hierbij effectiever dan lagere en de effectiviteit neemt toe met toename in hoeveelheid en grootte van de huidmondjes.

In uitlaatgassen zit ook een weinig ammoniak (NH₃). De niveaus zijn echter veel lager dan die welke in het landelijke gebied voorkomen. Ammoniak komt hoofdzakelijk in het blad via de huidmondjes en lost relatief gemakkelijk op in de waterfilm van natte bladeren. Verschillende typen vegetaties hebben een verschillend effect op de depositiesnelheid voor ammoniak. De meeste depositie vindt op bossen plaats in vergelijking met laagblijvende vegetaties. De mate van depositie is van veel factoren afhankelijk zoals ruwheid van het bladerdek (kort gras, loofbomen, naaldbomen) en tijdstip van de dag, vochtigheid en temperatuur. Gemeten depositiesnelheden liggen

tussen $0,3 \text{ cm sec}^{-1}$ voor bodem tot $3,6 \text{ cm sec}^{-1}$ voor bossen (zie Oosterbaan et al, 2006).

Wegverkeer is een belangrijke bron van VOS zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs) en dioxinen. Deze componenten kunnen door planten worden opgenomen en geaccumuleerd en vormen onder andere via de voedselketen een mogelijk gevaar voor de volksgezondheid. Landschapselementen kunnen aantoonbaar deze VOS opnemen. Sommige VOS worden via de huidmondjes opgenomen. Voor veel vluchtige organische stoffen vormt echter de cuticula de belangrijkste route van opname. Dit proces noemen we adsorptie. Deze stoffen zijn vaak niet oplosbaar in water maar wel in de vetachtige bestanddelen van de cuticula. De opname via de cuticula heeft als voordeel dat deze gedurende de nacht wanneer de huidmondjes gesloten zijn, en in de wintermaanden wanneer de dan groene planten weinig actief zijn, gewoon doorgaat. Na opname in de cuticula worden de vluchtige organische stoffen langzamerhand afgegeven aan het inwendige van het blad. Bladeren met een dikke cuticula die veel vetachtige bestanddelen bevat, zijn zeer geschikt voor het wegvangen van dit type organische componenten. Hierbij kunnen we denken aan naalden van coniferen maar ook aan bijvoorbeeld een plant als boerenkool. Ook in de bast van bomen kunnen deze VOS accumuleren.

Bij VOS gaat het om een groot scala aan verschillende verbindingen met sterk verschillende chemische eigenschappen. Het is daarom moeilijk om informatie te geven over de effectiviteit waarmee planten verkeersgerelateerde VOS afvangen. Hier is ook heel weinig onderzoek naar gedaan. Wel is aangetoond dat de vegetatie verspreid over een groot gebied (urbaan, sub-urbaan, landelijk) ongeveer 4% afvangt van de in de lucht voorkomende PAKs (Wagrowski & Hites, 1997).

De opname van zware metalen is reeds in paragraaf 3.2.2. besproken. Deze metalen zitten meestal aan het oppervlak van fijn stofdeeltjes en worden dus in meer of mindere mate op het bladoppervlak van planten vastgelegd. Ook slijtage van banden en remschijven leidt tot het vrijkomen van zware metalen uit het verkeer. Deze zware metalen komen minder hoog in de atmosfeer en worden minder ver verspreid dan de zware metalen uit uitlaatgassen. Dicht langs drukke wegen is het opportuun om ook laagblijvende vegetaties aan te planten.

Bronnen:

Oosterbaan, A., Tonneijck, A.E.G., De Vries, E.A., 2006. Kleine landschapselementen als invangers van fijn stof en ammoniak. Rapport Alterra, Wageningen UR.

Robinette, G.O., 1972. Plants, People and Environmental Quality: A Study of Plants and their Environmental Functions. U.S. Department of the Interior, National Park Service, Washington D.C., XII+136 pp.

Wagrowski, D.M. & R.A. Hites, 1997. Polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation in urban, suburban, and rural vegetation. Environmental Science and Technology 31: 279-282.

3.5 Bepanting als bron voor stoffen en gassen

3.5.1 Planten emitteren vluchtige verbindingen

Bomen dragen niet altijd bij aan de vermindering van luchtverontreiniging. Soms kunnen ze juist de luchtverontreiniging vergroten omdat ze vluchtige organische stoffen (VOS) emitteren. Samen met NO_2 leiden deze biogene emissies van VOS tot de vorming van ozon (zie verder onder paragraaf 3.4.4.). Ozon komt dan ook van nature voor in een achtergrondconcentratie van maximaal 15-20 ppb ($30\text{-}40 \mu\text{g m}^{-3}$). Vooral populieren, eiken en wilgen hebben de eigenschap om veel VOS te emitteren. Het betreft dan vooral monoterpenen en isopreen waaruit in de zomer ozon kan worden gevormd. Platanen hebben ook deze eigenschap. Bij grootschalige aanplant dragen deze bomen niet bij aan

de reductie van te hoge ozonconcentraties en zijn ze dus minder geschikt. Dit laat onverlet dat ze goed in staat zijn om bijvoorbeeld NO₂ goed te absorberen.

Met betrekking tot de emissie van vluchtige organische stoffen zijn de soortverschillen binnen een genus (plantengeslacht) over het algemeen klein. Wel bestaan grote verschillen tussen de verschillende genera. De emissie van vluchtige verbindingen is bij boomgeslachten met zeer weinig emissie circa 700 maal minder dan bij bomen met een zeer hoge emissie. Zeer gunstig scoren veel voorkomende bomen als berk, es, iep en linde.

Tabel 3.2. mate van emissie van vluchtige organische stoffen door een aantal algemene boom- en struiksoorten

Matig tot zeer veel		Zeer weinig tot niet aantoonbaar	
<i>Berberis vulgaris</i>	Zuurbes	<i>Betula sp.</i>	Berk
<i>Cercidiphyllum japonicum</i>	Katzuraboom	<i>Castanea sativa</i>	Tamme kastanje
<i>Koelreuteria paniculata</i>	Chinese vernisboom	<i>Crataegus sp.</i>	Meidoorn
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Amberboom	<i>Fraxinus sp.</i>	Es
<i>Platanus sp.</i>	Plataan	<i>Malus sp.</i>	Appel
<i>Populus sp.</i>	Populier	<i>Prunus sp.</i>	Prunus
<i>Quercus sp.</i>	Eik	<i>Pyrus sp.</i>	Peer
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Gewone acacia	<i>Sorbus sp.</i>	Lijsterbes
<i>Salix sp.</i>	Wilg	<i>Tilia sp.</i>	Linde
		<i>Ulmus sp.</i>	Iep

Voor gerichte aanplant van plantensoorten moet natuurlijk op meer eigenschappen worden gelet dan alleen op de vermindering van fijn stof en NO₂. Een bijkomende overweging kan bijvoorbeeld zijn dat planten kunnen leiden tot allergische reacties bij mensen. Onder de bomen staan vooral berk en els bekend als veroorzaker van hooikoorts. En ook pluis, vruchten of vallend blad kunnen in sommige situaties zoveel overlast veroorzaken dat dit een belangrijk argument is bij de soortenkeuze. Een ander aspect om rekening mee te houden is de gevoeligheid van de bomen zelf voor luchtverontreiniging. Hierin bestaan grote verschillen die ook afhankelijk zijn van het type luchtverontreiniging.

Vorig jaar werd door onderzoekers van de Universiteit van Utrecht gepubliceerd dat planten methaan emitteren. Methaan is een veel sterker broeikasgas dan het bekende kooldioxide. De reacties van verschillende kanten waren voorspelbaar. Wees voorzichtig met aanplant van groen want het leidt tot een verslechtering van de luchtkwaliteit. Op dit moment wordt in wetenschappelijke kringen de emissie van methaan door planten sterk betwijfeld. Emissies van methaan vinden in Nederland vooral hun oorsprong in de veeteelt. Internationaal is daarnaast het type landgebruik van belang. Zo komt relatief veel methaan vrij uit de natte rijsteelt.

3.6 Mechanismen in de interactie tussen vegetatie en luchtkwaliteit

3.6.1 Werkingsprincipe 1: Vangen en al dan niet omzetten

Planten reageren op stoffen uit de lucht door deze vast te houden of op te nemen. Verschillende plantensoorten doen dit in verschillende mate. Dit proces van vasthouden en/of opnemen gebeurt voornamelijk via de bladeren of naalden, en in mindere mate door de houtige delen. Om deze functie te kunnen vervullen moet de wind als transporteur van stofdeeltjes en gassen de bladeren wel kunnen bereiken, met andere woorden zal de groenstructuur een bepaalde openheid moeten hebben. Bij een dichtere structuur vindt dit proces met name aan de randen plaats.

De lucht die door de beplanting heen stroomt wordt enigszins afgeremd door de ruwheidsfactor van de beplanting, welke bepaald wordt door dichtheid van vertakking, grootte en vorm van bladeren, ruwheid van bast, etc. De remming van de windsnelheid in het beplantingselement leidt tot depositie van stofdelen, ofwel tot opname van gassen en stoffen in het systeem van de plant.

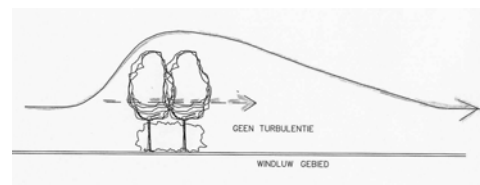
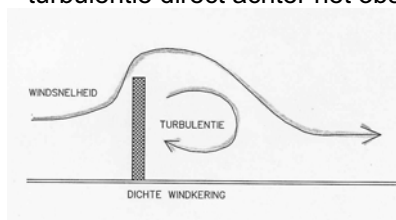
De vangstcapaciteit is een afgeleide van de in de modelstudies beschreven depositie als resultaat van de ruwheidsfactor in de vorm van oppervlaktevergroting door beplanting.

3.6.2 Werkingprincipe 2: Depositie door windsnelheidsverlaging

Eenvoudigweg door verlaging van de windsnelheid krijgen stofdeeltjes de kans om naar de bodem te zakken. Indien in dit gebied met verlaagde windsnelheid gemeten wordt kan een concentratieverhoging in de lagere luchtlagen plaatsvinden. Deze concentratieverandering is beïnvloedbaar door de dichtheid van de beplantingsstructuur te variëren. Feitelijk is dit een teken dat het stof is bezig uit de luchtlaag te zakken. Het is afhankelijk van de bodem wat met dit stof gebeurt. Komt het op verharding terecht, dan kan het na uitdroging opwaaien en opnieuw in de windstroom komen. Komt het op ruwe ondergrond terecht (gras, lage beplanting) dan zal het in het bodemsysteem terecht komen en daarin verwerkt worden.

3.6.3 Werkingprincipe 3: Wegsturing

Obstakels, al of niet gedeeltelijk doordringbaar, beïnvloeden luchtstromingspatronen. Een volledig ondoordringbaar obstakel (muur, gebouw) leidt tot een geforceerde opstuwing en vervolgens een versnelde terugbuiging naar de grond onder invloed van onderdruk en turbulentie direct achter het obstakel.



Een gedeeltelijk doordringbaar obstakel, zoals bijvoorbeeld een beplantingsstructuur, zal een beperktere opstuwing veroorzaken, en door het opheffen van de onderdruk en turbulentie achter het obstakel zal de hoofdlichtstroom veel geleidelijker naar de grond terugbuigen. Pas op een afstand van ca 15-20 keer de hoogte van de beplantingsstructuur is deze luchtstroom weer in zijn oude patroon. Met deze luchtstromingsbeïnvloeding wordt ook het transport van stoffen en gassen beïnvloedt.

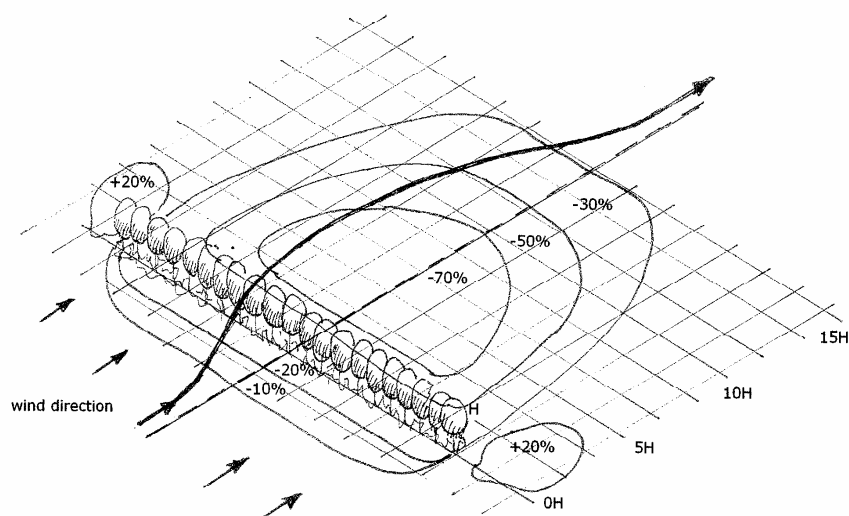
Ook de ligging van een meetpunt ten opzichte van een lineaire structuur heeft invloed op de mate van invloed van de beplanting.

Een enkele boom of verspreide beplanting heeft weliswaar invloed op de luchtstroming, maar de reikwijdte is beperkt. Vrij snel achter de beplanting heeft het luchtstromingspatroon zich kunnen herstellen. Een lineaire structuur heeft tot gevolg dat over een groter gebied luchtstromings-beïnvloeding plaatsvindt. Dit uit zich niet alleen in een behoorlijk gebied met een windsnelheidsreductie (tot 70%), maar aan weerszijden ook in kleine plekken met een verhoogde windsnelheid door de ontwijkende luchtstroom.

De ontwijkende stroming buigt over het lineaire element af en bereikt daarbij een hoogte tot 1,5 maal de hoogte van de beplanting. Hierdoor ontstaat een beschermd gebied met een hoogte van gemiddeld 1,5 maal de hoogte van de beplanting over een afstand tot 20 maal de hoogte van de beplanting.

De invloed van lineaire beplantingselementen strekt zich uit aan de windluwe zijde tot een afstand van 15-20 maal de hoogte van de beplanting. Het optimale effect wordt echter bereikt op een afstand van 5-10 maal de hoogte van de groenstructuur

Figuur 3.5. luchtstromingen rondom een lineair beplantingselement resulterend in een gebied waarbinnen de windsnelheid beïnvloed wordt



Main wind flow pattern and wind velocity effects near a windbreak of moderate permeability (ES Consulting, after Caborn / Bates)

3.6.4 Combinatie van vangen, depositie en wegsturen

Doordringbare lineaire elementen beïnvloeden het luchtstromingspatroon zodanig dat gelijktijdig zowel een ontwijkende versnelde luchtstroom over het element ontstaat als een stroming die het element doordringt. Het is de afgewogen combinatie van effecten die de optimalisatie bepaalt. Het ene mechanisme legt stof vast, het andere verplaatst. Van belang is het beseft dat effecten alleen optreden binnen het werkingsgebied van de beplanting, het gebied waar de invloed merkbaar en meetbaar is. Dan kan bijvoorbeeld ook alleen wegsturing voldoende zijn op het moment dat de vraag is om een piek in belasting daar niet te laten plaatsvinden. Het stof is dan alleen verplaatst, maar onder invloed van menging met minder verontreinigde lucht kunnen concentraties weer beneden een grenswaarde komen.

3.6.5 Opeenvolging van structuren

Van elke beplantingsstructuur is een gebied aan te geven waarbinnen klimaataspecten een andere waarde hebben dan in een open situatie. Na een bepaalde maat is geen effect meer meetbaar en zijn de waarden op die plaats gelijk aan de waarden in eenzelfde situatie zonder beplanting. Echter als binnen het werkingsgebied van de eerste beplantingsstructuur een tweede wordt gezet zal deze een andere "startwaarde" hebben en dus andere uitkomsten. Een voorbeeld is de plaatsing van twee lineaire structuren op geringe afstand van elkaar. Het hangt dan van de positie af of de ontwijkende luchtstroom van de eerste ook invloed heeft op de tweede structuur, en of de concentratie van stoffen in de lucht die de tweede structuur binnendringt anders is dan in de eerste.

Kortom: hoe de effecten in te schatten van elkaar beïnvloedende structuren. Andersom geredeneerd: als de vraag is om gebieden te beschermen die groter zijn dan het beschermingsgebied van een enkele structuur, is opeenvolging van lineaire beplantingselementen gewenst.

3.7 Relevante parameters voor de effecten van beplanting

Als een opsomming wordt gemaakt van elementen die invloed hebben op werking van structuren, gaat het over variabele invoergegevens voor een effectberekening. Er zijn twee soorten variabelen, atmosferische variabelen zoals windklimaat en weersinvloeden en bronvariabelen zoals achtergrondconcentraties, verkeersbelasting en stoffen. Naast deze variabelen zijn ook aspecten met betrekking tot beplanting die in een berekening als variabele ingevoerd worden, en dus medebepalend zijn voor de mate van effect.

Zoals ook in het hoofdstuk Modellen naar voren zal komen, kunnen deze in verschillende categorieën worden ingedeeld.

a. Situering	Afstand tot de weg Ruwheidslengte Effect van meerdere groenstroken achter elkaar
b. Kwaliteiten van de groenstructuur	Breedte, hoogte Doorsnedeprofiel (recht, oplopend, aflopend) Porositeit Soortenverdeling (Loofhout of naaldhout of gemengd) Seizoenskarakteristiek
c. Kwaliteiten van de beplanting	Hoeveelheid bladoppervlak (Leaf Area Density/Index) Plantfysiologische karakteristiek (ruwheid blad, waslaag, huidmondjes, bladreflectiviteit (voor kortgolvlige straling) opnamekarakteristiek t.a.v. PM10 en NOx)

3.8 Situeringaspecten

3.8.1 Positie ten opzichte van bronnen

De concentratie van stoffen in de lucht die op het beplantingselement aankomt is opgebouwd uit een aandeel vanuit de achtergrond en een lokaal aandeel. Het aandeel achtergrondconcentratie is opgebouwd uit stoffen met een bovenlokale oorsprong, van velerlei bronnen op velerlei plaatsen.

Afhankelijk van de windrichting worden verschillende concentraties aangevoerd, welke ook nog een fluctuatie hebben die met de atmosferische toestand van het moment te maken heeft. Om deze effecten in berekeningen uit te schakelen wordt doorgerekend naar een gemiddelde concentratie over een bepaalde tijdseenheid, een dag voor daggemiddelde waarden, en een jaar voor een jaargemiddelde concentratie. Uitgangspunt is een vaste waarde voor de achtergrondconcentratie. Deze waarde wordt ontleend aan de jaarlijks gepubliceerde waarden, gekoppeld aan de situering in Nederland, uit onderzoek van het Natuur en Milieu Planbureau.

Het aandeel van de lokale bijdrage is een gevolg van bronnen binnen het te beschouwen gebied. Hierin onderscheiden we puntbronnen, zoals een schorsteen, en lijnbronnen, zoals een weg. Vlakke bronnen, met een gelijkmatige uitstoot over een groter vlak zoals bij verdamping uit een bassin, komen vrijwel niet voor en worden hier buiten beschouwing gelaten.

Een lokale bron, in de context van dit document een weg, heeft een positie ten opzichte van een beplantingselement. Deze positie wordt beschreven in termen van oriëntatie en afstand, en van definiëring van de route.

3.8.2 Oriëntatie

Variabel is hierbij het tijdsdeel waarin de door de bron geproduceerde stoffen daadwerkelijk de beplantingsstructuur kunnen bereiken. Een koppeling met windrichtinggegevens, welke periodiek gemeten worden door het KNMI op verschillende meetstations in Nederland, of met metingen ter plaatse is nodig.

3.8.3 Afstand

Op de afstand die afgelegd moet worden tussen bron en ontvanger kan van alles gebeuren:

- menging met lucht met een andere samenstelling
- omzetting van stoffen door chemische of fysische reacties
- verplaatsing naar hogere of lagere luchtlagen door eigen karakteristiek (gewicht, grootte)
- verplaatsing door atmosferische omstandigheden

3.8.4 Ruwheidslengte

Op de route die een stof aflegt tussen bron en ontvanger zijn een aantal medebepalende aspecten:

- De ruwheid van de bodem zorgt voor afremming van wind in de aangrenzende laag. Ruwheid verhoogt de turbulentie en daarmee het afvangen van luchtverontreiniging.
- Het verdient de voorkeur om dus geen strak geheel te maken maar om variatie toe te laten.
- Stoffen die eenmaal op een ruwe bodem gedeponneerd worden zullen niet eenvoudig opnieuw in een luchtlag komen waarin ze alsnog verder getransporteerd zullen worden.
- Stoffen die op een gladder, verhard, aan de wind geëxposeerd vlak terechtkomen, kunnen op een later moment opnieuw door de wind opgepakt en getransporteerd worden.

Concluderend: De afstand tot de bron kan van invloed zijn op de samenstelling van stoffen in de door de beplantingsstructuur beïnvloede lucht, die anders is dan direct uit de optelling van achtergrondsamenstelling en verkeerssamenstelling volgt.

3.9 Invloed van karakteristieken van de beplantingsstructuur

3.9.1 Algemeen

Oneffenheden in het landschap spelen een belangrijke rol. Een goed voorbeeld is de verhoogde depositie van luchtverontreiniging bij bosranden hetgeen zich uit in hogere concentraties van componenten in planten aan dergelijke randen. Het planmatig aanbrengen van oneffenheden en randen kan de depositie substantieel vergroten (Franzaring & Van Dijk, 2000).

Oneffenheden zoals een bomenrij verminderen de windsnelheid en verhogen ter plekke de turbulentie. Bomen reduceren de windsnelheid tot een afstand van wel 50 maal de hoogte (Heisler & De Walle, 1988). De passieve invloed van een bosrand op het windpatroon is mogelijk belangrijker voor de verhoogde depositie van luchtverontreiniging dan de actieve rol van bomen om verontreinigingen op te nemen (Geiger, 1950; geciteerd in Robinette, 1972). Vanwege het belang van dit randeffect moeten bomen dan ook zoveel mogelijk boven de weg uitgroeien.

De effectiviteit van landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit ter plekke is niet alleen afhankelijk van planthoogte en opnamecapaciteit van de aanwezige plantensoorten. Ook aspecten als de 'ruwheid' van het element en de 'porositeit' (maat voor doordringbaarheid van verontreinigde lucht) zijn belangrijk. De zuiverende werking is beter wanneer de lucht tot in het landschapselement kan doordringen dan wanneer de lucht bij de rand wordt tegengehouden zoals bij een geluidsscherm. De mate van ruwheid bepaalt de mate van turbulentie; hoe groter de ruwheid hoe meer turbulentie en dus depositie.

3.9.2 Afmetingen

De afmetingen van de beplantingsstructuur hebben uiteraard invloed op de mate van beïnvloeding van het stromingspatroon van de lucht.

a. Hoogte

De beplanting vormt een barrière voor de aankomende lucht. Er ontstaat een verstoringpatroon dat in eerste instantie afhankelijk is van vorm en mate van (on)doordringbaarheid, niet van schaal. Zo blijkt dat in principe de hoogte en diepte van het beïnvloede gebied achter de beplantingsstructuur recht evenredig is met de hoogte van de beplantingsstructuur, en dat afstanden waarop een effect optreedt weergegeven worden in $n \times H$ waarbij H de hoogte van de structuur is.

De hoogte bepaalt de invloed op de windsnelheid en daarmee op depositie van luchtverontreiniging. Hoe hoger de beplanting, hoe groter het gebied waarbinnen de windsnelheid wordt gereduceerd. Relatief grote deeltjes deponeren sneller bij lagere windsnelheden. Vooral bomen komen dus in aanmerking.

b. Breedte

Het effect van breedte van een beplantingsstructuur hangt sterk samen met de totale porositeit van de structuur. Als meerdere poreuze elementen achter elkaar staan zullen ze samen hetzelfde resultaat opleveren als een weinig- of niet-poreuze hindernis. Zo zal een bos (in totaal een niet-poreuze hindernis) een veel kleiner beschermd gebied opleveren dan een windsingel (wel poreus).

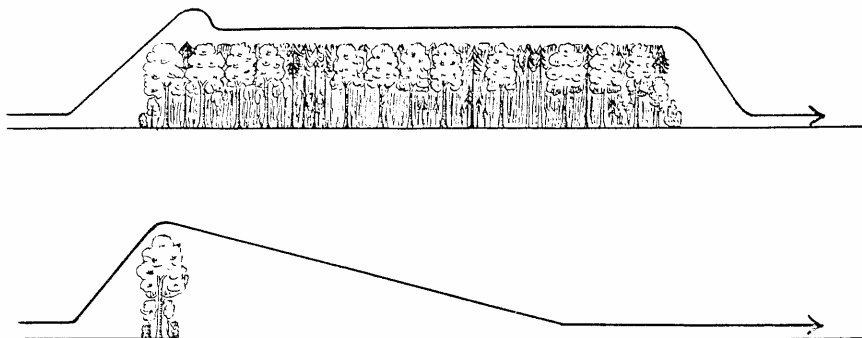


FIGURE 10. Diagram of wind flow over a forest block and a narrow shelterbelt. (after the investigations of Blenk).

c. Doorsnede-profiel

Ook de profilering van de doorsnede van de beplantingsstructuur heeft invloed op het luchtstromingspatroon. Aan de windgeëxposeerde kant kan hij schuin oplopen of recht zijn, aan de lijzijde eveneens. Ook de schuinite van het profiel kan verschillen: loopt hij heel langzaam op of juist vrij steil.

