



DE BALLENBANK

**bureaustudie en
verkennend onderzoek**

december 2008

DE BALLENBAC

bureaustudie en verkennend onderzoek



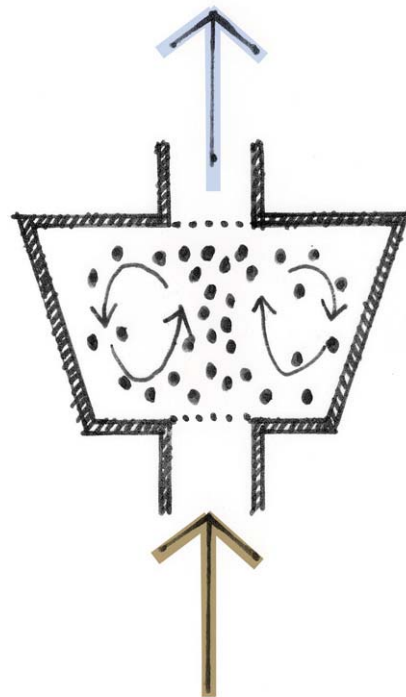
opdrachtgever : Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart
opdrachtnemer : DLA+ landscape architects (hoofdopdrachtnemer)
i.s.m. : Climatic Design Consult
: Peutz BV



Groesbeek, december 2008
Rapport nr. 4499 versie 2

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	De “Ballenbak” in vogelvlucht	7
1.3	Leeswijzer	8
2	UITWERKING VAN DE BALLENBAK	9
2.1	Materialisatie	9
2.2	Toepassingsvarianten	10
2.3	Aanleg en beheerkosten	10
3	TESTOPSTELLING	11
3.1	Uitgangspunten	11
3.2	Opbouw proefopstelling	11
4	KORTE DUUR PROEVEN	14
4.1	Doel	14
4.2	Beoordeling	14
4.3	Vormvarianten	14
4.4	Vulgraad	16
4.5	Meerdere ballenbakken	16
4.6	Conclusies visuele testen	16
5	LUCHTKWALITEITMETING	17
5.1	Doel	17
5.2	Metingen	17
5.3	Meetresultaten luchtkwaliteit	18
5.4	Beoordeling luchtkwaliteitmetingen	20
5.5	Conclusies en aanbevelingen m.b.t. luchtkwaliteitmetingen	20
6	INPASSING LANGS SNELWEGEN	23
6.1	Inpassing in een innovatief geluidsscherm	23
6.2	Als toevoeging op of aan een bestaand scherm	24
6.3	Dicht bij de bron als winddoorlatend “honingraatscherm”	25
6.4	Grootschalige luchtbehandeling langs de snelweg	26
6.5	Inbouw in een grootschalige luchtbehandelinginstallaties bij hot spots / tunnelmonden	27
6.6.	Ballenbak in filters ten behoeve installaties van gebouwen	28
7	PLAN VAN AANPAK	29
7.1	Testen	29
7.2	Ontwikkelen toepassingsvarianten (> 12 maanden)	29



concept Ballenbak:
lichte korrels in beweging door luchtstroom

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Nederland voldoet niet overal aan de Europese grenswaarden voor fijn stof en stikstofdioxide. Met name in de directe nabijheid van rijkswegen treden knelpunten op, de zogenaamde “hot-spots”. Rijkswaterstaat doet binnen het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL) onderzoek naar innovatieve oplossingen die bijdragen aan verbetering van de luchtkwaliteit op en rond snelwegen.

In dat kader heeft het IPL de prijsvraag “Frisse kijk op luchtkwaliteit” uitgeschreven. In samenwerking met Climatic Design Consult (CDC) en Peutz heeft DLA+ landscape architects het idee “Ballenbak” ingediend. Dit innovatieve filterprincipe is door het IPL als een van de winnaars van de prijsvraag gekozen. Dit betekent concreet dat het ontworpen “Ballenbak” filter middels voorliggende een bureaustudie nader onderzocht is.

Omdat een bestaande proefopstelling (gebruikt bij het eerder in het kader van het IPL geteste “Bite the Dust” scherm) eenvoudig is om te bouwen tot een ballenbakfilter, is besloten een indicatieve (luchtkwaliteit)meting van de “Ballenbak” onderdeel uit te laten maken van de bureaustudie.

1.2 De “Ballenbak” in vogelvlucht

Van filters die kleine fracties ($PM_{2,5}$ en PM_{10}) moeten afvangen is bekend dat de filterweerstand i.h.a. toeneemt met afname van de deeltjesgrootte die moet worden afgevangen. Tevens moet er bijzonder veel lucht met een -in vergelijking met industriële filters- lage vervuilingconcentratie door het filter. Dit betekent dat bij traditionele filtertechnieken bijzonder veel energie nodig is om voldoende lucht door een geschikt filter te zuigen. Het voorgestelde filter is evenwel geen traditioneel filter maar een filter dat er voor zorgt dat fijn stof ten opzichte van het materiaal waarop het neerslaat een bijzonder lage luchtsnelheid heeft.

“De Ballenbak” bestaat uit losse polystyreenkorrels die zijn opgenomen in een kamer met een toevoer- en een afvoeropening voor lucht, voorzien van fijn gaas. De maaswijdte is dusdanig dat de polystyreenkorrels zijn opgesloten, maar tevens luchtopen met weinig of geen weerstand. Een -al dan niet mechanisch aangedreven- luchtstroom neemt de korrels mee in de vervuilde lucht. Doordat het materiaal bijzonder licht is wordt het makkelijk met de luchtstroom meegevoerd zonder dat dit veel energie kost. In dit traject kan het fijnstof neerslaan op de korrels. De kamer is zo vormgegeven dat de korrels weer kunnen uitvallen en weer opnieuw in de luchtstroom worden meegenomen.

Een tweede aspect van het filter is dat door de beweging / wrijving van de korrels onderling en tegen de wanden van de kamer de korrels elektrostatich geladen worden. De elektrostatich geladen deeltjes zorgen ervoor dat de depositiesnelheid van fijnstof naar het materiaal groter is dan de snelheid langs het materiaal. Met andere woorden de geladen polystyreenkorrels trekken fijnstof aan.

Nadat de korrels volledig zijn benut voor aanhechting van fijnstof worden ze aan de kamer ontnomen en in een regeneratieproces ontdaan van het fijnstof.

1.3 Leeswijzer

Vragen die spelen bij de ontwikkeling van een fijnstof filter volgens het principe van een ballenbak zijn:

- zijn er geschikte alternatieve materialen voor polystyreen?
- hoe fijn moet het gaas zijn, welke netto doorlaat is mogelijk en tot welke weerstand leidt dat?
- Welke vorm is mogelijk voor de ballenbak ?
- wat moet de vulgraad zijn van de ballenbak om weerstand te beperken?
- met welke snelheid moet de lucht door de toevoeropening ?
- hoe effectief is de Ballenbak voor het afvangen van fijn stof ?
- op welke wijze kan de Ballenbak worden toegepast langs snelwegen?
- Welke stappen zijn nodig voor de verdere ontwikkeling van de Ballenbak?

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de eerste 2 vragen. De gebruikte testopstelling en de uitgangspunten voor de tests worden beschreven in hoofdstuk 3. Met behulp van korte duur proefjes en visuele waarneming is getracht de vorm, vullingsgraad en luchtsnelheid te optimaliseren. Een verslag van deze proeven is opgenomen in hoofdstuk 4. Om te bepalen of een "Ballenbakfilter" effect heeft op de fijnstof- en stikstofdioxideconcentraties is de effectiviteit van de ingebouwde Ballenbak getest. In hoofdstuk 5 worden de resultaten en conclusies van deze meting beschreven. Op basis van de resultaten van de eerste indicatieve metingen worden er in hoofdstuk 6 een aantal mogelijkheden belicht waarop de Ballenbak een bijdrage zou kunnen leveren aan de verbetering van de luchtkwaliteit langs snelwegen. Welke stappen er nog te nemen zijn voordat de Ballenbak met succes kan worden toegepast wordt tenslotte in hoofdstuk 7 behandeld.



