

# Hoogwaardig hergebruik van ZOAB middels de Halfwarme schuimbitumen techniek

Mangnus, S.  
*Ingenieursbureau Van Kleef b.v.*

Bolk, H.J.N.A.  
*Heijmans Infrastructuur b.v.*

Voskuilen, J.L.M.  
*Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde*

## **Samenvatting**

De komende jaren zal 30% van het vrijkomende asfaltgranulaat uit ZOAB-granulaat bestaan. Met behulp van de halfwarme schuimbitumentechiek is het mogelijk een hoog percentage ZOAB granulaat in ZOAB te hergebruiken. Daarnaast biedt de halfwarme schuimbitumentechiek (HWS) de mogelijkheid om nieuw ZOAB te mengen. De opzet van het onderzoek is een goed vergelijk te kunnen maken tussen ZOAB gemengd met de halfwarme techniek (met of zonder ZOAB-granulaat) en de warme techniek. De halfwarme schuimbitumentechiek heeft als voordeel reductie van de energiekosten en uitstoot van schadelijke stoffen.

## **Trefwoorden**

Schuimbitumen, Halfwarm, ZOAB, Hergebruik, Laboratorium onderzoek

## 1. Inleiding

Het aanbod van ZOAB-granulaat zal naar verwachting de komende jaren sterk stijgen. Verwacht wordt dat in de komende jaren het ZOAB-granulaat 30% zal uitmaken van het totale aanbod aan asfaltgranulaat in 2015. Dit houdt in dat jaarlijks 1 miljoen ton ZOAB-granulaat beschikbaar zal zijn op de Nederlandse markt.

Bij hergebruik van ZOAB-granulaat dient te worden gestreefd naar een zo hoog mogelijk percentage hergebruik in een hoogwaardige toepassing. Een van de potentiële toepassingen is hergebruik van ZOAB-granulaat in nieuw ZOAB als toplaag. Uit eerder beperkt onderzoek naar STAB (samenwerking tussen aannemingsfirma G. van Hees & Zonen BV, met de Technische Universiteit Delft (NL) en Universiteit Stellenbosch (SA),[1]) is gebleken dat hergebruik met de halfwarme schuimbitumentechiek de potentie heeft een geschikte recyclingmethode te zijn. Als vervolg hierop is Heijmans Infrastructuur b.v. een ITC overeenkomst (Innovatie Test Centrum, ITC) aangegaan met de Dienst Weg- en Waterbouwkunde met als doel:

Het realiseren van een duurzaam ZOAB 0/16 mengsel met maximaal hergebruik van ZOAB-granulaat, door middel van uitzeven en/of toevoegen van nieuw mineraal. Dit moet gerealiseerd worden middels de halfwarme schuimbitumentechiek (HWS).

## Onderzoek

Het onderzoek is globaal opgedeeld in vier fasen (figuur 1).

Fase 1 indicatief onderzoek (laboratorium)

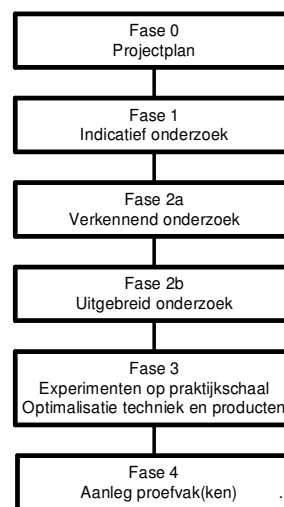
In deze fase zijn de volgende aspecten onderzocht:

- materialen (mineraal aggregaat, ZOAB-granulaat, (schuim)bitumen)
- parameters met betrekking tot de techniek (schuimbitumen apparaat WLB 10 en dwangmenger)
- meng- en verdichtingsproces
- oplossingsrichtingen tot ZOAB
- mengselsamenstellingen (samenstelling, HR en waterdoorlatendheid, indirecte treksterkte)

Fase 2 uitgebreide onderzoek (laboratorium)

Deze fase bestaat uit twee delen, fase 2a verkennend onderzoek en fase 2b uitgebreid fysisch-mechanisch onderzoek.

Vanwege de onbekendheid met het materiaal en de techniek is gekozen voor een zo breed mogelijk scala aan proeven. Hierbij ligt de nadruk op rafelingsgevoeligheid. In Fase 2a zijn een vijftal mengsel verkennend onderzocht. Er is in deze fase gekozen voor een brede inzet van proeven om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de fysisch-mechanische eigenschappen van deze mengsels. Aan de hand van de resultaten uit fase 2a zijn een drietal mengsels in fase 2b uitgebreid onderzocht op hun fysisch-mechanische eigenschappen. Fase 2b moet resulteren in een aanbeveling van een mengsel om in de praktijk toe te passen. In fase 3, het praktijk onderzoek, zal eerst op kleine schaal de techniek worden getest. Aan de hand van de optimalisatie stappen zal gekozen worden welke mengsels worden aangelegd in een praktijkvak. In eerste instantie zal dit gebeuren in een praktijkvak onder beperkt verkeer.



Figuur 1: Opbouw onderzoek

Zijn de resultaten hiervan bevredigend, dan zal het onderzoek worden voortgezet middels een proefvak onder een reële verkeersbelasting bij een van de regionale directies van Rijkswaterstaat.

In deze bijdrage wordt ingegaan op het laboratorium onderzoek van de fasen 1 en 2.

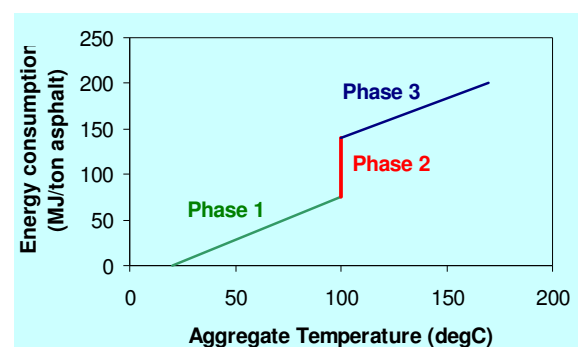
## 2. Halfwarme schuimbitumen techniek

In 1957 werd door professor Csanyi (Iowa State University) opgemerkt dat, door het injecteren van stoom in warme bitumen, er een volumevergroting bij het bitumen optrad. Hij zag in dat het ‘schuim’ wat gecreëerd is, gemakkelijk kon worden gemengd met koud vochtig mineraal. Inmiddels wordt water toegepast in plaats van stoom, waardoor het proces beter beheersbaar is en minder energie kost. Het feit dat het bitumenvolume vergroot, is een gevolg van de onmiddellijke verdamping van het water bij injectie in hete bitumen (ca. 170 °C). Er ontstaan zeer snel, heel veel belletjes in het bitumen, die niet onmiddellijk uit het bitumen kunnen ontsnappen. Door de kracht van de belletjes in het bitumen, vergroot het volume en neemt de oppervlaktetension van het bitumen af. Er ontstaat gedurende een korte tijd een verschuimde bitumen met een lage viscositeit. Gedurende die periode van gewijzigde viscositeit kan menging met koud en nat mineraal plaatsvinden. De gevormde belletjes spatten uit elkaar en vormen druppeltjes, die zich vervolgens hechten vooral aan het fijne mineraal. De grove mineraal delen worden gedeeltelijk omhuld.

