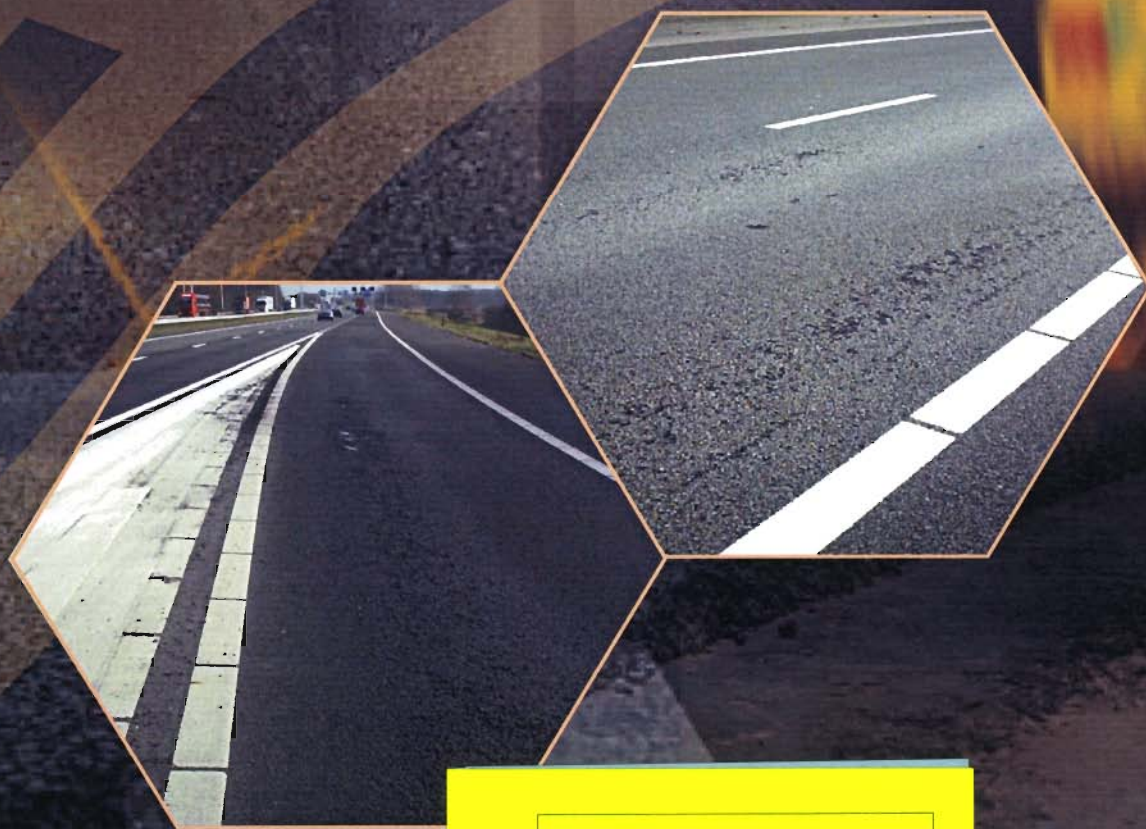


Gaat gemodificeerd ZOAB langer mee??



DIGITAAL
BESCHIKBAAR
KENNISPLEIN

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Dienst Weg- en Waterbouwkunde

**Gaat gemodificeerd
ZOAB langer mee??**

<p><i>Publicatienummer</i> DWW-2002-13</p> <p><i>Titel en subtitel rapport</i> Gaat gemodificeerd ZOAB langer mee??</p> <p><i>Auteur(s)</i> E.R.P. Rutten (NPC) J.L.M. Voskuilen (DWW) F. Tolman (NPC)</p> <p><i>Opdrachtnemer(s)</i></p> <p><i>Opdrachtgever</i> Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde J.L.M. Voskuilen Postbus 5044 2600 GA DELFT 015 2518264 015 2518555 J.L.M.Voskuilen@dww.rws.minvenw.nl</p> <p><i>Titel onderzoeksproject</i> ZOAB/PRAKTIJK</p> <p><i>Datum publicatie</i> mei 2002</p> <p><i>Projectleider</i> J.L.M. Voskuilen <i>afdeling</i> IR</p> <p><i>Aantal bladzijden</i> 58, plus 1 bijlagen, tabellen en figuren.</p> <p><i>Trefwoorden</i> ZOAB, Rafeling, Proefvakken, SBS, EVA, Rubberbitumen, Afdruipremmer, Cantabroproef, Splijtproef, Cyclische trekproef, Modellen.</p> <p><i>Grafische vormgeving</i> DWW, DELFT</p> <p><i>Productie</i> DWW, DELFT</p>	<p>Samenvatting Dit rapport heeft betrekking op de ZOAB-proefvakken op de A10 (ring Amsterdam Noord) en op de A12 bij Zoetermeer en Nootdorp. Deze vakken zijn eind jaren tachtig, begin jaren negentig aangelegd, met als doel om inzicht te krijgen in het rafelingsgedrag van gemodificeerd ZOAB. Veel (mechanisch) laboratoriumonderzoek alsmede visuele inspecties zijn uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de toegepaste proeven niet geschikt zijn om een uitspraak te doen over het gedrag van ZOAB in de praktijk. Daarnaast blijkt dat modificeren van ZOAB geen direct levensduurverlengend effect heeft. Wel is modificeren zinvol teneinde een hoger bindmiddelgehalte in ZOAB te verkrijgen. Meer bindmiddel leidt over het algemeen tot een beter praktijkgedrag.</p> <p>Summary This paper concerns about the porous asphalt test sections on Motorway A10 (Amsterdam Northern ring road) and motorway A12 (near Zoetermeer and Nootdorp). These sections were built in the late eighties / early nineties to gain insight in the ravelling behaviour of modified porous asphalt. Many (mechanical) laboratory tests and inspections were executed. As a conclusion can be written down that the used laboratory tests are not suitable for giving an explanation for the behaviour of porous asphalt. Also the use of asphalt modifications seems to give no life-extending effect. On the other hand modifications are useful to obtain a higher binder content in Porous Asphalt. A higher binder content leads to a better behaviour in the field.</p> <p>Disclaimer De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat (DWW), en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben 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, mede ten behoeve van degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.</p>
---	---

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Probleemstelling	6
1.2	Doelstelling	6
1.3	Historie van ZOAB	6
1.4	Opvattingen in Europese landen	6
2	Literatuuronderzoek	11
2.1	Mengselontwerpmethoden	11
2.1.1	RAW Standaard	12
2.1.2	OCW (België)	12
2.1.3	Sabita (Zuid-Afrika)	12
2.1.4	EMPA (Zwitserland)	13
2.2	Mengsels	14
2.2.1	Bouwstoffen	14
2.3	Testmethoden	17
2.3.1	Splijtproef [1]	17
2.3.2	Cantabroproef [1]	18
2.3.3	Cyclische directe trekproef [1]	19
2.3.4	Overige proeven	22
2.4	Inspectiemethodieken	22
3	Proefvakonderzoek	24
3.1	Aanleg proefvakken op de A10 en de A12	24
3.1.1	Aanleg proefvakken A10	24
3.1.2	Aanleg proefvakken A12 bij Zoetermeer	26
3.1.3	Aanleg proefvakken A12 bij Nootdorp	28
3.2	Testmethoden	28
3.3	Inspectie	29
3.3.1	Inspecties A10	30
3.3.2	Inspectie A12 Zoetermeer	35
3.3.3	Inspectie A12 Nootdorp	36
4	Model	38
4.1	Algemeen	38
4.2	Continuüm model	39
5	Interpretatie onderzoeksgegevens	44
6	Conclusies	50
7	Aanbevelingen	52
8	Referentielijst	54
9	Literatuurlijst	56
10	Bijlagen	59
10.1	Bijlage I: resultaten van de uitgevoerde laboratoriumproeven (CD-rom)	59

1 Inleiding

In Nederland worden sinds het eind van de jaren 80 op grote schaal ZOAB-deklagen (zeer open asfaltbeton) aangelegd op de (rijks)wegen. Belangrijke voordelen van een dergelijke open deklaag ten opzichte van dichte deklagen zijn de verbetering van de geluidsreducerende eigenschappen en de reductie van spat- en stuifwater. Een nadeel is de geringere levensduur (gemiddeld 11 jaar) als gevolg van rafeling. Dit is het loslaten van de steentjes uit het oppervlak. Aangezien bij ZOAB de steentjes slechts op een beperkt aantal contactvlakjes met elkaar verbonden zijn, is er relatief weinig kracht voor nodig om een steentje los te krijgen. Dit in tegenstelling tot DAB (dicht asfaltbeton) waarbij de steentjes compleet zijn ingekapseld door de mortel en daardoor nauwelijks steenverlies in het asfalt kan optreden.

In de afgelopen jaren is er veel onderzoek verricht naar de mogelijkheden om de levensduur van ZOAB te verlengen. In het verleden heeft o.a. de CROW-werkgroep WM11 zich hiermee bezig gehouden. Deze werkgroep heeft de invloed onderzocht van het bindmiddel en de gradering van gemodificeerde ZOAB-mengsels op de mate van rafeling. Hiervoor zijn diverse proefvakken aangelegd op de A10 (ring Amsterdam-Noord) en de A12 (bij Zoetermeer).

Onderzocht is welke beschikbare mechanische onderzoeksproeven geschikt zijn om een uitspraak te doen over de levensduur van ZOAB [1]. Diverse verbanden zijn uit dit onderzoek afgeleid. De proeven bleken niet geschikt voor het bepalen van de invloed van de diverse modificaties op de rafelingsweerstand van ZOAB. De vertaling van kwalitatieve conclusies (verlenging, verkorting levensduur) naar kwantitatieve conclusies (toepassing modificatie y leidt tot x jaar levensduurverlenging) is vooralsnog niet mogelijk gebleken [1]. Na de opheffing van CROW WM 11 heeft de DWW de proefvakken geadopteerd.

Om nog voor einde levensduur van de ZOAB-proefvakken zoveel mogelijk gegevens te verzamelen zijn in 1999 de bovengenoemde proefvakken, inclusief de RWS proefvakken op de A 12 nabij Nootdorp, nogmaals door de DWW aan een uitgebreid onderzoek onderworpen.

Na het analyseren van alle gegevens is getracht een kwantitatieve uitspraak te doen over het schademechanisme rafeling en over de levensduurverlengende maatregelen die voor ZOAB getroffen kunnen worden. Daarnaast wordt aangegeven welke (mechanische) proeven geschikt zijn om een uitspraak te doen over de te verwachten levensduur.

In hoofdstuk 1 worden de doelstelling en probleemstelling van de onderhavige studie aangegeven en wordt een kort historisch overzicht van ZOAB in Nederland gegeven. Daarnaast wordt een overzicht gegeven van voor ZOAB geldende ontwerpcriteria in enkele andere landen.

In hoofdstuk 2 wordt verslag gedaan van het uitgevoerde literatuuronderzoek. Aan bod komen de verschillende mengselontwerpmethoden en de diverse componenten waaruit ZOAB is opgebouwd. Er wordt een overzicht gegeven van de diverse beschikbare proeven en onderzoeksmethoden om een uitspraak te doen over de levensduur van ZOAB. In hoofdstuk 3 wordt het uitgevoerde praktijkonderzoek aan de proefvakken besproken. In hoofdstuk 4 wordt het model besproken dat als basis dient voor de verdere analyse van alle onderzoeksgegevens. Hiervoor zijn op grond van de huidige kennis de onderzoekshypothesen opgesteld. Met behulp van wegbouwkundige inzichten zijn (statistische) analyses uitgevoerd op de data die in het model verwerkt zijn. In hoofdstuk 5 worden de resultaten hiervan weergegeven en worden de resultaten geïnterpreteerd. Het rapport wordt in hoofdstuk 6 en 7 afgesloten met de conclusies en aanbevelingen. Ten slotte zijn een referentielijst en een literatuurlijst opgenomen, waarin respectievelijk bestudeerde literatuur en voor ZOAB interessante literatuur zijn opgenomen

1.1 Probleemstelling

ZOAB wordt alomtgewaardeerd vanwege de goede geluidsreducerende eigenschappen (voor de omwonenden) en het goede drainerende vermogen (voor de automobilisten). Het kent echter een aantal nadelen, waaronder de kortere levensduur ten opzichte van andere typen deklagen. Voor de levensduur is voor ZOAB het maatgevende schademechanisme rafeling, ofwel het loslaten van steenkorrels aan het wegooppervlak. Onderzoek naar verbetering van de weerstand tegen rafeling staat in deze studie centraal. De probleemstelling is tweeledig opgesteld:

- In het laboratorium wordt per proef, bij onderzoek van diverse modificaties, een bepaalde (absolute) ranking verkregen. Daarnaast kan een ranking worden opgesteld op basis van de uitgevoerde visuele inspecties (rafeling in de praktijk). Onduidelijk is hoe de correlatie is tussen de in het laboratorium bepaalde ranking en het optreden van rafeling in de praktijk. Het is dus niet duidelijk welke proef of proeven een voorspellend vermogen hebben voor de levensduur van ZOAB.
- In ZOAB worden veel verschillende modificaties toegepast. Niet duidelijk is welke modificaties daadwerkelijk succesvol zijn in de praktijk.

1.2 Doelstelling

Het doel van deze studie is de stand van zaken te beschrijven van de kennis van het maatgevende schademechanisme rafeling bij (gemodificeerd) ZOAB. De volgende onderzoeksopzet is hierbij gehanteerd:

- het uitvoeren van een literatuurstudie
- het samenvatten van de onderzoeksresultaten (zie bijlage I)
- het opstellen van een model waarbij wordt uitgegaan van hypothesen die zijn opgesteld op basis van de beschikbare kennis
- Het toetsen van het model en het vellen van een oordeel over de gestelde hypothesen op grond van het uitgevoerde literatuuronderzoek en de onderzoeksresultaten op de drie studieobjecten, zijnde de A10 (ring Amsterdam-Noord), de A12 bij Zoetermeer en de A12 bij Nootdorp

1.3 Historie van ZOAB

Een overzicht van de ontwikkeling van ZOAB door de jaren heen is gegeven in [9].

1.4 Opvattingen in Europese landen

In de tabel 1 is een overzicht gegeven van diverse aspecten met betrekking tot het mengselontwerp van ZOAB, het onderzoek aan ZOAB en de aanleg en het onderhoud van ZOAB in andere landen [10]. Dit overzicht is opgesteld op basis van gegevens uit 1996. Uitzondering vormen de gegevens van Duitsland, Italië, Frankrijk, Denemarken en Noorwegen. Die zijn van dit jaar.

Tabel 1: Opvattingen in andere landen met betrekking tot mengselontwerp

Frankrijk	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gradering ▪ meest toegepast ▪ aggregaat ▪ bindmiddel ▪ eisen aan mengselontwerp/testmethoden ▪ test gedrag in praktijk ▪ laagdikte ▪ redenen toepassing ZOAB ▪ Toepassing op ▪ Onderzoek 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0/6; 0/10 ▪ 0/6 met 15% fractie 0/2 en 85% fractie 4/6; 0/10 met 15% fractie 0/2 en 85% fractie 6/10 ▪ porfier ▪ 35/50 tot 70/100 met modificaties zoals SBS, EVA, rubber, vezels etc ▪ holle ruimte na 40 omwentelingen in de gyrator; resp. 20 tot 25% voor 0/6 en en 25 tot 30% voor 0/10; minimale holle ruimte na 200 omwentelingen in de gyrator; resp. 15% voor 0/6 en 20% voor 0/10; rafelingsweerstand > 0,8 (verhouding tussen druksterkte “in water” en druksterkte weerstand droog) ▪ waterdoorlatendheid (porositeit) ▪ 0/6: 30 tot 40 mm; 0/10: 40 tot 50 mm ▪ hoofdzakelijk spat- en stuifwater; men is op de hoogte van de goede spoorvormingsweerstand en de goede geluidsreducerende eigenschappen ▪ hoofdzakelijk snelwegen ▪ geen
Groot-Brittannië	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ gradering ▪ mineraal ▪ bindmiddel (in 0/20) ▪ bindmiddel (in 0/10) ▪ toepassing ZOAB ▪ evt. redenen toepassing ZOAB ▪ test gedrag in praktijk 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0/20 (rijkswegen); 0/10 (andere toepassingen); de vulstoffractie dient 2% hydroxide bevattende kalksteen te bevatten ▪ steenslag (geen kalksteen), staalslak; de “flakiness index” mag niet hoger dan 25 zijn ▪ bitumen pen 100 of 200: $3,7 \pm 0,3$ massa%; gemodificeerd: 4,5 massa%; bij hogere percentages en modificaties wordt een afdruiptest voorgeschreven (Binder Drainage Test); geschikte modificaties: natuurlijke rubbers, SBS-bitumen, organische en anorganische vezels; de leverancier moet aantonen dat bindmiddel en modificatie compatibel en stabiel zijn ▪ conventioneel bitumen pen 100 of 200: $5,2 \pm 0,5$ massa% ▪ in zeer beperkte mate; om deze reden zijn er nog geen (mechanische) testmethoden ontwikkeld ▪ geluidsreductie; minder stuifwater; nachtelijk zicht (bij nat weer) en betere bandengrip ▪ duurzaamheid (stroefheid, oppervlaktetextuur, waterdoorlaatbaarheid, deformatie, geconstateerde schade); geluidsreductie
Oostenrijk	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ toepassing ▪ reden toepassing ZOAB ▪ eisen aan mengselontwerp/testmethoden ▪ mineraal ▪ bindmiddel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ aanleg wordt getemporiseerd, vanwege milieuaspecten en wintergedrag ▪ geluidsreductie ▪ gradering 0/11, toepassing van edelsplit, minimale verdichtingsgraad 95%; er is een productie/testhandleiding sinds 1990, hierin zijn geen mechanische testmethoden opgenomen ▪ alleen toepassing van edelsplit; het materiaal > 4 mm mag maximaal 15% ‘gevormd’ materiaal bevatten; het materiaal moet vorst- en verbrijzelingsbestand zijn (doorlopen van vorst-dooi cycli); de PSV-waarde moet groter dan 50 zijn; tevens wordt een hechtvermogen geëist (type omhullingsproef), minimaal 90% van het steenoppervlak dient bedekt te zijn ▪ drie systemen: B80 met gummi(rubber)granulaat en aromatische olie (5%); polymeer gemodificeerde bitumen met toepassing van organische of anorganische vezels (5%); polymeer gemodificeerde bitumen (4,5%)
Finland	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ toepassing ▪ ontwikkeling 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ZOAB wordt niet toegepast i.v.m. gebruik van spijkerbanden ▪ een poro-elastische deklaag die bestaat uit rubbergranulaat en een bindmiddel bestaande uit poly-urethaan of bitumen; dit materiaal is samendrukbaar en heeft daardoor zelfreinigende werking.