Ballenbak bestaat uit gaas en polystyreenkorrels

2 UITWERKING VAN DE BALLENBAK

2.1 Materialisatie

Fijnstof hechtende "ballen"

De essentie van het idee is dat heel lichte bolletjes, die al dan niet statisch geladen zijn, met de luchtstroom mee worden gevoerd zodat het snelheidsverschil tussen hechtend oppervlak en fijnstof deeltjes minimaal is.

Materialen met dezelfde dichtheid als lucht (ca. 1,2 kg/m³) worden het best meegevoerd.

Voor geëxpandeerd polystyreen worden dichtheden van 15 tot 30 kg/m³ genoemd¹.

Voor PUR: 30 tot 60 kg/m³ en fenolharsschuim 25 –200 kg/m³.

Alleen bij ureumharsschuim wordt een lagere dichtheid genoemd: 8 – 20 kg/m³.

Vraag is of dit schuim eveneens als pellets/bolletjes te verkrijgen is.

Vooralsnog lijken polystyreen bolletjes het dichtst bij de gewenste eigenschappen te komen. In combinatie met het gekozen gas (zie onderstaand) is er gekozen voor polystyreenbolletjes met een diameter van 4-5 mm.



Gaas om bolletjes vast te houden

De fijnheid van het gaas hangt direct samen met de afmetingen van de bolletjes. Omdat in het productieproces voor het uiteindelijk expanderen op grootte wordt gezeefd mag worden verwacht dat ook de bolletjes op grootte geleverd kunnen worden.

Om de weerstand te beperken moet gekozen worden voor de grootste mogelijke openheid van het gaas waarbij de bolletjes niet doorvallen. Voor de proefopstelling is gebruik gemaakt van een geweven kunststofgaas met een maaswijdte van 4 mm. Dit gaas heeft een doorlaat van 64%. Een groter doorlaatpercentage betekent een grovere maaswijdte en dus grotere polystyreenkorrels wat ongunstig zou zijn voor het in beweging krijgen van de korrels in de Ballenbak.

maasw.	dr.dikte	P	lengte	breedte	eenh	materiaal
μ	μ	%	mtr	mm		
2400	850	55	25	1420	m1	nylon
3000	1000	59	25	1020	m1	nylon
4000	1000	64	25	1580	m1	nylon

in geel aangemerkt gekozen gaas, bron: www.kabelzaandam.nl

Cradle to cradle

Alle losse onderdelen van de "Ballenbak" zijn monomaterialen, wat wil zeggen: bestaande uit één materiaal-soort, waardoor ze bij uitstek geschikt zijn voor recycling. Ook de gebruikte korrels zijn na reiniging geschikt voor hergebruik in "de Ballenbak" of als grondstof voor nieuwe producten.

De materialisatie van de onderdelen waarin "de Ballenbak" wordt ingepast kunnen worden afgestemd op de situatie ter plaatse. Ook de vormgeving en kleurstelling kunnen variëren.

¹ Tabellarium Bouwfysica TH Delft, september 1972

2.2 Toepassingsvarianten

Een filter volgens het principe van de ballenbak kan op verschillende manieren langs rijkswegen worden ingebouwd. Afhankelijk van de plaatselijk aanwezige situatie en de omvang van de problemen kan de Ballenbak:

- worden geïntegreerd in een nieuw innovatief geluidsscherm;
- op een bestaand geluidsscherm worden gemonteerd in de vorm van een T-top;
- dicht bij de bron in een luchtdoorlatend vertikaal scherm, het honingraatscherm, worden ingebouwd;
- in luchtbehandelinginstallaties bij tunnelmonden, verdiepte wegen of overkapte wegen.

De diverse varianten worden in hoofdstuk 6 nader beschreven. Tevens wordt op basis van de verrichte metingen de haalbaarheid van de diverse varianten geanalyseerd.

2.3 Aanleg en beheerkosten

De Ballenbak is geen compleet afgerond product, het betreft een onderdeel van een groter geheel waarin of waaraan het wordt ingebouwd. De kosten die hiermee gepaard gaan zijn sterk afhankelijk van de inbouw- / toepassingsvariant en de schaal daarvan. Het noemen van kosten voor puur de ballenbak is in deze context dan ook erg lastig en niet zinvol. Ditzelfde geldt ook voor de beheerkosten van de ballenbak.

3 TESTOPSTELLING

In het kader van het IPL project Schermen voor Luchtkwaliteit is door DLA+ het innovatieve "Bite the Dust" scherm ontwikkeld. (zie ook *rapport 4525 versie 2_ontwikkelings- en testfase Bite the Dust d.d. september 2008*). De voor dat scherm gebouwde proefopstelling is tevens gebruikt om de effectiviteit van een ballenbak in een innovatief scherm te meten. Deze testfase is onderverdeeld in korte duurproeven (hoofdstuk 4) en een indicatieve luchtkwaliteitsmeting (hoofdstuk 5).

3.1 Uitgangspunten

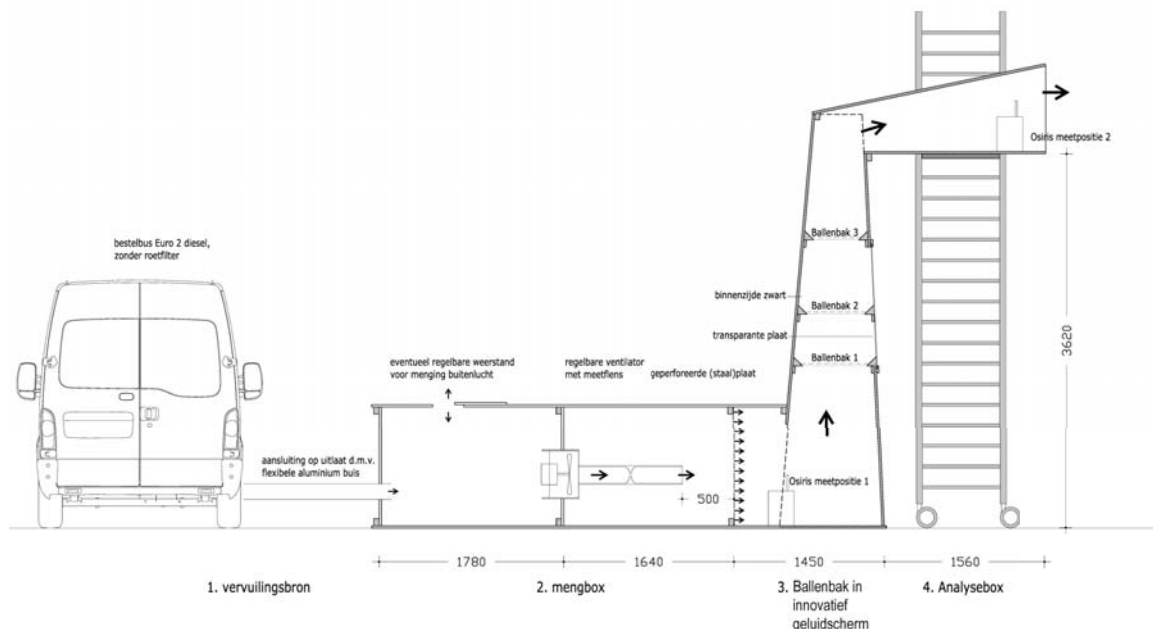
Uitgangspunt voor de testen is in eerste instantie het -op basis van windaangedreven stroming- standaard luchtdebiet voor Bite the Dust, $540 \text{ m}^3/\text{uur}$ (per halve meter schermengte) en het hangen van een Ballenbak-filter in de BTD proefopstelling.

