



STADSREGIO
ARNHEM NIJMEGEN

S

R

L

G

S

A

H

R

R

U

T

Y

O

U

A

E

E

D

R

A

F

O

R

A

S

Meten en modelleren aan Groene oplossingen voor
de stadsregionale luchtkwaliteit langs rijkswegen



Inschrijving prijsvraag IPL 'meten is weten' aanbesteding Vegetatie
voor een betere luchtkwaliteit.

Perceel 2 – A50 Stadsregio Arnhem Nijmegen

DWW-2994

FLORA

**Metten en modelleren aan Groene oplossingen voor
de stadsregionale luchtkwaliteit langs rijkswegen**

2 oktober 2007

Samenvatting

Het kader

Met EUREKA zet de Stadsregio Arnhem Nijmegen in op vijf programma's die de luchtkwaliteit moeten verbeteren. EUREKA onderzoekt ook de aanpassingen aan de effecten van de klimaatverandering, en de mogelijke verzachtingen van deze effecten. Hiervoor bestaat een duidelijke sense of urgency in de stadsregio: de regio staat voor een grote aanpassing in het hoofdwegennet én er doen zich enkele hardnekkige knelpunten langs het wegennet voor. Flora is een van de programma's van EUREKA. Een belangrijk doel van Flora is het identificeren van de best renderende, maakbare en haalbare groene oplossingen, die ook "EU-proof" zijn.

De prijsvraag van het IPL sluit nauw aan bij Flora, met name waar Flora innovatieve ideeën voor vegetatieschermen ontwikkelt en uitvoert, en het rendement daarvan meet.

Het consortium

Dit voorstel wordt aangeboden door een consortium van vijf partijen: de Stadsregio Arnhem Nijmegen, Alterra, WUR ASG en MAQ, KEMA en Integralis PP. Het consortium wordt geleid door de stadsregio. Bij dit voorstel zijn daarnaast verschillende partijen betrokken zoals de Van Helvoirt groep, BAM Wegen & Groen, Rijkswaterstaat Oost Nederland, Wegendistrict Arnhem-Nijmegen, VITO Integrale Meetstudies en de gemeente Overbetuwe.

Het doel

Doel van dit voorstel is drieledig:

1. Bepalen hoe groot het effect van vegetatiestroken langs (rijks)wegen is op de concentraties van fijn stof, NO₂ en inerte stoffen.
2. Bepalen hoe groot de relatieve bijdrage is van extra verdunning en de verwijdering door de vegetatie.
3. Het verzamelen van data voor en valideren van twee rekenmodellen: een CFD-model voor een verfijnde detailbeschrijving van wat er gebeurt bij de vegetatiestrook en een operationeel model dat het effect op jaargemiddelde concentraties conform het Meet- en Rekenvoorschrift bepaalt.

Het voorstel

Het idee is een vaste meetopstelling: met én zonder groen en met twee soorten vegetatie (naald- en loofhout). De meetgegevens worden onder steeds vergelijkbare omstandigheden verzameld. Met een modelbewerking van de meetgegevens worden ook geoptimaliseerde situaties ten aanzien van de werking van groen doorgerekend. Daarin wordt, door middel van een beplantingsfilm, ook de dynamische ontwikkeling van groen in de tijd ingebracht, waarmee de effectiviteit van groen in de toekomst ingeschat kan worden.

Gekozen is voor een inschrijving op perceel 2, gelegen binnen de grenzen van de stadsregio. In dit perceel kan de groenstrook naar believen gevarieerd worden. De groenstrook zal bestaan uit vegetatie in containers. Hierdoor zijn de planten actief in de groei en kunnen ze direct fijn stof opnemen. De ideale locatie heeft de volgende kenmerken: ze moet zoveel mogelijk een vrije aanstroming van lucht hebben, voldoende verkeersaanbod hebben om duidelijk boven de lokale achtergrondconcentratie uit te komen, vlak in het terrein liggen, zoveel mogelijk vrij zijn van andere storende invloeden zoals bijvoorbeeld de nabijheid van gebouwen en andere emissies en de locatie moet de mogelijkheid bieden een meetopstelling veilig te plaatsen. Het deel van de A50 in de stadsregio, ten noorden van het viaduct over de spoorlijn Arnhem – Tiel en ten zuiden van parkeerterrein Meilanden, voldoet aan deze voorwaarden.

Het consortium verwacht de metingen in de voorgeschreven periode in 2008 te kunnen uitvoeren conform de geformuleerde randvoorwaarden. De metingen worden continu uitgevoerd. De meteorologie, de concentraties in de lucht en de verkeersintensiteiten worden als uurgemiddelden gemeten om modeltoetsing en extrapolatie naar jaargemiddelden mogelijk te maken. De metingen worden uitgevoerd voor de componenten PM₁₀, PM_{2,5}, CO₂, NO/NO₂ en O₃.

In de ontwikkelingsfase worden de uitvoerders en beheerders van het project – de aannemers van grondwerk en groenaanplant, de hoveniers, de grondeigenaren, de gemeente en de wegbeheerder – nauw betrokken bij de definitieve inrichtingsplannen. In de ontwikkelingsfase zal in nauw overleg met het Wegendistrict Arnhem-Nijmegen, de gemeente en de politie ook aandacht worden besteed aan de (verkeers)veiligheid.

De modellering krijgt op twee niveaus vorm: 1) het detailniveau, waarop door VITO met het CFD-model Envimet zeer gedetailleerd kan worden gerekend en 2) het meer praktische operationele niveau, dat aansluit op de modellering in het Nieuw Nationaal Model.

De totale kosten voor dit voorstel worden geraamd op € 500.000,--. Het consortium zorgt voor de financiering van de extra kosten boven de door het IPL voor de prijsvraag beschikbaar gestelde bedrag van € 280.000,--.

Resultaten voor het IPL

Voor het IPL leveren de resultaten van dit voorstel het volgende op:

- antwoord op de vraag welke verbetering van de luchtkwaliteit een groenstrook langs een snelweg kan opleveren.
- antwoord op de vraag welke soort vegetatie en welke inrichting dan een optimaal resultaat geven.
- een goede dataset waarmee het effect van vegetatie onomstotelijk wordt aangetoond.
- een of meer rekentools waarmee het effect van vegetatiestroken op andere locaties kan worden berekend.

Inhoud

1	Introductie	11
2	Het consortium	13
3	Het idee en de locatiekeuze	14
	State of the art	14
	Idee voor de locatie	16
	Idee voor de Groenstructuur	17
4	Metingen	18
	Metingen aan de vegetatie	18
	Meetstrategie	19
	Meetomgeving	20
	Gassen en stofdeeltjes	21
	Meteorologische metingen	21
	Interpretatie van de metingen	22
5	Realisatiefase	24
	Bouwrijp maken	24
	Aanvoer van bomen en struiken	24
	Veiligheid	24
	Communicatie en rapportage	25
6	Model- en validatiefase	26
	CFD-modellering	26
	Vegetatiemodule	26
7	Begroting en planning	29
	Begroting	29
	Planning	29
8	Risicobeheersing	30
	Geraadpleegde literatuur	31

1 Introductie

Met EUREKA zet de Stadsregio Arnhem Nijmegen in op vijf concrete en ambitieuze programma's die de luchtkwaliteit moeten verbeteren en die bijdragen aan het tegengaan van de klimaatverandering. Het zijn programma's die uitgaan van kansen. EUREKA bestaat uit vijf samenhangende, regionale en direct uitvoerbare programma's: Hydra, Terra, Flora, Eolus en Argus.