De in de inleiding genoemde samenwerking [1] heeft onder andere geresulteerd in onderzoek naar het schuimbitumen zelf en in onderzoek naar hoogwaardige asfaltmengsels met schuimbitumen. De in 1999 geïntroduceerde ‘halfwarme schuimbitumentechiek’ heeft als voordeel dat de grove mineraaldelen wel worden omhuld met bitumen. Daardoor hoort het hoogwaardig hergebruik van ZOAB-granulaat in ZOAB met schuimbitumen nu tot de mogelijkheden. De halfwarme (HW) schuimbitumentechiek maakt het mogelijk om hoogwaardige (dis)continu gegradeerde asfaltmengsels te produceren. Bij deze techniek wordt het mineraal aggregaat verwarmd tot circa 95 °C en gemengd met schuimbitumen.

### Theorie halfwarme techniek

Verwarmen tot net onder het kookpunt van het water heeft zeer grote energetische voordelen bij de productie van het mengsel. Er wordt tijdens de productie van het halfwarme mengsel circa 60% (theoretisch) energie bespaard ten opzichte van de productie van een warm mengsel (verwarmen tot circa 170 °C) (figuur 2).



Figuur 2: Mineraal temperatuur t.o.v. energieverbruik (MJ/ton)

### 3. Eisen/Uitgangspunten laboratorium onderzoek

In het kader van dit onderzoek zijn er een aantal uitgangspunten/eisen vastgelegd:

- de karakteristieken van het (schuim)bitumen
- de homogeniteit van het ZOAB-granulaat
- de duurzaamheid van de HWS ZOAB mengsels.

Deze worden in de volgende paragrafen nader toegelicht.

#### (Schuim)bitumeneigenschappen

Uitgangspunt bij de (schuim)bitumen voor het onderzoek zijn:

- Penetratie (index) en type bitumen

In eerste instantie was gekozen voor een relatief zachte bitumen (tabel 1). Dit op basis van de verwachting dat een zachter bitumen beter zal mengen met het oude (harde) bitumen van het ZOAB-granulaat.

Tabel 1: Bitumeneigenschappen

	Eshafoam 100	Eshafoam 200	Bitumen ZOAB-granulaat (teruggewonnen)
Penetratie (*0,1 mm)	90	188	10
T <sub>R&amp;K</sub> (°C)	45	38	72
Penetratie Index (-)	-1,1	-1,2	-0,1

- Bitumengehalte en -dosering

Bij het percentage hergebruik dient een optimum bitumenpercentage te worden gekozen op basis van samenstelling, holle ruimte en de indirecte slijtproef.

- Parameters schuimbitumen

De volgende parameters moeten voorafgaand aan het proces worden geoptimaliseerd en gedurende het proces worden gemonitord: expansie ( $ER_m$ ), halfwaardetijd ( $\tau_{1/2}$ ), Foam Index (FI) en expansieveral. Gestreefd moet worden naar een 'goed schuim', op basis van engineering judgement. Hierbij spelen naast de eerder genoemde eigenschappen meerdere zaken –zoals hechting– een rol.

Eisen aan schuim:

- Gemeten expansie ( $ER_m$ ): >18 (-)
- Halfwaarde tijd ( $\tau_{1/2}$ ): >18 sec.

De metingen zijn uitgevoerd met het laboratorium schuimapparaat WLB 10 van Wirtgen.

- Additieven

In eerste instantie zijn geen additieven toegevoegd aan het bitumen en/of de mengsels. Zonder gebruik van additieven wordt naar verwachting een zuiverder beeld verkregen van de invloed van het halfwarme schuimbitumen proces. Later bleek dat toevoegen van een additief aan het bitumen noodzakelijk was om de benodigde minimale kwaliteit van het schuim te verkrijgen en een kwalitatief goed mengsel te verkrijgen.

In het kader van het onderzoek met bovenstaande uitgangspunten is eerst uitvoerig onderzoek uitgevoerd naar de schuimeigenschappen van het bitumen. Hierbij spelen de hoeveelheid schuimwater en het percentage additief een belangrijke rol. Schuimwater vergroot de

expansie; additief vergroot de halfwaarde tijd en de expansie. Dit heeft geleid tot een optimum percentage additief en schuimwater (stabiliteit).

De schuimbitumen karakteristieken worden uitgedrukt in de volgende parameters:

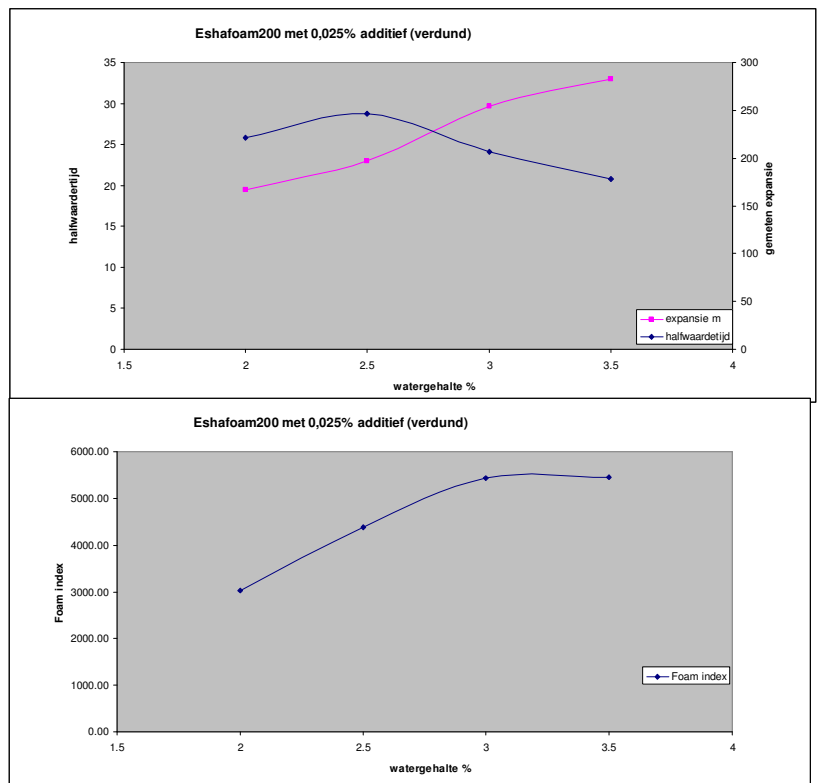
- $ER_m$  Maximum (praktijk) gemeten expansie ratio
- $ER_a$  Actuele (theoretisch berekend) expansie ratio
- $\tau_{1/2}$  Halfwaardetijd: Tijd in seconden dat het schuim zakt tot de helft van zijn maximum volume
- FI Foam Index

$$FI = \left( \frac{-\tau_{1/2}}{\ln 2} \right) * \left( 4 - ER_m - 4 \ln \left( \frac{4}{ER_m} \right) \right) + \left( \frac{1+c}{2c} \right) * ER_m * t_s$$