3.2 Opbouw proefopstelling

De schematische opbouw van de proefopstelling is weergegeven in onderstaande tekening. De proefopstelling is opgebouwd uit 4 elementen:

- de vervuilsbron;
- de "mengbox" (vóór het scherm);
- het Bite the Dust scherm voorzien van 3 "Ballenbak" filters;
- een "analysebox" (ná het scherm).

De separate onderdelen zullen op de volgende bladzijden nader kort worden toegelicht.





vervuilingsbron

mengbox

"Bite the Dust" scherm

analysebox

Palmer buisje t.b.v. NO_2



ingebouwde ventilator en meetflens



bron > aanzuig



Osiris-(stof)meters



stoffilter in filterhouder

De vervuiliingsbron

De proefopstelling is voorzien van een representatieve vervuiliingsbron met zowel fijn stof emissies als stikstofdioxide emissies. Hiervoor is gebruik gemaakt van een bedrijfsbus van Peutz (bestelbus Euro 2 diesel zonder roetfilter). Middels een aluminium aanzuigslang zijn de uitlaatgassen van de vervuiliingsbron naar de mengbox van de proefopstelling geleid.

De mengbox

Middels een regelbare ventilator en een meeftens, in combinatie met een geperforeerde plaat is op een representatieve wijze "vervuilde lucht" (zoveel mogelijk vergelijkbaar met verkeersemissies nabij rijkswegen) richting het scherm geleid. Hierbij is voorzien in zowel een representatieve opmenging van vervuilde lucht met buitenlucht als in een homogene luchtstroom richting het scherm. De ventilator (bepaalt de snelheid van de lucht richting het scherm) is zodanig ingesteld dat de emissiesnelheid aan de bovenzijde van het scherm ca. 1 m/s bedraagt.

De mengbox is aangesloten op de toestroomopening van het scherm, teneinde alle emissies richting het scherm te leiden. Meetpositie 1 is gesitueerd direct ná de geperforeerde plaat maar direct vóór de toestroomopening van het scherm, teneinde alle emissies die het scherm bereiken in kaart te kunnen brengen, zie hiervoor schematische tekening op pagina 11.

Het innovatieve scherm voorzien van Ballenbakfilters

Op het terrein van Peutz bv te Mook is 1 schacht, 500 mm breed, op reële grootte 1:1 gebouwd van hout, zie onderstaande foto. In de schacht zijn boven elkaar een drietal "Ballenbakken" ingebouwd, zie afbeeldingen pagina 16 par. 4.6. De optimale uitvoering van de "Ballenbak" (vulgraad, grootte toevoer/uitstroomopening etc.) is bepaald door middel van korte duur proeven, zie hoofdstuk 4.

De analysebox

De analysebox is aangesloten op de bovenzijde van het scherm, teneinde alle emissies in de analysebox te leiden. Meetpositie 2 is gesitueerd in de analysebox, teneinde alle emissies die het scherm verlaten in kaart te kunnen brengen.



4 KORTE DUUR PROEVEN

4.1 Doel

Het doel van de korte duurproeven is het bepalen van de optimale vormgeving van de ballenbak ingebouwd in een innovatief geluidscherm. De korte duurproeven zijn uitgevoerd zonder vervuiliingsbron.

4.2 Beoordeling

De beoordeling vindt plaats door visuele waarneming van effecten in de doorsnede van de ballenbak. Daartoe is de achterwand van de testopstelling voorzien van perspex en is de binnenzijde van het scherm zwart geschilderd.

4.3 Vormvarianten

Om meer inzicht te krijgen in de vorm zijn de volgende proeven uitgevoerd:

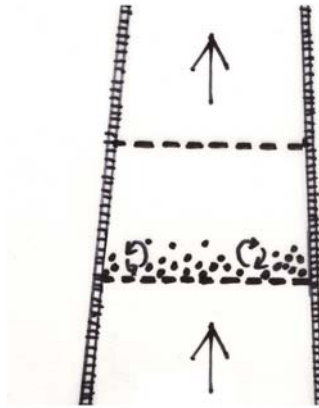
Vormvarianten

Basisvariant vorm:

- In het scherm zijn met een tussenafstand van 35 cm (= hoogte ballenbak) 2 horizontale gazen aangebracht.

Waarneming:

- Ballen komen zeer gering in beweging;
- De meeste beweging zit langs de randen.



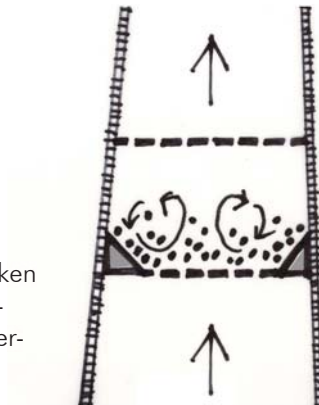
Variant 1:

toevoer verkleinen en ballen "opvangen"

- Aan de toevoerzijde worden driehoekige stroken aangebracht waardoor de ballen worden opgevangen. Door het verkleinen van de toevoeropening verhoogt de luchtsnelheid.

Waarneming:

- Ballen beginnen, met name langs de randen, meer in beweging te komen.



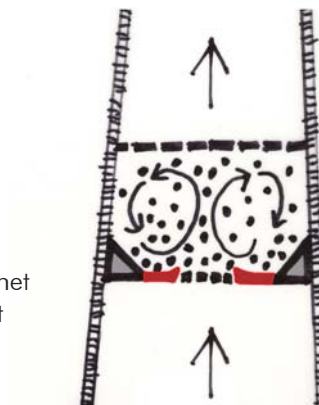
Variant 2:

toevoer verder verkleinen

- Langs de driehoekige stroken wordt tape op het gaas aangebracht. De luchtsnelheid door het filter wordt hierdoor verhoogd.

Waarneming:

- Ballen komen over het gehele gaasoppervlak in beweging.
- Langs de randen zijn duidelijk ronddraaiende stromingen van PS-balletjes waarneembaar.



4.4 Vulgraad

Bij de varianten 1 en 2 is gevarieerd met de vulgraad van de Ballenbak. De hoogte tot waar de ballen omhoog worden geblazen is hierbij gemaximaliseerd. Bij de ideale vulgraad (laagdikte van ca. 2,5 cm polystyreenkorrels) komen de ballen tot een hoogte van ca. 30-35 cm.

4.5 Meerdere ballenbakken

In de proefopstelling is -vanwege de hoogte tot waar de ballen worden opgeblazen- voldoende hoogte aanwezig om 3 Ballenbakfilters achter elkaar te plaatsen. De filters worden telkens ca. 50 cm boven elkaar worden geplaatst. Iedere ballenbak heeft dezelfde doorlaatoppervlak en vullingsgraad.

4.6 Conclusies visuele testen

- de optimale vorm is variant 2 met een vulgraad van ca. 2,5 cm;
- in het scherm zijn 3 lagen met polystyreenkorrels toepasbaar;
- de afstand tussen de lagen met polystyreenkorrels dient voldoende groot te zijn, teneinde te voorkomen dat polystyreenkorrels tegen het bovengelegen gaas worden aangedrukt, blijven plakken en zo de doorstroming verminderen;
- tijdens het vullen van de "Ballenbak" met polystyreenkorrels was enige "stof-vorming" zichtbaar. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de gebruikte korrels niet voldoende zijn uitgezeefd op de fractie 4-5 mm. Er zat ook polystyreenstof in de gebruikte zakken;
- uit de korte duurproeven blijkt voorts dat de polystyreenkorrels elektrostatisch geladen worden door de beweging / stromingen in het scherm.



