

# Schadeontwikkeling door Dynamische Temperatuurs- en Verkeersbelasting op ZOAB; de consequentie van veroudering

Steven D. Mookhoek, Dave van Vliet en Cecile Giezen  
*TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek)*  
*Thema Gebouwde Omgeving, business line Infrastructuur,*  
*Van Mourik Broekmanweg 6, 2628 XE Delft*  
*Email: steven.mookhoek@tno.nl, Telefoon: 0888 6 63745*

Stefan Jansen  
*Student Technische Natuurkunde aan de Haagse Hogeschool, Delft*

## **Samenvatting**

In dit onderzoek is een nieuwe dynamische vierpunts-buigtestmethodiek ontwikkeld om ZOAB mogelijk functioneel te beproeven. De beproeving bestaat uit twee verschillende realistische deformatiemechanismen, die optreden in de weg die gelijktijdig opgelegd kunnen worden. De temperatuurs- en verkeersbelasting zijn zowel apart (monomodaal) als gecombineerd (bimodaal) opgelegd (168u) op vers gemaakte balken gemaakt van ZOAB 4/8 met polymeermodificatie om vermoeiingsschade te bewerkstelligen. Het is aangetoond dat door het gebruik te maken van een realistisch bimodaal signaal veel meer schade geïntroduceerd wordt in veel minder lastherhalingen dan op basis van een monomodaal signaal zal worden verwacht. Ook lijkt aangetoond dat, wanneer gebruik gemaakt wordt van een bimodaal signaal, in het verse materiaal hoog-frequente deformatie (verkeersbelasting) de dominante deformatie is welke schade veroorzaakt aan het ZOAB. Het verouderen van het ZOAB, zoals verwacht, heeft een zeer grote invloed op het schadegedrag van ZOAB. In tegenstelling tot de resultaten op het verse materiaal wordt in het verouderde materiaal de meeste schade juist veroorzaakt door de laag frequente belasting (temperatuursbelasting) en niet langer door de verkeersbelasting welke na veroudering ondergeschikt lijkt voor de schadeontwikkeling. Door gebruik te maken van een gecombineerde deformatie kan mogelijk de schadegevoeligheid als gevolg van de veroudering beter inzichtelijk worden gemaakt.

## **1. Inleiding**

Het huidige proces voor het beoordelen van nieuwe (innovatieve) ZOAB mengsels voor wegenbouwtoepassingen is een relatief langzaam proces dat soms meerdere jaren doorloopt. De reden hiervoor is dat er voor Nederland geen heldere systematiek (e.g HAPAS-UK, Avis-FR) lijkt te zijn om te doorlopen voor productacceptatie. Ook zijn er geen sluitende laboratorium beoordelingsmethodieken voor ZOAB-mengsels die gebruikt kunnen worden voor het functioneel specificeren van ZOAB eigenschappen zoals die voor standaard asfaltbeton zijn geïmplementeerd [1]. De nu vaak ingezette rafelingstesters voor ZOAB testen echter maar zeer beperkt de prestaties van de materialen, vaak on-verouderd materiaal en zijn niet altijd concluderend gebleken. Hieruit volgt dat de risico's met name ten opzichte van levensduurprestaties van ZOAB vooraf slecht kunnen worden vastgesteld. Om die reden wordt veelal na een (korte) laboratoriumfase een proefvak van een nieuw ZOAB mengsel op

de openbare weg aangelegd, wat vervolgens in de tijd wordt gemonitordt. Vaak kan het asfalt dan pas na enkele jaren eigenlijk werkelijk worden beoordeeld met name op levensduurprestatie. Eén manier voor het versnellen van het bovengenoemde proces is het ontwikkelen van nieuwe testmethoden en/of modellen die een nieuw asfaltmengsel versneld en/of functioneel kunnen beoordelen. Deze testmethode zal de condities (verkeer, temperatuur, etc.) waaronder het asfalt moet presteren, moeten kunnen simuleren en rekening moeten houden met veroudering van het materiaal. In de afgelopen jaren is daarom relatief veel onderzoek gedaan naar de (veranderende) materiaal eigenschappen van ZOAB als gevolg van veroudering (e.g. het zebrevakken [2], TU Delft LOT [3, 4]) en de effecten van belastingen (e.g. RSAT/ARTE) op ZOAB om te werken naar het vastleggen van functionele prestaties voor deze materialen of om de ZOAB-prestaties te kunnen voorspellen. De onderzoeken zijn gericht tot het verkrijgen van begrip over en waarop-te-letten in ZOAB mengsels en mogelijkermengsels op labschaal reeds te kwalificeren als potentieel goede en potentieel slechte mengsels. Dit kan leiden tot het sneller realiseren van innovaties voor marktpartijen en het beter kunnen inschatten van risico's voor wegbeheerders. Het hier beschreven onderzoek sluit daarbij aan en het doel was inzicht te krijgen in de effecten en maatgevendheid van verschillende belastingen op de schadeopbouw in ZOAB. Dit inzicht toont mogelijkermengsels aan welke ZOAB eigenschappen leidend zijn in het faalgedrag [5]. Hieruit zou kunnen volgen welke beproeving aan het materiaal zou moeten worden opgelegd om het te beoordelen en op welke eigenschappen vervolgens gestuurd kan worden in het (mengsel)ontwerp of materiaalselectie.

