

Vezels in asfalt - van nul tot nu

Liz Mensink ^a, Jos Lucas ^a, Cecile Giezen ^a

^a Rijkswaterstaat GPO, Griffioenlaan 2, 3526 LA Utrecht

Samenvatting

Het eerste proefvak met (synthetisch) vezelhoudend asfalt in Nederland is aangelegd in 2003. Er is in de tussenliggende jaren inmiddels veel onderzoek verricht naar de toepassing van vezels in asfalt. Bij de noemer 'vezels' moet hier veelal gedacht worden aan vezels op basis van synthetische polymeren. Bekende voorbeelden hiervan in Nederland zijn onder andere polyacrylonitriël (PAN) en aromatische polyamide (aramide). Er zijn verschillende claims over wat deze vezels zoal bewerkstelligen binnen een asfaltmengsel. Onderzoek naar deze claims rondom de toepassing van vezels vindt plaats in het kader van de transitie naar duurzame wegverhardingen, waarmee Rijkswaterstaat probeert om met ingang van 2030 volledig klimaatneutraal en circulair te werken.

Binnen Nederland bestaan twee duidelijke claims over de meerwaarde die vezels bieden. Één van de verwachtingen is dat deze vezels een netwerk vormen binnen de bitumenmatrix en zodoende een wapenend effect geven aan de mastiek, met een langere levensduur tot gevolg. De andere claim is dat vezelasfalt toepasbaar is in de toplaag van tweelaags-ZOAB, een ZOAB waarin normaliter polymeer-gemodificeerd bitumen (PmB) wordt toegepast. De verwachting is dat een mastiek met vezels een lagere MilieuKosten Indicator (MKI) zal geven dan een polymeer-gemodificeerde mastiek.

Toch is het, in de ogen van Rijkswaterstaat, nog niet gelukt om de geschiktheid van dit materiaal afdoende aan te tonen. Een belangrijk aspect van een dergelijke langlopende innovatie, is het gaandeweg verliezen van kennis of het verliezen van het overzicht. Om deze reden zal deze paper de verrichte onderzoeken naar vezels bundelen en hun belangrijkste conclusies rapporteren. Zo wordt het mogelijk om nog ontbrekende kennis over vezels te identificeren en hier gericht verder onderzoek naar te doen.

In het kader van gericht vervolgonderzoek zijn er in 2020-2021 verschillende sessies en bijeenkomsten georganiseerd om de krachten van de markt te bundelen. Hieruit zijn verschillende werkgroepen ontstaan, die elk een belangrijk vraagstuk oppakken met betrekking tot de toepassing en validering van vezels in asfalt. Deze vraagstukken focussen zich op het aantonen van de werking via laboratoriumproeven, het leren vanuit de reeds aanlegde proefvakken in de praktijk, en te kijken naar duurzaamheidsaspecten. In deze paper zullen we ook ingaan op de verschillende onderzoekstrajecten die momenteel lopen.

1. Inleiding

Om de Nederlandse klimaatdoelstellingen te halen, werkt Rijkswaterstaat aan het verduurzamen van de infrastructuur. Zo heeft Rijkswaterstaat de ambitie om in 2030 volledig klimaatneutraal en circulair te werken, met hoogwaardig hergebruik van alle materialen en halvering van het gebruik van primaire grondstoffen. Vanuit het transitiepad Duurzame wegverharding wordt concreet invulling gegeven aan deze ambitie.

Het asfaltproces is goed voor circa 30% van de CO₂ footprint van Rijkswaterstaat, een reductie van de uitstoot kan onder meer bereikt worden door verlenging van de levensduur en gebruik van alternatieve (duurzame) materialen. Verlenging van de levensduur leidt tot minder onderhoud, betere doorstroming en lagere kosten. Vanuit deze ambities stimuleert Rijkswaterstaat de ontwikkeling van duurzamere asfaltmengsels. Een van deze ontwikkelingen is de toepassing van synthetische vezels in asfaltmengsels, welke onder andere een verlenging van de levensduur en een duurzamere vervanging voor polymeer-gemodificeerde bitumina mogelijk zouden kunnen maken.

2. Het ontstaan van vezelhoudend asfalt

Bij de ontwikkeling van Duurzame ZOAB, zijn de eerste modificaties van vezels in asfalt ontstaan. In 1989, toen de levensduur van ZOAB-deklagen nog zo'n 8 tot 10 jaar was, is er een werkgroep van de CROW opgezet met als doel om te onderzoeken of de levensduur van ZOAB-deklagen vergroot kon worden. Zo zijn er mengsels met polymeer-gemodificeerd bitumen (PmB) getest, maar ook verschillende stoffen die de bindmiddelfilmdikte moesten vergroten of de hechting verbeteren. Tijdens dit onderzoek zijn in 1990 maar liefst 19 proefvakken aangelegd op de A10, en later in 1993 op de A12 nog eens drie proefvakken. In dit project, wat tot 1994 liep, zijn ook een aantal proefvakken met vezelhoudend asfalt gelegd. Zo zijn op de A10 bij Amsterdam twee vakken met organische cellulose-vezels, en anorganische vezels op basis van steenwol gelegd, en op de A12 bij Zoetermeer nog een vak vezels op basis van steenwol [1]. De hypothese was, dat de vezels de bindmiddelfilmdikte zouden vergroten, met als gevolg een langere levensduur [1]. Experimenten en discussie over de toepassing van vezels om de bindmiddeldikte te vergroten, vonden op Europese schaal in ieder geval plaats sinds de jaren '80 [1,2]. Gedurende het onderzoek op de A10 en A12 is onder andere gekeken naar materiaalverlies van de mengsels in een Cantabro-proef. De Cantabro is echter niet geschikt gebleken voor het vaststellen van het onderscheidend vermogen van de verschillende modificaties. Daarnaast is visuele inspectie verricht, waaruit is gebleken dat het vezel-asfalt behoorde tot de mengsels die zich na 9 jaar nog goed hielden [3]. Op de A10 en A12 zijn referentievakken geplaatst van het standaard ZOAB van destijds, deze vakken presteerden wisselvalliger dan de vezelhoudende proefvakken.