- c Constante uit grafiek  $ER_m/ER_a$  [1]
- $t_s$  5 seconden inspuittijd

De gemeten expansie ratio ( $ER_m$ ) en de halfwaardetijd ( $\tau_{1/2}$ ) resulteren in de Foam Index (FI). Deze moeten zo hoog mogelijk zijn om een goede kwaliteit schuim en maximale mengenergie te verkrijgen.

Om de invloed van het additief te onderzoeken, is eerst het schuimen van bitumen uitgevoerd zonder additief, hierbij is het watergehalte gevarieerd. Hieruit bleek dat het bitumen niet aan de gestelde eisen voldeed. In de volgende stappen is het additief gehalte gevarieerd, voor elk additief gehalte is tevens het watergehalte gevarieerd. Hieruit is de optimale Foam Index (Energie) bepaald. Ten behoeve van de dosering is het additief verdund, hierbij zijn vervolgens weer metingen uitgevoerd met verschillende watergehaltes. Aan de hand van deze resultaten  $\tau_{1/2}$ ,  $ER_m$  en Foam Index (figuur 3) is voor Eshafoam100 en Eshafoam200 een optimaal watergehalte gekozen van 3% met 0,025% additief.



Figuur 3: Schuimbitumen karakteristieken (Eshafoam200) met variërend percentage water

## Karakterisering ZOAB-granulaat

Uitgangspunt is gelijke functionele eigenschappen, daardoor hoeft niet persé te worden voldoen aan een korrelverdeling van conventioneel ZOAB. Gestreefd moet worden naar gelijke functionele eigenschappen als ZOAB 0/16. Voor het gehele project fase 1 tot en met 4 is een voorraad van 300 ton ZOAB-granulaat opgeslagen. Vanwege het doel, het maximaliseren van het hergebruik van ZOAB-granulaat tot ZOAB dienen aan de homogeniteit hogere eisen te worden gesteld dan aan hergebruik van 50% conform RAW 2000. Een hoger percentage hergebruik vergt een ZOAB-granulaat met een hogere homogeniteit dan bij lagere percentages hergebruik, dit om een gelijke samenstelling van het te produceren ZOAB te verkrijgen. Dit heeft geleid tot eisen m.b.t. de standaarddeviatie van 5 monsters (tabel 2).

Tabel 2: Eisen gesteld aan de homogeniteit van ZOAB-granulaat

Korrelverdeling (%)	Maximale standaard deviatie >50%	Maximale standaard deviatie RAW 2000 max.50%
op zeef C11.2	5,5	6,0
op zeef C8	4,5	5,0
op zeef C5.6	3,5	4,0
door zeef 63 µm	0,8	1,0
Bitumengehalte (op 100% mineraal aggregaat)	0,3	0,4
penetratie (*0,1 mm)	3	4

## Homogeniteit ZOAB-granulaat

In tabel 3 zijn de gemiddelde samenstellingen en standaarddeviatie weergegeven van het gebruikte ZOAB-granulaat in het onderzoek.

Tabel 3: Gemiddelde samenstellingen van het ZOAB-granulaat

	Fase 1 (5 monsters)		Fase 2a (3 monsters)		Fase 2b (5 monsters)		Alle fasen	
	gemid.	stdev.	gemid.	stdev.	gemid.	stdev.	Gemid.	stdev.
Zeven	0,4	0,5	0,0	0,0	0,6	0,4	0,4	0,5
C16	15,6	2,8	11,9	1,8	13,5	3,1	13,9	2,9
C11.2	43,9	5,0	39,3	1,5	39,5	6,0	41,2	5,1
C8	61,3	4,6	58,3	1,5	58,3	5,5	59,5	4,4
C5.6	76,1	3,6	73,9	1,3	74,1	4,2	74,8	3,4
2 mm	93,6	0,6	93,1	0,1	92,9	0,9	93,2	0,7
Op 63 µm	6,4	0,6	6,9	0,1	7,1	0,9	6,8	0,7
Door 63 µm	4,3	0,3	4,3	0,1	4,2	0,4	4,2	0,3
Bitumen op 100% mineraal	14	1	10	1	10	1	12,0	2,3
Penetratie (0,1*mm)								

#### 4. Laboratoriumonderzoek

Alle HW schuimbitumen mengsels worden gemengd volgens een identiek proces. De mengmethode (snelheid menger, mengarm, mengtijd, toeslagstoffen, ed.) is tijdens fase 1 bepaald en is gedurende het gehele onderzoek gelijk gebleven en vastgelegd in het meng- en verdichtingsprotocol [2]. Ten behoeve van de HW schuimbitumen mengsels is gebruik gemaakt van een speciale laboratorium menger, deze simuleert de batch menger het best. De HW mengsels zijn in batches van 10 kg gemengd. Belangrijke aspecten bij het mengen zijn; het gebruik van nieuwe bitumen elke productiedag; het instellen van de WLB 10 (water(druk),luchtdruk), het controleren en meten van het (schuim)bitumen debiet, en de mengtijd van het gehele proces. Het mineraal aggregaat en ZOAB-granulaat dient apart in de oven te worden verwarmd op 95 °C. Warm (W) ZOAB wordt gemengd in batches van 1 kg met de Hobartmenger, conform standaard RAW vooronderzoek, het mineraal aggregaat wordt verwarmd op 145 °C.

Als mineraal aggregaat is Brekerzand, Morene steenslag 4/8, 8/11 en Nederlandse steenslag 11/16 toegepast. Als vulstof is een middelsoort toegepast met hydroxide.

#### Testmethoden en eisen aan halfwarm ZOAB

Om het gedrag van de HWS ZOAB mengsels goed te kunnen bepalen zijn verschillende test methoden en veel proeven uitgevoerd. Deze proeven dienen aan de in de volgende paragraaf beschreven eisen te voldoen (Tabel 4), deze eisen zijn enerzijds door het projectteam bepaald, anderzijds d.m.v. literatuur [4] [6].