Noorwegen	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ toepassing ▪ reden geen toepassing ZOAB 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ eerst op vliegveld Oslo (1973); dit heeft 15 jaar goed gefunctioneerd; in jaren '80 veel projecten, allen mislukt; sinds 1994 niet meer toegepast; ▪ gebruik van spijkerbanden in de winter leidt tot snelle vervuiling en effectieve reinigingsmethoden om de geluidsreducerende eigenschappen te herstellen zijn niet voorhanden; op vliegvelden geldt dat een goede stroefheid werd bereikt door toepassing van het niet meer toegestane zand "Urea"; andere de-icing producten (potassium formiat) hebben een negatieve invloed op de eigenschappen van de bindmiddelen)
Denemarken	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ toepassing ▪ reden toepassing ZOAB ▪ eisen aan mengselontwerp/test methoden ▪ Gradering ▪ meest toegepast ▪ aggregaat ▪ bindmiddel ▪ eisen aan mengselontwerp/testmethoden ▪ test gedrag in praktijk ▪ Onderzoek 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ op zeer beperkte schaal proefprojecten; het wordt niet veel toegepast vanwege de relatief korte levensduur, de afnemende geluidsreducerende eigenschappen door vervuiling en het onbekende wintergedrag ▪ geluidsreductie ▪ er zijn geen specificaties of standaarden; ontwerp is gebaseerd aangepaste Marshallmethode ▪ 0/8 ▪ 0,075 mm 4 tot 10%; 2 mm \leq 15%; 8 mm \geq 92%; 11,2 mm 100% ▪ gebroken steen uit Noorwegen of Zweden ▪ bitumen met elastomeren (bijv. SBS) ▪ Holle ruimte in Marshallproefstuk \geq 20%; verhouding bindmiddelvolume/volume aggregaat \geq 0,140 ▪ Akoestische eigenschappen ▪ Onderzoek naar de duurzaamheid van ZOAB; onderzocht worden diverse vulstoffen, bindmiddelen (incl. modificaties) en aggregaat; bitumenverharding (veroudering) wordt onderzocht in relatie tot de genoemde bouwstoffen
Italië	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gradering ▪ meest toegepast ▪ aggregaat ▪ bindmiddel ▪ eisen aan mengselontwerp/testmethoden ▪ test gedrag in praktijk ▪ laagdikte ▪ redenen toepassing ZOAB ▪ Toepassing op ▪ Onderzoek 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0/16 ▪ zeef 15 mm: 0%; zeef 10 mm: 0-15%; zeef 5 mm: 70-85%; zeef 2 mm: 80-90%; zeef 0,4 mm: 85-92%; zeef 0,18 mm: 88-93%; zeef 0,075: 90-94% ▪ basalt ▪ 50-70 met SBS-modificatie ▪ Marshall stabiliteit bij 60 °C >600 kg (CNR-BU 30/73); Marshall stijfheid > 250 kg/mm (CNR-BU 30-73); gewicht niet verstoorte boorkernen vergeleken met gewicht van Marshallkernen > 96% (CNR-BU 40-73) ; holle ruimte percentage > 18% (CNR-BU 39-73); splijtsterkte uit Braziliaans splijtproef > 6 kg/cm² (CNR-BU 134-91); gewichtsverlies in Cantabrotest < 20% (NLT 325/86); stroefheidswaarde (15 tot 90 dagen) > 0,55 (CNR-BU 147-92); oppervlak macro-ruwheid (15 tot 180 dagen) > 0,6 (CNR-BU 94-83); in situ waterdoorlatendheid > 16 l/min; geluidsreductie > 3 db(A) (UNI-ISO 7188) ▪ Porositeit, stroefheid, geluidsreductie ▪ 50 mm ▪ reductie spat- en stuifwater; geluidsreductie; veiligheid ▪ hoofdzakelijk snelwegen ▪ geen onderzoek; de Italiaanse rijkswaterstaat promoot en beveelt toepassing van ZOAB op drukke wegen

Duitsland	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gradering ▪ meest toegepast ▪ aggregaat ▪ bindmiddel ▪ eisen aan mengselontwerp/ testmethoden ▪ test gedrag in praktijk ▪ laagdikte ▪ redenen toepassing ZOAB 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0/11; 0/8 ▪ 0/11 → zeef 11,2 mm: < 10%; zeef 8 mm: 75-85%; zeef 5 mm: 80-90%; zeef 2 mm: 85-90%; zeef 0,09: 94-96%; bindmiddel 5,3-6,5% ▪ 0/8 → zeef 8 mm: < 10%; zeef 5 mm: 75-85%; zeef 2 mm: 85-90%; zeef 0,09: 94-96%; bindmiddel 5,5-6,8% ▪ Edelsplitt; alleen toepassing volledig gebroken edelsplitt; verbrijzelingsweerstand (Schlagzertrümmerung) < 18; polijstweerstand (PSV-waarde) > 55; aandeel steen met lengte-dikte verhouding groter dan 3:1 maximaal 10% (gewicht); geen toepassing van asfaltgranulaat ▪ PmB 45; PmB 65 ▪ Verdichtingsgraad > 97%; holle ruimte percentage > 22% (in de weg) holle ruimte percentage 22-28% (mengsel); beproevingen, controle en garantie volgens paragraaf 1.6.1 t/m 1.6.5, 1.7.1, 1.7.2, 1.8 en 1.9 van ZTV Asphalt-StB en het “Merkblatt für Eignungsprüfungen an Asphalt” ▪ Porositeit ▪ 0/11: 40-50 mm; 0/8: 30-40 mm ▪ afwatering (reductie spat- en stuifwater

2 Literatuuronderzoek

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de stand van zaken met betrekking tot de kennis die er in de afgelopen jaren is opgedaan met de toepassing van ZOAB-wegdekken en in het bijzonder de levensduur van een dergelijk wegdek. Hierbij wordt als maatgevend schadecriterium rafeling gehanteerd.

Aan bod komen mengselontwerpmethoden uit Nederland, België, Zwitserland en Zuid-Afrika. Daaropvolgend worden de mengsels en hun componenten besproken. Ingegaan wordt op de invloed van het type steenslag inclusief de gradering en de korrelvorm en het type en hoeveelheid bindmiddel op de levensduur van ZOAB. Eventuele andere toeslagmaterialen zullen eveneens aan bod komen. Vervolgens worden de diverse beschikbare proeven toegelicht waarmee getracht wordt een uitspraak te doen over de (rest)levensduur van een ZOAB-deklaag. Op deze manier kunnen ZOAB en de bestanddelen van ZOAB vermoedelijk gekarakteriseerd worden. Tenslotte wordt aangegeven hoe de rafelingsschade aan ZOAB moet worden geïnterpreteerd. Ingegaan zal worden op de inspectieresultaten.

2.1 Mengselontwerpmethoden

Mengsels kunnen vanuit verschillende principes ontworpen worden, die als volgt benoemd kunnen worden:

- empirisch
- volumetrisch
- functioneel

In het verleden zijn mengsels voorgesteld op basis van ervaring en proeven die een goede relatie met de praktijk vertoonden. De ervaring werd opgedaan door goed ogende mengsels in de praktijk toe te passen en deze wegvakken naderhand te beoordelen. Als mengselontwerpmethode is met name het Marshall vooronderzoek veel toegepast. Deze methode bleek voor asfaltbeton uitslagen (Marshallstabiliteit, -vloeï en -quotiënt) te geven die goed met de praktische ervaring correleerden. Verbeteringen kwamen tot stand door stapsgewijze aanpassingen.

Een hypothese die een verbetering ten opzicht van de empirische methode betekende, is een relatie te veronderstellen tussen de volumina van de bestanddelen van het verdichte asfalt en de gewenste functionele eigenschappen. Op grond van fysische uitgangspunten wordt afgeleid welke mengselopbouw het meest geschikt is. Bij deze methode worden met name de weerstand tegen (vermoëing)scheurvorming en vervorming beschouwd. Deze eigenschappen worden voornamelijk gekoppeld aan respectievelijk effectief volume aan bindmiddel en holle ruimte volume in de te onderscheiden minerale skeletstructuren. Bij de functionele methode wordt uitgegaan van de eisen, of enkele daarvan, die in de gehele levenscyclus van de constructie gesteld worden. Hieruit worden de materiaaleisen afgeleid en omgezet in samenstellings- en verwerkingseisen. Dit is een omkering van de uitgangspunten van de volumetrische methode. Het functionele gedrag moet uiteraard empirisch geverifieerd worden, wat betekent dat het Marshall onderzoek vervangen is door meer relevant geachte functionele proeven. Aanpassing van het mengsel gebeurt op grond van fysische uitgangspunten, waarna het resultaat experimenteel getoetst wordt.

In tabel 2 zijn enige karakteristieken van deze drie methoden weergegeven. Het materiaal dat beschouwd wordt, is in de empirische methode het mengsel. De verdichting wordt enkel in de Marshallmethode beschouwd als een niet beïnvloedbare grootte. Het aantal slagen voor verdichting is voorgeschreven.

Bij de volumetrische methode wordt het mengsel bij een optimale verdichting beschouwd, terwijl bij de functionele methode de gerealiseerde dichtheid telt: het proefstuk wordt beschouwd.

Het materiaal dat bij het ontwerp beschouwd wordt, is bij de empirische en de volumetrische methode het mengsel, maar bij de functionele methode is dat het proefstuk. De gerealiseerde samenhang hiertussen wordt mede beschouwd.

Tabel 2: Ontwerpmethoden asfaltmengsels

ontwerpniveau	materiaal	eisen	ontwerpgrondslag	basis
empirisch	mengsel	recept	ervaring	proberen
volumetrisch	mengsel	volumina	begrip	geometrie en volumina van de mengselcomponenten
functioneel	proefstuk	functioneel	begrip	functionele eigenschappen als sterkte etc.

Voor ZOAB zijn diverse mengselontwerpmethoden beschikbaar. In het onderstaande worden enkele methodes toegelicht.

2.1.1 RAW Standaard

In de Standaard RAW Bepalingen 2000 worden twee typen ZOAB beschreven: ZOAB 0/11 en ZOAB 0/16. Voor rijkswegen wordt meestal het laatstgenoemde mengsel toegepast. Op kunstwerken waar dunnere deklagen zijn gewenst, wordt veelal ZOAB 0/11 toegepast.

ZOAB is een zogenaamd gap-graded mengsel. Dat betekent dat de fijne steenfractie ontbreekt in het mengsel. In feite bestaat het materiaal dus uit twee componenten, te weten de grove steenfractie en het bindmiddel. Voor ZOAB wordt het bindmiddel beschouwd als zijnde het mengsel zand/vulstof/bitumen (de mastiek). De mastiek omhult de stenen en verkleeft deze aan elkaar.

Bij standaard ZOAB wordt een mengselreceptuur gehanteerd op basis van massapercentages. Eigenlijk is dit indirect een volumetrische samenstelling die op basis van empirie is omgezet in massapercentages. Als bitumen wordt conventioneel bitumen 70/100 voorgeschreven. Het gewenste mengsel wordt gekozen op basis van een volumetrische eis voor de holle ruimte (20%). Opmerkelijk is dat deze receptuur reeds in de zeventiger jaren op basis van empirie is geformuleerd. Het mengselontwerp heeft door de jaren heen geen ontwikkeling doorgemaakt. Er zijn echter wel andere ZOAB-producten ontwikkeld. Tweelaags ZOAB is hiervan een goed voorbeeld.

2.1.2 OCW (België)

Bij het OCW wordt een mengselreceptuur gehanteerd die vergelijkbaar is met de RAW Standaard. Hiervoor wordt verwezen naar Standaardbestek 250 voor de wegenbouw versie 2.0.

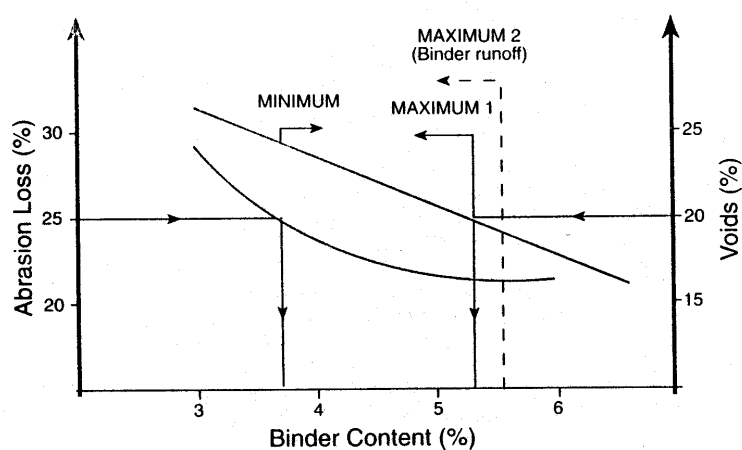
2.1.3 Sabita (Zuid-Afrika)

Door Sabita wordt het asfaltmengsel ontworpen op basis van de functies, zoals geluidsreductie en vermindering van het spat- en stuifwater, die een open deklaag moet kunnen vervullen [6]. Hierbij is aangenomen dat dit gerelateerd is aan de holle ruimte van ZOAB. Dit betekent dat een mengsel wordt aangepast opdat het die eigenschappen bezit

die het mengsel in staat moet kunnen stellen om de gestelde functies te kunnen vervullen. Voor de duurzaamheid wordt gestreefd naar een zo dik mogelijke bitumenfilm. Een vaste receptuur bestaat er dus niet evenals een ontwerpmethode op basis van volumetrie. Als voorbeeld wordt de bepaling van het optimale bindmiddelgehalte weergegeven. Deze is afhankelijk van de volgende factoren [6]:

- Het percentage holle ruimte behorend bij een zekere korrelgradering bepaalt de maximale hoeveelheid toe te passen bindmiddel.
- De toegestane hoeveelheid rafeling bepaalt de minimale benodigde hoeveelheid bindmiddel (op basis van de Cantabro-proef).
- Een minimum percentage bindmiddel van 4,5% wordt vaak aangegeven als de hoeveelheid die benodigd is om een voldoende dikke bindmiddelfilm te creëren die zorgt voor een goede duurzaamheid.
- Een maximum percentage bindmiddel wordt aangegeven; daarboven komt afdruipe voor.

In figuur 1 wordt het hiervoor genoemde grafisch weergegeven.



Figuur 1: Minimum en maximum percentage bindmiddel

2.1.4 EMPA (Zwitserland)

Door de EMPA zijn twee mengselontwerpmethoden ontwikkeld [5]. Achtereenvolgens zijn dit de droge verdichtingsmethode (1) en de natte verdichtingsmethode (2).

ad 1)

Bij deze methode wordt uitgegaan van een gekozen holle ruimte. Hierbij worden in eerste instantie de grove fracties verdicht totdat de minimale holle ruimte van deze fracties bereikt is. Dit gebeurt met behulp van de vibrator verdichtingsmethode [5]. De fracties worden van groot naar klein bij elkaar gevoegd en verdicht. De fijnere fracties worden toegevoegd om de ontwerp holle ruimte te bereiken van ZOAB. Op deze manier is het mogelijk om de gradering af te stemmen op elk gewenst holle ruimte percentage op basis van de minimale holle ruimte van het grovere aggregaat. Tenslotte wordt de gewenste hoeveelheid bitumen toegevoegd om het theoretische ontwerp mengsel te produceren. Voor deze methode wordt een proef uitgevoerd waarbij de volgende fracties zijn toegepast (tabel 3).

Tabel 3: Toegepaste fracties

codering van groot naar klein	fractie
A	16-11,2
B	11,2-5,6
C	5,6-2,8
D	2,8-0,5

ad 2)

De basis theorie voor de natte verdichtingsmethode is dezelfde als voor de droge verdichtingsmethode. Echter bij de droge verdichtingsmethode wordt het bitumen pas als allerlaatste toegevoegd aan het mengsel terwijl bij de natte verdichtingsmethode het bitumen reeds voor de verdichting wordt toegevoegd. Deze methode komt beter overeen met de praktijk.

Beide mengselontwerpmethodes zijn dus gebaseerd op volumetrie.

2.2 Mengsels

In deze paragraaf wordt het ZOAB uit de Standaard RAW Bepalingen 2000 besproken. Hierbij wordt ingegaan op de verschillende bouwstoffen (steenslag, zand, vulstof en bitumen) en de diverse typen en variaties in deze bouwstoffen.

2.2.1 Bouwstoffen

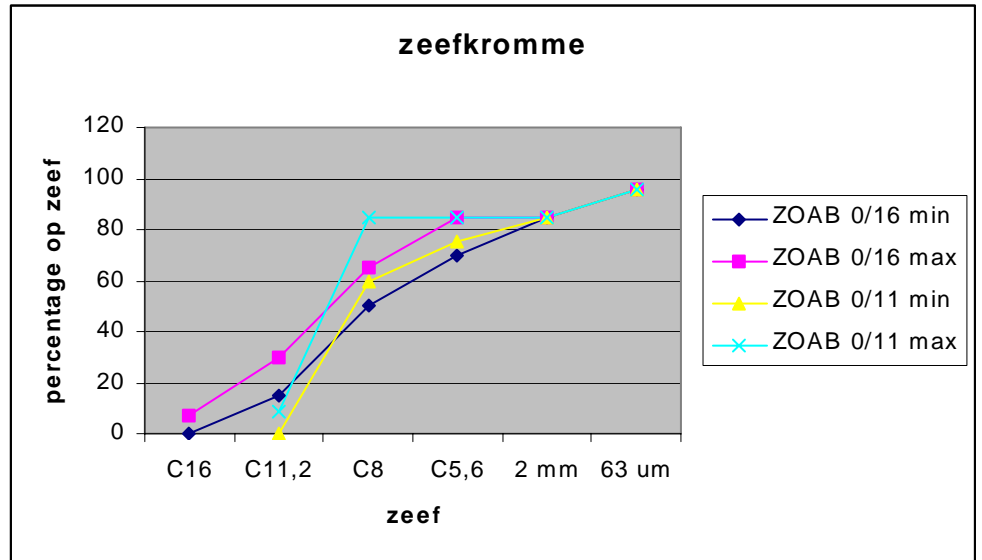
Steenslag

De steenskeletten van Standaard ZOAB 0/16 en ZOAB 0/11 [11] zijn op de volgende manier opgebouwd (zie tabel 4):

Tabel 4: Eisen korrelverdeling ZOAB 0/16 en ZOAB 0/11

op zeef	Gewenst		Minimum		maximum	
	0/16	0/11	0/16	0/11	0/16	0/11
C16	-	-	0,0	-	7,0	-
C11,2	-	-	15,0	0,0	30,0	9,0
C8	-	-	50,0	60,0	65,0	85,0
C5,6	-	-	70,0	75,0	85,0	85,0
2 mm	85,0	85,0	-	-	-	-
63 µm	95,5	95,5	-	-	-	-

Met behulp van deze tabel kunnen de volgende zeefkrommes bepaald worden (zie figuur 2).