Met Hydra werkt de stadsregio aan de overgang naar schonere en duurzame brandstoffen, zoals waterstof, via tussenstappen van rijden op aardgas en biogas. Met Terra werkt de stadsregio aan transportefficiëntie in de stadsregio. Geïnspireerd door het onderzoek "Groen voor Lucht (Alterra en Ministerie van LNV, 2007) zet de stadsregio met Flora in op groene maatregelen langs wegen. Met Eolus richt de stadsregio zich op de bedrijven om de lokale uitstoot verder te verlagen. En Argus staat voor luchtkwaliteitsbeheer op grond van waarnemingen en berekeningen.

De Stadsregio Arnhem Nijmegen is op dit moment koploper in Nederland bij de (brede) invoering van het dynamisch verkeersmanagement. Dit gebeurt in het project Beter Bereikbaar KAN (BBKAN), een project dat de stadsregio samen met Rijkswaterstaat Oost Nederland, de provincie Gelderland en twintig gemeenten uitvoert.

Flora is ook een voorbeeld dat het koploperschap van de stadsregio illustreert. Flora staat voor een brede toepassing van groene maatregelen langs wegen. Groene maatregelen leveren een serieuze en betekenisvolle bijdrage aan de luchtkwaliteit en de aanpak van het klimaatvraagstuk, én ze maken de woonomgeving aantrekkelijker, verhogen het leefklimaat en versterken het landschap. Uit het onderzoek "Groen voor Lucht" – uitgevoerd onder andere in de stadsregio - is gebleken dat daarvoor verschillende mogelijkheden op verschillende schaalniveaus voorhanden zijn. Het identificeren van de best renderende, maakbare en haalbare oplossingen, die ook "EU-proof" zijn, is een belangrijk doel van Flora.

Het resultaat van Flora is een gereedschapskist met uitgewerkte en direct toepasbare maatregelen. Daarnaast wordt binnen Flora een keuzekaart opgesteld waarmee partijen snel en makkelijk kunnen vaststellen of en hoe maatregelen een multiplier-effect hebben.

Het gaat in Flora ook om een andere kijk op de sturingsstijl en procesaanpak. De overheid, dus ook de stadsregio, staat niet langer boven maar tussen alle partijen. Private partijen, maatschappelijke organisaties, ondernemers en burgers kunnen zelf ook vorm en inhoud geven aan Eureka, en daarmee aan Flora. Dit voorstel is daarvan een goed voorbeeld: het is opgesteld door een consortium van partijen.

De prijsvraag van het Innovatie Programma Luchtkwaliteit (IPL) sluit nauw aan bij Flora, met name waar Flora innovatieve ideeën voor vegetatieschermen ontwikkelt en uitvoert, en het rendement daarvan meet. Stel het netto-effect van verschillende beplantingen vast en valideer een nieuw te ontwerpen modelinvoer. Dat zijn de belangrijkste opdrachten die het IPL stelt. Het IPL heeft met de betrokken experts een kennisdocument samengesteld (IPL; 2007) dat de randvoorwaarden stelt waarbinnen experimenten moeten plaatsvinden om de resultaten ook elders toepasbaar te maken. Om een zo zuiver mogelijke inschatting te kunnen maken van de opbrengst van groene schermen voor een betere luchtkwaliteit zijn de locatie, de methode en de meetopstelling van het grootste belang. Bovendien wordt gevraagd om een breed samengesteld en competent consortium.

De ideefase van dit voorstel beschrijft en beargumenteert achtereenvolgens de contouren van het consortium (hoofdstuk 2), het idee en de locatiekeuze (hoofdstuk 3), de meetmethode, meetstrategie en meetopstelling (hoofdstuk 4). Het voorstel kijkt vervolgens vooruit naar de realisatiefase (hoofdstuk 5) en de meet- en validatiefase (hoofdstuk 6), met name naar logistieke en budgettaire aspecten. In hoofdstuk 7 is de globale begroting te vinden en in hoofdstuk 8 een beschrijving van de beheersing van de risico's.

2 Het consortium

Voor dit voorstel is een consortium samengesteld. Dit consortium wordt geleid door de Stadsregio Arnhem Nijmegen. In de ideefase bestaat het consortium uit de volgende partners (tussen haakjes staan de betreffende contactpersonen):

- Stadsregio Arnhem Nijmegen (Zweers en Roskamp) voor het project- en procesmanagement; de stadsregio regelt de proeflocatie en faciliteert zowel de ontwikkeling als de realisatie van het meettraject.
- Alterra (Kuypers, De Vries en Evers) voor de ruimtelijke expertise; Alterra voert voor het Ministerie van LNV en verschillende gemeentes onderzoek uit naar de relatie tussen groen en luchtkwaliteit, gebundeld in de publicatie "Groen voor Lucht".
- WUR (Hofschreuder en Van Hove) voor de expertise op het gebied van de luchtkwaliteit; WU-Animal Science Group, en WU Meteorologie en Luchtkwaliteit voeren in het hele land grootschalige meetprojecten uit voor het in kaart brengen van emissies en de patronen van luchtverplaatsing, veelal in opdracht van het Ministerie van LNV en de agrarische sector.
- KEMA (De Wolff en Erbrink) voor de modeexpertise; KEMA is onder meer ontwikkelaar van modellen voor de luchtkwaliteit. KEMA voert voor verschillende overheden opdrachten uit voor de bepaling en modellering van luchtkwaliteit.
- Integralis PP (Ruyten en Van Dijk) voor de beplantingsexpertise; Integralis PP staat voor een geavanceerde ontwerpmethodiek om de groei van beplantingen in de tijd te voorspellen, gekoppeld aan plaats specifieke standplaatsfactoren, op basis waarvan een "beplantingsfilm" wordt geproduceerd. Integralis PP gaat twee proefopstellingen in Limburg realiseren naar aanleiding van een presentatie op de Einstein-dag van Rijkswaterstaat.

Vorbereidende gesprekken voor de uitvoering van de realisatiefase zijn gevoerd met Peter van der Haar (namens de Van Helvoirt-groep), die in de ontwikkelingsfase tot het consortium toetreedt en met BAM Wegen & Groen, die mogelijk betrokken wordt bij de realisatiefase. Voor de meet- en validatiefase is oriënterend overleg gevoerd met VITO en Caubergh Huygen, over de mogelijkheden om de meetresultaten in een CFD-model te verwerken. Met VITO Integrale Milieumetingen is daarvoor haar inbreng in dit meetprogramma besproken. Tevens is overleg gevoerd met Rijkswaterstaat Oost Nederland, Wegendistrict Arnhem-Nijmegen en de gemeente Overbetuwe voor het gebruik van de proeflocatie.

De brede samenstelling van het consortium en van de groep stakeholders zorgt ervoor dat de te ontwikkelen toolbox breed en op vele manieren toepasbaar is.