#### Testmethoden

*(Toegankelijke) Holle ruimte (HR)*

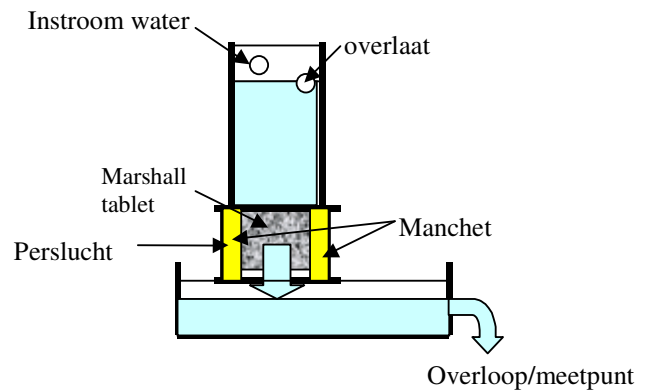
Het percentage toegankelijke holle ruimte geeft een mate aan van de waterdoorlatendheid en de geluidsreductie. Dit kan gebeuren door het bepalen van de dichtheid boven en onder water. Voor het meten van de dichtheid onder water worden eerst de proefstukken gedurende 15 minuten in een ultrasoonbad geplaatst.

$$Hr_{ont} = 100 \times \frac{Dh_m - Dh_{ont}}{Dh_m} \qquad Hr_{toe} = Hr_{tot} - Hr_{ont}$$

### Waterdoorlatendheid (WD)

De waterdoorlatendheid is gemeten met een proefopstelling (figuur 4) waarin een proefstuk rond 100 mm volledig wordt omsloten door middel van een manchet. Hierdoor kan alleen in de verticale richting water door het proefstuk. Het water dat doorgelaten wordt, wordt gemeten in de tijd.

$$\text{waterdoorlatendheid} = \frac{\text{volume}(m^3)}{\text{tijd}(\text{sec})}$$



Figuur 4: Waterdoorlatendheid opstelling

### (Retained) Indirecte treksterkte (ITS, slijtproef)

Om de indirecte treksterkte te bepalen is een Marshall verdicht tablet (2\*50 slagen) in de diametrale richting belast tot breuk met een snelheid van 50 mm/min. De maximale belasting wordt gemeten. De indirecte treksterkte (prEN 12697-23) is:

$$ITS = \frac{2 * F_{\max}}{(\pi * D * H)}$$

ITS indirecte treksterkte (MPa)

$F_{\max}$  maximale belasting (N)

D diameter Marshall (mm)

H hoogte (mm)

Om de watergevoeligheid van de mengsels te testen is de indirecte treksterkte bepaald voor en na het bewaren van het proefstuk onder water gedurende 68 uur bij een watertemperatuur van 40 °C (prEN 12697-12).

$$ITSR = 100\% * \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

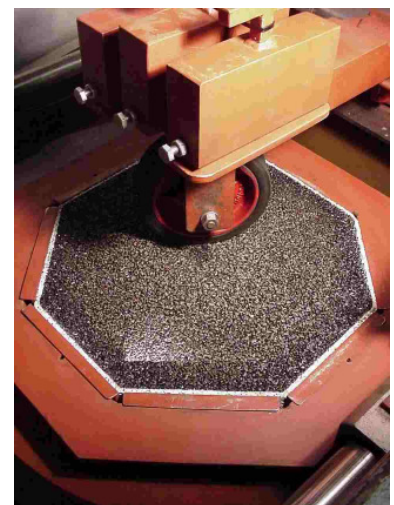
ITSR Indirecte TrekSterkte Ratio (%)

$ITS_w$  gemiddelde van 4 proefstukken van de verzadigde proefstukken (MPa)

$ITS_d$  gemiddelde van 4 proefstukken van de onverzadigde proefstukken (MPa)

### Rotating Surface Abrasion Test (RSAT)

De weerstand tegen rafeling wordt gemeten met de RSAT. Een belast stalen wiel met een massief rubberen band rijdt heen en weer over een asfaltplaat bij een temperatuur van 20 °C (figuur 5). Om de wringende kracht van het verkeer te simuleren is het wiel onder een hoek geplaatst met de beweegrichting van de plaat. Door de heen en weer gaande beweging van het wiel wordt de gehele plaat gelijkmatig belast. De plaat draait door de verplaatsing van het wiel. Wanneer het wiel in het hart van de plaat passeert, wordt de rotatie van de plaat geblokkeerd waardoor het wiel een wringende kracht uitoefent op de plaat. De mate van wringbestendigheid wordt uitgedrukt in de mate van materiaalverlies in 24 uur. Tevens is het mogelijk de spoordiepte te bepalen gedurende de RSAT proef.



Figuur 5: RSAT



### *Cantabro proef (CP)*

In de Cantabroproef wordt een Marshall proefstuk in een ronddraaiende trommel omhoog gebracht, daarna valt het proefstuk. Dit gebeurt door een schoep die aan de trommelwand is bevestigd. De proef wordt bij 18 °C uitgevoerd met 30 omwentelingen per minuut. Na 300 omwentelingen wordt het materiaalverlies (in massa %) bepaald (prEN 12697-17). Deze test biedt mogelijk inzicht in de mate van rafelingsgevoeligheid van ZOAB.

In fase 2a is deze proef uitgevoerd bij –20 °C, dit naar aanleiding van een buitenlands onderzoek [3] waarin werd geconcludeerd dat de proef bij deze temperatuur een groter onderscheidend vermogen heeft.

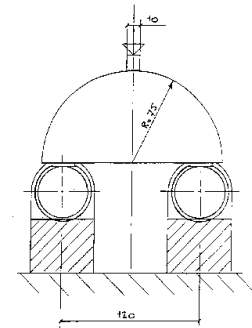
### *Dynamische treksterkte (DT)*

De dynamische trekproef [4] is uitgevoerd op uit platen geboorde cylinders (Ø100 mm). Deze proefstukken worden tussen planparallele trekplaten gelijmd. Tijdens de proeven worden het kracht- en het vervormingssignaal gemeten en opgeslagen. De proefstukken worden op trek belast middels een sinusvormig belastingpatroon met een frequentie (f) van 1 Hz. De belastingamplitude (F) is 350 N. Uit de gemeten vervormingssignalen worden de volgende parameters afgeleid:

- het tijdsverloop tot bezwijken ( $N_f$ ); dit wordt bepaald als de waarde waarbij de raaklijn aan de curve verticaal loopt.
- De richtingscoëfficiënt ( $de/dt$ ) van de raaklijn in het buigpunt; deze wordt bepaald door de raaklijn in het tijd-vervormingsdiagram te trekken.
- Energie (W) als het oppervlak onder de grafiek ( $J/m^3$ )

### *Semi Circular Bending (SCB)*

In een driepuntsbuigopstelling wordt een gehalveerd gyrotorverdicht proefstuk (Ø150 mm) zodanig belast dat het midden van de basis van het proefstuk op trek wordt belast (figuur 6). Voor de uitvoering van de proef kan, afhankelijk van de te bepalen parameters, worden gekozen voor een gekerfd (breuktaaiheid) of een ongekerfd (treksterkte) proefstuk. De SCB-proef wordt uitgevoerd bij een proefstuktemperatuur van  $0 \pm 1$  °C. Tijdens de proef neemt de vervorming met een constante vervormingssnelheid van  $0,085 \text{ mm/sec} = 5,1 \text{ mm/min}$  toe. De bijbehorende kracht zal ook toenemen tot een zekere maximale waarde ( $F_{\max}$ ). Deze maximale waarde kan direct worden gerelateerd aan de treksterkte (MPa) of de breuktaaiheid ( $K_{ic}$ ) van het beproefde monster.



*Figuur 6: SCB opstelling*

Opmerking: getracht is met behulp van de gyrotor proefstukken te vervaardigen met een gelijke dichtheid als Marshall verdichte proefstukken. De gemiddelde dichtheid van de gyrotor verdichte proefstukken was gelijk aan de Marshall verdichte proefstukken. Echter de dichtheidsverdeling van het gyrotorproefstuk (hoogte 100 mm) blijkt niet homogeen te zijn over de hoogte van het proefstuk. De hoogste dichtheid zit in het midden van het gyrotor proefstuk. Omdat de SCB proefstukken (hoogte 50 mm) uit het midden van het gyrotor proefstuk zijn gezaagd, was de dichtheid van de SCB-proefstukken te hoog.

## Eisen aan Halfwarm ZOAB met/zonder ZOAB-granulaat

Bij aanvang van het onderzoek is gesteld dat het HWS ZOAB met ZOAB-granulaat functioneel gelijk dient te zijn aan W ZOAB. Daarnaast geldt dat fysisch mechanische eigenschappen en de duurzaamheid van HWS ZOAB met ZOAB-granulaat gelijkwaardig dienen te zijn aan W ZOAB (ZOAB 0/16 conform RAW 2000). Om een vergelijk te kunnen maken van het effect van de halfwarme schuimbitumenttechniek is na fase 1 besloten om HWS ZOAB met 100% nieuw mineraal aan de te onderzoeken mengsels toe te voegen. Dit biedt een direct vergelijk tussen de HWS ZOAB en W ZOAB. In de RAW 2000 zijn in het vooronderzoek alleen eisen gesteld aan samenstelling en percentage holle ruimte eisen gesteld. Daarom is besloten gedurende het gehele onderzoek een referentiemengsel mee te laten lopen, W ZOAB.

Tabel 4: Eisen aan de HWS ZOAB

Test eigenschappen	Onderzoeksfasen		
	Fase 1	Fase 2a	Fase 2b
Holle ruimte (% v/v)	≥20	≥20	≥20
Ontoegankelijke holle ruimte (% v/v)	≥15	≥15	≥15
Percentage op 2 mm (% m/m)	≥82	≥82	≥82
Waterdoorlatendheid (m <sup>3</sup> /uur)	≥0,5		
ITS bij 1 °C (MPa)	≥80% van W ZOAB	≥80% van W ZOAB	≥80% van W ZOAB
RSAT 20 °C (verlies aan massa %)		Gelijk aan W ZOAB	Gelijk aan W ZOAB
Cantabro, 18 °C (verlies aan massa %)			Gelijk aan W ZOAB
Cantabro, -20 °C (verlies aan massa %)		Gelijk aan W ZOAB	
Ratio Retained ITS, 25 °C (%) t.o.v. W ZOAB			≥80%
SCB met kerf (MPa) SCB zonder kerf (K <sub>ic</sub> )			Gelijk aan W ZOAB
Dynamische trekproef (Nf, dε/dt)			Gelijk aan W ZOAB

## Resultaten onderzochte mengsels

In [2] zijn alle resultaten van het gehele project gepresenteerd. In de volgende paragrafen worden alle onderzochte mengsels nader gepresenteerd; de belangrijkste resultaten worden hierbij kort samengevat weergegeven.

### Mengsels per fase

#### *Mengsels onderzocht in fase 1*

Allereerst is getracht om ZOAB te mengen met 100% ZOAB-granulaat. Aan de gestelde eis; holle ruimte (minimaal 20% holle ruimte) en de functionele eis waterdoorlatendheid wordt niet voldaan. Hierdoor is het doel bijgesteld van 100% hergebruik van ZOAB granulaat met

de HW schuimbitumen techniek naar maximalisatie van het hergebruik percentage van ZOAB-granulaat tot hoogwaardig ZOAB met de HWS-techniek. De volgende mengsels zijn vervolgens in deze fase onderzocht:

- A. 40 tot 60 % nieuw mineraal aggregaat met 60 tot 40% ZOAB-granulaat
- B. alleen ZOAB-granulaat >5.6 mm (afgezeefd op C5.6)
- C. alleen ZOAB-granulaat >4 mm (afgezeefd op C4)
- D. 75% ZOAB-granulaat >5.6 mm (afgezeefd op C5.6) met 25% nieuw mineraal aggregaat (toevoegen).

Al deze mengsels zijn onderzocht met bitumen Eshafoam 200, in een range van 2,5 tot 4,0%, in stappen van 0,5%. Het bitumenpercentage in het ZOAB-granulaat is 4,3%. In fase 1 zijn alle HWS ZOAB mengsels gemengd met Eshafoam 200 in plaats van Eshafoam 100.

De argumenten hiervoor:

- mogelijk betere meng-eigenschappen met de oude bitumen van het ZOAB-granulaat
- betere schuimeigenschappen
- in warme ZOAB proefvakken zijn goede ervaringen opgedaan m.b.t. zachtere bitumen [5].

Per onderzocht mengsel in fase 1 is een optimum percentage bitumen bepaald. Dit is gedaan op basis van ITS. Het beste resultaat is verkregen met HWS ZOAB met 55% ZOAB-granulaat, 3,5% Eshafoam 200 (3% water en 0,025% additief).

Om een goed vergelijk te krijgen tussen het warme proces en de HW schuimbitumentechiek met toevoeging van ZOAB-granulaat is tevens HWS ZOAB met 100% nieuw mineraal aggregaat en 4,5% Eshafoam 100 (3% water; 0,025% additief).

