

# Tweelaags ZOAB reinigen met ultrasoon geluid

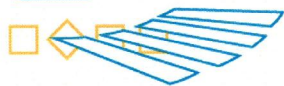


**Prijsvraag Schoner, Stiller en Homogener Asphalt  
Perceel 2, Stiller  
Eindrapport fase B (Uitvoeringsfase)**

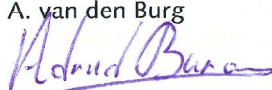
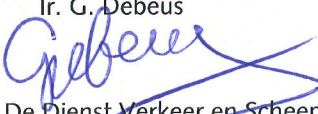


**Rapportnummer DWW-2007-021**

**Status: Definitief  
Bedrijfsnaam: Combinatie SSH  
Datum: augustus 2007**

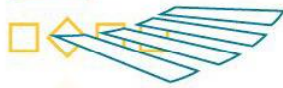




## Colofon

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>1. Rapportnummer</b><br/>DWW-2007-021</p> <p><b>3. Ontvanger catalogus nummer</b><br/>-</p> <p><b>5. Datum rapport</b><br/>augustus 2007</p> <p><b>7. Schrijver(s)</b><br/>Sietsche Eppinga, BAM Infra, Multiconsult<br/>Maurits van der Heiden, TNO</p> <p><b>9. Naam en adres opdrachtnemer</b><br/>Combinatie SSH-2<br/>Postbus 141<br/>4100 AC Culemborg</p> <p><b>12. Naam en adres opdrachtgever</b><br/>Rijkswaterstaat DVS, DGP &amp; VROM<br/>Postbus 5044<br/>2628 CS Delft</p> <p><b>15. Opmerkingen</b><br/>verspreiding: niet van toepassing</p> <p><b>17. Referaat</b><br/>In deze rapportage worden de onderzoeksresultaten gerapporteerd van een praktijkproef waarin Tweelaags ZOAB gereinigd is met ultrasoon geluid. Deze Ultrasonereinigingstechniek wordt toegepast om de geluidsreducerende werking van twee laags ZOAB te behouden.</p> <p><b>18. Aantal blz.</b><br/>-</p> <p><b>20. Acceptatie projectleider</b><br/>A. van den Burg<br/></p> <p><b>22. Acceptatie afdelingshoofd I&amp;I</b><br/>Ir. G. Debeus<br/></p> | <p><b>2. Serienummer</b><br/>-</p> <p><b>4. Titel en ondertitel</b><br/>Twee laags ZOAB reinigen met ultrasoon geluid</p> <p><b>6. Code uitvoerende organisatie</b><br/>Combinatie SSH-2 VOF</p> <p><b>8. Nummer rapport uitvoerende organisatie</b><br/>800-2006-009/ XXXX/sep</p> <p><b>10. Projectnaam</b><br/>Prijsvraag "schoner, stiller en homogener asfalt"</p> <p><b>11. Contractnummer</b><br/>DWW-2979</p> <p><b>13. Type rapport</b><br/>Onderzoeksrapport</p> <p><b>14. Code andere opdrachtgever</b><br/>-</p> <p><b>16. Trefwoorden</b><br/>Ultrasoon geluid, Tweelaags ZOAB, reinigen</p> <p><b>19. Prijs</b><br/>-</p> <p><b>21. Acceptatie programma manager IPG</b><br/>Drs. J. R. P. Nijland<br/></p> <p><b>23. Acceptatie directeur Mobiliteit</b><br/>Drs. Ing. A. L. J. Sprangers<br/></p> |
|---|---|
- De Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.





## Voorwoord

Samenwerking tussen overheid en marktpartijen biedt kansen om innovatie te bevorderen; zo ook in de GWW sector. Met die gedachte heeft Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde begin 2006 de prijsvraag "Verbetering van wegdekken" uitgeschreven. Bij deze prijsvraag is aan marktpartijen gevraagd complexe vraagstukken op het gebied van luchtkwaliteit, geluidsreductie en levensduur van tweelaags ZOAB op te lossen aan de hand van anticiperend onderzoek. Ervaringen bij het programma 'Wegen naar de Toekomst' hadden toen al geleerd dat een alternatieve marktbenadering, zoals een prijsvraag vaak leidt tot verrassende oplossingen die ook in de praktijk implementeerbaar zijn.

De prijsvraag 'Verbetering van wegdekken' bestaat uit drie verschillende onderdelen, of percelen met elk een eigen onderzoeksvraag.

- Perceel 1: het voorkomen van het opwerpen van fijnstof uit ZOAB
- Perceel 2: reinigen van tweelaags ZOAB om de geluidsreductie tijdens de levensduur te behouden.
- Perceel 3: het verbeteren van de homogeniteit van tweelaags ZOAB met het doel een langere levensduur te garanderen

Voor u ligt één van de drie realisatierapporten die in het kader van perceel 2 zijn opgeleverd. Ook voor de andere twee percelen zijn ieder drie rapporten afgerond. Van de dertig ingediende ideeën zijn er negen, door een onafhankelijke jury, genomineerd voor verdere uitwerking. De negen ontwikkelde ideeën zijn geschikt om in 2007 in proefprojecten te demonstreren, te monitoren en te rapporteren. Het ontwikkel- en realisatietraject is uitgevoerd door marktpartijen en door deskundigen van de overheid getoetst op de afgesproken procedure en op de technische inhoud. Voor perceel 2 betrof het de volgende personen:

### Rijkswaterstaat DWW      Marktpartijen

Wendy van den Pangaard  
Leon Kok  
Aad van den Burg  
Richard van Gent  
Rob Hofman  
Willem Jan van Vliet

Gerbert van Bochove, Heijmans  
Jan Hooghwerff, M+P  
Patrick van Beers, Heijmans  
Hugo Hillen, Hydrovac  
Tom van Buel, Van Kleef bv

### Rijkswaterstaat DON      Combinatie SSH

Hylke Visser  
Rien van den Berg  
Jan Alferts Westrik

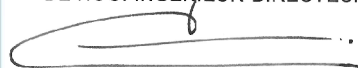
Sietsche Eppinga, Multiconsult  
Frits Geijsendorpher, BAM Wegen  
Jan Riphagen, BAM Wegen  
Maurits van den Heiden, TNO  
Matthijs Bokma, Koks

### Dura Vermeer Infrastructuur

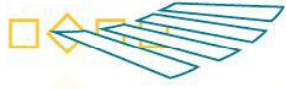
Laurens Smal  
Monique den Hertog  
Bas Laureijssen  
Bastiaan Ruiters

Samen is een flinke stap voorwaarts gezet bij deze vorm van publiek private samenwerking op het gebied van anticiperend onderzoek. Deze werkwijze kan in de toekomst vaker ingezet worden om onderzoeksvragen te beantwoorden.

RIJKSWATERSTAAT  
DIENST VERKEER EN SCHEEPVAART  
DE HOOFDINGENIEUR-DIRECTEUR



drs. G.J.A. Al



t

r

o

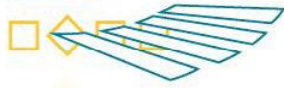
e

e

s

r





## Management samenvatting

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft een prijsvraag uitgeschreven om marktpartijen actief te betrekken in onderzoeks- en ontwikkelingswerkzaamheden binnen het onderzoeksproject "Verbetering wegdekken".

Onderdeel van deze prijsvraag is de vraag naar oplossingen voor het behouden van de geluidsreducerende functie van tweelaags ZOAB gedurende de gehele levensduur. De geluidsreducerende functie van tweelaags ZOAB neemt onder andere af naarmate het wegdek door gebruik en omgeving vervuild raakt in de tijd.

Binnen dit kader is door de combinatie SSH het idee aangedragen om door middel van ultrasoon geluid het vervuilde tweelaags ZOAB te reinigen en daarmee de geluidsreducerende functie van vervuild tweelaags ZOAB terug te brengen tot een acceptabele waarde. Dit rapport is het resultaat van de uitvoeringsfase waarin middels een praktijkproef tweelaags ZOAB is gereinigd met ultrasoon geluid. In de uitvoeringsfase hebben de samenwerkende partijen Koks, TNO, BAM Wegen en Multiconsult een prototype Ultrasoon Reiniger ontwikkeld waarmee de reinigingsproef is uitgevoerd. De reinigingsproef is uitgevoerd in een proefvak op de Rijksweg A28 nabij Staphorst. Het proefvak ( een zogenaamd zebrovak ) bestaat uit een wegdek van tweelaags ZOAB met een leeftijd van ca. 5 jaar met een bepaalde mate van vervuiling.

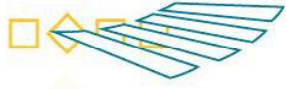
Voorafgaand aan deze praktijkproef is in de ontwikkelfase aan de hand van laboratoriumproeven de effectiviteit van ultrasoon reinigen van tweelaags ZOAB geanalyseerd. In het laboratorium van TNO zijn boorkernen van vervuild tweelaags ZOAB blootgesteld aan ultrasoon geluid waarvan vervolgens het reinigende effect is gemeten.

Toevoeging van ultrasoon geluid op vervuilde tweelaags ZOAB resulteerde in een verhoging van de waterdoorlatendheid van het betreffende asfalt. Deze resultaten boden kansrijke mogelijkheden om in een praktijkproef tweelaags ZOAB wegverhardingen te reinigen met ultrasoon geluid.

Het doel van de praktijkproef is aan te tonen dat reeds aangelegd vervuild tweelaags ZOAB met bijbehorende afname van de geluidsreducerende functie, door reiniging een verbeterde geluidsreducerende functie krijgt. Dit rapport bevat de resultaten van de praktijkproef. Tevens zijn de resultaten van de proef uitgezet tegen de laboratorium proeven van de ontwikkelfase. Uit de resultaten van de praktijkproef kan geconcludeerd worden dat reinigen met ultrasoon geluid in dit stadium nog geen effectieve reinigingsmethode is voor tweelaags ZOAB.

Naar aanleiding van deze prijsvraag wordt het rapport afgesloten met aanbevelingen voor zowel marktpartijen, kennisinstellingen en overheden en de samenwerking tussen deze partijen.





t

r

o

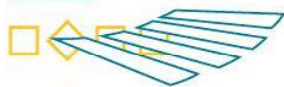
e

e

s

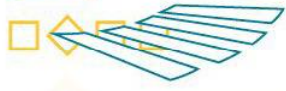
r





# Inhoudsopgave

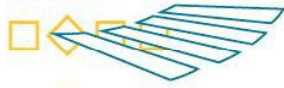
<b>1</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>9</b>
1.1	AANLEIDING PROEF .....	9
1.2	DEELNEMENDE PARTIJEN .....	9
1.3	SAMENVATTING IDEEËNFASE .....	11
1.4	SAMENVATTING ONTWIKKELFASE .....	11
<b>2</b>	<b>THEORETISCH KADER .....</b>	<b>13</b>
2.1	INLEIDING .....	13
2.2	GELUIDSREDUCERENDE FUNCTIE TWEELAAGS ZOAB .....	13
2.3	RELATIE GELUIDSTOENAME EN VERVUILING TWEELAAGS ZOAB .....	14
2.4	GELUIDSREDUCTIE GEDURENDE LEVENSDUUR TWEELAAGS ZOAB .....	16
2.5	WERKING ULTRASOON REINIGEN .....	17
2.6	THEORETISCHE ACHTERGROND MEETMETHODEN GELUIDSNIVEAU: .....	18
2.7	BESCHRIJVING OPLOSSING .....	20
<b>3</b>	<b>UITVOERING PROEF .....</b>	<b>25</b>
3.1	VOORBEREIDING ~ONTWIKKELING ULTRASOON REINIGER .....	25
3.2	PROEFLOCATIE .....	26
3.3	PERIODE BEPROEVING .....	28
3.4	PROEFOPSTELLING EN MEETOPSTELLING .....	29
3.5	OPZET REINIGINGSPROEF .....	30
<b>4</b>	<b>MONITORING .....</b>	<b>33</b>
4.1	INLEIDING .....	33
4.2	VISUELE INSPECTIE .....	33
4.3	WATERDOORLATENDHEIDSPROEVEN MET TOESTEL BECKER .....	34
4.4	BOORKERNEN .....	35
4.5	CPX METINGEN .....	38
4.6	BESCHOUWING & INTERPRETATIE VAN DE ONDERZOEKSGEGEVENS .....	40
<b>5</b>	<b>BEOORDELING WERKING ULTRASOON REINIGEN .....</b>	<b>43</b>
5.1	ONTWIKKELING REINIGINGSMETHODE MET ULTRASOON GELUID .....	43
5.2	PRAKTIJKPROEF VERSUS LABORATORIUM PROEF .....	44
5.3	GESCHIKTHEID TECHNIEK VOOR BEOOGD DOEL .....	45
5.4	KOSTENEFFECTIVITEIT OP HOOFDWEGENNETWERK .....	45
<b>6</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....</b>	<b>47</b>
6.1	EFFECTIVITEIT REINIGING MET ULTRASOON GELUID .....	47
6.2	MEERWAARDE REINIGINGSPROEF .....	47
6.3	UITDAGINGEN / KANSSEN ULTRASOON REINIGER .....	48
6.4	AANBEVELINGEN .....	48
<b>7</b>	<b>LITERATUURLIJST .....</b>	<b>51</b>



BIJLAGEN ..... 52

l' s [c] [c] [c] t





# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding proef

In april 2006 heeft Rijkswaterstaat, het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit en het Innovatieprogramma Geluid de prijsvraag Schoner, Stiller en Homogener Asfalt uitgeschreven. Doel was om de markt te stimuleren ideeën en producten te ontwikkelen die de gewenste verbeteringen op schonere lucht, stiller asfalt en homogener asfalt behalen. Dit rapport bevat een oplossing voor het onderdeel "stiller" waarbij de volgende vraag was geformuleerd;

*"Ideeën voor oplossingen die ervoor zorgen dat de geluidsreducerende functionele eigenschap van tweelaags ZOAB tijdens de hele levensduur van deze wegverharding zo hoog mogelijk blijft."*

De Prijsvraag bestond uit een drietal fasen; in de eerste, de ideeënfase werd de mogelijkheid geboden ideeën in te zenden. Uit deze ideeën is door een onafhankelijke jury de oplossing ultrasoon reinigen als één van de drie inzendingen geselecteerd om verder te ontwikkelen en vervolgens na goedkeuring van Rijkswaterstaat de uitgewerkte oplossing in de praktijk te gaan beproeven in de uitvoeringsfase.

Dit rapport beschrijft de laatste fase (de uitvoeringsfase) waarin in een praktijkproef tweelaags ZOAB is gereinigd met ultrasoon geluid.

## 1.2 Deelnemende partijen

De combinatie SSH-2 v.o.f. heeft het idee ultrasoon reinigen ingediend.

De combinatie SSH-2 bestaat uit de volgende partijen:

BAM Wegen bv

KOAC-NPC

Multiconsult bv

De operationele taken ten behoeve van de ontwikkeling van de ultrasoon reiniger worden uitgevoerd door het samenwerkingsverband welke bestaat uit de volgende partijen:

BAM Wegen bv, Utrecht

TNO, Delft

Koks Milieu en Voertuigtechniek bv, Alkmaar

Multiconsult bv, Culemborg

Het projectteam bestaat uit de volgende personen:

Frits Geijsendorpher, BAM Wegen Regio West

Jan Riphagen, BAM Wegen Materieel

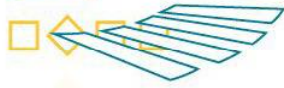
Maurits van der Heiden, TNO

Matthijs Bokma, Koks

Cas Houtenbos, Koks

Sietsche Eppinga, Multiconsult



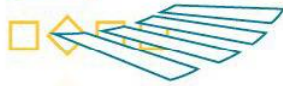


**Aanwezigen Reinigingsproef 23 mei 2007**



*b.r.v.l.n.r. Thijs Mackus(BAM), Wim Deheé(Koks), Mannes Vlieger (BAM), Frits Geijsendorpher(BAM), Henk Dulfer (BAM), Jan Riphagen (BAM), Sjoerd Wartena (BAM), Maurits van der Heiden (TNO), Rien van den Berg (RWS,) Klaas-Jan Visser (BAM), Leon Kok( RWS) o.r.v.l.n.r. Matthijs Bokma (Koks), Sietsche Eppinga (BAM), Gerbrand de Haan(BAM), Cas Houtenbos(Koks)*





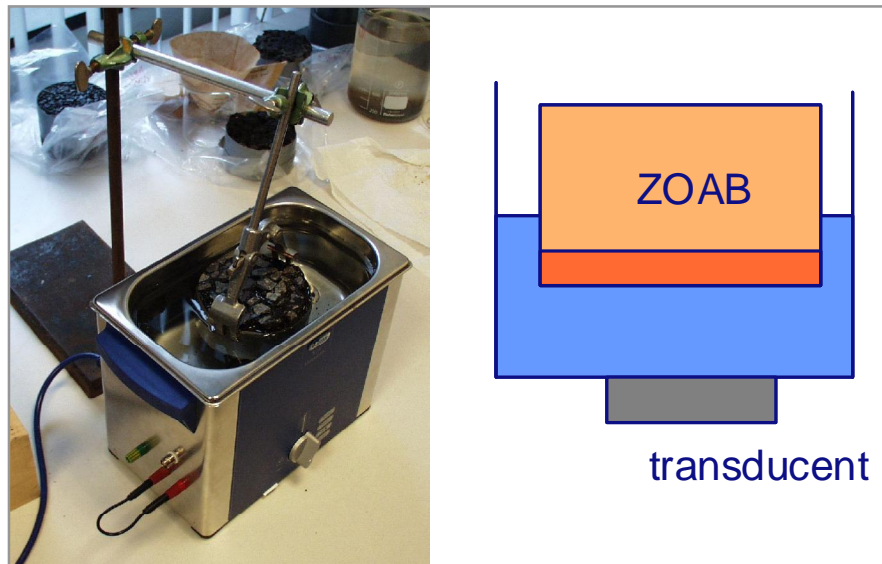
### 1.3 Samenvatting ideeënfase

Het geluidsniveau langs de snelweg heeft een directe relatie met het gebruik van het wegdek. Met name slijtage van autobanden en remblokken en omgevingsfactoren zoals vegetatie zorgen voor verontreiniging van het wegdek. Ook zand en andere deeltjes hechten zich vast in de poriën van zowel de fijne bovenlaag als de grove onderlaag van het tweelaags ZOAB. De geluidsreducerende werking van tweelaags ZOAB-wegverharding neemt door deze verontreiniging gedurende de levensduur af. Het verontreinigingsprobleem ontstaat met name op de vluchtstrook. Omdat hier nauwelijks verkeer rijdt treedt er geen pompende werking van banden op. Hierdoor ontstaat vervolgens ook verontreiniging ter hoogte van de (rechter)rijstrook. Dit wordt veroorzaakt doordat de afwatering uit de rijstrook wordt belemmerd en verontreiniging zich in de onderste delen van het wegdek vastzet. Om de geluidsreducerende werking van ZOAB gedurende de hele levensduur constant te houden, zijn oplossingen nodig om het asfalt te reinigen en/of verontreiniging voorkomen.

In het kader van de prijsvraag 'Schoner, stiller en homogener asfalt' is de kennis van verschillende partijen bijeengebracht om tot een mogelijke oplossing te komen. Binnen dit kader is het idee aangedragen om door middel van ultrasoon geluid het vervuilde tweelaags ZOAB te reinigen.