Figuur 2: Korrelgradering

Voor het steenslag moet het polijstgetal voldoen aan de klasse I volgens NVN 6240 'Steenslag voor asfalt en oppervlakbehandelingen'. Daarnaast moet de weerstand tegen verbrijzeling voldoen aan klasse 2. Dit geldt ook voor het gehalte aan korrels met meer dan 50% gebroken oppervlak en het gehalte aan platte stukken. Tevens geldt dat de fractie 2/6 niet mag worden toegepast. Tot slot wordt opgemerkt dat bij verkeersklasse 4 (hetgeen bij rijkswegen bijna altijd het geval is) indien noodzakelijk, steenslag B kan worden toegepast. Dit betekent dat het gehalte aan korrels met meer dan 50% gebroken oppervlak, het gehalte aan platte stukken en de weerstand tegen verbrijzeling moeten voldoen aan klasse 1. Het steenslag wordt niet verder gespecificeerd. In principe mag elk type natuurlijke steenslag (Nederlandse steenslag, morene steenslag, porfier, graziet, grauwacke etc) dat voldoet aan de bovengenoemde eisen worden toegepast. Als ZOAB niet aan de eisen van holle ruimte voldoet, kunnen er binnen de Standaard RAW Bepalingen 2000 alleen verbeteringen worden bereikt door wijzigingen van de korrelgradering of het kiezen van een ander type steenslag. In ZOAB mag geen hergebruik van asfaltgranulaat plaats vinden.

Zand

Zand moet evenals steenslag voldoen aan het gestelde in NVN 6240 'Steenslag voor asfalt en oppervlakbehandelingen'.

Vulstof

De vulstof moet voldoen aan de eisen die vermeld staan in ontwerp NEN 3975 'Vulstoffen voor bitumineuze mengsels'. In ZOAB 0/16 moet een middelsoort vulstof met minimaal 25% hydroxide worden toegepast.

Bindmiddel en modificaties

In standaard ZOAB 0/16 wordt 4,5% bitumen 70/100 toegepast. Dit is ongemodificeerde bitumen. Het bitumen heeft bij de productie een lage viscositeit zonder de viscositeit bij de gebruikstemperaturen te beïnvloeden. Daarnaast moet de adhesie in bitumen en de cohesie van het bitumen aan de steen hoog zijn en moet het bitumen duurzaam zijn (voldoende weerstand tegen veroudering en stripping).

Om de levensduur van conventionele ZOAB mengsels te verlengen, worden door de betreffende leveranciers diverse modificaties aanbevolen:

- natuurlijke bitumen (Trinidad e.d.)
- hardere of zachtere bitumen
- polymeren
- chemische modificaties
- toevoeging van vezels en koolstofverbindingen
- toevoeging van rubberbitumen
- verandering van de gradering om het bitumengehalte te kunnen verhogen

Het modifieren dient met name om meer bindmiddel in het mengsel kwijt te kunnen, de aanvangsterkte te verhogen, het afdruipefen te voorkomen (segregatie) en de rafelingsweerstand te verbeteren.

Wijziging van het type bindmiddel is toepassing van hardere of zachtere bitumen of polymeer-gemodificeerde of chemische gemodificeerde bitumen. De bekendste modificaties zijn de SBS-polymeren (plastomeren) en de EVA-polymeren (thermoplastische elastomeren).

Toevoegingen zijn natuurlijke bitumen, vezels of 'dopes'. Deze functioneren als afdruipefpremmers. Dit betekent dat een grotere hoeveelheid bitumen kan worden toegepast zonder dat deze uitzakt. Daarnaast kan rubber worden toegevoegd. Rubber wordt toegepast om een dikkere homogene bindmiddelfilm in het ZOAB te creëren. Tevens heeft rubber goede elastische eigenschappen. Daarnaast wordt door een langere levensduur van ZOAB geclaimd als er een betere kwaliteit steenslag (basisch groevemateriaal) wordt toegepast.

In tabel 5 worden de diverse modificaties aangegeven en de materiaalparameters die positief dan wel negatief beïnvloed zullen worden met betrekking tot de duurzaamheid van ZOAB [1]. Referentie is ZOAB 0/16.

Tabel 5: Invloed van modificaties op materiaalparameters

	te verbeteren materiaalparameter	Standaard ZOAB 0/16	verhoogd bitumengehalte incl. aanpassing gradering	verhoogd bitumengehalte onder toevoeging vezels	bitumen 160/210	SBS gemodificeerd bitumen	EVA gemodificeerd bitumen	rubber gemodificeerd bitumen
Productie	viscositeit	0			-			+
	mengtemperatuur; invloed op mech.eigenschappen	0				+	-	+
	hittebestendigheid	0				Afdruipen	+	+
						Chem. bestendigh.	+	-
Uitvoering	mate van afdruipefen	0	-		-			
	*controle kwaliteit/kwantiteit	0		-		-	-	-
Product	elasticiteit	0				+	+	+
	effectief % bindmiddel	0	+	+		+	+	+
	brosheid bij lage temperaturen	0			+	+		
Levensduur	verouderingstraject	0	+	+	+	+	+	+
	vertragen diffusie van waterdamp (onthechting)	0	+	+		+	+	+
Hergebruik	bekendheid met eigenschappen bij hergebruik	0	+	+	+	+	-	+

*) Bitumengehaltes en kwaliteit zijn goed te controleren; het gehalte aan polymeren in PmB's en het rubber in rubberbitumen zijn zowel kwantitatief als kwalitatief niet goed te controleren, bovendien zijn deze bitumina niet geheel terugwinbaar; dit verdient speciale aandacht.

Over het algemeen gaat een deklaag van conventioneel ZOAB gemiddeld 11 jaar mee. De levensduur kan worden beïnvloed door de genoemde parameters.

Naar de mening van de auteurs van dit rapport zijn vooral de productie- en uitvoeringsomstandigheden van belang. Als het product niet goed wordt geproduceerd en verwerkt (o.a. door een te hoge of te lage temperatuur, overmatige verdichting, slechte weersomstandigheden), zal de kwaliteit van het ZOAB eveneens niet goed zijn.

Daarnaast is de kwaliteit van de gebruikte materialen van belang.

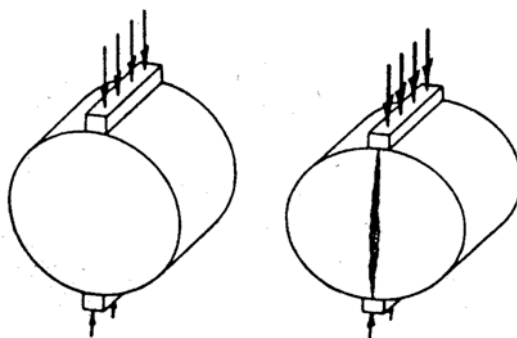
Ook is de belasting op het wegdek van invloed. Zwaarder belaste wegvakken zullen minder lang mee gaan dan licht belaste wegvakken. Eveneens leiden extreme weersomstandigheden in de gebruiksfase tot een minder lang goed acterend wegdek.

2.3 Testmethoden

In deze paragraaf worden de proeven besproken die inzicht zouden kunnen geven in het (rafelings)gedrag van ZOAB. Onderscheid kan worden gemaakt tussen enerzijds proeven op monsters die afkomstig zijn uit de weg of die in het laboratorium zijn vervaardigd en anderzijds proeven met gesimuleerd verkeer op een ZOAB-laag. Bij de keuze van de proeven is toentertijd aangenomen dat rafeling voornamelijk wordt veroorzaakt door de overschrijding van de maximale treksterkte van de mastiek in ZOAB. Voor de Cantabroproef is gekozen, omdat deze in die tijd in een aantal landen werd toegepast voor mengselontwerp en onderzoek naar rafeling in ZOAB.

2.3.1 Splijtproef [1]

Met behulp van de diametrale splijtproef kan indirect de treksterkte van ZOAB worden bepaald. In de splijtproef worden de kernen diametraal belast en worden door de verticale lijnlast in de horizontale richting trekspanningen opgewekt, die ertoe leiden dat het proefstuk bezwijkt. In figuur 3 staat de opstelling van de splijtproef schematisch weergegeven. Zie blz 26 figuur 20, publicatie 103 CROW



Figuur 3: Opstelling van de splijtproef

Tijdens de proef worden de kracht en de (horizontale en) verticale verplaatsing geregistreerd.

Ter beoordeling of de splijtproef een voldoende discriminerend vermogen heeft om duurzame ZOAB-mengsels te onderscheiden zijn de volgende aspecten onderzocht:

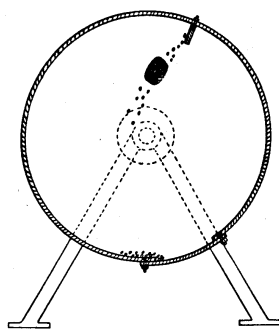
- a) de invloed van de proefstukhoogte op de splijtsterkte;
- b) de relatie tussen de beproevingstemperatuur en de splijtsterkte;
- c) de optimale beproevingstemperatuur;
- d) de herhaalbaarheid van de proef;
- e) de relatie tussen de dichtheid van het proefstuk en de splijtsterkte;
- f) de relatie tussen de splijtsterkte en de leeftijd van ZOAB in de praktijk.

Na uitvoering van de proeven zijn de volgende conclusies getrokken:

- a) de proefstukhoogte bij ZOAB tussen 25 en 50 mm heeft geen significante invloed op de splijtsterkte
- b) de splijtsterkte neemt af bij toenemende beproevingstemperatuur;
- c) als beproevingstemperaturen worden 0 en 30 °C gekozen; bij 0 °C wordt een indruk verkregen van de elastische eigenschappen van ZOAB;
- d) bij 30 °C van de visco-elastische;
- e) de herhaalbaarheid van de splijtproef is acceptabel (variatiecoëfficiënt < 0,2);
- f) er is geen aantoonbare relatie tussen de dichtheid van het proefstuk en de splijtsterkte;
- g) een voorspelling voor de (rest)levensduur vanuit de splijtsterkte is niet met voldoende betrouwbaarheid mogelijk [19].

2.3.2 Cantabroproef [1]

In de Cantabroproef wordt een (Marshall)proefstuk, dat in een om een horizontale as draaiende trommel door een aan de trommelwand bevestigde schoep omhoog gebracht. Als gevolg van de zwaartekrachtversnelling en zijn massa valt het proefstuk hierna omlaag. De proef wordt bij 18 °C uitgevoerd met een omwentelingssnelheid van 30 omwentelingen per minuut. Na 50, 100, 150, 200 en 300 omwentelingen wordt het materiaalverlies bepaald in massaprocenten. In figuur 4 is de opstelling van de Cantabroproef weergegeven.



Figuur 4: Opstelling Cantabroproef

Bij deze proef kunnen de volgende kanttekeningen worden geplaatst. Er zijn proeven gedaan met series proefstukken (geboord uit op het werk gemaakte platen) die 0, 2, 4 en 6 weken in de klimaatkast hebben gestaan. Vervolgens is het materiaalverlies na 300 omwentelingen gemeten. Bij de kernen die zes weken verouderd zijn, is ook het materiaalverlies na 50, 100, 150, 200 en 300 omwentelingen bepaald. Uit de resultaten kon geconcludeerd worden dat de herhaalbaarheid van de proef op boorkernen slecht is

[1]. Ook was er geen verschil te zien tussen de uitkomsten bij de verschillende verouderingsstadia.

Na uitvoering van een nieuwe serie proeven, zonder kunstmatige veroudering en bepaling van het materiaalverlies na 50, 100, 150, 200 en 300 omwentelingen, bleek de herhaalbaarheid nog steeds slecht [1].

Tevens is onderzocht wat de relatie is tussen het materiaalverlies en de dichtheid van het proefstuk, de proefstukhoogte en de mate van kunstmatige veroudering van het ZOAB [1]. Voor het verdichten van het (in dit geval met Sealoflex gemodificeerde) ZOAB zijn twee methoden gebruikt:

- verdichten met een handwals
- eerst trillend, en vervolgens met een handwals verdichten

De kernen hadden een hoogte van 25, respectievelijk 40 en 55 mm, waarvan de helft afkomstig was uit extra verdichte platen. Het materiaalverlies in de Cantabroproef is bij 100, 150, 200 en 300 omwentelingen geregistreerd.

De proeven op kunstmatig verouderde kernen zijn uitgevoerd op 15 kernen met een hoogte van 40 mm (niet extra verdicht). Per set van 5 kernen zijn deze 0, 3,5 en 7 weken kunstmatig verouderd. Vervolgens is het materiaalverlies van deze proefstukken na 100, 150 en 200 omwentelingen vastgelegd [1].

Er blijkt een omgekeerd evenredig lineair verband te bestaan tussen het percentage materiaalverlies en de dichtheid van het proefstuk. Bij een afnemend aantal omwentelingen neemt de invloed van de dichtheid op het materiaalverlies af. Ook blijkt bij een grotere proefstukhoogte het materiaalverlies af te nemen. Deze invloed is groter bij een hoger aantal omwentelingen. Het materiaalverlies neemt niet significant toe bij toenemende veroudering.

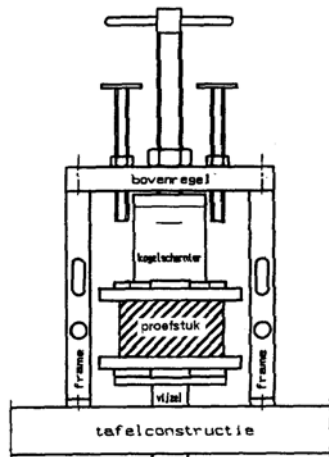
Ten aanzien van gemodificeerd ZOAB blijkt het onderscheidend vermogen wel goed te zijn. Er zijn in 1990 tijdens de aanleg van de proefvakken A 10 asfaltplaten gemaakt. Hieruit zijn kernen geboord. Met behulp van de Cantabroproef zijn de onderzochte modificaties goed te onderscheiden [1].

Opmerking: Alle conclusies zijn gebaseerd op geboorde proefstukken.

Uit [1] blijkt dat de resultaten van Marshallverdichte proefstukken op een lager niveau liggen dan die van boorkernen. In [20] wordt aanbevolen om Cantabroproeven alleen op Marshallverdichte proefstukken uit te voeren.

2.3.3 Cyclische directe trekproef [1]

Het onderzoek van de cyclische trekproeven is uitgevoerd met een servo-hydraulisch gestuurde testbank. In figuur 5 is de proefopstelling schematisch weergegeven. Zie blz 37 figuur 20, publicatie 103 CROW



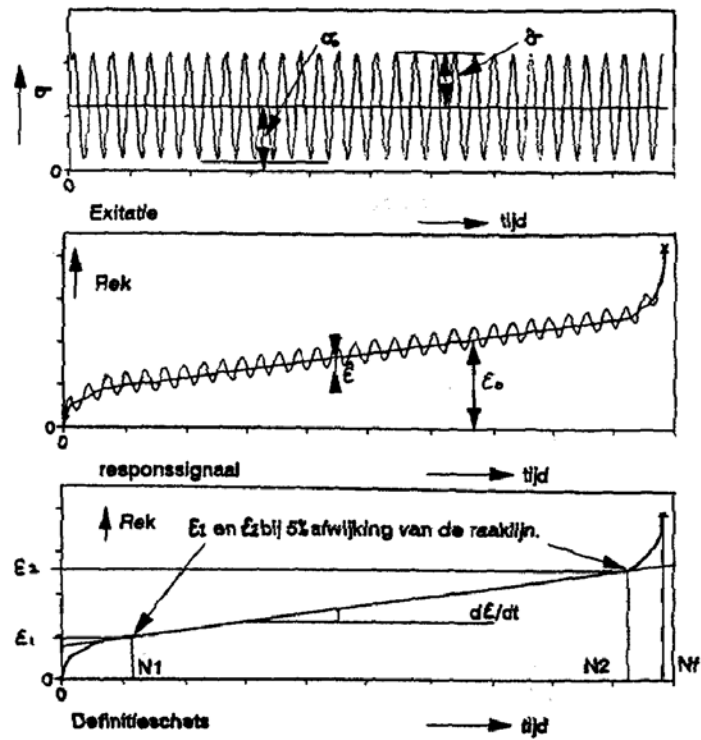
Figuur 5: Proefopstelling van de cyclische trekproef

De geslepen proefstukken (boorkernen) worden planparallel tussen twee trekplaten gelijmd. Belangrijk is dat de proefstukken goed gecentreerd worden (ter voorkoming van excentriciteitmomenten) en dat lijmfouten langs de rand van het proefstuk voorkomen worden (i.v.m. optreden van spanningsconcentraties). Tijdens de proeven worden het kracht- en het vervormingsniveau gemeten en opgeslagen. Na oriënterend onderzoek zijn de volgende standaard proefomstandigheden gekozen (zie tabel 6):

Tabel 6: Standaard proefomstandigheden CT

Instelparameters	lage stijfheid	hoge stijfheid
Krachtniveau	100-800	100-6000
Frequentie $f(s^{-1})$	1	30
Temperatuur T ($^{\circ}C$)	20	0

Het belastingsignaal is sinusvormig en de proef is krachtgestuurd uitgevoerd. De grafische weergave van bovenstaande is weergegeven in figuur 6 (hoofdstuk 4.2) Zie blz 37 figuur 20, publicatie 103 CROW



Figuur 6: Signalen en de definitieschets bij de dynamische trekproef

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 van de raaklijn in het buigpunt; deze wordt bepaald door de raaklijn in het tijd-vervormingsdiagram te trekken.

Ter beoordeling van de geschiktheid van de proef voor de bepaling van de duurzaamheid van ZOAB zijn de volgende aspecten onderzocht:

- a) de herhaalbaarheid van de proef;
- b) het onderscheidend vermogen van de proef ten aanzien van verschillende stadia van kunstmatige veroudering;
- c) de invloed van de parameters krachtniveau, belastingfrequentie en beproevings temperatuur;
- d) het onderscheidend vermogen van de proef ten aanzien van een aantal modificaties;
- e) het verschil tussen de dynamische en de statische trekproef

Hieruit kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- a) de herhaalbaarheid van de proef is redelijk;
- b) het aantal lastherhalingen tot breuk is discriminerend tussen de verschillende verouderingsstadia, hoewel de spreiding vrij groot is;
- c) De variatie in de parameters krachtniveau en belastingfrequentie is van invloed op het aantal lastherhalingen tot bezwijken. Voor de variatie in beproevings temperatuur kan in verband met wisselende andere proefomstandigheden geen uitspraak worden gedaan over de invloed op het aantal lastherhalingen;
- d) de modificatie is van invloed op het aantal lastherhalingen tot bezwijken;
- e) Er is geen groot verschil aanwezig tussen de resultaten van de dynamische trekproef en de statische trekproef.

2.3.4 Overige proeven

Naast bovengenoemde proeven zijn er diverse andere proeven gebruikt voor onderzoek op ZOAB:

- RSAT (Rotating Surface Abrasion Test) [16]
- SCB-proef [17]
- Abrasionproef [8]
- Versporend-wielspoorproef [1]
- Zaagtandwielspoorproef [8]
- Frettingapparaat [8]
- Laboratoriumproefbaan (LTT) [8]

Hierbij wordt opgemerkt dat de RSAT en de SCB-proef door de DWW worden beschouwd als veelbelovende onderzoeksproeven voor ZOAB. Momenteel wordt de relevantie voor rafeling van deze proeven onderzocht. Voor de overige proeven geldt dat deze over het algemeen niet geschikt worden bevonden voor onderzoek op ZOAB. Voor meer achtergrondinformatie over de genoemde proeven wordt verwezen naar de desbetreffende referenties.