3 lagen Ballenbak in BTD



EPS balletjes statisch geladen

5 LUCHTKWALITEITMETING

5.1 Doel

Het doel van deze eerste indicatieve (luchtkwaliteit)meting aan een 1:1 proefopstelling van de Ballenbak is het effect van de ballenbak op de fijnstofconcentraties te bepalen. Aanvullend zijn tevens stikstofdioxideconcentraties gemeten, teneinde een mogelijk effect van de polystyreenkorrels op de stikstofdioxideconcentraties te kunnen bepalen.

5.2 Metingen

De metingen zijn uitgevoerd aan de ingebouwde "Ballenbak" in de proefopstelling gedurende ongeveer 1 werkdag. Door de metingen is getracht inzicht te verkrijgen in de hechting van fijnstof en omzetting/opname van stikstofdioxide in de proefopstelling voor de "Ballenbak".

Tijdens de metingen zijn naast de optredende stofconcentraties en stikstofdioxideconcentraties ook de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid bepaald.

Stofconcentraties

Op de 2 meetposities is een continu registrerende stof monitor geplaatst (Osiris Environmental Dust Monitor). Met dit instrument is de fijnstof-concentratie van zowel de fractie kleiner dan $1,0 \mu\text{m}$ (PM_{10}) als de fracties $<2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), $<10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) en $<20 \mu\text{m}$ (PM_{20}) continu geregistreerd. Voor de meting is gekozen voor een gelijktijdige bemonstering op meetpositie 1 en 2 met een meetinterval van 1 seconde gedurende ca. 4,5 uur (maximale geheugencapaciteit).

N.B. De in de Osiris-meetapparatuur toegepaste meettechniek (lichtverstrooiing) is voornamelijk niet aangemerkt als officiële referentie-methode voor de meting van stofconcentraties. Onderhavige metingen dienen derhalve als verschilmetingen (verschil tussen de concentratie voor het scherm en na het scherm) geïnterpreteerd te worden en niet als absolute meting.

Aanvullend is per meetpositie de totaalstofconcentratie (TSP) bepaald met behulp van het afvangen van stof op een voorgewogen glasvezelfilter. De filters zijn na ongeveer een werkdag bemonstering door een daartoe gekwalificeerd laboratorium met behulp van gravimetrie geanalyseerd op de aanwezige hoeveelheid totaalstof.

Stikstofdioxideconcentraties

Op de 2 meetposities is een actief monsternamebuisje voor stikstofdioxide geplaatst (TEA-buisje). Met dit instrument is de gemiddelde stikstofdioxideconcentratie tijdens de meting bepaald. De buisjes zijn na ongeveer een werkdag bemonstering door een daartoe gekwalificeerd laboratorium geanalyseerd op de aanwezige hoeveelheid stikstofdioxide (m.b.v. spectrofotometrie).

N.B. De officiële referentie-methode voor NO_2 -metingen is chemoluminescentie. In onderhavige situatie is gebruik gemaakt van een monstername m.b.v. TEAbuisjes en analyse m.b.v. spectrofotometrie. De bij de metingen aangetroffen NO_2 -concentraties dienen derhalve als enigszins indicatief beschouwd te worden.

Aangezien onderhavig onderzoek hoofdzakelijk gericht is op het "opnemend vermogen" inzake fijnstof is (o.a. uit kostenoverwegingen) voor NO_2 gekozen voor deze indicatieve meetmethode. Onderhavige metingen dienen derhalve als verschilmetingen (verschil tussen de concentratie voor het scherm en na het scherm) geïnterpreteerd te worden en niet als absolute meting.

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

Op de 2 meetposities is de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid bepaald met behulp van een standaard (Escort-)datalogger.

5.3 Meetresultaten luchtkwaliteit

Stofconcentraties

De per meetpositie bepaalde concentraties totaalstof (inclusief meeton nauwkeurigheid volgens opgave van het laboratorium) en de concentraties per fractie van de continu stofmeters zijn weergegeven in tabel 1. Waar relevant is het vangstrendement weergegeven, zoals bepaald aan de hand van de gemeten concentraties. De meeton nauwkeurigheid van de concentratiemetingen voor PM₂₀, PM₁₀, PM_{2,5} en PM₁ bedraagt volgens opgave van de leverancier ca. 20%. Op basis hiervan is de ondergrens en de bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het vangstrendement bepaald.

Tabel 1 Meetresultaten stofconcentraties en vangstrendement van de "Ballenbak", inclusief betrouwbaarheidsinterval.

fractie	Gemiddelde concentratie in µg/m ³		Vangstrendement scherm		
	Voor ballenbak	Na ballenbak	ondergrens	gemiddeld	bovengrens
Totaalstof (TSP)	547 ± 90	478 ± 90	-	13%	35%
PM ₂₀	71,3	126,9	-	negatief	-
PM ₁₀	53,2	77,3	-	negatief	-
PM _{2,5}	25,7	24,3	-	5%	33%
PM ₁	12,1	10,3	-	14%	41%

Stikstofdioxideconcentraties

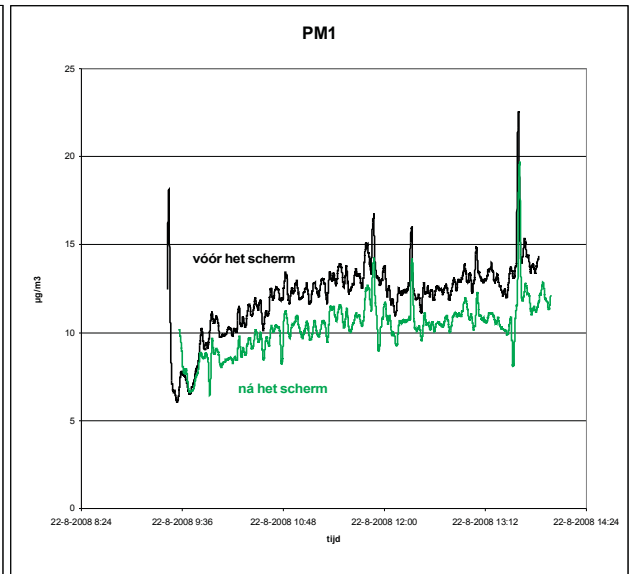
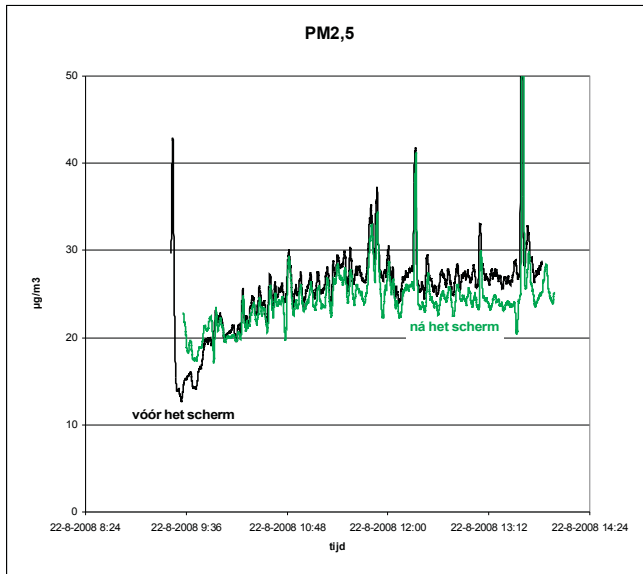
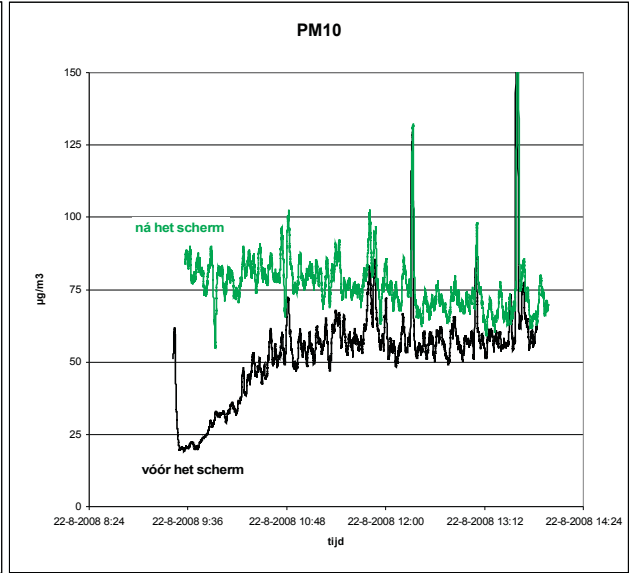
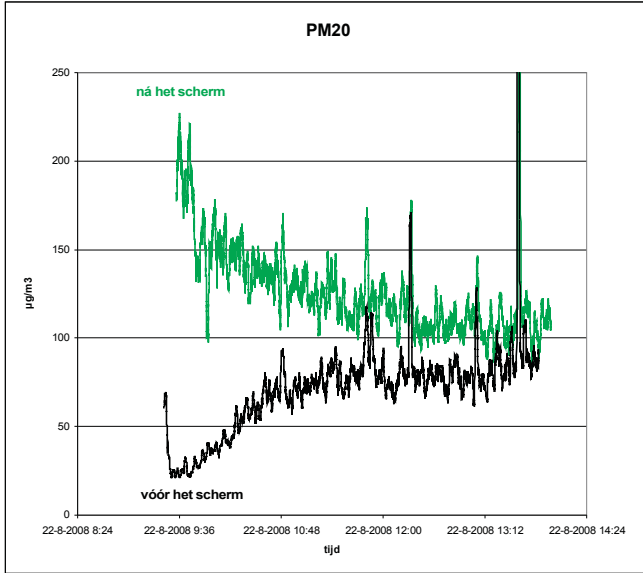
De per meetpositie bepaalde concentraties stikstofdioxide (NO₂) zijn weergegeven in tabel 2. Waar relevant is het vangstrendement weergegeven, zoals bepaald aan de hand van de gemeten concentraties. De meeton nauwkeurigheid van de toegepaste actieve bemonsteringsmethode (TEA) bedraagt ca. 14,6%. Op basis hiervan is de ondergrens en de bovengrens van het 95%-betrouwbaarheidsinterval van het vangstrendement bepaald.