### 1.4 Samenvatting ontwikkelfase

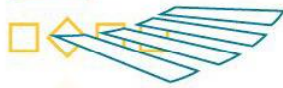
Voorafgaand aan deze praktijkproef is in de ontwikkelfase aan de hand van laboratoriumproeven de effectiviteit van ultrasoon reinigen van tweelaags ZOAB geanalyseerd.<sup>[1]</sup> In het laboratorium zijn boorkernen van tweelaags ZOAB blootgesteld aan ultrasoon geluid in een reinigingsbad.



Figuur 1: Opstelling voor ultrasone behandeling van boorkern in laboratorium.

<sup>[1]</sup> IPG, opgesteld door Combinatie SSH, Tweelaags ZOAB reinigen met ultrasoon geluid, de ontwikkelfase,

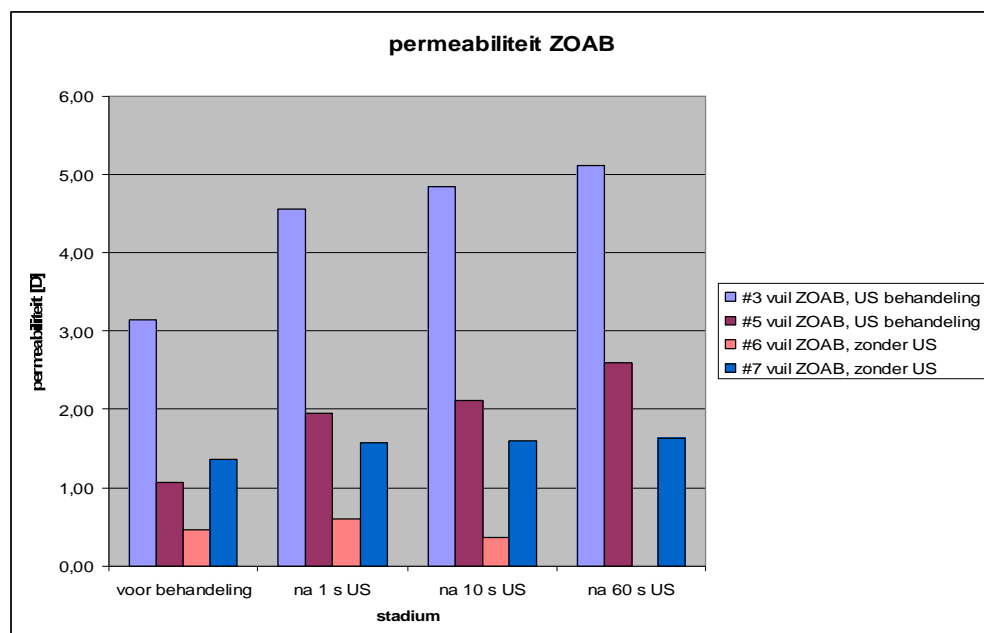




In het laboratorium zijn een tweetal bronnen van ultrasoon geluid getest. De eerste is een Ultrasonic HIFU transducent met een frequentie van 200 kHz ultrageluid. De tweede bron was het Ultrasoon reinigingsbad met een frequentie van 30 kHz. Deze laatste bleek veel effectiever dan de eerste. Bij het Ultrasoon reinigingsbad met een frequentie van 30 kHz kwam er direct na het inschakelen van het ultrasoon geluid veel vuil uit het tweelaags ZOAB. Dit was met name zand wat naar beneden dwarrelde. De effectiviteit van ultrasoon reinigen op de boorkernen is gemeten aan de hand van de verandering in permeabiliteit (doorlatendheid).

### Resultaten

Uit de laboratoriumproeven bleek een afname van de waterdoorlatendheid en een toename in permeabiliteit ten gevolge van de ultrasonische behandeling. De permeabiliteit wordt echter lang niet zo hoog als de permeabiliteit van schoon tweelaags ZOAB ( $27 \mu\text{m}^2$ ). Dit betekent dat de monsters bijzonder vervuild waren en dat bij deze monsters de indringdiepte onvoldoende is. Dit laatste is experimenteel bevestigd. Door gebruik te maken van een groter ultrageluidvermogen (750 W in plaats van 80 W) zal de indringdiepte aanzienlijk vergroot worden en zullen ook dieper gelegen poriën gereinigd kunnen worden.

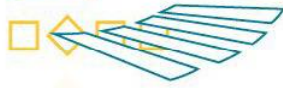


Figuur 2 : Resultaten permeabiliteit van boorkernen na behandeling ultrasoon geluid

In de bovenstaande grafiek zijn de resultaten af te lezen. Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat ultrasoon reiniging een verbetering in permeabiliteit van 80 % oplevert, waarvan 65 % binnen 1 seconde. Dit betekent dat ultrasoon reinigen mogelijkwijs met hoge snelheid kan plaatsvinden.

Deze resultaten boden kansrijke mogelijkheden om in een praktijkproef tweelaags ZOAB wegverhardingen te reinigen met ultrasoon geluid.





## 2 Theoretisch kader

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt enerzijds ingegaan op de theorie van de geluidsreducerende functie van tweelaags ZOAB en de invloed van vervuiling hierop. Anderzijds wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de theorie achter de oplossingsrichting van het ultrasoon reinigen en wordt de oplossingsrichting omschreven.

### 2.2 Geluidsreducerende functie tweelaags ZOAB

ZOAB werd in eerste instantie toegepast uit het oogpunt van verkeersveiligheid. Pas later kwam uit het oogpunt van milieu (geluidsreductie) ZOAB in de belangstelling te staan. Eind jaren tachtig werd bekend dat een betere geluidsreductie kan worden verkregen bij toepassing van fijnere mengsels. De geluidsreductie neemt aanzienlijk toe wanneer een steenslag van 4/8 mm wordt toegepast in plaats van de gebruikelijke steenslag van 6/16 mm.

Conform de Richtlijn tweelaags ZOAB <sup>[3]</sup> heeft tweelaags ZOAB een dunne bovenlaag die bestaat uit een fijn zeer open asfalt (4/8 mm). De dunne toplaag lever primair het geluidsreducerende effect door textuur en vlakheid. Tevens dient deze dichte structuur ervoor dat het vuil op het wegdek in mindere mate in de onderlaag terecht komt.

De onderlaag bestaat uit een zeer open asfalt met een grove één korrelige steenslag (11/16 mm). De onderlaag werkt ook in bepaalde mate mee aan de geluidsreductie. Deze onderlaag zorgt voor berging en zijdelingse afstroming van het regenwater.

De volgende factoren hebben invloed op de geluidsproductie van tweelaags ZOAB:

- Verkeersvolume
- Snelheid
- Verkeerssamenstelling
- Bandtypen
- Onderhoudsniveau van de voertuigen
- Wegdektypen
- Weerscondities
- Vervuiling

Binnen de scope van dit onderzoek richten we ons op het wegdektype als oorzaak, waarbij we de geluidsreducerende functie van het wegdektype dat aangetast wordt door vervuiling (gedeeltelijk) wensen terug te krijgen.

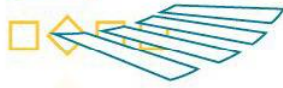
De wegdekeigenschappen die van belang zijn bij de geluidsproductie zijn:<sup>[6]</sup>

- De textuur
- De akoestische impedantie
- De wrijvingsweerstand
- De mechanische impedantie

<sup>[3]</sup> Technische Commissie Asfaltechnologie ( TCA ), de Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt ( VBW Asfalt ) ( 2002 ): *Richtlijnen voor twee laags ZOAB*

<sup>[6]</sup> TUDelft, CT3041. Hoofdstuk 8 Wegoppervlakeigenschappen





### **Textuur**

Elk wegdek heeft een zekere textuur. Die textuur is van belang in verband met de stroefheid van het wegdek. Door het rollen van de band over het wegoppervlak wordt de band in trilling gebracht. De textuur heeft direct te maken met de grootte van de steentjes die in het deklaagmengsel zijn gebruikt. De steenmaat voor deklaagmengsels ligt zo tussen de 1 en 20 mm. De grootte van de steentjes heeft invloed op het trillingsgedrag van de individuele profielblokken van de band. Door een grovere textuur zal de band meer in trilling worden gebracht en zal er dus meer geluid worden geproduceerd.

### **Wrijvingsweerstand**

De wrijvingsweerstand heeft invloed op het stick – slip mechanisme van de band. Een voorbeeld van stick – slip geluid is het piepende geluid dat banden in parkeergarages produceren.

### **Mechanische impedantie**

De mechanische impedantie (stijfheid) van de wegdekconstructie en van de band bepalen in hoeverre de opgewekte trillingen in het band/wegdek contact vlak kunnen worden overgedragen op het wegdek (waar demping optreedt) en naar de band (waar het geluid wordt afgestraald).

### **Absorptie geluid**

De holle ruimtes in een open wegdek (porositeit), de vorm van de holle ruimtes (structuurfactor), de weerstand die de stromende lucht in de poriën ondervindt (specifieke stromingsweerstand) en de dikte van de poreuze laag bepalen de mate van absorptie (akoestische impedantie) en de ligging van de absorptiepiek.

## **2.3 Relatie geluidstoename en vervuiling tweelaags ZOAB**

In de loop der tijd neemt het geluidsreducerend vermogen van ZOAB en tweelaags ZOAB af. Deze afname wordt veroorzaakt door het dichtslibben van de poriën. Het dichtslibben van deze poriën door vuil, stof e.d. heeft een afname van de geluidsreducerende werking van het tweelaags ZOAB tot gevolg. Voor tweelaags ZOAB is het met name het dichtslibben van de bovenlaag waardoor de geluidreductie afneemt.

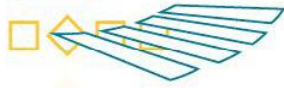
Juist een goede textuur (goede vlakheid, fijne gradering en speciale steensoort) en de poreuze structuur zorgen voor de geluidsreducerende eigenschappen van het tweelaags ZOAB. Uit onderzoek uitgevoerd door het Danisch Road Institute<sup>[2]</sup> blijkt dat er een positief verband is tussen de doorlatendheid van ZOAB en de geluidsreducerende functie. Het is nog moeilijk hier kwantitatieve waarden aan te geven.

### **Absorptie geluid<sup>[6]</sup>**

De holle ruimtes in een open wegdek (porositeit), de vorm van de holle ruimtes (structuurfactor), de weerstand die de stromende lucht in de poriën ondervindt (specifieke stromingsweerstand) en de dikte van de poreuze laag bepalen de mate van absorptie (akoestische impedantie) en de ligging van de absorptiepiek. Voor tweelaags ZOAB zal de onderlaag vooral als resonator optreden en kan de toplaag primair als een akoestische restrictie worden gezien.

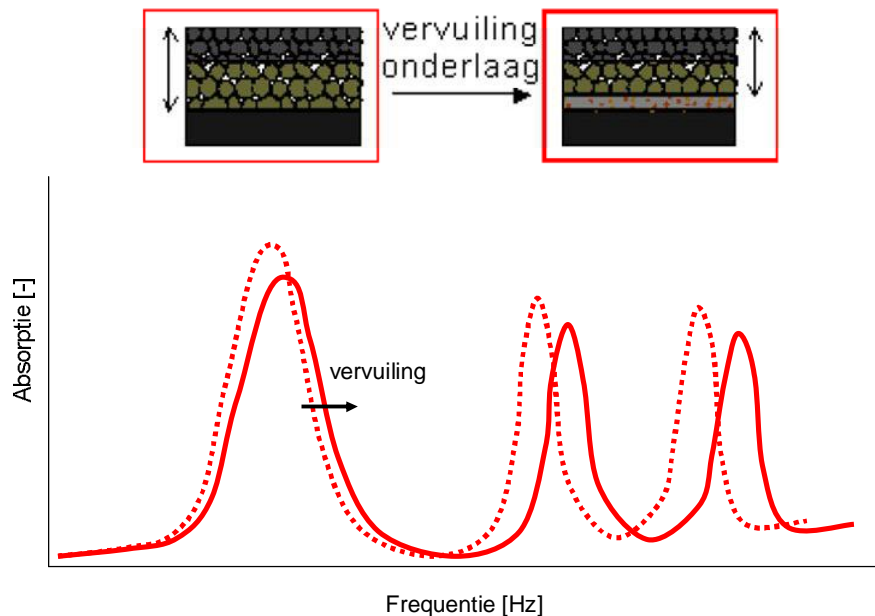
<sup>[2]</sup> Hans Brendtsen, Jorn Raaberg, Danisch Road Institute (2005): International Experiences with Clogging of Porous Pavement

<sup>[6]</sup> TUDelft, CT3041. Hoofdstuk 8 Wegoppervlakeigenschappen



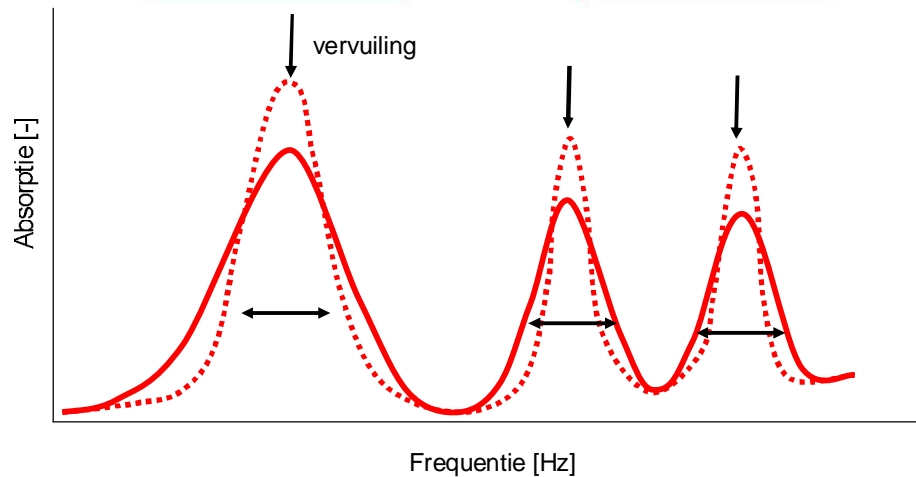
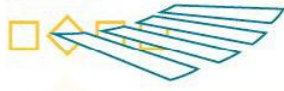
Als een ZOAB laag vervuilt betekent dat een vermindering van de porositeit en dus een verandering van de structuurfactor en een toename van de stromingsweerstand. Hierdoor zal ook de akoestische impedantie veranderen. In figuur 3 is aangegeven hoe het frequentie afhankelijk gedrag verandert indien de onderlaag van een tweelaags ZOAB vervuilt. Door de vervuiling verschuiven de resonantie pieken naar hogere frequenties en zal de absorptie licht afnemen. Vervuiling in de onderlaag kan hierdoor geïnterpreteerd worden als een afname van de effectieve hoogte van de onderlaag. Dit resulteert in een verschuiving van de frequentiepieken van een lager frequentiebereik naar een hoger frequentiebereik. De eerste resonantie piek in figuur 3 treedt op bij een frequentie van ongeveer 500 Hz.

Figuur 4 geeft het frequentie afhankelijk gedrag bij een vervuiling van de bovenlaag van tweelaags ZOAB. Door de vervuiling zal primair de stromingsweerstand toenemen. Door deze toename neemt de Q-factor af. Deze afname van de Q-factor zal niet zozeer de verandering van resonantie frequenties veroorzaken, maar zal primair de demping verminderen. Door de toename van de stromingsweerstand zal ten gevolge van air pumping een toename van hoog frequent geluid productie optreden.



Figuur 3: Gevolgen van het vervuilen van de onderlaag van tweelaags ZOAB.

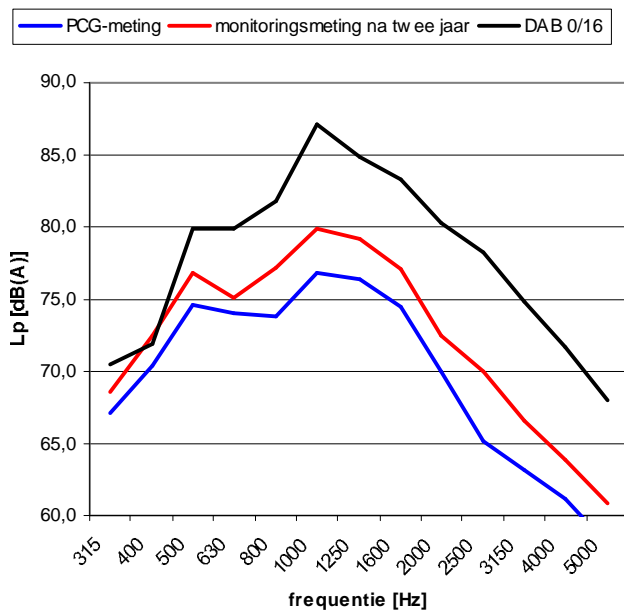




Figuur 4: Gevolgen van het vervuilen van de bovenste laag van tweelaags ZOAB

## 2.4 Geluidsreductie gedurende levensduur tweelaags ZOAB

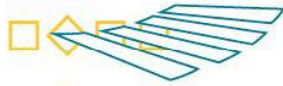
De volgende grafiek bevat de resultaten van CPX metingen van een willekeurig tweelaags ZOAB wegvak direct na aanleg en na een periode van twee jaar na ingebruikname. Na



oplevering van een wegvak wordt er conform de PCG-procedure een Close Proximity (CPX) meting uitgevoerd (blauwe lijn in figuur 5). In figuur 5 is te zien dat binnen het 1/3 octaafspectrum voor het gehele frequentiegebied het geluidsniveau toegenomen is na een gebruikperiode van 2 jaar (rode lijn).

Figuur 5 CPX metingen van tweelaags ZOAB gedurende levensduur

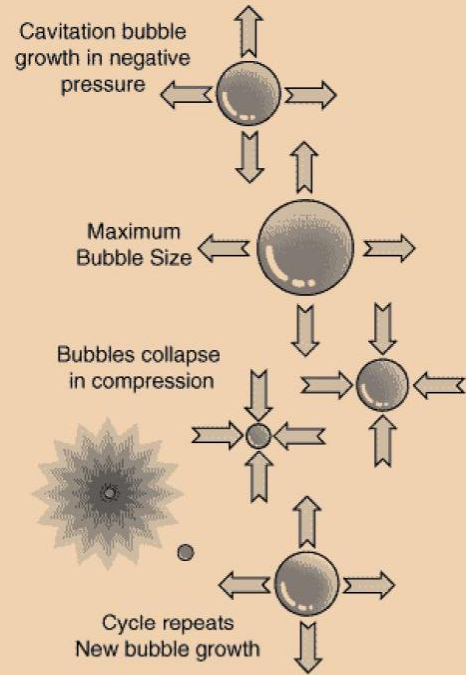


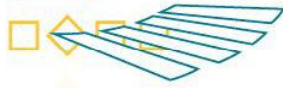


## 2.5 Werking ultrasoon reinigen

Bij ultrasoon reinigen wordt gebruik gemaakt van ultrasone trillingen in combinatie met water of een andere vloeistof. De trillingen die ontstaan, hebben een frequentie die te hoog is om gehoord te worden door het menselijk oor. Het ultrasone geluidsgebied begint vanaf ongeveer 20 kilohertz en loopt tot 500 megahertz. Een belangrijk fenomeen bij het toepassen van ultrasoon geluid voor reiniging is cavitatie. Ultrasone geluidsgolven kunnen akoestische caviteiten veroorzaken die vervolgens imploderen. Tijdens het imploderen ontstaat op lokale schaal een micro-jet, een erg krachtige vloeistofstroom met snelheden in de orde van 100 tot 150 m/s. Ook kunnen akoestische drukgolven resonantie van gasbelletjes veroorzaken. Daardoor kan een in een porie ingesloten gasbel op lokale schaal stroming veroorzaken, ook wel akoestische stroming genoemd. Ultrasoon reinigen maakt het zo mogelijk om zeer lokaal tot een zeer hoge drukkrachten te komen.