2.4 Inspectiemethodieken

De inspecties op de A10 en de A12 zijn uitgevoerd door drie instanties, te weten DWW, Ooms Avenhorn en SHRP. De DWW heeft zijn inspecties in eerste instantie kwalitatief uitgevoerd. Aan alle wegvakken wordt een totaal waarderingscijfer toegekend. Uit 1998 stammen de eerste beschikbare inspectieresultaten voor de A10/A12 waarin de rafeling in percentages van het oppervlak staan weergegeven. Tevens wordt het predikaat licht/matig/ernstig toegepast. Dit is in feite de inspectiemethodiek zoals die door SHRP is gehanteerd. Deze methode is ontwikkeld door het CROW en wordt niet alleen door SHRP maar ook door Ooms Avenhorn gehanteerd. Het verschil tussen de CROW-methodiek en de DWW-methodiek is dat het CROW kijkt naar de ernst per representatieve m² en de omvang bepaalt als percentage van het beschouwde oppervlak en de DWW naar de ernst per schadeplek en de omvang bepaalt als percentage van het oppervlak van een rijstrooksegment.

3 Proefvakonderzoek

In dit hoofdstuk wordt de aanleg van de proefvakken besproken. Aansluitend hierop wordt een overzicht gegeven van het uitgevoerde onderzoek door de jaren heen. Ook is een overzicht gemaakt van de door de jaren heen uitgevoerde inspecties. Op basis van deze uitgevoerde inspecties worden voorlopige conclusies opgesteld met betrekking tot prestatie van de diverse toegepaste modificaties.

3.1 Aanleg proefvakken op de A10 en de A12

De aanleg van de proefvakken is beschreven in [2] en [7] en wordt in de volgende paragrafen samengevat.

3.1.1 Aanleg proefvakken A10

In opdracht van CROW-werkgroep WM-11 zijn in de zomer van 1990 twintig ZOAB-proefvakken aangelegd op de destijds nieuwe ringweg rond Amsterdam (A10). Het betreft het traject tussen de Zeeburgertunnel en de Nieuwe Leeuwarderweg (Noordbaan). Door de werkgroep zijn diverse modificaties uitgezocht die de kans vergroten op een verbetering van de levensduur van ZOAB. Met alle toegepaste modificaties is praktijkervaring opgedaan. In tabel 7 staan de proefvakken inclusief modificaties weergegeven.

Het doel van deze proefvakken is het rafelingsproces van het ZOAB in de weg te kunnen volgen, te onderzoeken welke modificaties de duurzaamheid van ZOAB verhogen en met welke testmethoden het gedrag van ZOAB is te voorspellen. Om sneller onderzoeksresultaten te verkrijgen zijn tevens kunstmatig verouderde kernen beproefd in diverse stadia van veroudering. Deze kernen zijn geboord uit tijdens de aanleg van proefvakken gefabriceerde platen en hebben derhalve dezelfde productiemethode en mengselsamenstelling. Als gevolg van de gehanteerde plaatwalsverdichting is er verschil in de mate van verdichten.

Tabel 7: Proefvakken A10 inclusief modificaties (aanleg 1990)

Rijksweg	Vaknummer	Mengseltype	gewenst bit. perc.	mengtemp. °C	datum aanleg	km	
A10 (HRR)	0	Standaard ZOAB 0/16	4,5	150	18/6	4,056-4,160	
	1	Rubberbitumen	4,5	170	18/6	4,160-4,417	
	2	Rubberbitumen	5,5	170	18/6	4,417-4,617	
	dag 1	3	Bitumen 80/100 + 0,3% organische vezels	5,5	150	18/6	4,617-4,819
	4	Rubberbitumen	4,5	170	18/6	4,819-5,055	
	5	Rubberbitumen	5,5	170	18/6	5,055-5,236	
A10 (HRR)	6	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	160	19/6	5,236-5,450	
	7	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	160	19/6	5,450-5,640	
	8	Bitumen 80/100 + 0,6% organische vezels	5,5	150	19/6	5,640-5,781	
	dag 2	9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	160	19/6	5,781-6,046
	10	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	160	19/6	6,046-6,275	
	11	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	165	19/6	6,275-6,451	
A10 (HRR)	12	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5	165	20/6	6,451-6,669	
	13	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5	150	20/6	6,669-6,835	
	14	Bitumen 160/210	4,5	140	20/6	6,835-7,041	
	dag 3	15	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	165	20/6	7,041-7,253
	16	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5	165	20/6	7,253-7,406	
	17	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5	150	20/6	7,406-7,629	
	18	Bitumen 160/210	4,5	140	20/6	7,629-7,836	
	19	Bitumen 80/100 (Standaard ZOAB)	4,5	150	20/6	7,836-8,000	

Bij de aanleg van de proefvakken is de bindmiddelhoeveelheid van de mengsels, waarin SBS-, EVA- en rubbergemodificeerde bindmiddelen is toegepast, gevarieerd. Omdat deze modificaties een tweeledige functie kunnen hebben (betere bindmiddeleigenschappen en/of een dikkere bindmiddelfilm) is gekozen voor twee percentages, namelijk 4,5% en 5,5%. Met deze variatie kan mogelijk een uitspraak worden gedaan over de invloed van het type bindmiddel en de filmdikte op de duurzaamheid van het mengsel.

Het percentage 4,5% is gekozen omdat dit het gangbare percentage is voor ZOAB-mengsels in Nederland. De waarde 5,5% is voor de meeste modificaties de maximaal toe te voegen hoeveelheid bindmiddel waarbij de kans op afdruppen tijdens de aanleg gering is.

Voor modificatie met anorganische vezels wordt alleen het percentage 5,5% gehanteerd. Deze modificatie dient niet ter verbetering van het bindmiddel maar heeft slechts als doel de maximale hoeveelheid toe te voegen bindmiddel te vergroten. Om deze reden is van de toepassing van 4,5% afgezien.

Voor alle proefvakken geldt dat de hoeveelheid en soort steenslag, zand en vulstof gelijk is. Uitzondering hierop vormt het vak met de aangepaste gradering. Het doel van dit vak was om de gradering van dit mengsel zodanig aan te passen (meer grover steenskelet) dat er meer holle ruimte in het mineraalaggregaat beschikbaar kwam voor toepassen van 5,5% bitumen, waardoor het mengsel toch 20% holle ruimte zou hebben. Toegepast zijn morene steenslag, brekerzand en Wigro 60K vulstof (middelsoort kalksteen vulstof met hydroxide). Daarnaast zijn alle mengsels afkomstig van één asfaltinstallatie en zijn alle mengsels door één asfaltploeg verwerkt.

Omdat er altijd een kans is op het ontstaan van storingen bij de productie, vervoer en verwerking van de diverse mengsels, zijn van elk mengsel twee vakken aangelegd.

Het asfalt voor de proefvakken is op 18, 19 en 20 juni 1990 door de Asfaltcentrale Amsterdam (ACA) geproduceerd.

Productie op 18 juni

Op deze dag zijn de vakken 0 t/m 5 aangelegd. Gestart is met de aanleg van het standaard ZOAB (vak 0). Dit is zonder problemen gebeurd. De mengtemperatuur voor dit vak was vrij hoog (150 tot 160 °C). De reden hiervoor was de hogere mengtemperatuur die nodig was voor de productie van ZOAB met rubberbitumen (vak 1).

Het rubberbitumen moest vanuit een losse roerketel in de installatie worden gebracht. Doordat de aansluiting tussen de ketel en de installatie niet verwarmd of geïsoleerd was, traden problemen op door stolling van het bindmiddel. Om deze reden werd de bindmiddeltemperatuur verhoogd om de viscositeit van het rubberbitumen te verlagen. De doorstroming bleef echter een probleem. Door het in serie schakelen van de pomp van de roerketel met de pomp van de installatie werd voldoende druk opgebouwd om het rubberbitumen goed te kunnen doseren. Vak 2 (5,5% rubberbitumen) ging daarna zonder problemen.

Voor aanvang van de productie van het mengsel met anorganische vezels zijn de sproeibalken 'doorgespoeld' met dunnere bitumen 80/100. Dit vak is zonder problemen aangelegd.

Vak 4 (met rubberbitumen) werd door dezelfde problemen gekenmerkt als vak 1. Vak 5 werd na oplossing van de doorstromingsproblemen (zie overgang van vak 1 naar vak 2) probleemloos aangelegd.

Productie op 19 juni

Op deze dag zijn de vakken 6 t/m 11 aangelegd. Deze vakken zijn zonder problemen aangelegd.

Productie op 20 juni

Op deze dag zijn de vakken 12 t/m 19 aangelegd. Wat betreft de mengtemperaturen was dit de dag dat de grootste verschillen overwonnen moesten worden. Het mengsel met Cariphalte DA

heeft een mengtemperatuur van 165 °C nodig terwijl ZOAB met bitumen 160/210 een mengtemperatuur van slechts 140 °C benodigd.

Deze dag is begonnen met de aanleg van ZOAB met 5,5% Cariphalte DA. Dit was een vrij vet mengsel. Afdruipen is echter niet waargenomen. Bij de omschakeling naar mengsels met een aangepaste gradering waren de eerste charges warmer dan gewenst. De vakken met de aangepaste gradering zijn als mislukt beschouwd omdat de beoogde gradering niet gerealiseerd is. Desondanks is afdruipen niet waargenomen.

Bij de productie van vak 15 en 16 (Cariphalte DA) slibde de bitumenleiding langzaam (weer) dicht met als gevolg dat de doseersnelheid afnam. Leeg laten lopen van de leiding en het opnieuw doseren bleek een goede remedie tegen dichtslibben.

De overige vakken zijn zonder problemen aangelegd.

Tijdens de aanleg van alle proefvakken waren de weersomstandigheden goed. Alle vakken hebben een lengte van ongeveer 200 m. De laagdikte was 50 mm. Op kunstwerken was deze echter 40 mm. De ZOAB-deklagen zijn aangebracht op een GAB-onderlaag, waarbij als hechtlaag een kleeflaag van 0,4 kg/m² bitumenemulsie werd toegepast.

Het ZOAB werd door drie in echelon werkende afwerkmachines aangebracht. De totale breedte bedroeg ruim 11 m. Hiermee werden alle rijstroken (3 stuks) bedekt. De vluchtstrook is later aangebracht. Hiervoor is een standaard ZOAB 0/16 gebruikt. Bij de overschakeling van het standaard ZOAB naar het ZOAB met rubberbitumen traden er enkele problemen op met het aanbrengen van de juiste laagdikte. Door de hogere viscositeit kwam de afwerkbalk enigszins omhoog. Deze problemen zijn hierna niet meer opgetreden.

Ook het wisselende bindmiddelpercentage had geen invloed op de hoogteligging van de afwerkbalk. Opmerkelijk was dat het mengsel met bitumen 160/210 duidelijk minder stabiel was tijdens de verwerking. De randen van het asfalt zakten sterker in.

De verdichting is verzorgd door in totaal vijf walsen. Als eerste werden twee zelfrijdende trilrollen ingezet (met uitgeschakeld trilmechanisme). Als tussenwals werd een tandemwals ingeschakeld. De naverdichting werd verzorgd door twee (en later een) driewielwals(en). Bij het walsen werd weinig verschil in gedrag tussen de modificaties waargenomen.

3.1.2 Aanleg proefvakken A12 bij Zoetermeer

Door CROW-werkgroep WM-11 is in 1993 besloten een aantal extra proefvakken aan te leggen teneinde andere (als meer kansrijk beschouwde) modificaties op praktijkgedrag te

kunnen beoordelen. Het betreft hier een viertal wegvakken die op de noordbaan van rijksweg A12 ter hoogte van Zoetermeer zijn aangelegd [2]. In tabel 8 staan de proefvakken inclusief modificaties weergegeven.

Tabel 8: Proefvakken inclusief modificaties

Rijksweg	Vaknummer	Mengseltype	gewenst bit. perc.	mengtemp. °C	datum aanleg	km
A12	1	Gilsonite, 0/16	5,5	150-160	26/4	15,000-14,700
	2	Inorphyl, 0/11	5,7	140-160	27/4	14,500-14,200
	3	Multigrade, 0/16	5,5	150-160	28/4	14,000-13,700
	4	Standaard ZOAB 0/16	4,5	150-170	29/4	13,400-13,100

Vak 1

Dit vak is aangelegd op 26 april. De pakken Gilsonite zijn gedurende de droge mengperiode (gedroogd mineraal) aan het mengsel toegevoegd. Tijdens de productie werd veelvuldig aankoecken van het bindmiddel in de vrachtwagens waargenomen. Gezien de korte afstand van de asfaltinstallatie naar het werk (Den Haag-Zoetermeer) kan geconcludeerd worden dat het hier een afdruipegevoelig mengsel betreft. Na enige tijd werd de mengtemperatuur van 175-185 °C verlaagd naar 150-160 °C. Daarnaast werd na ongeveer 3,5 uur naar aanleiding van het aankoecken van het bindmiddel, het bindmiddelgehalte verlaagd van 5,5% naar 5,0%.

Vak 2

Het vak met Inorphyl is aangelegd op 27 april. Na een droge mengtijd van 15 seconden is het Inorphyl met behulp van een luchtpomp toegevoegd, waarna het bitumen is ingespoten.

Bij aankomst op de verwerkingslocatie bleken twee vrachtwagens een te droog mengsel te bevatten. Een vracht is nog verwerkt, terwijl de andere werd teruggestuurd. Dit mengsel bleek teveel brekerzand te bevatten. Tussen km 14,438 en km 14,382 (56 m) was het mengsel dermate schraal dat het asfalt op dit traject vervangen is door standaard ZOAB.

Vak 3

Dit vak met Multiphalt is aangelegd op 28 april. Bij de productie is alleen nat gemengd (aggregaat inclusief bindmiddel). Tijdens de productie werd incidenteel aankoecken in de vrachtwagen geconstateerd. De aanleg van de proefvakken is zonder noemenswaardige problemen gerealiseerd.

Vak 4

Zowel tijdens de productie (nat gemengd) als tijdens de aanleg zijn met het referentiemengsel standaard ZOAB 0/16 geen problemen opgetreden.

Algemeen kan gesteld worden dat de productie (dosering, temperatuur) van de mengsels redelijk beheerst werd. Bij de mengsels met Gilsonite en Inorphyl diende (beperkt) ingegrepen te worden.

Voor alle mengsels geldt wel dat in de hoeveelheid vulstof sprake is van afwijkende producties ten opzichte van de vooronderzoeken. Aan de mengsels is een lager percentage vulstof toegevoegd. Op het moment van uitvoering kon nog niet gezegd worden of dit afwijkende percentage invloed heeft op de mengseleigenschappen.

3.1.3 Aanleg proefvakken A12 bij Nootdorp

De proefvakken op de zuidelijke rijbaan van de A12 bij Nootdorp zijn in september 1988 aangelegd. Van de aanleg is destijds geen verslag opgesteld. Het betreft hier een tweetal proefvakken, te weten:

- één 355 m lang vak met ZOAB 0/16 waarbij porfier is toegepast en
- één 455 m lang referentievak met ZOAB 0/16 waarbij Nederlandse steenslag is toegepast.

In dit onderzoek [1] stond centraal dat in die tijd over het algemeen Nederlandse of morene steenslag in ZOAB werd toegepast. Nederlandse steenslag is een mengsel van verschillende steensoorten. Daar het grootste gedeelte uit kwartsiet (SiO_2) bestaat is Nederlandse steenslag over het algemeen enigszins zure. Omdat bitumen enigszins zure eigenschappen heeft, mag verwacht worden dat bitumen beter hecht aan basische gesteenten. In de proefvakken bij Nootdorp is het (basische) porfier toegepast.

Doel van dit onderzoek was [1]:

- nagaan of porfier een grotere weerstand heeft tegen verbrijzelen tijdens het verdichten dan Nederlandse steenslag; hierover is geen uitslag bekend
- nagaan of ZOAB met porfier een langere levensduur heeft dan ZOAB met Nederlandse steenslag
- nagaan of de aanhechting tussen het bindmiddel en de steen bij porfier beter is dan bij Nederlandse steenslag. Indirect is dit de levensduur.

3.2 Testmethoden

Na de aanleg van de diverse proefvakken is zowel samenstellingsonderzoek als mechanisch onderzoek uitgevoerd. Hiervoor zijn door de jaren heen uit de wegvakken diverse kernen geboord. In tabel 9 wordt een overzicht gegeven van de bepaalde mengsel- en bitumenparameters in het samenstellingsonderzoek en de uitgevoerde mechanische proeven. In bijlage I (de bijgeleverde CD-rom) staan de resultaten van de uitgevoerde proeven en de bijbehorende (mechanische) proefcondities weergegeven [4]. Voor een beschrijving van de uitgevoerde mechanische proeven wordt verwezen naar hoofdstuk 2. Om onderzoek naar de duurzaamheid van ZOAB te versnellen, is er eerst oriënterend onderzoek gedaan naar kunstmatige veroudering [1]. Door monsters van mengsels, vergelijkbaar met in proefvakken gebruikte mengsels, kunstmatig te verouderen en gedurende drie jaar te vergelijken met ZOAB uit de proefvakken, is geprobeerd een relatie te vinden tussen kunstmatige veroudering en veroudering in de praktijk. Dit had als doel om na voortgezette kunstmatige veroudering een gefundeerde uitspraak te kunnen doen over het einde van de levensduur in de praktijk.

Uit dit onderzoek werd geconcludeerd dat er geen relatie is tussen kunstmatige veroudering en veroudering in de praktijk. De splijtsterkte veranderde nauwelijks en de penetratie van het bindmiddel neemt slechts zeer beperkt af. Er zijn visueel geen markante verschillen waargenomen, hetgeen een vergelijking tussen de laboratoriumresultaten en het gedrag in de praktijk in de weg staat. Daarnaast verloopt het proces van kunstmatige veroudering anders dan veroudering in de praktijk. Een oorzaak kan zijn dat onder de verkeersbelasting scheurtjes in de bindmiddelfilm optreden, waardoor de aantasting sneller verloopt dan bij een gaaf blijvende bindmiddelfilm.

Tabel 9: Uitgevoerd onderzoek op de proefvakken A10, A12 (Zoetermeer en Nootdorp)

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Mengselsamenstelling												
Dichtheid proefstuk	-	-	+ -	+ -	+ -	+ x						+ x -
Dichtheid mengsel	-	-	+	+		+ x						+ x -
holle ruimte	-	-	+ -	+ -	+ -	+ x						+ x -
Korrelverdeling			+	+		+ x						+ x
Bitumeneigenschappen												
Bitumengehalte + verhouding bitumen boven /bitumen onder (alleen 1999)	-	-	+ -	+ -	+ -	+ x						+ x -
Penetratie	-	-	+ -	+ -	+ -	+ x						+ x -
T R&K	-		+	+	+	+ x						+ x -
P.I.	-	-	+ -	+ -	+ -	+ x						+ x
Mechanische eigenschappen												
Splijtproef 0 °C	-	-	+ -	-	-				-			+ x -
Splijtproef 30 °C	-	-	+ -	-	-				-			+ x -
Cyclische trekproef				+	+	+ x						+ x -
Cantabro-proef			+			x						

Hierin is:

- + = vakken A10
- x = vakken A12 Zoetermeer
- = vakken A12 Nootdorp

Opgemerkt wordt dat bij de eindcontrole het bindmiddelgehalte van alle proefvakmengsels bepaald is met behulp van de standaard Soxhletextractie (directe methode). Bekend is dat PmB's en rubberbitumen niet voor 100% zijn terug te winnen. Enerzijds wordt dit veroorzaakt door het niet of niet geheel oplosbaar zijn van bestanddelen in zowel PmB's als rubberbitumen en anderzijds door het feit dat polymeren kleurloos kunnen zijn en dat hierdoor te vroeg wordt gestopt met extraheren. De toegepaste PmB's zijn noch kwantitatief noch kwalitatief gecontroleerd. Aangenomen is dat geleverd is wat door de leveranciers is opgegeven.