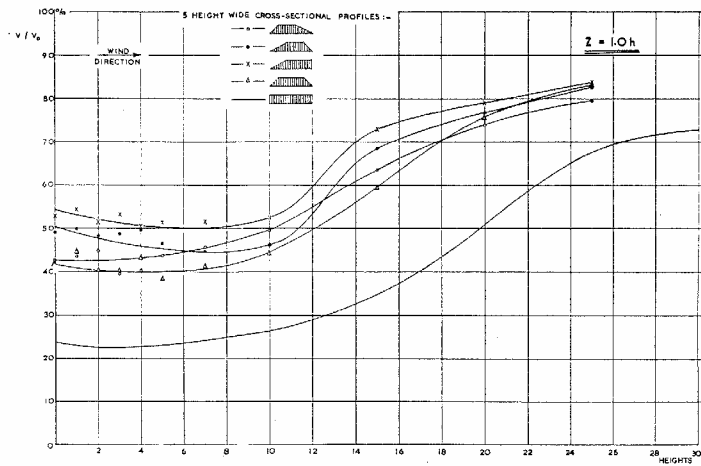


FIGURE 27. Relative wind velocities to leeward of models, 5-heights wide, of varying cross-sectional profile. Measured at the height of the models.

Uit het onderzoek van Caborn (lit 7) is af te leiden dat een rechthoekige doorsnede verreweg de beste profieldoorsnede is t.a.v. afname van windsnelheid achter de beplantingsstructuur.

3.9.3 Porositeit

De invloed van beplanting op het windklimaat is door o.a. Caborn; (Shelterbelts and microclimate; lit.7) middels windtunnelonderzoek onderzocht. Caborn gebruikte voor het windtunnelonderzoek maquettes waarbij met pennen barrières van verschillende dichtheden, breedtes en vorm gesimuleerd werden. De meetresultaten werden gekoppeld aan veldonderzoek waarbij het windklimaat bij hagen van vergelijkbare karakteristiek in kaart werd gebracht. De windtunnel tests betreffen zowel de invloed van de mate van doordringbaarheid van lineaire beplantingstructuren als de invloed van profielen op het windklimaat aan loefzijde (geëxposeerde) en lijzijde (windluwe)zijde van de beplanting.

In het onderzoek is duidelijk dat bij een beplanting met een openheid tussen 40 en 50% een gelijkmatige doorstroming van de beplanting ontstaat hetgeen leidt tot een stabiele windsnelheid direct aan de windluwe zijde van de beplanting. Aan de windgeëxposeerde zijde van de beplanting daalt de windsnelheid eveneens en er ontstaat een ontwijkende hoofdstroom.

Bij dichtere beplanting en ondoordringbare hindernissen daalt de windsnelheid aan de windluwe zijde sterk. Aan de lijzijde van de beplanting ontstaat een zone van onderdruk met instroom van lucht in een tegengestelde richting van de hoofdstroom.

Uit dit onderzoek blijkt dat:

- Dichte hindernissen (beplanting en schermen) leiden tot sterke daling van de windsnelheid aan de windluwe zijde.
- Gematigd open hindernissen (beplanting) leidt tot een gematigd en gelijkmatig windklimaat aan de windluwe zijde

Figuur 3.6 windsnelheid nabij lineaire beplantingsstructuren van verschillende dichtheid

TABLE 7. SUMMARY OF SHELTER EFFECT OF SIX SHELTERBELTS
(Based on Smoothed Curve Values shown in Fig. 5)

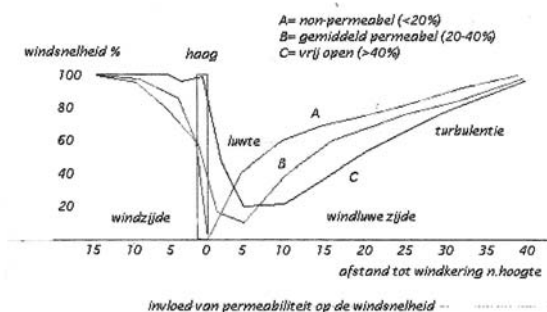
Shelterbelt				Wind Velocity Averages as % of Free Wind Velocity														
Designation	Height ft	Width ft	Density	Windward			In belt	Leeward (distances in multiples of height, h.)										
				0-10h	5-10h	0-5h		0-2h	2h-5h	5-10h	10-15h	15-20h	20-30h	0-5h	0-10h	0-20h	0-30h	
Dreghorn	36	64	Medium	89	96	82	69	54	45	54	72	88	98	49	52	66	77	
Curriein No. 1	27	165	Dense	88	99	77	34	17	28	49	72	85	95	23	36	58	70	
Shothead No. 1	40	107	Medium	86	94	77	59	41	28	41	65	83	95	35	38	55	69	
Shothead No. 2	35	70	Open	90	97	82	65	55	51	65	83	91	97	53	59	73	81	
Langwhang	26	78	Open	98	99	96	96	91	77	71	72	80	93	84	78	77	82	
East Saltoun	23	50	Medium	92	99	85	57	36	34	48	67	82	95	35	42	59	71	
Average Values	---	---	---	90.5	97	83	63	49	43	55	72	85	95.5	46.5	51	65	75	
Average Values for Swiss belts of Moderate Permeability	---	---	---	93	99	87	57	45	35	48	72	85	94	40	44	61	72	

Bron: Caborn; universiteit Edinburgh

Het belang van porositeit is tweeledig:

1. het verhinderen van een onderdruk- en turbulentiegebied achter de structuur, waardoor de ontwijkende luchtstroom versneld weer naar de grond getrokken wordt, met als gevolg verkleining van het gebied met verlaagde windsnelheid.
2. het kunnen doordringen van lucht in de beplanting, waardoor uitwisseling kan plaatsvinden tussen de plant en de stoffen in de lucht.

ad 1. De relatie tussen porositeit en mate van windsnelheidsverlaging is door Caborn onderzocht. Achter een gemiddeld permeabele hindernis zal de windsnelheid al voor de hindernis afnemen, en na de hindernis geleidelijk weer op zijn oude niveau komen. Achter een dichte hindernis zal eerst de windsnelheid sterker verlaagd worden, maar vrij snel weer op zijn oude niveau zijn.



bron: ES Consulting (after Caborn)

ad 2. Om maximaal gebruik te kunnen maken van de opname- en depositiekwaliteit van de beplanting zelf is het nodig dat de delen die daar een rol in spelen bereikbaar zijn voor de stof- en gasdeeltjes. Die delen zijn uiteraard de bladeren, maar ook takken en stam. En aangezien de wind het transportmiddel is voor de stoffen, is porositeit ofwel doordringbaarheid het beslissend criterium. Bovendien is een deel van het invangend effect mede afhankelijk van het feit dat de windsnelheid binnen in de beplanting verlaagd wordt. Zwaardere deeltjes krijgen daardoor meer kans om te zakken, en zich aan beplantingsdelen te hechten of naar de bodem te zakken. Daarnaast wordt de invangkans vergroot, doordat de stoffen langer in het uitwisselingsgebiedje met elk beplantingsdeel verblijven.

3.9.4 Soortenverdeling

(bijv. Loofsoorten of naaldsoorten of gemengd)

Omdat elke plantensoort op een eigen wijze invloed heeft op de stoffen in de lucht, is de samenstelling van de belantingsstructuur van invloed op de totale opnamecapaciteit van stoffen. In de paragraaf over de vanuit plantfysiologisch oogpunt onderscheidende criteria wordt al een onderscheid gemaakt in de wijze waarop loofgewassen en naaldgewassen invloed uitoefenen op fijn stof en NOx.

Een beplantingsstructuur is in de praktijk geen monocultuur en al zeker niet als we over bomenhagen met onderbegroeiing spreken. Aan de soortenkeuze voor beplantingsstructuren liggen vaak ook andere criteria ten grondslag, zoals:

- streekeigenheid
- verkeersbeeld (wegbegeleidende of bijzonderheid-accentuerende beplanting)
- esthetisch beeld

Aan de kant van de bron en dus van de weg, moet de beplanting niet volledig gesloten zijn. Lucht met daarin de verontreinigingen moet in de beplanting kunnen doordringen. Het is daarom zaak om op verschillende niveaus actieve bladeren te hebben. Dit pleit voor een gelaagdheid van de beplanting. Breng bijvoorbeeld struiken aan onder de hoge bomen. Het belang van porositeit impliceert tevens dat, gerekend vanaf de verkeersweg, beplanting vóór een geluidsscherm beter zal werken dan een beplanting erachter.

Grote oneffenheden zoals bosranden verhogen de depositie van luchtverontreiniging. Ook dit pleit voor het toepassen van bomen langs de weg. Stam en bladerdek moeten dan wel boven de weg uitstijgen.

3.9.5 Seizoenskarakteristiek

Elke plantensoort heeft een seizoenskarakteristiek, waarmee de plant inspeelt op veranderende omstandigheden door het jaar heen. Dit heeft op verschillende wijze invloed op het functioneren met betrekking tot de interactie met stoffen in de lucht.

1) Ten aanzien van het afvangen van fijn stof en gassen

- de wijze waarop bladeren stof invangen en weer afstaan.
Planten doen dat onder andere doordat fijn stof zich hecht aan bladeren. Sommige planten stapelen stof en gooien dat met het vallen van de bladeren in de herfst af, andere soorten spoelen met elke regenbui gemakkelijk schoon.

Figuur 3.7 microscoopbeeld van de stapeling van de depositie van fijn stof gedurende het groeiseizoen op bladeren van wilde wingerd



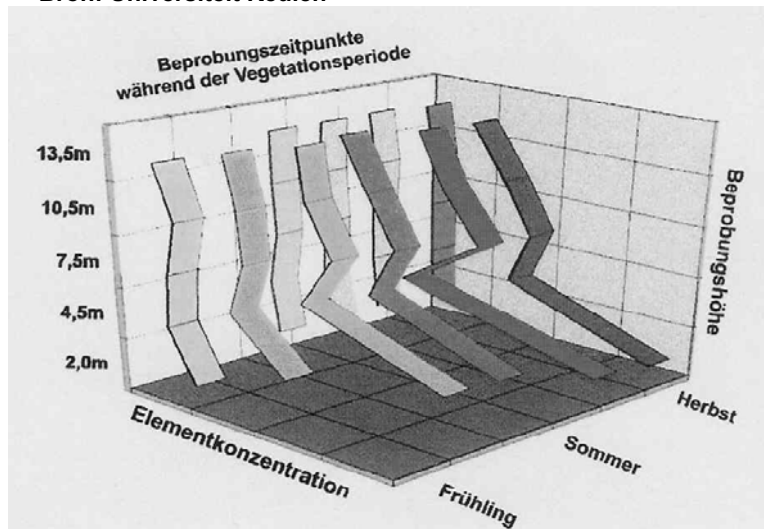
Bild 3: ungereinigte Blattoberfläche von Parthenocissus tricuspidata, Probenahme Juni



Bild 4: Ungereinigte Blattoberfläche von Parthenocissus tricuspidata, Probenahme Oktober

- de verdeling over het jaar waarop beplanting veel of weinig stof afvangt. Door een koppeling van een seizoensverdeling van luchtvochtigheid en plantengroeiverloop zal zich niet in elke periode evenveel stof hechten aan de beplanting. Onderzoek hiernaar is nog beperkt. In getallen voor jaarrondprestaties van beplanting wordt van deze fluctuatie een inschatting gemaakt, over het algemeen door extrapolatie van meetwaarden in verschillende seizoenen.

Figuur 3.8 grafische weergave depositie gedurende groeiseizoen
Bron: Universiteit Keulen



2) Ten aanzien van de beïnvloeding van luchtstromingen

Dat bomen wanneer ze hun blad verloren hebben nauwelijks nog als obstakel zouden fungeren, wordt tegengesproken doordat in herfst en winter bij harde wind bomen wel degelijk om kunnen waaien.

Dat een bladloze boomstructuur de functie van het omhoogsturen van de hoofd luchtstroom, en daarmee transport van een belangrijk deel van de vervuilende stoffen, niet meer zou vervullen klopt dan ook niet. Woodruff (lit. 36) heeft een vergelijking gemaakt tussen een beplantingsstructuur met en zonder bladeren en komt tot de conclusie dat het effectverschil bij een goed vertakte haag niet groter hoeft te zijn dan ca. 20%.

Figuur 3.9 Woodruff: vergelijking zomer- en wintersituaties

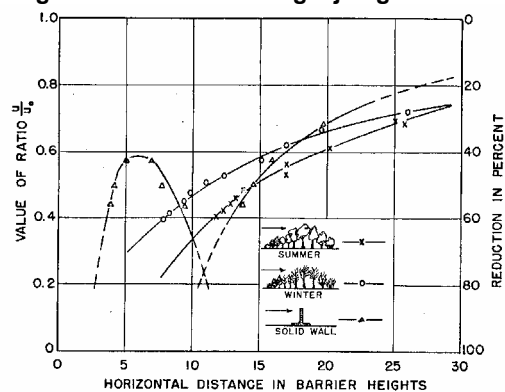


FIG. 9.—Dimensionless curves showing effective velocity reduction at ground level to the lee of a leaved and defoliated 10-row shelterbelt and a solid wall. Velocity reduction applies irrespective of wind velocity.

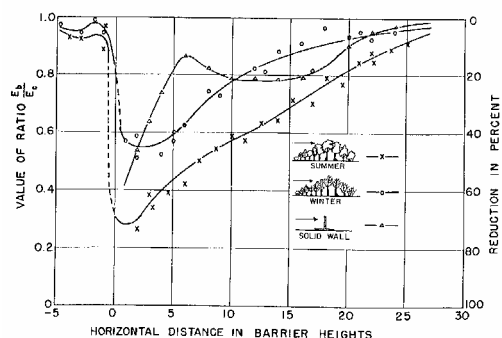


Fig. 10.—Evaporation reduction curves for a leaved and defoliated 10-row shelterbelt and a solid wall. Wind velocity was 27.3 mph measured at center of tunnel.

3.10 Effecten van de combinatie van vegetatie en schermen

3.10.1 Permeabele schermen

Onderzoek van Tokairin en Kitada⁹ richt zich op de invloed van geluidsschermen op luchtkwaliteit waarbij in het bijzonder het effect van permeabele schermen voor geluidsreductie en verbetering van luchtkwaliteit is onderzocht aan de hand van stromingssimulatie.

Uit het onderzoek bleek achter schermen van een geringe openheid zowel een sterke remming van de wind als turbulentie en influx vanuit de ontwijkende luchtstroom ontstaat. Met name het effect van sterke windremming leidt in de lagere luchtlagen achter een scherm van geringe openheid tot een verhoogde aanwezigheid van verontreiniging. Pas bij een grotere permeabiliteit ($\geq 40\%$ - $\leq 50\%$) ontstaat een gelijkmatig windklimaat waarbij voldoende windsnelheid blijft om fijne deeltjes in beweging te houden en derhalve neerslag in de lagere luchtlagen achterwege blijft.

Uit dit onderzoek blijkt dat:

- Dichte schermen luchtkwaliteit verlagen aan de windluwe zijde hetgeen een afgeleide is van lage windsnelheid aan de windluwe zijde en influx vanuit de ontwijkende hoofdstroming.
- Gematigd open schermvarianten een gunstige invloed op de luchtkwaliteit hebben dankzij beïnvloeding van het luchtstromingspatroon en gelijkmatige beïnvloeding van de windsnelheid.

⁹ Study on the effect of porous fence on air quality and traffic noise level around a double decked road structure; literatuurbron 25

3.10.2 Permeabele beplantingsstructuren

Zowel in het onderzoek van Caborn als bij Tokairin/Kitada blijkt onafhankelijk van elkaar dat zowel voor schermen als lineaire beplantingselementen dezelfde wetmatigheden gelden ten aanzien van de beïnvloeding van luchtstromingen.

In het onderzoek dat Hofschreuder/Hofschreuder/Tonneijck (Optimalisatie van geluidsschermen voor verbetering van de luchtkwaliteit, lit. 13) naar de werking van schermvarianten in het kader van het IPL verricht hebben, zijn poreuze en groene schermvarianten in beschouwing genomen.

Voor de berekening van de beïnvloeding van scherm/porositeit/begroeiing op de luchtkwaliteit zijn de navolgende parameters in beschouwing genomen:

- Schatting van de aërosol flux van het verkeer.
- De gemiddelde windsnelheid boven de weg.
- Concentratieverhoging boven de weg door de koppeling van de aërosol flux aan de mate van doorstroming.
- Windremming door schermen en invloed van concentratie op de weg. Hierbij wordt ook het specifieke windklimaat rondom een scherm met versneld ontwijkende luchtstroom in acht genomen evenals het effect van een doorstroombare versus een dichte schermvariant.
- Depositiefactor voor schermvarianten (dicht zonder begroeiing, dicht met begroeiing, permeabel met begroeiing).

Uit dit onderzoek blijkt dat de inzet van beplanting leidt tot een substantieel hogere depositiefactor en daarmee dat begroeide schermvarianten duidelijk beter presteren dan "kale varianten". Bijzonder is dat dit onderzoek in één lijn ligt met de onderzoeken van Caborn en Tokairin/Kitada ten aanzien van het windgedrag rondom beplanting en schermen.

In het onderzoek is zichtbaar dat direct achter een dicht scherm niet alleen de windsnelheid fors afneemt maar ook de concentratie van fijne delen in de lagere luchtlagen sterk stijgt als gevolg van het neerslaan van stof door de sterk afgenomen windsnelheid achter het dichte scherm.

Bij een poreus scherm met een openheid van 30% is dit effect nagenoeg verdwenen hetgeen geheel in overeenstemming is met de door Caborn gevonden stromingswetmatigheden achter

permeabele groenstructuren en het door Tokarin/Kitada gevonden concentratie-effect in de lagere luchtlagen bij schermdichtheden minder dan 40% - 50%.

De berekende effecten uit het onderzoek van Hofschreuder/Hofschreuder/Tonneijck rondom dichte en permeabele schermen worden dus door meerdere onafhankelijke bronnen verklaard en ondersteund.

Koppeling van onderzoeksresultaten leidt tot de conclusie dat de inzet van optimaal doorstroombare begroeiingsvarianten dankzij verhoogde depositie en de invloed op de stromingskarakteristiek tot een verlaging van fijnstofconcentraties leidt van tenminste 20% bij neutrale weerscondities en tot 40% bij stabiele condities (periodes met windsnelheid < 1,9 m/s).

De vangstcapaciteit is een afgeleide van de in de modelstudies beschreven depositie als resultaat van de ruwheidsfactor c.q. oppervlaktevergroting door beplanting.

Tegen deze achtergrond is de sterke concentratievermindering bij schermen met beplanting onder stabiele meteorologische condities verklaarbaar: oppervlaktevergroting door beplanting leidt bij geringe windsnelheid tot hoge depositie op de beplanting die tegen een scherm aan groeit. Er rest dan een geringere concentratie fijn stof aan de lijkzijde van het scherm.

3.11 Overzicht onderzoeksbronnen gesplitst naar werkingsonderdeel

3.11.1 Beïnvloeding luchtstromingen

Bronnen (cijfers verwijzen naar literatuurlijst bijlage 3.13):

- 7) Caborn, J.M., (1957). *Shelterbelts and microclimate*. Edinburgh University, Department of Forestry, Edinburgh.
- 18) Linde van der, R.J. en J.P.M. Woudenberg, (1950). *On the microclimate properties of sheltered areas. The oak-coppice sheltered area*. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- 21) Raupach, M.R., N. Woods, G. Dorr, J.F. Leys and H.A. Cleugh, (2001). *The entrapment of particles by windbreaks*, Atmospheric Environment, Vol. 35, pag. 3373-3383.
- Takayuli Tokairin, Toshihiro Kitada.
Study on the effect of porous fence on air quality and traffic noise level around a double decked road structure. Evaluation by Numerical Model
Department of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology, Tempaku-cho, Toyohashi, Japan, juni 2004.
- 33) Wesseling, J.P., J. Duyzer, A.E.G. Tonneijck en C.J. van Dijk, (2004). *Effecten van groenelementen op NO₂ en PM₁₀ concentraties in de buitenlucht*. TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn.
- 36) Woodruff, N.P., (1954). *Shelterbelts and surface barrier effects on wind velocities, evaporation, house heating, snowdrifting*, Technical Bulletin, Vol 77 pag 5-27.

Het onderzoek van van der Linde en Woudenberg geeft een gedetailleerd beeld van de invloed van groene lijnen op het microklimaat in het beschermde gebied. Groene lijnen beïnvloeden windklimaat, temperatuur, luchtvochtigheid. Ook de effecten van opeenvolging zijn inzichtelijk gemaakt.

Het onderzoek van Caborn geeft een gedetailleerd beeld in de effecten van groene lijnen op het windklimaat en microklimaat waarbij uitgebreid profielen, breedtes, openheid in windtunnelsimulaties zijn gekoppeld en veldmetingen.

Het onderzoek van Woodruff richt zich eveneens op de effecten van groene lijnen op het windklimaat en laat zien dat bij goed vertakte loofbomen ook in de winter het windklimaat door de groene lijn sterk beïnvloed wordt.

Het onderzoek van Tokairin/Kitada richt zich op de werking/effecten van permeabele schermen op concentraties nabij doorgaande wegen.

Raupach geeft een helder beeld over de invloed van wind op depositie door beplanting en verbindt theorie met veldmetingen.

Wesseling berekent dat beplanting het windklimaat zodanig kan beïnvloeden dat dicht achter beplanting zich schadelijke stoffen kunnen ophopen maar op ruimere afstand de beplanting de luchtkwaliteit verbetert.

Alle zes onderzoeken geven onafhankelijk van elkaar een vergelijkbaar beeld van de effecten van beplanting/permeabele en non permeabele barrières op het microklimaat in het beschermde gebied.

Door koppeling van de onderzoeken wordt het duidelijk dat een te dicht scherm of te dichte beplanting leiden tot te hoge remming van de lichtsnelheid dichtbij de grond in nabijheid van het te dichte scherm en/of te dichte beplanting zodat daar zich schadelijke stoffen kunnen ophopen.

Uit het onderzoek van Tokairin/Kitada blijkt dat bij permeabele barrières bij voldoende openheid ophoping van schadelijke stoffen achterwege blijft. Dit sluit weer naadloos aan op in 2006 in het kader van het RWS-DWW IPL-programma verrichte atmosferisch onderzoek door Hofschreuder (zie parameter atmosferische effecten).

Samenvattend: *Beplanting verlaagt concentraties schadelijke stoffen in de lucht doch de mate van doorstroombaarheid is een belangrijk aandachtspunt/ontwerpfactor. Een te grote dichtheid belemmert de doorstroming en is derhalve een "ontwerpfout". Bij correcte doorstroombaarheid werkt beplanting concentratieverlagend over het gehele beschermde gebied.*

3.11.2 Atmosferische effecten

Bronnen (cijfers verwijzen naar literatuurlijst):

- 10) Duijf, M./dr. P. Hofschreuder (supervisor) (2006). The reduction of the concentration of particulate matter at the Prins Hendrikkade in Amsterdam. Bachelor thesis. Wageningen University and Research Centre, Wageningen.
- 13) Hofschreuder, P., F. Tonneijck en E. Hofschreuder, (2005). Optimalisatie van geluidsschermen voor verbetering van de luchtkwaliteit, A&F, PRI en Sight, WUR, Wageningen.
- 18) Linde van der, R.J. en J.P.M. Woudenberg, (1950). On the microclimate properties of sheltered areas. The oak-coppice sheltered area. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- 22) Dr. ir. Koen de Ridder VITO, Mol 2004. Benefits of Urban Green Space (BUGS), Deliverable 18 year 2; PM-10 Particle reduction.
- 23) Dr. ir. Koen de Ridder, Dr. ir. Filip Lefebvre. VITO, Mol 2004. Benefits of *Urban Green space*, MESO-final report; Deliverable 13.

In het onderzoek van Duijf onder supervisie van Hofschreuder wordt berekend wat de invloed van bomen op achtergrondconcentraties is. Bomen blijken goed in staat achtergrondconcentraties te reduceren.

Het onderzoek van Hofschreuder in het kader van IPL over de invloed van schermen laat zien dat de ruwheidsfactor (bladeren) naast mate van openheid een grote rol speelt bij de verlaging van concentraties achter schermen. Dichte schermen zonder beplanting hebben negatieve invloed op de luchtkwaliteit in het te beschermen gebied, permeabele schermen met beplanting hebben positieve invloed op de luchtkwaliteit in het te beschermen gebied.