Het is bij deze eerdere onderzoeken van belang om de verdere ontwikkeling van ZOAB niet te vergeten. De standaard ZOAB-deklagen in 1990 bestonden uit 4,5% 80/100 bitumen op 100% aggregaat, wat dan ook de gebruikte referentie was voor deze onderzoeken. Dit standaard recept is in 2006 aangepast naar ZOAB+ (nu ook wel Duurzaam ZOAB of DZOAB genoemd) met 5,5% bitumen, om een langere levensduur te verkrijgen [4]. In het hier gerefereerde onderzoek uit 1990 is destijds ook al 5,5% 80/100 bindmiddel toegepast in de vezelmengsels.

Bij onderzoek naar het verhogen van het percentage bitumen in ZOAB-mengsels is de vraag ontstaan of dit gevolgen had voor de aanvangsstroefheid op ZOAB-

deklagen. Dit effect is in 2003 specifiek onderzocht op de A2 bij Roosteren, waar verschillende proefvakken geplaatst zijn. Bij deze proefvakken zijn verschillende vezels toegepast in de mengsels met verhoogde bitumen-gehaltes, met het doel om als afdruiptremmer te functioneren. Het onderzoek heeft zich vervolgens gefocust op remproeven en stroefheidsmetingen. Tussen deze proefvakken zit ook het éérste proefvak met synthetische vezels in DZOAB [5].

3. De verschillende claims van vezelhoudend asfalt

Over de jaren zijn de vermeende voordelen van vezels in asfaltmengsels meegegroeid met het onderzoek naar deze mengsels. Zo begon het onderzoek naar vezelhoudend asfalt in 1994 vanuit het idee dat vezels helpen met het verhogen van de bindmiddelfilmdikte, wat tot een langere levensduur zou leiden. In dit hoofdstuk zullen we deze verschillende claims en hypothesen uiteenzetten, en bespreken wat er over deze claims op vezelhoudend asfalt bekend is. De claims die we bespreken zijn:

- Afdruiptremming
- Rafelingsweerstand van ZOAB
- Vezelversterkt ZOAB
- Verminderde erosie van de mastiekbruggen
- Verminderde verouderingsgevoeligheid
- Milieuvriendelijk alternatief op PmB

3.1. Afdruiptremming

De claim dat vezels als afdruiptremmer fungeren, is inmiddels meermaals bewezen [6,7,8]. Zo is afdruiptremming in een laboratoriumstudie op ZOAB+ aangetoond voor zowel PAN (0,1 m%, 6,4 mm lengte) als voor cellulose (0,2 m%), waarbij beide vezels nagenoeg even goed presteerden [6]. In dit geval is de afdruipt bepaald op boorkernen uit gyratorverdicht asfalt. Ook voor de aramide-mengsels is afdruiptremming aangetoond in het lab, door middel van de basket methode zoals beschreven in EN 12697-18 [8].

Hoewel er dus bewezen is dat vezels de afdruipt van bitumen remmen, is een synthetische vezel hier niet de meest vooraanstaande keuze in, aangezien niet-synthetische vezels als cellulose een goedkoper alternatief vormen. Saillant detail is dat referentie [1] uit 1996 een voorkeur uitspreekt voor toepassing van anorganische vezels in asfalt als afdruiptremmer, terwijl cellulose tegenwoordig de standaard lijkt. Deze voorkeur kwam destijds vermoedelijk uit de verhoogde temperatuurbestendigheid, en betere prestaties op materiaalverlies in proeven als de Cantabro Durability Test en Los Angeles Abrasion Test voor de anorganische vezel. In recente Nederlandse proefvakken met synthetische vezels wordt bovendien, in aanvulling op de synthetische vezels, soms nog cellulose-vezel toegevoegd om mogelijke afdruipt tegen te gaan. Dit volgt deels uit de hypothese dat de toegevoegde concentraties aan synthetische vezel te klein zijn voor voldoende afdruiptremmend effect.

3.2. Rafelingsweerstand van ZOAB

Een claim die in 2002 gemaakt werd, stelt dat vezels in asfalt de rafelingsweerstand van dit asfalt kunnen vergroten [3]. De rafelingsweerstand kan geëvalueerd worden door middel van tests zoals de Aachener Rafelings Tester (ARTE), Rotating Surface Abrasion Test (RSAT) en Cantabro, maar ook door visuele inspecties.

Een aantal testresultaten van de RSAT op 2L-ZOAB 8 asfaltmengsels zijn hieronder weergegeven in tabel 1 [9]. Uit deze testresultaten is een groot verschil

waargenomen in het steenverlies tussen de mengsels met penetratiebitumen en vezels, welke afhankelijk lijkt te zijn van de toegepaste vezellengte. Hieruit valt op te maken dat de toegepaste vezellengte mogelijk invloed heeft op de effectiviteit van de rafelingsweerstand van het asfalt, al is het moeilijk om heldere uitspraken te doen gezien het beperkte aantal uitgevoerde tests per mengsel.

Tabel 1. RSAT resultaten van 2L-ZOAB 8 mengsels op de A15 te Leerdam [9].

Mengsels	Bindmiddel	Lengte Panacea® vezel (mm)	Steenverlies na 24 u (g)	Gemiddeld steenverlies na 25 u (g)
Standaard 2L-ZOAB 8	PmB (Cariphalte XS)	-	9 en 6	7,5
Gemodificeerd 2L-ZOAB 8	PmB (Cariphalte XS)	6,4	5,4 en 4	4,7
Gemodificeerd 2L-ZOAB 8	Bitumen 70/100	6,4	45 en 47	46
Gemodificeerd 2L-ZOAB 8	Bitumen 70/100	3,2	22 en 14	18

Uit zowel Cantabro als RSAT resultaten is gebleken, dat PmB minder materiaalverlies vertoont dan mengsels met vezels, en dan ongemodificeerde mengsels [3,10,11]. Ook is er geobserveerd bij Cantabro, dat vezelmengsels onder natte condities slechter presteren dan referentie-mengsels zonder vezels [3]. Voor de vergelijking van DZOAB met vezels en zonder vezels, zijn vergelijkbare prestaties waargenomen op ARTe-proeven [12,13,14].