3.3 Inspectie

Vanaf de aanleg zijn door de jaren heen diverse visuele inspecties op de wegvakken uitgevoerd. Hiermee kan een indruk worden verkregen van de ontwikkeling van de schade aan de ZOAB-wegdekken. Beschikbaar zijn inspectieresultaten van Ooms Avenhorn (1992 en 1993 op de A10), SHRP-NL (1994, 1995 en 1999 op de A10) en de DWW (1994, 1995 en 1998 op de A10 en de A12) [3,15].

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van alle verrichte inspecties en de daaruit volgende resultaten. Alle inspecties zijn op de rechterstrook uitgevoerd.

3.3.1 Inspecties A10

In tabel 10a t/m 10d zijn de resultaten van de inspecties op de A10 weergegeven.

Tabel 10a: Inspectie 1992

km	vak	mengseltype	Percentage bindmiddel	schade 1992 (Ooms Avenhorn)	schade 1993 (Ooms Avenhorn)
4,000-4,100	0	Standaard ZOAB 0/16	4,5	geen schade	Na informeren vooralsnog niet traceerbaar
4,100-4,200				geen schade	
4,200-4,300	1	Rubberbitumen	4,5	geen schade	
4,300-4,400	1	Rubberbitumen	4,5	geen schade	
4,400-4,500				geen schade	
4,500-4,600	2	Rubberbitumen	5,5	geen schade	
4,600-4,700				geen schade	
4,700-4,800	3	Bitumen 80/100 + 0,3% organische vezels	5,5	geen schade	
4,800-4,900				geen schade	
4,900-5,000	4	Rubberbitumen	4,5	geen schade	
5,000-5,100				geen schade	
5,100-5,200	5	Rubberbitumen	5,5	geen schade	
5,200-5,300				geen schade	
5,300-5,400	6	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	geen schade	
5,400-5,500				geen schade	
5,500-5,600	7	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	geen schade	
5,600-5,700				geen schade	
5,700-5,781	8	Bitumen 80/100 + 0,6% anorganische vezels	5,5	geen schade	
5,800-5,900	9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	geen schade	
5,900-6,000	9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	gerepareerde langsscheur	
6,000-6,100				geen schade	
6,100-6,200	10	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	geen schade	
6,200-6,300				geen schade	
6,300-6,400	11	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	freesspoor rechterstrook (15 mm)	
6,400-6,500				geen schade	
6,500-6,600	12	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5	geen schade	
6,600-6,700				geen schade	
6,700-6,800	13	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5	geen schade	
6,800-6,900				geen schade	
6,900-7,000	14	Bitumen 160/210	4,5	geen schade	
7,000-7,100				geen schade	
7,100-7,200	15	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	geen schade	
7,200-7,300				geen schade	
7,300-7,400	16	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5		
7,400-7,500					
7,500-7,600	17	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5		
7,600-7,700					
7,700-7,800	18	Bitumen 160/210	4,5		
7,800-7,900					
7,900-8,000	19	Bitumen 80/100 (Standaard ZOAB)	4,5		

Tabel 10b: Inspectie 1994

km	vak	Mengseltype	Percentage bindmiddel	schade 1994 (DWW)	schade 1994 (SHRP-NL)
4,000-4,100	0	Standaard ZOAB 0/16	4,5	geen schade (oordeel: 5,0)	3% lichte rafeling
4,100-4,200					
4,200-4,300	1	Rubberbitumen	4,5	geen schade (oordeel: 5,0)	25% lichte rafeling; 15 kleine gaten
4,300-4,400	1	Rubberbitumen	4,5	idem	
4,400-4,500					
4,500-4,600	2	Rubberbitumen	5,5	geen schade (oordeel: 5,0)	14 kleine gaten
4,600-4,700					
4,700-4,800	3	Bitumen 80/100 + 0,3% organische vezels	5,5	geen schade (oordeel: 5,0)	2% lichte rafeling; 20 kleine gaten
4,800-4,900					
4,900-5,000	4	Rubberbitumen	4,5	licht steenverlies, lichte dwarsscheur bij stootplaat; 1 klein gat (oordeel: 4,5)	20% lichte rafeling; 4 kleine en 1 groot gat
5,000-5,100					
5,100-5,200	5	Rubberbitumen	5,5	geen schade (oordeel: 5,0)	geen schade
5,200-5,300					
5,300-5,400	6	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	1 gat (oordeel: 5,0)	geen schade
5,400-5,500					
5,500-5,600	7	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	1 groot gat (oordeel: 5,0)	1 groot gat
5,600-5,700					
5,700-5,781	8	Bitumen 80/100 + 0,6% anorganische vezels	5,5	lichte mechanische schade (oordeel: 5,0)	20 kleine gaten (km 5,650-5,750)
5,800-5,900	9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	scheurzone vervangen door nieuw ZOAB; scheuren zetten zich voort buiten gerepareerde zone (oordeel: 5,0)	1 klein, 2 middel en 1 groot gat
5,900-6,000	9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	idem	
6,000-6,100					
6,100-6,200	10	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	lichte zich uitbreidende mechanische schade (oordeel: 5,0)	15% lichte rafeling; 23 kleine gaten
6,200-6,300					
6,300-6,400	11	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	plaatselijk donkere plekken (oordeel: 4,5)	12% lichte rafeling; 5 kleine gaten
6,400-6,500					
6,500-6,600	12	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5	lichte rafeling; scheur zet zich buiten reparatievak voort (oordeel: 4,5)	1 klein gat en 1 reparatievak
6,600-6,700					
6,700-6,800	13	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5	lichte rafeling (oordeel: 4,5)	8% dwarsonvl
6,800-6,900					
6,900-7,000	14	Bitumen 160/210	4,5	lichte beschadiging tussen rechter en middelste strook (oordeel: 5,0)	18% lichte rafeling; 1% middel rafeling; 4% dwarsonvl.; 1 klein gat
7,000-7,100					
7,100-7,200	15	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	lichte rafeling (oordeel: 4,0)	20% lichte rafeling
7,200-7,300					
7,300-7,400	16	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5	stootplaat gaat zich manifesteren (oordeel: 5,0)	3% lichte rafeling
7,400-7,500					
7,500-7,600	17	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5	kleine beschadigingen (oordeel: 4,0)	1 klein gat
7,600-7,700					
7,700-7,800	18	Bitumen 160/210	4,5	kleine beschadigingen (oordeel: 4,0)	4% lichte rafeling; 1 klein gat
7,800-7,900					
7,900-8,000	19	Bitumen 80/100 (Standaard ZOAB)	4,5	zeer lichte schade (rechtterijstrook) (oordeel: 5,0)	geen schade

Tabel 10c: Inspectie 1995

km	vak	mengseltype	percentage bindmiddel	schade 1995 (DWW)	schade 1995 (SHRP-NL)
4,000-4,100	0	Standaard ZOAB 0/16	4,5	geen schade (oordeel: 5,0)	1 openstaande dwarslas
4,100-4,200					
4,200-4,300	1	Rubberbitumen	4,5	gaat rafeling vertonen in r.r. (oordeel 4,5)	14% lichte rafeling; 8 kleine gaten
4,300-4,400	1	Rubberbitumen	4,5	idem	
4,400-4,500					
4,500-4,600	2	Rubberbitumen	5,5	gaat diffuse rafeling vertonen in r.r. (oordeel 4,5)	zeer lichte mechanische schade (kleine gaten)
4,600-4,700					
4,700-4,800	3	Bitumen 80/100 + 0,3% organische vezels	5,5	geen schade (oordeel: 5,0)	1% lichte rafeling; zeer lichte mechanische schade kleine gaten)
4,800-4,900					
4,900-5,000	4	Rubberbitumen	4,5	licht steenverlies, lichte dwarsseur bij stootplaat; 1 klein gat (oordeel: 5,0)	12% lichte rafeling; 3 dwarsscheuren; 1 klein en 1 groot gat
5,000-5,100					
5,100-5,200	5	Rubberbitumen	5,5	geen schade (oordeel: 5,0)	geen schade
5,200-5,300					
5,300-5,400	6	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	diffuse rafeling (oordeel: 4,5)	geen schade
5,400-5,500					
5,500-5,600	7	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	1 groot gat; diffuse rafeling (oordeel: 4,5)	1 groot gat; 5 kleine gaten
5,600-5,700					
5,700-5,781	8	Bitumen 80/100 + 0,6% anorganische vezels	5,5	zeer diffuse rafeling (oordeel: 4,5)	10 kleine gaten (km 5,650-5,750)
5,800-5,900	9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	scheurzone vervangen door nieuw ZOAB; scheuren zetten zich voort buiten gerepareerde zone; iets meer steenverlies (oordeel: 4,5)	4 kleine gaten
5,900-6,000	9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	idem	
6,000-6,100					
6,100-6,200	10	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	lichte zich uitbreidende mechanische schade inclusief licht steenverlies (oordeel: 4,5)	8 kleine gaten
6,200-6,300					
6,300-6,400	11	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	plaatselijk donkere plekken (oordeel: 4,5)	1% lichte rafeling; 8 kleine gaten
6,400-6,500					
6,500-6,600	12	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5	nieuwe scheuren zijn hersteld (oordeel: 4 tot 4,5)	zeer lichte mechanische schade; 1 reparatievak
6,600-6,700					
6,700-6,800	13	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5	lichte rafeling (oordeel: 4,5)	4% dwarsonvlakheid
6,800-6,900					
6,900-7,000	14	Bitumen 160/210	4,5	lichte beschadiging tussen rechter en middelste strook (oordeel: 4,5)	1 gat
7,000-7,100					
7,100-7,200	15	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	beginnende dwarsscheuren en diffuus steenverlies (oordeel: 4,5)	geen schade
7,200-7,300					
7,300-7,400	16	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5	stootplaat nauwelijks zichtbaar; licht steenverlies (oordeel: 4,0)	geen schade
7,400-7,500					
7,500-7,600	17	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5	kleine beschadigingen; in r.r. plaatselijk steenverlies (oordeel: 4,0 voor r.r .en 4,5 voor l.r.)	1 groot gat
7,600-7,700					
7,700-7,800	18	Bitumen 160/210	4,5	in l.r. enig steenverlies; in r.r. beginnende rafeling (oordeel: 4,0)	1 plek kadaverschade
7,800-7,900					
7,900-8,000	19	Bitumen 80/100 (Standaard ZOAB)	4,5	zeer lichte schade (rechterrijstrook) (oordeel: 4,5)	1 plek kadaverschade

Tabel 10d: Inspectie 1998/99

km	vak	Mengseltype	percentage bindmiddel	schade 1998 (DWW)	schade 1999 (SHRP-NL)
4,000-4,100	0	Standaard ZOAB 0/16	4,5	lichte rafeling 10%	nauwelijks rafeling
4,100-4,200					
4,200-4,300	1	Rubberbitumen	4,5	ernstige rafeling 90%	lichte rafeling 20%; matig tot ernstige rafeling 20%
4,300-4,400	1	Rubberbitumen	4,5	idem	
4,400-4,500					
4,500-4,600	2	Rubberbitumen	5,5	lichte rafeling 10%	lichte rafeling 35%
4,600-4,700					
4,700-4,800	3	Bitumen 80/100 + 0,3% organische vezels	5,5	lichte rafeling 2%	nauwelijks rafeling
4,800-4,900					
4,900-5,000	4	Rubberbitumen	4,5	matige rafeling 50%; ernstige rafeling 50%; 2 ernstige dwarsscheuren	lichte rafeling 20%; matig tot ernstige rafeling 20%; 4 matige en 4 ernstige dwarsscheuren; 1 gat
5,000-5,100					
5,100-5,200	5	Rubberbitumen	5,5	lichte rafeling 8%	nauwelijks rafeling
5,200-5,300					
5,300-5,400	6	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	lichte rafeling 10%; matige rafeling 40%	lichte rafeling 10%; enige mechanische schade
5,400-5,500					
5,500-5,600	7	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	lichte rafeling 10%; matige rafeling 50%	zeer beperkte rafeling; 1 klein en 1 matig gat
5,600-5,700					
5,700-5,781	8	Bitumen 80/100 + 0,6% anorganische vezels	5,5	lichte rafeling 2%	nauwelijks rafeling
5,800-5,900	9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	70 m reparatievak; lichte rafeling 8%; lokale matige rafeling (70%)	lichte rafeling 6%; zeer locale mechanische schade; reparatievak
5,900-6,000	9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5	idem	
6,000-6,100					
6,100-6,200	10	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5	lichte mechanische schade; lichte rafeling 10%	lichte mechanische schade
6,200-6,300					
6,300-6,400	11	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	matige rafeling 40%	lichte rafeling 20%; matige rafeling 20%; dwarsvlakheid 4%
6,400-6,500					
6,500-6,600	12	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5	30 m reparatievak; matige rafeling 15%	lichte rafeling 12%; reparatievak; 1 langsscheur
6,600-6,700					
6,700-6,800	13	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5	lichte rafeling 5%	lichte rafeling 14%; dwarsvlakheid 2%; reparatievak 4%; 1 langsscheur
6,800-6,900					
6,900-7,000	14	Bitumen 160/210	4,5	lichte rafeling 5%	lichte rafeling 2%; dwarsvlakheid 4%
7,000-7,100					
7,100-7,200	15	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5	matige rafeling 20%; lichte langsscheur	lichte rafeling 28%; matige rafeling 12%; dwarsvlakheid 5%
7,200-7,300					
7,300-7,400	16	Cariphalte DA (Pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5	lichte rafeling 4%; ernstige dwarscheur	lichte rafeling 36%; matige rafeling 4%; ernstige dwarscheur
7,400-7,500					
7,500-7,600	17	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5	lichte rafeling 8%	lichte rafeling 40%; dwarsvlakheid 10%
7,600-7,700					
7,700-7,800	18	Bitumen 160/210	4,5	50 m reparatievak; lichte rafeling 5%; bij reparatieovergang matig; ernstige dwarscheur	lichte rafeling 8%; matige rafeling 18%; ernstige dwarscheur
7,800-7,900					
7,900-8,000	19	Bitumen 80/100 (Standaard ZOAB)	4,5	lichte rafeling 5%; laatste 10 m matige rafeling 15%	lichte rafeling 26%; matige rafeling 5%; dwarsvlakheid 4%

Opgemerkt wordt dat er verschillen kunnen optreden door de subjectieve manier van beoordelen van de schade. Zie hiervoor het vak met rubberbitumen tussen km 4,200 en km 4,400 op de A10.

Na analyse van de gegevens is voor de diverse wegvakken een oordeel gegeven met betrekking tot de visuele staat van de verharding. Hiervoor zijn de laatste inspectieresultaten van zowel de DWW als SHRP-NL beschouwd.

De staat van de verhardingen is op de volgende manier beoordeeld:

- De staat van de verharding is “goed” indien zowel de DWW als SHRP-NL een goede laatste beoordeling geven
- De staat van de verharding is “matig” indien er een groot verschil bestaat in de beoordeling van de wegvakken tussen beide partijen. In de meeste gevallen beoordeelt de ene partij het wegvak als “goed” terwijl de andere partij het wegvak als zijnde “slecht” boordeelt.
- De staat van de verharding is “slecht” indien zowel de DWW als SHRP-NL een slechte laatste beoordeling geven

Als aanvullend criterium is gesteld dat de het percentage lichte rafeling maximaal 10% mag bedragen om in aanmerking te komen voor een “goede” beoordeling. Vakken met een reparatievak worden hier per definitie van uitgesloten.

Opgemerkt wordt dat een vak ondanks een slechte beoordeling wel een levensduur van 10 jaar heeft bereikt.

Op basis van de beschikbare inspectieresultaten is tot de volgende indeling gekomen (tabel 11 t/m 13). Per classificatie is vooralsnog geen onderlinge ranking bepaald:

Tabel 11: “Goed” acterende wegvakken

“Goed”	Mengseltype	Gewenst percentage bindmiddel
Vak 0	Standaard ZOAB 0/16	4,5
Vak 3	Bitumen 80/100 + 0,3% organische vezels	5,5
Vak 5	Rubberbitumen	5,5
Vak 8	Bitumen 80/100 + 0,6% anorganische vezels	5,5
Vak 10	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5
Vak 14	Bitumen 160/210	4,5

Tabel 12: “Matig” acterende wegvakken

“Matig”	Mengseltype	Gewenst percentage bindmiddel
Vak 2	Rubberbitumen	5,5
Vak 6	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5
Vak 7	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	5,5
Vak 9	Polybilt 103 Z (80/100 met 6% EVA)	4,5
Vak 13	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5
Vak 16	Cariphalte DA (pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5
Vak 17	Bitumen 80/100 met aangepaste gradering	5,5

Tabel 13: “Slecht” acterende wegvakken

“Slecht”	Mengseltype	Gewenst percentage bindmiddel
Vak 1	Rubberbitumen	4,5
Vak 4	Rubberbitumen	4,5
Vak 11	Cariphalte DA (pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5
Vak 12	Cariphalte DA (pen 150 bitumen met 6% SBS)	5,5
Vak 15	Cariphalte DA (pen 150 bitumen met 6% SBS)	4,5
Vak 18	Bitumen 160/210	4,5
Vak 19	Standaard ZOAB	4,5

Op basis van deze indeling kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Opmerkelijk is dat vak 0 (standaard ZOAB) een van de best acterende vakken is. Hetzelfde geldt voor vak 14 (ZOAB met bitumen 160/210). De verwachting bestaat dat ZOAB onder invloed van modificaties beter acteert (i.e. minder rafeling vertoont). Dit is niet het geval. Vak 18 en 19 (eveneens standaard ZOAB en ZOAB met bitumen 160/210) acteren daarentegen “slecht”. Hiervoor is geen verklaring gevonden.
- Op het eerste gezicht lijken relatief goedkope modificaties de beste resultaten te geven. Uitzondering vormt vak 10 (ZOAB met polybilt). Toevoeging van zowel organische als anorganische vezels (afdruipremmers) leidt tot een “goed” acterend wegvak.
- Alle “slecht” acterende wegvakken hebben met uitzondering van vak 12 een gewenst bitumenpercentage van 4,5%. Drie van de vier vakken met Cariphalte DA (waaronder vak 12) acteren “slecht”. Een reden hiervoor is niet direct aan te geven. Bij vak 15 liep wel de doseersnelheid van het bindmiddel terug. Dit is tevens het geval geweest bij vak 1 en 4 (beide met rubberbitumen). Vak 2 en 5 (eveneens met rubberbitumen) acteren wel redelijk tot “goed”. Mogelijk is een hoge viscositeit van het bindmiddel van invloed op het mengprocedé. Bij de overige “slecht” acterende vakken zijn geen bijzonderheden tijdens de productie en verwerking waargenomen.
- Bij de “matig” acterende wegvakken bevinden zich drie vakken met polybilt. Deze modificatie heeft blijkbaar weinig invloed op de prestatie van het ZOAB. Een reden hiervoor is niet direct aan te wijzen. Hetzelfde geldt voor de twee vakken met een aangepaste gradering.