Tabel 2 Meetresultaten NO₂ concentraties en vangstrendement van de "Ballenbak", inclusief betrouwbaarheidsinterval

fractie	Gemiddelde concentratie in µg/m ³		Vangstrendement scherm		
	Voor ballenbak	Na ballenbak	ondergrens	gemiddeld	bovengrens
NO ₂	4961	5022	-	0%	20%

Temperatuur en relatieve luchtvochtigheid

De gemiddelde temperatuur en relatieve vochtigheid gedurende de meting op 22 augustus 2008 waren respectievelijk 23,8 °C en 55,0%.



grafieken meetresultaten Osiris fijnstofmetingen

5.4 Beoordeling luchtkwaliteitsmetingen

Uit de gravimetrische analyse volgt voor totaalstof een rendement van naar verwachting ca. 13%. Met de Osiris-stofmeters (zie grafieken pag. 19) wordt daarentegen in de meetpositie ná het scherm méér PM_{20} en PM_{10} gemeten dan op de meetpositie vóór het scherm. Dit kan duiden op een negatief rendement van de “Ballenbak”, wat zou betekenen dat het scherm op de één of andere manier stof produceert.

Mogelijke herkomst stoftoename

Mogelijk bevatten de polystyreenkorrels bij aanvang van de metingen reeds polystyreenstof ten gevolge van het productieproces, vervoer en/of handling. Dit polystyreenstof wordt dan vrijgegeven in de luchtstroom door het scherm, en veroorzaakt het gemeten negatieve vangstrendement. Daarnaast kan er stof aanwezig zijn geweest die afkomstig is van het bouwen van de proefopstelling. Ten slotte kan er sprake zijn van slijtage van polystyreenkorrels ten gevolge van onderlinge wrijving tijdens het gebruik in de “Ballenbak”, waardoor tijdens de metingen polystyreenstof is ontstaan.

Omdat uit de grafieken op pag. 19 blijkt dat het negatieve effect in de beginperiode van de meting het meest uitdrukkelijk aanwezig is, is stofproductie als gevolg van slijtage van de bolletjes minder aannemelijk omdat dan de hoeveelheid stofproductie in de tijd meer continu zou zijn of zelfs zou toenemen. Tevens blijkt dat het effect alleen duidelijk zichtbaar is voor PM_{20} en PM_{10} . Voor $PM_{2,5}$ en PM_1 treedt dit effect niet uitgesproken op.

Mogelijke verklaring tegengestelde meetresultaten

De resultaten van de continu metingen zijn in tegenstelling met de gravimetrische meetresultaten. De oorzaak van deze tegenstelling is naar verwachting gelegen in het continu meetprincipe in combinatie met de samenstelling van het stof. De Osiris stofmeters tellen deeltjes en bepalen de deeltjesgrootte uit de lichtverstrooiing van de bemonsterde luchtstroom. Het massagehalte stof in de bemonsterde luchtstroom wordt in het meetinstrument berekend uit de getelde aantallen deeltjes, de deeltjesgrootteverdeling en een vast ingestelde massadichtheid. Deze massadichtheid is bij benadering representatief voor het ingaande stof (o.a. bodemstof en roet). De massadichtheid van polystyreenschuim is echter aanzienlijk lager dan de ingestelde massadichtheid. Derhalve kan voor het stof ná het scherm sprake zijn van een aanzienlijke overschatting van de massaconcentratie. Aldus gemeten ontstaat een schijnbaar negatief rendement, terwijl gravimetrisch een positief rendement is vastgesteld.

5.5 Conclusies en aanbevelingen m.b.t. luchtkwaliteitsmetingen

Uit de on-line metingen met de Osiris-stofmeters blijkt dat tijdens de metingen aan de “Ballenbak” op de meetpositie ná het scherm méér PM_{20} en PM_{10} wordt gemeten dan op de meetpositie vóór het scherm, hetgeen een negatief vangstrendement van de “Ballenbak” oplevert.

Een negatief vangstrendement duidt er op dat het scherm op de één of andere manier PM_{20} en PM_{10} “produceert”. De exacte reden van het aangetroffen negatieve rendement van de “Ballenbak” kan op basis van onderhavig onderzoek niet met zekerheid worden vastgesteld.

Een mogelijke oorzaak is de overschatting van de massa van polystyreenstof door de Osiris stofmeters, waardoor de massaconcentratie stof in de uitgaande luchtstroom wordt overschat.

Voor $PM_{2,5}$ en PM_1 treedt bovengenoemd effect niet uitgesproken op. Op grond van de metingen kan met een zekerheid van 97% worden gesteld dat bij de “Ballenbak” sprake is van een afname van de concentraties $PM_{2,5}$ en PM_1 in het scherm. Het gemeten rendement bedraagt respectievelijk ca. 5% en ca. 15%.

Voorts lijkt op grond van de indicatieve meetresultaten geen sprake van een reductie van de concentraties stikstofdioxide (NO₂) in het scherm.