De stelling voor vezels in asfalt is dat hun werking op rafelingsweerstand pas goed merkbaar wordt bij ouder asfalt. De vraag is of deze proeven dus voldoende zeggingskracht bezitten, aangezien deze tests over het algemeen op vers asfalt uitgevoerd worden, terwijl het uiteindelijke rafelingsgedrag van een deklaag op leeftijd aangetoond moet worden.

Wat zeggen de proefvakken?

Door de jaren heen zijn op verschillende rijkswegen 37 proefvakken aangelegd met synthetische vezels. Dit zijn de vakken die zijn opgenomen in de proefvakken en boorkernen database van Rijkswaterstaat. De eerste proefvakken zijn aangelegd in 2005, de laatste in 2021. Inmiddels zijn er 11 proefvakken verloren gegaan door onderhouds- of projectwerkzaamheden, sommige nog voor einde levensduur (ten gevolge van rafeling) bereikt was. Van de nog bestaande proefvakken heeft een beperkt aantal ondertussen enige mate van zichtbare rafeling, waarbij een planjaar wordt toegekend voor vervanging.

De oudste, nog aanwezige proefvakken op de A12 van DZOAB 11 (geplaatst in 2006) en de A15 van 2L-ZOAB 8 (geplaatst in 2005), hebben een actuele levensduur van 15, respectievelijk 16 jaar en een geschatte restlevensduur van 4, respectievelijk 1 jaar op basis van de recente visuele beoordeling op rafeling. Deze beide vakken presteren dus boven de gemiddelde verwachting van levensduur voor hun mengsels, welke 11-17 jaar bedraagt voor DZOAB, afhankelijk van de rijstrook (rechts of links), en 13 jaar voor 2L-ZOAB 8 op de linker rijstrook, waar het proefvak zich bevindt). Er is in 2006, respectievelijk 2005 helaas geen referentievak aangelegd, waardoor voor deze proefvakken een goede referentie ontbreekt om deze levensduur aan te toetsen.

Het proefvak op de A18 van DZOAB 16 (geplaatst in 2013) heeft een actuele levensduur van 8 jaar, hier is de beginnende rafeling schade gemeten. De rest van de proefvakken zijn nog te jong en vertonen nog geen gemeten (rafeling) schade.

3.3. Vezelversterkt ZOAB

Er bestaan ook claims dat vezels in ZOAB leiden tot een sterkere ZOAB. De versterking van het ZOAB met vezels ten opzichte van regulier ZOAB is een moeilijke hypothese om te bewijzen, omdat de sterkte van een materiaal niet eenduidig te definiëren valt. Zo speelt bijvoorbeeld de vraag of een versterking van asfaltmengsels door vezels terug te zien is in de mastiek, of dat er hiervoor op mengselniveau gekeken moet worden.

Er is onderzoek gedaan naar de splijtsterkte van PAN-vezels in ZOAB+ bij 15°C, in vergelijking met regulier ZOAB+, ZOAB+ met Styreen-Butadieen-Styreen (SBS) PmB, en ZOAB+ met cellulose-vezels, zie hiervoor ook tabel 2 [15]. De proeven in deze tabel zijn ten minste uitgevoerd in drievoud, waarbij eventuele extra metingen zijn uitgevoerd als dit nodig bleek volgens EN 12697-23. Hoewel dit onderzoek een gevarieerde set aan gegevens heeft bekeken, blijft het lastig om hieruit eenduidige conclusies te trekken.

Splijtproeven (bij 15°C) op DZOAB-proefstukken uit de A18 tonen aan dat vezelhoudende DZOAB een iets hogere splijtsterkte heeft direct na productie (zowel droog als nat). Na 3 jaar heeft het vezelhoudende DZOAB echter zowel een lagere splijtsterkte op nat als droog [16].

Tabel 2. Resultaten van splijtproeven op verschillende ZOAB+ mengsels [15]

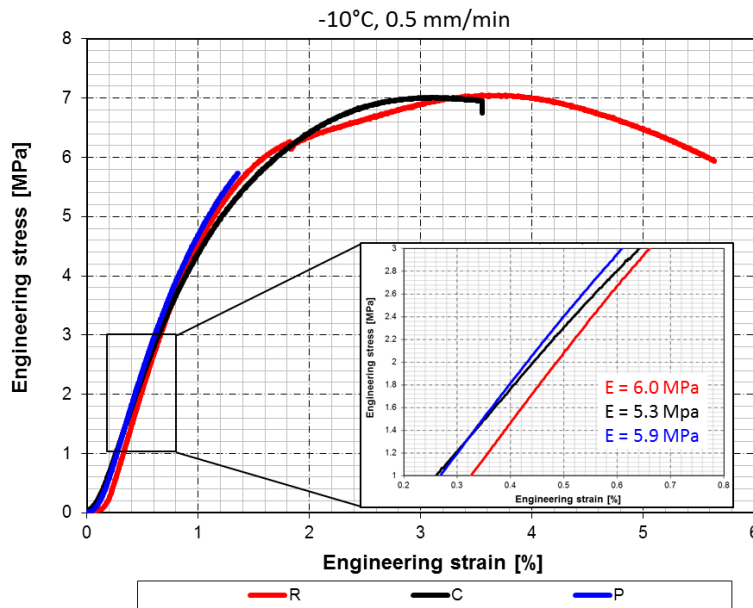
Mengsel nummer	Soort Mengsel	Bitumen gehalte (% "op")	Toe-voeging (% m/m)	Vezel lengte (mm)	ITSR (%)	Splijtsterkte (MPa)		Breuktaaiheid (N/mm)	
						ng	wg	ng	wg
1	ZOAB+ (referentie)	5.5	-	-	81	0.62	0.50	8.77	8.03
2	ZOAB+ cellulose	5.5	0.2	-	84	0.63	0.53	8.63	7.80
3	ZOAB+ cellulose	5.5	0.3	-	80	0.64	0.51	7.27	6.90
4	ZOAB+ Panacea	5.5	0.1	3.2	84	0.68	0.57	8.90	8.83
5	ZOAB+ Panacea	5.5	0.1	6.4	84	0.70	0.59	9.67	8.17
6	ZOAB+ Panacea	5.5	0.15	3.2	83	0.70	0.58	8.63	8.67
7	ZOAB+ Panacea	5.5	0.15	6.4	85	0.62	0.53	9.20	8.97
8	ZOAB+ Panacea	5.5	0.3	3.2	92	0.59	0.54	7.87	8.33
9	ZOAB+ Panacea	5.5	0.3	6.4	89	0.64	0.57	9.43	9.41
10	ZOAB+ PMB	5.5	-	-	84	0.49	0.41	10.07	8.77