3.3.2 Inspectie A12 Zoetermeer

In tabel 14 zijn de resultaten van de inspecties op de A12 bij Zoetermeer weergegeven.

Tabel 14: Resultaten inspectie A12 Zoetermeer

Km	mengseltype	percentage bindmiddel	schade 1994 (DWW)	Schade 1994 (SHRP-NL)
13,100-13,400	Standaard ZOAB 0/16	4,5	niet geïnspecteerd	1 klein gat
13,700-14,000	Multigrade 0/16	5,5	niet geïnspecteerd	1 klein gat
14,200-14,500	Inorphyll 0/11	5,7	niet geïnspecteerd	1 klein gat; 2% dwarsonvlakheid
14,700-15,000	Gilsonite 0/16	5,0	niet geïnspecteerd	4 kleine gaatjes
Km	mengseltype	percentage bindmiddel	schade 1995 (DWW)	Schade 1995 (SHRP-NL)
13,100-13,400	Standaard ZOAB 0/16	4,5	beperkte diffuse rafeling (oordeel: 4,5)	5 gaatjes; 1% lichte rafeling
13,700-14,000	Multigrade 0/16	5,5	diffuse rafeling (oordeel: 4,5)	geen schade
14,200-14,500	Inorphyll 0/11	5,7	nauwelijks rafeling (oordeel: 4,5 tot 5,0)	geen schade
14,700-15,000	Gilsonite 0/16	5,0	nauwelijks rafeling (oordeel: 4,5 tot 5,0)	kadaverschadeplek, locale rafelingsplek
Km	mengseltype	percentage bindmiddel	schade 1998 (DWW)	schade 1999 (SHRP-NL)
13,100-13,400	Standaard ZOAB 0/16	4,5	2% lichte rafeling	locaal rafelingsplekje; zeer lichte dwarsonvlakheid
13,700-14,000	Multigrade 0/16	5,5	10% lichte rafeling	enkele dwarsscheuren
14,200-14,500	Inorphyll 0/11	5,7	1% lichte rafeling	laatste 100 m 16% lichte rafeling; verder incidenteel rafelingsplekje
14,700-15,000	Gilsonite 0/16	5,0	20% matige rafeling	tot 40% matige rafeling en matige dwarsonvlakheid

Ad 3.3.2)

Op basis van de uitgevoerde inspecties kan de volgende conclusie worden getrokken [2]:

- Deze wegvakken zijn in 1993 aangelegd. Met uitzondering van het vak met Gilsonite vertonen de wegvakken slechts zeer beperkte rafeling. In het vak met Inorphyll wordt tijdens de laatste inspectie wat meer rafeling aangetroffen. Een oorzaak voor het slechte acteren van het wegvak met Gilsonite kan zijn de lage productietemperatuur. Daarnaast is het percentage bindmiddel vanwege aankoecken in de vrachtwagen verlaagd. De oorzaak hiervan was afdruipe van het bindmiddel. Ook bij deze vakken blijkt een standaard ZOAB net zo goed te acteren als een gemodificeerd mengsel.

3.3.3 Inspectie A12 Nootdorp

In tabel 15 zijn de resultaten van de inspecties op de A12 bij Nootdorp weergegeven.

Tabel 15: Resultaten inspectie A12 Nootdorp

Km	mengseltype	percentage bindmiddel	schade 1994 (DWW)	schade 1994 (SHRP-NL)
6,900-7,200	ZOAB 0/16 Ned. steenslag	4,5	witte stenen worden kaal (oordeel rafeling: 4)	< 50% lichte rafeling; enige dwarsonvlakheid
7,200-7,500	ZOAB 0/16 Porfier	4,5	minder kale plekken (oordeel rafeling: 5)	enige dwarsonvlakheid; enkel gat
Km	mengseltype	percentage bindmiddel	schade 1995 (DWW)	schade 1995 (SHRP-NL)
6,900-7,200	ZOAB 0/16 Ned. steenslag	4,5	beginnende rafeling (oordeel rafeling: 3)	tot 4% lichte rafeling; locale mechanische schade
7,200-7,500	ZOAB 0/16 Porfier	4,5	diffuse rafeling (oordeel rafeling: 4)	1 klein rafelingplekje; 1 kadaverschadeplek
Km	mengseltype	percentage bindmiddel	schade 1998 (DWW)	schade 1999 (SHRP-NL)
6,900-7,200	ZOAB 0/16 Ned. steenslag	4,5	tot km 7,000 ernstige rafeling 70%; tot km 7,060 ZOAB vernieuwd; daarna 40% matige rafeling	> 50% matig tot ernstig gerafeld en dwarsonvlakheid m.u.v. traject km 6,995 tot km 7,055 (vernieuwd)
7,200-7,500	ZOAB 0/16 Porfier	4,5	1% lichte rafeling	enige dwarsonvlakheid; lokaal een plekje gerafeld.

Ad 3.3.3)

Op basis van de uitgevoerde inspecties kan de volgende conclusie worden getrokken:

- Deze vakken zijn aangelegd in 1988. Het vak waarin porfier is verwerkt acteert veel beter dan het vak waarin Nederlandse steenslag is verwerkt. De vermoedelijke oorzaak hiervoor is het basische karakter van porfier. Hierdoor wordt een betere binding verkregen met het zwak zure bitumen [1]. Een andere mogelijk oorzaak is de mindere verbrijzelingsweerstand van Nederlandse steenslag waardoor bij gebroken stenen een minder goede omhulling wordt bewerkstelligd. Het breukvlak bevat geen bitumen, waardoor indringing van water makkelijker wordt. Daarnaast is porfier kubischer dan Nederlandse steenslag. Het specifiek oppervlak is groter waardoor een betere hechting aan bitumen wordt verkregen*.

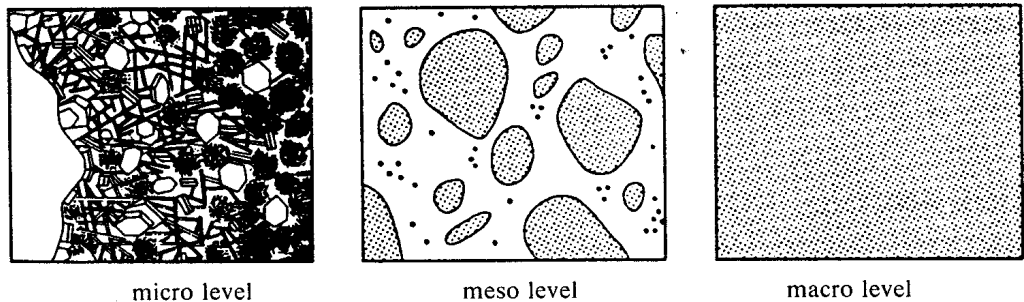
*) Porfier lijkt op basis van de uitgevoerde inspecties een goede rafelingsweerstand te bezitten. Echter de stroefheid van porfier is na verloop van tijd dermate laag dat veel vakken toch nog eerder moeten worden vervangen dan vakken waarin Nederlandse steenslag is verwerkt.

4 Model

4.1 Algemeen

Een model voor de rafeling van ZOAB kan opgesteld worden vanuit verschillende invalshoeken:

- het ZOAB kan structureel gemodelleerd worden als een composiet materiaal, waarvan de componenten bepaalde volumina innemen en eigenschappen hebben; de levensduur wordt vervolgens een functie van de spanningen en rekken in en de materiaaleigenschappen van de componenten (micro - meso niveau benadering)
- ZOAB wordt opgevat als een continuüm (macro niveau) waarin micro-niveau modellen gebruikt worden om het gedrag van het continuüm af te leiden
- de levensduur wordt afhankelijk gesteld van de empirisch en fysisch meest voor de hand liggende grootheden waarna een verband tussen deze parameters en de levensduur wordt gezocht
- de levensduur wordt enkel op statistische basis als functie van alle beschikbare data bepaald.



Figuur 7: Geometrische niveaus van modelleren van materialen (1)

De eerste aanpak is het meest fundamenteel en lijdt aan het euvel van veel fundamentele beschouwingen. Door de veelheid aan parameters is het niet meer doenlijk verbanden voldoende onderscheiden en nauwkeurig te bepalen en zijn empirische aanvullende submodellen onontbeerlijk. Met deze wijze van modelleren wordt wel het meeste inzicht verworven. Deze aanpak wordt in dit rapport niet verder behandeld.

De tweede en derde aanpak vormen praktisch een goede balans tussen inzicht en resultaatgerichtheid. De aandacht wordt van het begin af aan op empirische modellen gericht. Het aantal parameters is kleiner. De CROW werkgroep P10 heeft voor de ontwikkeling van de tweede aanpak gekozen. In dit rapport wordt een resultaat van een soortgelijke aanpak gebruikt en toegelicht met een voorbeeld van een aantal Nederlandse wegvakken. Deze aanpak ligt tussen methode twee en drie in.

Bij de vierde aanpak is het resultaat het doel. Numerieke passendheid gaat boven het verkrijgen van inzicht. SHRP-NL volgt deze minder betrouwbare beschouwingswijze, die vanuit haar onderzoeksobject en –methode wel gerechtvaardigd is. Deze methode wordt hier echter niet toegepast.

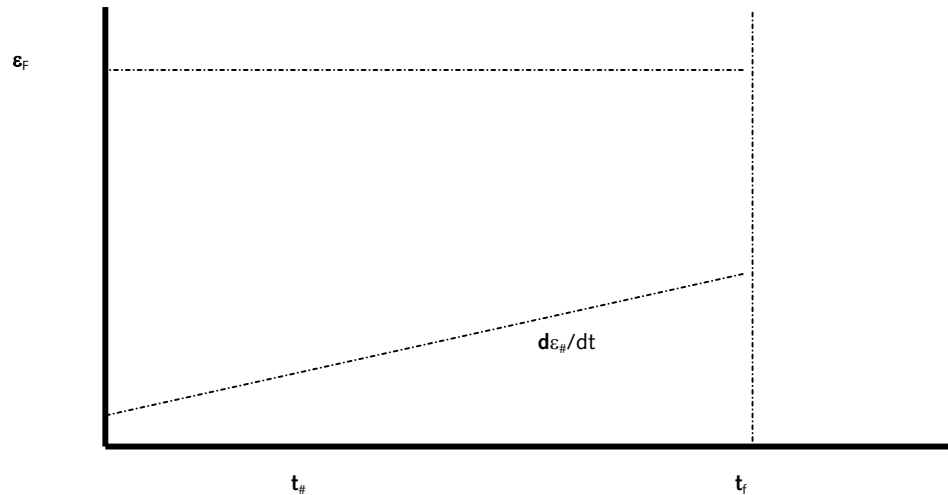
4.2 Continuüm model

Het continuüm model is opgesteld voor de uniaxiale trekproef met cyclische belasting (Cyclische Trekproef, CT). Deze proef is in de eerste helft van de jaren 90 ontwikkeld voor rafelingsonderzoek aan ZOAB en is gebaseerd op de volgende veronderstellingen:

- de mechanische duurzaamheid van ZOAB betreft steenverlies aan het oppervlak, eventueel gevolgd door de vorming van gaten
- steenverlies vindt plaats wanneer de optredende spanningen en vervormingen zo groot zijn dat de breukenergie in de bindmiddelfilm tussen de minerale korrels bereikt wordt
- breuk treedt op na een bepaalde tijdsduur of een aantal herhalingen van belastingen
- de proef kan goed gecontroleerd worden uitgevoerd.

De vorm van het belastingsignaal is een sinus gesuperponeerd op een constante zodanig dat de minimale waarde nominaal 0 is. De proef is krachtgestuurd uitgevoerd. De uitvoer van de proef is een kruipcurve (rek ε - tijd t), waarbij de rek per periode gemiddeld is. Qua dataverwerking bleek het praktisch niet mogelijk meer dan 3 parameters uit de curve af te leiden. Gekozen zijn (zie figuur 8):

- de minimale helling $d\varepsilon_{\#}/dt$
- de tijd tot bezwijken t_f
- de rek op $t = 0.9 t_f$

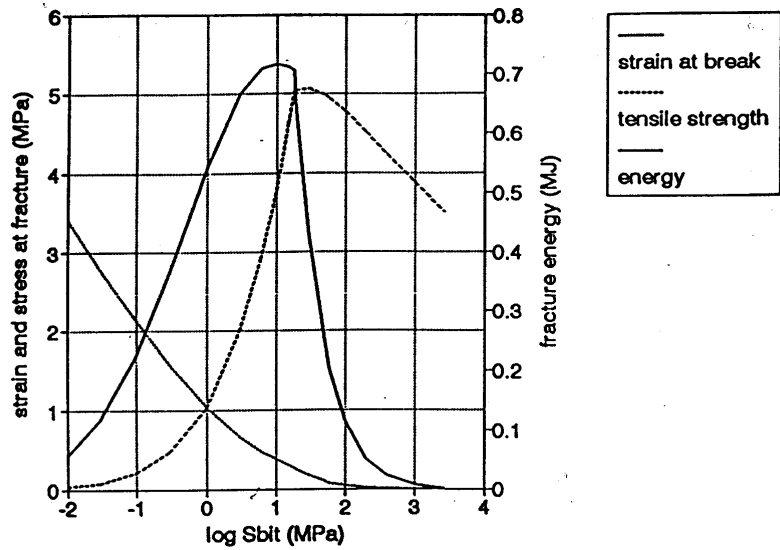


Figuur 8: Definitieschets

Er zijn 2 uitgangspunten gekozen voor de vorming van een theoretisch model om deze curve te beschrijven:

- breuk
- vloeï en insnoering

Beide mechanismen zijn aannemelijk voor bitumineus gebonden materialen en worden mede gesuggereerd door het onderzoek van het KSLA [14] naar het bezwijkgedrag van bitumina. Als $\log S_{bit} < 1,3$ lijkt vloeï dominant en daarboven breuk.



Figuur 9: Sterkte en breukrek van bitumen volgens Heukelom [14]

Daarenboven zijn in ZOAB o.a. van belang:

- de bindmiddelfilm dikte
- de steenkorrel- en bindmiddelfilm vorm
- de gradering
- hulpstoffen en modificaties van het bindmiddel
- de proefstukafmetingen.

Deze uitgangspunten leiden tot 2 modellen met 5 respectievelijk 4 parameters:

- de schade bij het begin van de proef
- een schadegroei coëfficiënt en -exponent (er wordt een machtswet verondersteld)
- energieparameters voor de vorming van oppervlak in het breukmodel (dat zijn twee parameters, de specifieke oppervlakte-energie en de breedte van de scheurzone) of insnoering in het vloeimodel (er wordt verondersteld dat alle vervormingsenergie in schade wordt omgezet)

De twee modellen voor vloeï en breuk kunnen nu wiskundig teruggevoerd worden op 1 functie, waarin ε_f , t_f en r voor ieder van de beide modellen verschillende functies van de uitgangparameters zijn.

$$\varepsilon = \varepsilon_f \left(1 - \left(1 - \frac{t}{t_f} \right)^r \right)$$

Empirisch blijkt dat $\frac{d\varepsilon_{\#}}{dt} = at_f^b$

met

$$\varepsilon_{0.9} = \xi \frac{d\varepsilon_{\#}}{dt} t_f$$

$$b = -1.15$$

$$\xi = -1.25$$

Na substitutie van de experimentele relaties in het theoretisch model volgt een uitdrukking die enigszins afhangt van het tijdstip waarop de minimale rekhelling in de kruipcurve optreedt. Uit de beschouwde experimenten bleek dat globaal $t_{\#} / t_f = 0,35$ of $r = 0,25$. Na substitutie van deze relaties in het fysische model volgt voor de bezwijkenergie

$$E_f = 2.3 \xi a \sigma t_f^{-0.15}$$

De resulterende uitdrukking is opmerkelijk omdat een langere levensduur in de proef kennelijk gepaard gaat met minder benodigde arbeid. De gevonden waarde voor b is het resultaat van een groot aantal modificaties en leeftijden. Als een individueel bindmiddel beschouwd wordt lijkt de absolute grootte van b af te nemen tot ca. 1, wat betekent dat de breukenergie onafhankelijk van de proefduur wordt. Wegens het niet-lineaire spannings-rekgedrag betekent dit echter niet dat de proefduur sterk verkort kan worden door het vergroten van de belasting.

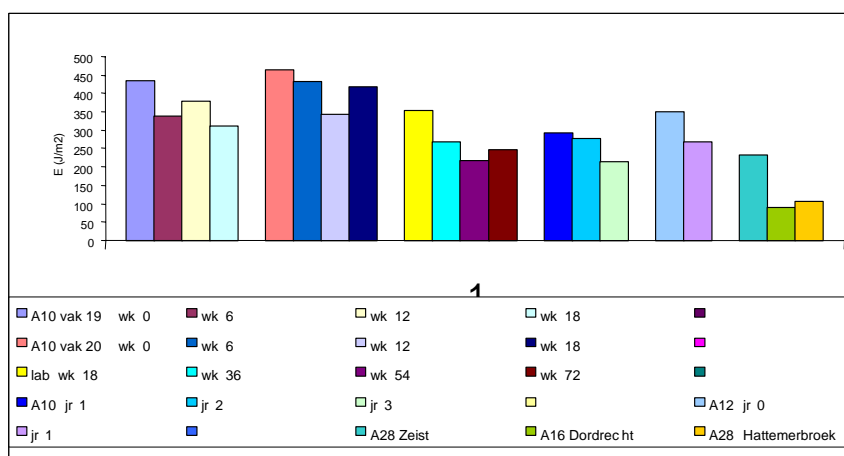
Bij grote levensduren in de weg kan als hypothese worden gesteld dat het bindmiddelgedrag aanvankelijk door vloeien bepaald is maar langzamerhand overheerst wordt door het breukgedrag. Dit is het gevolg van het harder en daarmee brosser worden van het bitumen.

De onderzoeken waarop dit model toegepast is, zijn benoemd in tabel 16. Op grond van visuele beoordelingen en redelijke interpretatie van aanleg- en belastinggegevens zijn de onderzoeken gerankt naar hun verwachte weerstand tegen rafeling.

Tabel 16. Gebruikte onderzoeken

Herkomst materiaal	Leeftijd (jaren)	verkeer *	ranking (1=beste)	Belasting in de proef (N)
A10 kunstmatig verouderd	1 – 3	-	1 / 2	800
A10 alternatief kunstmatig verouderd	1 – 3	-	1 / 2	800
A10 weg	1 – 3	?	3	800
A10 langdurig kunstmatig verouderd	3 – 12	-	4	1600
A12 Zeist	8.5	170	5	1600, 2400
A16 Dordrecht	8.3	260	6 / 7	800, 1600
A28 Hattemerbroek	16.5	270	6 / 7	1600, 2400

* in miljoen motorvoertuigen op alle rijstroken sinds de aanleg; het verkeer op de A16 is zwaar t.o.v. de overige wegvakken



Figuur 10. Resultaten van de berekeningen

De ordening van de berekende bezwijkenergie strookt met de verwachte resultaten, zie figuur 10. Er is globaal een daling met de veroudering te zien. De kernen uit vak 20 hebben een ander verouderingsregime ondergaan dan die van vak 19. Kernen uit de weg hebben een lagere bezwijkenergie dan kunstmatig verouderde kernen. De kunstmatige veroudering is ernstiger dan de veroudering op de weg om het proces te versnellen. Door de spreiding is het niet mogelijk de achteruitgang per jaar te beschouwen. Wel kan een afkeuringniveau worden bepaald, bijvoorbeeld bij 100 J/m^2 . Het argument voor deze keuze is dat het ZOAB van de vakken A16 Dordrecht en A28 Hattemerbroek kort na de uitgevoerde proeven vervangen zijn. Een dergelijke waarde kan gebruikt worden voor het stellen van een afkeurgrens of een ingreepgrens, bijvoorbeeld sealen.