### Cavitation and Implosion



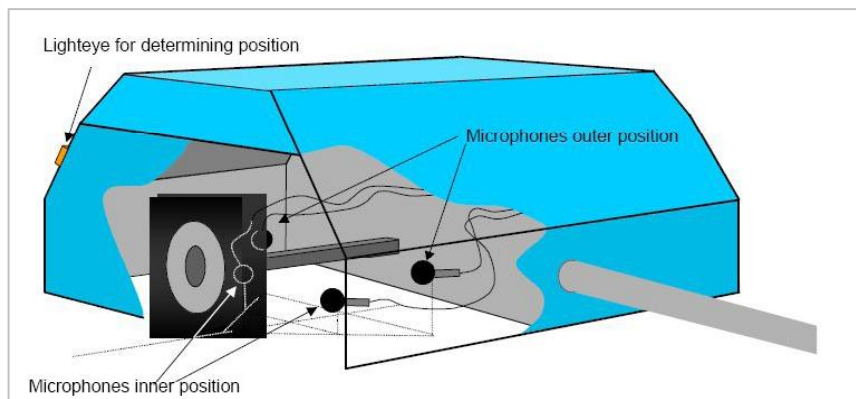


## 2.6 Theoretische achtergrond meetmethoden geluidsniveau:

### 2.6.1 CPX meting <sup>[7][6]</sup>:

Het effect van de reinigingsproef met ultrasoon geluid is gemeten aan de hand van een Close-Proximity (CPX) meting. Met de CPX-methode worden de geluidseigenschappen van een wegdek vastgelegd als functie van de afstand. Met de CPX-methode wordt in een meetaanhanger het rolgeluid gemeten met twee microfoons dichtbij de nauwkeurig gespecificeerde referentiebanden. Over een gedefinieerd deel van een weg wordt het geluidsniveau als functie van de positie bepaald. Voor deze proef zijn de CPX-metingen voor en na de reinigingsproef uitgevoerd door M+P. De trailer van M+P is voorzien van een ruime omkasting waardoor windgeluid en stoornis van overig verkeer zijn uitgesloten. Omdat de binnenwanden van de omkasting voorzien zijn van absorberend materiaal fungeert de meetaanhanger als halve dode kamer.

De niveaumetingen voor rolgeluid zijn uitgevoerd en geanalyseerd conform de CPX-methode beschreven in de internationale norm ISO/DIS-11819-2.<sup>[8]</sup> Hierbij wordt met een aanhanger over het wegdek gereden waarbij tegelijkertijd de snelheid en het A-gewogen geluidsniveau dichtbij de standaard meetbanden wordt gemeten. In figuur 6 en figuur 7 staat een schematisch overzicht, respectievelijk een foto van de M+P/ Müller-BBM trailer.



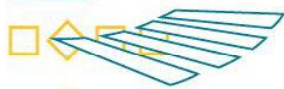
Figuur 6 schematisch overzicht van de M+P/ Müller-BBM trailer.

<sup>[8]</sup> [www.mp.nl](http://www.mp.nl)

<sup>[7]</sup> Ministerie van VROM, opgesteld door M+P Raadgevende ingenieurs bv, KOAC WMD ( 2002) *Richtlijnen stille wegdekken*

<sup>[9]</sup> ISO / DIS – 11819-2, “Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise part 2: The Close Proximity method”;





### Snelheidscorrectie

De metingen zijn uitgevoerd bij een nominale snelheid van 80 km/h. De meetresultaten zijn gecorrigeerd voor de werkelijk gereden snelheden met  $C_v$  volgens: met:

$$C_v = -b \cdot \log\left(\frac{v}{v_{ref}}\right)$$

met:

$C_v$ : snelheidscorrectie in [dB(A)]

$b$ : de snelheidsexponent [dB(A)]

$v$ : de werkelijk gereden snelheid in [km/h]

$v_{ref}$ : de referentiesnelheid [km/h]

Volgens de ISO-norm dient de waarde  $b$  voor dichte wegdekken 35 en voor open wegdekken 25 te bedragen.

De metingen zijn uitgevoerd met vier verschillende standaardbanden:

- band A : Avon ZV1;
- band B : Avon Enviro CR322;
- band C : Avon Turbogrip CR65 (winterband);
- band D : Dunlop SP Artic ( winterband)..

Per band is het gemiddelde A-gewogen geluidsniveau bepaald over het hele wegvak. Vervolgens wordt uit de geluidsniveaus de CPXcars, CPXtrucks en de CPXI\* berekend volgens:

$$CPX_{cars} = (L_A + L_B + L_C + L_D) / 4$$

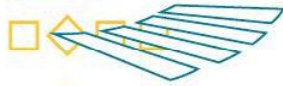
$$CPX_{trucks} = L_D$$

$$CPXI^* = 0,2 \cdot (L_A + L_B + L_C) + 0,4 \cdot L_D$$

met  $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_C$  en  $L_D$  als het gemiddelde A-

gewogen geluidsniveau per band.

De  $CPX_{cars}$  geeft resultaten die het meest representatief zijn voor het band-/wegdekgeluid van lichte motorvoertuigen (personenwagens). Voor

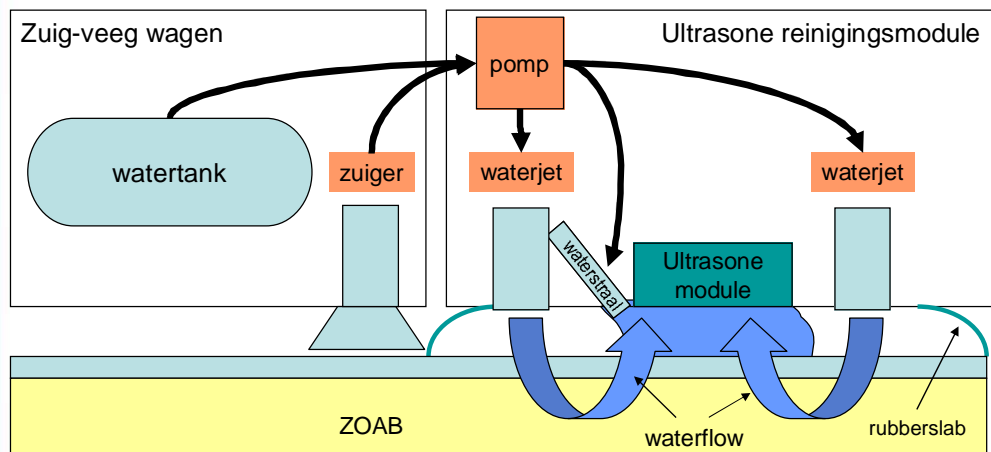


CPX<sub>trucks</sub> zijn de resultaten representatief voor het band-/wegdekgeluid van middelzware en zware motorvoertuigen (vrachtwagens).

## 2.7 Beschrijving oplossing

Het ontwerp werkt als volgt; een ultrasone bron wordt in een afgesloten bak geplaatst met een tussenruimte van circa 4 cm ten opzichte van de bovenkant van het asfalt. Om een goede ultrasone koppeling te krijgen tussen de ultrasone bron en de bovenlaag van het tweelaags ZOAB is een waterfilm noodzakelijk tussen beide oppervlakten. De afmeting van de bak is circa 1 meter breed bij 1 meter lengte. Deze afgesloten bak wordt waterkerend gemaakt door middel van een rubberafdichting aan de onderzijde tegen het contactvlak van het asfalt. Vervolgens wordt de waterbak gevuld met water. Met een gemiddelde snelheid van ca. 3 km/uur zal de contacttijd van het ultrasoon geluid ten aanzien van het wegdek circa één seconde bedragen. Uit de laboratorium proeven blijkt dat dit voldoende zou moeten zijn.

### 2.7.1 Opzet reinigingsmodule

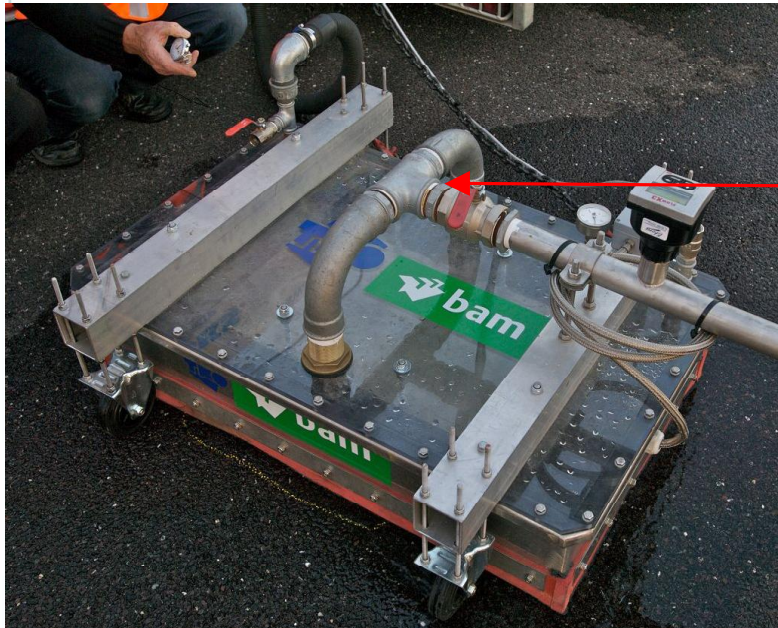
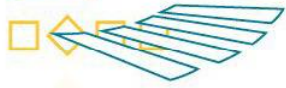


Figuur 8 Schematisatie opzet ultrasoon reiniger

Om tweelaags ZOAB te kunnen reinigen met ultrasoon geluid is voor de uitvoeringsfase een prototype ontwikkeld waarmee reinigingsproeven uitgevoerd kunnen worden.

Het prototype Ultrasoon Reiniger zal enkel een ultrasone geluidsbron bevatten waarmee enkel gereinigd wordt met ultrasoon geluid dat via een medium water de geluidstrillingen in het asfalt overbrengt. Dit betekent dat er niet is gezocht naar een optimale gecombineerde reinigingswagen waarbij, zuig-, veeg, hogedrukfuncties zijn geïntegreerd in de reinigingsmachines. Dit zou een mogelijke volgende stap kunnen zijn, nadat inzicht is verkregen in de werking van reiniging met ultrasoon geluid.





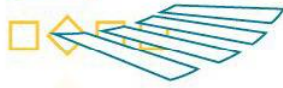
Ultrasone bron in de bak

*Figuur 9 Foto Ultrasoon reiniger gebruikt voor reinigingsproef*

### 2.7.2 Specificaties US bron

Voor de ultrasone experimenten is gebruik gemaakt van een ultrasone trilplaat (Weber Ultrasonics (DE), model TS 1500-25). De trilplaat bestaat uit een roestvrijstalen plaat met een oppervlak van 775 x 335 mm. Aan de binnenzijde van deze plaat zitten meerdere piëzo-keramische PZT-elementen gemonteerd. Deze PZT-elementen hebben een ultrasone frequentie van 25 kHz.





Figuur 10: Afbeelding van een ultrasone trilelement (boven) en de hoogfrequente bron (beneden).

De PZT-elementen worden met een 1500 Watt bron aangestuurd (Weber Ultrasonics (DE), model Sonic Digital LC). Door warmte ontwikkeling in de PZT-elementen kan dit vermogen niet continue worden aangebracht en wordt de bron afwisselend aan en uit gezet om oververhitting te voorkomen (sectie 3).

### 2.7.3 Werking en indringdiepte

Door de hoge ultrasone druk ontstaan kleine cavitatiebellen. Deze bellen groeien en worden instabiel waardoor ze imploderen. De implosie is hoog energetisch en heeft een reinigende werking.

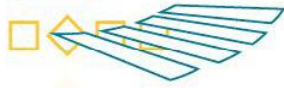
Er is een minimale ultrasone druk nodig om deze bellen te doen ontstaan. Bovendien zullen bij hogere drukken de bellen sneller groeien en dus zal implosie eerder optreden.

De implosie energie is frequentie afhankelijk, hoe lager de frequentie hoe groter de bellen en hoe meer vermogen de cavitatiebellen hebben. Vanwege dit fenomeen is voor een frequentie van 25 kHz gekozen. Bij deze frequentie hebben de bellen een diameter van ongeveer 50 - 150  $\mu\text{m}$ .

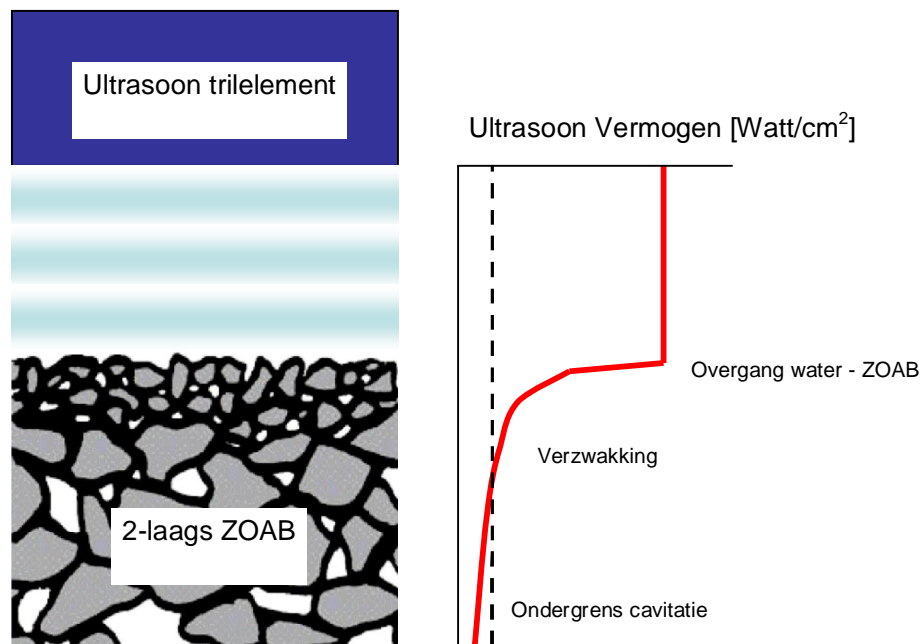
De ultrasone druk is afhankelijk van het vermogen van de PZT-elementen en het stralend oppervlak. De gebruikte ultrasone trilplaat heeft een akoestisch vermogen van ongeveer 2.5 Watt/cm<sup>2</sup>. Bij een akoestisch vermogen van ongeveer 0.5 Watt/cm<sup>2</sup> vindt in water cavitatie binnen 1 seconde plaats.

De overgang van water naar het tweelaags ZOAB zorgt voor een reflectie van het ultrageluid. Hierdoor neemt het akoestische vermogen in het ZOAB af. Daarnaast zorgt de reflectie voor een staande golf. Deze staande golf heeft een hoger energetisch vermogen ten opzichte van de uitgezonden golf. De staande golf ontstaat als de afstand tussen de trilplaat en het ZOAB een veelvoud is van de halve golflengte ( $\lambda/2 \approx 3 \text{ cm}$ ). Proeven in het lab hebben echter aangetoond dat dit effect minimaal is. Dit wordt veroorzaakt door de grillige structuur van ZOAB en de relatief lage reflectie van water naar ZOAB.

Vanwege de verschillende akoestische materiaaleigenschappen van ZOAB en water wordt een deel van de ultrasone energie gereflecteerd. Het ultrasone vermogen in het ZOAB zal ongeveer 55% zijn van het uitgezonden vermogen.



Door verzwakking en verstrooiing van het ultrageluid in het ZOAB zal het vermogen als functie van de penetratie diepte in het ZOAB nog verder afnemen. Indien het vermogen te laag wordt, zullen geen cavitatiebellen meer ontstaan binnen het uitzenden van ultrageluid (Figuur 11). Vanwege de karakteristieke afmetingen van de structuur in tweelaags ZOAB ten opzichte van de grote golflengte van de ultrasone golven is het te verwachten dat de penetratiediepte zeker 2 tot 4 centimeter zal zijn, voordat cavitatie niet meer optreedt. Dit betekent dat de reinigende werking in ieder geval in de top laag van het tweelaags ZOAB zal optreden.



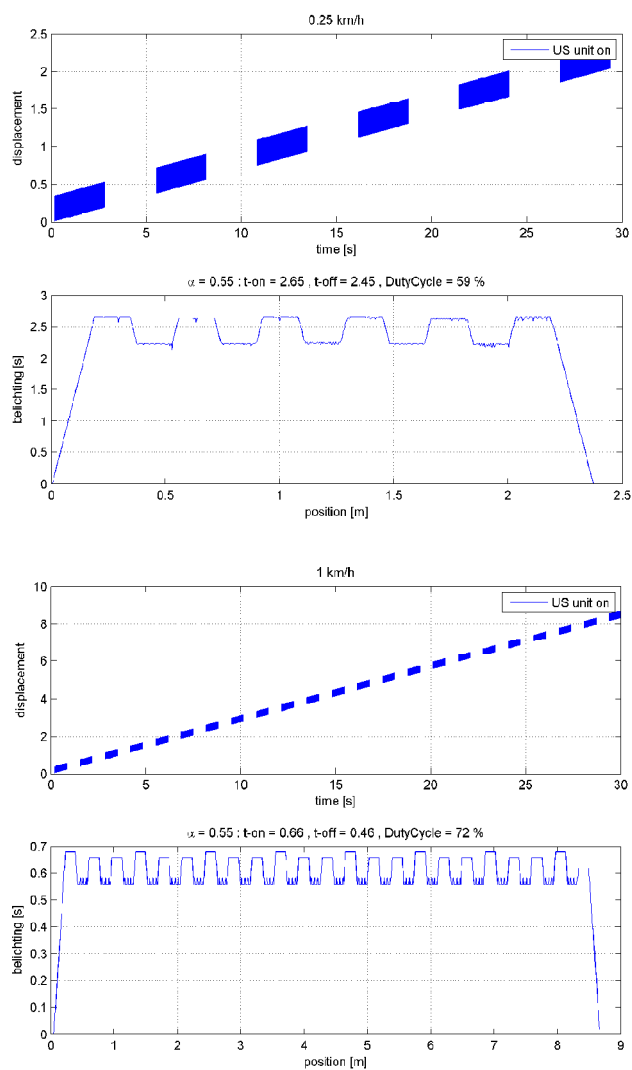
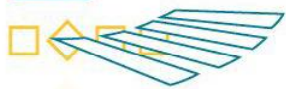
Figuur 11: Door reflectie en verzwakking van het ultrageluid neemt het ultrasone vermogen in het ZOAB af.