ng = niet geretained wg = wel geretained

Voor proeven op mastiek-niveau, zoals bijvoorbeeld de DSR en DTT (Dynamic Shear Rheometer en Direct Tensile Test, respectievelijk), hangt de prestatie van de vezelhoudende mastiek ten opzichte van een referentie, af van de temperatuur of frequentie waarbij gemeten wordt.

Zo volgt uit DSR-metingen bij een laag-frequente belasting een meer elastische respons voor de vezelhoudende mastiek [17]. Dit geeft aan dat bij belasting met lage frequenties, zoals bijvoorbeeld bij de thermische krimp van asfalt, er meer spanning kan opbouwen in een vezelhoudende mastiek. Het is dan van belang om te weten of de mastiek ook een hogere sterkte heeft, zodat het deze extra spanning kan weerstaan. Als dit niet het geval blijkt, loopt vezelhoudende mastiek hierdoor juist een hoger risico op scheurvorming. Een hogere splijtsterkte voor vezelhoudend asfalt is dus een goed teken.

Uit DTT-proeven bij -10°C volgt dat PAN-vezels in mastiek slechter presteren dan de referentie, terwijl bij 10°C het omgekeerde wordt geobserveerd [17]. Figuur 1 illustreert deze trekproeven en het geobserveerde gedrag voor de verschillende mengsels.



Figuur 1. DTT-proef voor drie verschillende mastieken. R is een referentie zonder vezels, C bevat cellulose-vezels, P bevat PAN-vezels [17].

Bij bepaling van het gedrag bij lage temperaturen door middel van een BBR (Bending Beam Rheometer), scoorden alle mengsels echter vergelijkbaar. TNO stelt dat dit kan liggen aan de gebruikte frequentie voor de verschillende proeven [17].

3.4. Verminderde erosie mastiekbruggen ZOAB

De hypothese bestaat dat vezels helpen met de instandhouding van mastiekbruggen in het ZOAB doordat er minder erosie van het mastiek plaatsvindt. Hierdoor zou vezelhoudend asfalt ook minder gevoelig zijn voor veroudering, omdat verouderde bitumen vastgehouden wordt en als een soort schil het binnenste bitumen afschermt voor oxidatie.

Erosie mastiek

Aangezien het lastig is gebleken om de erosie van de mastiekbruggen op labschaal na te bootsen, is besloten om met verschillende microscopie-technieken te kijken naar praktijkverouderde asfaltmengsels, in een onderzoek op 5/6 jaar oude boorkernen van de A15 Leerdam. Op de A15 zijn destijds proefvakken aangelegd met 2L-ZOAB 8, waarbij één mengsel een PmB met 6,4 mm lange PAN-vezels was, en een tweede mengsel bestond uit 70/100 bitumen met 3,2 mm lange PAN-vezels. Tevens is een referentie aangelegd met PmB [18]. Voor de volledigheid moet vermeld worden dat het mengsel met de 3,2 mm lange PAN-vezels en de penetratie-bitumen is aangelegd op de linkerrijstrook, terwijl de andere relevante mengsels op de rechterrijstrook aangebracht zijn.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de vezelhoudende mengsels minder afdruipt vertoonden dan de referentie met enkel polymeer-gemodificeerd bitumen. Ook was te observeren, dat de mastieklaag dikker was voor de beide vezelhoudende mengsels, in vergelijking tot de referentie.

Naast de boorkernen van de A15 zijn in dit onderzoek ook 1 jaar oude boorkernen uit proefvakken op de A2 bij Maarssen onderzocht [18]. Op de A2 waren ook referenties geplaatst met cellulose-vezels erin. De geobserveerde dispersie door de mastiek heen was beter voor de PAN-vezels ten opzichte van cellulose. Bij de cellulose-vezels wordt meer clustering van de vezels geobserveerd. Er kon echter

niet geconcludeerd worden of dit ligt aan interacties tussen de cellulose-vezels onderling, of aan de wijze van toevoeging (losse vezels in een smeltzak versus pellets).