3 Het idee en de locatiekeuze

State-of-the-art

Uit een aantal praktijkmetingen (Nasrullah et al, 1994, Schweikle, 1999, Thönnessen, 2005, Bouvet et al, 2007) en enkele theoretische studies (Tonnejck en Blom-Zandstra, 2002, Wesseling et al, 2004) blijkt dat groen een belangrijke verbetering van de luchtkwaliteit kan bewerkstelligen. Uit de theoretische studies (Hofschreuder et al, 2005) blijkt dat het zin heeft om naar optimalisatie van groene schermen te kijken. Modelberekeningen met procesmodellen (Envimet) zijn nog onvoldoende toegerust om het effect van groen te schatten. Meer operationele modellen zijn nog niet ontwikkeld; ze zijn echter wel noodzakelijk in het licht van het "Meet- en Rekenvoorschrift Luchtkwaliteit". De wetenschappelijke kennis over de invloed van groene schermen op de luchtkwaliteit is samengevat in het Kennisdocument Vegetatie-luchtkwaliteit ten behoeve van het uitvoeren van een pilotproject langs rijkswegen (IPL, 2007).

Het idee van het consortium voorziet in de keuze van twee sterk verschillende vegetaties langs de A50, een van de drukste rijkswegen in de Stadsregio Arnhem Nijmegen.

Er is een duidelijke sense of urgency in de stadsregio. Enerzijds omdat de regio staat voor een grote aanpassing in het hoofdwegennet.

- De A50 tussen de knooppunten Ewijk en Grijsoord wordt over de hele lengte verbreed. Dat betreft ook een nieuwe brug over de Waal bij Ewijk.
- Het knooppunt Valburg wordt verbeterd, zodat de A50 beter aansluit op de A15. In 2011 is dit project naar verwachting gerealiseerd.
- In Nijmegen wordt in 2011 de nieuwe (tweede) stadsbrug over de Waal geopend.
- De A12 van Utrecht tot en met de Duitse grens wordt verbeterd. Ook hier is behoefte aan meer capaciteit (verbreding). Dat gebeurt in fasen.
- In 2015 zal de doortrekking van de A15 een feit zijn. Er is dan een rechtstreekse verbinding van het huidige einde van de A15 (op de A325) en de A12 (tussen Duiven en Zevenaar).

Anderzijds bestaat de sense of urgency omdat er zich in de stadsregio enkele hardnekkige knelpunten langs het wegennet voordoen, zowel ten aanzien van fijn stof als stikstofoxiden.

Doel van dit voorstel is driedig:

1. Bepalen hoe groot het effect van vegetatiestroken langs (rijks)wegen is op de concentraties van fijn stof, NO₂ en inerte stoffen.
2. Bepalen hoe groot de relatieve bijdrage is van extra verdunning en de verwijdering door de vegetatie.
3. Het verzamelen van data voor en valideren van twee rekenmodellen: een CFD-model voor een verfijnde detailbeschrijving van wat er gebeurt bij de

vegetatiestrook en een operationeel model dat het effect op jaargemiddelde concentraties conform het Meet- en Rekenvoorschrift bepaalt.

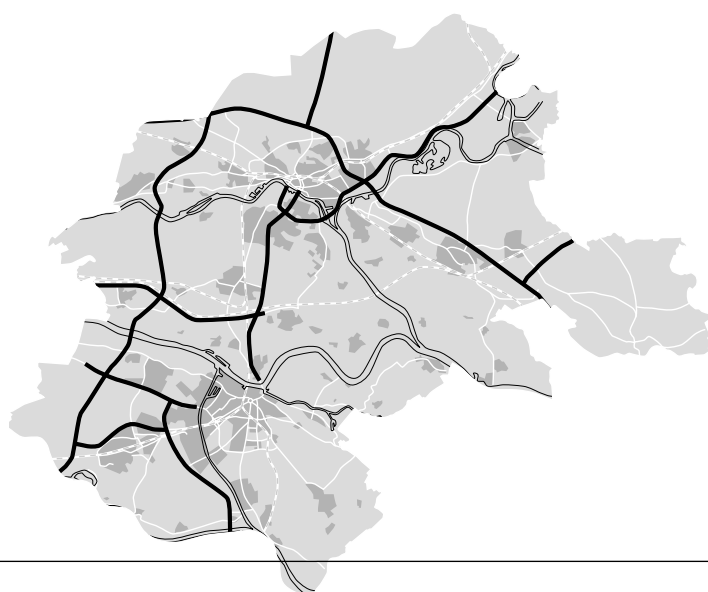
Centraal in het voorstel is dat van een vaste meetopstelling wordt uitgegaan: met én zonder groen en met twee vormen van vegetatie (naald- en loofhout). De meetgegevens kunnen op deze wijze gedurende de proef continu verzameld worden, onder steeds vergelijkbare omstandigheden, aan verschillende groene elementen, en ze kunnen vergeleken worden met een situatie zonder groen. Met de modelbewerking kunnen op deze manier ook geoptimaliseerde situaties doorgerekend worden ten aanzien van de werking van groen, zowel wat de vorm als de perceptie van het groen betreft.

De samenwerking met Integralis PP maakt dat ook kennis over de dynamische ontwikkeling van groene schermen in de tijd wordt ingebracht. Hierdoor kan ook de ontwikkeling van de effectiviteit voor de verbetering van de luchtkwaliteit in de toekomst worden ingeschat.

Vervolgens besteedt het voorstel aandacht aan de meetopzet. De modellering krijgt op twee niveaus aandacht: 1) het detailniveau, waarop door VITO met het CFD-model Envimet zeer gedetailleerd kan worden gerekend en 2) het meer praktische operationele niveau dat aansluit op de modellering in het Nieuw Nationaal Model.

Voor het IPL leveren de resultaten van dit voorstel het volgende op:

- antwoord op de vraag welke verbetering van de luchtkwaliteit een groenstrook langs een snelweg kan opleveren
- antwoord op de vraag welke soort vegetatie en welke inrichting dan een optimaal resultaat geven
- een goede dataset waarmee het effect van vegetatie onomstotelijk wordt aangetoond
- een of meer rekentools waarmee het effect van vegetatiestroken op andere locaties kan worden berekend.



Idee voor de locatie

De prijsvraag biedt naast perceel 1 (A50 bij Vaassen) een tweede perceel als meetlocatie aan dat door het consortium zelf dient te worden ingericht.

De ligging van dit perceel in de Stadsregio Arnhem Nijmegen betekent de facto dat het consortium kiest voor realisatie op perceel 2, mede omdat dit perceel de mogelijkheid biedt de groenstrook naar eigen inzicht te variëren. Overigens hoopt het consortium op een goede kennisuitwisseling met de verantwoordelijken voor perceel 1. Op perceel 2 zal afwisselend worden gemeten aan twee extreme vormen van vegetatie (naald- en loofhout). Zo worden de meest zuivere gegevens over verschillen als gevolg van variatie in vegetatie verkregen. Dit zal de interpretatie van modelresultaten vergemakkelijken en de mogelijkheid bieden om mengvormen van vegetaties door te rekenen.

RWS-DWW komt de betrokkenen tegemoet in de kosten van inrichting van meetlocatie 2 door extra budget beschikbaar te stellen in vergelijking met het budget voor de metingen aan meetlocatie 1. In de ontwikkelfase wordt geprobeerd de sector groenvoorziening voor aanvullende metingen (en bijbehorend budget) te interesseren.