Ten behoeve van dit onderzoek is een nieuwe dynamische vierpunts-buigtestmethodiek voor asfalt ontwikkeld waarin verschillende realistische deformatiemechanismen, die optreden in de weg, gelijktijdig gesimuleerd kunnen worden. De twee geselecteerde deformatiemechanismen zijn de temperatuurswisselingen in een dag-nacht ritme (lage frequentie – grote amplitude) en het overrijden van de weg door (vracht)verkeer (hoge frequentie – lage amplitude). Deze gecombineerde methodiek geeft mogelijk nieuwe inzichten in het faalgedrag en tevens een nieuw perspectief voor een geaccepteerde type-test voor ZOAB mengsels en de daarbij horende functionele materiaalspecificaties van deze open deklagen.

## **2. Materialen**

Voor dit onderzoek zijn 2 asfaltplaten gemaakt van een identiek 4/8 mm ZOAB mengsel. Het ZOAB mengsel is qua samenstelling vergelijkbaar met een gebruikt mengsel in het ZEBRAvakkenonderzoek, en staat bekend als Mengsel A. Het bindmiddel betreft een op de Nederlandse markt commercieel verkrijgbaar polymeer-gemodificeerd bindmiddel. De afmeting van deze platen zijn 500 x 500 x 50 mm en zijn in opdracht van TNO gemengd, verdicht en aangeleverd door BAM Wegen BV. Na ontvangst zijn de platen gezaagd in elk 9 balken met een afmeting van 450 x 50 x 50 mm. De balken zijn vervolgens opgeslagen in een klimaatkamer met een temperatuur van 5°C. Alvorens de balken te beproeven zijn de balken voor 14 dagen bestorven. Na deze periode zijn 6 balken uit de eerste plaat, bestempeld als vers materiaal, beproefd binnen een periode van 6 weken.

## **Veroudering**

Na een bestervingsperiode van 14 dagen zijn 9 balken uit de tweede plaat synthetisch verouderd onder laboratoriumcondities. Hiervoor zijn de balken op een vlakke plaat, bedekt met siliconen papier, in een oven geplaatst. De balken zijn in de oven bij een temperatuur van

85°C en een sterk circulerende luchtstroom verouderd voor 40 dagen. In de eerste 14 dagen van de veroudering zijn de balken regelmatig gedraaid om mogelijke afdruipt in het mengsel te voorkomen. Om te voorkomen dat de balken van vorm zouden veranderen zijn houten spalken om de balken aangebracht. Het verouderingsprotocol is overgenomen uit de resultaten van het InfraQuest onderzoek IQ-2012-29 [2], waarin het thermisch verouderen van polymeer-houdende bindmiddelen van asfaltmengsel A voor 40 dagen bij 85°C representatief bleek voor veroudering van een 2LZOAB deklaag op de weg bestaande uit hetzelfde mengsel. Na 40 dagen zijn 6 van de verouderde balken analoog beproefd aan de 6 balken, bestempeld als vers materiaal.

## Codering

Tabel 2. De codering van de balken

Balk	Behandeling	Balk	Behandeling
B13D	Verzaagd, gebruikt als ontvangen	B21V	Verzaagd, verouderd
B14D	Verzaagd, gebruikt als ontvangen	B24V	Verzaagd, verouderd
B16D	Verzaagd, gebruikt als ontvangen	B25V	Verzaagd, verouderd
B17D	Verzaagd, gebruikt als ontvangen	B26V	Verzaagd, verouderd
B18D	Verzaagd, gebruikt als ontvangen	B27V	Verzaagd, verouderd
B19D	Verzaagd, gebruikt als ontvangen	B28V	Verzaagd, verouderd

## 3. Methode

### Opstelling

Voor de beproeving van de asfaltbalken is gebruik gemaakt van een 4punts- buigopstelling (Instron). De testopstelling bestaat uit een klimaatkamer die om een gecontroleerde vijzel is gebouwd. In de klimaatkamer staat een opstelling waarmee een balk van 450 mm ingeklemd kan worden. Met behulp van twee sensoren worden de opgelegde verplaatsing en de resulterende kracht gemeten. De inklemming van het proefstuk kan worden beschreven als een indirecte inklemming. Alvorens het proefstuk te testen worden metalen beugels op de balk geplakt met behulp van polymeerbitumen. De beugels worden op vaste afstanden geplakt zodat deze overeen komen met groeven die in de buiten- en binnen-inklemmingen zitten. In deze groeven worden rollen geplaatst die het contact vormen tussen de beugels en de inklemming. Vervolgens wordt er een krachtmoment in de inklemmingen gedraaid. Hierdoor komt er een kracht op de rollen en dus de beugels te staan. Deze kracht zorgt er voor dat het proefstuk niet kan worden verplaatst tijdens de test. Het krachtmoment dat in de buiten-inklemming wordt gedraaid is 2,0 Nm. Het moment in de binnen-inklemming is 1,5 Nm.