Het onderzoek van Van der Linde en Woudenberg geeft een gedetailleerd beeld van de invloed van groene lijnen op het microklimaat in het beschermde gebied. Dit onderzoek sluit weer nauw aan bij het onderzoek van de Ridder waarin in het kader van zowel grootschalige als kleinschalige modellering atmosferische en plantfysiologische factoren worden opgenomen om tot nauwkeurige atmosferische simulaties te komen. Het onderzoek van de Ridder richt zich op modellering op grote en kleine schaal waarin door opname van atmosferische en plantfysische factoren een optimale benadering van de werkelijkheid wordt verwezenlijkt.

Samenvattend: *Beplanting verlaagt concentraties schadelijke stoffen in de lucht (zowel verkeersgerelateerd als achtergrondgerelateerd). Atmosferische effecten zijn gekoppeld aan ontwerpregels. Zowel bestaande als nieuw ontworpen situaties zijn met atmosferische modellering betrouwbaar na te bootsen.*

3.11.3 Plantfysiologische eigenschappen + (veldonderzoek)

- 3) Beckett K.P., P.H. Freer-Smith, G. Taylor, (2000b). *Effective tree species for local air quality management*, Journal of Arboriculture, Vol. 26, pag 12-19.
- 5) K.P.Beckett, P.H Freer Smith, G.Taylor (2005) *Deposition velocities to Sorbus aria ,Acer campestre ,Populus deltoides ! trichocarpa 'Beaupre ',Pinus nigra and Cupressocyparis*

- leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment, Environmental Pollution 133 157-167.
- 14) Jones, Hamlyn. G.. Plants and Microclimate. *A quantitative approach to environmental plant physiology*. Cambridge University Press, Cambridge 1983.
- 20) Nasrullah N., Tatsumoto H., *Effect of roadside planting and road structure on NO2 concentration near roads*, Japanese Journal of Toxicology and Environmental Health, volume 40, p.p. 328-327, juni 2004.
- 28) Tonneijck, A.E.G. , en M. Blom-Zandstra, (2002). *Landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit rond de Ruit van Rotterdam. Green landscape elements to ameliorate air quality in the vicinity of highway square Rotterdam*. Plant Research International b.v., Wageningen.

De onderzoeken van Beckett geven aan welke boom soorten zich goed voor luchtzuivering lenen waarbij het veldonderzoek uit 2005 aangeeft dat naaldbomen bijzonder goed presteren bij het vangen van ultra-fijn stof (PM 2,5 – PM 5).

Het onderzoek van Jones geeft goed beeld van plantfysiologische en atmosferische effecten die depositie beïnvloeden.

Het onderzoek van Nasrullah geeft de invloed van een lineair beplantingselement op de concentraties van gassen en fijn stof weer en toon een aanzienlijke reductie voor zowel gassen (10%-15% reductie) en fijn stof (20%-25% reductie).

Tonneijck geeft een beeld van de inzet van diverse soorten bomen voor luchtzuivering langs grote doorgaande wegen bij Rotterdam.

De vijf geciteerde onderzoeken geven aan welke soorten bomen geschikt zijn voor het afvangen van fijn stof en bieden inzicht in de interactie tussen plantfysische en atmosferische factoren. Beplanting verlaagt concentraties schadelijke stoffen in de lucht waarbij de soortkeuze de effectiviteit kan verhogen. Hoewel veldonderzoek moeilijk als parameter gedefinieerd kan worden is wel een onmiddellijk verband tussen de parameters en het veldonderzoek immers de resultaten van die veldonderzoeken zijn afgeleiden van de rol die parameters spelen bij de zuiverende werking van beplanting.

Veldonderzoek:

- 2) Beckett K.P., P.H. Freer-Smith, G.Taylor, (2000a). "The capture of particulate pollution by trees at five contesting urban sites", in: *Journal of Arboriculture*, Vol. 24, pag. 209-230.
- 3) Beckett K.P., P.H. Freer-Smith, G. Taylor, (2000b). "Effective tree species for local air quality management", in: *Journal of Arboriculture*, Vol. 26, pag 12-19.
- 4) Beckett K.P., P.H. Freer-Smith, G. Taylor, (2000c). "Particulate Pollution Capture by urban trees", in: *Global Change Biology*, Vol. 6, pag 995-1003.
- 5) K.P.Beckett, P.H Freer Smith, G.Taylor (2005) Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides*, *Trichocarpa 'Beaupre'*, *Pinus nigra* and *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment Environmental Pollution 133 157-167.
- 15) Korpushov, S. (2005). *Oak and elm field-protective forest belts on testsites without motor-car motion*, VNIALMI, Wladivostok.
- 16) Langer, M., (2006). "Natürliche Filter? Die Filterung von Feinstäuben durch Stadtbäume", in: *TASPO-Das Magazin*, Vol. April 2006, pag 20-23.
- 19) Matzarakis A., en S. Streiling, (2004). "Stadtklimatische Eigenschaften van Bäumen, Falluntersuchung in Freiburg im Breisgau", in: *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, Vol. 64, pag. 307-310.
- 20) Nasrullah N., Tatsumoto H., "Effect of roadside planting and road structure on NO2 concentration near roads" in: *Japanese Journal of Toxicology and Environmental Health*, volume 40, p.p. 328-327, juni 2004.
- 21) Raupach, M.R., N. Woods, G. Dorr, J.F. Leys and H.A. Cleugh, (2001). "The entrainment of particles by windbreaks", in: *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pag 3373-3383.
- 26) Dr.Thönnessen, Manfred, Feinstaub und Innerstädtisches Grün – Eine Übersicht, Forschungsgruppe Fassadenbegrünung Universität zu Köln, Geographisches Institut, April 2005.

- 27) Dr.Thönnessen, Manfred, W. Werner Die Fassadenbegrünende Dreispitzige Jungfernebe als Akkumulationsindikator. Verteilung von Schwermetallemissionen in Stadtstraßen unterschiedlicher Bebauungsstruktur. Forschungsgruppe Fassadenbegrünung Universität zu Köln, Geographisches Institut, 1996.
- 29) Tonneijck, F., (2003). *Buffer plantings improve air quality along highways*. University and Research Centre, Plant Research International, Wageningen.

3.11.4 Praktijkonderzoek en calibratie van luchtkwaliteitsmodellen

Praktijkonderzoeken geven geheel onafhankelijk van modelberekeningen vergelijkbare uitkomsten voor de invloed van beplanting op concentraties fijn stof die slechts dan verklaarbaar zijn vanuit de hiervoor besproken kennisbronnen over stromingskarakteristiek en atmosferische factoren.

Depositie van fijn stof wordt in praktijkonderzoek op twee wijzen gedetecteerd:

- Door vergelijkende metingen met behulp van samplers aan loef-(geëxposeerde)zijde van lineaire beplantingsstructuren of separate bomen en passieve/actieve samplers (luchtpompen of magnetische samplers) aan lij-(immissieluwe)zijde van de lineaire beplantingsstructuur.
- Door middel van het “strippen” van depositie van vervuilde bladeren en weging van massa.
Het op bladeren verzamelde stof wordt met monster strips opgenomen en vervolgens gewogen.
Door Thönnessen is uitgebreid onderzoek gedaan naar de vangstcapaciteit van gevelbeplanting in stadsstraten.
Door Langer is de vangstcapaciteit van een enkele boom nabij een verkeersweg gemeten waar bij een doorstroming van 30% van de aanwezige luchtkolom de boom 400 gram fijn stof vangt hetgeen 11% van de berekende emissies betreft.

Bij metingen liggen de meetpunten zowel windopwaarts als windafwaarts van de weg en de lineaire beplantingsstructuur op diverse afstanden en hoogten.

Het onderzoek van Raupach, M.R., N. Woods, G. Dorr, J.F. Leys and H.A. Cleugh, (2001). “The entrapment of particles by windbreaks” is een representatief voorbeeld voor dergelijk onderzoek.

De verschilmetingen geven percentuele waarden aan loef- en lijzijde van de lineaire beplantingsstructuur waarbij fijnstof reductie van 25% achter lineaire beplantingstructuren wordt gemeten.

Bij lineaire beplantingsstructuren met een geringere permeabiliteit dan 40% wordt direct achter de haag een percentueel hogere concentratie fijn stof op geringe hoogte gemeten hetgeen uit de onderzoeken van Caborn, Hofschreuder, Hofschreuder/Tonneijck, Tokarin/Kitada verklaarbaar is als gevolg van depositie bij een te grote windsnelheidsreductie laag aan de grond.

Het praktijk/veldonderzoek met vergelijkende metingen ligt geheel in één lijn met resultaten van onafhankelijke onderzoeksbronnen op het terrein van windtunnelsimulatie, modelonderzoek en modelberekeningen.

3.12 Conclusies

Onderzoek toont aan dat landschapselementen zoals windsingels en hagen de luchtkwaliteit rond wegen aantoonbaar kunnen verbeteren. Dit geldt zowel voor NO₂ als voor fijn stof.

Bovendien gaat het beslist niet om marginale cijfers, maar om substantiële verbeteringen, met als kanttekening dat deze verbeteringen optreden binnen het werkingsgebied van de beplantingsstructuur. De afmeting van dit werkingsgebied is eveneens gekoppeld aan de afmetingen en kwaliteiten van de beplantingsstructuur.

Positie, aard en structuur van de beplanting spelen een bepalende rol daarin. Door analyse van wetmatigheden wordt duidelijk wat daarin op welk niveau meespeelt, en hoe deze punten op elkaar inwerken. Er zijn meer dan voldoende onderzoeksgegevens bekend om een uitspraak te doen over wat in welke omstandigheid een optimale beplantingsstructuur is.

Als deze zaken zo bepalend zijn zal men voor een meetproject ter validatie de wetmatigheden dienen om te zetten naar richtlijnen voor de inrichting ervan.

3.13 Literatuurlijst

- 1) J.P. Beck, K.Wieringa. Nieuwe inzichten in de omvang van de fijnstofproblematiek MNP maart 2006.
- 2) Beckett K.P., P.H. Freer-Smith, G.Taylor, (2000a). "The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites", in: *Journal of Arboriculture*, Vol. 24, pag 209-230.
- 3) Beckett K.P., P.H. Freer-Smith, G. Taylor, (2000b). "Effective tree species for local air quality management", in: *Journal of Arboriculture*, Vol. 26, pag 12-19.
- 4) Beckett K.P., P.H. Freer-Smith, G. Taylor, (2000c). "Particulate Pollution Capture by urban trees", in: *Global Change Biology*, Vol. 6, pag 995-1003.
- 4a) Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G., 1998. Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 99, 347-360.
- 5) K.P.Beckett, P.H Freer Smith, G.Taylor (2005) Deposition velocities to Sorbus aria , Acer campestre, Populus deltoides ! trichocarpa 'Beaupre ', Pinus nigra and Cupressocyparis leylandii for coarse, fine and ultra-fineparticles in the urban environment, *Environmental Pollution* 133 157-167.
- 6) Buijsman, E., J.P. Beck, L. van Bree, F.R. Cassee, R.B.A. Koelemeijer, J. Matthijsen, R. Thomas, en K. Wieringa, (2005). *Fijn stof nader bekeken. De stand van zaken in het dossier fijn stof*. RIVM, Milieu en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- 7) Caborn, J.M., (1957). *Shelterbelts and microclimate*. Edinburgh University, Department of Forestry, Edinburgh.
- 8) DHV, TNO en RIGO, (2005). *Lucht voor ruimtelijk plannen? Inventarisatie van de invloed van beleid en regelgeving voor luchtkwaliteit op knelpunten bij de realisatie van ruimtelijke plannen in Nederland*, DHV Ruimte en Mobiliteit BV, Amersfoort.
- 9) Doorn, R., van, (2005). *Baten van schone lucht in Rijnmond, Over een monetaire waarde van gezondheidseffecten van fijn stof en stikstofdioxide*, GGD Rotterdam en Omstreken, Rotterdam.
- 10) Duijf, M./dr. P. Hofschreuder (supervisor) (2006). *The reduction of the concentration of particulate matter at the Prins Hendrikkade in Amsterdam*. Bachelor thesis. Wageningen University and Research Centre, Wageningen.
- 10a) Van der Eerden, L.J., De Visser, P., Pérez-Soba, M., 1998. Urban and agricultural nitrogen deposition: are there differences in impact? In: Responses of Plant metabolism to Air Pollution and Global Change. Eds., L.J. de Kok & I. Stulen. Backhuys Publishers. Leiden, The Netherlands. Pp. 469-471.
- 11) Eijgenraam, C.J.J., C.C. Koopmans, P.J.G. Tang en A.C.P. Verster (2000). *Evaluatie van infrastructuurprojecten. Leidraad voor kosten-batenanalyse*, Sdu Uitgevers, Den Haag.
- 12) R.J.M. Folkert, K. Wieringa. Beoordeling Nationaal Samenwerkingprogramma Luchtkwaliteit. MNP september 2006.
- 12a) Hanson, P.J., Lindberg, S.E., 1991. Dry deposition of reactive nitrogen compounds: A review of leaf, canopy and non-foliar measurements. *Atmospheric Environment* 25A, 1615-1634.
- 12b) Heath, B.A., Maughan, J.A., Morrison, A.A., Eastwood, I.W., Drew, I.B., Lofkin, M., 1999. The influence of wooded shelterbelts on the deposition of copper, lead and zinc at Shakerley Mere, Cheshire, England. *The Science of the Total Environment* 235, 415-417.
- 13) Hofschreuder, P., F. Tonneijck en E. Hofschreuder, (2005). *Optimalisatie van geluidsschermen voor verbetering van de luchtkwaliteit, A&F, PRI en Sight*, WUR, Wageningen.
- 14) Jones, Hamlyn. G.. *Plants and Microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology*. Cambridge University Press, Cambridge 1983.
- 15) Korpushov, S. (2005). *Oak and elm field-protective forest belts on testsites without motor-car motion*, VNIALMI, Wladivostok.
- 16) Langer, M., (2006). "Natürliche Filter? Die Filterung von Feinstäuben durch Stadtbäume", in: *TASPO-Das Magazin*, Vol. April 2006, pag 20-23.
- 17) Lichtveld Buijs & Partners; Voorlopige berkening luchtkwaliteit. Nieuwegein Mei 2005.

- 18) Linde van der, R.J. en J.P.M. Woudenberg, (1950). *On the microclimate properties of sheltered areas. The oak-coppice sheltered area*. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- 19) Matzarakis A., en S. Streiling, (2004). "Stadtklimatische Eigenschaften van Bäumen, Falluntersuchung in Freiburg im Breisgau", in: *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, Vol. 64, pag 307-310.
- 20) Nasrullah N., Tatsumoto H., "Effect of roadside planting and road structure on NO2 concentration near roads" in: *Japanese Journal of Toxicology and Environmental Health*, volume 40, p.p. 328-337.
- 20a) Neubert, A., D. Kley, J. Wildt, H.J. Segschneider & H. Forstel, 1993. Uptake of NO, NO2 and O3 by sunflower (*Helianthus annuus* L.) and tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.) – dependence on stomatal conductivity. *Atmospheric Environment* 27A, 2137-2145.
- 20b) Nowak, D.J., 1994. Air pollution removal by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G., Nowak, D.J., Rowntree, R.A. (eds.). *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. General Technical Report NE 186.
- 20c) Okano, K., Machida, T., Totsuka, T., 1988. Absorption of atmospheric NO2 by several herbaceous species: estimation by the 15N dilution method. *New Phytologist* 109, 203-210.
- 20d) Okano, K., Machida, T., Totsuka, T., 1989. Differences in ability of NO2 absorption in various broad-leaved tree species. *Environmental Pollution* 58(1), 1-17.
- 20e) Pérez-Soba, M., Van der Eerden, L.J., 1993. Nitrogen uptake by needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) when exposed to gaseous ammonia and ammonium fertilizer in the soil. *Plant and Soil* 153, 231-242.
- 20f) Pye, K., 1987. *Aeolian dust and dust deposits*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- 21) Raupach, M.R., N. Woods, G. Dorr, J.F. Leys and H.A. Cleugh, (2001). "The entrapment of particles by windbreaks", in: *Atmospheric Environment*, Vol. 35, pag 3373-3383.
- 22) Dr. ir. Koen de Ridder VITO, Mol 2004. Benefits of Urban Green Space (BUGS), Deliverable 18 year 2; PM-10 Particle reduction.
- 23) Dr. ir. Koen de Ridder, Dr. ir. Filip Lefebvre. VITO, Mol 2004. Benefits of Urban Green space, MESO-final report; Deliverable 13.
- 23a) Schweikle, V., 1999. Schadstoffgehalte an landgebundenen Verkehrswegen. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe, 1-38.
- 24) Singels, M., J.P.G.N. Klooster, G. Hoek, (2005). *Luchtkwaliteit in Nederland: Gezondheidseffecten en hun maatschappelijke kosten, Een beknopt overzicht van de stand van zaken in 2005*, CE Centrum voor Energiestudies), Delft.
- 24a) Smith, W.H., Staskawicz, B.J., 1977. Removal of atmospheric particles by leaves and twigs of urban trees: Some preliminary observations and assessment of research needs. *Environmental Management* 1, 317-330.
- 24b) Srivastava, H.S., Ormrod, D.P., 1984. Effects of nitrogen dioxide and nitrate nutrition on growth and nitrate assimilation in bean leaves. *Plant Physiology* 76, 418-423.
- 24c) Takahashi, M., Higaki, A., Nohno, M., Kamada, M., Okamura, Y., Matsui, K., Kitani, S., Morikawa, H., 2005. Differential assimilation of nitrogen dioxide by 70 taxa of roadside trees at an urban pollution level. *Chemosphere* 61, 633–639.
- 25) Takayuli Tokairin, Toshihiro Kitada. Study on the effect of porous fence on air quality and traffic noise level around a double decked road structure. Evaluation by Numerical Model, Department of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology, Tempaku-cho, Toyohashi, Japan, juni 2004.
- 26) Dr.Thönnessen, Manfred, Feinstaub und Innerstädtisches Grün – Eine Übersicht, Forschungsgruppe Fassadenbegrünung Universität zu Köln, Geographisches Institut, April 2005.
- 27) Dr.Thönnessen, Manfred, W. Werner Die fassadenbegrünende Dreispitzige Jungfernrebe als Akkumulationsindikator. Verteilung von Schwermetallemissionen in Stadtstraßen unterschiedlicher Bebauungsstruktur. Forschungsgruppe Fassadenbegrünung Universität zu Köln, Geographisches Institut, 1996.
- 28) Tonnejck, A.E.G. , en M. Blom-Zandstra, (2002). *Landschapselementen ter verbetering van de luchtkwaliteit rond de Ruit van Rotterdam. Green landscape elements to ameliorate air quality in the vicinity of highway square Rotterdam*. Een haalbaarheidsstudie. Nota 152, Plant Research International b.v., Wageningen.
- 29) Tonnejck, F., (2003). *Buffer plantings improve air quality along highways*. University and Research Centre, Plant Research International, Wageningen.
- 29a) Tonnejck, A.E.G., Kuypers, V.H.M., 2006. Stadsbomen voor een goede luchtkwaliteit. *Bomennieuws (lente)*, 8-10.

- 30) Vardoulakis Sotiris,a,c, Fisher Bernard E.A. , Pericleous Koulis, Gonzalez-Flesca, Norbert. University of Greenwich, Maritime Greenwich. Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment* 37 (2003) 155–182.
- 31) Velders, G.J.M., J.M.M. Aben, J.P. Beck, W.F. Blom, A. Hoen, B.A. Jimmink, J. Matthijsen, J.F. de Ruiter, W.L.M. Smeets, K. van Velze, H. Visser, W.J. de Vries en K. Wieringa, (2006). *Concentratiekaarten voor grootschalige luchtverontreiniging in Nederland*. Rapport 500093002/2006, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- 32) Vermeulen, J.P.L., B.H. Boon, H.P. van Essen, L.C. den Boer, J.M.W Dings, F.R. Bruinsma en M.J. Koetse, (2004). *De prijs van een reis, De maatschappelijke kosten van het verkeer*, CE (Centrum voor Energiestudies), Delft.
- 33) Wesseling, J.P., J. Duyzer, A.E.G. Tonneijck en C.J. van Dijk, (2004). *Effecten van groenelementen op NO₂ en PM₁₀ concentraties in de buitenlucht*. Rapport R 2004/383.TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie, Apeldoorn.
- 34) J. Wieringa, P. Rijkooft. Windklimaat van Nederland. KNMI1983.
- 35) Wind; Frequency tables potential wind. KNMI 2003.
- 36) Woodruff, N.P., (1954). "Shelterbelts and surface barrier effects on wind velocities, evaporation, house heating, snowdrifting", in: *Technical Bulletin*, Vo 77 pag 5-25

4

Modellering luchtkwaliteit langs rijkswegen

4.1 Inleiding

Hoofdstuk 3 heeft een wetenschappelijke onderbouwing gegeven voor de effecten die beplanting op de luchtkwaliteit hebben. Met deze achtergrond is het zaak vervolgens een model te ontwikkelen waarbij de invloed van vegetatie op luchtkwaliteit wordt meegenomen. IN dit hoofdstuk wordt stilgestaan bij de mogelijkheden voor modellering.

Doelstelling

De doelstelling van het project is het verzamelen van kennis benodigd voor de realisering van een *pilotproject* waarbij marktpartijen aantonen dat vegetatie bijdraagt aan de reductie van de concentratie van fijn stof langs rijkswegen. Om dit aan te tonen en tegelijkertijd te koppelen aan het bestaande Meet- en Rekenvoorschrift Bevoegdheden Luchtkwaliteit van oktober 2006 is het noodzakelijk om een model of module te ontwikkelen waarmee de invloed van vegetatie op de luchtkwaliteit (en dan met name fijn stof) voorspeld kan worden.

Vegetatie en modellering van de luchtkwaliteit

Luchtkwaliteit wordt beschreven met de verdeling van concentratiewaarden van verschillende stoffen. In de Europese richtlijn worden grenswaarden genoemd voor SO₂, NO₂/NO_x, fijn stof (deeltjesgrootte PM₁₀ en PM_{2,5}), Lood, Benzeen en CO. De meest kritische grenswaarden zijn fijn stof en NO₂/NO_x. We concentreren ons in dit project vooral op fijn stof. Bij ontwikkeling van een model of module dient echter wel rekening gehouden te worden met deze andere stoffen.

Als we willen onderzoeken welke effect gerichte toepassing van vegetatie kan hebben op de luchtkwaliteit, met name rond snelwegen, moeten we een systematiek hanteren om het effect van verschillende verschijningsvormen van vegetatie op de fijn stofconcentratie te kwantificeren.

De verschillen in verschijningsvormen worden niet alleen aangegeven in termen van afmetingen en dichtheid, maar ook in soortkeuze. In paragraaf 4.4.5. wordt dit gepreciseerd.

Het enkel bepalen van het effect is niet genoeg. Aangezien in de Nederlandse praktijk uitspraken worden gedaan over luchtkwaliteit op grond van rekenmodellen, zal het effect van vegetatie ook in die modellen tot uiting moeten komen.

In het huidige Meet- en Rekenvoorschrift zit geen berekeningswijze specifiek voor de effecten van vegetatie op de luchtkwaliteit. Een beperkte uitzondering hierop is te vinden in het CAR-model, dat een neutrale of negatieve bomenfactor hanteert voor die situaties dat vegetatie naast de weg belemmerend is voor de menging van de door het verkeer belaste lucht met lucht van buiten de weg. Een negatieve factor houdt in dat het CAR-model berekent dat de aanwezigheid van bomen op een bepaalde plaats ten opzichte van de weg een negatieve invloed heeft op de verspreiding van luchtverontreiniging. Dit kan correct zijn voor de situatie in de straat (doel van het model), maar de vegetatie kan een positieve invloed hebben op concentraties in de omgeving. (Duijf, 2006).

De nieuwe vraag is of de tot nu toe gehanteerde modellen, welke ten aanzien van luchtkwaliteits-berekeningen gehanteerd worden, op een verantwoorde wijze een uitspraak kunnen gaan doen over de invloed van beplantingsstructuren op de luchtkwaliteit in het naast de weg gelegen gebied.

Dat die invloed gunstig kan zijn wordt door vele onderzoeken uit allerlei landen bevestigd. Er is veel onderzoek beschikbaar waarin de relatie tussen beplanting en opname of filtering van stoffen en gassen beschreven wordt, en er is ook het nodige bekend van luchtstromings-beïnvloeding van beplanting (zie hoofdstuk 3).

De aanwezigheid van vegetatie kan ook leiden tot verhoogde concentratiewaarden. Door de verlaging van de windsnelheid treedt minder verdunning op als gevolg van verminderde aanvoer van schonere lucht, maar geeft tegelijkertijd stofdeeltjes meer kans om te dalen. Ook deze effecten dienen in een modellering tot uiting te komen.

Het gaat er om de wetmatigheden te benoemen, waarmee de invloed van beplantingsstructuren berekenbaar gemaakt kan worden. Anders gezegd als we de criteria kennen voor de werking van beplanting en we kunnen daar getalswaarden aan koppelen, dan kunnen we waarden vergelijken en dus de uitkomsten optimaliseren.