#### *Mengsels onderzocht in fase 2a*

Aan de hand van de resultaten van fase 1 is geen indicatie gevonden dat Eshafoam 200 betere resultaten zou opleveren, daarom is besloten om in fase 2 ook mengsels met Eshafoam 100 te onderzoeken. Een bijkomstig voordeel is dat een direct vergelijk te maken is tussen HWS ZOAB en W ZOAB met 100% nieuw mineraal aggregaat. Op basis van de resultaten en de gestelde eisen (tabel 4) uit fase 1 zijn de volgende mengsels in fase 2a onderzocht:

- E. HWS ZOAB met 100% mineraal aggregaat met 4,5% Eshafoam100
- F. HWS ZOAB met 100% mineraal aggregaat met 4,5% Eshafoam200
- G. HWS ZOAB met 45% mineraal aggregaat, 55% ZOAB-granulaat met 3,5% Eshafoam100
- H. HWS ZOAB met 45% mineraal aggregaat, 55% ZOAB-granulaat met 3,5% Eshafoam200
- I. W ZOAB met 100% mineraal aggregaat met 4,5% Eshafoam100 (niet verschuimt), referentiemengsel

Op basis van de resultaten uit fase 2a zijn in fase 2b de mengsels E, G en I aanbevolen.

#### *Mengselsamenstelling en de bitumeneigenschappen van de onderzochte mengsels in fase 2a en 2b*

In tabel 5 is een overzicht gegeven van de gemiddelde samenstellingen in massa procenten van 4 monsters (losse speciemonsters). De bitumeneigenschappen zijn een gemiddelde van minimaal 2 monsters. Het percentage water in het mengsel is bepaald door de massa afname van een Marshall tablet te meten na 24 uur in een oven bij 160 °C.

Tabel 5: Mengsel samenstellingen en bitumen eigenschappen van de onderzochte mengsels

Fase	Mengsels in fase 2a					Mengsels in fase 2b		
Mix	E	F	G	H	I	E	G	I*
Op zeef:								
C16	1,8	1,4	1,0	1,2	1,2	1,9	2,4	1,0
C11.2	28,4	26,7	28,1	24,7	19,6	28,6	28,6	23,2
C8	59,4	59,2	60,6	55,9	57,5	59,4	58,9	58,9
C5.6	75,8	75,7	75,1	72,1	73,0	74,7	71,3	73,8
2 mm	84,7 (1,5)	85,2 (0,8)	84,6 (1,4)	82,5 (0,7)	83,7	84,4 (0,8)	81,5 (2,0)	83,7 (0,5)
500 µm	89,9	90,6	89,9	88,4	90,2	91,0	87,9	89,8
180 µm	92,9	93,4	93,0	92,1	92,9	93,7	91,9	92,7
< 63 µm	4,6 (0,8)	4,5 (0,2)	4,7 (0,5)	5,2 (0,2)	5,0	4,4 (0,3)	5,1 (0,5)	5,1 (0,1)
bitumen op 100% m.a.	4,5 (0,2)	4,6 (0,1)	6,0 (0,3)	6,0 (0,2)	4,5	4,9 (0,25)	6,3 (0,8)	4,3 (0,2)
Bitumen eigenschappen:								
Penetratie (*0,1 mm)	42,5	86,0	23,8	29,0	80	52	24	64
T <sub>r&amp;k</sub> (°C)	55,0	45,8	61,3	58,3	45,0	52,3	62,7	49,9
%-water in mengsel (%)	0,19	0,20	0,19	0,21	-	-	-	-

( ) standaarddeviatie van de belangrijkste mengsel parameters.

\* deze gemiddelde samenstelling is niet bepaald op 4 speciemenengsels maar op 4 verdichte gyrator tabletten

## Proef resultaten

### Resultaten fase 1

Alle onderzochte mengsels voldoen aan de holle ruimte eisen. Alle mengsels, behalve één mengsel met 3,75% schuimbitumen, voldoen aan de functionele eis voor waterdoorlatendheid. Over het algemeen kan geconcludeerd worden dat de HWS ZOAB mengsels met 2,5 tot 4% schuimbitumen een optimum hebben rond 3,5% Eshafoam 200 (Ratio van 80%t.o.v. de ITS van W ZOAB).

### Resultaten fase 2

In tabel 6 zijn de resultaten weergegeven van de belangrijkste proefresultaten van de onderzochte mengsels uit fase 2a en 2b. Voor meer gedetailleerde resultaten [2].

Tabel 6: Vergelijking van de belangrijkste proefresultaten van de onderzochte mengsels uit fase 2a en 2b

Fase	Mengsels in fase 2a					Mengsels in fase 2b		
Mengsel	E	F	G	H	I	E	G	I*
Holle ruimte (v/v %)	21,2	20,2	19,8	19,6	21,4	21,9	20,8	22,6
RSAT (materiaal verlies in 24 uur (g))	15,2	116,3 (18 uur)	14,9	38,8	71,2	133	84	22
ITS (MPa)	1,52 (76)	1,59 (79)	1,45 (72)	1,58 (79)	2,01 (100)	1,19 (66)	1,25 (70)	1,78 (100)
ITSR (%)	-	-	-	-	-	73,1	81,1	93,8
SCB (MPa)	-	-	-	-	-	3,26	2,33	4,09
SCB (MPa $\sqrt{\text{mm}}$ )	-	-	-	-	-	15,06	12,56	18,99
DTT: $N_f$ (-)	-	-	-	-	-	628	299	1894
$d\epsilon/dt$ ( $\mu\text{m/m}$ )/s	-	-	-	-	-	17	114	14
W ( $\text{J/m}^3$ )	-	-	-	-	-	14231	4455	3350
Cantabro:								
+18°C	-	-	-	-	-	63,1	78,8	32,0
-20 °C	88	94	97	99	67	-	-	-

( ) Ratio van de ITS t.o.v. de ITS van W ZOAB (I) per fase.

\* deze gemiddelde samenstelling is niet bepaald op 4 speciemengsels maar op 4 verdichte gyrator tabletten

## 5. Discussie

In dit hoofdstuk worden eerst de laboratoriumresultaten besproken, vervolgens wordt bediscussieerd hoe om te gaan met de verschillen tussen laboratorium onderzoek en de praktijk.