Eventueel vervolgonderzoek kan zich richten op:

- het schoonwassen van de polystyreenkorrels alvorens te gaan meten om aanwezig polystyreenstof te verwijderen;
- stof van het bouwen van de opstelling voorkomen door voor de meting de opstelling volledig te stofzuigen;
- bepaling van de aard van de aangetroffen "stof" deeltjes in de uitgaande luchtstroom (stofkarakterisering m.b.v. elektronen- of lichtmicroscop);
- het meten in de proefopstelling van een variant zonder bron/uitlaatgassen (bepaling PM₂₀ / PM₁₀ slechts ten gevolge van wrijving tussen de polystyreenkorrels onderling);
- langdurige meting in de proefopstelling teneinde te bepalen of het thans aangetroffen effect na lange tijd wellicht niet meer optreedt.

² Effectiviteit

Alhoewel de totale effectiviteit van een scherm mede wordt bepaald door de verdunning die door turbulentie aan de schermtop wordt bewerkstelligd en de verhouding van het debiet door het scherm en over het scherm heen, kan de effectiviteit van het vangstrendement worden gekenmerkt door het debiet waarover het vangstrendement wordt gerealiseerd.

Voor de metingen van Bite-The-Dust is uitgegaan van 1080 m³/h per meter scherm.

Om het effectieve rendement te kunnen vergelijken met dat van Bite-The-Dust hanteren we daarom de formule:

$$\eta_{\text{vangst;effectief}} = \eta_{\text{vangst;gemeten}} \frac{q_{\text{verwacht}}}{q_{\text{Bite-The-Dust}}}$$

waarin:

$q_{\text{Bite-The-Dust}}$ is het normdebiet voor Bite-The-Dust in m³/hm¹ (1080 m³/hm¹);

q_{verwacht} is het verwachte debiet voor de constructie die is doorgemeten in m³/hm¹.

6 INPASSING LANGS SNELWEGEN

In hoofdstuk 2 zijn een aantal toepassingsvarianten voor de ballenbak langs snelwegen geïntroduceerd. Op basis van de bevindingen tijdens de bureaustudie en oriënterende testen wordt in dit hoofdstuk beredeneerd welke varianten succesvol zouden kunnen zijn. Voorwaarde voor deze toepassingen is dat effecten van emissies van PM_{10} en PM_{20} , op grond van nader onderzoek, zullen worden geëlimineerd, zonder dat daarvoor andere filters nodig zullen blijken.

6.1 Inpassing in een innovatief geluidsscherm

De gebruikte testopstelling en uitgangspunten komen overeen met die van de metingen die aan het Bite the Dust scherm zijn verricht. Hierdoor kan er antwoord gegeven worden op de vraag of het inbouwen van een Ballenbak in een innovatief geluidsscherm (zoals Bite the Dust) effectief is. Van belang is dan de afname van het debiet door de filterweerstand in vergelijking met het extra vangstrendement als gevolg van de ballenbak.

Inschatting weerstand filter

In de testopstelling is de luchtsnelheid langs het proeffilter op ca. 540 m³/h ingesteld, behorende bij een windaangedreven luchtstroming door een innovatief geluidsscherm. De oppervlakte van de doorlaat aan de onderzijde van de Ballenbak bedroeg ca. 0,50 x 0,50 m (0,25 m²), waardoor een globale snelheid van ca. 0,6 m/s ontstond. De netto doorlaat van het gaas bedroeg ca. 64 %, waarmee de snelheid in de openingen van het gaas ruim 0,9 m/s was. De weerstand zal dan in de orde grootte 1 Pa bedragen.

Aan die weerstand zal nog weerstand worden toegevoegd door de polystyreen korrels. Indien de korrels niet bewegen moet de lucht zijn weg door de korrels vinden via een aaneenschakeling van kleine openingen. Indien de korrels worden meegevoerd in de lucht wordt potentiële energie aan de luchtstroom ontnomen.

Vooralsnog schatten we deze weerstand op ca. 0,5 Pa in.

Daarmee blijft de totale weerstand relatief beperkt tot 1 á 1,5 Pa. Door een schakeling in serie van drie filters ontstaat zo bij het opgelegde debiet van 540 m³/h een weerstand van ca. 5 Pa.

Aanbevolen wordt bij een eventueel vervolgonderzoek de weerstand van een ballenbakfilter te meten.

Vangstrendement

Vanwege de wet op de afnemende meeropbrengst is de vraag gerechtvaardigd of het in serie plaatsen van drie filters een afname geeft van het vangstrendement van steeds opvolgende filters, of dat het vangstrendement in eerste instantie voor elke filter gelijk is.

Dit kan zo nodig worden vastgesteld door een meting met één filter.

Gezien de weerstand van een filter en de kosten is vermindering van het aantal filters in de praktijk gunstig voor de totaal effectiviteit², hier gedefinieerd als debiet maal vangstrendement, en de kosten-effectiviteit.

Inbouw 3-laags ballenbak in een innovatief scherm van houtvezelbeton

Inbouw van een 3-laags ballenbak leidt tot:

- hogere weerstand: ca. 5 Pa t.o.v. ca. 3 Pa bij een debiet van ca. 1000 m³/h per m¹ scherm;
- een graduele toename van het vangstrendement over het debiet dat door het scherm wordt geleid en
- globaal halvering van het debiet door een verdubbeling van de weerstand.
- lagere afvangst van grotere fracties (PM_{10} , PM_{20} , TSP).

De toename van het vangstrendement zal geen optelling zijn van het vangstrendement van Bite-The-Dust en de Ballenbak vanwege de wet van de afnemende meeropbrengst. De afname van het debiet betekent ook een vermindering van de effectiviteit voor fracties die in Bite-The-Dust redelijk tot goed scoren.

Concreet zou bij halvering van het debiet wellicht de effectiviteit van de PM_{10} fractie op peil kunnen worden gehouden, maar vermindert het effectieve vangrendement van de andere fracties, en neemt de afvangst van NO_2 ook met de helft af.

Conclusie

De ballenbak heeft voor een innovatief geluidsscherm gebaseerd op windaangedreven stromingen, zoals het Bite the Dust scherm, geen toegevoegde waarde.

Alternatieven

- Innovatieve geluidschermen met een actieve luchtanzuiging. Door een scherm te voorzien van ventilatoren kan er een geforceerde luchtstroom door het Ballenbakfilter worden gevoerd. De bezwaren met betrekking tot het afnemende debiet bij windaangedreven stroming gelden dan niet meer waardoor het mogelijk wordt dikkere pakketten polystyreenkorrels te gebruiken. Bij dikkere pakketten korrels in combinatie met hogere lichtsnelheden en debieten kan het filterrendement worden verhoogd.



Ballenbak met windaangedreven stroming



Ballenbak met mechanisch aangedreven stroming

6.2 Als toevoeging op of aan een bestaand scherm

Op locaties waar de luchtvervuiling als gevolg van rijkswegen veel problemen opleveren (de Hot Spots), is doorgaans ook de geluidsoverlast groot. Daardoor staan juist langs deze wegen vaak al geluidschermen. Een "Ballenbak" kan hier als module in de vorm van een T-top aan worden toegevoegd.

Belangrijke voordelen hiervan zijn:

- er kan gebruik gemaakt worden van een reeds bestaande constructie = goedkoop
- er is geen fundering nodig = goedkoop
- snel te plaatsen = goedkoop

Uitgangspunten:

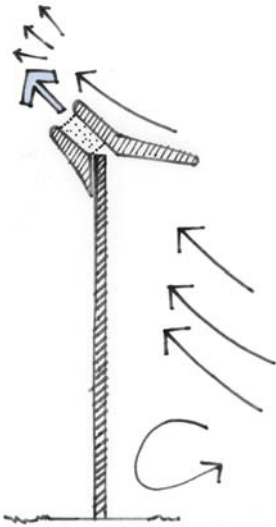
- de modules moeten licht van gewicht zijn;
- flexibel in vormgeving om aan te kunnen sluiten bij de situatie;
- "de Ballenbak" wordt ingepast in een T vorm. Uit windtunnel onderzoek is gebleken dat een geluidsscherm met een T-top het meest effectief is voor wat betreft de kwaliteit van de lucht achter het scherm.