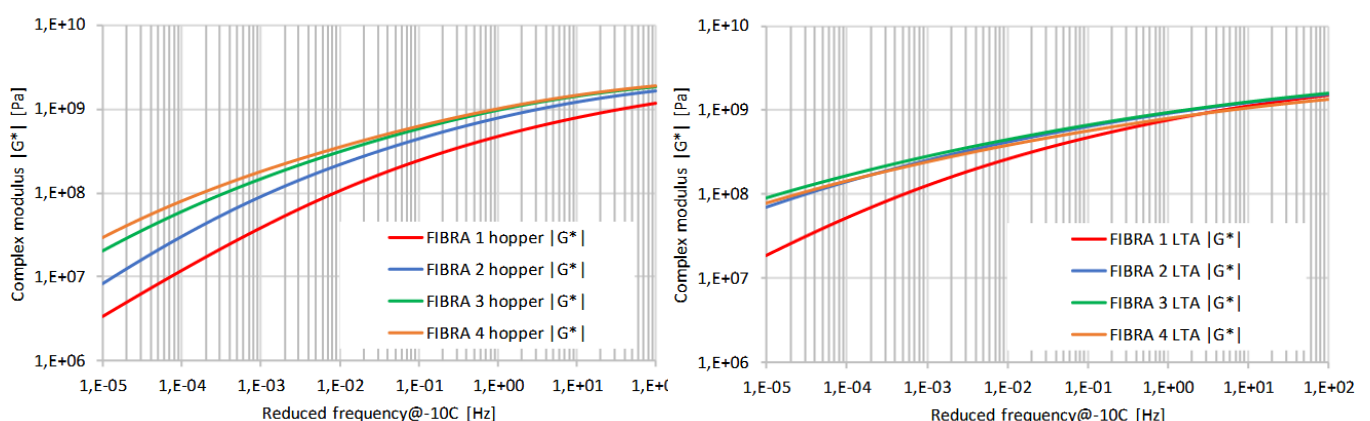
Daarnaast is gevonden dat de beide vezelsoorten goed contact met de mastiek blijven behouden, en is er bovendien geen degradatie van de vezellengtes geobserveerd. Bij hogere concentraties aan PAN-vezels, wordt geobserveerd dat de vezels de textuur van de poriën beïnvloeden. Deze wordt minder glad, doordat vezels uit het oppervlak steken, al blijven de vezels wel omringd door een laagje mastiek. Ditzelfde effect wordt bij cellulose niet gezien.

De adhesie tussen aggregaat en bitumen wordt waarschijnlijk niet beïnvloedt door de toevoeging van vezels. Er is immers in de mengsels met en zonder vezels een goede adhesie gevonden tussen bitumen en grote, granieten aggregaat, en in beide gevallen is voor de kleinere aggregaten een slechtere adhesie aangetroffen. Qua scheurvorming en andere tekenen van veroudering en schade aan het bitumen, is geobserveerd dat deze niet vaker plaatsvinden in de buurt van vezels in mastiek, dan erbuiten. Er is echter ook niet waargenomen dat deze minder plaatsvinden in vezelhoudend asfalt dan voor andere typen asfalt.

Aan het bitumenoppervlak is minder degradatie bij de 70/100 bitumen met korte vezel gevonden, dan voor de lange vezels in PmB. Dit kan meerdere oorzaken hebben, zoals de ligging van de rijstrook, de vezellengte, en/of het gebruikte bitumensoort.

3.5 Verminderde verouderingsgevoeligheid

In recent onderzoek uit 2020 met DSR-metingen op mastiek, voor en na kunstmatige veroudering, is gevonden dat de stijfheid van (synthetische) vezelhoudende mengsels minder toeneemt dan voor mengsels zonder vezels [19]. De data uit dit onderzoek staat kort uitgelicht in figuur 2. De auteurs suggereren dat de aanwezige vezels de opname van zuurstof in de mastiek kunnen vertragen, meer onderzoek is echter nodig om dit te kunnen verifiëren. Zo is bijvoorbeeld niet uitgesloten of vezels alleen bij niet-verouderde bitumina een extra stijfheid aan het bitumen verlenen, aangezien in figuur 2 rechts (na veroudering) de stijfheden voor alle 70/100 bitumen-mengsels nagenoeg gelijk is.



Figuur 2. De complexe modulus voor vier verschillende mastiekmengsels, zoals bepaald met een DSR. De linker grafiek toont data voor monsters genomen uit een hopper. De rechterfiguur toont diezelfde monsters na lange-termijn veroudering (Long Term Ageing (LTA)). FIBRA 1 is een mengsel met PmB. FIBRA 2 is een mengsel met 70/100 bitumen met 0,2% cellulose-vezels. FIBRA 3 bevat 70/100 bitumen met 0,15% cellulose en 0,15% PAN-vezels. FIBRA 4 bevat 70/100 bitumen met 0,15% cellulose en 0,05% vezels van aramide [19].

Een ander onderzoek op mastiek uit boorkernen van DZOAB 16 op de A18 heeft DSR-metingen over tijd (van 0 tot 6 jaar met 5 intervallen) uitgevoerd. Hier is echter gevonden dat een mengsel met PAN-vezel bij lage frequenties net zo veel toeneemt in stijfheid als de referentie DZOAB. Deze informatie lijkt tegenstrijdig met eerdergenoemde metingen.

3.6. Milieuvriendelijk alternatief op PmB

Voor zover bekend zijn er twee LCA-berekeningen uitgevoerd voor de situatie waarin een polymeer-gemodificeerde 2L-ZOAB 8 vervangen wordt door een 2L-ZOAB 8 met penetratie-bitumen en vezels [20,21]. Verschillen tussen beide LCA-rapporten ontstaan bijvoorbeeld bij de gebruikte databases, en de aannames over waar bepaalde grondstoffen vandaan getransporteerd worden. In beide rapporten is onderzoek gedaan naar de LCA van PAN-vezels, al is in het tweede rapport ook een LCA opgesteld voor aramide-vezels [21].

Qua milieu-impact komen beide rapporten tot vergelijkbare conclusies: de MKI's van voor vezelhoudende mengsels en PmB-mengsels zijn vergelijkbaar, als uitgegaan wordt van een levensduur van 10 jaar voor de mengsels. Volgens beide rapporten is de MKI voor het vezelasfalt iets lager dan voor reguliere 2L-ZOAB 8 met PmB, als 0,15 m% vezels wordt toegevoegd. Het verschil tussen de PAN- en aramide-vezels is ook klein gebleken, hier vielen de MKI en LCA voor de aramide-vezels iets lager uit [21].