### Mechanisch testprotocol

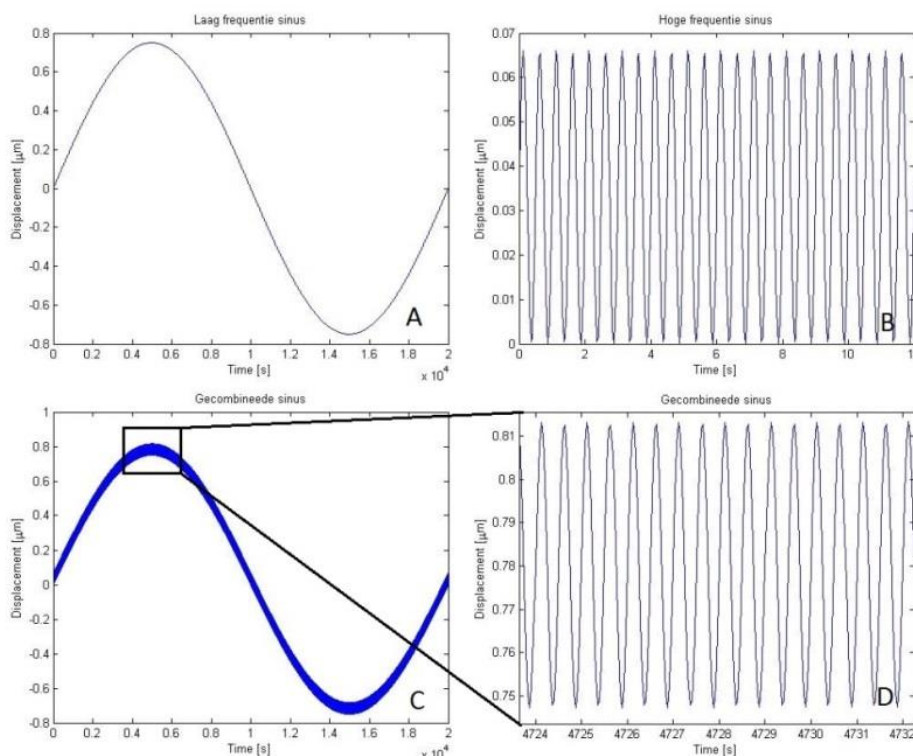
Voor het onderzoek zijn drie verschillende testmethodes opgesteld of ontwikkeld. Bij twee van deze testen wordt er op het proefstuk een continue enkelvoudige sinusvormige deformatie opgelegd waarvan de frequentie en de amplitude sterk verschilt tussen de twee testen. Deze testen geven de individuele belasting als gevolg van de temperatuurwisselingen en de verkeersbelasting weer. De derde test is een continue optelling van deze twee

deformatiesignalen. Dit is dus een tweevoudig-frequent signaal met eveneens twee verschillende amplitudes. Voor de dynamische temperatuursbelasting wordt een frequentie van  $5.0 \cdot 10^{-5}$  Hz gekozen, wat betekent dat de temperatuur een periodiek verloop heeft over een periode van 6 uur, waarin maxima en minima worden afgewisseld in een periode van 3 uur. De verkeersbelasting wordt vastgesteld op 2.0 Hz. Deze frequentie staat in verhouding tot de temperatuursbelasting van 40,000:1, wat een passage van 40,000 zware voertuigen per enkele temperatuurscyclus symboliseert. De amplitude waarmee de temperatuursbelasting wordt opgelegd is afgeleid van de lineaire thermische expansie van het asfalt (ca  $1.5 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ) en in buigmodus is daarvoor een verticale amplitude van 750.0  $\mu\text{m}$  vastgesteld om een temperatuursverloop over een bereik van totaal 10K te simuleren. De amplitude van de verkeersbelasting is bepaald aan de hand van berekende waarden op basis van bekende asfaltstijfheden en belastingsniveau van vrachtverkeer. Deze amplitude is vastgesteld op 33.0  $\mu\text{m}$ . Om de schadegevoeligheid van ZOAB met name bij lage temperaturen te onderzoeken, is gekozen voor een testtemperatuur van  $-5,0^\circ\text{C}$ , waarbij de gesimuleerde thermische expansie/compressie een deformatie tussen  $0,0^\circ\text{C}$  en  $-10,0^\circ\text{C}$  beschrijft. De dynamische deformaties worden opgelegd voor een periode van 7 dagen (168h); een belasting die ongeveer gelijkstaat aan 28 winterdagen tussen 0 en  $-10^\circ\text{C}$  en een totale verkeersbelasting van ca. 1.1 miljoen vrachtwagenpassages. Alle testparameters zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. De parameters voor de testmethoden

Test	Frequenties (Hz)	Amplitudes ( $\mu\text{m}$ )	Test-temperatuur ( $^\circ\text{C}$ )	Duur (h)
Temperatuursbelasting	$5.0 \cdot 10^{-5}$	750.0	-5.0	168
Verkeersbelasting	2.0	33.0	-5.0	168
Gecombineerde belasting	$5.0 \cdot 10^{-5}$ & 2.0	750.0 & 33.0	-5.0	168

In figuur 2 zijn de functies van de opgelegde sinusvormige deformaties schematisch weergegeven.