Belang van gezamenlijke aanpak

Er zijn verschillende types modellen ontwikkeld om de mate van verspreiding van stoffen en gassen in de lucht te berekenen. Zo onderscheiden we empirische modellen (voorbeeld: CAR), Gaussische pluimmodellen (voorbeeld: Stacks en Pluim-Plus) en klassen(pluim)modellen (voorbeeld: VLW-model).

Deze modellen rekenen geen van alle met een mogelijke invloed van beplantingselementen op de luchtkwaliteit, met uitzondering van het CAR-model. Dit model levert echter geen antwoord op de vragen die wij ons hier stellen.

In het buitenland is wel een beperkt aantal modellen die de invloed van beplanting op de luchtkwaliteit aangeven. Een van de meer geavanceerde modellen wordt bij deze *pilot* ook in de beschouwingen meegenomen.

Let wel: het ligt niet in de bedoeling dat op grond van dit pilot-project een enkel voorkeursmodel geselecteerd gaat worden. Alle nu in Nederland binnen de randvoorwaarden van het Meet- en Rekenvoorschrift gehanteerde modellen hebben hun functie en bestaansrecht.

De behoefte om de invloed van vegetatie mee te nemen hangt in eerste instantie af van de grootte van het effect. Het reeds verrichte wetenschappelijk onderzoek wijst in de richting dat het effect substantieel is. Om in de toekomst de berekening van de invloed van de lokale stedenbouwkundige inrichting volwaardiger te maken is een ontwikkeling in de richting van het in de berekeningen meenemen van vegetatie nodig. Een doorontwikkeld model is wetenschappelijk waardevoller en bruikbaar dan een niet-geactualiseerd model.

Van belang is dat de invloed van beplanting in alle modellen op een zodanige wijze berekend gaat worden, dat die de werkelijkheid zo goed mogelijk benaderen en onderling niet tot belangrijke verschillen in uitkomsten leiden. Als dat wel het geval zou zijn, zou men in de verleiding kunnen komen een modellering te kiezen die het dichtst bij het gewenste antwoord kan komen. Een dergelijke ontwikkeling is voor alle partijen ongunstig.

De wetenschappelijke consensus is voor alle partijen van belang omdat hierdoor de kwaliteit van het onderzoek en de advisering op het gebied van luchtkwaliteit zal verbeteren.

In het Meet- en Rekenvoorschrift is een toetsingswijze voorzien waar in elk geval bij aangesloten dient te worden. Wil een "vergroend" model aansluiten bij de uitgangspunten van het Meet- en Rekenvoorschrift, dan kan dat alleen als uit de toetsing blijkt dat het voorgestelde model een goede voorspelbaarheid heeft voor de praktijk. Oftewel: het voorgestelde model dient op een correcte wijze aan de hand van metingen gevalideerd te worden.

4.2 Organisatie

De deelnemers

De deelnemers in de Subgroep Modellen staan reeds vermeld in paragraaf 1.4.

De overlegstructuur

Door het kernteam is gekozen voor een in tijd beperkte opzet van circa 2 maanden. Enerzijds om niet het risico te lopen dat een vrijblijvend vergadercircuit ontstaat, anderzijds omdat dit de opmaat is voor een vervolg, dat ook op korte termijn gestalte zou moeten krijgen. In die korte tijdsspanne is een drietal besprekingen in Delft gehouden, elk met een specifiek thema:

1. Hoofdonderwerp: Formulering van de modelvorm en de marktform (bijv. zelfstandige of aangehangen module) en de gewenste uitkomsten
2. Hoofdonderwerp: Formulering van de structuur
3. Hoofdonderwerp: Formulering van de bijdrage aan kennisdocument en opzet van validatiemetingen.

Elk overleg werd voorafgegaan door een vragenronde, welke per mail beantwoord is. Vervolgens werden alle antwoorden gebundeld en weer verspreid om gebruikt te worden aan startnotitie voor elke vergadering.

De vragenronde van de eerste bijeenkomst:

- 1a. Geef een beschrijving van de karakteristiek van de door jullie gehanteerde modellen.
- 1b. Op welke vraag geeft jullie model antwoord?
- 1c. Wie zijn de opdrachtgevers voor wie het model ingezet wordt en hebben zij verschillende wensen over de vorm van de uitkomsten?
- 1d. In welke vorm/formulering zou de waarde van groenstructuren in de uitkomst van de modelberekening tot uiting moeten komen (of bij EnviMet al tot uiting komt)?
- 1e. Is de in de startvergadering geopperde splitsing in een voorspellingsmodel en een oplossingsmodel zinvol?
- 1f. Hoe ziet het traject model - validering - opname in de regelgeving er idealiter uit, en is het zinvol om vanuit het laatste deel van het traject nu al iemand bij onze groep te halen?

Besloten is om zaken met betrekking tot opname in de regelgeving de eerste bijeenkomsten niet door het modeloverleg heen te laten lopen, omdat dan het accent direct op acceptatie in plaats van ontwikkeling komt te liggen.

De vragenronde van de tweede bijeenkomst luidde:

- 2a. Wat zijn de parameters die in jullie model(len) gebruikt worden?
- 2b. Welke parameters zouden in de eenvoudigste vorm van een groenmodule in ieder geval moeten zitten?
- 2c. Hoe uitgebreid wil je een gedetailleerd groenmodel maken?
- 2d. Is het werken met voorbeeld-wegdoorsnedes zinvol en hoeveel dan?
- 2e. Moet een model gelijk geschikt zijn voor niet-weggerelateerde situaties?
Voorbeeld: bedrijventerrein, individueel terrein, spoorweg, vliegveld, woonwijk, binnenstad.

Voor de derde ronde is een voorzet voor dit hoofdstuk Modellen als discussiestuk gehanteerd.

In deze derde bijeenkomst was ook validatie een van de gespreksonderwerpen. Omdat een model of module uiteindelijk moet gaan aansluiten bij het bepaalde in de ministeriële regeling van het Meet- en Rekenvoorschrift, is extra aandacht besteed aan de validatieprocedure.

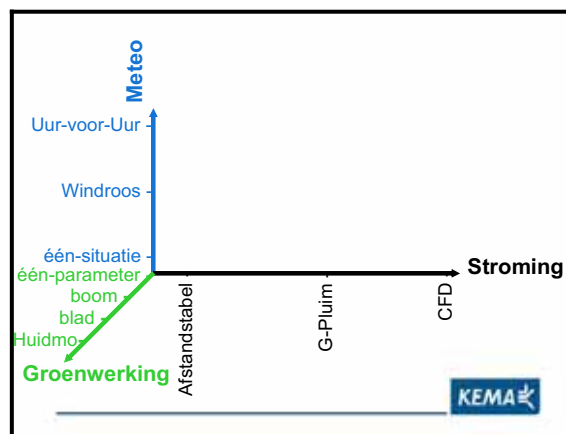
Na de derde bijeenkomst zijn de teksten aangevuld en opnieuw ter becommentariëring rondgestuurd. Ook de reacties hierop zijn verwerkt. Tot slot is van elke partij een slotstatement gevraagd (zie bijlage I).

4.3 Modellen

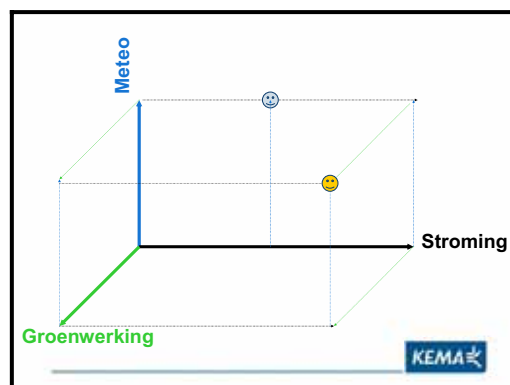
4.3.1 Modeldefinitie

(bijdrage de Wolff (Kema))

Een model is ooit opgezet om een bepaald effect te kunnen simuleren en wordt daarna gebruikt om dit effect door te rekenen. Zo zijn de verspreidingsmodellen opgesteld om de verspreiding van luchtverontreiniging vanaf een serie bronnen te simuleren en de resulterende concentraties te kunnen berekenen. Stromingsmodellen zijn opgezet om de stromingspatronen en -effecten inzichtelijk te maken, etc. Naast de functionaliteit van een model vormt de mate van detaillering een tweede onderscheid tussen modellen. Functionaliteit en detaillering vormden de uitgangspunten voor het assenstelsel (de 'modelruimte') dat tijdens de 17/10-sessie op het bord verscheen. [Omdat de BLK-normen over een jaar genomen worden, simuleert een model een jaar meteo.]



Aan het eind van iedere as in de figuur staan de meest gedetailleerde modellen voor die functionaliteit weergegeven. In de regel neemt met de mate van detaillering ook de complexiteit en benodigde capaciteit toe. Modellen die op twee assen een eind van de oorsprong afluigen, zijn al redelijk bijzonder (de NNM-modellen zijn aangegeven met een blauwe smile in onderstaande figuur), terwijl het ultieme doel van dit project de gouden smile aan het eind van de drie assen zou kunnen zijn.



Voor een gedetailleerde beschrijving van een bepaald effect kan het nodig zijn een submodel (of module) in het model te integreren. Voor verspreidingsmodellen zijn dit bijvoorbeeld een atmosferisch chemie-submodel of een gebouwmodule (waarmee de stroming om een gebouw gedetailleerd wordt beschreven). Iedere modelleur zal er naar streven dat de detaillering van het model redelijk in evenwicht is met de detaillering van de onderliggende submodellen, maar toch zullen verschillende modellen verschillende accenten krijgen.

Kanttekening: de gouden smile aan het eind van de drie assen is niet altijd het ultieme doel. Een eenvoudig screeningsmodel, dat op alle assen ongeveer in het midden zit of wellicht nog eenvoudiger is, zou al een doel kunnen zijn. Een volledig procesmatig model, als een verder uitgebreid ENVI-Met model zou een ander doel kunnen zijn. Het doel en de beoogde gebruikersgroep bepalen waarnaar moet worden gestreefd.

4.3.2 Karakteristiekbeschrijving van de belangrijkste door de deelnemers gehanteerde modellen

- Model: CAR II model
Karakteristiek: Empirisch model gebaseerd op windtunnelstudies door TNO. In het Meet-en
Rekenvoorschrift niet toepasbaar in open situaties.
- Model: Nieuw Nationaal Model, zie Pluim Plus en Stacks.
- Model: Stacks
Karakteristiek: Gaussisch Pluimmodel dat op basis van meteo-input op uurbasis de verspreiding van alle denkbare bronnen (puntbron, lijnbron, oppervlaktebron uit industrie of verkeer) op een willekeurige set receptorpunten uitrekent. Per bron kan de invloed van een gebouw meegenomen worden. Het model is een directe implementatie van (en uitbreiding op) het consensus Nieuw Nationaal Model.
- Model: Pluim Plus / Pluim Snelweg
Karakteristiek: Gaussisch Pluimmodel. Pluim Plus is net als Stacks een versie van het Nieuw Nationaal Model.
- Model: VLW-model (Voorspellingssysteem Luchtkwaliteit Wegtraces)
Karakteristiek: Gaussisch Pluimmodel, gebouwd op basis van specificaties van het TNO-Verkeersmodel (TNO-VM). VLW en TNO-VM behoren tot de zgn. klassenmodellen, ofwel Gaussische pluimmodellen op basis van geclassificeerde statistieken van de voor atmosferische verspreiding bepalende weersomstandigheden. Dispersieparameters worden o.a. berekend als functie van de afstand.
- Model: ENVI-Met
Karakteristiek: ENVI-Met is een zogenaamd CFD ('Computational Fluid Dynamics') model, waarbij het simulatiedomein opgedeeld wordt in vakjes (roostercellen). Buiten de stromingsvelden simuleert het tevens een aantal klimatologische parameters, evenals de dispersie van deeltjes en gassen'. De stromingskarakteristiek wordt gekoppeld met een groot aantal variabelen, zoals windsnelheid, temperatuur, vochtigheid, straling, turbulentie, en concentraties van gassen en deeltjes.

Het belangrijkste verschil met eenvoudigere (bijvoorbeeld Gaussische) modellen is dat de invloed van obstakels zoals gebouwen en vegetatie expliciet in rekening worden gebracht. Een typisch domein beslaat $300 \times 300 \times 100 \text{ m}^3$ en bestaat uit $60 \times 60 \times 20$ roostercellen, hetgeen een ruimtelijke resolutie biedt van 5 m. Het model rekent meestal een hele dag door, met uurlijkse tijdsresolutie. ENVI-Met onderscheidt zich van andere stedelijke CFD modellen door behalve de stroming ook een groot aantal klimatologische parameters te berekenen, en door de gedetailleerde wijze waarop vegetatie in rekening wordt gebracht, met name de interacties tussen vegetatie en gassen/deeltjes in de atmosfeer (absorptie van gassen in de stomata, invangen van deeltjes). Het complexe karakter van ENVI-Met heeft als nadeel dat het model zeer

rekenintensief is. Hierdoor worden zowel de duur van een simulatie als de grootte van het simulatiedomein momenteel beperkt. De complexiteit van het model, zijn experimenteel karakter (onderzoeksmodel), evenals de vereiste rekeninfrastructuur zijn dusdanig dat de manipulatie van ENVI-Met door derden (bijv. adviesbureaus) momenteel niet mogelijk is.

Met uitzondering van CAR en ENVI-Met zijn de modellen zogenaamde Gaussische pluimmodellen.

Een Gaussisch pluimmodel gaat uit van het gegeven dat emissie uit een puntbron een zich verbredende pluim vormt. Deze pluim wordt beschreven aan de hand van een uurgemiddelde pluimas en een emissiegebied volgens een Gaussvormige verdeling, een soort statistische kansverdeling, in het horizontale en verticale vlak. De concentratie is op de pluimas het hoogst en aan de randen het laagst. De breedtevariabelen van de pluim voor de concentratieverdeling worden voornamelijk bepaald door de afstand vanaf de bron, de turbulentie en stabiliteit in de atmosfeer. De concentratiewaarden zijn afhankelijk van de emissiesterkte, de emissiehoogte en de stijghoogte (afhankelijk van weersomstandigheden, temperaturen en uitstootsnelheid), de windsnelheid en de breedtevariabelen.

Voor berekening aan wegtracees kan de weg worden opgevat als een lijnbron. De zijdelingse spreiding in het Gauss model speelt dan geen rol meer. Alleen de verticale opmenging is van belang. De lijnbron wordt in de gebruikelijke Gauss modellen gemodelleerd door een serie puntbronnen te nemen langs de weg. Speciale versies van het Gauss model voor lijnbronnen werken met een aangepaste analytische oplossing van de Gaussverdeling.

ENVI-Met is een CFD-model, dat een wezenlijk andere rekenmethodiek kent dan de empirische of de Gauss-modellen, en een ander uitkomstbeeld geeft.

VITO is geen modeleigenaar van ENVI-Met. Michael Bruse (Universiteit Bochum) is modeleigenaar, en een basisversie van het model (als executable, niet de broncode) is vrij beschikbaar voor iedereen. Geplande modeluitbreidingen door VITO (verbeteringen fijn stof, NO-NO₂-O₃ chemie, volledig jaar doorrekenen, etc) zullen afgeschermd worden.

Er is een discussie gaande of de bomenfactor zoals die in CAR gehanteerd wordt goed de werkelijkheid beschrijft. Het CAR-model heeft enkele beperkingen ten aanzien van de invoer van emissies en de interpretatie van de effecten van de vegetatie buiten de ruimte onder het kronendak.

Gebaseerd op onderstaande referenties zou het volgende gesteld kunnen worden:

1. Een beperking van de benadering van CAR is dat CAR de depositie en de resuspensie van straatstof niet meeneemt. Naast de uitlaat-emissie maakt ook slijtage van banden, remmen en motor, wegslijtage en stof van natuurlijke oorsprong, afkomstig van bijvoorbeeld klei aan banden, onderdeel uit van de hoeveelheid fijn stof afkomstig van de weg en het verkeer daarop. Oriënterende berekeningen tonen aan dat de resuspensie ongeveer even groot is als de directe emissie uit de uitlaat. De depositie op straat, huizen en andere oppervlakken is wellicht van diezelfde orde van grootte als de emissie door resuspensie. Het netto effect is dat berekeningen met alleen directe emissies toch redelijk goed uitkomen.

2. De bomenfactor is in CAR negatief vanwege de geringere verversing in de straat. Wat niet meegenomen wordt is de verlaging van de achtergrondconcentratie omdat de bomen een deel van het in de lucht aanwezige stof afvangen voor dit zich in de straat mengt. Dit is des te belangrijker als die achtergrondconcentratie vrij hoog is. De stofconcentratie in de binnenkomende lucht in de straat is door het passeren van een filter (de bomen aan de windopwaartse kant) lager dan de achtergrondconcentratie. In de iets schonere lucht boven de weg komen de verkeersemisies terecht, die een verhoging van de concentratie geven. Gemeten concentraties zijn slechts in geringe mate hoger dan de oorspronkelijke achtergrondconcentratie (voor fijn stof ligt dit weliswaar anders dan voor NO₂). In een situatie zonder bomen zou de verhoging van de concentratie bovenop de oorspronkelijke achtergrond komen en in een aantal gevallen daardoor hoger kunnen zijn.

3. Tenslotte verdwijnt de lucht uit de ruimte onder de kronen weer door het kronendak, met wederom afvangst van materiaal. Dit betekent een verlagend effect op de stadsachtergrond.

Hoe groot de exacte invloed is op concentraties is onderwerp van nader onderzoek.

Referenties:

Marjolijn Duijf (2006) The reduction of the concentration of particulate matter at the Prins Hendrikkade in Amsterdam. Bachelor completion thesis WUR Meteorology and Air Quality pp40. (beperkingen van CAR model)

Muntaseer Billah (2006) Application and Validation of the OPS model to predict PM-10 for Dhaka City. MSc thesis WUR Meteorology and Air Quality pp99. (belang van resuspensie)

Een aantal modellen heeft reeds een formele status volgens het Meet- en Rekenvoorschrift of heeft deze status aangevraagd. ENVI-Met heeft die status niet, maar is bijvoorbeeld wel gebruikt in het Europese Programma Benefits of Urban Green Space.

Concluderend:

Er is een verschil in aanpak tussen de Gaussische modellen en een atmosferische CFD-modellering, maar beide kunnen toetswaarden opleveren voor toetsing aan regelgeving. CFD modellen kunnen daarbij meer complexiteit aan dan Gaussische pluimmodellen.

Beide typen modellen kennen een onzekerheidsmarge.

In de Gaussische modellen kan vegetatie beschreven worden als obstakel op grond van parameters die ook in het CFD-model gebruikt worden, het CFD-model zal zijn uitkomsten moeten gaan doorrekenen in eenheden die in de regelgeving gebruikelijk zijn, zoals bijvoorbeeld jaargemiddelde concentraties.

4.3.3 De uitkomst van een modelberekening

De uitkomst van een modelberekening wordt door de verschillende partijen net iets anders geformuleerd:

- De karakteristiek van de concentratie op de receptorpunten ten gevolge van de opgegeven bronnen.
- De invloed van bebouwing en vegetatie op het stedelijk microklimaat en op de concentratie van verontreinigende stoffen in de lucht.
- Afhankelijk van de keuze van het model concentratieschatting in ongestoorde omgeving, in streetcanyons of slechts benaderende schattingen.
- Evaluatie van de verkeersinvloed op de luchtkwaliteit rond rijkssnelwegen in de vorm van jaargemiddelde concentraties PM₁₀ en NO_x.
- Het is een antwoord op verspreidingsvragen en dus verdunning, maar niet op immisie-vragen
- Depositie is geen modeluitkomst. Wel wordt in het NNM en afgeleide modellen natte en droge depositie berekend. Natte depositie wordt afgeleid uit neerslaggegevens, droge wordt berekend aan de hand van een depositiesnelheid.

De huidige modellen doen met name uitspraken over verspreiding van stoffen of gassen onder invloed van het windklimaat. De concentratie op de vastgestelde meetpunten geeft de invloed van de weg aan.

Beplanting speelt in ENVI-Met een belangrijke rol. In de overige modellen speelt de beïnvloeding van het windklimaat door beplanting een vrij algemene rol waarbij als variabele alleen een ruwheidslengte ingevoerd kan worden.

Met uitzondering van ENVI-Met is geen van de modellen op dit moment ingericht voor depositieschatting, terwijl depositie een wezenlijk onderdeel is van het effect dat vegetatie heeft op de luchtkwaliteit. Dat aspect zal bij ontwikkeling van een groenmodel/module zeker een rol spelen. Waar de meeste modellen ook geschikt zijn om uitspraken te doen in grootschalige situaties, is ENVI-Met meer geschikt voor uitspraken in fijnmazige kleinschalige situaties.

Concluderend:

Of het ene mechanisme nu meer effect heeft dan het andere, het gaat om de vraag welke verschillen concentraties als gevolg van inbreng of aanwezigheid van vegetatie vertonen op een willekeurig punt, al dan niet een toetsingspunt binnen het huidige voorschrift, ten opzichte van de achtergrondwaarde en in afhankelijkheid van de bronuitstoot. In een

model moeten alle mechanismen verwerkt zijn (atmosferisch, fysiologisch) die substantiële invloed hebben op die verschillen, en wel op een wijze die zo dicht mogelijk bij de werkelijke (gemeten of te meten) waardes aansluit.

4.3.4 Opdrachtgevers voor modelinzet en wensen over de vorm van de uitkomsten

Als opdrachtgever voor het laten uitvoeren van modelberekeningen kunnen we denken aan:

- Europese overheid
Voorbeeld: het project “Benefits of Urban Green Space” (5^{de} Kaderprogramma voor Onderzoek)
- Landelijke en regionale overheden
Voorbeeld: aanleg, uitbreiding of reconstructie van wegen
- Lokale overheid
Voorbeeld: in- en uitbreidingsplannen voor woningbouw en utiliteitsbouw
- Onderwijs
Voorbeeld: in het kader van studieprojecten of onderzoek voor derden
- Industrie
Voorbeeld: uitstootmodellering in het kader van de milieuwetgeving
- Ontwikkelaars op het gebied van infrastructuur, gebiedsinrichting of projectmatige bouw
Voorbeeld: onderdeel van de planprocedures
- Agrarische bedrijven
Voorbeeld: terugdringen uitstoot- en stankcirkels

Per opdracht kan de precieze vraagstelling en resultaatweergave uiteraard verschillen. Hoe algemener het project, hoe algemener het antwoord.

Bij lokale overheden is de vraag meestal specifiek, stedelijke beleidsmakers willen graag de invloed van een bepaald bouwproject of van een specifieke configuratie van vegetatie doorgerekend zien, voor een specifieke locatie in de stad (bijvoorbeeld hoe kunnen bomen langs een drukke boulevard ingezet worden om de luchtkwaliteit te verbeteren).

Naast opdrachtgevers die een wezenlijke interesse tonen in het verbeteren van de gezondheidsvoorwaarden voor hun burgers, zijn er ook die tevreden zijn als met een goede inzet van groen kwantitatief de norm gehaald wordt, danwel een bouwstop opgeheven wordt.

Sommige opdrachtgevers willen letterlijk berekend hebben hoeveel kilo stof en NO_x aan de lucht onttrokken wordt door groen, anderen is het met name te doen om het in gang houden van projecten volgens de voorgeschreven procedures.

Opdrachtgevers zien zichzelf zelden als de aangewezen persoon om te investeren in ontwikkeling van kennis of van modellen. Alleen als projecten echt in de knel gaan komen ontstaat er mogelijk meer bereidheid een stap verder doen, of wanneer er aandacht komt en budget vrijgemaakt wordt voor innovatie, zoals in het IPL gebeurt.

Het zou wellicht wenselijk zijn om de interceptiewaarde (in kilo's of concentraties), de ruimtevraag (in m¹ tot bron en m² grondgebruik) en de kosteneffectiviteit (in k€) van de groenstructuur ook in beeld te krijgen. Dit gaat echter voorbij aan de eisen die in het Meet- en Rekenvoorschrift gesteld worden. In Milieu Effect Rapportages en in Maatschappelijke Kosten en Baten Analyses komen dergelijke waarden wel voor. In het beperkte kader van dit programma zal hier niet verder op ingegaan worden. Het wordt aan de deelnemers overgelaten om dit al dan niet verder te ontwikkelen.

Ook de koppeling met andere modellen (bijvoorbeeld geluid) is in deze fase niet aan de orde. Op zich is deze koppeling wel te maken, aangezien ook overdracht van geluid door klimaatfactoren beïnvloed wordt. De interactie tussen vegetatie en klimaatfactoren kent dezelfde parameters voor berekening van concentraties in de lucht als voor geluid, maar eigenschappen van groenstructuren leiden tot verschillende mate van effectiviteit.

Concluderend:

Alle opdrachtgevers hebben naast hun verantwoordelijkheid voor de volksgezondheid door handhaving of verbetering van de luchtkwaliteit als doel door te kunnen gaan met bedrijfsvoering of ontwikkeling binnen de wettelijke kaders. De uitkomsten van een groenmodel/module moeten dan ook aansluiten bij de terminologie die in de wetgeving gebruikt wordt. Dus geen kilo's stof, maar jaargemiddelde-concentraties en aantal overschrijdingsdagen.