In het internationale CEDR-project over vezels in asfalt [21] (zie ook sectie 5.1) is daarnaast ook gekeken naar de milieu-impact ten opzichte van een extra referentie bestaande uit 2L-ZOAB 8 met 70/100 bitumen, maar zonder vezels. Hieruit komt logischerwijs dat deze referentie, bij aannahme van dezelfde levensduur, de laagste MKI bezit. Om op milieuaspecten beter te kunnen scoren dan deze referentie, zouden vezels een paar maanden (<6 maand) langere levensduur moeten halen dan deze referentie.

Er zijn nog verbeterwensen t.a.v. de accuraatheid van de LCA en MKI-bepalingen. Zo wordt er momenteel (nog) geen rekening gehouden met de lagere productietemperatuur die mogelijk is wanneer vezels worden toegepast in plaats van de polymeer-modificaties. Ook is de absolute levensduur van vezelhoudende asfaltmengsels nog niet bekend, waardoor de precieze milieueffecten voorsnag onbekend zijn. Daarnaast is bij einde levensduur van het asfalt het van belang om meer te weten over zaken als functiebehoud en recyclebaarheid van de verschillende mengsels en specifiek de vezels in de bitumen, hier worden momenteel nog aannames over gedaan.

4. Wat is er zoal nog onbekend?

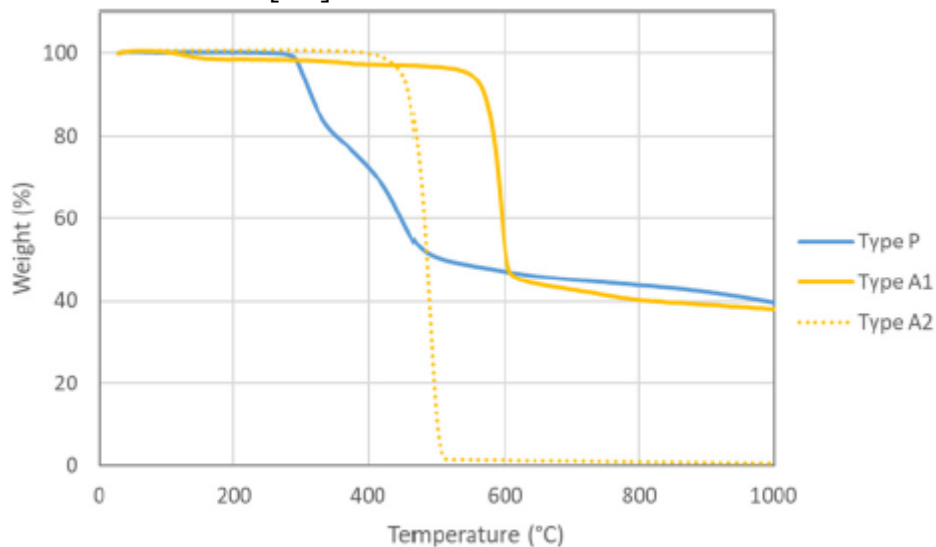
In 2020-2021 zijn verschillende sessies en bijeenkomsten georganiseerd om de krachten van de markt te bundelen. Hieruit zijn verschillende werkgroepen ontstaan. In de diverse sessies is gestart met het identificeren van de openstaande vragen ten aanzien van vezels in asfalt. Naast een aantal van de bovengenoemde claims, waar nog niet overal een eenduidig antwoord op is, zijn aanvullende vragen gesteld. Bijvoorbeeld over kennis ten opzichte van emissies en hergebruik. Een ander belangrijk punt betreft de prestatie van de verschillende typen vezels, en het inschatten van de optimale vezel-concentratie en -lengte. Een paar van deze aanvullende vragen zullen hieronder verder worden toegelicht.

4.1. Welke emissies komen vrij bij het werken met vezels?

Bij PAN-vezels kan degradatie van de vezel in een zuurstofomgeving plaatsvinden bij temperaturen van rond de 170°C [22]. In een stikstofomgeving observeren andere bronnen bij deze temperaturen geen massaverlies, totdat hogere temperaturen bereikt worden [23].

Om deze redenen is het goed om met zekerheid vast te stellen aan welke piektemperaturen synthetische vezels blootgesteld worden in de asfaltcentrale. Daarnaast moet vastgesteld worden in welke mate er contact met zuurstof kan plaatsvinden tijdens productie en recycling. Er bestaan aanwijzingen bij het gebruik van gerecycled asfalt (PR), dat de verhitting van deze PR in sommige centrales tot lokaal hoge piektemperaturen kan leiden [24].

Een validatie voor toepassing van vezels in asfalt zou voor de toekomst betekenen dat er vaker vezelhoudend asfalt gerecycled zal worden, bij voorkeur zo hoogwaardig als mogelijk. Ter illustratie van de verschillende mate van vezel-degradatie, is in figuur 3 te zien voor de verschillende vezeltypes, welke mate van massaverlies er plaatsvindt bij verhitting tot een bepaalde temperatuur onder een stikstofatmosfeer [25].



Figuur 3. Het percentuele massaverlies van verschillende vezels bij verhitting, zoals gemeten met een TGA in een inerte stikstofatmosfeer. Type P is een PAN-vezel, type A1 een aramide-vezel, en type A2 een polyolefine-vezel [25].

4.2. Welke concentratie en vezellengte zijn optimaal?

Een onderwerp waar in de huidige publicaties nog weinig aandacht aan besteed wordt, maar welke niet minder belangrijk is, is de vraag welke concentratie en welke vezellengte nodig zijn om het veronderstelde wapeningseffect te kunnen bereiken. Een schatting van de benodigde concentratie kan gemaakt worden door gebruik te maken van de zogenaamde percolatie drempelwaarde ϕ . Boven deze waarde, zullen de vezels een aaneengesloten, verbonden netwerk door een volume heen vormen. Als we aannemen dat er sprake is van lange, rigide, spherocylindrische vezels, kan deze volumefractie afgeschat worden door middel van het volume van de vezel V_{vezel} en het zogenaamde uitgesloten volume $V_{excluded\ volume}$ (ook wel excluded volume genoemd).