Figuur 2. De drie opgelegde signalen. Hierin is (A) het signaal voor de simulatie van het temperatuursverloop, (B) het signaal voor de simulatie van de verkeersbelasting, (C) het gecombineerde signaal en (D) het vergrootte gecombineerde signaal

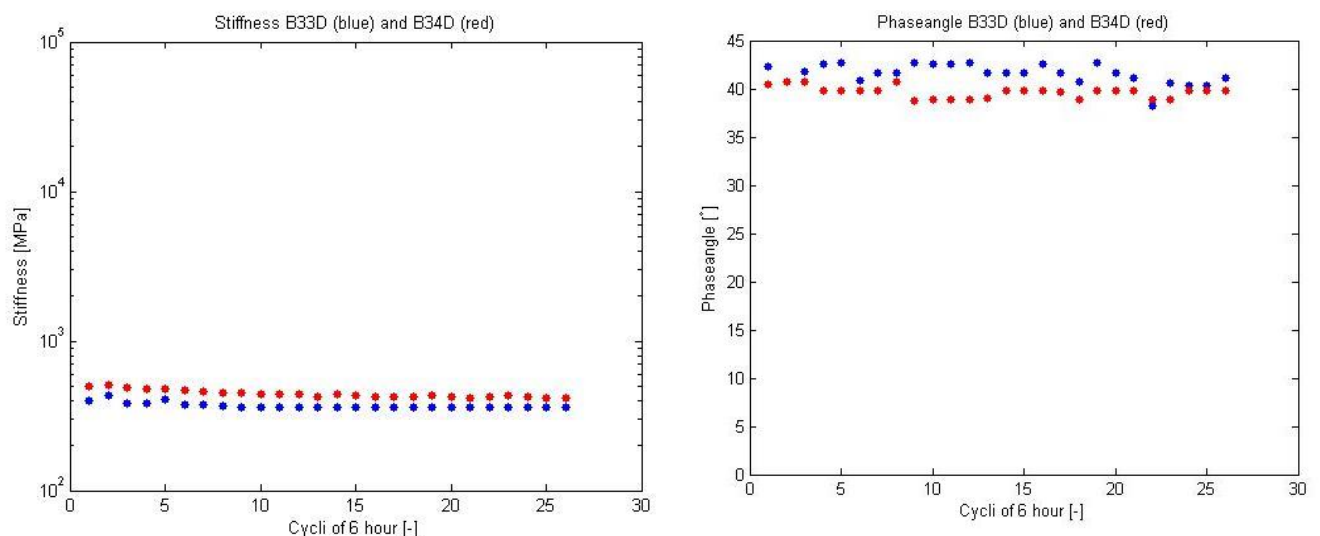
Omdat tijdens het overrijden van het verkeer voornamelijk trekkrachten optreden in de deklaag is er voor gekozen om het verkeerssignaal asymmetrisch ten opzichte van de ruststand op te leggen waardoor er minder drukkrachten optreden. Het temperatuursignaal wordt wel symmetrisch opgelegd zodat de deklaag aan evenveel druk als trekkrachten wordt blootgesteld (krimp en uitzetting) bij een constante test-temperatuur.

#### 4. Resultaten

De drie eerdergenoemde testmethoden zijn vervolgens opgelegd aan zowel balken bestaande uit vers materiaal alsook balken welke zijn verouderd. Gedurende de opgelegde vermoeiingen van de temperatuursbelasting, de verkeersbelasting en het gecombineerde signaal kan uiteindelijk schade aan de balk optreden. Deze schade manifesteert zich in een afname van de complexe materiaalmodulus en de materiaalfasehoek. Deze twee parameters zullen dan ook worden geëvalueerd als maatgevende parameters voor optredende schade. Alle berekende stijfheden en fasehoeken worden voor de vermoeiing over 168h in periodes van zes uur weergegeven. Dit is gedaan om een goede vergelijking tussen de verschillende signalen te kunnen maken.

##### Monomodaal laag frequent - hoog amplitude signaal (LfHa)

Het monomodaal laag-frequent hoog-amplitude (LfHa) signaal voor de deformatie simuleert het verloop van de temperatuursbelasting op de weg. De deformatie doorloopt 28 cycli (van elk 6 uur) in 7 dagen. Als gevolg van deze verplaatsing treedt er spanning op in de balk welke gemeten wordt door de ontwikkelde kracht te meten. Op basis van het deformatiesignaal als input, de gemeten krachtresponse en de specificaties van de balken kunnen de complexe materiaalmodulus en de materiaalfasehoek worden berekend. Dit is gedaan met behulp van een Matlab script waarin de formules en eigenschappen van de balk zijn verwerkt. In figuur 3 is het verloop van de stijfheden en het verloop van de fasehoek voor twee balken, bestaande uit vers materiaal, weergegeven als gevolg van de LfHa deformatie.