#### 2.7.4 Belichtingstijd

Het minimale ultrasone vermogen dat nodig is om cavitatie op te wekken bepaalt dat er zoveel mogelijk ultrasone vermogen moet worden uitgezonden. Door de warmte productie in het ultrasone trilelement kan dit vermogen niet continue worden aangeboden. De ultrasone unit moet daarom alternerend aan en uit geschakeld worden om oververhitting te voorkomen. Afhankelijk van de verhouding tussen aan en uit kan het gemiddeld vermogen bepaald worden.

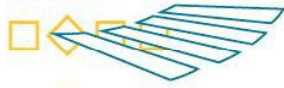
Om ervoor te zorgen dat het gehele wegdek gedurende ongeveer 1 seconde belicht wordt kan de maximale verplaatsingssnelheid bepaald worden. Tijdens de experimenten is met een snelheid van ongeveer 1.2 km/h gereinigd, waarmee het asfalt zeker 0,75 seconden is belicht.





Figuur 12: Door het aan/uit schakelen van de ultrasone unit wordt het asfalt met verschillende belichtingstijden gereinigd. Boven met een snelheid van 0,25 km/h en onder met een snelheid van 1 km/h.





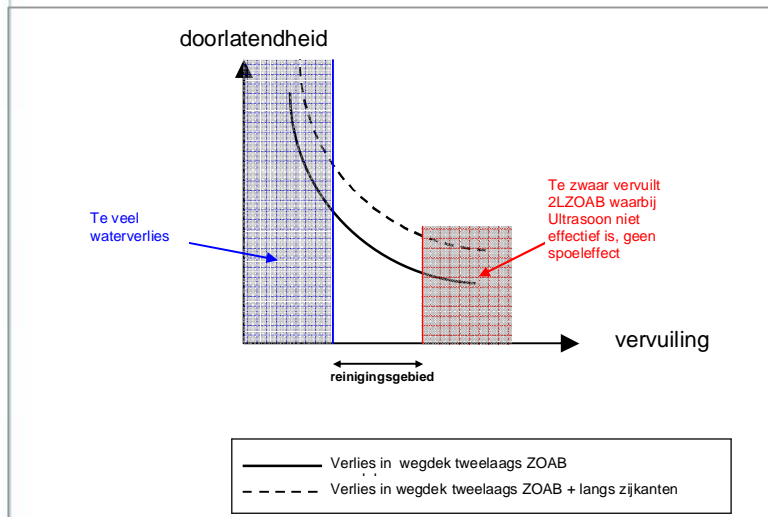
## 3 Uitvoering proef

### 3.1 Voorbereiding ~Ontwikkeling Ultrasoon Reiniger

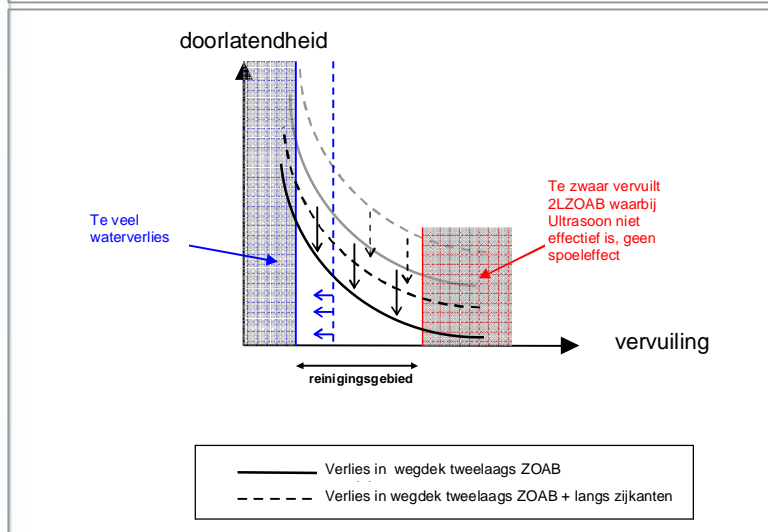
Na de verkregen laboratoriumresultaten van het ultrasone reinigen van boorkernen en de goedkeuring van de opdrachtgever voor de uitvoeringsfase, is in een zeer korte tijd het prototype ultrasoon reiniger ontwikkeld. Tijdens de ontwikkeling van de ultrasoon reiniger zijn een aantal proeven uitgevoerd en optimalisaties aan de apparatuur gerealiseerd om een optimale uitvoeringsproef te doen. Een aantal aspecten die tijdens de ontwerpfase de aandacht hebben gehad zijn:

- Frequentie en vermogen ultrasone bron
- Waterverlies tijdens reinigen
- Optimale afstand Ultrasone bron t.o.v. bovenkant wegdek
- Reinigingsnelheid

Het waterverlies vanuit de ultrasoon reiniger zowel via de zijkanten van de ultrasone bak langs het wegdek als direct naar de ondergrond hebben we door een verbeterd ontwerp weten te reduceren.

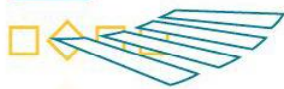


*Figuur 13. Oorspronkelijke situatie, met relatief veel waterverlies.*



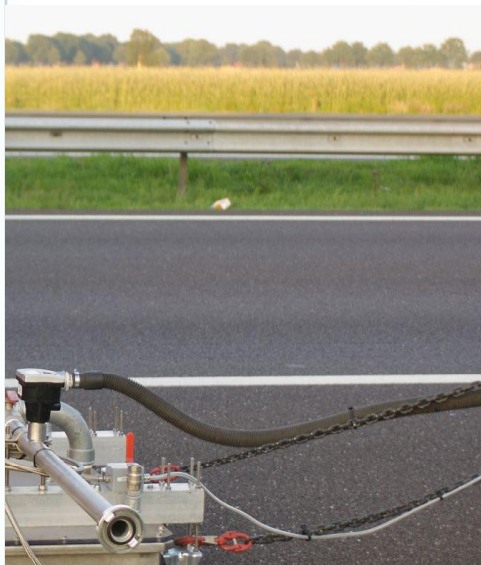
*Figuur 14. Verbeterslag waarbij waterverlies van ultrasoon reiniger afneemt.*





- Tijdens het ontwerptraject is er een optimaal reinigingsgebied gedefinieerd waarbinnen enerzijds het waterverlies acceptabel is en anderzijds het tweelaags ZOAB niet zo zwaar vervuild mag zijn dat er geen “spoeleffect” meer mogelijk is.

## 3.2 Proeflocatie



Voor het uitvoeren van de reinigingsproef werd een proefvak op de A28 nabij Staphorst aangeboden. Dit proefvak is onderdeel van een monitoringvak IPG.

Locatie vak: km 109.01-km 108.61 van Noord naar Zuid.

Het betreft één van de oudste vakken van tweelaags ZOAB die op het Hoofdwegennet in Nederland beschikbaar zijn.

De omgeving: Het vak is gelegen in een open landelijk gebied. De berm naast de vluchtstrook wordt door middel van een sloot gescheiden van het landbouw gebied naast de Rijksweg. De impact van organische vervuiling door bomen in de omgeving is gering.

### 3.2.1 Eigenschappen wegdek

De verhardingssoort van het wegdek is tweelaags ZOAB 4 / 8. Het vak is aangelegd in 2002 als een zogenaamd Zebrevak.<sup>a</sup>

Visuele inspectie:



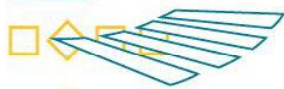
Op meerdere plaatsen, hoofdzakelijk in rijstrook 2 tussen de sporen werden kleine gaatjes waargenomen. (Diameter enkele cm). Het rechterrijspoor van rijstrook 2 heeft een wat mottig uiterlijk en vertoont plaatselijk begin van lichte rafeling.

Net naast het rechterrijspoor van strook 2 (west baan) is vrijwel over de gehele lengte van het vak een zwarte streep van meerdere centimeters breed zichtbaar. Het lijkt er op dat het asfalt hier lokaal behandeld is met een seal middel. De spoorvorming ter plaatse van het

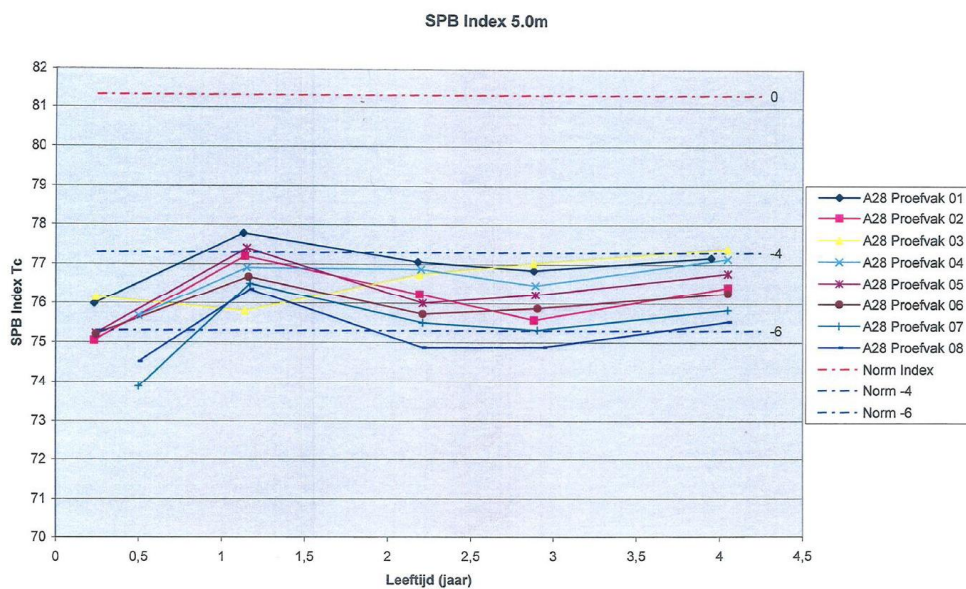
rechterrijspoor van rijstrook 2 bedraagt maximaal 4 mm.

<sup>a</sup> Zebrevakken zijn proefvakken tweelaags ZOAB die door combinatie De Acht zijn aangelegd om de kwaliteit en eventuele variatie van tweelaags ZOAB in de praktijk aan te tonen.

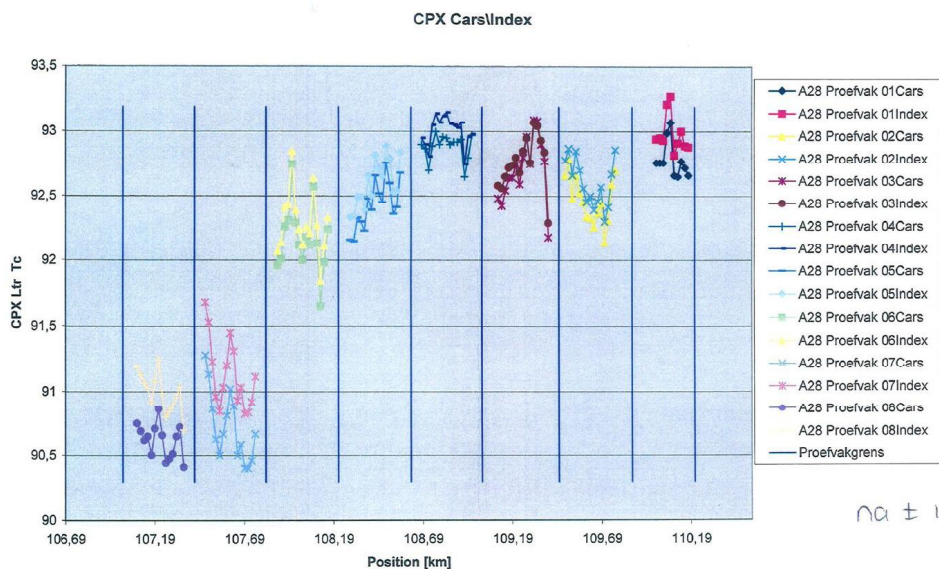




**Metingen van IPG van het proefvak**



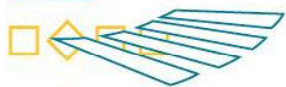
Figuur 15 SPB Metingen van het proefvak A28 gedurende de levensduur



Figuur 16 CPX metingen van proefvak A28 na circa 1 jaar

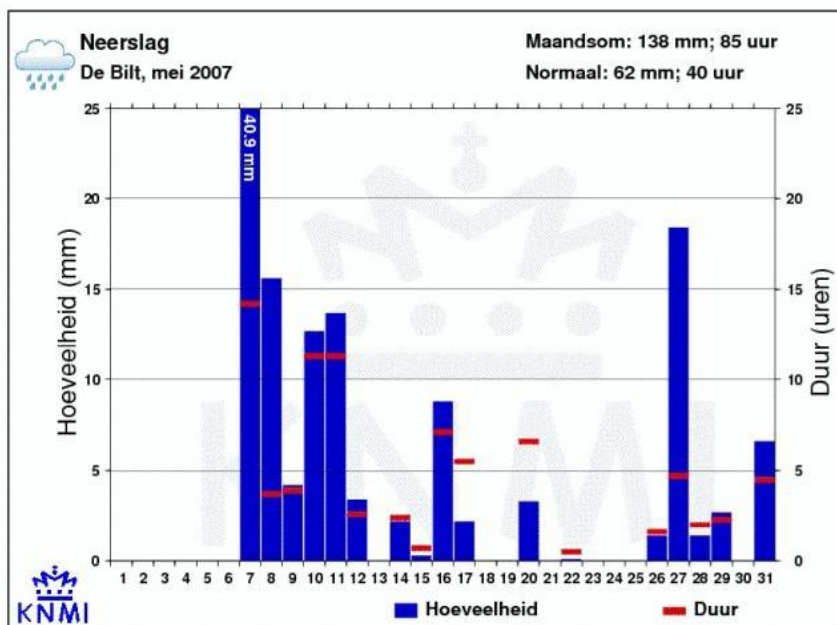
Uit de bovenstaande figuren valt af te lezen dat de geluidsreducerende functie van het tweelaags ZOAB na een levensduur van 5 jaar nog relatief goed is. Hieruit zou men kunnen afleiden dat het toegewezen proefvak ook niet zwaar vervuild zal zijn .

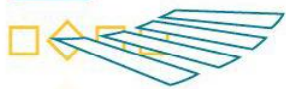




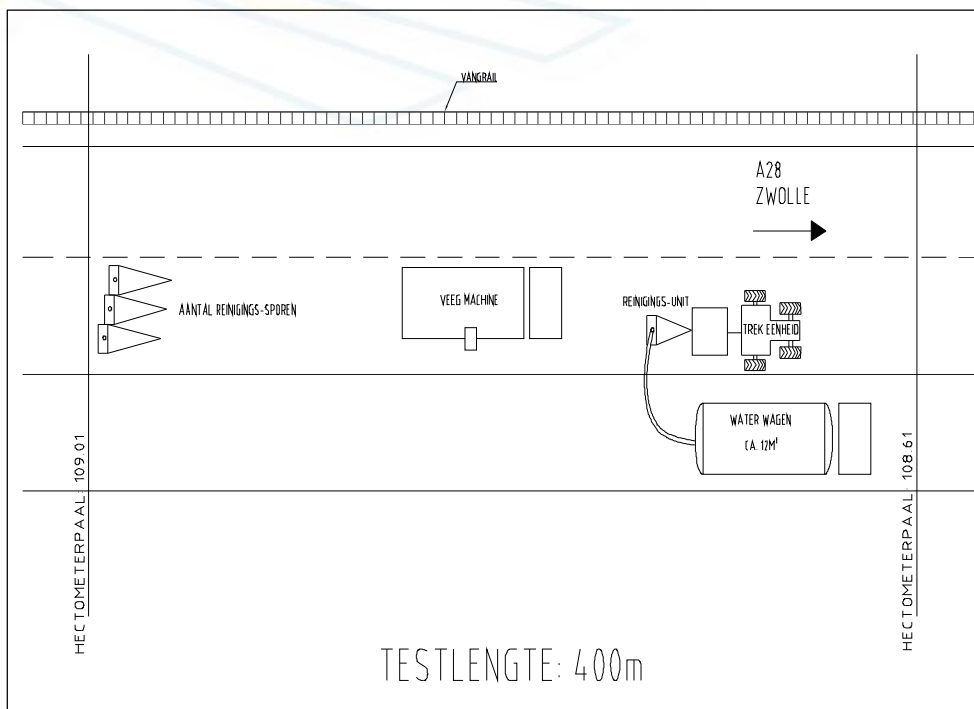
### 3.3 Periode beproeving

De proef is uitgevoerd in de nacht van 23 mei op 24 mei 2007. Op dat moment was het droog en helder weer. In periode voorafgaand aan de proef is er relatief veel neerslag gevallen in de omgeving Staphorst.





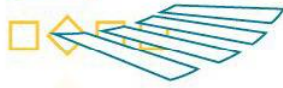
### 3.4 Proefopstelling en meetopstelling



Figuur 17 Proefopstelling Reinigingsproef

Het prototype ultrasoon reiniger is achter een aanhangwagen gekoppeld. Deze samenstelling wordt voort getrokken door een tractor. Aangezien de ultrasoon reiniger voor dit experiment voortgetrokken moet kunnen worden met zeer lage snelheden is een tractor het meest geschikt. De watertoevoer voor de ultrasoon reiniger wordt vanuit een watertank via een slang aangekoppeld aan het prototype. Deze tankauto rijdt naast de tractor over de vluchtstrook gelijktijdig op.





De ultrasoon reiniger heeft als primaire functie het 'lostrillen van vuil. Na de ultrasoon behandeling zal de veeg / zuigwagen het vuil opzuigen.

Aangezien het ultrasoon reinigen van tweelaags ZOAB een totaal nieuwe vinding is, is ervoor gekozen alle onderdelen los van elkaar te houden om op deze manier beter inzicht te krijgen in de werking van de onderdelen. Voor deze reinigingsproef is voornamelijk de nadruk gelegd op de primaire functie van ultrasoon geluid, namelijk het lostrillen van vuil. Dit betekent dat ten aanzien van het verwijderen van het vuil, naar de bovenkant, of met het hemelwater mee door de onderlaag nog de nodige aandacht vergt. Dit zal bij gebleken geschiktheid van de methode verder onderzocht kunnen worden.

### 3.5 Opzet Reinigingsproef

Bijlage 1 bevat het draaiboek van de reinigingsproef van 23 mei 2007. Hierin zijn alle werkzaamheden stapsgewijs weergegeven.

Het programma zag er samengevat als volgt uit:

#### 1. Voorbereiding / afstemming materialen:

In proefvak A is beproefd of de optimale reinigingssnelheid 0,5 km/uur, 1 km/uur of 3 km/uur was. Het reinigingseffect is gemeten aan de hand van de mate van waterdoorlatendheid van het wegdek ter plekke met het toestel van Becker. Er is gekozen voor deze methode aangezien het snel informatie verschaft. Tevens werd tijdens deze fase de ultrasone bron juist ingesteld op optimale hoogte en overige instellingen.