Deze vallen uit te drukken als:

$$V_{vezel} = \frac{4}{3}\pi R^3 + \pi R^2 L,$$

$$\text{en } V_{excluded\ volume} = \frac{32}{3}\pi R^3 \left(1 + \frac{3}{4}\left(\frac{L}{R}\right) + \frac{3}{32}\left(\frac{L}{R}\right)^2 \right), \text{ zodat:}$$

$$\phi = \frac{V_{vezel}}{V_{excluded\ volume}}.$$

Hier is R de straal van de vezel, en L de lengte van de vezel [26].

Aangezien we echter aannemen dat vezels buigzaam zijn, zal de daadwerkelijke drempelwaarde voor percolatie hoger liggen dan deze gebruikte afschatting. Desalniettemin vormt deze uitdrukking een goede indicatie van de benodigde concentratie.

Hieronder volgt een rekenvoorbeeld op basis van de afmetingen van een veelgebruikte vezel: $R = 0,005\text{ mm}$ en $L = 3,2\text{ mm}$, deze data geven als volumes: $V_{vezel} = 2,5578 \cdot 10^{-4}\text{ mm}^3$, en $V_{excluded\ volume} = 0,16796\text{ mm}^3$. Dit komt neer op een percolatiefraction van $\phi = 0,001523$. Het asfaltmengsel zou dus voor minstens 0,15 vol% uit vezels moeten bestaan, om de kritieke percolatie-waarde te kunnen bereiken. De vezels zullen zich echter enkel in de mastiek bevinden, en niet in de aggregaten. Er kan dus gecorrigeerd worden voor het volume van de mastiek. Uiteindelijk kan op deze manier een minimale hoeveelheid vezels worden afgeschat, die nodig zijn om tot een continue matrix in de mastiek te komen.

5. Wat loopt er nu

Momenteel lopen er nog verschillende onderzoeken naar vezels in asfalt in Nederland, en andere zijn recentelijk afgerond. De verschillende ontwikkelingen zijn hieronder uitgelicht.

5.1. Internationale projecten

Van 2018 tot en met 2020 liep op internationale schaal het FIBRA-project: *"Fostering the implementation of fibre-reinforced asphalt mixtures by ensuring its safe, optimized and cost-efficient use"*. In dit programma van CEDR werkten universiteiten en onderzoeksinstituten uit Spanje, Zwitserland en Duitsland samen met aannemers uit Nederland en Noorwegen, om de ontwikkeling van vezelhoudend asfalt beter te begrijpen en verder te helpen.

Bij dit project zijn er in Nederland op de A73 een aantal proefvakken geplaatst van tweelaags-ZOAB (2L-ZOAB) met aramide-vezels, en met PAN-vezels. De rapportage van dit onderzoek is openlijk beschikbaar en raad te plegen op [27].

5.2. Werkgroepen vezels in asfalt

Vanuit een aantal discussiesessies tussen Rijkswaterstaat, de aannemers en kennispartners, zijn er drie verschillende werkgroepen ontstaan. Het doel van deze werkgroepen is om in samenwerkingsverband de momenteel nog onopgeloste vraagstukken met betrekking tot vezels in asfalt te kunnen beantwoorden. De verschillende werkgroepen focussen zich hierbij op labonderzoek, praktijkonderzoek, en verschillende milieu- en duurzaamheidsaspecten.

Werkgroep Labonderzoek

De werkgroep labonderzoek buigt zich over de vraag welke proeven en verouderingsmethoden er mogelijk gebruikt kunnen worden op vezelhoudende mastiek of asfalt. Deze proeven moeten tot een representatief resultaat leiden waarmee de veldprestaties van vezelhoudend asfalt kunnen worden aangetoond. Bij voorkeur kan in het laboratorium al een goede beoordeling gemaakt worden van de prestaties van vezels, zodat bij nieuwe ontwikkelingen minder tijd en proefvakken nodig zijn voordat een beoordeling gemaakt kan worden.

Werkgroep Praktijkonderzoek

Van nog bestaande proefvakken is in het kader van de werkgroep praktijkonderzoek, een selectie gemaakt die nader onderzocht gaat worden. Er zal voor huidige proefvakken waar een degelijke referentie ontbreekt, gepoogd worden om hier alsnog geschikte referenties bij te vinden, om zo een betere uitspraak te kunnen doen over de behaalde levensduren.

Het onderzoek zal zich o.a. richten op de mate van erosie van de deklaag, de huidige toestand van de hechtbruggen in het mengsel en de eigenschappen van de mastiek. Dit onderzoek zal zoveel mogelijk aansluiten bij wat in het verleden op deze proefvakken is onderzocht om inzicht te krijgen in de verschillen en het meer compleet maken van de dataset. Zo zullen van proefvakken op de A15 uit 2005, waar al eerder microscopisch onderzoek op verricht is (zie sectie 2.5), na 16 jaar nogmaals een microscopisch onderzoek verricht worden. Zo zal het onderzoek naar erosie van de mastiek over de tijd worden voortgezet.

Werkgroep milieu

De werkgroep milieu is vormgegeven om onderzoek te doen naar de emissies en blootstelling die komt kijken bij plaatsing, verwijdering en recycling van vezelhoudend asfalt, het beoordelen van de recyclebaarheid en functiebehoud van het asfalt, en een accurate beoordeling van de MKI van vezels in asfalt. Zo loopt er op het moment van schrijven een herbeoordeling van de MKI, waarbij de MKI van vezelhoudend asfalt vergeleken wordt met een PmB, voor gevallen van recyclebaarheid met functiebehoud, en recyclebaarheid zonder functiebehoud.

5.3. Nieuwe proefvakken

In 2020 zijn er nieuwe vezelhoudende proefvakken aangelegd op zowel de A73, in het kader van het eerder genoemde CEDR-FIBRA project, en op de A37 zijn ook nieuwe vakken gerealiseerd. In 2021 zijn er bovendien proefvakken aangelegd op de A50. Bij deze proefvakken is onder andere in overleg gekeken naar verschillende veiligheidsaspecten bij de aanleg. Zo zijn er emissie- en blootstellingsmetingen verricht. De uitkomst hiervan is helaas momenteel nog niet beschikbaar, maar zal te zijner tijd openbaar gemaakt worden.