4.4 Het groene model

4.4.1 Het werkingsgebied van het model

De vraag is of een te ontwikkelen model naast voor weggerelateerde situaties ook gelijk geschikt moet zijn voor niet-weggerelateerde situaties, zoals een spoorweg, een vliegveld, een bedrijventerrein, een woonwijk, voor binnenstedelijk gebied, of zelfs voor een particulier perceel.

Verschillen liggen in eerste instantie in de bronvorm (punt- of lijnvormig, achtergrond of lokaal, etc).

In de effectbeschrijving staan weinig verkeersspecifieke elementen. Door chemische omzetting en verschil in depositiegedrag kan het gedrag echter verschillend zijn.

Daarnaast zou men in plaats van de gebruikelijke bron-gerichte denkwijze ook receptor-gericht kunnen gaan denken.

Spoorwegen kennen een vergelijkbare geometrie, maar heel andere emissiehoogtes en andere initiële spreiding. Toepassing voor deze bron zou overwogen kunnen worden. Overigens vindt bij elektrische locomotieven de luchtvervuiling gedeeltelijk bij de elektriciteitscentrale plaats en gedeeltelijk op het spoor zelf.

Een vliegveld is een complexe bron met lijnbronnen afhankelijk van de windrichting en grote invloed van de menglaaghoogte in verband met het stijgen van de vliegtuigen.

De bedrijventerreinen en andere terreinen zijn een combinatie van oppervlaktebronnen met daarbinnen waarschijnlijk nog puntbronnen. Op een bedrijventerrein heb je soms hogere emissiepunten (schoorsteen) waaruit de emissie geconcentreerd met temperaturen boven de omgevingstemperatuur plaatsvindt. De warme pluim stijgt gelijk naar hogere luchtlagen, wordt steeds breder in horizontale en verticale zin en raakt op een gegeven moment ergens de grond. De beschrijving van de verspreiding moet dan zeker driedimensionaal worden beschreven, terwijl voor wegen een eenvoudig screeningsmodel met een tweedimensionale aanpak kan worden overwogen. Verkeersemissies geven veelvuldig aanleiding tot problemen die maatregelen nodig maken. Het zijn juist de situaties waar een wegvak aan de bebouwde omgeving grenst die als probleemlocatie in beeld komen. Dit zijn de overschrijdingslocaties die ten grondslag liggen aan procedurele vertragingen, waar nu en in de toekomst de meeste problemen met bouwstops voorkomen.

Concluderend:

Gezien het kader waarin deze exercitie plaatsvindt, is gekozen voor het werkingsgebied Wegen. Zowel nieuwe als bestaande locaties moeten berekend kunnen worden.

Als het formuleren van de randvoorwaarden leidt tot een groenmodel/module voor wegsituaties, zal een doorontwikkeling naar de andere situaties eenvoudiger zijn. Deze doorontwikkeling zal aan de afzonderlijke partijen overgelaten worden. De afweging of zij dit gezamenlijk op gaan pakken is aan henzelf.

4.4.2. Groenmodel of groenmodule

Er zijn allerlei gradaties mogelijk in de complexiteit van het model. Het gaat er maar om wat je minimaal aan parameters nodig hebt om een uitspraak over de invloed te doen en hoe gedetailleerd je dit wilt hebben. Wil je een splitsing kunnen maken in de verschillende samenwerkende mechanismen van de vegetatie, wil je een uitspraak op een groot of een klein schaalniveau, wil je een voorkeuze in een beperkt aantal principedoorsnedes of juist niet, is het doel screening of analyse?

Verskillende vormen zijn mogelijk:

1. Integraal onderdeel van een bestaand model

- voordeel: - vegetatie wordt altijd meegenomen in de afweging
- nadeel: - het maakt gebruik van het bestaande model lastiger door extra rekentijd
- het maakt gebruik van het model duurder doordat altijd meer invoergegevens nodig zijn. Incomplete invoergegevens verhogen de onzekerheid in de uitkomsten

Opmerking: Als het effect van groen op verspreiding vanaf de bron naar receptor direct in de uitgebreide berekeningenreeks van het model wordt verdisconteerd zijn aanzienlijk meer invoergegevens nodig, tenzij een aantal voorkeuzes aangeboden wordt. Zie ook paragraaf 4.4.3.

2. Aparte module die aan het bestaande model al dan niet gekoppeld wordt

- voordeel: - eigen structuur en mogelijk aan meerdere modellen te koppelen
- nadeel: - mogelijk foutgevoelig door incompatibiliteit output en input.

Opmerking: Het effect van groenstructuren zou op soortgelijke wijze in het model kunnen worden meegenomen als nu in het VLW-model gebeurt met de geluidsschermen en verhoogde ligging.

De vuistregel die nu bijvoorbeeld voor schermen wordt gebruikt maakt echter geen onderscheid tussen afstand van de schermen tot de weg en de wegoriëntatie. Het enige dat gebruikt wordt is de hoogte van de schermen.

3. Een apart groenmodel

- voordeel: - geen last van bestaande structuren
- nadeel: - van begin af aan het model opbouwen
- per situatie modellen met verschillende complexiteit wenselijk, tenzij in eenzelfde model een aantal eigenschappen van de groenstrook non-variabel gemaakt kan worden.
- acceptatie in Meet- en Rekenvoorschrift lastiger
- duurder

Opmerking: Scheiding tussen een verspreidingsmodel en de berekening van de effecten van vegetatie lijkt onmogelijk, immers het effect van groen zal sterk afhankelijk zijn van de verspreidings-condities. Met scheiding gaat de nauwkeurigheid verloren.

Er is al veel atmosferische kennis in de bestaande modellen verwerkt. Het lijkt onlogisch om dit niet gelijk als basis te willen gebruiken.

Concluderend:

Een groenmodule gekoppeld aan een luchtkwaliteitsmodel lijkt de meest werkzame oplossing. Ook de link naar de regelgeving is een stuk eenvoudiger te maken dan bij een geheel nieuw model. Het implementeren van een module in een bestaand model zal per aan te koppelen model extra arbeid vragen.

4.4.3 Gradatie in complexiteit van modellen

Een model dat tot in detail alles uitrekent wordt een zwaar model. Door zijn zwaarte kan het niet meer als module aan andere modellen gekoppeld worden en mogelijk sluit de gedetailleerdheid van de uitkomsten niet meer op elkaar aan. Maak een groenmodule

dus niet uitgebreider dan nodig om in balans met de mate van detaillering van de rest van het model te blijven.

We hebben net geconcludeerd dat het een groenmodule (= koppelbaar deelmodel) zou moeten worden. Aangezien "model" de meest gebruikte benaming is, worden de term module hierna alleen gebruikt voor het te ontwikkelen modeldeel voor de berekening van het effect van groen.

Een praktisch probleem kan zijn dat een gedetailleerd model meestal veel rekentijd kost met mogelijke gevolgen voor het budget om het te kunnen draaien. Zeker met het oog op de schaal in dit project, namelijk wegen, en dan met name snelwegen, gaat het vaak over grote lengtes. Bij verschillen in inrichtingsvormen over de lengte van de weg zal het invoeren van de hoeveelheid locatiegegevens reguliere budgetten snel te boven gaan.

Anderzijds is behoefte aan een eenvoudig te hanteren model met weinig invoergegevens die bovendien zelf vast te stellen zouden moeten zijn. Ten behoeve van het beleid is behoefte aan een model, dat een minimum aan invoergegevens kent (vergelijk het CAR model) en wellicht de keuze uit een zeer beperkt aantal standaard groenstructuren geeft. De simpele module ("simple mind proof") zou zowel geschikt moeten zijn voor de bestuurlijke professional als voor de onderlegde leek. Voor de professional zou het wenselijk kunnen zijn door te kunnen schakelen naar een uitgebreide locatiespecifieke rekentechnische analyse en simulatie. Het voordeel is hanteerbaarheid zonder specifieke kennis met aansluitmogelijkheid tot grote voorspelbaarheid in specifieke condities.

Daarom is overwogen om een splitsing te maken in wat in eerste instantie genoemd werd een voorspellingsmodel (later: screeningsmodel) en een oplossingsmodel (later: gedetailleerd model). Dit is een zinvolle splitsing, aangezien ook nu al gradaties in complexiteit van modellen bestaan. Resultaten van het oplossingsmodel kunnen ook leiden tot bruikbare vegetatieparameters voor een screeningsmodel of -module. Voor opdrachtgevers is het belangrijk om eerst een voorspelling te hebben en een "go/ no go" moment voor de oplossende stap. Voor het laatste is in de Ruimtelijke Ordeningssfeer altijd eerst draagvlak nodig en dat kost tijd en inspanning.

Om op een snelle eenvoudige manier de potentie van vegetatie te beoordelen (als screening) is er nu geen geschikte oplossing. De bomenfactor in het CAR-model is een te grote simplificering van de brede rol van vegetatie op grond van het voorhanden zijnde wetenschappelijk onderzoek. Voor complexe situaties en notoire knelpunten moet een model kunnen worden ingezet, dat met de complexe situatie meer rekening houdt. Het verschil tussen 'voorspelling' en 'oplossing' zit in een complex model meer in de manier waarop het ingezet wordt dan in de modelstructuur zelf. De rekentijd is de belemmerende factor. Mocht de acceptatie van ENVI-Met in het Meet- en Rekenvoorschrift niet op korte termijn lukken, dan zal nader bekeken moeten worden of het screeningsmodel uitbreidbaar is, of dat inmiddels andere modellen op de markt zijn die ook een hanteerbare effectberekening van vegetatie in zich hebben.

Concluderend:

Voorgesteld wordt een splitsing te maken in het niveau screeningsmodel en analysemodel.

Het screeningsmodel moet eenvoudig te bedienen zijn, in ruime mate beschikbaar worden gesteld en snel kunnen rekenen.

Het screeningsmodel wordt gedraaid als module van een ander model, gezien de directe doorvertaling naar de uitkomsten van de modellen.

Het analysemodel of gedetailleerde model wordt ingezet als het screeningsmodel risicoplaatsen aangeeft. Daardoor blijven de schaalniveaus voor dit model beperkt, hetgeen ook een economische reden heeft. Noodzakelijk is wel dat er een gevalideerde over-en-weer aansluiting van de verschillende modellen tot stand komt.

ENVI-Met zou mogelijk als analysemodel kunnen werken. Het dient dan wel als model geaccepteerd te worden binnen de bepalingen van het Meet- en Rekenvoorschrift.

4.4.4 Het werken met standaard wegdoorsnedes

Het zou een vereenvoudiging kunnen zijn om vanuit standaard wegdoorsnedes de berekeningen op te bouwen. Voordeel daarvan is dat het parameters groepeert en dus aanzienlijk minder keuzemogelijkheden c.q. beslissingsmomenten zijn. Of met een beperkt aantal klassen voldoende resultaat geboekt kan worden, kan pas worden bepaald na een analyse van de aspecten waarvoor een model erg gevoelig is en waarvoor niet.

Voorbeeld-wegdoorsnedes bieden mogelijk een snelle start. Bovendien geeft schematisering eenvoud en robuustheid. Deze "eenvoudige" situaties kunnen zinvol zijn om een beter inzicht te krijgen in de werking van vegetatie en de invloed op luchtkwaliteit. Er is nog geen consensus over de invloed van vegetatie, dus de resultaten voor de doorsnedes zijn tevens demo-cases. Verder zijn deze situaties nuttig (en noodzakelijk) om parameterisaties te ontwikkelen (bijvoorbeeld op basis van modelresultaten van ENVI-Met) voor de screeningsmodellen. Het is van groot belang dat deze situaties:

- zo eenvoudig mogelijk zijn, dus zo weinig mogelijk verstoord door zaken die niet direct met de invloed van vegetatie te maken hebben – dit om de invloed van de vegetatie zo goed mogelijk te isoleren teneinde een sterk signaal te krijgen.
- een hoge mate van 2-D symmetrie vertonen om veel simulaties mogelijk te maken (veel verschillende situaties qua vegetatie-karakteristieken, etc).

Als vooraf het effect van verschillende groenstructuren (meerdere gelaagde structuren in wisselende opbouw en samenstelling, etc.) gedetailleerd bepaald zou kunnen worden, kan mogelijk op rekentijd bespaard worden als specifieke situaties deels tot deze voorbeeldstructuren herleid kunnen worden.

Het voordeel van een eenvoudig werkmodel valt mogelijk weg tegen het nadeel van het niet doorgeven van het inzicht hoe beplanting luchtkwaliteit beïnvloedt, terwijl veel bestaande situaties waarschijnlijk niet voldoende corresponderen met de voorbeeldkeuzes. (zie ook hoofdstuk Landschappelijke inpassing)

Het gevaar daarvan is dat schematisering een te eenvoudige voorstelling van zaken is. In plaats van het startpunt voor verder denken fungeert een beperkte keuze van voorbeeldsituaties mogelijk als eindpunt. Menigeen zal denken dat hij goed bezig is met de keuze voor een standaardoplossing. De praktijk leert anders. Gezien de grote hoeveelheid variabelen en de verschillen per locatie zal simplificatie niet eenvoudig zijn. Het resultaat van beperking is dat het mogelijk de nauwkeurigheid van de uitkomsten naar beneden haalt en waarden zullen dan slechts als indicatieve waarden gebruikt kunnen worden.

Daar komt bij dat de bestaande modellen die van een groenmodule voorzien gaan worden dit soort voorbeeldsituaties niet kennen.

De 'hete hangijzers' uit de praktijk zijn in de regel bijzondere gevallen met kruisingen van verkeerswegen, vaarwegen, beperkte ruimtes en/of gedeeltelijke overkappingen, dus allesbehalve reduceerbaar tot enkele voorbeeldtypes.

Concluderend:

Het aanbieden van voorbeeld-doorsnedes is een methode om snel inzicht te verschaffen in de effecten van structuurverschillen. Tijdens de ontwikkelfase van de groenmodule kan deze aanpak nuttig zijn. Als berekening van effecten in knelsituaties is het een risicovolle versimpeling, die mogelijk onvoldoende recht doet aan de impact van afzonderlijke parameters en derhalve alleen past in een screeningsmodel.

4.4.5 Parameters in modellen, algemeen en vegetatie-gerelateerd

Onderscheiden naar verschillende categorieën kunnen de volgende parameters van belang zijn in een modellering:

Geometrie	Precieze locatie (begin en einde in hectometeraanduiding)
	Wegrichting

	<ul style="list-style-type: none"> Wegbreedte Bermbreedtes (incl. middenberm en vluchtstrook) Verhoogd/verlaagd/vlak Met of zonder scherm, schermhoogte Bebouwing/verharding
Bronsterkte	<ul style="list-style-type: none"> Aantal voertuigen per etmaal in de diverse voertuigcategorieën (personenauto's, middelzware vrachtwagens en zware vrachtwagens) Snelheid van de voertuigcategorieën Congestiekans Emissiefactoren per voertuigcategorie (directe emissie uit uitlaat) Emissiefactoren niet uitlaatgerelateerd (slijtage etc) Onderscheid NOx en de omzetting daarvan / PM10 Resuspensiefactoren (afhankelijk van voertuigcategorie en snelheid) in initiële menging boven de weg Achtergrondconcentraties (concentratiekaarten van Ozon,NO2 en PM10) Grootteverdeling van stofdeeltjes
Meteorologie	<ul style="list-style-type: none"> Windrichting Windsnelheid (en interpretatie van meetverschillen) Atmosferische stabiliteit (Monin-Obukhov lengte) Regenduur en -intensiteit Globale (kortgolvlige) inkomende straling, bij grotere precisering evt. kort- en langgolvlige, in- en uitgaand, incl. reflectie, verschillen in bodemwarmte, vocht, en vegetatietemperatuur Sneeuwdek Temperatuur Relatieve luchtvochtigheid Lokaal windklimaat jaarrond + per maand (voor episoden)
Groenstrook	<ul style="list-style-type: none"> Afstand tot de weg Breedte, hoogte Doorsnedeprofiel (recht, oplopend, aflopend) Leaf Area Density/Index (hoeveelheid bladoppervlak) incl. verdeling in de hoogte Root Area Density (RAD) Porositeit Loofbomen, naaldbomen of gemengd, planttype Plantfysiologische karakteristiek (ruwheid blad, beharing, waslaag, huidmondjes, bladreflectiviteit (voor kortgolvlige straling) opnamekarakteristiek t.a.v. PM10 en NOx) Ruwheidslengte (alleen bij grotere lengte ontstaat een aangepaste grenslaag) Correctiefactoren voor seizoen/soort beplanting Effect van meerdere groenstroken achter elkaar

De keuze van relevante parameters voor een eenvoudig hanteerbaar model is nauw verbonden aan de basismechanismen welke aan de inzet van vegetatie voor luchtkwaliteitsverbetering ten grondslag liggen, te weten beïnvloeding van de luchtstroming (door ruwheid en/of schermwerking) afvangst door de beplanting (zowel opname via huidmondjes etc. als fysieke invang op bladeren of takken) en depositie op grond van windsnelheidsverlaging. In de optimalisatie van de gecombineerde werking van deze drie effecten (scherm, afvangst en depositie) ligt de waarde van vegetatie.

Voor een goede voorspelbaarheid kan eigenlijk geen van de parameters ontbreken, maar voor de eenvoud dient het aantal parameters zo laag mogelijk te zijn. Een aantal parameters is uiteraard al in modellen opgenomen. Voor de pluimverspreidingsmodellen zijn dit strominginvloeden (naast uiteraard positie en afmetingen van groenstructuren) met name ruwheidswaarden en winddoorlaatbaarheid of porositeit van het groen. Overige relevante parameters waaronder de meteorologische

condities zitten reeds in het model, zie hiervoor de NNM-modelbeschrijving (het 'Paarse Boekje') en het recent vernieuwde Meet- en Rekenvoorschrift bij het Besluit Luchtkwaliteit.

4.4.6 Conclusie: uitgangspunten voor groenmodules

Vorm:	Geen apart model maar een aan bestaande modellen koppelbare module.
Doel:	Berekening effecten vegetatie op luchtkwaliteit. Effecten zijn drieledig: luchtstromingsbeïnvloeding (verplaatsing met als gevolg versterkte of verminderde menging), afvang en depositie.
Uitkomst:	Terminologie passend bij regelgeving, dus jaargemiddelde concentraties en overschrijding van daggemiddelde waarden.
Complexiteit:	Standardsituaties: Basismodule, eenvoudig hanteerbaar voor "iedereen". Complexe situaties: Geavanceerd model, alleen hanteerbaar door specialisten.
Parameters:	Ruimtelijke kenmerken: Afstand tot de weg, herhaling, ruwheidslengte Uiterlijke fysieke kenmerken: Hoogte, breedte, doorsnedeprofiel Interne fysieke kenmerken: Loof-/naaldbomen, struiken, bermbegroeiing, porositeit, bladoppervlak Plantenkenmerken: Bladruwheid, waslaag, opnamekarakteristieken Tijdskenmerken: Seizoensinvloeden

Voorbeelddoorsnedes: Deze kunnen worden gebruikt om snel grote effecten duidelijk te maken, maar zijn niet voldoende om de diversiteit van locaties te beschrijven.

4.5 Validering

4.5.1 Wijze van validering

Groen is enerzijds een middel waar in sensitieve bewoordingen over gesproken wordt, anderzijds heeft het aspecten van harde techniek en is het onderdeel van een juridisch krachtenveld.

Het is voor dit laatste van het grootste belang om modellen op een goede manier te valideren, zodat ze ook in juridische zin als berekeningswijze geaccepteerd worden. Het te ontwikkelen model inclusief groene module moet uitmonden in toe te passen rekenregels. Dit impliceert dat het nieuwe model geaccordeerd moet worden door verantwoordelijke partijen (met name VROM) en de status moet krijgen van het Nieuw Nationaal Model en/of het CAR II model. Daartoe zal moeten worden geïnventariseerd aan welke eisen een te accorderen model moet voldoen.

Modellen die in het kader van het Besluit Luchtkwaliteit worden gebruikt moeten dus worden getoetst. Het RIVM speelt hierin een rol als referent. Het ministerie van VROM fungeert als opdrachtgever voor een dergelijke toetsing.

4.5.2 Eisen aan een meetlocatie

De eisen van een meetlocatie zijn van belang voor de randvoorwaarden van het project en om deze reden te vinden in paragraaf 7.2 ontwerp.

4.5.3 Toetsing van modellen

Niet alleen een of meerdere groenmodules dienen te worden getoetst, ook een model als Envi-Met dient dezelfde procedure te volgen, zeker als dat gebruikt gaat worden als analysemodel, aansluitend op het screeningsmodel.

Noodzakelijk in Envi-Met is een aanpassing om een volledig jaar te kunnen doorrekenen. Tot dusver werden hoofdzakelijk korte periodes doorgerekend, met als doel inzicht te krijgen in bepaalde processen. Indien echter ENVI-Met ingezet dient te worden in de context van toetsing aan EU regelgeving, dan dienen tijdsreeksen voor (minstens) een volledig jaar gesimuleerd te worden.

Wenselijk is uitbreiding van de voorstelling van bepaalde processen in het model, om rekening te kunnen houden met recente wetenschappelijke inzichten. Met name de evolutie van de deeltjesgrootte nabij bronnen (in het bijzonder verkeer) dient opgenomen te worden in de modellering, vooral omdat de afvang van deeltjes door vegetatie enorm gevoelig is voor de deeltjesgrootte. Deze laatste wordt bepaald door processen zoals coagulatie en aggregatie van deeltjes. In de huidige versie van het model kan de deeltjesgrootte niet meer variëren nadat de simulatie gestart is.

Opmerking: ENVI-Met is relatief uitgebreid gevalideerd met betrekking tot microklimatologische parameters (temperatuur, windsnelheid, etc.) maar er is nog geen validatie gebeurd van gesimuleerde concentraties van gassen/deeltjes.

Toetsing van modellen vindt plaats op basis van vergelijking van stromingspatronen in model en buitenlucht, vergelijking van concentratievelden berekent door het model en in de buitenlucht, en vergelijking van depositie berekent door het model en eventueel gemeten in de buitenlucht.

Voor elk aspect is passende meetapparatuur nodig:

1. Meteorologische apparatuur;

Plaatsen van 1 of meer Sonische Anemometers (Sonics). Doel is karakterisering van het windveld en de turbulentie. Informatie kan worden vergeleken met stromingsveld en turbulentieparameters van het model. Plaatsing van een profiel aan windsnelheidsmeters (voor massabalans en stromingsprofiel en flux van impuls), windrichtingsmeter, temperatuur- en vochtprofiel. (opmerking: CAR en Gaussische pluimmodellen berekenen het windveld niet. Daar wordt volstaan met een windsnelheids- en windrichtingmeting en een schatting van de stabiliteit)

2. Luchtkwaliteitsmeetapparatuur concentraties

Profielmeting van NO₂ en NO, Ozon (in verband met omzetting van NO in NO₂), Optische meting van profielen van aërosolen (automatiseerbaar) en/of massameting van PM₁₀ en PM_{2.5} (ook automatiseerbaar, maar dan erg duur). Let op het verzamelen van achtergrondmetingen.

3. Luchtkwaliteitsmeetapparatuur depositie

Gebruik van kunstmatige oppervlakken binnen de groenstrook? Hoewel niet ideaal, wellicht nodig, omdat de massabalansmeting bij geringe depositie mogelijk niet nauwkeurig genoeg is.

Voordat gemeten wordt, is het verstandig dat een statische analyse wordt gemaakt. Vragen daarin zijn: welke waarnemingen doe je en hoeveel, hoe beperk je de spreiding, etc.

Een mogelijk vervolgtraject met daarin een rol voor ENVI-Met kan er als volgt uitzien:

1. uitvoeren metingen
2. validatie ENVI-Met met meetgegevens
3. uitvoeren met ENVI-Met van 2-D runs ("standaard wegdoorsnedes"), om:
 - a) inzicht te verwerven in en nauwkeuriger te kunnen rekenen aan het vegetatie-effect
 - b) gevoeligheidsstudies te doen, teneinde belangrijke parameters te identificeren
 - c) parameterisaties te ontwikkelen voor de screeningmodellen
4. inbrengen van parameterisaties in screeningmodellen
5. validatie van de screeningmodellen aan de meetresultaten van 1.

4.5.4 Interpretatie

Ten behoeve van de toetsing van modellen is het aantrekkelijk om in staat te zijn zaken als verspreiding van gassen en deeltjes, verdunning en depositie uit elkaar te kunnen trekken. Dit is zeker van belang voor de stikstofoxiden, waar naast verspreiding en depositie ook chemische omzettingen een rol spelen. Deeltjes gedragen zich (zeker als ze groter zijn dan 5 μm) ook anders in de lucht dan gassen.