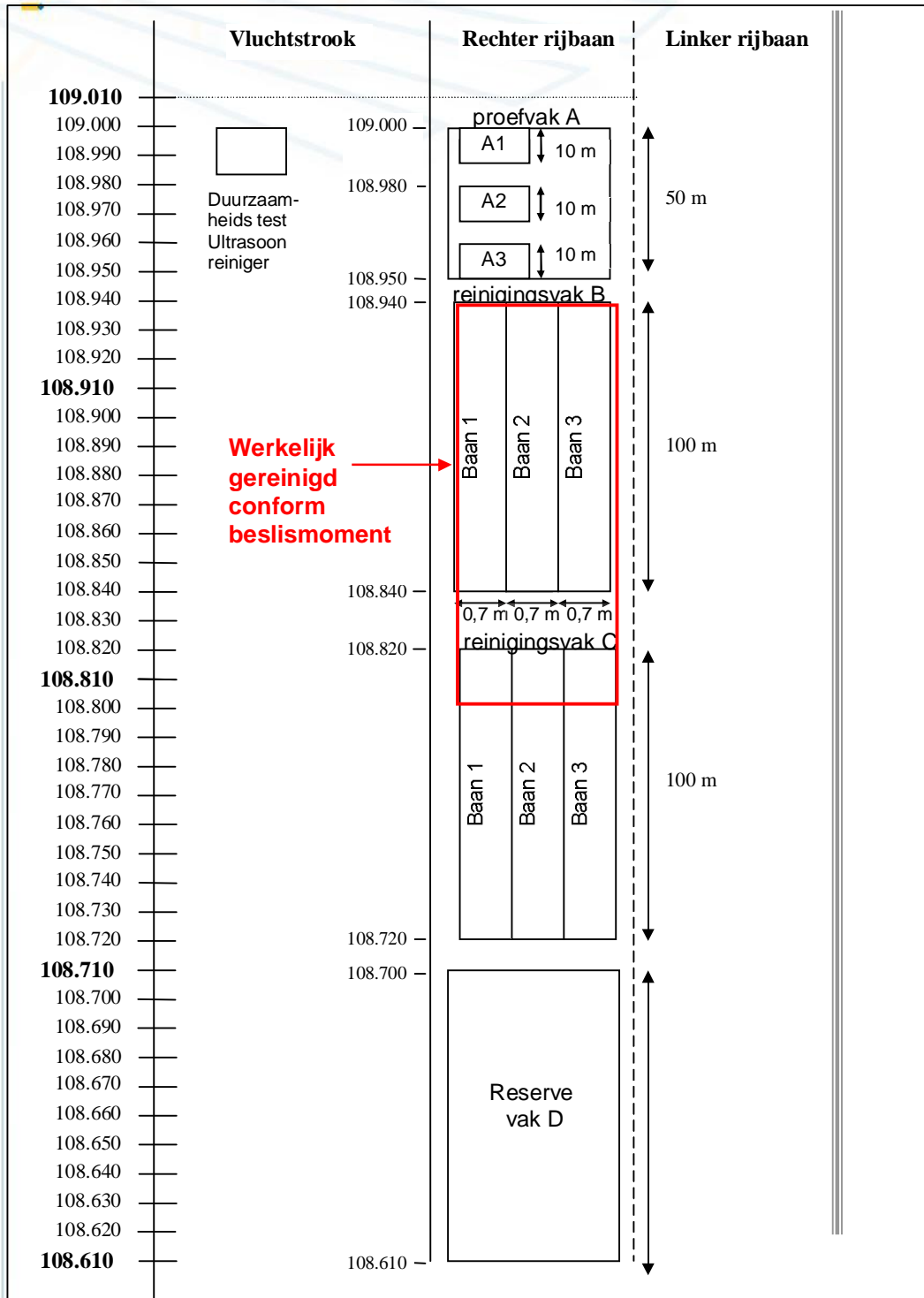
#### 2. Extra duurzaamheidtest Tweelaags ZOAB

Op km 109.0 is op de vluchtstrook een proefvak ingericht waar gedurende 5 minuten het tweelaags ZOAB is blootgesteld aan ultrasoon geluid. Na een visuele inspectie van het tweelaags ZOAB worden vervolgens een aantal waterdoorlatendheid proeven gedaan en zijn er kernen geboord.

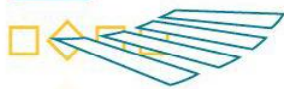
#### 3. Beslismoment go/ no-go reiniging.

Op basis van de resultaten uit de voorgaande fasen is besloten om door te gaan met de proeven. In figuur 18 is een opzet van de proefvakken weergegeven. Aangezien tijdens de voorproeven geen verschil effecten gemeten werden met het toestel van Becker t.a.v. de optimale reinigingssnelheid en het al dan niet herhalen van de reinigingsproef is er voor gekozen om uiteindelijk 1 vak te reinigen met een lengte van 140 meter. Zie figuur 18.

Proefvakken conform Draaiboek 23 mei 2007



Figuur 18 Reinigingsvak conform draaiboek



#### 4. Nulmetingen:

Visuele inspectie tweelaags ZOAB, textuur en vervuiling analyseren  
Waterdoorlatendheid met toestel van Becker.  
Boorkernen in vluchtstrook en rechterrijbaan

#### 5. Ultrasonische behandeling

Van proefvak km 108.94 tot en met 108.8 is de rechterrijbaan gereinigd. Deze reiniging heeft plaatsgevonden door drie banen van elk 70 cm breed te reinigen met een snelheid van c.a. 3 km / uur.

#### 6. Meting na reiniging

Visuele inspectie, analyse vuil in veeg /zuigwagen  
Waterdoorlatendheidsproeven  
Boorkernen

#### 7. Afronding

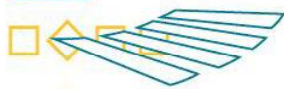
Doornemen proef en eventuele vervolg acties 23 mei 2007.

#### CPX metingen

De CPX metingen voor en na reiniging zijn resp. 3 mei 2007 en 12 juni 2007 uitgevoerd door M+P Raadgevende ingenieurs. In het volgende hoofdstuk zijn de resultaten van deze geluidsmetingen weergegeven.







## 4 Monitoring

### 4.1 Inleiding

In het kader van de reinigingsproef zijn de volgende metingen zijn uitgevoerd.

- Visuele inspectie
- Waterdoorlatendheidsproeven
- Boorkernen
- CPX meting

### 4.2 Visuele inspectie

De visuele inspectie is uitgevoerd op 4 mei 2007 voor reiniging en op 23 mei 2007 tijdens en na reiniging. De bevindingen terplekke waren de volgende:

#### 4.2.1 Nulmeting:

Op meerdere plaatsen , hoofdzakelijk in rijstrook 2 tussen de sporen werden kleine gaatjes waargenomen. ( Diameter enkele cm ). Het rechterrijspoor van rijstrook 2 heeft een wat mottig uiterlijk en vertoont plaatselijk begin van lichte rafeling.

Net naast het rechterrijspoor van strook 2 ( aan de rechterzijde ) is vrijwel over de gehele lengte van het vak een zwarte streep van meerdere centimeters breed zichtbaar. Het lijkt er op dat het asfalt hier lokaal behandeld is met een seal middel. De spoorvorming ter plaatse van het rechterrijspoor van rijstrook 2 bedraagt maximaal 4 mm.

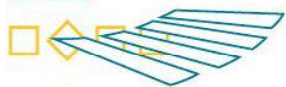
De mate van vervuiling op de vluchtstrook was aanzienlijk meer dan op de rechterrijbaan.

#### 4.2.2 Visuele inspectie na reiniging

Aangezien de reinigingsmethode met Ultrasoon Geluid water als medium nodig heeft, ontstaat na reinigen een nat wegdek. Op "zwaar" vervuilde stukken op de vluchtstrook was te zien dat water in eerste instantie op het wegdek bleef staan alvorens het via afschot richting de zijkant afliep. De mate van indringing van het water door het asfalt heen was hier beperkt en aanzienlijk minder in vergelijking met de rechterrijstrook welke minder vervuild was.

Na reiniging met ultrasoon geluid is een veeg/zuigwagen over het behandelde oppervlak gereden. De verwachting of dit gewenst resultaat op zou kunnen leveren was / is onzeker. Na reiniging is geanalyseerd of er en hoeveel vuil er opgezogen was. Dit bleek nagenoeg niets te zijn.





### 4.3 Waterdoorlatendheidsproeven met toestel Becker

De waterdoorlatendheidsproef geeft niet direct informatie over de geluidsreducerende functie van tweelaags ZOAB. Zoals omschreven in het theoretisch kader in hoofdstuk 2 is er een relatie tussen de waterdoorlatendheid en de mate van vervuiling van tweelaags ZOAB. Vervuiling blijft achter in de holle ruimten van het asfalt waarbij het volume aandeel holle ruimten gereduceerd wordt.



De waterdoorlatendheidsproef met het toestel van Becker is een flexibel en direct toepasbare meetmethode. Om direct inzicht te kunnen krijgen in de reinigende werking van de ultrasoon geluid is ervoor gekozen om dit terplekke voor en na reiniging te meten met het toestel van Becker.

*Figuur 19 Proef met toestel van Becker*

#### 4.3.1 Resultaten waterdoorlatendheid

Effectmeting: variatie duur van ultrasoon reinigen

##### 1<sup>e</sup> proef vluchtstrook , beoordelen invloed ultrasoon op asfaltkwaliteit en meten waterdoorlatendheid

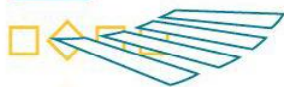
km 109.0	
vóór reinigen	120 sec
na 5 min stilstaand reinigen vóór zuigen	109 sec
na zuigen	110 sec

##### Proef rijstrook 2, rechterrijspoor, meten waterdoorlatendheid

km 108.90	
vóór reinigen	49 sec
na 5 min stilstaan reinigen vóór zuigen	48 sec
na zuigen	54 sec

##### Proef rijstrook 2, rechterrijspoor, meten waterdoorlatendheid





km 109.0	
vóór reinigen	56 sec
na rijdend reinigen vóór zuigen	55 sec
na zuigen	57 sec

### Vergelijk waterdoorlatendheid met eerdere metingen van 4 mei j.l.

#### Rijstrook 2

Nr.	km	ts	is	Uitstroamtijd		Opm.
				4 mei	23 mei	
1	108.900		*	26	36	gereinigd
2	108.888	*		24	39	voor reiniging
3	108.875	*		30	32	voor reiniging
4	108.863		*	38	50	gereinigd
5	108.850		*	46	51	gereinigd

ts = tussen spoor  
is = in rechterspoor

#### Proef rijstrook 2 met verlaagde ultrasoon unit

km 108.930m tussen spoor	
vóór reinigen	33 sec
na ½ min stilstaand reinigen en zuigen	36 sec

#### Proef rijstrook 2 alleen water geen ultrasoon

108.95 tussen spoor	
vóór water	35 sec
na water	38 sec

#### Proef rijstrook 2 met verhoogde waterstand in bak (minder onderdruk)

108.925 ter hoogte van linker spoor	
vóór reinigen	40 sec
na rijdend reinigen	39 sec
na zuigen	49 sec

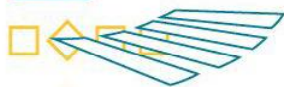
#### 4.3.2 Betrouwbaarheid waterdoorlatendheid met toestel Becker.

Er is een grote variatie gemeten in de nulmetingen ( metingen voor reiniging ) die uitgevoerd zijn op 4 mei 2007 en die uitgevoerd op 23 mei 2007.

## 4.4 Boorkernen

### 4.4.1 Effect Ultrasoon Geluid materiaaleigenschappen van tweelaags ZOAB

Ondanks de nauwkeurige beoordeling van TNO ten aanzien van het effect van ultrasoon geluid op de materiaaleigenschappen van tweelaags ZOAB is besloten om dit extra te testen in de praktijk voorafgaand aan de proef ter plaatse.



Op km 109.0 is op de vluchtstrook een proefvak ingericht waar gedurende 5 minuten het tweelaags ZOAB is blootgesteld aan ultrasoon geluid. Bij een reguliere reinigingsbehandeling zal het asfalt slechts enkele seconden aan het ultrasoon geluid worden blootgesteld. Om overtuigend te kunnen zijn dat het geluid de materiaal eigenschappen van tweelaags ZOAB niet aantast is besloten gedurende 5 minuten met een vermogen van 0,5 Watt/cm<sup>2</sup>.



Na deze behandeling is een boorkern genomen op het effect de kunnen waarnemen. De resultaten hieruit waren conform verwachting positief en kon definitief de conclusie getrokken worden dat ultrasoon geluid geen negatief effect heeft op de materiaaleigenschappen van tweelaags ZOAB.

*Figuur 20 Nemen van een boorkern in het proefvak*

#### 4.4.2 Mate van vervuiling a.d.h.v. analyse boorkernen

Op 4 mei 2007 zijn uit het proefvak tweelaags ZOAB, voordat de reiniging plaats vond 5 boorkernen genomen.

De boorkernen zijn gebruikt voor een door de DWW uitgevoerde CT scan, De resultaten van dit onderzoek worden apart gerapporteerd.

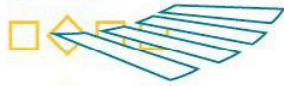
Na het scan onderzoek zijn de boorkernen in het laboratorium van BAM Wegen te Den Haag gedurende 2 etmalen opgeslagen bij een temperatuur van - 10 ° C . Vervolgens zijn de kernen gespleten

#### Boorlocaties

##### Boringen

Nr	km	strook	tussen spoor	in spoor
1	108.900	2		*
2	108.875	2	*	
3	108.850	2		*
4	108.825	2	*	





5

108.800

2

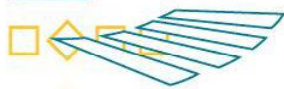
\*

### Visuele beoordeling na splijten

Uit een visuele beoordeling na het splijten van de kernen blijkt dat de vervuiling zich met name manifesteert in de bovenlaag. In de onderlaag is nauwelijks vervuiling waarneembaar. Opgemerkt wordt dat de vervuiling in de bovenlaag visueel beoordeeld ook slechts gering is.



*Figuur 21 Foto één van de gespleten boorkernen.*



## 4.5 CPX metingen

### 4.5.1 Nulmeting:

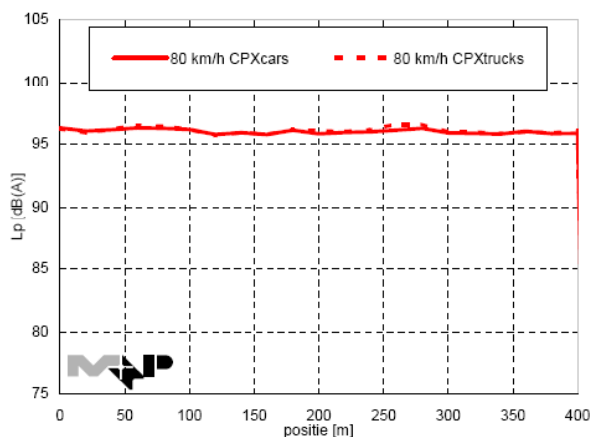
De resultaten van de nulmeting is hierachter bijgevoegd.

### Close Proximity (investigatory)

(inner microfoonposities rechtterrijspoor)

<b>Locatie</b>	Staphorst A28, Proefvak 4	<b>Datum</b>	03-05-2007
<b>Lengte wegvak</b>	400 meter	<b>Temperatuur lucht [°C]</b>	15
<b>Richting</b>	Zwolle	<b>Temperatuur wegdek [°C]</b>	30
<b>Wegdek</b>	2-laags ZOAB		
<b>Rapportnummer</b>	M+P.WHE.06.04.1		

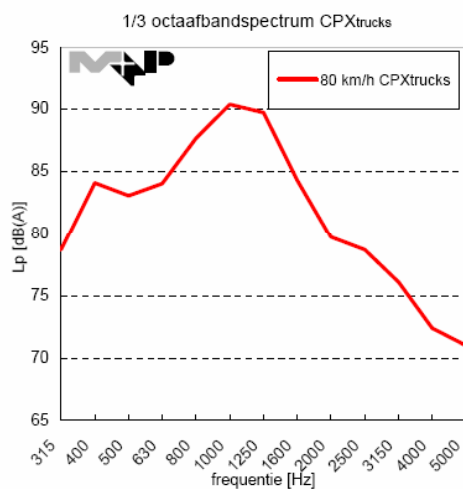
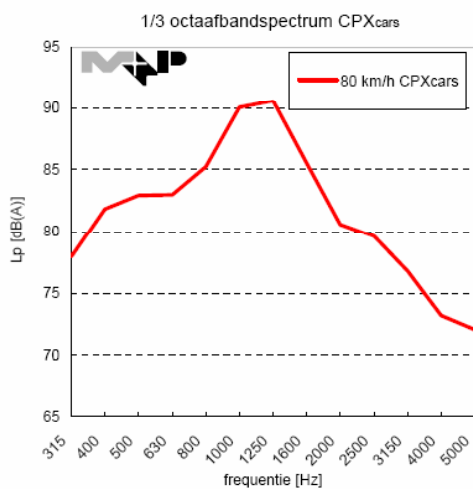
#### CPX-waarden



band A	: Avon ZV1
band B	: Avon Enviro CR322
band C	: Avon Turbogrip CR65
band D	: Dunlop SP Arctic

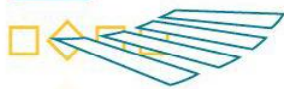
v [km/h]	50	80	110
CPX <sub>cars</sub> [dB(A)]	-	96.0	-
stand. dev	-	0.2	-
CPX <sub>trucks</sub> [dB(A)]	-	96.1	-
stand. dev	-	0.3	-
CPXI [dB(A)]	-	96.0	-
stand. dev	-	0.2	-

#### Frequentie-analyse



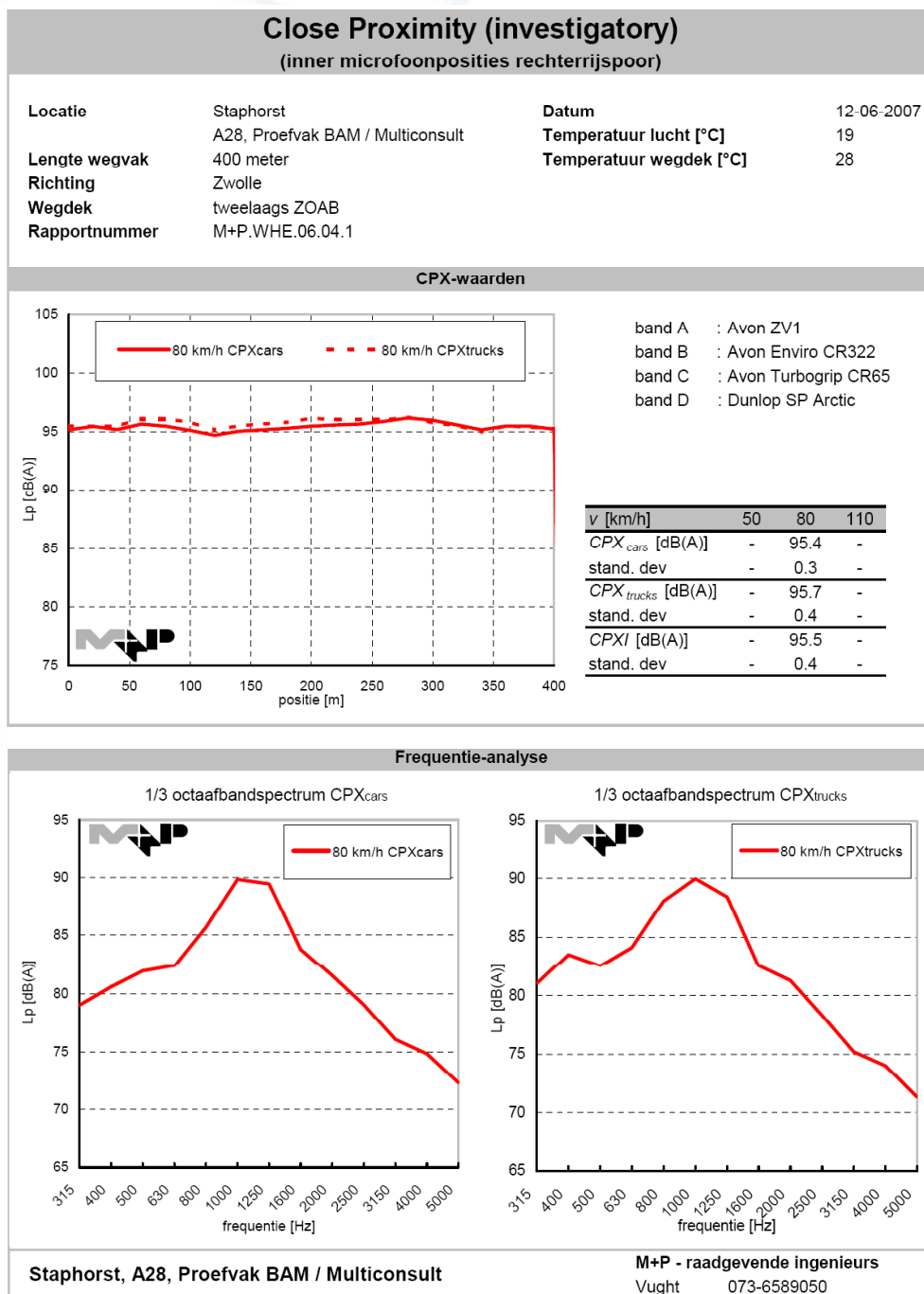
Staphorst, A28, Proefvak 4

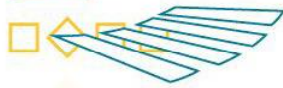
M+P - raadgevende ingenieurs  
Vught 073-6589050



#### 4.5.2 Meting na reiniging

De resultaten van de geluidsmeting na reiniging is hierachter bijgevoegd.