Luchtstroming m.b.v. natuurlijke stroming

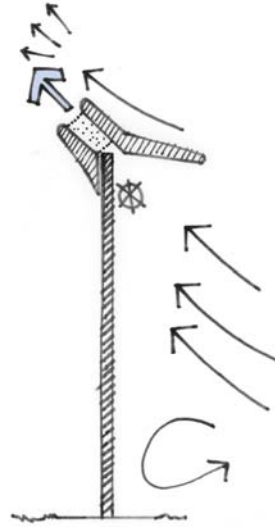
Doorgaans waait er in Nederland een aangenaam briesje. Ingebouwd in een T-top scherm kan hiermee een debiet en filterrendement gehaald worden dat vergelijkbaar is met dat van een innovatief scherm zoals beschreven bij par. 6.1. Door de vormgeving van de inlaatopening kan de lucht gestuurd worden. De omhoog gerichte uitstroomopening zorgt ook nog eens voor dispersie en verdunning van luchtvervuiling in de lucht die niet door het filter is gegaan.

Luchtstroming m.b.v. mechanisch aangedreven ventilatoren

Uit vergelijk met meteorologische gegevens blijkt dat de overschrijdingsdagen sterk samenhangen met de weersomstandigheden: weinig of geen wind. Systemen op basis van windgestuurde aandrijving werken dan dus niet. Ter plaatse van de Hot Spots kan een variant worden toegepast die voorzien is van ventilatoren die op probleemdagen een luchtstroming forceert door "de Ballenbak".



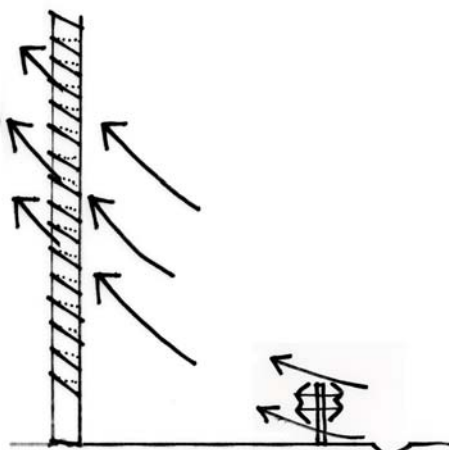
Ballenbak met windaangedreven stroming



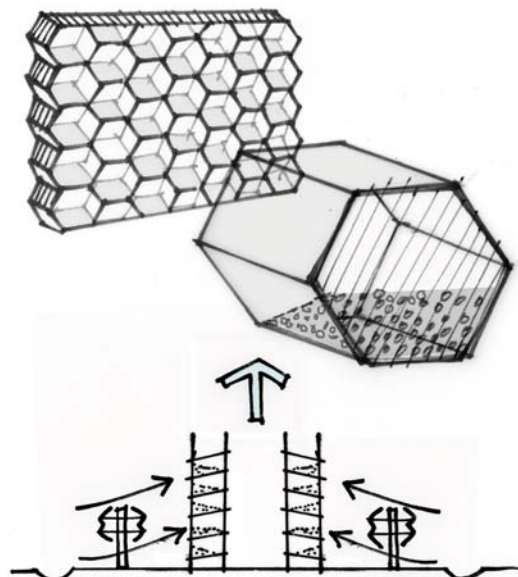
Ballenbak met mechanisch aangedreven stroming

6.3 Dicht bij de bron als winddoorlatend "honingraatscherm"

Dicht bij de bron is de vervuilingconcentratie het hoogst. Een "Ballenbak" kan dus effectiever worden als de afstand tot de bron wordt verkleind. In een opstelling direct achter de geleiderail wordt de luchtstroming niet alleen gerealiseerd door de wind maar ook nog eens extra als gevolg van de druk- en zog golf die ontstaat door voorbijrijdend verkeer. Door ook een "Ballenbak" in de middenberm te plaatsen wordt de afstand tot de bron nog verder verkleind.



honingraatscherm in de zijberm



dubbel honingraatscherm in de middenberm

“De Ballenbak” wordt hier vormgegeven als een vertikaal geplaatste honinggraat. Ieder kamertje is gevuld met polystyreenkorrels. Doordat de kamers enigszins schuin oplopen rollen de korrels telkens weer naar beneden waar ze weer opnieuw omhooggestuwd kunnen worden. Door het maken van een draagconstructie waarin op eenvoudige wijze lichtgewicht honinggraatcassettes kunnen worden gemonteerd ontstaat er een modulair systeem. De verwisselbare cassettes worden inclusief de verzadigde PS korrels verwijderd en vervangen door cassettes met schone korrels. Na regeneratie kunnen de cassettes met korrels opnieuw worden gebruikt. Een belangrijk aandachtspunt bij de verdere ontwikkeling van dit type is het realiseren van een constructie die op een veilige manier zo dicht mogelijk achter de geleiderail kan worden geplaatst.

6.4 Grootschalige luchtbehandeling langs de snelweg

Door schaalvergroting van voorzieningen langs de snelwegen kunnen grotere debieten en windsnelheden worden gerealiseerd.

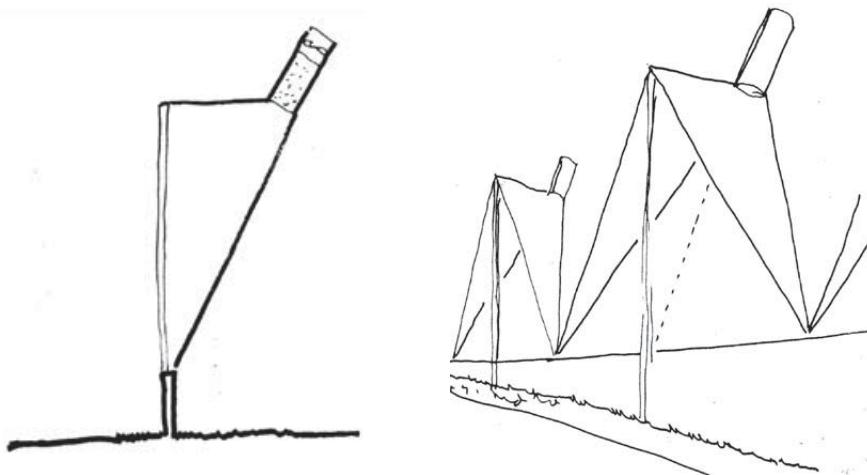
Luchtstroming op basis van schoorstenen

Hoge schoorstenen leveren veel trek die gebruikt kan worden voor het creëren van een luchtstroming door “de Ballenbak”. Bijkomend voordeel hiervan is dat de (gedeeltelijk) gezuiverde lucht op grotere hoogte vrijkomt. Hierdoor wordt de dispersie geoptimaliseerd.

Schoorstenen voorzien van ventilatoren om bij windstil weer extra trek te krijgen

Uiteraard kunnen ook de schoorstenen worden uitgerust met een ventilator om zelfs bij windstil weer een aanzienlijke hoeveelheid lucht te kunnen filteren.

Dergelijke schaalvergroting is naar verwachting wel effectief voor de luchtkwaliteit rondom snelwegen. Zelfs zonder ballenbak zal het effect van dispersie significant zijn. Vanuit landschappelijk / stedelijk oogpunt zullen er alleen niet veel plaatsen zijn waar een dergelijke grootschalige ingreep mogelijk is.



suggestie grootschalige luchtbehandeling langs wegen

6.5 Inbouw in een grootschalige luchtbehandelingsinstallaties bij hot spots / tunnelmonden

Voor zover bij hot spots en/of tunnelmonden de mogelijkheid bestaat vervuilde lucht te vangen/verzamelen en met behulp van grote ventilatoren en/of zonneschoorstenen met voldoende druk door filter pakketten te leiden kan de Ballenbak een optie zijn om met relatief weinig weerstand grote hoeveelheden lucht te filteren. De luchtsnelheden kunnen ook omhoog.