### Laboratorium resultaten

#### Mengseleigenschappen m.b.t. rafelingsweerstand

##### *Rotating Surface Abrasion Test (RSAT)*

In fase 2a was het materiaalverlies van alle HWS ZOAB mengsels minder dan bij W ZOAB. In fase 2b is een uitgebreider RSAT onderzoek uitgevoerd, de resultaten uit fase 2a konden helaas niet worden benaderd. Enige afwijking t.o.v. fase 2a was het gebruikte bitumen van het W ZOAB. HWS ZOAB met zachtere bitumen acteert slechter in vergelijking met hetzelfde mengsels met een harde bitumen. Geen verklaringen zijn gevonden voor de afwijking tussen fase 2a en 2b. Hoopvol was dat enkele HWS ZOAB mengsels op een gelijkwaardig niveau acteren als W ZOAB.

##### *Cantabro Proef (CP)*

In [5] is geen relatie gevonden tussen de resultaten bij 18 °C en de rafelingsweerstand van ZOAB in de praktijk. In Japan [3] is een goede relatie gevonden tussen de CP bij -20 °C en de rafelingsweerstand in de praktijk. Dit was aanleiding om in fase 2a de CP uit te voeren bij -20 °C . Ten gevolge van de teleurstellende resultaten van de CP in fase 2a is besloten om de CP

in fase 2b uit te voeren bij 18 °C, dit om te onderzoeken of de resultaten vergelijkbaar zijn resultaten van ZOAB uit het verleden [6]. Het massaverlies voor W ZOAB bij 18 °C is normaal rond de 30%. In fase 2a gaven alle mengsels onderzocht -20 °C slechte resultaten. W ZOAB benaderde de slechtste resultaten uit [3]. In fase 2b zijn de resultaten van W ZOAB bij 18 °C vergelijkbaar met eerdere ervaringen [6]. HWS ZOAB mengsels met 100% nieuw mineraal vertonen slechtere resultaten dan HWS ZOAB met ZOAB-granulaat.

### Mengseleigenschappen m.b.t. treksterkte

#### *Indirecte Treksterkte (ITS)*

De HWS ZOAB uit fase 2a benaderen de eis van 80% t.o.v. W ZOAB. Over het algemeen kan worden geconcludeerd dat de ITS van de HWS ZOAB minder is dan die van W ZOAB. In fase 2b zijn de mengsels beduidend slechter dan W ZOAB.

#### *Semi Circular Bending (SCB)*

Beide SCB resultaten, de buigtreksterkte en de breuktaaiheid zijn voor alle HWS ZOAB mengsels slechter dan de SCB resultaten van W ZOAB. HWS ZOAB met 100% nieuw mineraal acteert beter dan HWS ZOAB met ZOAB-granulaat.

#### *Dynamische trekproef (DT)*

In de dynamische trekproef acteert W ZOAB beter dan HWS ZOAB. De resultaten van HWS ZOAB met 55% ZOAB-granulaat zijn beduidend slechter.

### Mengseleigenschappen m.b.t. duurzaamheid

#### *Retained Indirecte treksterkte (ITSR)*

Als de onderlinge resultaten van de HWS ZOAB mengsels worden vergeleken met W ZOAB kan worden geconcludeerd dat de HWS ZOAB mengsels gevoeliger zijn voor vocht dan W ZOAB. Uit vergelijking van de HWS ZOAB mengsels kan geconcludeerd worden dat HWS met ZOAB-granulaat minder watergevoelig is dan HWS met 100% nieuw mineraal.

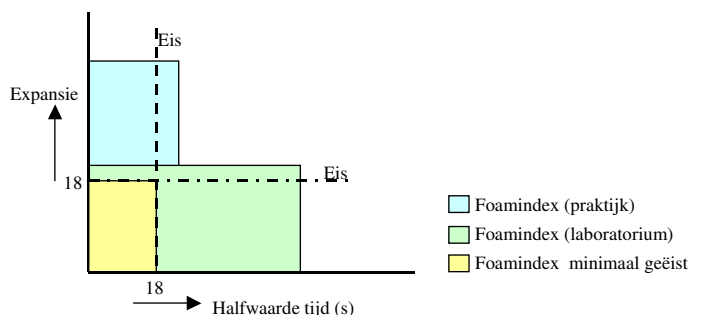
### Laboratorium t.o.v. de praktijk

#### Is water nodig?

#### Is de energie (Foam Index) benodigd in het laboratorium gelijk of anders in de praktijk?

In het laboratorium is gebleken met de huidige (dwang)menger dat een beperkte hoeveelheid mengwater nodig is om volledige omhulling van het mineraal aggregaat te verkrijgen en om het proces (mengtijd) zo kort mogelijk te houden.

De mate van energie benodigd om een mineraal aggregaat te omhullen bij 95 °C (met gebruik van mengwater) is in het laboratorium vastgesteld met behulp van een eis aan de gemeten expansie en de halfwaardetijd. Gebleken is dat het gebruikte schuimbitumen ruim voldoet aan deze eisen. Helaas is gebleken dat het niet mogelijk is om zonder mengwater het mineraal aggregaat volledig te omhullen, zie meng- en verdichtingsprotocol [2]. Mogelijk is de energie (Foam Index) die ontstaat t.g.v. de schuimbitumentechiek in combinatie met het mengproces (laboratorium) niet voldoende is om discontinu gegradeerde mengsels te omhullen zonder water.



Figuur 7: Foam Index, praktijk t.o.v. laboratorium

Mogelijk is het noodzakelijk om de eisen gesteld aan het schuimbitumen in de vorm van expansie en halfwaarde tijd aan te passen naar een hoeveelheid energie. Gebleken is dat de gebruikte menger, schuimbitumentechiek, het mengproces, mengwater en mengtijd een invloed op de proefstuk vervaardiging hebben in het laboratorium.

Daarom is het noodzakelijk naar praktijk gemengde mengsels te gaan, waarbij de omstandigheden: mengproces, mengenergie en mengtijd anders zijn dan in het laboratorium maar die gelijk een vertaling opleveren naar een proefvak.

Met betrekking tot de energie uit het schuimbitumen (Foam index) is het misschien mogelijk door een andere vorm te nemen van de energie (figuur 7) (Foam Index, verhouding  $ER_m$  t.o.v.  $\tau_{1/2}$ ) ten opzichte van het laboratorium HWS ZOAB te omhullen zonder mengwater.

Mocht het mogelijk zijn om HW ZOAB te produceren zonder water dan is het noodzakelijk deze kennis weer te vertalen naar laboratorium omstandigheden. In de workshop [7] is door de ZNAC geconstateerd (visuele waarneming) dat mengwater niet nodig is om volledige omhulling te krijgen.