Naast financiële en logistieke argumenten bij de locatiekeuze gelden ook technische argumenten. De locatie moet bij voorkeur een vrije aanstroming van lucht hebben, vlak in het terrein liggen, voldoende verkeersaanbod hebben om duidelijk boven de lokale achtergrondconcentratie uit te komen, zoveel mogelijk vrij zijn van andere storende invloeden zoals bijvoorbeeld de nabijheid van gebouwen en andere emissies, en de locatie moet de mogelijkheid bieden een meetopstelling veilig te plaatsen.

De A50 ten noorden van het viaduct over de spoorlijn Arnhem–Tiel en ten zuiden van parkeerterrein Meilanden voldoet aan deze eisen. Gedurende de metingen zijn langs dit wegvak geen (weg)werkzaamheden gepland. Tevens zal de opzet en het gebruik van de locatie in nauw overleg met Rijkswaterstaat Oost Nederland en het Wegendistrict Arnhem-Nijmegen worden uitgewerkt. De stadsregio heeft, onder meer in het kader van BBKAN!, intensief contact met Rijkswaterstaat en het Wegendistrict.

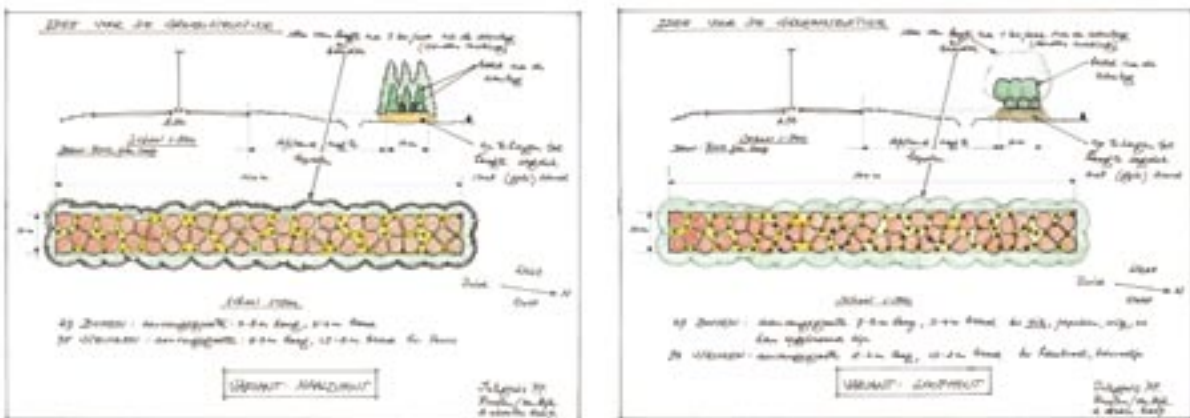


Idee voor de Groenstructuur

Net als op meetlocatie 1 zal op meetlocatie 2 worden gewerkt met een wegvak zonder groenstrook en een wegvak met een groenstrook, zodat gegevens over de situatie met en zonder groenstrook onder dezelfde omstandigheden vergeleken kunnen worden.

De groenstrook zal bestaan uit vegetatie die in containers wordt geplaatst (zonodig ingegraven). Omdat bekend is dat naaldhout en loofhout verschillen vertonen in het afvangen van NO_2 en fijn stof en omdat loofhout in de winter veel minder effect heeft dan naaldhout of wintergroen, zal met beide typen vegetatie worden gewerkt. Het werken met containers zorgt ervoor dat de in deze containers opgekweekte bomen en struiken een representatieve blad-naaldstructuur en massa hebben. Belangrijker nog is dat de planten actief in de groei zijn, zodat ze direct NO_2 en fijn stof kunnen afvangen. Een computergestuurd waterdruppelsysteem zorgt ervoor dat elke plant op elk gewenst moment onder alle omstandigheden over voldoende water kan beschikken. Door deze goede vochtvoorziening zijn uitgebreide metingen van het bodemvochtgehalte in verband met vochtstress overbodig. Vochtstress is eventueel eenvoudig te realiseren door de watervoorziening (tijdelijk) af te sluiten en de bodem van de containers af te dekken.

Integralis PP bepaalt de keuze van de soorten, de aanvangsgrootte en de plantafstand, volgens de integrale beplantingsmethode (Ruyten, 2006) op basis van kennis over soorten in relatie tot standplaats en ontwikkeling in de tijd. Hypotheses bij het onderzoek zijn dat de stromingseffecten (extra verdunning) door de vegetatie afhangen van de fysische eigenschappen van de vegetatie en dat de opname lineair afhankelijk is van de hoeveelheid bladmateriaal waarlangs de lucht wordt gevoerd. Het effect van mengvormen van de vegetatie, uit esthetisch oogpunt, de mate van werkzaamheid en de onderhoudsbehoefte in de praktijk, worden doorgerekend op basis van gegevens over de zuivere modellen (naaldhout en loofhout). Deze gegevens bieden tevens de mogelijkheid om het ontwerp ook op de werking te optimaliseren.



4 Metingen

Het consortium verwacht de metingen in de voorgeschreven periode in 2008 op de locatie langs de A50 te kunnen uitvoeren conform de geformuleerde randvoorwaarden. De meest betrokken stakeholders (de gemeente Overbetuwe, Rijkswaterstaat Oost Nederland en het Wegendistrict Arnhem-Nijmegen zijn daarover geïnformeerd en zij zijn gevraagd de werkzaamheden te faciliteren. Deze betrokkenen staan positief tegenover de meetproeven en de stadsregio zal hen in de ontwikkelingsfase intensief betrekken.

Metingen aan de vegetatie

De vorm en samenstelling van de vegetatie moeten goed gekarakteriseerd worden om kwantitatieve gegevens aan de experimenten te kunnen ontleen en om extrapolatie naar andere vegetaties mogelijk te maken.

Het naaldhout en het loofhout zullen beide als een aansluitende strook van 100 meter lengte en 10 meter breedte worden aangebracht. Na vijf weken wordt de meetopstelling voor en achter de groenstroken telkens gewisseld: van naaldhout naar loofhout en terug. Daarnaast wordt elke drie weken overgeschakeld van PM10-voorafschers op PM2,5-voorafschers. Dit is nodig om zowel gegevens voor PM10 als gegevens voor PM2,5 te verkrijgen. Gelijktijdige meting van PM10 en PM2,5 is met de beschikbare hoeveelheid apparatuur niet mogelijk.

Zeer belangrijk zijn de schatting van de porositeit en het verloop van de Leaf Area Index ($LAI = m^2$ bladoppervlak per meter grondoppervlak) met de hoogte. Gebruikelijke methoden voor schatting van de porositeit zijn afgeleid voor bossen met een eenduidige rand en verder een gelaagde kroon boven de stamruimte. Er wordt meestal gewerkt met optische metingen van doorvallend licht en een rekenalgoritme om daaruit de LAI of LAD (= LAI per stap in de hoogte) te bepalen. Dit geldt echter niet voor een groenstrook, die aan alle zijden behalve de noordzijde door de zon kan worden aangestraald. Het gebruik van containerplanten biedt echter de mogelijkheid tot een nauwkeuriger bepaling van porositeit en LAI.