## 4.6 Beschouwing & interpretatie van de onderzoeksgegevens

### 4.6.1 Visuele inspectie

#### Vervuiling

Uit de visuele inspectie volgt dat na reinigen en het zuigen van het wegdek vrijwel geen vuil is opgezogen na de ultrasone reinigingsbehandeling.

De mate van vervuiling op de vluchtstrook was aanzienlijk meer dan op de rechterrijbaan. Dit is ook niet verwonderlijk aangezien op de rechterrijbaan de pompende werking van de banden van het rijdende verkeer er voor zorgt dat loszittend vuil meegezogen wordt uit de bovenlaag van het tweelaags ZOAB.

#### Textuur

Tijdens de visuele inspectie is geconstateerd dat de kwaliteit van de textuur van wegdek verminderd is. Over het algemeen is dat niet verwonderlijk bij een 5 jarig wegdek. Doordat naast de vervuiling ook de textuur van het tweelaags ZOAB bepalend is voor de mate van geluidsreducerend vermogen van tweelaags ZOAB dient dit meegenomen te worden in de beoordeling van de meetgegevens.

### 4.6.2 Waterdoorlatendheidsproeven:

De waterdoorlatendheidsproeven geven informatie over de snelheid waarmee een gestandaardiseerde hoeveelheid water onder een gestandaardiseerde waterdruk door een asfaltwegdek stroomt. De hoeveelheid holle ruimte en de hoeveelheid open verbindingen, kanalen zijn hiervoor bepalend. Vuil dat zich in deze holle ruimten / kanalen bevindt zal de doorstroom van water vertragen. De waterdoorlatendheidsproeven geven een indicatie voor de mate van vervuiling van het tweelaags ZOAB.

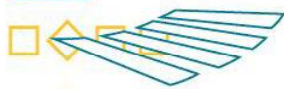
De ultrasoon reiniger richt zich voornamelijk op het 'lostrillen' van vastzittend vuil. De ultrasone behandeling kan alleen "nat" uitgevoerd worden. Dit omdat ultrasone geluidsgolven getransporteerd worden door water als medium. Dit betekent dat los getrild vuil samen met water in de poriën van het tweelaag ZOAB zit.

De waterdoorlatendheidsproeven zijn uitgevoerd met het toestel van Becker. Uit de resultaten volgt dat de vluchtstrook zwaar vervuild is en dat de rechterrijstrook matig vervuild is. De betrouwbaarheid van de Becker proef kan gedurende de ultrasone reiniging afgedaald zijn doordat het reinigingsvak redelijk verzadigd was door de "natte" reiniging. Zoals eerder aangegeven kan de ultrasone behandeling alleen "nat" uitgevoerd worden.

### 4.6.3 Boorkernen

Uit analyse van de boorkernen blijkt dat het aanwezige vuil zich vrijwel alleen in de fijne bovenlaag bevindt. Dit is conform de verwachtingen en ervaringen met tweelaags ZOAB. Ook is geconstateerd dat het aanwezige vuil in de bovenlaag eveneens gering is. Dit betekent dat de boorkernen aantonen dat er sprake is van matige vervuiling van de rechterrijstrook van het proefvak.





#### 4.6.4 CPX metingen

De interpretatie van de meetresultaten van de CPX zijn door M+P weergegeven in de rapportage *Akoestische metingen aan een proefvak tweelaags ZOAB voor en na reiniging*. Deze is bijgevoegd in bijlage 2. In de onderstaande tabel is het reinigingseffect uitgedrukt in geluidswaarde weergegeven.

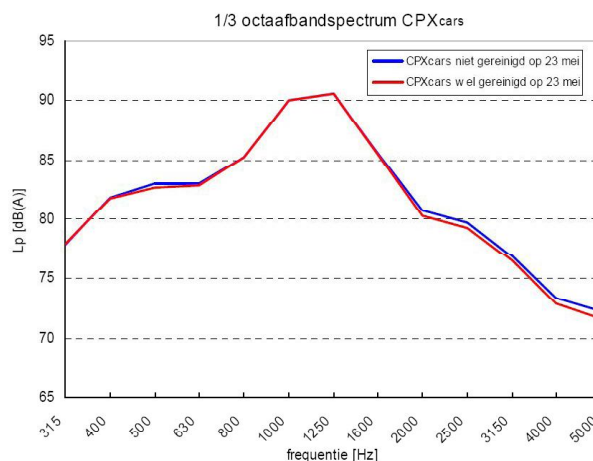
De CPX-waarden, na temperatuurcorrectie, van voor en na reiniging staan in onderstaande tabel.

tabel I

*CPX-waarden op twee meetdata van een proefvak tweelaags ZOAB dat voor een gedeelte gereinigd is door BAM – Multiconsult. De waarden zijn temperatuurgecorrigeerd.*

weggedeelte	Meetdatum	CPX <sub>cars</sub> [dB(A)]	CPX <sub>trucks</sub> [dB(A)]
gereinigd op 23 mei	03-05-2007	95,7	95,7
	12-06-2007	95,1	95,7
niet gereinigd op 23 mei	03-05-2007	95,8	95,9
	12-06-2007	95,5	95,6

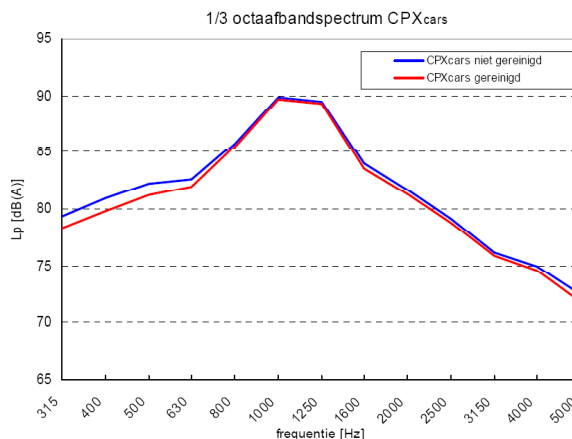
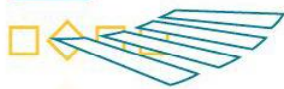
De CPX-spectra in 1/3 octaafbanden zijn in onderstaande grafieken weergegeven.



figuur 1

*De CPX-spectra van CPX-meting op tweelaags ZOAB op 3 mei 2007. Er is onderscheid gemaakt tussen het gedeelte dat door BAM – Multiconsult wel en niet gereinigd is op 23 mei.*





figuur 2 De CPX-spectra van CPX-meting op tweelaags ZOAB op 12 juni 2007. Er is onderscheid gemaakt tussen het gedeelte dat door BAM – Multiconsult wel en niet gereinigd is op 23 mei.

Opmerkelijk is dat uit de CPX meting volgt dat alleen een geringe afname van geluidswaarde in het gebied van de lagere frequenties tot 630 Hz is gemeten. Dit is vooralsnog niet duidelijk verklaarbaar.

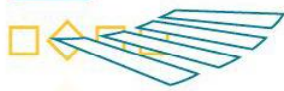
#### 4.6.5 Vergelijking van de resultaten uit verschillende meetmethoden

Uit de waterdoorlatenheidsproeven met het toestel van Becker en de visuele inspectie wordt geen reiniging effect gemeten / waargenomen.

De CPX metingen geven een zeer geringe geluidsreductie bij de CPX proef. Aangezien deze geluidsreductie nauwelijks significant is, moet geconcludeerd worden dat uit ook de CPX metingen geen reinigend effect gemeten wordt.

Uit de boorkernen kan geen conclusie getrokken worden t.a.v. het reinigend effect en de hoeveelheid waargenomen vuil voor en na reiniging. Wel geeft het aan dat het proefvak ( rechterijstrook ) voor reiniging matig vervuild was.





## 5 Beoordeling werking Ultrasoon Reinigen

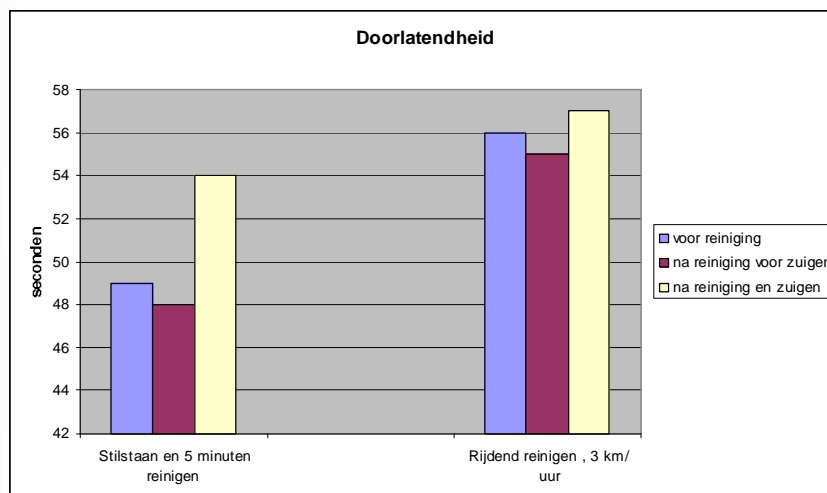
### 5.1 Ontwikkeling reinigingsmethode met ultrasoon geluid

#### 5.1.1 Interpretatie van de resultaten versus Ultrasonie bron

Doordat de ultrasoon een totaal 'nieuw' idee was, behoeft de ontwikkeling van de Ultrasoon Reiniger de nodige ontwerp en ontwikkeltijd. Door de afgebakende periode van de prijsvraag zijn niet alle optimalisaties t.a.v. van de instellingen van de ultrasonie bron onderzocht en verwerkt in de ultrasonie reiniger.

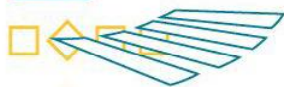
- De ultrasonie koppeling is erg belangrijk. Indien er gedeeltelijk lucht tussen de ultrasonie trilplaat en het ZOAB zit zal de werking snel afnemen.
- De oppervlaktespanning van het water beïnvloedt de reinigende werking. De aanwezigheid van olie in het ZOAB zal daarom de werking van ultrageluid belemmeren. Het toevoegen van een detergent aan het water zal de werking van ultrasoon reinigen sterk verbeteren.
- Door deze oppervlakte spanning zal ultrasoon reinigen van ZOAB dat vervuild is met zand efficiënter zijn dan wanneer het asfalt vervuild is met organisch vuil of met olie producten. Dit kan verklaren waarom de laboratorium proeven betere resultaten vertoonden ten opzichte van de proeven op de A28.
- Het vergroten van het vermogen heeft primair invloed op de reinigingsdiepte en de reinigingsnelheid. Wij verwachten een reinigingsdiepte van ongeveer 2 cm, maar hebben dit niet kunnen verifiëren. De reinigingsnelheid is in deze fase van het project niet heel erg interessant.

#### 5.1.2 Ultrasoon Reinigen met / zonder opzuigen vuil:



*Figuur 22  
Doorlatendheid  
tweelaags ZOAB  
met en zonder  
afzuigen vuil.*





Met het toestel van Becker, zijn waterdoorlatendheid metingen uitgevoerd, direct na reiniging. Uit de grafiek is te zien dat de waterdoorlatendheid afneemt nadat de zuigwagen over het gereinigde asfalt is gereden. Dit betekent dat de nabehandeling van de zuigwagen een negatief effect heeft op de waterdoorlatendheid van het tweelaags ZOAB direct na de behandeling. Dit is overeenkomstig met ervaringen dat los getrild vuil in een waterdragende samenstelling eerder geneigd zich vast te zuigen in de bovenlaag ( als een soort van filter ) dan dat het opgezogen wordt uit het tweelaags ZOAB.

De keuze om de zuigwagen in te zetten als nabehandeling is geweest om extra informatie te krijgen t.a.v. de hoeveelheid opgezogen vuil.

## 5.2 Praktijkproef versus Laboratorium proef

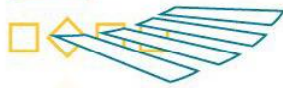
De resultaten van de laboratoriumproeven in de ontwikkelfase waren positief. Er werd een winst in permeabiliteit van 80 % verkregen na een reinigingsbehandeling. Hiervan werd 65 % verkregen binnen de 1<sup>ste</sup> seconde.

In de praktijkproef is de waterdoorlatendheid gemeten met het toestel van Becker. Voor en na de reinigingsproef zijn metingen gedaan waarbij in de praktijk geen effect is gemeten.

In de onderstaande tabel is een opsomming gemaakt van verschillen in omstandigheden tussen de laboratoriumproeven en de praktijkproef die mogelijk oorzaak kunnen zijn voor de verschillen.

Laboratorium	Praktijk
Locatie: TNO, Delft	Locatie, A28 Staphorst
Tweelaags ZOAB uit Lozerlaan, Den Haag 2004 ( 3 jaar oud )	Tweelaags ZOAB, aanleg 2002 ( 5 jaar oud )
boorkernen	Op rechterrajbaan Rijksweg A28
Zwaar vervuild	Rechterrajbaan, matig vervuild
Resultaten: waterdoorlatendheid / permeabiliteit 80 % winst na reiniging t.o.v. voor reiniging, waarvan 65 % binnen 1 seconde Waarde permeabiliteit gereinigde kern slechts 10 keer slechter dan bij "nieuwe" tweelaags ZOAB	Resultaten waterdoorlatendheid nihil
bovenkant ZOAB "over de kop"	Ultrasoon bron "over de kop"
Reiniging in stilstaand waterbad	Reiniging in voorbewegende watermassa
Geen luchtbelvorming	Mogelijk wel luchtbelvorming
Reinigingsoppervlak boorkernen Ø 100 mm	Reinigingsoppervlak dynamisch 700 mm* 300 mm
Type bron: Ultrasoon Reinigingsbad, Elma S30 30 kHz	Weber Ultrasonics (DE), 25 kHz





Verwijderen vuil, over de kop, ondergedompeld in water, wegspoelen	Verwijderen vuil, door opzuigen naar boven
Kamertemperatuur	Temperatuur c.a. 15 graden Celsius
0,25 W / cm <sup>2</sup>	0,5 W / cm <sup>2</sup>

Aangezien de praktijk nogal verschillend is ten opzichte van de meer "ideale" omstandigheden in het laboratorium is het geconstateerde verschil tussen praktijk en lab niet eenvoudig te aan te wijzen.

### 5.3 Geschiktheid techniek voor beoogd doel

Het doel van de ontwikkeling van de ultrasoon reiniger is om te komen tot een reinigingsmethode voor tweelaags ZOAB. De meetresultaten van de ultrasoon reiniger zijn matig. Een winst van 0,6 dB (A) is op dit moment te weinig om de ultrasoon reiniger tot een geschikt reinigingsmiddel van tweelaags ZOAB te noemen in de markt.

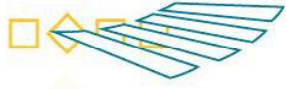
Daarnaast heeft de Ultrasoon Reiniger nog niet de gewenste reinigingssnelheid. De ambitie was om uiteindelijk met een reinigingsmethode te komen waarbij met een snelheid van 80 km / met het verkeer mee rijdend gereinigd kon worden. De proef is uitgevoerd met een gemiddelde snelheid van circa 3 km / uur. Theoretisch is het niet onmogelijk om in de toekomst met een snelheid van 80 km / uur te reinigen met ultrasoon geluid.

### 5.4 Kosteneffectiviteit op Hoofdwegennetwerk

Bij een juiste investeringsvergelijk tussen alternatieven waarmee de geluidsreducerende functie van tweelaags ZOAB gedurende een vastgestelde periode aan een minimale gestelde waarde dient te voldoen wordt een optimum gezocht in een vastgestelde levensduur die bepaald wordt door de keuze van het ontwerp tegen bepaalde aanlegkosten af te zetten tegen de onderhoudskosten gedurende de optimale levensduur. Op het moment dat vastgesteld kan worden wat de winst in aantal dB (A) per ultrasone reiniging is en tevens de reinigingskosten van een uitontwikkelde ultrasone behandeling is, dan kan pas de kosteneffectiviteit van ultrasoon reinigen bepaald worden.

Met de kennis van nu, kan eenvoudigweg gesteld worden dat de kosteneffectiviteit van ultrasoon reinigen nihil is ten opzichte van de bestaande geluidsreducerende alternatieven. Onder deze laatste vallen tevens ook geluidsschermen.





t

r

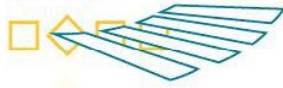
o

e

e

s

r



## 6 Conclusies en Aanbevelingen

### 6.1 Effectiviteit reiniging met Ultrasoon geluid

Uit de resultaten van zowel de CPX meting, de visuele inspectie als de waterdoorlatendheidsmetingen van de praktijkproef kan geconcludeerd worden dat reinigen met ultrasoon geluid in dit stadium nog geen effectieve reinigingsmethode is voor tweelaags ZOAB.