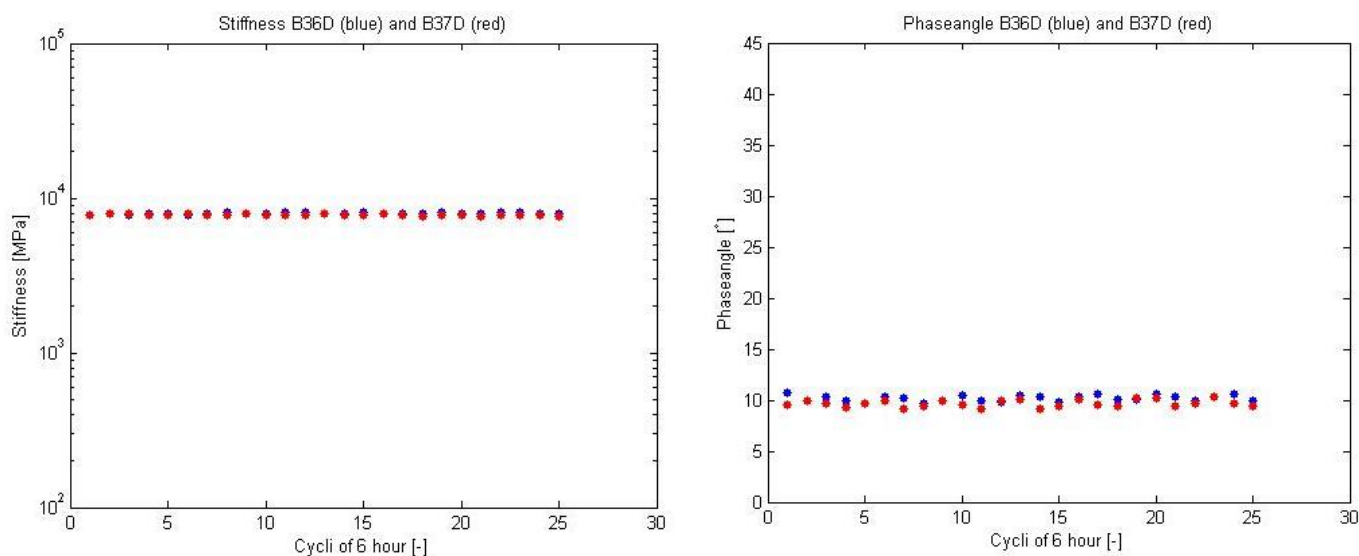


Figuur 1. Het verloop van de stijfheden en het verloop van de fasehoek van twee geteste balken, vers materiaal, met het LfHa signaal

In figuur 3 is te zien dat als gevolg van het monomodale LfHa signaal de stijfheid en fasehoek over 7 dagen redelijk stabiel blijven. Hieruit is af te leiden dat er als gevolg van de opgelegde monomodale temperatuursbelasting (bij lage temperaturen) geen significante schade optreedt in het proefstuk gedurende de beproeving van 7 dagen.

### Monomodaal hoog frequent laag amplitude signaal (HfLa)

Het monomodaal hoog-frequent laag-amplitude (HfLa) signaal voor de deformatie simuleert de verkeersbelasting op de weg. De deformatie doorloopt 1.1 miljoen cycli (van elk 0.5 s) in 7 dagen. Net als bij het laag-frequente hoog-amplitude signaal kunnen, op basis van het deformatiesignaal als input, de gemeten krachtresponse en de specificaties van de balken, voor de verkeersbelasting de complexe materiaalmodulus en de materiaalfasehoek worden berekend. In figuur 4 is het verloop van de stijfheden en het verloop van de fasehoek voor twee balken, bestaande uit vers materiaal, weergegeven als gevolg van de HfLa deformatie. In figuur 4 is te zien als gevolg van het monomodale hoog frequente laag amplitude (HfLa) signaal de stijfheid en fasehoek over 7 dagen eveneens redelijk stabiel blijven. Hieruit valt af te leiden dat in overeenkomst met het LfHa signaal ook als gevolg van de monomodale verkeersbelasting geen significante schade optreedt in het proefstuk gedurende de beproeving over 7 dagen. Zoals verwacht is de stijfheid van het hoog-frequente signaal significant hoger dan de stijfheid van het laag frequente signaal en dit is omgedraaid voor de fasehoeken. De verklaring hiervoor is dat het proefstuk voor het HfLa signaal bij lage temperaturen bijna geen tijd heeft om te relaxeren als gevolg van de snelle opgelegde verplaatsing.