Een aantal van dezelfde heesters/bomen als die welke in de groenstrook staan, wordt opgeknipt in takken en blad/naalden, verdeeld naar verschillende hoogteniveaus. Uit elke selectie wordt een aantal takken en bladeren/naalden op oppervlak en volume geanalyseerd en gewogen. De verhouding van de totaalgewichten van bladeren, naalden en takken met het oppervlakte en het volume per kilogram geeft belangrijke kenmerken als LAD, en volume per m^3 . De op die manier bepaalde porositeit kan worden afgezet tegen de doorstroming. Dit gebeurt door metingen van de luchtstromen binnen de vegetatie uit te voeren met anemometers.

In het consortium is ervaring aanwezig met meting van transpiratie en fotosynthese. Deze metingen worden uit kostenoverwegingen niet voorzien, maar kunnen zonodig aanvullend worden uitgevoerd.

Meetstrategie

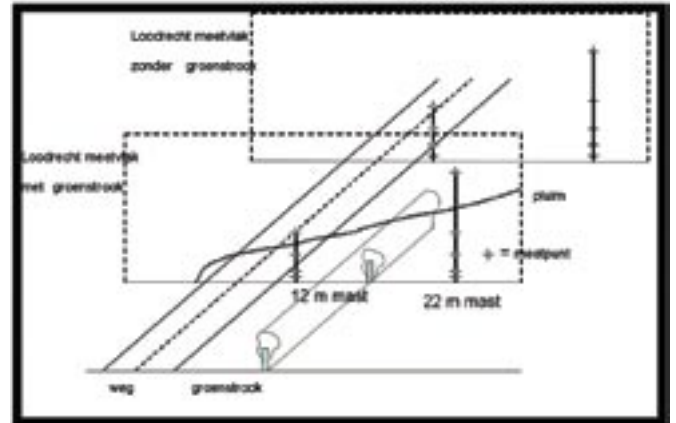
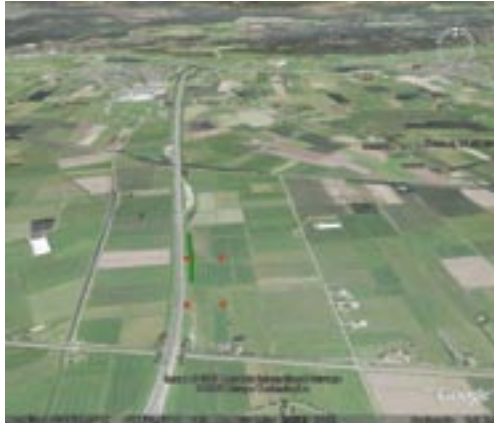
De metingen aan de concentraties fijn stof en NO₂ zullen plaatsvinden op vier masten benedenwinds van de weg (aan de oostzijde): twee masten op het traject zonder groenstrook en twee masten op het traject met groenstrook. Op de vier masten (twee dicht langs de weg, voor de groenstrook en zonder groenstrook en twee masten op 50 meter achter de groenstrook) wordt op vijf hoogten continu gasvormige verontreiniging gemeten om een profiel van concentraties te verkrijgen. Uit kostenoverwegingen vinden slechts stofmetingen plaats op de twee masten dicht langs de weg en op één mast op 50 meter van de weg (achter de vegetatie).

De masten dicht langs de weg (waarvan één vlak vóór de vegetatie) dienen ertoe om de initiële menging van fijn stof en NO₂ boven de weg in beeld te brengen, het stuwend effect van de vegetatie te kwantificeren en de hoogte van de emissie van de weg te bepalen. Daartoe meet het hoogste meetpunt de achtergrondconcentratie, wat neerkomt op een minimale meethoogte van omstreeks 12 meter voor het hoogste meetpunt op enige meters van de weg.

Omdat de spreiding van de emissies van de weg toeneemt met toenemende afstand tot de weg en omdat de vegetatie voor extra "lift" zorgt, moet de mast achter de vegetatie hoog zijn, even hoog als een vergelijkbare mast op de referentieplek. Hiervoor zijn masten met een hoogte van 20-25 meter beschikbaar. De modellen en het Meet- en Rekenvoorschrift Luchtkwaliteit vergen ook nog metingen op grotere afstanden tot de weg. In verband met de kosten worden hiervoor lage masten (1,5 meter) en metingen op één hoogte toegepast.

Emissies van de weg kunnen alleen worden geschat als de achtergrondconcentratie bekend is. Deze zal op één hoogte, op een mast van 4 meter, worden gemeten aan de westzijde van de weg. Een overzicht van de opzet is geschetst in onderstaand figuur. De meteorologie, de concentraties in de lucht en de verkeersintensiteiten worden als uurgemiddelden gemeten om modeltoetsing en extrapolatie naar jaargemiddelden mogelijk te maken.

De metingen zullen worden uitgevoerd op tijdstippen, die relevant zijn voor de fysiologie van de vegetatie. Dat betekent een lage stofwisseling in het voorjaar voor de naaldhoutsoorten en nog niet uitgelopen loofhoutsoorten, een sterke stofwisseling in de tweede helft van voorjaar en vroege zomer en lage stofwisseling in combinatie met verouderde bladeren in de herfst. In totaal drie meetperioden per vegetatietype.



Meetomgeving

De metingen worden uitgevoerd langs de A50 ten noorden van het viaduct over het spoor Arnhem – Tiel en ten zuiden van het parkeerterrein Meiland. De ligging van de A50 is daar vrijwel noord-zuid, zodat er op basis van de overheersende windrichtingen uit zuid-west en west voldoende dagen zijn waarop gemeten kan worden. De verkeersintensiteit is hoog en zodanig dat er regelmatig stagnerend verkeer optreedt. Dit biedt de mogelijkheid om zowel bij doorstromend als stagnerend verkeer te meten. Beide situaties zijn relevant voor Nederland: ze leveren verschillen op in directe emissies van gasvormige componenten, waaronder NO_2 en fijn stof. Verwacht mag worden dat met name het grovere deel van het fijn stof, dat vooral door opwerveling van de weg afkomstig is (de indirecte emissies), sterk zal variëren met de rijnsnelheid van vooral het zware vrachtverkeer.

Uitgangspunt is dat gegevens over verkeersintensiteiten en verkeerssnelheden via de inductielussen van Rijkswaterstaat op korte termijn beschikbaar zijn voor het onderzoek. De verkeersamenstelling kan door gerichte waarnemingen worden vastgesteld.



Gassen en stofdeeltjes

De metingen worden uitgevoerd voor de componenten PM₁₀, PM_{2,5}, CO₂, NO/NO₂ en O₃. Door de hoge achtergrondconcentratie van CO₂ is het de vraag of de lokale bijdrage van het verkeer aan de CO₂-concentratie voldoende is om deze als een indicator voor de verspreiding van gasvormige verontreiniging te gebruiken. O₃ wordt gemeten vanwege de snelle reactie met NO. NO en NO₂ reageren verschillend met de vegetatie.

De meetapparatuur voor gasvormige componenten bestaat uit automatische monitoren met meetpuntomschakelaar en een dataopslagsysteem benedenwinds en bovenwinds. De aanzuiging geschiedt door middel van verwarmde leidingen met teflon ingangsfilters om vervuiling van de leidingen en daarmee verliezen tegen te gaan. De leidingen worden continu doorgezogen ter verversing van de monsters.