Verbetering van de interpretatie is mogelijk door:

1. Gebruik van een niet reactieve gasvormige *tracer*, geëmitteerd door het verkeer, of plaatsen van een lijnbron voor *tracergas*. Dit geeft een beter beeld van de relatie tussen bronsterkte en concentraties op bepaalde punten. Voor de modellering moet worden uitgegaan van een aangenomen bronsterkte (verkeerstelling en emissiefactoren) of schatting uit metingen door de massaflux door een vlak loodrecht op de weg te schatten. De bronsterkte is daarmee minder nauwkeurig dan bij gebruik van een *tracer*, hetgeen weer parten speelt bij de vergelijking van gemeten en berekende concentraties.
2. Inzet van een *tracer* aërosol. Door gebruik te maken van een (lijn)bron van *tracerdeeltjes* kan het verschil in gedrag tussen gassen en deeltjes worden geanalyseerd (dit verschil zal ook in het model moeten worden aangebracht). Evenals bij het *tracergas* is het voordeel dat bronconfiguratie en bronsterkte goed gekend zijn. Bijkomend voordeel is, dat door bladwassing ook de depositie op de vegetatie kan worden gekwantificeerd en zo ook een check op dit deel van het model mogelijk is.

4.5.5 Mogelijke additionele metingen

Het zou goed zijn om naast de metingen van PM_{10} en $\text{PM}_{2.5}$ ook metingen te hebben van de grootteverdeling van PM met betrekking tot de kleinere deeltjes, zoals $\text{PM}_{1.0}$ en submicron klassen. Het meten daarvan is lastig (en duur), maar niet onmogelijk, en het is zinnig gezien de enorme gevoeligheid van de invangcapaciteit van vegetatie met betrekking tot de grootte van de deeltjes. Deze metingen hoeven niet continu te gebeuren, een beperkt sample zou al veel interessante info geven. Wel belangrijk is waarschijnlijk om metingen van de deeltjesgrootte-verdeling op verschillende afstanden van de weg te doen, omdat het spectrum van de grootte van deeltjes afkomstig van verkeer varieert met afstand tot de bron (door o.a. coagulatie-effecten).

Voor beleid is het belangrijk, dat de zeezoutconcentratie van de heersende PM_{10} concentratie mag worden afgetrokken. Daar zijn rekenregels voor, maar het is zinnig te zien welk deel van de totale concentratie bestaat uit zeezout, zodat ook de verkeersbijdrage nauwkeuriger kan worden vastgesteld. Bekend is ook dat NO_2 slechts een *tracer* is voor gezondheidseffecten en zwarte rook echt een relatie heeft met gezondheidseffecten. Dit roept de vraag op of de volgende additionele metingen niet zinnig zijn:

1. Meting van Natrium in het aërosol. Kan van belang zijn vanwege de correctie voor zeezout op de aërosolconcentratie langs de weg.
2. Meting van de zwarting van filters. De Black Smoke meting was één van de eerste gestandaardiseerde metingen. Deze is verlaten voor PM_{10} . De omrekenfactor van zwarting naar massa is afhankelijk van de aërosol-eigenschappen en principieel niet meer van toepassing. Het aandeel roet in verkeersaërosol is echter van belang voor de effecten op de mens en voor de optische haze (global dimming). Inzet ter verkrijging van extra informatie kan overwogen worden.

Als het doel van dit project enkel uitgelegd wordt als het halen van de normen van het Besluit Luchtkwaliteit (door vaststellen van het effect van een vegetatiestrook gericht op massa van het luchtstof) is dit, ofschoon belangrijk vanuit gezondheidskundig oogpunt, niet de eerste activiteit.

4.6 Nawoord

Hoe nu verder:

- Elk van de modeleigenaren zal zelf moeten beslissen of hij daadwerkelijk een groenmodule gaat ontwikkelen, passend bij zijn model en passend bij de regelgeving.
- Feit is wel dat er meer dan voldoende aanleiding is om vegetatie in luchtkwaliteitsmodellen op te nemen, aangezien veel onderzoeksresultaten over effecten beschikbaar zijn (zie hoofdstuk 3). Dat men deze effecten mee wil gaan rekenen is een kwestie van tijd.
- Door nu een goede rekenwijze op te zetten, kunnen we een voorsprong nemen op die ontwikkeling.
- Door het af te stemmen op de Europese regelgeving kan de Nederlandse ontwikkeling een voorbeeld worden voor ontwikkelingen elders.

5

De waarde van groen en vegetatie langs rijkswegen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de maatschappelijke waarden van groen, de verschillende beplantingstypen en de diversiteit in eigenschappen van beplanting binnen de verschillende beplantingstypen. Aansluitend komt ook het beheer en onderhoud van groen en de kosteneffectiviteit aan bod. Deze informatie dient als achtergrondinformatie voor de praktische uitvoering van het aanplanten of modificeren van groen langs rijkswegen.

5.1 Waarde van groen voor de leefomgeving

De indruk bestaat dat groenvoorziening alleen maar geld kost. Maar dat investeren in groen ook enorme maatschappelijke en economische baten kan opleveren wordt vaak niet beseft. In dit kennisdocument gaat het om de toepasbaarheid van groen in relatie tot de aanpak van het fijn stof probleem langs rijkswegen. Groen heeft echter ook invloed op tal van andere zaken. In de volgende paragrafen wordt kort op deze aspecten ingegaan.

De bron van deze informatie is 'De baten van de Groene Stad'. Uitgegeven door de Stichting Groenforum. Een Stichting die als spin in het web wil functioneren om groen op de agenda te krijgen van politiek en besluitvormers.

5.1.1 Algemeen

Groen kan, naast een positieve bijdrage aan de luchtkwaliteit, op diverse andere terreinen een positieve bijdrage leveren, waaronder: gezondheid, luchtkwaliteit, werken, wonen, energiebesparing, geluid, veiligheid en recreatie. De bijdrage van groen op deze gebieden wordt hier kort getypeerd.

Groen en gezondheid

Wetenschappelijk onderzoek toont aan dat groen in de woonwijk, in verpleeg- en verzorgingshuizen en op en rond de werkvloer een betere gezondheid kan bewerkstelligen.

Werken en groen

'Werknemers in een groene werkomgeving zijn gezonder, voelen zich prettiger en presteren beter'.

'Een groene werkomgeving zorgt voor een lagere bloeddruk en snellere reactietijd'.

'De aanwezigheid van groen rond een kantoor, fabriek of de werkplaats beïnvloedt de werknemer'.

Groen en wonen

'Mensen die in of nabij een gewaardeerde groene omgeving wonen zijn bereid hogere woonlasten te betalen'.

Waardevermeerdering

Een aantrekkelijke groene woonomgeving binnen 1 à 2 kilometer brengt een verhoging van de verkoopwaarde met zich mee die ligt tussen de 5 en 10%.

Energiebesparing door bomen

Beplanting houdt wind tegen: een goed uitgevoerde groenstructuur kan een gebouw uit de wind houden en dat bespaart energie. Onderzoek heeft aangetoond dat dit bij betrekkelijk lage windsnelheden al besparingen oplevert van 10% op jaarbasis, ongeacht de mate van isolatie van het gebouw. Dit komt doordat gebouwen in windluwe omstandigheden minder warmte verliezen dan gebouwen die aan de wind blootgesteld worden. Bij lagere temperaturen en hoge(re) windsnelheden zijn met groen besparingen tot 40% mogelijk.

Verstrooiing van geluid door groen

Tot voor kort werd als geluidwerende functie van beplanting alleen absorptie door bladeren in ogenschouw genomen. 's Zomers kan die wel 2,5 tot 3 dB(A) zijn, oftewel een halvering van het geluidsniveau. Groen doet echter meer. Een geluidsscherm of wal werkt niet goed bij meewind, omdat achter een ondoordringbare hindernis turbulentie en windafbuiging ontstaan. Hierdoor worden geluidsgolven afgebogen naar het gebied dat eigenlijk "stil" zou moeten zijn. Beplanting kan het effect van geluidsschermen verbeteren, doordat de turbulentie wordt voorkomen. Groen zorgt dus voor een veel groter geluidsluw gebied. Onderzoek langs rijkswegen heeft aangetoond dat bij meewind verbeteringen tussen 3 dB(A) en 10 dB(A) mogelijk zijn. Het aardige is dat dit effect zich ook in de wintersituatie voordoet.

Groen en veiligheid

(Kleine)criminaliteit

Verschillende onderzoeken brengen aan het licht dat het ontbreken van recreatieve voorzieningen kleine criminaliteit in de hand werkt. Het maakt dat groepen, met name jongeren, gaan rondhangen en uit verveling vervallen in vandalisme en kleine criminaliteit. Beplanting kan ook een grote rol spelen bij het werken aan de verkeersveiligheid. Laanbomen accentueren het verloop van de weg en het tunneleffect zorgt ervoor dat weggebruikers snelheid minderen. Een groep bomen aan het eind van een kale, rechte weg maakt dat de weggebruiker eerder afremt en de kruising of bocht met een lagere snelheid nadert. Verkeersrotondes hebben dezelfde verkeersremmende functie. Hoe aardiger de rotonde is beplant hoe hoger de attentiewaarde ervan is.

Groen en recreatie

Als we het hebben over recreatie en groen gaat het vooral om die recreatieactiviteiten, waarbij de deelnemers aan actieve lichaamsbeweging doen. Dat komt de gezondheid en het zich welbevinden van de beoefenaars ten goede.

5.1.2 Waardering bestaand groen

In deze paragraaf wordt een beeld geschetst van de waarde van groen in relatie tot andere economische activiteiten¹⁰. Tevens worden de belangrijkste stappen beschreven die gezet dienen te worden om economische waarden van het natuurlijk milieu te kunnen bepalen in het kader van kosten-batenanalyses.

Wat is economische waardering?

Met de maatschappelijke kosten baten analyse (=MKBA) worden veranderingen in de maatschappelijke welvaart bepaald door ze eerst te kwantificeren en vervolgens zo veel mogelijk te waarderen in Euro's, zodat zij optelbaar en aftrekbaar zijn. Om de effecten van infrastructuur op natuur, water en bodem op eenzelfde manier mee te kunnen nemen in de analyse als de andere effecten is het dan ook nodig om ze te kwantificeren en, indien mogelijk, economisch te waarderen.

¹⁰ GV706-1 Kentallen Waardering natuur, Water en Bodem Hulpmiddelen bij MKBA's, Witteveen + Bos

Hoe werkt economische waardering?

Om de economische waarde van natuur, water, bodem of milieu te bepalen, dient te worden nagegaan op welke wijze het natuurlijk milieu menselijke welvaart, in materiele en immateriële zin voortbrengt.

Economische waardering en schone lucht

Beschrijving baat

De natuurtypen bos, heide en grasland brengen de baat van schone lucht voort door stofdeeltjes (aerosolen) af te vangen. Hierdoor worden gezondheidsklachten bij mensen voorkomen. Stofafvang vindt voornamelijk plaats via het bladoppervlak waarop de stofdeeltjes aanhechten die vervolgens met regen afgespoeld worden. Indien de stofdeeltjes met schadelijke stoffen belast zijn zullen deze op de bodem accumuleren en kunnen ze, indien ze niet afgebroken worden tot problemen leiden (bijvoorbeeld bodemverzuring). Een goede maat voor de capaciteit van vegetatie voor het leveren van deze baat is de Leaf Area Index, oftewel de hoeveelheid bladoppervlak per grondoppervlakte-eenheid (de Groot, 1992). Projecten die een verandering in bos-, heide- of graslandareaal veroorzaken brengen de baat van schone lucht voort of zorgen juist voor het verlies van deze baat.

Eenheid

Kwantificering: kg af gevangen stof per hectare per jaar

Monetarisering: Euro per kg stof

Berekening

Kwantificering:

De baat van stofafvang kan gekwantificeerd worden door de areaalverandering die het project veroorzaakt te vermenigvuldigen met een gemiddelde stofafvang van ca. 50.000 kg stof per hectare per jaar voor loofbos en ca. 5.000kg stof per ha per jaar voor grasland en heide (de groot, 1992). Omdat de hoeveelheid stofafvang afhangt van de mate van luchtvervuiling per gebied, kan het zo zijn dat de hoeveelheid naar boven of naar beneden bijgesteld dient te worden voor het projectgebied.

Monetarisering

De baat van stofafvang kan gemonetariseerd worden op basis van de gezondheidsschade die een kg stof in de lucht veroorzaakt bij mensen. In de leidraad CEI wordt voor luchtvervuiling een prijskaartje van EUR70 per kg uitgestoten deeltjes gegeven (Eijgenraam e.a., 2000).

Figuur 5.1 kentallen

Natuurtype	Kwantiteit	Prijs
Loofbos	50.000kg stof per ha per jaar	EUR 70 per kg stof
Naaldbos	50.000kg stof per ha per jaar	EUR 70 per kg stof
Heide	5.000 kg stof per ha per jaar	EUR 70 per kg stof
Grasland	5.000 kg stof per ha per jaar	EUR 70 per kg stof
Riet/ruigte	N,v.t.	n.v.t.
Slik/schor/kwelder/plaat	n.v.t.	n.v.t.
Strand	n.v.t.	n.v.t.

5.2 Vegetatie langs Rijkswegen, de Nederlandse ontwerptraditie

5.2.1 De aantrekkingskracht van de snelweg

De snelwegzone is uitermate dynamisch. Recent heeft het NIROV berekend dat 40% van alle bouwprojecten in Nederland zich binnen een afstand van 500 meter van de snelweg bevinden. Deze projecten beslaan 60% van het oppervlak van alle nieuwbouw. In het rapport "Bloeiende Bermen" luidt ook het ruimtelijk Planbureau de noodklok. In hoog tempo wordt het gebied rond de Nederlandse snelwegen volgebouwd met VINEX wijken, brainparken, Ikea's, Mc Donalds en zichtlocaties. Het gebied rond de snelweg begint steeds meer op elkaar te lijken. Of men zich nu in de Achterhoek of de Zuidplaspolder bevindt, overal komen dezelfde bedrijfs"dozen" als paddestoelen uit de grond schieten. Ondanks dat de weg vaak als bron van overlast wordt gezien (vervuiling, geluid en barrièrewerking) is hij blijkbaar dermate aantrekkelijk dat het een soort nieuwe ontginningsas van stedelijk Nederland is geworden.

5.2.2 De ontwikkeling van de Nederlandse traditie

Nederland heeft een landschap waar van oudsher veel wegen zijn beplant. Het leverde houtproductie en zorgde voor beschutting in open gebieden. De bekende voorbeelden zijn de lanen van de landgoederen en de Napoleonswegen.

Afbeelding 2.1: Beuken beplanting kenmerkend voor landgoederen



In 1916 sloot toenmalig minister van Waterstaat Cornelis Lely een overeenkomst met Staatsbosbeheer om Rijkswaterstaat te voorzien van adviezen op het gebied van aanleg en beheer van beplanting rond de weg. Wanneer in 1929 ir. G.A. Overdijkink in dienst komt, verbreden de adviezen zich ook naar de esthetische zijde. In 1941 brengt Overdijkink het boekwerk "langs onze wegen" uit. Dit vormt de basis voor de Nederlandse ontwerp/inpassingstraditie van wegen. Overdijkink ziet de beplanting als de verbindende schakel tussen weg en omgeving. De weg moet een schoonheid bezitten die overeenkomstig is met het omliggend landschap. Dit betekent dat in een open landschap weinig wegbeplanting wordt toegepast. Wanneer een weg door een kleinschalig landschap loopt, kan gebruik worden gemaakt van een brede verzameling bomen en bossages. Hierbij wordt enkel inheems plantmateriaal gehanteerd. Dit is een van de redenen waarom de eik en de populier zo veelvuldig voorkomen langs de Nederlandse wegen.

Afbeelding 5.2: Rijksweg 16 in 1950 (foto gemaakt door Overdijkink)



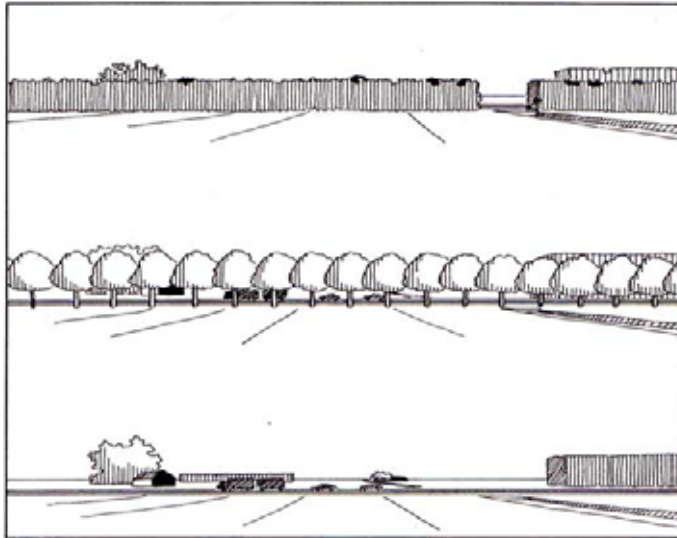
Vanaf de jaren 50 neemt de snelheid en verkeersintensiteit toe. Er komt meer aandacht voor de vorm van de weg zelf. De positie van de beplanting komt voort uit veiligheidseisen voor de automobilist en beplanting wordt veelvuldig ingezet voor het begeleiden van bochten.

De laatste twee decennia is een beweging ingezet waarbij de snelweg meer en meer in samenhang met de ontwikkeling van het hele omliggend gebied wordt gezien. De aantrekkingskracht van de snelweg blijkt zo groot dat niet enkel kan worden volstaan met het ontwerpen van het groen direct rond de weg. Het effect van een weg reikt immers veel verder dan alleen de berm. Momenteel wordt gepleit om de weg integraal met het gebied te ontwerpen. Op deze manier kunnen bijvoorbeeld een wegverbreding samen met een natuur en woningbouwopgave worden aangepakt. Zo is geen sprake meer van inpassing van de weg in het landschap, maar het landschap ontwikkelt zich in samenspraak met de weg. Net als bij het gedachtegoed van Overdijkink staat het karakter van het gebied centraal, echter de *scope* is een stuk groter. Een goed voorbeeld van deze aanpak is het Routeontwerp A12 (zie www.routeontwerp.nl).

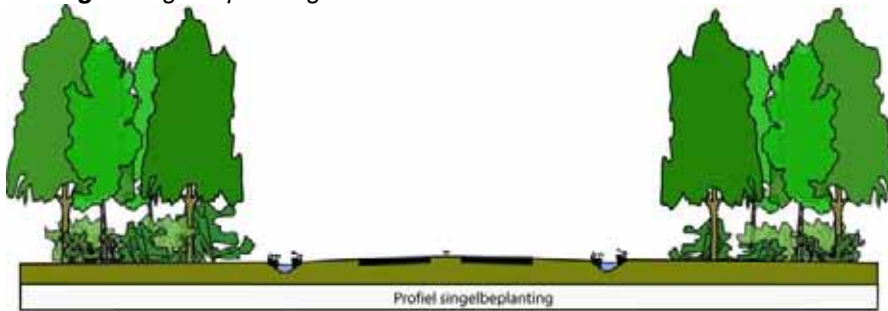
5.2.3 Vormmiddelen

Begin jaren 90 werd aan de Richtlijnen Ontwerpen Autosnelwegen (ROA) een deel "*Wegbeeld en Landschap*" toegevoegd. Deze benoemt grofweg drie typen begroeiing als ontwerpmiddel: singelbeplanting van bomen en struiken, bomen als laan en kruidachtige vegetatie.

Afbeelding 5.3: Toepassing van singel, laan en kruidachtigebeplanting (ROA, 1992)



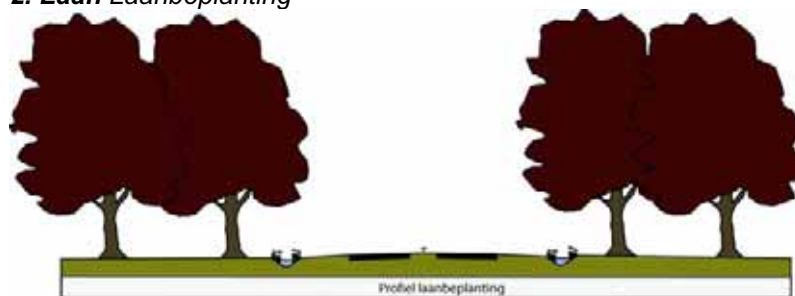
1. Singel Singelbeplanting van bomen en struiken



Singelbeplanting rond de A12 nabij Gouda



2. Laan Laanbeplanting



Laanbeplanting om de oprit van de verzorgingsplaats te begeleiden



3. Kruidachtig Kruidachtige beplanting



De A12 nabij Zevenaar, kruidachtige beplanting.

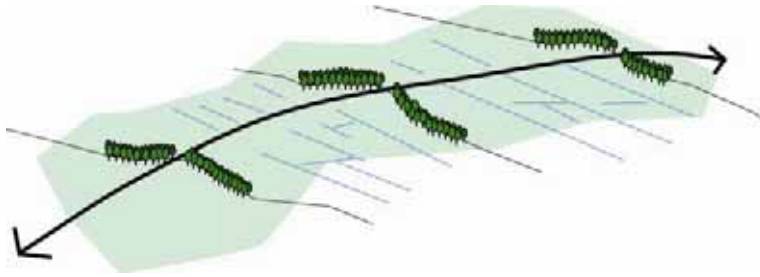


In visueel ruimtelijk opzicht is de toepassing van een bepaalde begroeiingsvorm van zeer groot belang voor de verschijningsvorm van de snelweg en de beleving van het omringende landschap. Op welke manier begroeiing wordt ingezet is zeer afhankelijk van het gehanteerde ontwerpconcept (zie de voorbeelduitwerkingen). Middelen als *remote sensing* en *Google earth* kunnen een bruikbaar middel zijn om inzicht in de ruimtelijke opbouw van een gebied te krijgen (zie www.itc.nl / www.googleearth.com).

Voorbeelden

A18: Inpassing snelweg d.m.v beplanten kruisende wegen

Afbeelding 5.4: Bij de A18 wordt de weg zelf niet aangezet met beplanting maar juist de kruisende wegen worden aangezet met beplanting.



A50: Cultuurhistorie als aanleiding voor beplanting

Afbeelding 5.5: bij de aanleg van de A50 over de Veluwe kwam een gedeelte van het tracé te liggen over een "Koningsweg" aangelegd door stadhouder Willem III. De ontwerpers hebben de Koningsweg terug laten komen in het ontwerp van de A50 in de vorm van een laan Eiken in zij- en middenberm.



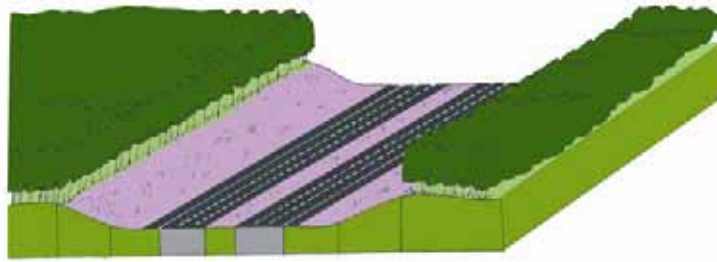
A12: Door verschillende perioden van aanleg afwijkende inpassing

Afbeelding 5.6: middenberm van de A12 bij afslag driebruggen. Beide wegdelen zijn onafhankelijk van elkaar aangelegd. Aan rechterzijde is een laanbeplanting toegepast. Links is een singelbeplanting toegepast. Het is veelvoorkomend dat door de jaren heen ontwerpconcepten vervagen door verschillende vormen van onderhoud, weg verbredingen etc.



Veluwe: talud met laagblijvende beplanting voor beleving

Afbeelding 5.7: Op de Veluwe worden de diep ingesneden bermen vrij gehouden van natuurlijke opslag (ingeplant met laagblijvende heide) om het reliëf beleefbaar te maken voor de automobilist



Opinie

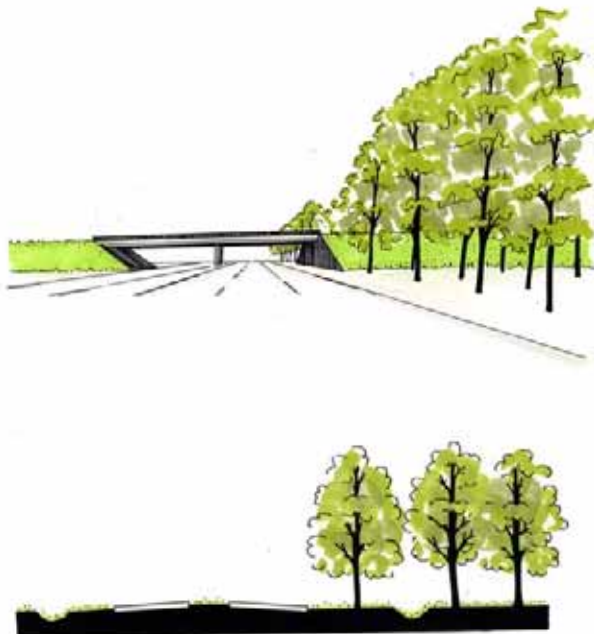
Jan Willem de Jager, Afdeling Ruimtelijk Ontwerp DLG

“Het is belangrijk om de toepassing van beplanting gebiedseigen te houden. In Nederland is altijd inheemse beplanting gebruikt. Het moet als het ware het karakter van het gebied versterken en rekening houden met de ruimtelijke opbouw van het gebied. Je moet bijvoorbeeld geen naaldbos gaan aanleggen rond een weg die door een open polder loopt. Dat moet je zo veel mogelijk open proberen te houden.