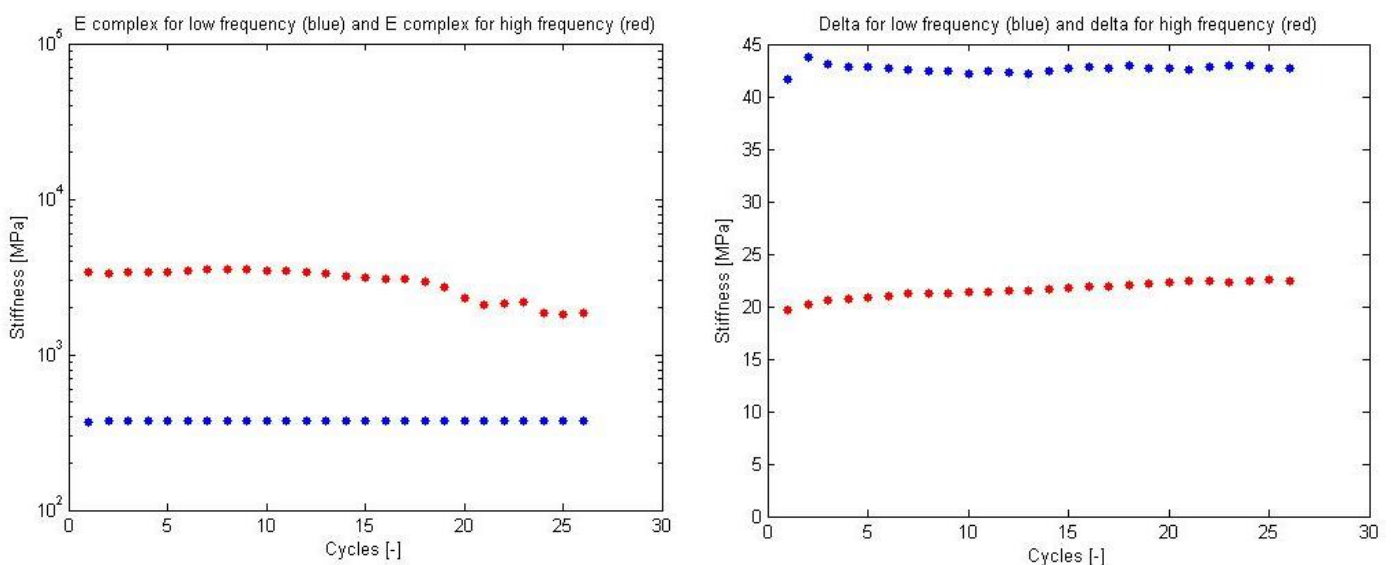


Figuur 4. Het verloop van de stijfheid en het verloop van de fasehoek voor twee geteste balken, vers materiaal, met het HfLa signaal

### Gecombineerd bimodaal signaal

Het gecombineerde bimodale signaal simuleert de deformatie van de verkeersbelasting en de temperatuursbelasting tezamen op het proefstuk. De deformatie doorloopt tegelijkertijd 28 cycli (van elk 6 uur) voor de temperatuursbelasting en 1.1 miljoen cycli (van elk 0.5 s) voor

de verkeersbelasting in beproevingsijd van 7 dagen. In tegenstelling tot de twee monomodale signalen kan het gecombineerde signaal niet direct worden omgezet naar complexe materiaalstijfheden of materiaalfasehoeken als functie van de tijd. Hiervoor dienen de signalen eerst gescheiden te worden zodat ze afzonderlijk kunnen worden geëvalueerd. Door een monomodale sinus met een frequentie van  $5.0 \cdot 10^{-5}$  Hz te fitten over de gecombineerde data kan de verplaatsing en response, die hoort bij de temperatuursbelasting, worden geïsoleerd. De frequentie is namelijk voor beide signalen (verplaatsing en kracht) niet afhankelijk van (veranderende) materiaaleigenschappen. Met deze gefitte data kan de stijfheid enkel en alleen als gevolg van de temperatuursbelasting worden berekend. Door deze gefitte deformatie en response vervolgens van de gecombineerde data af te trekken resteert het verplaatsingssignaal wat de verkeersbelasting simuleert. Met deze overgebleven data kan de stijfheid als gevolg van de verkeersbelasting worden berekend. Vervolgens kunnen analoog aan de verwerking van de monomodale deformaties vanuit de twee geïsoleerde signalen de complexe materiaalmodulus en de materiaalfasehoek als gevolg van de gecombineerde temperatuursbelasting en de verkeersbelasting op balken worden berekend. In figuur 5 zijn het verloop van de 2 stijfheden en het verloop van de 2 fasehoeken voor de balken, bestaande uit vers materiaal, weergegeven als gevolg van de twee uit elkaar getrokken deformaties. In figuur 5 is te zien dat voor de gecombineerde test de stijfheid en fasehoek als gevolg van de temperatuursbelasting over 7 dagen beiden redelijk stabiel blijven. Hieruit valt af te leiden dat er als gevolg van de temperatuur geen significante schade optreedt in het verse proefstuk. Wel is te zien dat de stijfheid als gevolg van de verkeersbelasting over 7 dagen ongeveer 50 % vervalt (met name vanaf temperatuurscyclus 16) en dat de fasehoek over 7 dagen ongeveer 20% stijgt.

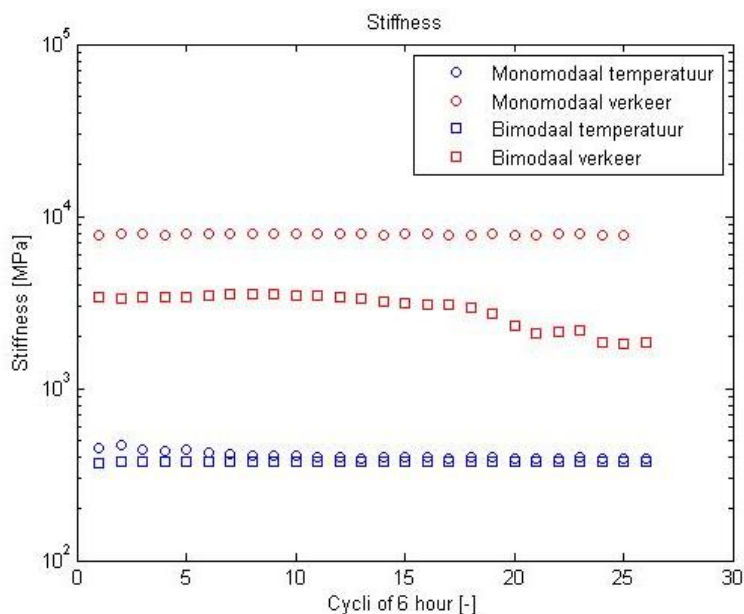


Figuur 5. De gemiddelde berekende stijfheden en de gemiddelde berekende fasehoeken van de twee verschillende deformaties voor geteste balken, vers materiaal.