Aërosol zal op alle hoogten aan drie masten apart worden gemeten omdat deze stofvormige verontreiniging niet zonder belangrijke verliezen is te transporteren. Hiervoor worden optische meetinstrumenten (DustTrak en Grimm) gebruikt. Nadeel van het gebruik van optische instrumenten is de onzekerheid in omzetting van optisch signaal naar massaconcentratie. Kalibreren zal geschieden door zeer regelmatig een meetcampagne te houden, waarin naast de optische meters massabepaling volgens EU-voorschrift plaats vindt. Hiertoe worden 13 meetinstrumenten ingezet. De meetinstrumenten zijn voorzien van voorafscheiding voor bepaling van afwisselend, de PM₁₀-fractie en de PM_{2,5}-fractie. Een groot deel van de instrumenten is voorzien van debietregeling met aparte pompen binnen 2% nauwkeurigheid, zodat aan de EU-voorschriften voor meting wordt voldaan. De andere instrumenten worden aangesloten met centrale aanzuiging door een pomp per mast met debietregeling via capillairen. Deze belangrijke vereenvoudiging heeft als nadeel dat van het normvoorschrift wordt afgeweken en dat nauwkeurigheid van de metingen afneemt. Het project-budget laat uitvoering volgens EU-norm van alle stofmetingen niet toe.

Meteorologische metingen

Omdat de metingen van gassen en aërosolen als toetsingsmateriaal dienen voor modellen en omdat de gemeten concentraties sterk afhankelijk zijn van het weer, moeten de meteorologische omstandigheden goed worden vastgelegd. Alleen dan is modeltoetsing en extrapolatie van de resultaten naar jaargemiddelden mogelijk. Daarvoor is nodig:

- Meting van inkomende en uitgaande straling, vochtflux en voelbare warmteflux met twee temperatuurmeters en geventileerde psychrometers en de bodemwarmtestroom, om de componenten van de energiebalans te kunnen schatten.

- Meting van het windsnelheidsprofiel met vijf cupanemometers per mast, op de twee masten dicht bij de weg voor de emissieschatting, en bepaling van de invloed van de vegetatie op de stroming.
- Meting van de windrichting.
- Meting van de bladnatperiode, omdat bladnatheid grote invloed heeft op het hechtend vermogen van de vegetatie voor verontreiniging.
- Twee sonische anemometers ter karakterisering van de turbulentie-intensiteit met en zonder vegetatie en voor de bepaling van belangrijke rekenparameters in de modellen.
- Regenmeters, vanwege de invloed van regen op de aërosolconcentraties (vooral resuspensie en uitwassing) en de afvangst onder die omstandigheden door de vegetatie.

Andere belangrijke parameters voor de modellering - als verhouding tussen directe en indirecte straling of bewolgingsgraad - kunnen worden betrokken van het nabijgelegen meetveld Haarweg te Wageningen.

Interpretatie van de metingen

De metingen leveren concentratieverschillen op, op verschillende hoogtes, zowel vòòr als achter de beplanting – en zonder beplanting.

De metingen zijn direct gerelateerd aan het tijdstip (de filedruk of de doorstroming) waarop gemeten wordt onder dezelfde meteorologische condities. Met het geheel aan metingen kan een massabalans worden opgesteld voor de verschillende vegetatiestructuren.

Voor fijn stof en inerte gassen geldt:

- Uit de metingen in de mast langs de weg kan de emissie van het verkeer worden geschat door integratie van het product van windsnelheid en concentratie met de hoogte van de emissie van het verkeer (massabalans-methode). Vergelijking van de emissie van de weg met de verkeersintensiteit en andere emissiefactoren levert inzicht op in hoeverre de emissiefactoren reëel zijn. Vergelijking tussen de twee masten naast de weg geeft aan of er systematische verschillen zijn in emissie op de twee meetplaatsen.
- Vergelijking van de windprofielen langs de masten geeft aan hoe sterk de invloed van de vegetatie op de windsnelheid is en levert belangrijk vergelijkingsmateriaal op voor de modellen.
- De massabalans voor beide masten geeft aan of de emissie inderdaad homogeen is.

-
- Vergelijking van de massabalans van twee hoge masten op afstand van de weg kan laten zien of de vegetatie tot daadwerkelijke vermindering van de hoeveelheid afgevangen materiaal leidt. Daarnaast geven de verschillen in concentratie achter de vegetatie de gecombineerde invloed van depositie en extra inmenging van relatief schone lucht als gevolg van de vegetatie aan. Daarmee kunnen de invloed van de stroming en de invloed van depositie op de concentratie worden gescheiden. Ook wordt vastgesteld of er verbetering van de luchtkwaliteit achter de vegetatie optreedt.

Voor NO_x is de situatie complexer. De invloed van de vegetatie op de NO_2 -concentratie is moeilijk te voorspellen. Minder menging vóór de vegetatie zou de NO_2 -concentratie kunnen verlagen door minder inmenging van O_3 . (95% van de NO_x emissies bestaat uit NO , maar dit percentage stijgt door invoering van katalysatoren voor diesels.) Achter de vegetatie is er meer inmenging van achtergrondlucht en kan de vorming van NO_2 uit de reactie van NO met O_3 sneller gaan. Daarnaast vangt de vegetatie NO_2 af. Hoe de totale balans zal uitpakken voor de uiteindelijke NO_2 -concentratie en mogelijke normoverschrijdingen is nog niet te zeggen.

5 Realisatiefase

In de ontwikkelingsfase worden de uitvoerders en beheerders van het project – de aannemers van grondwerk en groenaanplant, de hoveniers, de grondeigenaren, de gemeente en de betrokken wegbeheerder – nauw betrokken bij de definitieve inrichtingsplannen. Daartoe heeft vooroverleg plaatsgevonden met verschillende partijen die in de ideefase nog niet actief betrokken waren.

Bouwrijp maken

De locatie van het project moet voor het tijdelijke meetexperiment geschikt worden gemaakt. Hoogteverschillen worden zonedig genivelleerd om de meetopstelling te optimaliseren. Water (voor de beplanting) en stroom (voor de meetinstrumenten) zijn in de directe omgeving aanwezig. In de ontwikkelingsfase wordt uitgezocht of water en stroom beschikbaar kunnen worden gemaakt. Overwogen wordt om het bouwrijp maken door BAM Wegen & Groen te laten uitvoeren.

Aanvoer van bomen en struiken

De leveranciers van het plantmateriaal dat geschikt is voor de proefopstelling zorgen voor het aanbrengen van de vegetatie. Dit plantmateriaal kan in een later stadium worden toegepast op een locatie elders. Gewerkt wordt aan een constructie waarbij de beplanting door de toekomstige eigenaar – uiteraard zo mogelijk binnen de stadsregio – tijdelijk in bruikleen wordt gegeven aan het meetexperiment. Hiermee kunnen de verwervingskosten van de aanplant worden gereduceerd.

De logistiek van het aanbrengen en verwijderen van de beplanting komt voor een belangrijk deel voor rekening van het project. De aan te voeren bomen en struiken worden in de directe omgeving gezocht, ook vanwege de groeiomstandigheden. De beplanting in containers blijft staan voor de duur van het meetexperiment. Overwogen wordt om de aanvoer van bomen en struiken door de Van Helvoirt groep te laten uitvoeren.