De keuze van het afkeuringsniveau hangt af van de toepassing. Onder rijdend verkeer zijn de spanningen die in het ZOAB optreden gering en kan de sterkte kleiner zijn dan onder wringend verkeer. De hogere sterkte die nodig is om deze spanningen op te nemen gaat in de regel gepaard met een lagere bezwijkenergie en waarschijnlijk kortere tijd tot bezwijken op duurzaamheidsmechanismen (veroudering).

Het model wordt gebruikt door de cyclische trekproef uit te voeren en de energie te berekenen. Deze kan vervolgens getoetst worden aan een nader te bepalen criterium. Dit criterium kan afhangen van de toepassing. Enerzijds is een niveau te hanteren voor het voorspellen van einde levensduur en anderzijds kan mogelijkheid een criterium worden opgesteld om te bepalen wanneer ZOAB moet worden geseald om de levensduur te verlengen.

5 Interpretatie onderzoeksgegevens

Interpretatie vindt in eerste instantie plaats per ZOAB-modificatie. Aanvullend hierop zijn de gegevens uit de laboratoriumproeven beschouwd waarbij gezocht is naar waarneembare tendensen. Voor de onderzoeksresultaten wordt verwezen naar tabel 10 tot en met 15 en bijlage I.

Interpretatie per ZOAB-modificatie:

Standaard ZOAB 0/16

Van de twee vakken waarin standaard ZOAB is aangelegd acteert op basis van de inspectieresultaten vak 0 “goed” en vak 19 “slecht”. Na analyse van de samenstellingsgegevens blijken er onderling slechts kleine verschillen te bestaan (jaar 9). Na vergelijking van de resultaten van de mechanische proeven blijkt het asfalt in vak 0 betere eigenschappen te bezitten. De splijtsterktes uit de splijtproef zijn zowel bij hoge als lage temperaturen hoger en de vervormingssnelheid in de cyclische trekproef is lager. De splijtsterkte (vak 19) bij een lage temperatuur is lager na 9 jaar dan vlak na aanleg. Daarentegen vertoont een kern uit vak 0 (standaard ZOAB) een zeer groot materiaalverlies in de Cantabroproef terwijl het onderhavige wegvak “goed” acteert. Opgemerkt wordt dat de mengtemperatuur bij de productie voor vak 0 vrij hoog was. Dit is een mogelijke verklaring voor eventuele directe veroudering (verharding) van het bitumen. Opmerkelijk is dat in dit geval de veroudering de mate van rafeling niet negatief heeft beïnvloed. Uit het laboratoriumonderzoek blijkt dat de bitumina uit beide wegvakken ook na 9 jaar bijna dezelfde penetratie en $T_{R\&K}$ hebben.

ZOAB met rubberbitumen

In totaal zijn er vier vakken met rubberbitumen aangelegd. Twee vakken met 4,5% bindmiddel en twee vakken met 5,5% bindmiddel. De vakken met 5,5% bindmiddel acteren beter dan die met 4,5% bindmiddel waarbij wordt vermeld dat vak 5 het beste acteert.

Voor alle vakken geldt dat de samenstellingsgegevens onderling niet veel verschillen. Uitzondering vormt het holle ruimte percentage. Dit is bij vak 5 (5,5% bindmiddel) opmerkelijk lager dan bij de andere vakken (HR 16,5%). Voor de vakken met 4,5% geldt dat het holle ruimte percentage hoger ligt (24,8% resp. 22,2%) dan voor ZOAB gebruikelijk is (20%). Dit geldt alleen voor het laatste beproevingsjaar (jaar 9). Het is mogelijk dat tijdens het boren en zagen van de kern enig steenverlies optreedt.

Uit de resultaten van de cyclische trekproeven is geen verband te leggen met het gedrag in de praktijk. De splijtproef laat daarentegen een beter (sterker) gedrag zien bij 0 °C voor 5,5% bindmiddel. Bij 30 °C is er weinig onderscheid in de resultaten.

Bij de “slecht” acterende wegvakken zijn tijdens de productie problemen opgetreden met de toevoer van het bindmiddel.

ZOAB met Polybilt 103 Z

Er zijn twee vakken met 4,5% polybilt 103 Z en twee vakken met 5,5% polybilt 103 Z aangelegd. Vak 10 (5,5% polybilt 103 Z) acteert “goed”. De andere vakken acteren “matig”.

De onderlinge verschillen in de samenstellingsgegevens blijken klein te zijn. Uitzondering vormt de holle ruimte. Deze is bij de vakken met 5,5% polybilt 103 Z aanzienlijk lager dan bij de vakken met 4,5% polybilt 103 Z. Ook is het percentage zand een stuk hoger bij de vakken met 5,5% polybilt 103 Z.

Uit de resultaten van de splijtproef is te zien dat bij toenemende ouderdom de sterkte groter wordt. Dit is te verklaren door de in de tijd afnemende penetratie (verharding) van het bindmiddel. Voor de cyclische trekproef geldt dat het best acterende vak een lagere vervormingssnelheid heeft dan het slechter acterende vak met hetzelfde bitumenpercentage.

ZOAB met Cariphalte DA

Ook hier zijn twee vakken met 4,5% bindmiddel en twee vakken met 5,5% bindmiddel aangelegd. Alle vakken met uitzondering van vak 16 (5,5% bindmiddel) acteren “slecht”. Laatstgenoemde vak acteert “matig”.

Opmerkelijk is dat de $T_{R\&K}$ bij toenemende ouderdom afneemt. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat de oorspronkelijke grote polymeermoleculen worden omgezet in kleinere moleculen hetgeen betekent dat het materiaal meer “vloeistofachtige” eigenschappen bezit [18]. Verder is het percentage holle ruimte aanzienlijk lager bij de twee vakken met 5,5% bindmiddel dan bij de vakken met 4,5% bindmiddel.

Uit de splijtproef is af te leiden dat de sterkte toeneemt met toenemende ouderdom van het wegvak. Dit wordt veroorzaakt door de in de tijd afnemende penetratie van het bitumen. Ook geldt dat voor de vakken met 5,5% bindmiddel de vervormingssnelheid, bepaald met de cyclische trekproef, hoger is dan voor de vakken met 4,5% bindmiddel.

Bij vak 15 en 16 zijn tijdens de productie problemen opgetreden met de toevoer van het bindmiddel. Dit heeft niet direct geleid tot slechter acteren. Een verklaring hiervoor is vooralsnog niet voorhanden.

ZOAB met aangepaste gradering

Dit zijn beide “matig” acterende wegvakken. Uit de samenstellingseigenschappen zijn geen grote verschillen waargenomen tussen de beide wegvakken. Opmerkelijk is dat het percentage holle ruimte na 9 jaar zeer laag is (na aanvankelijk wel ongeveer op het niveau van standaard ZOAB te hebben gezeten). Een mogelijke oorzaak hiervoor is verbrijzeling of vervuiling van het steenskelet. Uit de samenstellingsgegevens is af te leiden dat de grovere (steen)fracties in hoeveelheid afnemen en de fijnere fracties (zand en vulstof) in hoeveelheid toenemen.

Uit de resultaten van de splijtproeven is af te leiden dat de sterkte toeneemt met toenemende ouderdom van het wegvak. Dit wordt veroorzaakt door de in de tijd afnemende penetratie van het bitumen.

De eerste charges tijdens de aanleg van het mengsel waren iets warmer dan gewenst. Niet duidelijk is of dit van invloed is geweest op de prestatie van het wegvak.

ZOAB met bitumen 160/210

Van deze vakken acteert er één “goed” en één “slecht”. Uit de samenstellingseigenschappen zijn geen directe verbanden af te leiden.

Uit de splijtproef blijkt dat ook hier de sterkte toeneemt bij toenemende ouderdom van het wegvak. De oorzaak is de in de tijd afnemende penetratie van het bitumen.

Het “goed” acterende wegvak blijkt een groot materiaalverlies te vertonen na uitvoering van een Cantabroproef. Bij dit vak is er dus geen verband tussen de resultaten van de Cantabro-proef en de in de praktijk opgetreden rafeling.

Bitumen met (an)organische vezels

Beide vakken met dit mengsel acteren “goed”. Uit de samenstellingseigenschappen zijn geen grote verschillen waar te nemen met uitzondering van het holle ruimte percentage. Dit is bij het ZOAB met anorganische vezels veel lager (14,7%) dan bij standaard ZOAB en het ZOAB met organische vezels. Bij deze vakken is weinig afdruipe opgetreden. Dit is te zien aan de verdeling van het bindmiddel in de bovenste helft en de onderste helft van de kern. Deze is nagenoeg gelijk.

Opmerkelijk is dat bij het vak met de organische vezels de sterkte bij lage temperaturen en toenemende ouderdom afneemt (bij de splijtproef). Vanwege de veroudering van het bindmiddel (verharding; afnemende penetratie) wordt een hogere sterkte van het asfalt

verwacht. Daarnaast is geconstateerd dat een kern een zeer groot materiaalverlies vertoont na uitvoering van de Cantabroproef.

Dit is verrassend omdat het gedrag van het wegvak in de praktijk “goed” is. Er lijkt dus geen relatie te bestaan tussen het resultaat uit de Cantabroproef en de opgetreden rafeling in de praktijk.

Vakken A12 Zoetermeer

In totaal zijn 4 typen ZOAB onderzocht te weten, standaard ZOAB, ZOAB met Gilsonite, ZOAB met Inorphyl en ZOAB met Multigrade. Met uitzondering van het vak waarin Gilsonite is verwerkt acteren alle wegvakken “goed”. Uit het mechanische onderzoek blijkt dat dit wegvak de laagste splijtsterktes bezit (zowel bij 0 als bij 30 °C). Ook is het holle ruimte percentage hier aanzienlijk lager in vergelijking met de ander 3 wegvakken. Bij de aanleg van het vak met Gilsonite zijn afdruipproblemen opgetreden. Dit is opmerkelijk omdat het bindmiddel een lage initiële penetratie bezit.

Vakken A12 Nootdorp

Onderzocht zijn twee mengsels. Bij het ene mengsel is Nederlandse steenslag toegepast en bij het andere mengsel is porfier toegepast. Uit de mechanische proeven (cyclische trekproef) blijkt dat de sterkte van het mengsel met porfier aanzienlijk hoger is dan de sterkte van het mengsel met Nederlandse steenslag. Een mogelijk oorzaak is het meer basische karakter van porfier ten opzichte van Nederlandse steenslag. Hierdoor ontstaat een betere hechting met het enigszins zure bitumen. Mogelijk zijn ook de betere korrelvorm (kubischer en 100% gebroken mineraal) en de hogere verbrijzelingsweerstand van porfier gunstig werkende factoren.

Uit de splijtproef blijkt dat de sterkte in eerste instantie snel toeneemt in de tijd (eerste twee jaar) en daarna niet of nauwelijks meer verder toeneemt. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door de daarmee samenhangende snelle afname van de penetratie van het bitumen in de periode vlak na aanleg en de in het vervolg daarop steeds langzamere afname van deze penetratie. Ook kan onder invloed van stripping de sterkte in de tijd afnemen.

Interpretatie laboratoriumproeven en resultaten:

Cyclische trekproef

De cyclische trekproef is per wegvak onder verschillende proefomstandigheden uitgevoerd (beproevingstemperatuur en maximaal aan te brengen belasting) met uitzondering van het onderzoek na jaar 9. Na analyse van de proefresultaten blijkt dat bij een kracht van 1750 N alle vakken met 5,5% bindmiddel een hogere vervormingsnelheid hebben. Uitzondering vormt vak 4 (4,5% rubberbitumen). Dit vak heeft in vergelijking tot de andere vakken met rubberbitumen een hoge vervormingsnelheid. Een verklaring hiervoor is niet gevonden.

Ook is er geen verband gevonden tussen de resultaten van de cyclische trekproef en het gedrag in de praktijk.

Splijtproef

Na analyse van de resultaten blijkt dat er “goed” acterende wegvakken zijn aan te wijzen met een lage splijtsterkte en “goed” acterende vakken met een hoge splijtsterkte. Daarnaast zijn er “slecht” acterende vakken aan te wijzen die een splijtsterkte bezitten die ligt tussen de minimale en maximale waarden voor de splijtsterkte van “goed” acterende wegvakken. Het is dus niet mogelijk om een verband te leggen tussen de resultaten van de splijtproef en het gedrag in de praktijk.

Daarentegen is wel een invloed merkbaar van het type modificatie. ZOAB met Polybilt 103Z vertoont hogere waarden voor de splijtsterktes dan bijvoorbeeld ZOAB met Cariphalte DA. Worden de vakken van één type modificatie beschouwd (bijvoorbeeld Polybilt) dan zijn er vakken aan te wijzen die minder “goed” acteren dan andere vakken maar wel hogere splijtsterktes bezitten. Ook vanuit deze benadering is het niet mogelijk om een verband te leggen tussen de proefresultaten en het gedrag in de praktijk.

Bij de proefvakken op de A12 bij Nootdorp bezit het vak met porfier meer sterkte dan het vak met Nederlandse steenslag.

Cantabroproef

Uit de resultaten van de Cantabroproef blijkt dat er modificaties zijn aan te wijzen die weinig materiaalverlies vertonen (Cariphalte DA, rubberbitumen en Polybilt 103Z) terwijl toepassing van vezels en standaard ZOAB een groter materiaalverlies vertonen. Een verband met het gedrag in de praktijk is niet te leggen omdat juist de mengsels waarin vezels zijn toegepast “goed” acteren.

Samenstellingseigenschappen

Uit de analyse van de samenstellingsgegevens blijkt dat het bitumengehalte in de bovenste helft van de kern lager is dan in de onderste helft. Dit wordt veroorzaakt door het enigszins uitzakken (afdruipen) van het bindmiddel tijdens aanleg. De vakken met (an)organische vezels vertonen nauwelijks afdruipen. Deze worden juist toegevoegd om afdruipen te voorkomen. Over het algemeen acteren de vakken met 5,5% bindmiddel beter dan de vakken met 4,5% bindmiddel.

Analyse van de fractie C5,6, de zandfractie, de vulstoffractie en het holle ruimte percentage heeft geen bijzonderheden opgeleverd.

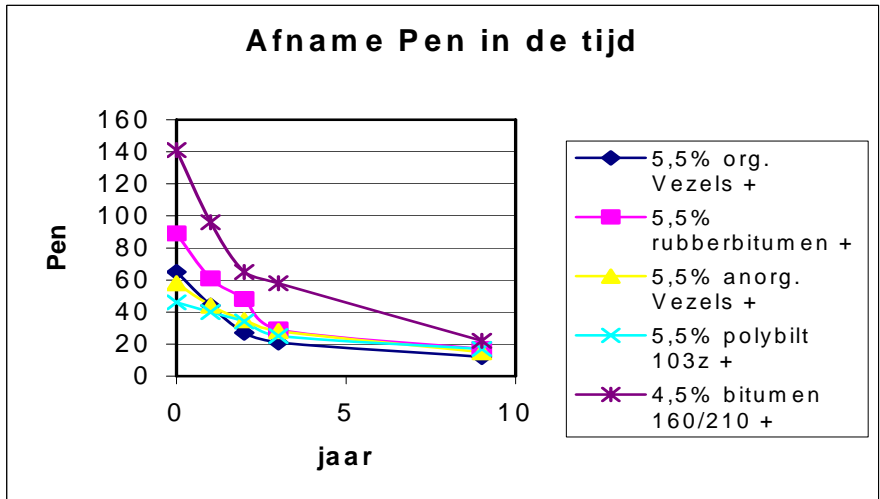
De bindmiddeleigenschappen blijken eveneens geen bijzonderheden op te leveren. Bij toenemende ouderdom van het wegvak neemt de penetratie van het bindmiddel af (verharding) en neemt de $T_{R\&K}$ (verwekingstemperatuur) toe. Uitzondering vormt Cariphalte DA. Bij deze modificatie neemt de $T_{R\&K}$ juist af. Een verklaring hiervoor is gegeven in hoofdstuk 5 Interpretatie onderzoeksgegevens.

De penetratie van de bindmiddelen onderling verschilt eveneens niet veel. Uitzondering vormen de mengsels met de aangepaste gradering en de mengsels met bitumen 160/210. De penetratie van deze vakken ligt iets hoger. Dit wordt veroorzaakt door het relatief lage percentage holle ruimte (bij de aangepaste gradering) waardoor weinig lucht en andere verouderingsinvloeden bij het bindmiddel kunnen komen en de initieel hogere penetratie van bitumen 160/210 direct na aanleg.

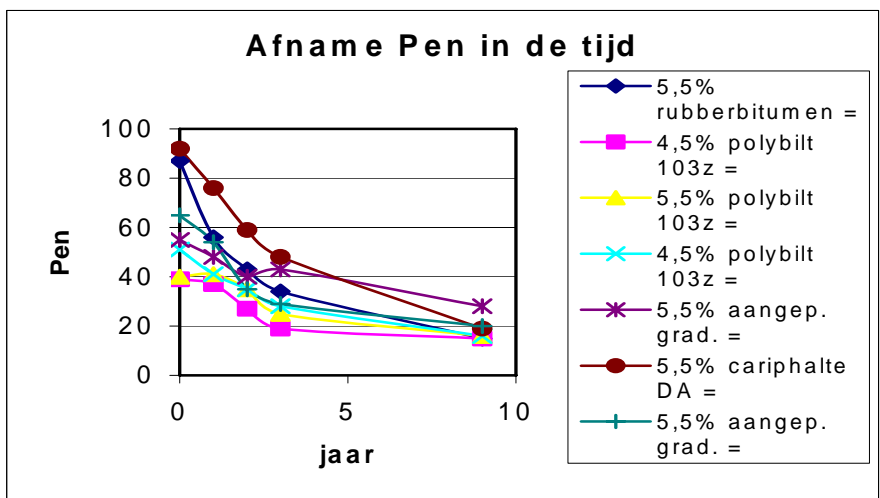
Ook blijkt het percentage bindmiddel c.q. bindmiddelfilm weinig invloed te hebben op het verouderingsproces. Wederom wordt weinig verschil in de penetratie aangetroffen.

De penetratie van het bindmiddel houdt wel direct verband met de resultaten van de slijtproef. Bij afnemende penetratie neemt de sterkte toe.