Er zijn wel degelijk typen beplanting die kenmerkend zijn voor toepassing in stedelijke gebieden. Een laanbeplanting van Lindes of Platanen bijvoorbeeld kan ik me goed voorstellen. Dit zijn soorten die van oudsher veel in de stad voorkomen. Ook kan ik me voorstellen dat je in de stad een toepassing kiest die niet inheems is maar juist zeer kleurrijk zoals rozen. Dit geeft kleur, en je markeert de stad. Het geeft duidelijk aan dat je in een gebied bent waar de mens domineert. Vaak is er in de stad trouwens überhaupt geen ruimte voor beplanting

De A73-zuid is een goed voorbeeld van toepassing van beplanting in de stad. De weg loop over de scheiding tussen stad en land. Om dit aan te geven in het ontwerp van de weg wordt de stedelijke kant voorzien van een dubbele rij laanbeplanting.”

Afbeeldingen 5.8 en 5.9: Bij de A73-zuid wordt laanbeplanting gebruikt om het onderscheid tussen de stedelijke en de landelijke kant van de weg te versterken



Jan Brouwer, Rijksadviseur Infrastructuur

“De snelwegzone is het visitekaartje van het omringende gebied. Hier moet zorgvuldig mee om worden gesprongen. In de regel vind ik dat beplanting rond wegen de ruimtelijke

eigenschap van het gebied moet vertegenwoordigen. Je moet oppassen dat je geen panorama's vol gaat planten.

Ik kan me goed voorstellen dat beplanting in stedelijke gebieden wordt toegepast. Bij de grote steden pleit ik echter niet voor een situatie zoals je die vindt in het Ruhrgebied. Hier doorkruis je het dichtstbevolkte gebied van Europa, maar het lijkt alsof je door een bos rijdt. Je kunt je absoluut niet oriënteren.

Ik heb gemerkt dat begroeide geluidsschermen erg populair zijn. Bij Gouda wordt momenteel een begroeid modulair geluidsscherm toegepast. In eerste instantie lag de voorkeur bij een transparant scherm, maar de gemeente gaf de voorkeur aan het begroeide scherm. Uit onderzoek is gebleken dat groen rond de weg rustgevend voor de automobilist is. Er moet echter wel genoeg afwisseling zijn.”

Afbeelding 5.10: Begroeid geluidsscherm langs de A27



5.3 Aanleg, beheer en onderhoud van beplanting langs rijkswegen

In deze paragraaf komen aanleg, beheer en onderhoud van beplanting langs rijkswegen aan bod. Om een goed beeld overzicht te verkrijgen in vegetatiekeuze worden in paragraaf 5.3.1 de beplantingstypen toegelicht. Omdat de standplaatsfactoren en de groei-eigenschappen van beplanting vervolgens de wijze van onderhoud bepalen komen in paragraaf 5.3.2. de fysiologische factoren aan bod.

5.3.1 Beplantingstypen

Vanuit technisch oogpunt worden groenvoorzieningen langs wegen aangelegd als bescherming van het verharde deel van de weg. Het geeft bescherming tegen erosie en draagt daardoor bij aan de stabiliteit van het weglichaam. Het onverharde deel moet daarvoor bedekt zijn met vegetatie.

Groenvoorzieningen worden ook aangelegd vanuit esthetisch oogpunt. Zij geven vorm aan de weg en bepalen het beeld van de weg in het landschap. Groenvoorzieningen zijn de pijlers van de architectuur van de weg. Daarnaast dient bij de keuze voor beplanting langs rijkswegen rekening worden gehouden met de inrichting van het aangrenzende landschap en het daarbij behorende landschapsplan.

Zo kan het bijvoorbeeld zijn dat uitsluitend inheemse beplanting¹¹ dient te worden aangeplant. Hierbij moet gedacht worden aan beplanting dat van oorsprong in het betreffende gebied voorkomt. Het gevolg hiervan is dat de keuze van beplanting beperkt is.

Verder dient bij de keuze van vegetatie rekening te worden gehouden met de standplaatsfactoren en de groeisnelheid. Binnen de verschillende beplantingstypen zijn

¹¹ Voor meer informatie over Inheemse beplanting zie www.bronnen.nl

bijvoorbeeld langzaam en snel groeiende planten aanwezig met groenblijvende of bladverliezende beplanting. Hoe snel men een bepaald eindbeeld wilt bereiken beïnvloed dan de keuze.

Vijf hoofdgroepen van groenvoorziening kunnen worden onderscheiden:

Bomen

Deze hoofdgroep betreft alle vrijstaande en in rijen of groepen geplaatste bomen. Door middel van lanen, bomen en bomenrijen wordt het verloop van de weg, de positie en de snelheid van het verkeer geleid of bepaald.

Het vormgeven aan de weg en daardoor uiting geven aan het karakteristieke en de architectuur van de provinciale weg. Het mede vorm en structuur geven van het landschap. Bomen vormen verbindende schakels tussen weg en de aangrenzende percelen. Bomen dienen ook voor het bieden van schaduw en beschutting aan de weggebruikers, het breken van wind en het matigen van de temperatuurextremen.

Beplantingen

Dit zijn alle opgaande houtachtige vegetaties van bomen, struiken en sierheesters. Enkele te onderscheiden groepen zijn hagen, struwelen en rozenvakken.

De belangrijkste functies voor hagen en struwelen zijn;

- Scheiding van hoofdweg en parallelweg betreffende verkeersveiligheid. Met name de verblinding van tegenstanders en het geleiden van het verkeer spelen hierbij een rol.
- Het absorberen van geluid.
- Het voorkomen van ongewenste verbindingen tussen rijbanen en fiets- of parallelwegen.
- Betreft struwelen ook de ecologische functie. Struwelen bieden ruimte voor flora en fauna.

Grassen en kruiden

Dit betreft de kruid- en grasachtige vegetaties zoals grasbermen, veldbloemen en oevervegetaties. Grassen en kruiden bedekken de bodem waardoor het wegspoelen van grond wordt voorkomen. Ook bieden zij draagkracht voor het opvangen van voertuigen. Het gaat om voertuigen die van de weg raken en materieel dat wordt ingezet bij reparaties van voertuigen en bij wegwerkzaamheden.

Naarmate grasbermen bloemrijker worden, neemt de betekenis voor de fauna toe, bloeiende planten trekken insecten aan en insecten trekken onder andere weer vogels en amfibieën aan. Daarbij dragen zij bij aan het bepalen van het beeld van de groenvoorzieningen. Grassen, veldbloemen en kruiden geven de berm het gehele jaar door de groene uitstraling, kruiden zorgen voor kleuraccenten. In het landschap geven grassen en kruiden openheid aan het landschap.

Watergangen

Hiertoe behoren de bermsloten, vijvers en poelen en droge greppels. Watergangen zorgen voor het opvangen en afvoeren van (regen)water. Immers, op het wegdek mogen geen plassen blijven staan. Het water moet via de berm snel van de verharding af kunnen stromen. Bermsloten zorgen voor de afvoer van het overtollige water uit de berm (relatie breedte, diepte en begroeiing). Watergangen zorgen ook voor een begrenzing van het wegprofiel. De bermsloot is een natuurlijke afscheiding tussen de weg en aangrenzende percelen. Het voorkomen dat op ongewenste plaatsen de weg op of af wordt gereden. Het laten infiltreren van het regenwater naar het grondwater.

Overige voorzieningen

Tot overige voorzieningen worden onder andere afrasteringen (inclusief palen), faunavoorzieningen, goten en halfverhardingen gerekend. Afrasteringen hebben als functie ongewenste doorgangen te voorkomen. Faunavoorzieningen dienen ervoor om dieren op een veilige wijze wegen te laten oversteken.

5.3.2 Fysiologische factoren en stressoren

Eenvoudig gezegd geeft de fysiologie van een plant aan hoe de plant groeit en welke processen hier plaats vinden. Enkele belangrijke processen hebben te maken met beschikbaarheid van:

- Water
- Licht
- Voedingsstoffen in de bodem

Hiernaast is het ademen van de plant een bijzonder proces in de fysiologie van de plant.

Elke plant heeft haar eigen kenmerken in haar verschijningsvorm en in de omgeving waar deze plant van oorsprong voorkomt. De combinatie van fysiologische factoren bepaalt uiteindelijk deze verschijningsvorm.

Bij het aanplanten van houtige gewassen en het uitzaaien van kruiden is het goed te weten in welke omgeving men aan het werk is en welke soorten hier van oorsprong ook passen. Hiernaast is het goed te weten hoe de bodemgesteldheid, de watervoorziening, de lichtinval en de beschikbare voedingsstoffen zich verhouden tot het doel dat men met de te realiseren beplanting heeft. In dit kader is het ook goed te realiseren welke externe factoren spelen die wellicht invloed hebben op de groei van de plant. Hierbij valt te denken aan strooizout, uitlaatgassen, verontreinigd water, uitstoot van omliggende industrie, opwarming door woongebieden, wateroverlast of gebrek door technische factoren en nog vele andere stressoren welke de reguliere groei van planten positief en negatief kunnen beïnvloeden op de plantlocatie.

Daarnaast bestaan aandachtsvelden welke bij wegbepantingen als stressoren kunnen optreden.

- Strooizout
- Watervoorziening
- Ontwatering
- Zeewind
- Windbelasting
- Verontreiniging van bodem door olieresten in water vanaf de weg
- Overige verontreiniging in water
- Overmaat of gebrek aan voedingsstoffen
- Overmaat of gebrek een licht
- Mechanische schade als gevolg van onjuiste standplaats of onjuist onderhoud
- Uitstoot van omliggende industrie

Bovenstaande stressoren dienen te worden gezien als voorbeelden. In praktijksituaties dient men alert te zijn op de specifieke omstandigheden welke als stressoren kunnen optreden. Dit vergt veel ervaring en kennis.

5.3.3 Ecologische waarde

Uitgaande van een goed landschapsplan ten aanzien van de inpassing van een beplanting, draagt deze beplanting bij aan de ecologische waarde in de omgeving. Dit wil zeggen dat een groen element in de ontwikkeling elk jaar waardevoller zal worden en steeds meer bijdraagt aan de ecologische processen welke rond flora- en fauna plaats vinden. Met name het fauna-aspect zal in de loop van de tijd haar weg vinden en bijdragen tot een gezonde beplanting. Andersom zal de beplanting bijdragen aan een grotere verschijningsvorm van insecten, vogels, bodemleven en schuilplaats voor overige zoogdieren. Daarbij vormen bomen geleidingszones tussen rust- en foerageergebieden. Met eventuele veiligheidseffecten van het aantrekken van diersoorten dient rekening te worden gehouden.

Bij onjuiste soortenkeuzes wordt het ecologische aspect verstoord en zal de beplanting niet bijdragen aan de ecologische samenhang, maar processen op gang brengen welke niet in haar omgeving passen.

De beplantingen in het kader van technisch groen dienen dusdanig evenwichtig te worden opgebouwd dat ze passen in het vigerende Landschapsplan en tevens haar functie kan vervullen als technisch element. Ook het beheer van de beplanting dient op technische en landschappelijke functie te worden getoetst.

Veranderingen in beplantingen dienen tevens te stroken met de uitgangspunten in het Landschapsplan. Maakt het groen langs rijkswegen bijvoorbeeld onderdeel uit van de ecologische en/of groene hoofdstructuur. Bevindt zich in de nabijheid van het groen bijvoorbeeld een waterwingebied of een beschermd natuurgebied waar vogels broeden. Kortom allerlei factoren die van invloed kunnen zijn op de wijze waarop beheer/onderhoud dient plaats te vinden (zie paragraaf 5.3.4.).

5.3.4 Beheer en onderhoud

Bij zowel het aanleggen als onderhouden van beplantingen langs rijkswegen zijn uitgebreide veiligheidsvoorzieningen vereist. Met name de vereiste bebakening en het werken op tijden waarop de verkeersintensiteit het laagst is, maken beheer en aanleg van wegbeplantingen een kostbare aangelegenheid. Door grotere, integrale bestekken worden vaker de onderhoudsactiviteiten aan beplantingen gecombineerd met onderhoud van de wegen, geleiderail, verlichting etc. Het beheer van groen langs wegen is in de loop der jaren veranderd; d.w.z. extensiever geworden. Zo'n 35 jaar geleden werden bijvoorbeeld veel bermen nog 4-6 keer per jaar gemaaid. Nu is dat één a twee maal, de problematiek bij het beheer van bomen en beplantingen is ook het omschrijven en controleren van vakmanschap. Snoeien laat zich bijvoorbeeld niet, zoals bij aanleg en onderhoud van asfalt, in duidelijk meetbare normen vastleggen. Wanneer bij de beheerder/opdrachtgever onvoldoende kennis aanwezig is over groen, kan door onvoldoende kundige aanleg of onderhoud een niet te herstellen schade aan wegbeplanting optreden.

Bij het beheer van groen langs rijkswegen dient respect voor de aanwezige flora en fauna ruime aandacht. De Flora- en Faunawet heeft invloed op alle werkzaamheden aan beplantingen langs rijkswegen. De zogenaamde algemene zorgplicht, een inspanningsverplichting om onnodige beschadiging aan flora en fauna te voorkomen. Eén en ander is omschreven in de gedragscode Flora- en Faunawet. Bij het opstellen van een groenbeheerplan dient met de gevolgen, voortvloeiend uit deze gedragscode rekening gehouden te worden.

Verder dient in het groenbeheerplan rekening te worden gehouden met de functies van het groen langs rijkswegen in relatie met de omgeving (zie paragraaf 5.3.3). Het kan dus voorkomen dat onderhoudswerkzaamheden gefaseerd moeten plaatsvinden, met alle consequenties voor de onderhoudsduur en de onderhoudskosten van dien.

Snoeien van bomen

Bij het beheer van de bomen worden drie fasen in de boomverzorging en begeleiding onderscheiden. De eerste fase is de jeugdfase, de tweede fase is de volwassen fase en de derde fase is de aftakelingfase.

Snelgroeiende bomen zoals populieren (*Populus canescens*) en wilgen (*Salix alba*) dienen bijvoorbeeld om de twee jaar te worden gesnoeid. Langzaam groeiende bomen zoals eiken (*Quercus robur*) dienen om de drie jaar te worden gesnoeid.

Het snoeiregime hangt samen met de groeisnelheid, die onder andere wordt bepaald door de soort, de conditie en de groeiomstandigheden. Gemiddeld geldt dat, indien om de 2 en 3 jaar wordt gesnoeid, per snoeibeurt ongeveer 20% van de bladmassa mag worden weggehaald. De hoogste prioriteit hebben de takken of vertakkingspatronen, die problemen geven voor de ontwikkeling van een goede stam. Hierbij geldt dat

probleemtakken boven in de tijdelijke kroon voorrang hebben boven de takken onder in de boom. Probleemtakken zijn:

- dode en aangetaste takken
- gebroken takken
- dubbele toppen
- zuigers en elleboogtakken
- dikke takken
- takparen, takkransen
- waterlot

Vitaliteitcontrole van bomen

Naast de begeleidingssnoei en het regelmatige onderhoud dient ieder jaar een vitaliteitcontrole van de bomen plaats te vinden. Dit in verband met de zorgplicht ten aanzien van de bomen in de bermen.

Plaatsen van boompalen

Na het aanplanten of verplanten van bomen dient iedere boom van minimaal van twee boompalen te worden voorzien op een afstand van gemiddeld 30 cm. Deze boompalen dienen om een rechtopgaande groei te stimuleren.

Vochthuishouding van bomen

Tijdens een langdurige droge periode, die waarschijnlijk valt in de warmere maanden mei tot en met september, dienen de bomen van water te worden voorzien. Een hulpmiddel om te bepalen of het nodig is water te geven is de thensiometer.

De vochthuishouding van bomen is een belangrijk punt, als de boom namelijk te weinig water krijgt beïnvloed dit de algehele conditie van de boom met als gevolg dat de bladmondjes sluiten (om overmatig vochtverlies door verdamping te voorkomen). Dit heeft dan een negatieve invloed op de verwerking van het luchtzuiveringseffect. Lichtintensiteit en watervoorziening van het blad zijn namelijk de belangrijkste factoren die het openen en sluiten van de huidmondjes beïnvloeden (zie paragraaf 3.4.2).

Dunnen van struwelen

Het onderhoud van struwelen is afhankelijk van veel factoren, zoals het sortiment, plantafstand, uitgroeiruimte en doelstelling. Het dunnen van de struwelen vormt de meest voorkomende en meest ingrijpende vorm van onderhoud.

Maaibeheer

Het beheer van de kruiden en grassen wordt mede bepaald door geformuleerde streef- en eindbeelden. Het maaibeheer kan gericht zijn op bijvoorbeeld verschraling en het verkrijgen van een open zode. Dit houdt in dat na het maaien het maaisel direct afgevoerd dient te worden. Het direct afvoeren van het maaisel voorkomt verdichting en verrijking van de bodem waardoor kruidensoorten een kans krijgen tot kieming te komen.

5.4 Kosteneffectiviteit

In paragrafen 5.3.1. en 5.3.4. zijn allerlei factoren aan bod gekomen die de kosten voor zowel aanleg als beheer bepalen. Vanwege deze factoren is het zonder vastgestelde projectlocatie niet mogelijk vooraf een exacte kostenindicatie te geven

Daarnaast kunnen zowel de kosten van aanleg als beheer afwijkingen vertonen ten opzichte van de huidige praktijk. Het technische aspect van de beplantingen zal dit meer dan rechtvaardigen. Te denken valt aan het aanplanten in grotere maten, het uitvoeren van een afwijkend beheer, het monitoren van de beplantingen en de garantie welke gegeven moet worden op de werking van het systeem.

In dit kader is het goed op te merken dat de status van deze voorziening bestemmingstechnisch dienen te worden vastgelegd en dat onjuiste maatregelen in beheer desastreus zijn voor de werking van het systeem. Het lijkt het overwegen waard

om beheer voor een lange tijd bij een partij onder te brengen welke verstand van zaken heeft en op de gewenste wijze in staat is te onderhouden en te beheren. Dit ook in het kader om het gewenste eind te behalen.

5.4.1 Modificatie versus aanleg nieuw groen

Een recente ontwikkeling in Nederland is de mogelijkheid om groen te leasen. Hierbij kan gedacht worden aan beplanting die in bakken wordt aangeleverd en verhuurd. In het zuiden van Europa (Frankrijk) wordt deze constructie al veel langer toegepast. Gemeenten huren daar bijvoorbeeld gedurende het groeiseizoen bomen in plantbakken (afhankelijk van de maat).

Afbeelding 5.11 laat zien op welke wijze een boom van enig formaat wordt aangeplant.

Figuur 5.11. Aanplanten van een boom



5.5 Literatuur

- Overdijking (G.A), *Langs onze wegen*, Albert de Lange, Amsterdam, 1941
- Van Zelm van Eldik (D.C.), Heerema (P.), *De Koers van het Routeontwerp*. Perspectieven van het routeontwerp van snelwegen op basis van de Regenboogroute A12, Delft, 2004
- Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen; Wegbeeld en Landschap, 1992
- Harsema (H.) , *Landschap van wegen en kanalen. 75 jaar adviezen van de afdeling verkeerswegen aan de Rijkswaterstaat*, Wageningen, 1991
- H+N+S Landschapsarchitecten, *De partituur van de Regenboogroute*, Utrecht, 2005
- Vrijlandt (P.), *Concepten in de Landschapsarchitectuur*, Wageningen Universiteit, 2003
- *Landschapsvisie rijksweg A73-Zuid*. Opvallend en toch ingepast, Rijkswaterstaat directie Limburg, 2000
- *De baten van de groene stad*- © 2005 Groenforum Nederland.
- *De groene stad*- Plant Publicity Holland- September 2006

Geconsulteerde websites

www.dienstlandelijkgebied.nl
www.routeontwerp.nl
www.itc.nl
www.bronnen.nl
www.probos.nl
www.populiereland.com

Geconsulteerde personen

Prof. Ir. Jan Brouwer, Rijksadviseur Infrastructuur, Atelier Rijksbouwmeester Den Haag (14 november 2006)
ing. Jan Willem de Jager, Afdeling Ruimtelijk Ontwerp, Dienst Landelijk Gebied Arnhem (25 oktober 2006)

6

Randvoorwaarden pilotproject Vegetatie-luchtkwaliteit

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een eerste aanzet gegeven voor de randvoorwaarden voor de eventuele aanbesteding van een pilotproject. Deze randvoorwaarden zijn door diverse partijen naar voren gebracht tijdens de ontwikkeling van het kennisdocument en kunnen, in combinatie met de resultaten in de hoofdstukken 3, 4 en 5, worden beschouwd als een groslijst waaruit kan worden geput voor de randvoorwaarden die zullen worden opgenomen in het uiteindelijke aanbestedingsdocument

De randvoorwaarden zijn gegroepeerd naar:

- Locatiekeuze
- Ontwerp proeflocatie
- Werkzaamheden

6.2 Locatiekeuze

Ten aanzien van de locatiekeuze zijn de volgende (mogelijke) randvoorwaarden naar voren gekomen:

- De locatiekeuze kan zowel gebaseerd worden op de grootste kans op goede metingen (grootste verschil bijdrage weg en achtergrondconcentratie), als op de wens om daadwerkelijk een bestaand probleem op te lossen (locatie waar de norm wordt overschreden).
- Kies voor een zo groot mogelijk verschil tussen bijdrage weg en achtergrondconcentratie. Het kunnen doen van goede metingen dient bepalend te zijn.
- Kies voor een locatie waar de normen worden overschreden om de bijdrage van vegetatie aan de oplossing van een werkelijk probleem te benadrukken.
- Voorkeursrichting van het wegvak Noordwest-Zuidoost of loodrecht op de preferentiële windrichting. Let op de wegoriëntatie (invloed van wind). De juiste windrichting ten opzichte van de groenstructuur is van belang.
- Vrije stromingsprofielen (geen obstakels aan lij- en loefzijde). Ongestoorde aan- en afstroom van het windveld zodat windprofiel logaritmische is, of voor en na de snelweg en de proeftuin minimaal 150 m vlak terrein. Kritisch punt waar rekening mee gehouden moet worden is open water. Een meer, plas of een breed kanaal beïnvloedt het windprofiel nauwelijks zodat een bovenwindse verstoring van het windprofiel ten gevolge van een hoog gebouw of hoge vegetatie niet wordt uitgedempt en het windprofiel boven de weg en de proeftuin waardeloos is.
- Voldoende verkeersintensiteit > 50.000 voertuigen per etmaal, zodat voldoende fijn stof veroorzaakt door het wegverkeer. Verkeerstellingen inclusief soorten voertuigen.
- Gedurende de proef mogen geen ingrijpende veranderingen in de omgeving van de proeftuin plaatsvinden (wegwerkzaamheden, omploegen van de akker, maaien van graan met combine, grondwerkzaamheden, etc).

- In de directe omgeving mogen zich geen industriële NOx en PM10 bronnen bevinden die de metingen kunnen verstoren.
- Voldoende ruimte voor het plaatsen van een goed voor onderzoekers bereikbaar proefveld (hoe zit het met de beveiliging als met "dure" meetapparatuur moet worden gewerkt).
- Mogelijkheid om ter plaatse de meteo vast te stellen met een meetzuil of een KNMI meetstation in de directe omgeving.
- Gedeelte rijksweg met en zonder een groenstructuur. Zorgen voor locatie waar in nabijheid vergelijkbare situatie zonder vegetatie is als referentie.
- Mogelijkheden om achter de groenstructuur metingen te verrichten. Het meetprogramma op de locatie dient te worden afgestemd met 'modellenclub'.
- RIVM en VROM dienen in de locatiekeuze te worden betrokken.
- Houd rekening met ecologische hotspots dat zijn de actueel natuurwetenschappelijk meest waardevolle gedeelten van de wegberm en ook de meest kansrijke situaties om ecologische waarden te realiseren. Het gaat dan vaak om korte (gras- en heideachtige) vegetaties¹².
- Er vigeren in diverse regio's voor de verschillende rijkswegen zogenaamde landschapsplannen. Het is van belang dat initiatieven in verband met vegetatie/beplanting voor luchtkwaliteit afgestemd worden op deze landschapsplannen en de uitgangspunten die daarbij gelden.