Veiligheid

Niet onbelangrijk is de veiligheid langs de snelweg – zowel van de weggebruikers en wegbeheerders als van de opgestelde apparatuur. De ligging van de meetlocatie bij het parkeerterrein Meilanden maakt het enerzijds betrekkelijk eenvoudig om de nodige activiteiten uit te voeren. Anderzijds is die ligging ook aantrekkelijk voor vandalen en avonturiers. In de ontwikkelingsfase wordt in nauw overleg met het Wegendistrict Arnhem-Nijmegen, de gemeente en de politie aandacht besteed aan de (verkeers)veiligheid (zie ook hoofdstuk 7).

Communicatie en rapportage

Zowel het consortium als het IPL hebben belang bij een goede informatievoorziening rond het meetexperiment. Over de vorm van de communicatie – naar de weggebruikers en de omwonenden en de pers, en publicaties over het project – worden in de ontwikkelingsfase nadere afspraken gemaakt tussen het consortium en het IPL. De stadsregio komt daarvoor namens het consortium met een communicatieplan, waarin de informatievoorziening (publiciteit, onderzoeksdocumentatie et cetera) over het meetexperiment is uitgewerkt. Uitgangspunt is dat de betrokken partijen zich kunnen profileren en van de meetgegevens gebruik kunnen maken.

De communicatie tijdens het experiment wordt verzorgd door de Stadsregio Arnhem Nijmegen. Publicatie van de resultaten wordt conform de IPL-huisstijl gedaan. Het staat het consortium vrij om de resultaten daarna ook op andere wijzen te publiceren en in het kader van het EUREKA-programma Flora te gebruiken.

6 Model- en validatiefase

Naast aandacht voor het meten is het belangrijk aandacht te besteden aan de modellering van de concentraties naast de weg, met en zonder vegetatie. Modellen moeten berekeningen uitvoeren voor andere bestaande situaties of toekomstige situaties. De verkregen kennis kan op deze wijze algemeen worden toegepast, als het model een goede representatie van de werkelijkheid geeft.

Modellering kan worden uitgevoerd op verschillende schaalniveaus en met verschillen in de mate van detail. Voor dit project wordt gemikt op een schaal tot enkele honderden meters. Het meest gedetailleerd zijn voor deze schaal CFD-modellen. Door de gridgrootte van meters kan veel detail over (obstakel)stromingen worden ingebracht. Daarnaast kan de stroming in en om de vegetatie in grote mate van detail worden beschreven. Echter, de uitwisseling tussen vegetatie en atmosfeer is ook met CFD niet te beschrijven. Dit is een belangrijke leemte in de modellering, die juist met experimenten opgevuld moet worden. Bovendien beschrijft een CFD-model steeds maar één toestand en kan het geen jaargemiddelde berekenen.

Om een jaargemiddelde te bepalen is een meer operationeel model nodig, met minder detail. Dan wordt gebruikgemaakt van meer eenvoudige (deels empirische) modellen: de Gaussische Pluimmodellen, zoals het Nieuw Nationaal Model. Het ontbreken van detail in deze modellen wordt gecompenseerd door grote gebruiksvriendelijkheid en de mogelijkheid om alle meteosituaties door te rekenen. Zo'n model heeft dus minder ruimtelijk detail, maar is juist weer meer in staat een heel jaar door te rekenen. De toegevoegde waarde van CFD bestaat hieruit dat de stroming door en om vegetatie beschreven kan worden, tenminste als de mate van porositeit bekend is. De experimenten dienen dus voor het bepalen van de porositeit, en de adsorptie aan de vegetatie.

CFD-modellering

Omdat de modellering van de verspreiding en depositie van verontreiniging langs een weg met een groenstrook nog weinig heeft plaatsgevonden, wordt binnen het IPL ingestoken op CFD-modellering. CFD-modellering heeft reeds in veel toepassingen nut bewezen voor het modelleren van stromingen in complexe situaties. In dit project ligt de nadruk op de modellering van de stroming door en over de vegetatie en de turbulentie die deze obstakelstroming oproept. Stroming en turbulentie bepalen op hun beurt het transport van de verontreiniging naar de vegetatie en de verdunning achter de vegetatie. De meting van de windprofielen en de turbulentie-intensiteit vormt het toetsingsmateriaal voor de modellering van stroming en uitwisselingscapaciteit.

Hoeveel materiaal er daadwerkelijk wordt uitgewisseld hangt af van de vegetatie-eigenschappen. Een deel van de belangrijke vegetatie-eigenschappen, zoals LAD en porositeit, wordt binnen het project experimenteel vastgesteld. Deze bepalen vooral de stromingstechnische eigenschappen van de vegetatie. Detailinformatie over de vegetatie, zoals huidmondjesweerstand et cetera, kunnen in de CFD-modellering een rol spelen voor de schatting van de uitwisseling van verontreiniging. Deze fysiologische metingen zijn echter uit kostenoverwegingen niet voorzien. Het is dan ook zinvol grenzen te stellen aan de mate van detail in de modellering. Zaken als oppervlakteweerstand dienen als empirische parameters aan de metingen te worden ontleend.

Met VITO (Stijn Janssen) is kort overleg geweest over de CFD-modellering. Doordat VITO levert aan meer aanbieders binnen de IPL-prijsvraag, moest worden afgezien van afstemming van de mate van detail in modellering en meting. Dit overleg dient in de ontwikkelingsfase zo snel mogelijk plaats te vinden. De theoretische mogelijkheden voor gedetailleerde modellering en meting zijn in een eerder stadium reeds door VITO en ASG doorgenomen. Budgettaire overwegingen bepalen tot hoever een praktische aanpak evenwichtig en haalbaar is.

Vegetatiemodule

Naast een (CFD-)model, dat een grote mate van detail aankan en de stroming door obstakels goed beschrijft, is er ook behoefte aan een operationeel model. Voor situaties zonder vegetatie bestaan deze modellen al in de vorm van het Nieuw Nationaal Model (NNM), in de uitvoeringsvarianten Stacks70 en PluimPlus 3.6 en de modellen VLW, ADMS en Geo-Stacks. Door inbouw van een vegetatiemodule is het mogelijk deze modellen ook te gebruiken voor berekening van de luchtkwaliteit langs wegen met groenstroken. Wanneer zo'n vegetatiemodule door VROM wordt geaccepteerd (na screening door het RIVM) kan deze worden opgenomen in het Meet- en Rekenvoorschrift Luchtkwaliteit. Dit biedt gemeenten en wegbeheerders de mogelijkheid zelf plannen door te rekenen.

Ontwikkeling van een vegetatiemodule wordt binnen het IPL niet voorzien. Gelet op het grote belang voor de praktijk kan ontwikkeling van deze module echter veel meer als toepassingsgericht in het kader van Meet- en Rekenvoorschrift worden aangemerkt dan de ontwikkeling van een CFD-model. Het consortium wil daarom reeds de eerste stappen op weg naar zo'n operationele module zetten. De eerste ontwikkeling heeft namelijk een sterke relatie met de CFD-modellering. De stroming door en over de vegetatie, zoals gemodelleerd met CFD en zoals gemeten, vormen een belangrijk empirisch invoergegeven voor het Gaussische model. Gelijktijdige uitvoering van CFD-modellering en het klaarmaken van bouwstenen voor een vegetatiemodule, verhogen de efficiency van de ontwikkeling van een operationeel model.