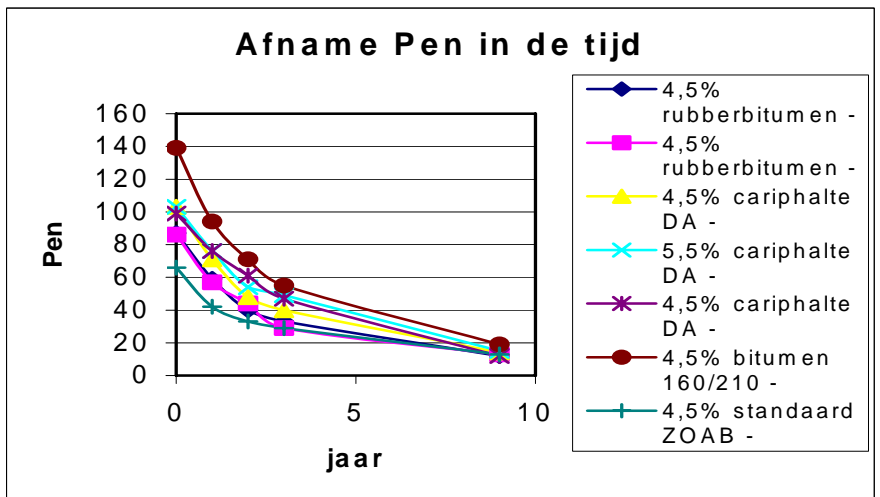
In figuur 11a t/m 11e is de afname van de penetratie in de tijd voor de bindmiddelen weergegeven. Zowel “slecht”, “matig” en “goed” acterende wegvakken hebben na 9 jaar een penetratie van ca. 20.



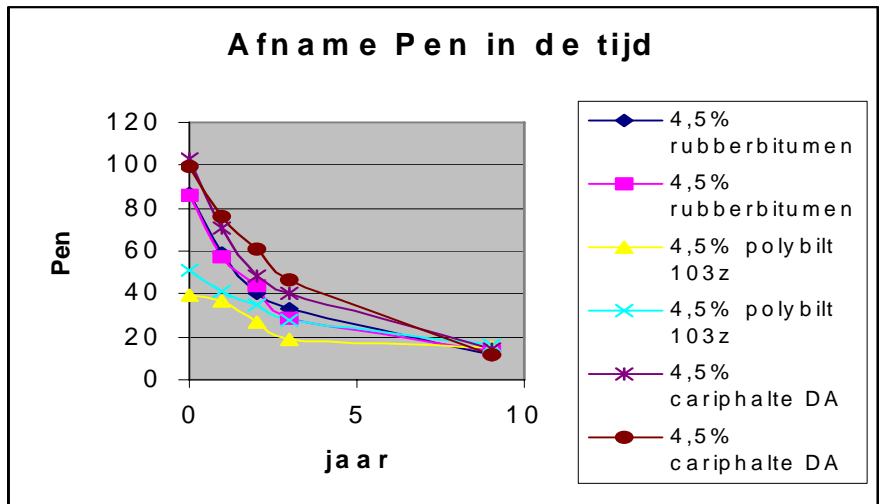
Figuur 11a: "Goed" acterende wegvakken



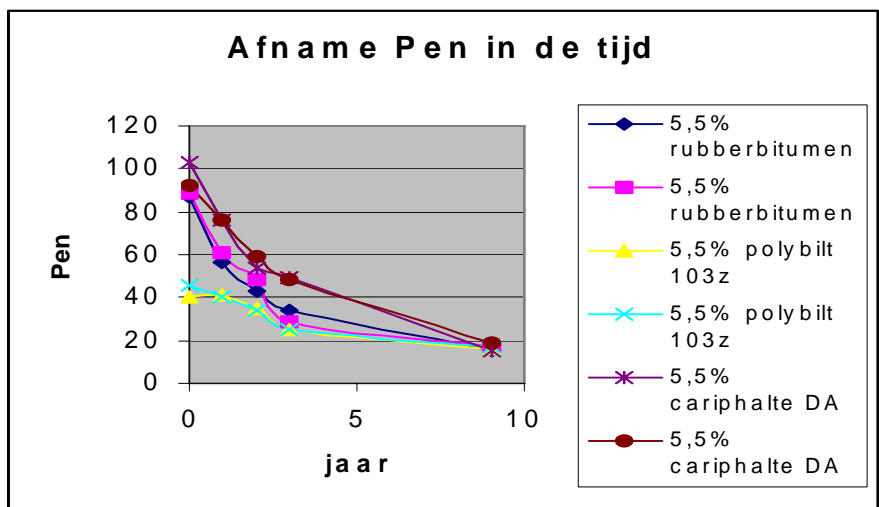
Figuur 11b: "Matig" acterende wegvakken



Figuur 11c: "Slecht" acterende wegvakken



Figuur 11d: Vakken met 4,5% en 5,5% bindmiddel; afgebeeld 4,5%



Figuur 11e: Vakken met 4,5% en 5,5% bindmiddel; afgebeeld 5,5%

6 Conclusies

Op basis van het uitgevoerde onderzoek, dat zich heeft toegespitst op 20 proefvakken op de A10 en 6 proefvakken op de A12, kunnen de volgende conclusies worden getrokken. Hierbij wordt de volgende driedeling gehanteerd:

1. conclusies met betrekking tot de onderzochte modificaties en het bindmiddelgehalte
2. conclusies met betrekking tot het uitgevoerde laboratoriumonderzoek
3. conclusies met betrekking tot het uitgevoerde literatuuronderzoek

De conclusies bij 1 en 2 zullen worden teruggekoppeld naar de visuele inspectie.

Ad 1)

- Er zijn diverse wegvakken aan te wijzen die “goed” acteren, waaronder een standaard ZOAB vak. Opmerkelijk hierbij is dat geen enkele type modificatie er tussenuitspringt wat betreft “goed” acteren. Uitzondering hierop vormen de mengsels waaraan vezels zijn toegevoegd. Geconcludeerd kan worden dat het type modificatie weinig tot geen wezenlijke invloed heeft op het gedrag in de praktijk.
- De “goed” acterende vakken bezitten bijna allemaal een bindmiddelgehalte van 5,5% (zie tabel 11). Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor een “goed” praktijkgedrag (weinig rafeling) een verhoogd percentage bindmiddel nodig is. De holle ruimte wordt hierbij kleiner en het contactoppervlak tussen de korrels groter.
- Omdat 5,5% bindmiddel betere resultaten geeft, kan geconcludeerd worden dat modificeren zin heeft indien daarmee het percentage bindmiddel in het mengsel verhoogd kan worden. Een direct levensduurverlengend effect van de polymeer- en rubbertoevoegingen is niet waargenomen.
- Het vak waarin porfier verwerkt is, vertoont een betere rafelingsweerstand dan het vak waarin Nederlandse steenslag verwerkt is. De stroefheid van porfier is na verloop van tijd veel lager dan die van Nederlandse steenslag.
- Bij een aantal “slecht” acterende vakken zijn tijdens de aanleg problemen opgetreden, die de kwaliteit van het mengsel (en dus de levensduur) mogelijk negatief hebben beïnvloed. Geconcludeerd wordt dat voor het verkrijgen van een lange(re) levensduur veel zorg moet worden besteed aan de kwaliteit van het totale productie- en verwerkingsproces.

Ad 2)

- Uit de resultaten van de uitgevoerde laboratoriumproeven (cyclische trekproef, slijtproef en de Cantabroproef) kan geen direct verband worden gegenereerd met het gedrag van de mengsels in de praktijk. Geconcludeerd wordt dat het derhalve totnogtoe niet gelukt is om op basis van deze laboratoriumproeven een uitspraak te doen over het toekomstige gedrag in de praktijk.
 - Op basis van laboratoriumproeven is het mogelijk om een ranking op te stellen qua bindmiddelen. Een vertaalslag naar het praktijkgedrag (rafeling) is echter niet te maken.
 - Uit analyse van de bindmiddelgehalten van zowel de bovenste als de onderste helft van de kern kan geconcludeerd worden dat vakken met weinig afdruijing een “goed” praktijkgedrag vertonen (zie bijlage I).
 - Verhogen van het bindmiddelpercentage leidt tot een dikkere bindmiddelfilmdikte. Echter een positieve invloed op het verouderingsproces wordt niet waargenomen. De penetratie na 9 jaar is nagenoeg overal gelijk.
-

Ad 3)

▪ Mengselontwerpmethoden:

Van de vier beschreven mengselontwerpmethoden zijn de Nederlandse methode (RAW-Standaard) en de Belgische methode (Standaardbestek 250) empirisch bepaald. Het is de vraag of deze methode ruimte biedt voor toepassing van modificaties.

De Zuid-Afrikaanse methode is op basis van afgeleide functionele eigenschappen bepaald, hetgeen een meer onderbouwde mengselontwerpmethode is dan de empirische methode. De grenzen van het minimale en maximale bitumenpercentage worden uit proeven afgeleid.

De Zwitserse methode is op basis van volumetrie opgesteld. De volgende fasen worden doorlopen:

- bouwstoffen
- testmethoden
- inspectiemethodiek

7 Aanbevelingen

Op basis van de in hoofdstuk 6 vermelde conclusies worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Daar er bij de verschillende onderzochte in duplo aangelegde proefvakmengsels nagenoeg geen verschillen zijn aangetoond in samenstelling en laboratoriumresultaten, maar wel verschil in rafelingsgedrag is gevonden, wordt aanbevolen om na te gaan in welke mate het productie- en verwerkingsproces en de weersomstandigheden hierop van invloed zijn. Mogelijk betekent dit dat alleen gewerkt kan worden onder goede weersomstandigheden, dat het mengsel qua samenstelling en temperatuur goed moet worden bereid (voorkom ontmenging) en dat het mengsel door een ervaren asfaltploeg moet worden aangelegd. Tevens moet de kwaliteitscontrole hierop zijn ingesteld.
 - De verwachting is dat steenslag B een positief effect heeft op de levensduur van ZOAB vanwege de korrelvorm, het hogere specifiek oppervlak, de betere verbrijzelingsweerstand en de hogere polijstwaarde. Voor zwaar belaste wegen wordt aanbevolen om in plaats van Nederlandse steenslag meer steenslag B toe te passen. Een brede toepassing is wegens beschikbaarheid en kosten niet nodig.
 - Indien een mengsel gemodificeerd wordt, dient als modificatie toevoeging van vezels overwogen te worden. Deze leveren een wezenlijke bijdrage aan het voorkomen van ontmenging en geven de mogelijkheid om 5,5% bindmiddel toe te voegen. Bovendien zijn ze veel goedkoper dan polymeer- en chemisch gemodificeerde bindmiddelen.
 - Toevoeging van andere typen modificaties dient heroverwogen te worden.
 - Gezocht moet worden naar nieuwe onderzoeksmethoden om het gedrag van ZOAB in de praktijk beter te kunnen voorspellen.
Bij de proefstukbereiding dient een simulatie van de veroudering van het bindmiddel (gedurende de productie en verwerking) plaats te vinden. In SHRP USA wordt het speciemonster enige tijd in een stoof bij hoge temperaturen bewaard.
De rafeling vindt plaats aan het oppervlak. Gezocht moet worden naar een proef die de belasting (veroudering en verkeer) aan dit oppervlak simuleert. Daarnaast dient gecontroleerd te worden of de ranking in die nieuwe proefresultaten overeenkomt met het gedrag in de praktijk.
 - Het is wenselijk dat een inspectiemethodiek wordt gehanteerd die de menselijke subjectiviteit elimineert (bijvoorbeeld de DWW-(laser)methode).
 - Mogelijk zou het bepalen van de hoeveelheid energie in de cyclische trekproef een hulpmiddel kunnen zijn om het tijdstip voor sealen te bepalen.
-

8 Referentielijst

1. Tolman, F.; Crum, CROW-publicatie 103; 1996
 2. DWW; Begeleiding productie en aanleg proefvakken A12; DWW MAA-R-93083; 1993
 3. Resultaten gedetailleerde visuele inspectie zoab-proefvakken A10; Unihorn, Avenhorn; 1992 en 1993
 4. Pelgröm, L.; Rafelingsonderzoek op ZOAB-kernen uit DWW proefvakken op RW10 en RW12 ten behoeve van het DWW-onderzoeksproject ZOAB/Praktijk, KOAC-WMD A990006/kka; 1999
 5. Takahashi, S.; Partl, M.; Improvement of mix design for porous asphalt; EMPA; 1999
 6. SABITA; Porous asphalt mixes, design and use; manual 17; 1995
 7. Japink, D.; Proefvakken van gemodificeerd zeer open asfaltbeton / VBW-asfalt publicatie
 8. DWW; Materiaaltechnische levensduur van ZOAB; DWW-projectgroep ZOAB/LEV/T; W-DWW-96-047; april 1996
 9. DWW; Tien jaar ervaring met zeer open asfaltbeton (ZOAB); DWW-rapport; IR-N-99-015; 1999
 10. DWW; Standaarden, testmethoden en onderhoudscriteria voor ZOAB-deklagen in een aantal Europese landen; DWW-rapport; W-DWW-96-007; 1996
 11. Standaard RAW-bepalingen 2000
 12. Wittmann, F.H.; Fracture mechanics of concrete (paper: Structure of concrete with respect to crack formation); 1983
 13. Tolman, F.; Gorkum, F. van; Mechanische duurzaamheid van ZOAB; wegbouwkundige werkdagen 1998
 14. Heukelom; Observations on the rheology and fracture of bitumens and asphalt mixes; AAPT; 1966
 15. Inspectieresultaten SHRP-NL proefvakken A10 (vaknr: 6027 t/m 6046) en A12 (vaknr: 6019 t/m 6024)
 16. Rutten, E.R.P.; Bochove, G.G. van; wielspooronderzoek ZOAB m.b.v. de Rotation Surface Abrasion Test; Infratechrapport 915267/ER; november 1999
 17. Molenaar, J.M.M. en Molenaar A.A.A.; Fracture Toughness of Asphalt in the Semi Circular Bending Test, Wegbouwkundige werkdagen 2000
 18. Kuppens, E.A.M.; Nardelli, L.; Molenaar, J.M.M.; Verouderingsweerstand van bitumen; CROW Wegbouwkundige Werkdagen 1994
 19. Voskuilen, J.L.M.; van der Kooij, J.; van der Bol, M.; Slijtproeven op zeer open asfaltbeton uit Nederlandse wevakken, deel 1, 2 en 3, W-DWW-92-MA501, december 1992
 20. Hergebruik ZOAB. Dat gaat zo!!; DWW-rapport P-DWW-98-055; december 1998
-

9 Literatuurlijst

1. RW5 in Namen – de doorlatende weg; De Wegentechniek nr 3; 1985
 2. Moreaux, C.; Glorie, G.; Cantabrische proef op 72 Marshallproefstukken in zeer open asfalt ; OCW EP3260; 1990
 3. Kotte, F.A.K.; Tolman, F.; Raveling of drain asphalt; SHRP 1994
 4. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap (i.s.m. OCW); Handleiding voor de aanwending van SMA en ZOAB; 1996
 5. Klomp, A.J.G.; Duurzaamheid van zeer open asfaltbeton (literatuurstudie); CROW 1989 en aanvulling CROW 1994
 6. Verburg, H.A.; Molenaar, J.M.M.; Force-ductility test for specification of polymer modified bitumen; DWW
 7. ZOAB, hoe lang gaat het mee; DWW-notitie; W-DWW-97-049; 16 mei 1997
 8. Statistische onderbouwing relaties eigenschappen ZOAB-mengsels met ZOAB-granulaat; DWW-rapport; W-DWW-98-075; oktober 1998
 9. Beurteilung von offenporigen Asphalten im Labor; Bitumen 2/96
 10. Molenaar, A.A.A.; Molenaar, J.M.M.; An investigation into the contribution of the bituminous binder to the resistance to raveling of porous asphalt
 11. Molenaar, J.M.M.; Molenaar, A.A.A.; Four investigations into the characterization and testing of the performance of asphalt mixtures; januari 2000
 12. Ganzeveld, K.F.M.; Homogeniteit ZOAB; 15 januari 1998
 13. Onderzoek naar de structurele levensduur van ZOAB aan oude Nederlandse wegvakken; DWW-rapport; W-DWW-94-516
 14. Porous asphalt mix design; the cantabrian test; A.I.P.C.R. – Madrid; 1989
 15. Horak, E.; Verhaeghe, B.M.J.A.; Rust, F.C.; Heerden, C. van; 6th conference on asphalt pavements for southern Africa; The use of porous on major roads in Johannesburg
 16. Tolman, F.; Inleidende studie interpretatiemodel dynamische trekproeven ZOAB; NPC rapport 92057; november 1992
 17. Onderhoudsstrategie voor drainerend asfalt; OCW; 1998
 18. Renken, P.; Schäfer, V.; Offenporige Asphaltdeckschichten; Straße + Autobahn 2/99
 19. Potschka, V.; Dränasphalt in Deutschland – Ein Flop oder die Straßendeckschicht der Zukunft?; Asphalt 5/94
 20. Hamzah, M.O.; Cabrera, J.G.; Properties of porous asphalt; april 1997
 21. Khalid, H.A.; Walsh, C.M.; Design for long term performance of porous asphalt; april 1997
 22. CROW-publicatie werkgroep P10; Tweelaags ZOAB, handleiding voor wegbeheerders; november 2001
 23. Goos, D.; Velde, H. van de; Inspection report porous asphalt testtracks layed in 1983 and 1985; januari 1994
 24. Tolman, F.; Slecht ZOAB; NPC-rapport 94383; juni 1995
 25. Tolman, F.; Versluis, A.; Vaarkamp, M.H.; Invloed conditionering op twee typen ZOAB in de dynamische trekproef –meetrapport-; NPC-rapport 92042; november 1992
 26. Grip op spoorvorming; spoorvorming en rafeling nader onderzocht; DWW-rapport W-DWW-2001-016; augustus 2001
 27. Onderzoek naar vliegashoudende middelsoort vulstof met hydroxide voor toepassing in ZOAB; DWW-rapport P-DWW-94-502
 28. Voskuilen, J.L.M.; Oorzaken van vroegtijdige rafeling in ZOAB op RW 1; DWW-rapport DWW-2001-069; oktober 2001
-

29. Ontwikkeling van een beoordelingsmethode voor rafeling van zoab; DWW-rapport
W-DWW-94-504; december 1994

10 Bijlagen

10.1 Bijlage I: resultaten van de uitgevoerde laboratoriumproeven (CD-rom)



De Dienst Weg- en Waterbouwkunde is de adviesdienst van Rijkswaterstaat voor techniek en milieu voor de weg- en waterbouw.

De dienst adviseert, onderzoekt en draagt kennis over in de constructieve weg- en waterbouw, de natuur- en milieutechniek van fysieke infrastructuur, waterkeringen en watersystemen, en de grondstoffen voorziening voor de bouw, inclusief de milieuaspecten

Dienst Weg- en Waterbouwkunde Rijkswaterstaat

van der Burghweg 1

Postbus 5044

2600 GA Delft

telefoon: (015) 251 83 08

telefax: (015) 251 85 55

E-mail: dwwmail@dww.rws.minvenw.nl

Internet: www.minvenw.nl/rws/dww/home/

Intranet: www.venwnet.minvenw.nl/rws/dww/home/

Publicatienummer: DWW-2002-013