Dankwoord

Graag willen we onder andere Steven Mookhoek, Gerbert Bochove, Jan Voskuilen, Wim van der Goes en de deelnemers aan de werkgroepen bedanken voor hun inzet. Met hun hulp zijn onder andere historische kennis en onderzoeksrapporten verzameld.

Bronnenlijst

- [1] Publikatie 103: Zoab rest levensduur, CROW, 1996, ISBN 90-6628-224-X.
- [2] International Workshop on Porous Asphalt, Study centre for road construction, the Netherlands, September 1981.
- [3] E.R.P. Rutten, J.L.M. Voskuilen, F. Tolman, Gaat gemodificeerd ZOAB langer mee??, Mei 2002.
- [4] G. Blikman, L.B. de Wit, Aanbiedingsformulier DT RWS: Toepassen ZOAB+ als standaard deklaag op het hoofdwegennet, Rijkswaterstaat, 2006.
- [5] J. Voskuilen, Aanvangsstroefheid van ZOAB met 5,5% bitumen nader onderzocht, Rijkswaterstaat, CROW infradagen, 2004.
- [6] D. van Vliet, Onderzoek naar het gedrag van Panacea synthetische vezels in ZOAB asfaltmengsels Laboratoriumonderzoek fase 1: afdruipegedrag, IW-R-06.013. Rijkswaterstaat, November 2006.
- [7] M.L. Afonso et al./Construction and Building Materials 135 (2017) 104–111

- [8] C.J. Slebi-Acevedo, P. Pascual-Muñoz, P. Lastra-González, D. Castro-Fresno, Multi-Response Optimization of Porous Asphalt Mixtures Reinforced with Aramid and Polyolefin Fibers Employing the CRITIC-TOPSIS Based on Taguchi Methodology, *Materials* 12, 3789, November 2019. Doi: 10.3390/ma12223789
- [9] J.L.M. Voskuilen, W. van der Goes, Longer lifespan of Porous Asphalt due to the addition of homopolymer HT polyacrylonitrile fibres, 7th E&E congress, version 1.0, 2020.
- [10] D. Wang, A. Cannone Falchetto, Y. Su Kim, G. Cheraghian, M. Bueno, L. Poulikakos, C. Slebi-Acevedo, P. Lastra-González, D. Castro-Fresno, Fostering the implementation of fibre-reinforced asphalt mixtures by ensuring its safe, optimized and cost-efficient use, Deliverable 3.1, CEDR FIBRA, July 2019.
- [11] R. Huurman, J. Qiu, B. Ove Lerfald, I. Indacoechea Vega, P. Lastra González, Fostering the implementation of fibre-reinforced asphalt mixtures by ensuring its safe, optimized and cost-efficient use, Deliverable 5.1, CEDR FIBRA, January 2021.
- [12] M. Sprenger, Innovatieve DZOAB deklagen A18 – LEAB-PA+ / PA+ Panacea, BAM-13-R-BIA-MSP001 BAM, November 2019.
- [13] M. Sprenger, Innovatieve DZOAB deklagen A4 – LEAB-PA+ / PA+ Panacea, BAM-14-R-BIA-MSP001 BAM, November 2019.
- [14] M. Sprenger, Innovatieve DZOAB deklagen A59 – LEAB-PA+ / PA+ Panacea, BAM-17-R-BIA-MSP001 BAM, November 2018.
- [15] J.G. van het Ende, Gedrag Panacea synthetische vezels in ZOAB+ asfaltmengsels – Fase 2a: Mechanische eigenschappen, November 2007.
- [16] M. Sprenger, Innovatieve ZOAB+ deklagen A18 – Deelrapport Fase 3, BAM, Maart 2020.
- [17] S.D. Mookhoek, D. Van Vliet, Thermo-mechanical properties of fibre-reinforced porous asphalt mortars. TNO R10141, June 2012.
- [18] S.L.A. Valcke, Microscopic observations of young and aged fibre reinforced porous asphalt, TNO 060-DTM-2012-01791, July 2012.
- [19] J. Qiu, R. Huurman, Report 2L-PA Combined Trial Sections A73 HRL 23.600-21.600, November 2020.
- [20] B. Jansen, Life Cycle assessment for Asphalt with Panacea®, TNO R11972, November 2020.
- [21] I. Indacoechea Vega, P. Lastra González, R. Huurman, J. Qiu, B. Ove Lerfald, Fostering the implementation of fibre-reinforced asphalt mixtures by ensuring its safe, optimized and cost-efficient use, Deliverable 5.2 – Assessment of the environmental impact of FIBRA pavements, CEDR FIBRA, February 2021.
- [22] J.A. van der Meer, T. van Groningen, L.P.J. de Reuver, F.R. Groeneveld, W.L.D. Suitela, D. van Vliet, Rapportage Decompositie Panacea vezel (fase 1 en 2), TNO, Januari 2016.
- [23] M. Bueno, L. Poulikakos, Fostering the implementation of fibre-reinforced asphalt mixtures by ensuring its safe, optimized and cost-efficient use, Deliverable 3.2, CEDR FIBRA, September 2019.
- [24] VBW onderzoeksprogramma reductie benzeenemissie bij asfaltproductie, VBW, Juni 2021.
- [25] Bueno, Poulikakos, Chemo-mechanical evaluation of FRAMs, *Frontiers in Built Environment*. April 2020, Vol. 6, Article 41.
- [26] L. Berhan, A.M. Sastry, Modeling percolation in high-aspect-ratio fiber systems. I. Soft-core versus hard-core models, *Physical Review E* 75, 041120, April 2007. DOI: 10.1103/PhysRevE.75.041120.
- [27] <https://www.cedr.eu/peb-new-materials-and-techniques>