In de afronding van de vegetatiemodule door inbouw in modellen wordt op dit moment niet voorzien. Dat is een duidelijke omissie binnen dit project. De afronding is zeker noodzakelijk. Dat blijkt uit overleg met het VROM, die hier sterk voorstander van is. Ook RWS zal hiermee te maken krijgen, maar in dit project is daar vooralsnog niet om gevraagd. De ontworpen rekenprocedure maakt wel al meer handmatige berekeningen van het effect van groenstroken mogelijk.

7 Begroting en planning

Begroting

De totale kosten voor dit voorstel worden geraamd op € 500.000,--.

Deze kostenraming kan als volgt worden gespecificeerd:

· Bouwrijp maken*)	€ 35.000,--
· Bomen en struiken**)	€ 100.000,--
· Metingen	€ 220.000,--
· Modelleren/validatie	€ 90.000,--
· Beplantingsfilm	€ 6.000,--
· Communicatie***)	€ 15.000,--
· Organisatie	€ 24.000,--
· Onvoorzien	€ 10.000,--

*) Inclusief water- en energievoorzieningen

***) Aanbrengen, onderhouden en verwijderen

****) Inclusief veiligheid

Het consortium zorgt voor de financiering van de extra kosten boven de door het IPL voor de prijsvraag beschikbaar gestelde bedrag van € 280.000,--.

Planning

De ontwikkelingsfase start bij honorering van de prijsvraaginzendingen medio oktober 2007. Voor eind van 2007 zal deze fase afgerond worden en zal duidelijk zijn of, hoe en wanneer het meetproject gerealiseerd kan worden.

De uitvoering start onmiddellijk in januari 2008 met het klaarmaken en iken van de meetopstellingen in het laboratorium. Met het aanbrengen van de beplanting – ijs en weder dienende – wordt aangevangen in maart 2008. De voorbereidende grondwerkzaamheden zijn daarvoor in februari 2008 afgerond. Vanaf 1 april 2008 worden de meetmasten opgesteld en kan worden aangevangen met de metingen – wederom ijs en weder dienende.

Gedurende de metingen van april 2008 tot september 2008 worden de verzamelde gegevens maandelijks beschouwd en wordt de vegetatieontwikkeling beoordeeld en zonodig bijgestuurd.

Vanaf eind september 2008 zijn de meetgegevens beschikbaar voor verwerking in de modelsituatie en wordt een aanvang gemaakt met de rapportage. Voor het eind van 2008 is de eindrapportage beschikbaar ter bespreking met IPL en de mogelijke andere belanghebbenden.

8 Risicobeheersing

De belangrijkste onzekerheid die het consortium onderkent, is de invloed van het weer op de metingen. Door de gekozen meetstrategie, meetopstelling en de meetlocatie verwacht het consortium in de meetperiode voldoende betrouwbare meetgegevens te verzamelen. In het geval dat 2008 een zeer grillig weerbeeld over de gehele meetperiode zou vertonen, wordt in overleg met IPL bepaald welke stappen te nemen.

In de ontwikkelingsfase wordt onderzocht of stormschade aan de meetmasten en aan de beplanting verzekeraar is. Doordat storm in vrijwel alle gevallen vanuit westelijke richtingen komt, en de afstand tot de weg relatief groot is, is van een risico voor het wegverkeer nauwelijks of geen sprake. Voor de lage masten kan een voetconstructie vergelijkbaar met die van lantarenpalen worden aangebracht.

Het wegverkeer kan wel afgeleid worden door de meetopstelling en de activiteiten op de meetlocatie. Met het district van Rijkswaterstaat wordt bezien welke preventieve maatregelen kunnen worden genomen zodat geen noemenswaardige verkeershinder zal plaatsvinden.

Het meten aan levende, dynamische have is in het algemeen onzeker. Door de gekozen beplanting – in containers met gecontroleerde grond en met een bevoeiingssysteem – met bomen en struiken uit de omgeving, verwacht het consortium echter dat een goed controleerbare meetsituatie gegarandeerd is.

De meetapparatuur is gevoelig voor het wegvallen van stroom. Om dit te voorkomen moet een noodaggregaat uitkomst bieden. Onzeker is ook nog waar de netvoeding het best vandaan kan komen. Vermoedelijk is op of rond de verzorgingsplaats Meilanden een aansluitpunt.

De meetapparatuur is kostbaar en dus gevoelig voor vandalisme. Het praktische voordeel van meten in de nabijheid van de verzorgingsplaats Meilanden heeft dus ook een keerzijde. Om de meetapparatuur afdoende van de buitenwereld af te schermen kan een tijdelijke – of gedeeltelijke – sluiting van de Meilanden uitkomst bieden. Deze preventieve optie wordt in het overleg met het district van Rijkswaterstaat in de ontwikkelingsfase meegenomen.

Geraadpleegde literatuur

Bouvet, T, Loubet, B, Wilson, J.D., Tuzet, A., 2007, Filtering of windborne particles by a natural windbreak, *Boundary-Layer Meteorol* 123: 481-509.

DWW/IPL, 2006, Kennisdocument Vegetatie-Luchtkwaliteit ten behoeve van het uitvoeren van een pilotproject langs rijkswegen, DWW 2006-094/IPL 06.00019, pp. 85.

Hofschreuder, P, Tonneijck, A.E.G., Hofschreuder, E., 2005, Optimalisatie van geluidschermen voor verbetering van de luchtkwaliteit. WUR A&F rapport nr. pp 76.

Kuypers, V.H.M., De Vries, E., 2007, Groen voor lucht, publicatie ministerie van LNV.

Nasrullah, N., Tatsumoto, H., Misawa, A., 1994, Effect of roadside planting and road structure on NO₂ concentration near roads, *Japanese Journal of Toxicology and Environmental Health* 40: 328 – 337.

Ruyten, F., 2006, De Integrale Beplantingsmethode, naar een dynamische benadering voor het ontwerpen van beplantingen, 1e druk, Van Grinsven drukkers bv, Venlo.

Schweikle V., 1999, Schadstoffgehalte an landgebundenen Verkehrswegen, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1-38.

Thonnessen, M., 2005, Feinstaub und Innerstädtisches Grün – Ein Übersicht, Universität zu Köln, April 2005.

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

Wesseling, J.P., Duyzer, J., Tonneijck, A.E.G., Van Dijk, C.J., 2004, Effecten van groenelementen op NO₂ en PM 10 concentraties in de buitenlucht, rapport R 2004/383, TNO, Apeldoorn.

Bescherming auteursrecht.

Deze inschrijving, delen daaruit of het in deze inschrijving beschreven gedachtegoed, mag niet worden gebruikt of toegepast worden zonder schriftelijke toestemming van de leden van het consortium dat deze inschrijving heeft opgesteld.



STADSREGIO
ARNHEM NIJMEGEN

Postbus 6578, 6503 GB Nijmegen
Stationsplein 26, 6512 AB Nijmegen
T (024) 329 79 79 F (024) 329 79 70
info@destadsregio.nl www.destadsregio.nl