Uit deze observatie valt af te leiden dat er in een gecombineerde beproeving als gevolg van de temperatuursbelasting geen significante schade optreedt in het proefstuk, maar dat er als gevolg van de verkeersbelasting wel degelijk meetbare schade optreedt in het proefstuk. Opmerkelijk is dat de verkeersbelasting als monomodaal signaal geen schade lijkt te veroorzaken maar als bovenliggend signaal op de temperatuursbelasting in staat is sterk de stijfheid als gevolg van vermoeiingsschade te verlagen.

Om nu een goede vergelijking te maken tussen de resultaten van zowel de monomodale signalen en de geïsoleerde signalen uit de gecombineerde data voor vers materiaal onder dezelfde beproevingscondities, worden de gemiddelde stijfheden van de monomodale signalen vergeleken met de gemiddelde stijfheden van de bimodale gecombineerde signalen. Alle resultaten voor de stijfheid zijn hiervoor weergegeven in figuur 6. Als eerste worden de temperatuursignalen vergeleken. Er is te zien dat de stijfheid voor het verse materiaal als gevolg van het monomodale signaal aanvankelijk licht verval, maar dan stabiliseert. De stijfheid is in de orde van grootte van  $3.0 \cdot 10^3$  MPa. De stijfheid als gevolg van het laag-frekwente deel van het bimodale signaal blijft stabiel en is ook in de orde van grootte van  $3.0 \cdot 10^3$  MPa. Hier valt uit af te leiden dat de schade die in het proefstuk optreedt als gevolg van de temperatuurswisselingen van de zelfde orde is en zeer beperkt lijkt.

Vervolgens wordt de verkeersbelasting van de verschillende signalen met elkaar vergeleken. Hier is te zien dat de stijfheid als gevolg van het monomodale signaal stabiel blijft en in de orde van grootte van  $8.0 \cdot 10^4$  MPa is. De stijfheid als gevolg van het hoog-frekwente deel van het bimodale signaal, zoals eerder opgemerkt, verval echter sterk. Aan het begin van de test is de stijfheid ongeveer  $4.5 \cdot 10^4$  MPa. Maar aan het einde van de test is de stijfheid nog maar  $2.0 \cdot 10^4$  MPa; een verval van bijna 50%. Dit geeft aanwijzing dat, door het opleggen van het bimodale signaal, er meer schade lijkt op te treden in het proefstuk. Wel moet worden gezegd dat de stijfheid als gevolg van de verkeersbelasting aan het begin van de test voor het bimodale signaal lager is dan de stijfheid van het monomodale signaal. Dit kan worden verklaard doordat in de bimodale deformaties reeds meer arbeid verloren gaat door het onderliggende signaal. De hogere dissipatie resulteert in een lagere intrinsieke modulus. Op basis van de uitgevoerde vermoeiingstesten, is daarmee aangetoond dat met het separaat (monomodaal) testen van de verkeers- en temperatuursbelasting mogelijk de illusie kan worden gecreëerd dat er in een beproeving van een open asfaltmengsel significant minder schade optreedt dan dat in werkelijkheid kan optreden en dat met een bimodaal signaal mogelijk een realistischere schadeontwikkeling wordt getoond

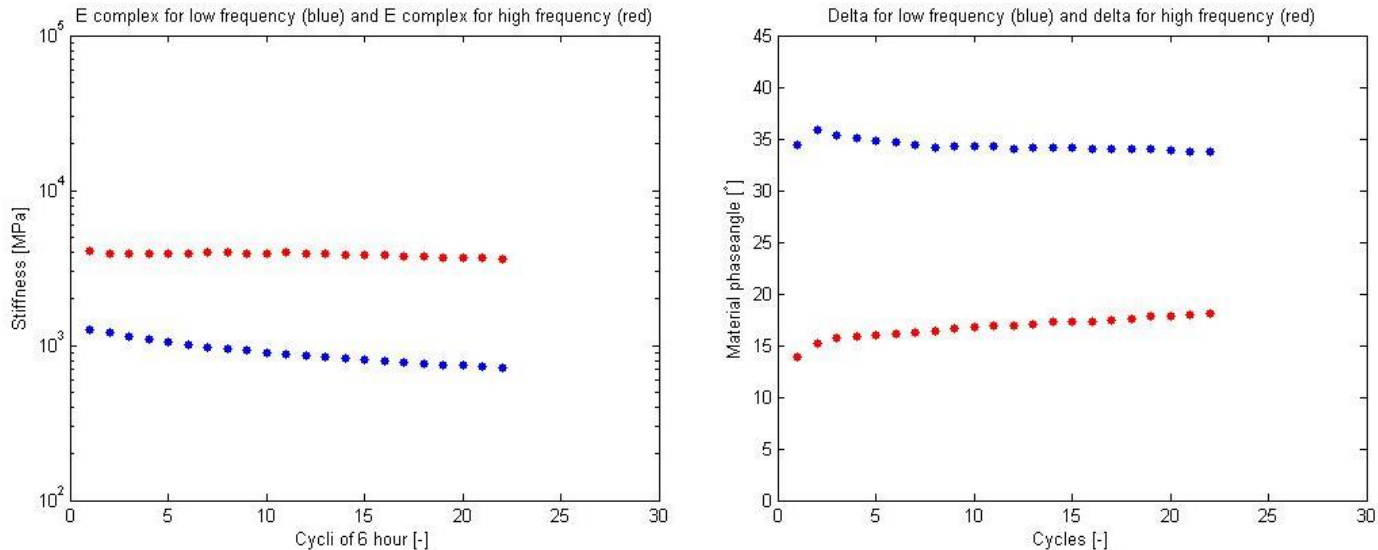


Figuur 6. De stijfheden van alle geteste proefstukken op basis van vers materiaal.