6.3 Ontwerp proeflocatie

Ten aanzien van het ontwerp van de proeflocatie (zoals groenstructuur en meetopstelling) zijn de volgende (mogelijke) randvoorwaarden naar voren gekomen:

- Voor het ontwerp moeten allereerst de (model) eisen aan de meetlocatie vast staan. Oftewel de optimale meetopzet dient te worden gedicteerd door de modelontwikkelaars. Aan het creëren van een optimale meetopzet dient veel aandacht besteed te worden met keuzes over opstelling, apparatuur, plaats van de metingen achter de vegetatiestrook, etc.
- Een goede meet/validatie locatie kan alleen volgens beredeneerde en onderbouwde uitgangspunten opgezet worden¹³. Het opzetten daarvan door niet-deskundige partijen leidt tot een halfwaardig product.
- Het bijwerken van een bestaande groenstructuur is niet aanvaardbaar, als dat betekent dat daarmee een niet-optimale situatie geaccepteerd zou moeten worden. Het is zaak om het nu direct op basis van berenbaar geoptimaliseerd ontwerp goed te doen.
- Eisen en randvoorwaarden voor de inrichting van een validatie meetlocatie zijn:

Aerodynamische eisen

1. Geen belangrijke obstakels of ruwheidsovergangen op minder dan 300 m bovenwinds van de meetpunten.
2. Ligging van de weg volgens de meeteisen in het landschap (gelijk niveau, verhoogd, verlaagd)
3. Bovenwinds geen obstakels dicht langs de weg tenzij deze zijn gewenst (groenstroken, geluidschermen)
4. Benedenwinds de gewenste ruwheid (in dit project vlak land, geen stedelijke bebouwing)

¹² Globaal overzicht van beschikbaar, resultaten definitief in 2007

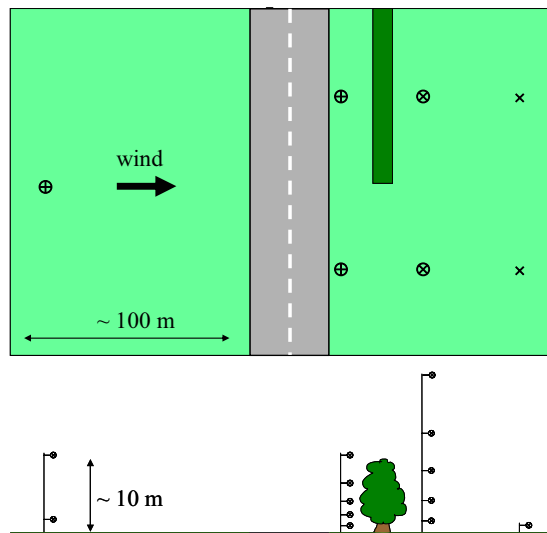
¹³ bijdrage Peter Hofschreuder, Koen de Ridder

Meteorologische eisen

1. Bij voorkeur gericht op een veel voorkomende windrichting (zuidwest), dus wegrichting NW-ZO
Dit is een praktisch punt omdat dit resulteert in meer geschikte metingen..
2. Rekening houden met het te bestuderen effect.
Het verdunningseffect is vooral effectief bij hogere lichtsnelheden, dus bij voorkeur in West Nederland. Hoge concentraties treden juist op bij lage windsnelheid, dus bij voorkeur in Zuid Oost Nederland .

Opstellingseisen

1. Ruimte tussen weg en groenstrook voor opstelling van meetmasten.
2. Ruimte achter groenstrook toegankelijk voor plaatsing masten.
3. Masten voldoende hoog om de hele "pluim" te kunnen bemeten en door toepassing van een massabalans een onderscheid te kunnen maken tussen het effect op de concentraties door verdunning en het effect van extra depositie op de concentraties.
4. Metingen over een langere periode overwegen (automatische meting) om voldoende toetsmateriaal te krijgen en een gunstiger verhouding tussen voorbereidingskosten en uitvoeringskosten per experiment te verkrijgen. Stroomvoorziening wordt dan een belangrijk punt. Semi-continue meetreeks van enkele maanden heeft misschien de voorkeur in plaats van een meetcampagne, aangezien die lastig te plannen is.
5. Toestemming van landeigenaren voor gebruik/betreden van hun grond.
6. Bij voorkeur bij een automatisch basis telpunt van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer.
7. Relatief lage achtergrondconcentratie is een voordeel.
8. Hoge verkeersdichtheid (emissie) >50.000 voertuigen per etmaal en voldoende vrachtverkeer.



Eisen aan de vegetatie

1. De porositeit en dichtheid van de groenstrook dient dicht bij optimaal te zijn.
2. De soortensamenstelling van de groenstrook dient dicht bij optimaal te zijn.
3. De opbouw van de groenstrook (breedte, hoogte, doorsnedeprofiel) dient in de buurt te komen, van wat als meest voorkomende doeltypen wordt verwacht.

6.4 Beschrijving van de gewenste werkzaamheden

Ten aanzien van de gewenste werkzaamheden zijn de volgende (mogelijke) randvoorwaarden naar voren gekomen:

- Het zou goed zijn om naast de metingen van PM_{10} en $PM_{2.5}$ ook metingen te hebben van de grootteverdeling van PM met betrekking tot de kleinere deeltjes, zoals $PM_{1.0}$ en submicron klassen. Dit is mogelijk erg moeilijk (en duur) is om te meten, maar het is essentieel gezien de enorme gevoeligheid van de invangcapaciteit van vegetatie met betrekking tot de grootte van de deeltjes. Deze metingen hoeven niet continue te gebeuren, een beperkte sample zou al veel interessante informatie geven. Wel belangrijk is waarschijnlijk om metingen van de deeltjesgrootte-verdeling op verschillende afstanden van de weg te doen, omdat het spectrum van de grootte van deeltjes afkomstig van verkeer varieert met afstand tot de bron (door o.a. coagulatie-effecten).
- Voor modelleerders is het van groot belang om een goed inzicht te krijgen in de meetfout. Het schatten van een instrumentele fout (bijvoorbeeld op basis van specificaties van de fabrikant van het toestel) is onvoldoende. Het beste zou zijn om een beperkt aantal metingen in tweevoud uit te voeren. Dat is ook relevant in de context van de 'verschilmeting' die uitgevoerd zal worden tussen concentraties op het wegsegment met en het segment zonder groenstrook: indien de meetfout groter is dan het verwachte effect is er een probleem.
- Als niet gelijktijdig wordt gemeten zijn de omstandigheden per definitie anders. Als je een onderscheid wil maken tussen meetfouten veroorzaakt door instrumenten en meetfouten veroorzaakt door andere (meteorologische) omstandigheden en eventueel zelfs andere meetlocaties, moet je een groot aantal experimenten doen om betrouwbare resultaten te verkrijgen. De moraal is, dat de grootste bijdrage aan de totale fout in de emissiebepaling mogelijk niet ligt bij de nauwkeurigheid van de meetinstrumenten, maar bij drie andere bronnen van variatie, namelijk seizoensinvloeden, variatie in de groenstructuur en management-invloeden (verschillen in aanpak). Daarom is het raadzaam te meten gedurende beperkte perioden, op meer plaatsen, en volgens vaste protocollen.
- Extra complicatie voor metingen langs een weg is, dat men niet alleen in de extra verdunning onder invloed van vegetatie is geïnteresseerd, maar ook de afvangst wil weten. Statistisch is uit te rekenen hoeveel experimenten je bij welke nauwkeurigheid van je meetapparatuur nodig hebt om betrouwbare uitspraken te doen.
- Als er een bomenrij aangeplant gaat worden bestaat er het risico dat deze niet onmiddellijk optimaal gaat functioneren met betrekking tot de absorptie van gassen (NO_2 , etc.) door de stomata. Om dat te verifiëren zou een meting van transpiratie nuttig zijn. Aangezien de situatie erg heterogeen is (bomenrij in verder vlak landschap) zijn klassieke technieken zoals de gradiënttechniek of de Bowen-ratio methode niet toepasbaar. Indien transpiratie op bladniveau gemeten zou worden, moet goed worden nagedacht hoe dat opgeschaald kan worden naar de volledige canopy, of eventueel naar grid cells van ENVI-Met.
- Houd er rekening mee dat een boom op een gegeven moment 'vol' is, ofwel, wat is de invloed van tijd op de opnamecapaciteit? Hierbij is echter ook opgemerkt dat een boom niet zo snel vol is, anders zouden er alleen maar zwarte bomen langs wegen staan. Als de vitaliteit van de boom achteruit gaat heeft dat meestal te maken met gebrekkige standplaatsfactoren.

7

Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Op basis van de marktbenadering en het resulterende kennisdocument kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Er is een grote hoeveelheid wetenschappelijke informatie voorhanden waarin de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit nader is onderzocht. Uit deze informatie komt naar voren dat:
 - Landschapselementen zoals windsingels en hagen de luchtkwaliteit rond wegen aantoonbaar kunnen verbeteren. Dit geldt zowel voor NO₂ als voor fijn stof. Deze verbeteringen treden op binnen het werkingsgebied van de beplantingsstructuur.
 - De afstand tot de bron van invloed is op de samenstelling van stoffen in de door de beplantingsstructuur beïnvloede lucht; deze is anders is dan direct uit de optelling van achtergrondsamenstelling en verkeerssamenstelling volgt.
 - De afmeting van het werkingsgebied gekoppeld is aan de afmetingen en kwaliteiten van de beplantingsstructuur.
 - Er voldoende onderzoeksgegevens bekend zijn om een uitspraak te doen over wat in welke omstandigheid een optimale beplantingsstructuur is.
2. De marktbenadering is een geschikte methode gebleken om te komen tot een kennisdocument waarin de kennis en expertise vanuit verschillende marktpartijen bijeen is gebracht. Het proces is ook door de betrokken partijen ervaren als een waardevolle exercitie. Door de gekozen benadering werden contacten gelegd die normaliter niet zo snel worden gelegd (zoals de bijeenkomsten van de modellengroep).
3. Om aan te tonen dat vegetatie invloed heeft op luchtkwaliteit en koppeling mogelijk te maken aan het Meet- en Rekenvoorschrift Bevoegdheden Luchtkwaliteit van oktober 2006, is het noodzakelijk om een model of module te ontwikkelen waarmee de invloed van vegetatie op de luchtkwaliteit (en dan met name fijn stof) voorspeld kan worden.
4. Ten aanzien van modellering is door de modellengroep geconcludeerd dat de volgende uitgangspunten wenselijk zijn:

Vorm:	Geen apart model maar een aan bestaande modellen koppelbare module.
Doel:	Berekening effecten vegetatie op luchtkwaliteit. Effecten zijn driedelig: luchtstromingsbeïnvloeding (verplaatsing met als gevolg versterkte of verminderde menging), afvang en depositie.
Uitkomst:	Terminologie passend bij regelgeving, dus jaargemiddelde concentraties en overschrijding van daggemiddelde waarden.
Complexiteit:	Standaardsituaties: Basismodule, eenvoudig hanteerbaar voor "iedereen". Complexe situaties: Geavanceerd model, alleen hanteerbaar door specialisten.

Parameters:	Ruimtelijke kenmerken: Afstand tot de weg, herhaling, ruwheidslengte Uiterlijke fysieke kenmerken: Hoogte, breedte, doorsnede-profiel Interne fysieke kenmerken: Loof-/naaldbomen, struiken, bermbegroeiing, porositeit, bladoppervlak Plantenkenmerken: Bladrughed, waslaag, opnamekarakteristieken Tijdskenmerken: Seizoensinvloeden
Voorbeeld-doorsnedes:	Deze kunnen worden gebruikt om snel grote effecten duidelijk te maken, maar zijn niet voldoende om de diversiteit van locaties te beschrijven.

Het model heeft als doel de effecten van vegetatie op luchtkwaliteit te berekenen. Deze effecten zijn drieledig: luchtstroming-beïnvloeding (verplaatsing met als gevolg versterkte of verminderde menging), afvang en depositie. De terminologie dient te passen bij regelgeving, dus jaargemiddelde concentraties en overschrijding van daggemiddelde waardes.

5. Het implementeren van een module in een bestaand model zal per aan te koppelen model extra arbeid vragen. Eigenaren van bestaande modellen zullen zelf moeten beslissen of ze een dergelijke module willen ontwikkelen en gebruiken.
6. Doordat groen in de relatie Vegetatie-luchtkwaliteit onderdeel kan worden van een juridisch krachtenveld, is het van groot belang om modellen op een goede manier te valideren, zodat ze ook in juridische zin als berekeningswijze geaccepteerd worden. Niet alleen een of meerdere groenmodules dienen te worden getoetst, ook het model dat gebruikt gaat worden als analysemodel (bijvoorbeeld Envi-Met), aansluitend op het screeningsmodel, dient dezelfde procedure te volgen.
7. Er dient aandacht te worden besteed aan de noodzaak van additionele metingen. Zo kan het goed zijn om naast de metingen van PM_{10} en $PM_{2.5}$ ook metingen te hebben van de grootteverdeling van PM met betrekking tot de kleinere deeltjes, zoals $PM_{1.0}$ en submicron klassen. Het meten daarvan is zinvol gezien de enorme gevoeligheid van de invangcapaciteit van vegetatie met betrekking tot de grootte van de deeltjes.
8. De ontwikkeling van een groenmodel/module voor wegsituaties zal een doorontwikkeling naar andere situaties (stedelijke omgeving, etc.) vereenvoudigen. Deze doorontwikkeling zal aan de afzonderlijke partijen overgelaten worden. De afweging of zij dit gezamenlijk op gaan pakken is aan henzelf.

7.2 Aanbevelingen

Op basis van de marktbenadering en het resulterende kennisdocument kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:

1. Op basis van de voorgaande conclusies wordt aanbevolen om het pilotproject uit te voeren: een 'go'-beslissing dus.
2. Ten aanzien van de wijze van aanbesteding wordt aanbevolen om gebruik te maken van een concurrentie gerichte dialoog, waarbij marktpartijen wordt gevraagd om in een bijeenkomst met de opdrachtgever commentaar op het aanbestedingsdocument te geven. Dit commentaar wordt verwerkt waarna de prijsaanbiedingen worden gedaan en geselecteerd kan worden

Bijlage I Statements modelontwikkelaars

De deelnemers van het modellenoverleg zijn uitgenodigd een eindstatement te geven naar aanleiding van de discussies. Een aantal heeft daar gebruik van gemaakt.

Statement ivm het opnemen van vegetatie in atmosferische modellen (Koen De Ridder, VITO)

- Er is momenteel onvoldoende gekend over de invloed van vegetatie op lokale luchtkwaliteit, met name over filterings-, absorptie-, en verdunningseffecten. Anderzijds zijn er aanwijzingen (vnl. uit metingen, zie Freer-Smith *et al.*, 2005) dat vegetatie een niet-verwaarloosbare invloed heeft op luchtkwaliteit. Vanuit dit perspectief lijkt het in alle geval de moeite om na te gaan hoe groot de effecten zijn, en welke groenstructuren een optimaal resultaat geven.
- De modellen die in de Delftse bijeenkomsten aan bod zijn gekomen zijn complementair:
 - screeningsmodellen zijn snel, en zijn op een relatief eenvoudige manier te implementeren;
 - een gedetailleerd model zoals ENVI-Met geeft meer inzicht in de processen, maar is veel moeilijker te hanteren;
 - het lijkt zinvol om, na validatie, ENVI-Met te gebruiken om parameterisaties te ontwikkelen voor de screeningsmodellen
 - screeningsmodellen kunnen ingezet worden voor een snelle evaluatie, ENVI-Met eerder voor complexe situaties of om aan 'groen-design' te doen.
- Goede metingen zijn extreem belangrijk, ten eerste om een beter inzicht te verwerven in relevante processen (adhv verschilmetingen), anderzijds om de modellen te kunnen valideren.

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

Statement Vegetatie Joost de Wolff, KEMA TOS/MEC

Startend met een understatement: Luchtkwaliteit rond verkeerswegen is een 'Hot Issue'. De voorspelde verkeerstoename en hoge achtergrondconcentraties in combinatie met de aangescherpte grenswaarden zullen meer knelpunten genereren. De behoefte aan maatregelen om deze knelpunten te verlichten is groot. Vanwege de snel optredende sterke verdunning van vervuilende componenten hebben bron-gerichte maatregelen de voorkeur. Vegetatie in de vorm van geoptimaliseerde groenstructuren langs verkeerswegen vormt een aantrekkelijke optie in die richting. Immers dergelijke vegetatie kent een soepele acceptatie bij het 'brede publiek' en een laag energie- en/of hulpstoffengebruik en zou daarom zelfs als 'duurzaam' of vriendelijk 'groen' bestempeld mogen worden.

Echter, voordat tot algemene implementatie kan worden overgegaan is het nodig om de blijvende luchtreinigende werking van groenstructuren onomstotelijk vast te stellen. In een goed opgezet experiment voorzien van voldoende uitgebreide instrumentatie kan de jaar-ronde werking van groen worden achterhaald. Belangrijk onderdeel van het experiment vormt ook het vaststellen van de werking onder een grote variatie van sub-optimale weerscondities .

Tenslotte, als resultaat van het uitvoeren van dit experiment wordt veel kennis gegenereerd die, ondersteund door de reeds uit de literatuur beschikbare inzichten, het mogelijk maakt om de effecten van groen op luchtkwaliteit op uiteenlopende detailnivo's in een modelbeschrijving te vatten. Hierbij heeft het uiteraard de voorkeur dat de verschillende modelleers deze taak in enige gezamenlijkheid uitvoeren, opdat de breedgedragen modelbeschrijving soepel in het Meet- & Rekenvoorschrift kan worden opgenomen.

Nawoord Ernie Weijers, ECN

Ik denk dat het nuttig is het effect van vegetatie op te nemen in de modellering mits voldoende aangetoond. ENVI-Met is een interessant model. Volgens mij wordt echter nu onderschat dat er nog veel tijd (en dus geld) nodig is om dit gridmodel vast te "knopen" aan gaussische pluimmodellering. M.i. is de eerste stap hier eerst flink te meten op plekken waarvan men zeker weet dat die die optimaal zijn en vanuit deze dataset komen tot een inschatting van de grootte van de effecten en vervolgens het ontwikkelen van eenvoudige parametrisaties. Daarna komt een model als ENVI-Met in beeld.

Slot-statement Peutz t.a.v. vegetatie en luchtkwaliteit

De laatste jaren is relatief veel onderzoek naar de invloed van groenelementen op de luchtkwaliteit nabij verkeerswegen uitgevoerd. Uit de onderzoeken blijkt dat groenelementen in principe geschikt kunnen zijn voor een verbetering van de luchtkwaliteit nabij verkeerswegen, doch dat vooralsnog onvoldoende concreet onderzoek is uitgevoerd. Het blijkt dat in veel onderzoeken concrete, vergelijkbare reductiepercentages ontbreken. Nauwkeurige rekenmodellen of computerprogramma's voor een betrouwbare modellering van groenelementen nabij wegen zijn (vooralsnog) niet voorhanden.

Afhankelijk van de structurele eigenschappen (hoogte, breedte, porositeit etc.) en de functionele eigenschappen (soort, bladoppervlak, bladopbouw etc.) van een groenelement kunnen de optredende immissieconcentraties NO₂, PM₁₀ en andere luchtverontreinigende componenten door de aanwezigheid van groenelementen significant worden verminderd. Zowel praktijkmetingen, als windtunnelonderzoek en theoretische rekenmodellen tonen aan dat, afhankelijk van de situatie, direct achter een groenelement significante reducties van de *verkeersgerelateerde* NO₂- en PM₁₀-immissies (enkele tientallen procenten) kunnen optreden ten opzichte van de situatie zonder groenelement (positieve werking groen). Het effect op de *totale* optredende immissieconcentraties is doorgaans echter slechts enkele procenten. In bepaalde ongunstige situaties kan door de invloed van een groenelement op de windsnelheid (lokaal sterk gereduceerde windsnelheid) echter ook een significante toename van de immissieconcentraties optreden (negatieve werking groen).

Resumerend kan worden gesteld dat nader onderzoek naar de invloed van een groenelement op de luchtkwaliteit nabij verkeerswegen mogelijkheden biedt om voor diverse knelpuntsituaties in Nederland te komen tot een verbetering van de luchtkwaliteit in de directe omgeving van de verkeerswegen. Hierbij kan een combinatie van windtunnelmetingen (naar de stroming over een groenelement en de menging van lucht rondom een groenelement), CFD-berekeningen en praktijkmetingen goed inzicht geven in de werkelijke invloed van beplanting op de luchtkwaliteit nabij verkeerswegen. Interessant kan in dit kader zijn de effecten van een gelaagde opbouw met zowel (lage) struiken als (hoge, winterkale) loofbomen en coniferen (groenblijvend) zowel in de windtunnel als in de praktijk te onderzoeken. Op basis van een dergelijk onderzoek kan dan zowel de mate van afscherpende werking, als de mate van doorlatendheid als de mate van depositie/filtering in het overdrachtsgebied worden bepaald. Aan de hand van deze berekeningen / metingen kan vervolgens een geschikte groenmodule opgesteld en gevalideerd worden.

Tijdens de discussierondes komt altijd een keer de vraag over de keuze van deelnemende partijen en de compleetheid van de beschouwde modellen.

Elk land hanteert zijn eigen modellen. Een ander in Duitsland gevalideerd model dat vegetatie als variabele kent is bijvoorbeeld WinMISKAM.

Besloten is om de discussie toe te spitsen op de modellen welke onder het Nederlandse Meet- en Rekenvoorschrift werken met een enkel zeer uitgebreid model als vergelijking en niet het risico te nemen te verzanden in een vergelijking tussen allerlei andere al dan niet vergelijkbare modellen.

Cauberg-Huygen bv gebruikt bijv. WinMISKAM.
dhr. F. Vanweert schreef in een korte profielschets o.a.:

Effecten van groen

WinMISKAM biedt de mogelijkheid om de invloed van groen op de windprofielen te bepalen. Bomen en struiken worden, volgens hun werkelijke vormen, in heel driedimensionaal model opgenomen. Bij het bepalen van de windprofielen wordt er van uitgegaan dat een gedeelte van de wind door het groen stroomt en een deel door het groen wordt 'afgebogen'. Bij compacte bomen stroomt minder wind door het groen dan bij een boomsoort met een open bladstructuur. Bij WinMISKAM kan dit onderscheid in de berekeningen worden betrokken door de zogenaamde bladerendichtheid (in m^2/m^3).

Wij zijn in staat om deze effecten inzichtelijk te maken in fictieve en in praktijksituaties. Deze effecten worden dan vervolgens vertaald naar de invloed op de jaargemiddelde concentraties luchtverontreinigende stoffen.

Op dit moment biedt WinMISKAM niet de mogelijkheid om het effect van 'absorptie' van fijn stof, NOx e.d. door het groen in de berekeningen te betrekken. Wij kunnen onze goede contacten met de leverancier van het model, indien mogelijk, wel gebruiken om deze mogelijkheid aan het model toe te voegen.

De benadering van WinMISKAM is globaler van aard dan de berekeningsmethodiek van ENVI-met. Daar staat tegenover dat voor de vertaling van het effect van groen op de jaargemiddelde concentratie gebruik kan worden gemaakt van een vaak toegepaste methodiek.

Bijlage II Octrooi ES-Consulting

Als we het hebben over het inzetten van beplantingsstructuren ten behoeve van verbetering van luchtkwaliteit dient vermeld te worden dat er op dit gebied een octrooi gevestigd is. Dit octrooi, Energiezuinige inrichting van terreinen, octrooinummer 1018866, ingediend op 31.08.2001 en ingeschreven op 03.03.2003, staat op naam van ES Consulting te Babberich. Het octrooi, waarvan de beschrijving opgesteld is door octrooigemachtigde De Verenigde te Den Haag, beschrijft de toepassing van een samenhangend stelsel van beslissingen om te komen tot een (wind)klimaatgerichte inrichting van terreinen. Als doel wordt in eerste instantie energiebesparing genoemd als effect, maar ook geluidsbeheersing is vermeld. Er is een wereldwijd nieuwheidsonderzoek verricht, dat positief uitviel, zodat dit Nederlandse octrooi geldig is tot 2021. Een onafhankelijk octroobureau, niet de schrijver van de oorspronkelijke octrooitekst, heeft in 2005 bevestigd, dat dit octrooi ook geldt voor de inrichting van terreinen met lineaire groenstructuren met als doel luchtkwaliteitsverbetering, aangezien die toepassing per definitie van dezelfde systematiek uitgaat. Bovendien heeft ES Consulting in deze periode getracht met een aangepaste beschrijving een apart octrooi te vestigen voor de inrichting van terreinen voor luchtkwaliteitsverbetering. Deze aanvraag is door het Octroobureau afgewezen met als argument het reeds bestaande bovengenoemde octrooi.

Uiteraard kan dit niet verhinderen dat mensen lineaire groenstructuren aanleggen. Dit is al duizenden jaren gebeurd en is niet af te schermen. Het gebruik van een systematiek waarvan een aantal wetmatigheden omschreven zijn is dat echter wel. Zonder deze wetmatigheden in acht te nemen is geen kwalitatief voor dit doel optimale beplantingsstructuur te maken en te berekenen.

Wordt niet volgens een systematiek gewerkt, dan is er ook geen mogelijkheid om waarden te berekenen en te vergelijken om op die manier een optimalisatie te verantwoorden. De genoemde systematiek, welke inmiddels de Integraal Technisch Groen ontwerpssystematiek genoemd wordt, is blijkens het Internationaal Nieuwheidsonderzoek de eerste vastgelegde systematiek op dit gebied ter wereld.