Wel laten de CPX metingen zien dat de ultrasone reinigingsbehandeling op het proefvak een effect heeft gehad op de hoedanigheid van het tweelaags ZOAB oppervlak. Op basis van het geconstateerde dat er ten tijde van de ultrasoon behandeling geen los getrild vuil is verwijderd uit het tweelaags ZOAB kunnen de volgende mechanismen van toepassing zijn op de ultrasone reiniging:

#### Mechanismen t.a.v. ultrasone reiniging:

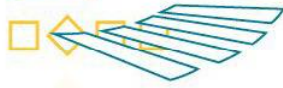
1. Vastzittend vuil in de bovenlaag is los getrild, na drogen van het wegdek is los getrild vuil door pompende werking van de banden van het rijdende verkeer omhoog gezogen in de dagen na de reiniging.
2. Vastzittend vuil in de bovenlaag is los getrild, na drogen van het wegdek is vuil dat door de ultrasone geluidstrillingen een fijnere samenstelling heeft gekregen naar de onderlaag gezakt.
3. Vastzittend vuil in de bovenlaag is los getrild, is na drogen van het wegdek en na ingebruikname van het autoverkeer in de bovenlaag ongewijzigd in de blijven zitten maar van samenstelling gewijzigd.
4. Vastzittend vuil in de bovenlaag is los getrild, de zuigwagen die vervolgens over het bewerkte oppervlak is gegaan heeft het vuil (gedeelte van het vuil) naar de bovenkant vastgezogen. Na drogen van het wegdek en de pompende werking van de banden van het rijdende verkeer is het vuil vast blijven zitten in de bovenlaag.
5. Vastzittend vuil in de bovenlaag is los getrild. Is na drogen van het wegdek naar de onderkant van de dichte bovenlaag gezakt, op de dikke grenslaag.
6. Vastzittend vuil is niet los getrild. Er is geen verandering opgetreden in de hoedanigheid van het vuil in het asfalt. Het geringe gemeten effect is onverklaarbaar.

Doordat het effect zo minimaal aanwezig was, is uit de bestaande onderzoeksmateriaal geen eenduidige conclusie te trekken t.a.v. het bovenstaande.

### 6.2 Meerwaarde reinigingsproef

De opzet van de Prijsvraag Schoner, Stiller en Homogener bestaande uit de ideeënfase, de ontwikkelfase en de uitvoeringsfase waarbij in de laatste fase ook daadwerkelijk de innovatie beproeft kan worden in de praktijk, is door ons als zeer waardevol ervaren. Het is een mooie kans om theorie in de praktijk te brengen.





- Een beknopte opsomming van de meerwaarde van deelname aan de prijsvraag:
  - Uit praktijkproeven is aangetoond ultrasoon geluid de materiaaleigenschappen van tweelaags ZOAB niet aantast.
  - Inzichten in de werking van ultrasone reiniging van tweelaags ZOAB en ervaringen t.a.v. de ontwikkeling van een reinigingsmachine.
  - toekomstige kansen en verbetering van ultrasone technologieën gecombineerd met andere reinigingstechnieken.
  - Samenwerking met kennisinstellingen, DWW, IPG, IPL en bedrijfsleven waar wij van geleerd hebben van elkaar. Meer transparantie en wederzijds begrip.

### 6.3 Uitdagingen / kansen ultrasoon reiniger

Er liggen nog kansen in betere afstemming van de ultrasone bron ten aanzien van het tweelaags ZOAB. Dit kan verkregen worden door vervolg onderzoek.

Ook dient er in het ontwerp van een ultrasoon reiniger tevens aandacht gegeven te worden aan het vinden van een maximaal haalbare reinigingssnelheid. Dit bepaald mede de economische waarde van het reinigingsconcept.

Een reinigingsproef op een “zwaar” vervuild tweelaags ZOAB wegdek zou tevens aanvullende informatie verschaffen. Het zou hierbij moeten gaan om zwaar vervuilde rechterrijbanen waarop tevens geluidsmetingen gedaan kunnen worden.

Aangezien het ultrasoon reinigen van tweelaags ZOAB een totaal nieuwe vinding is, is ervoor gekozen alle onderdelen gescheiden te houden om op deze manier beter inzicht te krijgen in de werking van de onderdelen. Voor deze reinigingsproef is voornamelijk de nadruk gelegd op de primaire functie van ultrasoon geluid, namelijk het “lostrillen” van vuil. Dit betekent dat ten aanzien van het verwijderen van het vuil, naar de bovenkant, of met het hemelwater mee door de onderlaag nog de nodige aandacht vergt. Dit is echter een volgende uitdaging. Daarbij moet er tevens gezocht worden naar optimale combinaties van technieken voor zowel lostrillen als verwijderen van vuil.

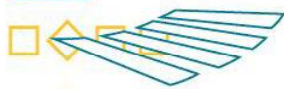
### 6.4 Aanbevelingen

Eén van de relevante afwegingen bij investeringen in reinigingsmethoden van tweelaags ZOAB is de toekomst van de toepassing van tweelaags ZOAB op het Nederlandse Hoofdwegennet.

De rechterrijstrook in het proefvak op de A28 was slechts matig vervuild. In de maand maart van dit jaar zijn er metingen gedaan waaruit blijkt dat de geluidsreducerende functie nog aanzienlijk hoog was voor een 5 jaar oud vak. Daarbij moet meegenomen worden dat het effect van achteruitgang van de textuur van het tweelaags ZOAB tevens een negatieve invloed heeft op de geluidsreducerende functie van tweelaags ZOAB welke wel eens meer effect kan hebben op de geluidsreducerende functie dan het effect van vervuiling. Men kan zich afvragen of de noodzaak bestaat voor het reinigen van rechterrijstroken van tweelaags ZOAB, immers de mate van vervuiling van de rechterrijstrook van dit relatief oude wegdek



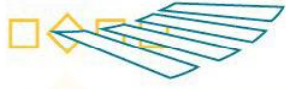




was nog relatief goed. Wellicht is het interessanter te kijken naar de bijdrage van de vervuilde vluchtstrook op het geluidsniveau van de weg.

In het kader van de Prijsvraag, dient in een beperkte tijd een innovatie bedacht, ontwikkeld en getest te worden. Onze ervaring heeft geleerd dat een dergelijk research traject tijd vraagt. Zeker om nieuwe producten of bestaande producten in nieuwe toepassingen te testen en te optimaliseren. Zoals dit laatste het geval was voor de ultrasoon reiniger. Binnen de gestelde termijn voor deze prijsvraag, was meer ruimte wenselijk geweest voor het optimaliseren van nieuwe technieken gedurende het ontwikkeltraject van de reinigingsmachine.





t

r

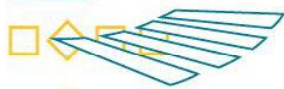
o

e

e

s

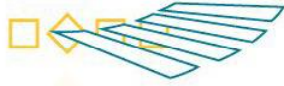
r



## 7 Literatuurlijst

- [ 1 ] IPG, opgesteld door Combinatie SSH (2006) *Tweelaags ZOAB reinigen met Ultrasoon geluid*,
- [ 2 ] Hans Bendtsen, Jørn Raaberg, Danisch Road Institute ( 2005 ): *International Experiences with Clogging of Porous Pavement*,
- [ 3 ] Technische Commissie Asfalttechnologie ( TCA ), de Vereniging tot Bevordering van Werken in Asfalt ( VBW Asfalt ) ( 2002 ): *Richtlijnen voor twee laags ZOAB*,
- [ 4 ] Rijkswaterstaat ( 2005) IPG –advies *Toepassing Tweelaags ZOAB op het Nederlandse hoofdwegennet*.
- [ 5 ] Ing. R.C.L. van Loon, M+P Raadgevende ingenieurs bv, ( 2004 ) Productontwikkeling en praktijkadvies, presentatie Silent Roads symposium.
- [ 6 ] TUDelft, CT3041. Hoofdstuk 8 Wegoppervlakeigenschappen,
- [ 67 ] Ministerie van VROM, opgesteld door M+P Raadgevende ingenieurs bv, KOAC WMD ( 2002) *Richtlijnen stille wegdekken*,
- [ 8 ] [www.mp.nl](http://www.mp.nl)
- [ 9 ] ISO / DIS – 11819-2, “Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise part 2: The Close Proximity method ”;





## Bijlagen

Bijlage 1: Draaiboek Uitvoeringsproef.

Bijlage 2: Akoestische metingen aan een proefvak tweelaags ZOAB voor en na reiniging, uitgevoerd door M+P; Rapportnr. M+P.WHE.06.04.1BAM



## Bijlage 1

Draaiboek Reinigingsproef 23 mei 2007

# **Draaiboek Reinigingsproef twee laags ZOAB met Ultrasoon Geluid**

**In het kader van de Prijsvraag Schoner, Stiller en Homogener asfalt,  
perceel 2**

Auteur: S.Eppinga, Multiconsult bv  
Kenmerk: 800-2006-009/3150/SEP  
Datum opgesteld: 16 mei 2007  
Status: A

**Distributielijst**

<b>Kopienr.</b>	<b>Naam</b>	<b>Bedrijf</b>
00	Origineel (archief)	Multiconsult
01	Sietsche Eppinga	Multiconsult
02	Matthijs Bokma	Koks
03	Cas Houtenbos	Koks
04	Frits Geijsendorpher	BAM Wegen Regio West
05	Jan Riphagen	BAM Wegen Materieel
06	Maurits van der Heiden	TNO
07	Bestuurder tractor	BAM
08	Bestuurder watertank	Koks
09	Bestuurder veegwagen	BAM
10	Hylke Visser	RWS Oost Nederland
11	Rien van den Berg	RWS Oost Nederland
12	Aad van de Burg	DWW
13	Leon Kok	DWW
14	Thijs Mackus	Multiconsult
15	Berwich Sluer	BAM Wegen
16	René Wilms	BAM Wegen Regio Oost
17	Sjoerd Wartena	BAM Wegen Regio Oost
18	Matthijs van Domselaar	BAM Wegen Regio Noordwest



## Inhoud

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>UITGANGSPUNTEN</b>	<b>4</b>
2.1	Locatie	4
2.2	Veiligheid	4
2.3	Opstelling reinigingsproef	5
2.4	Monitoring	6
<b>3</b>	<b>ORGANISATIE</b>	<b>7</b>
3.1	Projectorganisatie Prijsvraag	7
3.2	Contactpersonen:	8
<b>4</b>	<b>MATERIAAL/MATERIEEL</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>FASE 1 VOORBEREIDING</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>FASE 2 REINIGINGSPROEF</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>PLANNING</b>	<b>13</b>





## 1 Inleiding

De Dienst Weg en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft de prijsvraag Schoner, Stillter en Homogener uitgeschreven om marktpartijen actief te betrekken in onderzoeks- en ontwikkelingswerkzaamheden binnen het onderzoekproject “verbetering wegdekken”.

Onderdeel van deze prijsvraag is de vraag naar oplossingen voor het behouden van de geluidsreducerende functie van twee laags ZOAB gedurende de gehele levensduur. De geluidsreducerende functie wordt aangetast door vervuiling van twee laags ZAOB wegverharding.

Binnen dit kader is door de samenwerkende partijen BAM Wegen, Multiconsult, TNO en Koks Milieu en Voertuigtechniek het idee aangedragen om door middel van ultrasoon geluid het vervuilde twee laags ZOAB te reinigen.

Onderdeel van de prijsvraag is een reinigingsproef waarvoor Rijkswaterstaat een proefvak op de A28 nabij Staphorst ter beschikking stelt om onze innovatie te testen.

Dit draaiboek bevat de activiteiten voor de reinigingsproef met de ultrasoon reiniger en de monitoring op het aangeboden proefvak op de A28.

## 2 Uitgangspunten

### 2.1 Locatie

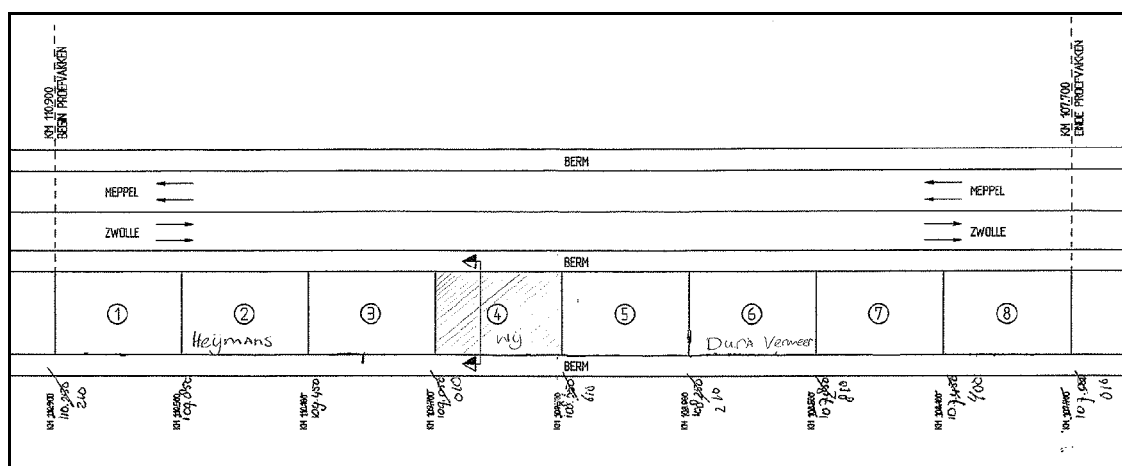
#### Rijksweg A28 tussen afslag 23 en 22

km 108.61 – km 109.010 HRL( vak 4, middelste proefvak )

rijrichting Noord naar Zuid / Meppel richting Zwolle

Verhardingssoort ZOAB TL 4/8:

Rechterrijbaan



### 2.2 Veiligheid

Persoonlijke Beschermings Middelen zijn verplicht.

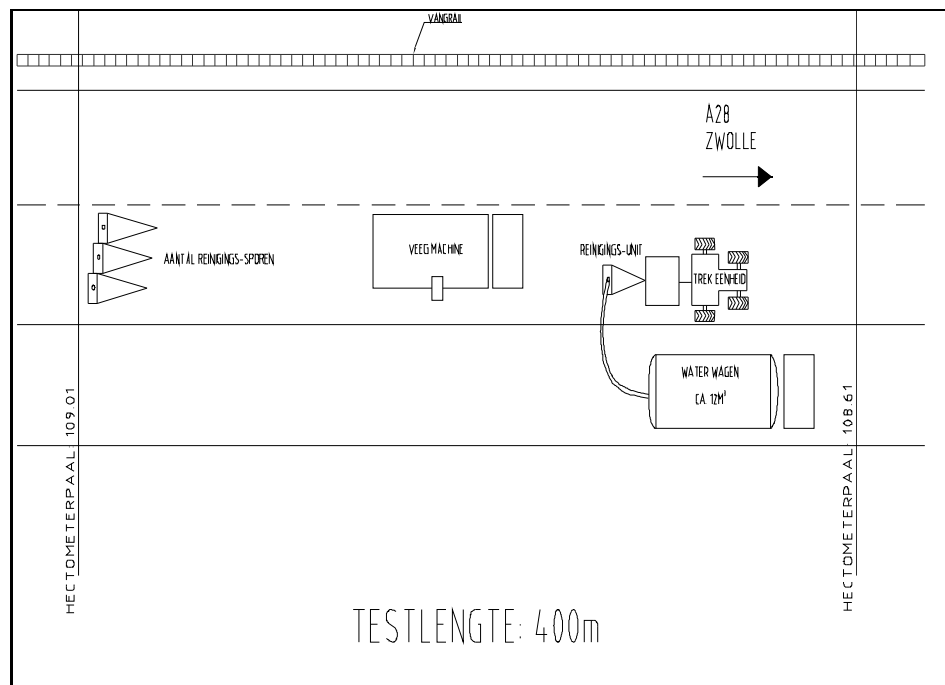
De proef wordt uitgevoerd op de Rijksweg. Wees ervan bewust dat de proeven op een afgezette rijbaan plaatsvinden. Dus wees alert, denk om de veiligheid van je collega's, jezelf en de andere weggebruikers.

Wees er van bewust dat de rijnsnelheid van de verkeersdeelnemers op de linker rijstrook hoger kan zijn dan de aangegeven maximale toegestane rijnsnelheid.

60 cm uit zijdelinkse wegafzetting blijven. ( dit is geen werkruimte ). Dus aan de kant van de linkerrijbaan.

Bij aankomst wegafzetting en vertrek na werkzaamheden melden bij Sietsche. Zodat bekend is wie aanwezig zijn.

### 2.3 Opstelling reinigingsproef



#### Opstelling

Het prototype Ultrasoon Reiniger wordt achter een aanhangwagen gekoppeld. Deze samenstelling wordt voort getrokken door een tractor. Aangezien de Ultrasoon Reiniger voor dit experiment voortgetrokken moet kunnen worden met zeer lage snelheden is een tractor het meest geschikt.

De watertoevoer voor de ultrasoon reiniger wordt vanuit een watertank via een slang aangekoppeld aan het prototype. Deze watertanks rijdt naast de tractor over de vluchtstrook mee.

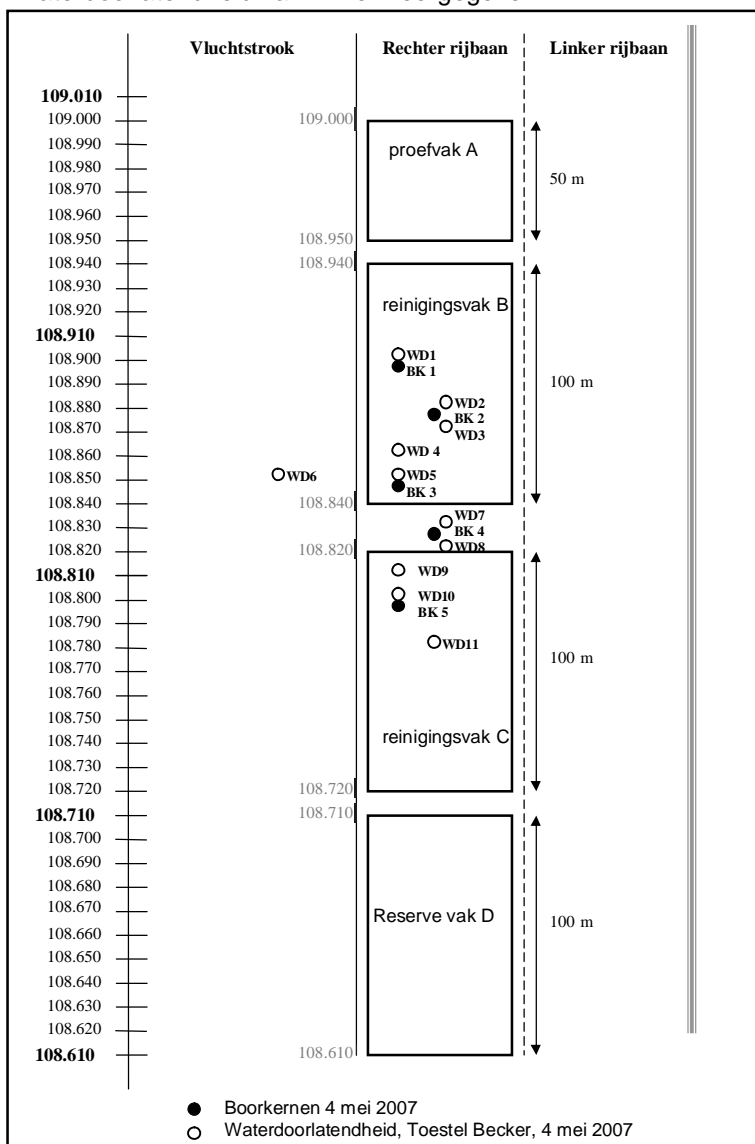
De ultrasoon reiniger heeft als primaire functie het 'lostrillen van vuil. Na de ultrasoon behandeling zal de veegwagen het vuil opzuigen.