### **Black rock principe?**

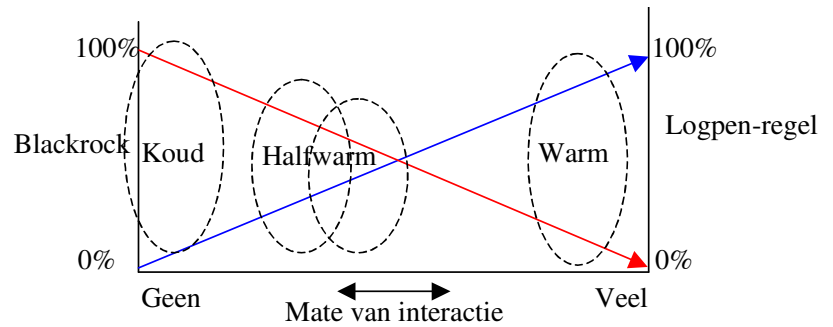
Acteert ZOAB-granulaat met sterk verouderde bitumen als een steen (blackrock) of vindt er opmenging plaats tussen de sterk verouderde bitumen en de nieuw toegevoegde bitumen?

Bij hergebruik van ZOAB-granulaat bestaat er discussie over de bijdrage van het verouderde bindmiddel aan de uiteindelijke functionele eigenschappen van het eindmengsel. Als bindmiddel wordt beschouwd het bitumen / vulstof mengsel; de z.g.n. mortel. Deze mortel moet bij de verwerkingstemperatuur vervormbaar zijn en een voldoende lage viscositeit hebben om met het nieuw toe te voegen bindmiddel (gedeeltelijk) te kunnen vermengen.

Om enig inzicht in het gedrag van de mortel te krijgen zijn in het laboratorium van Esha een aantal proefmengsels gemaakt waarvan het verwekingspunt (Temp. R&K) is bepaald.

Bij de poging om het verwekingspunt van de teruggewonnen fractie  $<2\text{mm}$ ;  $<180\mu\text{m}$ ;  $<63\mu\text{m}$  mastiek en de mortel te meten, bleek dat er tot een temperatuur  $<150^\circ\text{C}$  geen proefstuk was te vervaardigen voor de bepaling van verwekingspunt R&K. Ook was het materiaal niet te verdichten bij temperaturen tot  $150^\circ\text{C}$ . Boven een temperatuur van  $150^\circ\text{C}$  begon er zichtbare kleefkracht op te treden. Uit het onderzoek blijkt dat het bitumen-vulstof (mastiek) mengsels afkomstig uit het ZOAB-granulaat pas enige verweking vertoont bij  $150 - 160^\circ\text{C}$ . Hieruit kan geconcludeerd worden dat menging met nieuw toe te voegen bindmiddel bij halfwarme ( $95^\circ\text{C}$ ) toepassing zeer gering zal zijn. Mogelijk zal er enige migratie in de loop van de tijd plaatsvinden.

In fase 1 is op HWS ZOAB uitvoerig onderzoek gedaan op een uitgebreid aantal mengsels (percentage bitumen variërend van 2,5 tot 4%) met de ITS . HWS ZOAB mengsels met 3,5% bitumen gaven de beste resultaten. W ZOAB bevat normaal 4,5% bitumen, mogelijk vindt er toch enige vermenging op tussen de nieuw toegevoegde bitumen en het sterk verouderde bitumen. Aan de andere hand: in het CROW project hergebruik van asfalt [8] is bepaald dat mengsels met asfaltgranulaat beter acteren in mechanische testen dan mengsels alleen bestaand uit nieuw granulaat. Een mogelijke verklaring kan zijn dat mengsels met asfaltgranulaat minder bitumen nodig hebben door dat de lichte delen niet worden geabsorbeerd door het asfaltgranulaat, omdat het asfaltgranulaat al voor omhuld is.



Figuur 8: Interactie asfaltgranulaat met nieuwe bitumen

Dus men kan concluderen dat het ZOAB-granulaat niet acteert als Blackrock nog als deel dat omhuld is met bitumen (figuur 8). Aangezien er geen totale vermenging optreedt tussen de sterk verouderde bitumen en de nieuw toegevoegde bitumen zit het er ergens tussen in, het benadert meer het Blackrock dan volledige menging (logpenregel).

## 6. Conclusies en aanbevelingen

Om in het laboratorium Halfwarme ZOAB proefstukken met schuimbitumen te vervaardigen is water nodig om het materiaal volledig te omhullen. Mogelijk is dit in de praktijk niet noodzakelijk. Om dit te controleren is nog meer praktijk onderzoek noodzakelijk.

Het uitgevoerde onderzoek geeft een indicatie dat de halfwarm schuimbitumentechiek een goed alternatief kan zijn (is) voor de warme mengtechniek. Om dit te controleren is meer onderzoek noodzakelijk. Vanwege de tegenvallende testresultaten in fase 2b zal nog niet direct een proefvak worden aangelegd met Halfwarm ZOAB met of zonder ZOAB-granulaat. Daarom is besloten door te gaan met onderzoek middels praktijkonderzoek op molengemengd materiaal op kleine schaal, met praktijk verdichting. Hierbij dient gekeken te worden naar het meng- en verdichtingsproces, energieverbruik, mengwater en mengtijd. Mocht dit vergelijkbare resultaten opleveren voor Halfwarme ZOAB met de schuimbitumentechiek t.o.v. Warme ZOAB, dan dient zo spoedig mogelijk een methode gevonden te worden om dit in het laboratorium te simuleren.

## 7. Referenties

- [1] Jenkins K, 2000. Dissertation: **Mix Design Considerations for Cold and Half-warm Bituminous Mixes with Emphasis on Foamed Bitumen**. Stellenbosch University, South Africa.
- [2] Mangnus S, 2003. **Hoogwaardig hergebruik ZOAB-granulaat in ZOAB met de halfwarme schuimbitumentechiek**. Rapport fase 1, fase 2a en fase 2b. Heijmans Infrastructuur b.v.
- Magnus S, 2003. **Meng- en verdichtingsprotocol**. HZS-59, Heijmans Infrastructuur b.v.



- [3] Takahashi S, Poulidakos L.D. and Part 1 M.N., 2003. **Evaluation of Improved Porous Asphalt by Various Test Methods**. PTEBM '03 6<sup>th</sup> RILEM symposium.
- [4] CROW, publicatie 103, 1996. ZOAB restlevensduur.
- [5] Voskuilen J, Tolman F and Rutten E, 2004. **Do Modified Porous Asphalt Mixtures have a longer Service life?** Eurobitume & Eurasphalt congress 2004 Vienna
- [6] Kooij van de J et al, 1998. **Hergebruik van ZOAB Dat gaat ZO!!** Road and Hydraulic Engineering Institute report P-DWW-38-055.
- [7] **Workshop Schuimbitumen koud en halfwarm**. 11 June 2003. CD-Rom, Road and Hydraulic Engineering Institute.
- [8] **Hergebruik van asfalt** CROW Publicatie 179, 2002