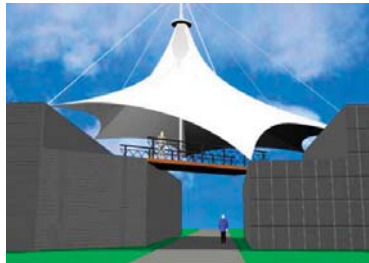
Eén van de projecten van het IPL is een studie naar de mogelijkheden van het overkappen van wegen, gecombineerd met de behandeling van de lucht. In de rapportage "Overkappen van wegen en Luchtbehandeling" (rapport DWW-2007-009 d.d. juni 2007) wordt verslag gedaan van het binnen het IPL uitgevoerde onderzoek naar de mogelijkheden een snelweg te overkappen ten einde de luchtkwaliteit in de omgeving te verbeteren.

Uit het onderzoek is gebleken dat: "Wereldwijd slechts enkele tunnels zijn voorzien van een systeem om de lucht te reinigen met als doel de omgeving te beschermen. Elektrostatische filters vormen een bewezen techniek, maar vanwege de kosten (orde van grootte van € 30 miljoen aanschafwaarde, € 0,5 miljoen exploitatie per jaar) is tot nu toe meestal gekozen voor het verdunnen van de verontreinigde lucht".

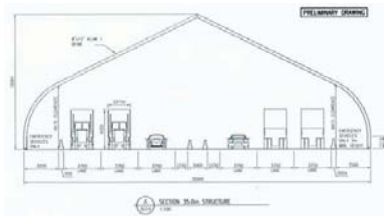
Naar verwachting is een filter conform het Ballenbak concept vele malen goedkoper in realisatie. Het betreft een technisch eenvoudige constructie bestaande uit een pakket polystyreenkorrels in een schoorsteen, aangedreven met een ventilator. Ook de exploitatiekosten zijn vanwege de eenvoudige constructie en de lage drukval van het filter gering. De lage drukval betekent dat er minder energie nodig is om dezelfde hoeveelheid lucht te filteren. Nader onderzoek is nodig om te beoordelen of een filter met lage drukval en groot debiet conform het concept "de Ballenbak" bruikbaar is bij in het kader van voornoemd onderzoek reeds ontwikkelde ideeën.



booghal TU Eindhoven



gespannen membraan



halconstructie CI Structures

selectie van ideeën uit IPL-rapport DWW-2007-009

6.6 Ballenbak in filters ten behoeve installaties van gebouwen

Bovenstaande varianten geven een indicatie van de mogelijkheden langs (snel)wegen. Wellicht kan “de Ballenbak” ook worden geïntegreerd in andere ideeën die in het kader van deze of andere prijsvragen zijn of worden uitgewerkt. Ook beperkt het toepassingsbereik zich natuurlijk niet tot luchtproblemen als gevolg van het wegverkeer. Het “Ballenbak”-principe is breed toepasbaar op alle gebieden waar lucht gereinigd moet worden. Van industrie en scheepvaart tot veestallen.

Het grote voordeel van de ballenbak is de lage weerstand. De gebruikelijke filters in ventilatie-installaties van gebouwen hebben aanzienlijk grotere weerstand (100 pa tot ... Pa). Het vangstrendement (filterefficiency) van de gebruikelijke filters beweegt zich evenwel ook in meestal in de orde van 65% tot meer dan 95%. Voor het realiseren van een dergelijke filterefficiency zal een veel groter pakket aan ballenbakfilters in serie nodig zijn, hetgeen in ieder geval tot een toename van de weerstand leidt. Om redenen van afmetingen moet ook rekening worden gehouden met hogere luchtsnelheden. Voor toepassingen in gebouwen bestaan nog de nodige onzekerheden.

Alleen op grond van metingen van vangstrendement en weerstanden bij hogere luchtsnelheden (vanaf 5 m/s) en een langere weg door / met PS-bolletjes kan de haalbaarheid van toepassing bij gebouwen worden geëxploreerd. Gedacht moet worden aan een weg van tenminste enkele meters door EPS-bolletjes.

7 PLAN VAN AANPAK

Om de toepasbaarheid van de ballenbak in de verschillende varianten te kunnen vaststellen zijn nadere testen en onderzoeken noodzakelijk. Het hier beschreven stappenplan geeft een overzicht van de hiervoor benodigde werkzaamheden. Wellicht ten overvloede wordt daarbij aangemerkt dat als tijdens een stap niet het verwachte resultaat wordt behaald overwogen moet worden of het zinvol is om door te gaan met de volgende stap. Het plan van aanpak is opgebouwd uit een testfase en een productontwikkelingsfase.

7.1 Testen

stap 1: herleiden oorzaken PM_{10} en PM_{20} emissies (ca. 3-6 maanden)

- het schoonwassen van de polystyreenkorrels alvorens te gaan meten om aanwezig polystyreenstof te verwijderen;
- bepaling van de aard van de aangetroffen "stof" deeltjes in de uitgaande luchtstroom (stofkarakterisering m.b.v. elektronen- of lichtmicroscop);
- het meten van een "nulvariant" waarbij de proefopstelling zonder ballenbak wordt gemeten;
- het meten in de proefopstelling van een variant zonder bron/uitlaatgassen (bepaling PM_{20} / PM_{10} slechts ten gevolge van wrijving tussen de polystyreenkorrels onderling);
- langdurige meting in de proefopstelling teneinde te bepalen of het thans aangetroffen effect na lange tijd wellicht niet meer optreedt.

stap 2: aanvullende luchtkwaliteitsmetingen (ca. 6 maanden)

voorbereiding

- opstellen testprotocollen
- bouwen testopstelling waarmee de verschillende variabelen kunnen worden geoptimaliseerd

variabelen:

- bepalen filterrendementen bij verschillende laagdiktes van PS korrels
- bepalen optimale debiet en luchtsnelheid over het filter
- bepalen filterweerstand bij verschillende laagdiktes van PS korrels
- duurttest om de effectiviteit van het filter na verloop van tijd te bepalen; bepalen hoe vaak de PS-korrels moeten worden vervangen / geregenereerd.

7.2 Ontwikkelen toepassingsvarianten (> 12 maanden)

Op basis van de aanvullende testen ontstaat meer duidelijkheid omtrent de randvoorwaarden voor een succesvolle toepassing van ballenbakken. Daardoor ontstaat de mogelijkheid om keuzes te maken in door te ontwikkelen toepassingsvarianten. Per toepassingsvariant is een ontwikkelingstraject noodzakelijk waarbij de volgende zaken aan bod komen:

- Ontwerptekeningen, opbouw, doorsneden, materialisatie, principedetails, etc.
- Analyse van de verwachte verbetering van de luchtkwaliteit
- Analyse van de productiemethode
- Analyse van de productie-, montage- en onderhoudskosten
- Constructieve berekeningen m.b.t. stabiliteit, fundering, verankeringen, veiligheid, etc.

COLOFON

INITIATIEFNEMER:

DLA+ LANDSCAPE ARCHITECTS
ing. Harry H.W. Derks en ing. Vincent Naaijer
Wylersbaan 28a
6561 KR GROESBEEK
T 024 3976000
E info@dlaplus.nl

IN SAMENWERKING MET:

CLIMATIC DESIGN CONSULT
ir. Tom J. Haartsen
Postbus 40013
6504 AA NIJMEGEN
T 024 3780630
E thaartsen@climaticdesign.nl

PEUTZ BV
ir. Jeroen J.G. Heslen
Postbus 66
6585 ZH MOOK
T 024 3570707
E j.heslen@mook.peutz.nl