## 2.4 Monitoring

Om het effect van de ultrasoon reiniger te meten worden voor en na reiniging de volgende metingen uitgevoerd.

meting	wie	wanneer
Visuele inspectie	Frits Geijsendorpher	Nulmeting: 4 mei/ 23 mei 2007 Na reiniging: 23 mei 2007
Boorkernen	BAM Wegen	Nulmeting: 4 mei 2007 Na reiniging: 23 mei 2007
Waterdoorlatendheid, Toestel van Becker	BAM Wegen	Nulmeting: 4 mei 2007 Na reiniging: 23 mei 2007
CPX metingen	M+P	Nulmeting: 21 mei 2007-05-16 Na reiniging: week 22 en week 24

In de volgende tekening zijn de locaties van de nulmetingen van boorkernen en waterdoorlatendheid van 4 mei weergegeven.





## 3 Organisatie

### 3.1 Projectorganisatie Prijsvraag

Opdrachtgever Prijsvraag Schoner, Stiller en Homogener:

Naam	Bedrijf	Functie
Aad van den Burg:	DWW, Delft	Projectleider Prijsvraag SSH
Leon Kok	DWW, Delft	Projectleider, perceel 2

Voor de reinigingsproef zijn we te gast bij:

Naam	Bedrijf	Functie
Hylke Visser	RWS Oost Nederland. Wegendistrict Zwolle	Directie
Rien v.d. Berg	RWS Oost Nederland. Wegendistrict Zwolle	Aanspreekpunt wegafzettingen

#### Opdrachtnemers prijsvraag

De combinatie SSH-2 v.o.f. heeft het idee ultrasoon reinigen ingediend, en is geselecteerd om deze innovatie te gaan ontwikkelen en beproeven.

De combinatie SSH-2 bestaat uit de volgende partijen:

BAM Wegen  
KOAC-NPC  
Multiconsult bv

De operationele taken ten behoeve van de ontwikkeling van de Ultrasoon Reiniger worden uitgevoerd door het samenwerkingsverband welke bestaat uit de volgende partijen:

BAM Wegen, Utrecht  
TNO, Delft  
Koks Milieu en Voertuigtechniek bv, Alkmaar  
Multiconsult bv, Culemborg

Het projectteam bestaat uit de volgende personen:

Frits Geijsendorpher, BAM Wegen Regio West  
Jan Riphagen, BAM Wegen Materieel  
Maurits van der Heiden, TNO  
Matthijs Bokma, Koks  
Cas Houtenbos, Koks  
Sietsche Eppinga, Multiconsult bv



### 3.2 Contactpersonen:

#### Aanwezigen projectteam:

Naam	Bedrijf	Telefoonnummer
Cas Houtenbos	Koks	
Jan Riphagen	BAM Wegen Materieel	
Sietsche Eppinga	BAM Multiconsult (aanspreekpunt reinigingsproef)	
Bestuurder watertank	Koks	
Matthijs Bokma	Koks	
Frits Geijsendorper	BAM Wegen Regio West	
Maurits van der Heiden	TNO	
Cock van Heikelen	BAM Wegen Regio West	
Bestuurder tractor	BAM	

#### Contactpersonen Rijkswaterstaat :

Naam	Bedrijf	Telefoonnummer
Hylke Visser	Directie Oost Nederland	
Aad van den Burg	DWW Projectleider Prijsvraag SSH	
Rien van den Berg	Regio Oost Nederland (aanspreekpunt wegafzetting )	

#### Andere deelnemende partijen Prijsvraag SSH

Naam	Bedrijf	Telefoonnummer
Laurens Smal	Dura Vermeer, hoofd technische zaken	
Bas Laureijssen	Dura Vermeer, Projectleider steamcleaner	
Gerbert van Bochove	Heijmans	
Jan Hooghwerff	M+P (coördinatie planning ) (v Heijmans )	
Fons Peeters	M+P ( uitvoering CPX metingen )	

#### BAM Wegen Regio Oost ( op de hoogte gesteld )

Naam	Bedrijf	Telefoonnummer
René Wilms	BAM Wegen Regio Oost,	



## 4 Materiaal/Materieel

### Checklist

Onderdeel	Wie	Aanwezig akkoord

## 5 Fase 1 Voorbereiding

Voorafgaand aan de reinigingsproef dienen de volgende voorbereidende activiteiten uitgevoerd te worden.

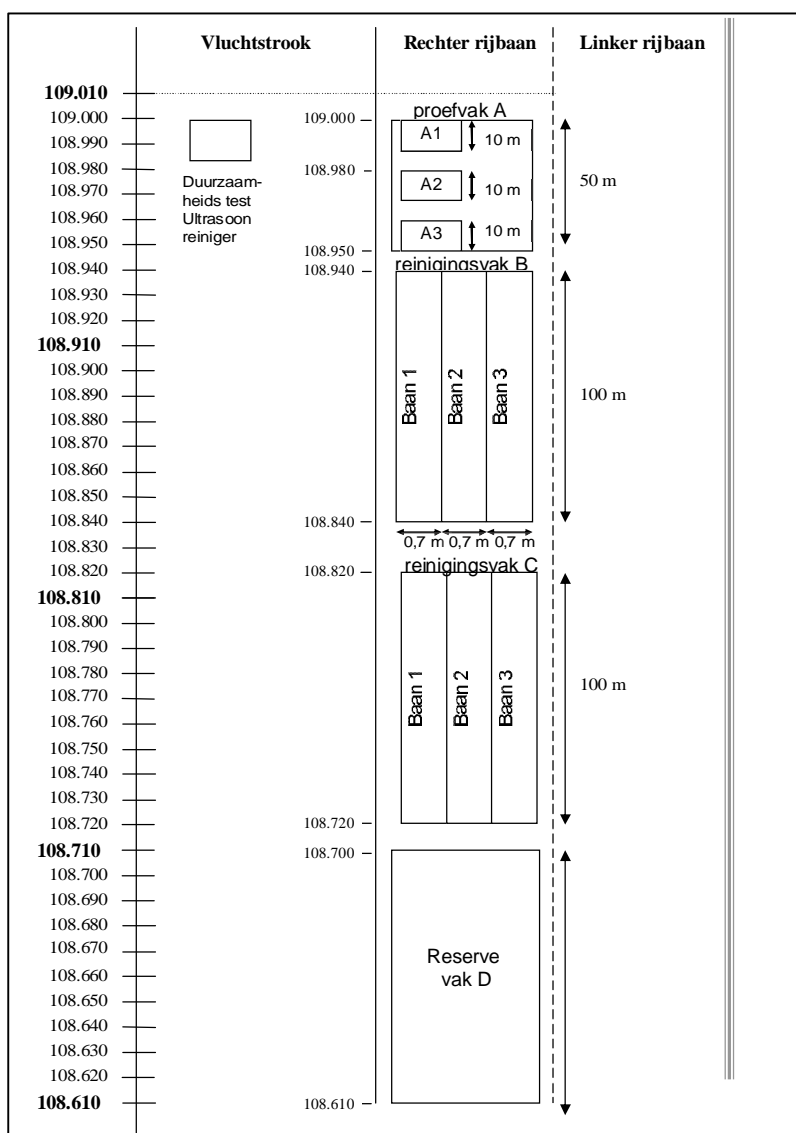
Voor deze activiteiten is vanaf 20.00 uur tot 23.00 uur tijd gereserveerd.

Nr.	Acties	Wie	Materieel	Locatie
v1	Extra test duurzaamheid 2 laags ZOAB			Vluchtstrook km 109.00
v1.1	5 minuten 2 laags ZOAB blootstellen aan ultrasone geluid	Maurits, Matthijs	Watertank Ultrasoon reiniger ( zonder tractor )	
v1.2	Kern boren			
v1.3	inspectie boorkern op eigenschappen materiaal	Frits		
v2.	Proefvakken markeren	? ( 2 pers)		Zie schets..
v3.	Afstellen snelheden tractor; 0,5 km/u ; 1 km / u ; 2 km/u aan toerental.	Bestuurder tractor, Cas		vluchtstrook
v4.	Eerste Reinigingsbehandeling proefvak A1, A2 en A3			rechterrijbaan km 109.00 – km 108.950
v4.1	Waterdoorlatendheid meten in proefvakken A1, A2 en A3, nulmeting	Frits		
v4.2	Reinigen proefvak A1, met snelheid 0,5 km / uur		Watertank. Ultrasoon reiniger met tractor	
v4.3	Reinigen proefvak A2, met snelheid 1 km / uur			
v4.4	Reinigen proefvak A3, met snelheid 2 km / uur			
v4.5	In proefvakken A1, A2 en A3 vuil opzuigen met veeg-wagen		Veegwagen BAM Wegen	
v4.6	Waterdoorlatendheid meten in de proefvakken A1, A2 en A3 (= tevens nulmeting voor tweede behandeling			
v5	Beslismoment, bespreken resultaten en go/no-go tweede reinigingsbehandeling.	Allen		
v6	Tweede reinigingsbehandeling proefvakken A1, A2 en A3			rechterrijbaan km 109.00 – km 108.950
v6.1	Reinigen proefvak A1, met snelheid n.t.b.		Watertank. Ultrasoon reiniger met tractor	
v6.2	Reinigen proefvak A2, met snelheid n.t.b.			
v6.3	Reinigen proefvak A3, met snelheid n.t.b.			
v6.4	In proefvakken A1, A2 en A3 vuil opzuigen met veeg-wagen		Veegwagen BAM Wegen	
v6.5	Waterdoorlatendheid meten in de proefvakken A1, A2 en A3 na tweede behandeling			
v7	Beslismoment, vaststellen - reinigingssnelheid in vak B en C	Allen		



	en optioneel reservevak - aantal malen reiniging - planning veeg machine			
v8	Vaststellen nemen extra boorkernen en waterdoorlatenheidsproeven voor nulmeting in vak C en vak D tussen km 108.79 en 108.61	Frits		
v9	Afstemmen waterverbruik, ( vullen ) Afstemmen losmoment veegwagen	Allen		

Schematisatie locatie proefvakken:



## 6 Fase 2 Reinigingsproef

Nr.	Actie	Wie	Opmerkingen	Locatie
R1	( optioneel ) Nemen extra boorkernen, waterdoorlatendheidsproef vak C en D	Frits		tussen km 108.79 en km 108.61
R2	Reinigen vak B baan 1 ( 100 m ) met n.t.b. snelheid		Zie schets vorige pagina	tussen km 108.94 en km 108.84
R3	Reinigen vak B baan 2 ( 100 m )			"
R4	Reinigen vak B baan 3 ( 100 m )		Let op: 60 cm vanaf de middenstreep / pionnen.	"
R5	Opzuigen vuil met veegwagen vak B. baan 1 , 2 en 3			tussen km 108.94 en km 108.84
R6	Waterdoorlatendheidsproeven na reiniging vak B			tussen km 108.94 en km 108.84
R7	Boren kernen vak B na reinigen	Frits	Ook voor RWS ?	tussen km 108.94 en km 108.84
R8	Beslismoment tweede proefvak	Allen		
R9	Reinigen vak C baan 1 ( 100 m ) met n.t.b. snelheid			"
R10	Reinigen vak C baan 2 ( 100 m )			"
R11	Reinigen vak C baan 3 ( 100 m )			"
R12	n.t.b. keer herhaling activiteiten R11,R12 en R13			"
R13	Opzuigen vuil Vak C met veegwagen			tussen km 108.82 en km108.72
R14	Waterdoorlatendheidsproeven vak C na reiniging			tussen km 108.82 en km108.72
R15	Boren kernen vak C na reinigen			tussen km 108.82 en km108.72
R16	Beslismoment extra proeven vak D	Allen		
R17	(optineel) Reinigingsproef + metingen vak D			rechtterijbaan km 108.71 km 108.61



## 7 Planning

Volgende pagina.

Bijlage 2  
Akoestisch metingen aan een proevak  
tweelaags ZOAB voor en na reiniging,  
uitgevoerd door M+P



**M+P - raadgevende ingenieurs**  
Müller-BBM groep  
*geluid trillingen lucht bouwfysica*

Wolfskamerweg 47, Vught  
Postbus 2094  
5260 CB Vught

T 073-658 9050  
F 073-658 9051  
Vught@mp.nl  
www.mp.nl

## NOTITIE

**Akoestische metingen aan een proefvak tweelaags ZOAB voor en na reiniging**

Opdrachtgever	Rapportnummer M+P.WHE.06.04.1BAM	Auteurs
	Revisie 0	Ir. R.K.F. van Moppes
	Datum 27 juni 2007	
Opdrachtnummer	Pagina 1 van 4	Ir. J. Hoogwerff

## 1 Inleiding

Op een proefvak tweelaags ZOAB, gelegen op de A28 bij Staphorst is door BAM-Multiconsult een reinigingsexperiment uitgevoerd van het asfalt. Het proefvak, is gelegen van km 109.020 tot 108.620, in zuidelijke rijrichting (IPG-zebvak nummer 4). De reiniging heeft plaatsgevonden in de nacht van 23 op 24 mei 2007 op het gedeelte van km 108.940 – km 108.800. Voorafgaand aan deze reiniging, alsmede enkele weken na de reiniging zijn er akoestische metingen verricht aan het wegvak, te weten Close Proximity (CPX-) metingen. In deze notitie staan de belangrijkste resultaten van deze metingen. Voor detailgegevens van de meetresultaten wordt verwezen naar de CPX-gegevens in de bijlagen.

## 2 Resultaten CPX-metingen

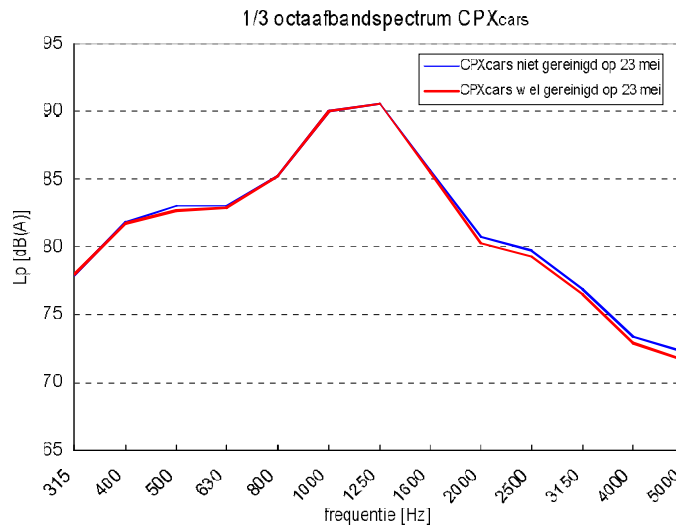
De CPX-metingen zijn uitgevoerd op 22 mei en 12 juni 2006. Aangezien er in de nacht van 20 op 21 mei een aanzienlijke hoeveelheid neerslag gevallen is, zijn de meetdata van 22 mei niet volledig betrouwbaar. De CPX-waarden blijken 0,3 tot 0,6 dB(A) hoger te liggen dan verwacht mag worden. De verhoging van het geluidniveau blijkt zich bovendien te vertalen in een afwijkend geluidsspectrum, waardoor vergelijking niet goed mogelijk is. In het kader van een ander project is er echter ook een meting uitgevoerd op 3 mei 2007. De gegevens van deze meetsessie zijn daarom gebruikt als referentiemeting voor de reinigingsexperimenten. De CPX-metingen zijn uitgevoerd bij een meetsnelheid van 80 km/h.

De CPX-waarden, na temperatuurcorrectie, van voor en na reiniging staan in onderstaande tabel.

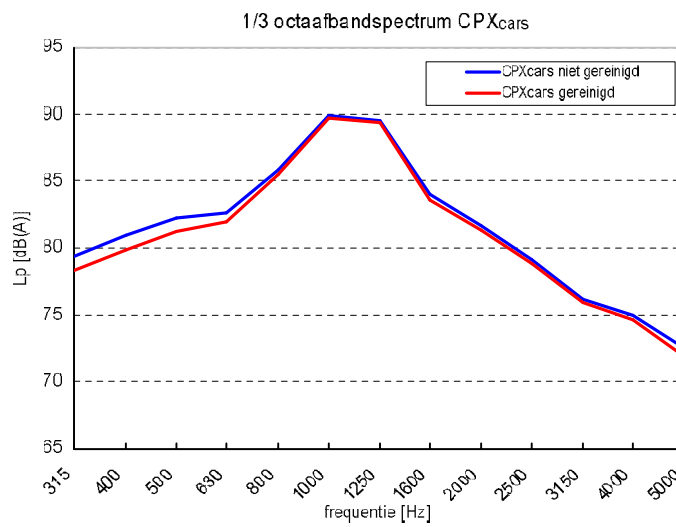
*tabel 1* CPX-waarden op twee meetdata van een proefvak tweelaags ZOAB dat voor een gedeelte gereinigd is door BAM – Multiconsult. De waarden zijn temperatuurgecorrigeerd.

weggedeelte	Meetdatum	CPX <sub>cars</sub> [dB(A)]	CPX <sub>trucks</sub> [dB(A)]
gereinigd op 23 mei	03-05-2007	95,7	95,7
	12-06-2007	95,1	95,7
niet gereinigd op 23 mei	03-05-2007	95,8	95,9
	12-06-2007	95,5	95,6

De CPX-spectra in 1/3 octaafbanden zijn in onderstaande grafieken weergegeven.



figuur 1 De CPX-spectra van CPX-meting op tweelaags ZOAB op 3 mei 2007. Er is onderscheid gemaakt tussen het gedeelte dat door BAM – Multiconsult wel en niet gereinigd is op 23 mei.



figuur 2 De CPX-spectra van CPX-meting op tweelaags ZOAB op 12 juni 2007. Er is onderscheid gemaakt tussen het gedeelte dat door BAM – Multiconsult wel en niet gereinigd is op 23 mei.



Uit de grafieken blijkt dat er slechts enkele tienden van een dB variatie aanwezig is tussen de CPX-waarden op het niet-gereinigde weggedeelte voor de metingen op 3 mei en op 12 juni. Deze variatie valt binnen de meeton nauwkeurigheid van de CPX-meting. Deze variatie is doorgaans  $\pm 0,5$  dB(A).

Wanneer binnen een meting het spectrum van het gereinigde weggedeelte vergeleken wordt met het spectrum van het niet-gereinigde weggedeelte, valt op dat er na reiniging een verlaging van het geluidniveau optreedt in de frequenties tot 630 Hz. In tabel I is eveneens terug te zien dat er na reiniging een kleine verlaging van het geluidniveau gemeten is.

### 3

#### **Conclusie**

Na reiniging van het wegvak tweelaags ZOAB door BAM – Multiconsult is er een kleine afname in het geluidniveau gemeten op het weggedeelte waar gereinigd is, vergeleken met de meting voorafgaand aan de reiniging. Uit de spectra blijkt dat de verlaging van het geluidniveau terug te vinden is in de frequenties tot 630 Hz. Op het weggedeelte waar niet is gereinigd, is deze afname niet significant aanwezig.

Aangezien de meetlocatie uitgevoerd is op een wegvak met relatief weinig vervuiling, ligt een groot verschil in geluidniveau voor en na reiniging niet in de lijn der verwachting.