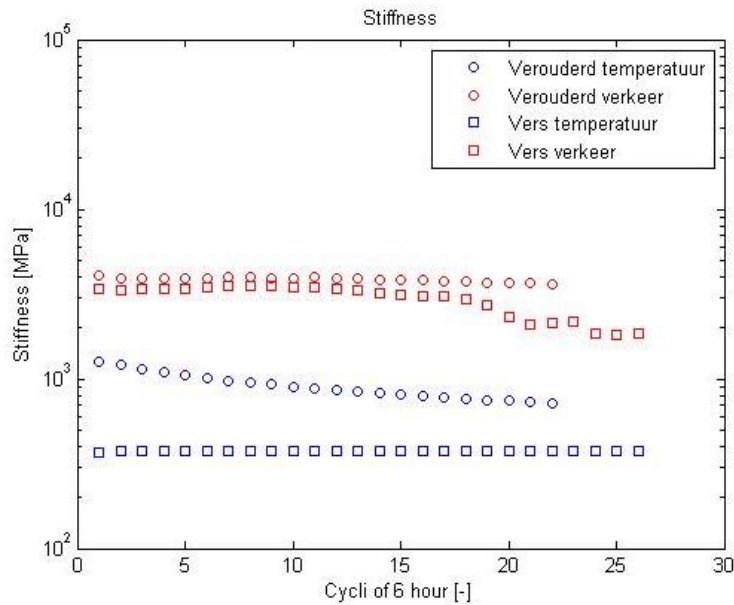
## Gecombineerd bimodaal signaal – na veroudering

Net als voor balken van vers materiaal zijn twee monomodale en één gecombineerd bimodaal signaal op verouderde balken opgelegd. De databewerking is gelijk aan die bij de verwerking van de data van de verse balken. In figuur 7 zijn voor de gecombineerde beproeving het verloop van de 2 stijfheden en het verloop van de 2 fasehoeken voor de balken, bestaande uit verouderd materiaal, weergegeven als gevolg van de twee uit elkaar getrokken deformaties uit het bimodale signaal.



Figuur 7. De gemiddelde berekende stijfheden en de gemiddelde berekende fasehoeken van de twee verschillende deformaties voor gecombineerd geteste balken, verouderd materiaal.

In figuur 7 is te zien dat voor het verouderde materiaal de stijfheid licht afneemt als gevolg van de verkeersbelasting en dat de fasehoek oploopt. Hieruit valt af te leiden dat voor verouderd materiaal, als gevolg van het verkeer, de schade in het proefstuk slechts licht lijkt toe te nemen gedurende de beproeving. Vervolgens wordt het temperatuursignaal onderzocht. Hier is te zien dat de fasehoek redelijk stabiel blijft in verloop van de tijd, maar dat de stijfheid als gevolg van de temperatuursbelasting echter wel significant afneemt. Deze observatie is verrassend omdat er voor verouderd materiaal nu als gevolg van de temperatuursbelasting wel degelijk significante schade lijkt op te treden in het proefstuk. De verkregen stijfheidsresultaten uit de gecombineerde beproevings van het verse en het verouderde materiaal worden met elkaar vergeleken in figuur 8. Eerder was aangetoond dat in het verse materiaal de verkeersbelasting dominant was voor het veroorzaken van schade, en dat de temperatuursbelasting geen invloed leek te hebben op de integriteit van het proefstuk. In het verouderde materiaal wordt de meeste schade echter veroorzaakt door de temperatuursbelasting en lijkt de verkeersbelasting slechts minimaal bij te dragen aan het verlies van stijfheid. Het blijkt dus dat verouderen, zoals verwacht, een zeer grote invloed lijkt te hebben op de schadeontwikkeling in ZOAB en dat er een verschuiving lijkt plaats te vinden in de schadegevoeligheid voor verkeersbelastingen naar temperatuursbelasting gedurende de 'levensduur'. De schadeontwikkeling voor vers materiaal is dus anders dan voor verouderd materiaal. Deze stelling impliceert dat wanneer men de functionele eigenschappen van ZOAB wil vaststellen, een beoordelingstest zo ingericht moet worden dat men onder de juiste condities (laag/hog frequent, laag/hog amplitude) ZOAB beoordeelt afhankelijk van de veroudering/leeftijd van het materiaal. Door gebruik te maken van beide deformaties kan vervolgens de schadegevoeligheid als gevolg van de veroudering beter inzichtelijk worden gemaakt.



Figuur 8. De stijfheden van de gecombineerd geteste proefstukken op basis van vers en verouderd materiaal

## 5. Conclusies

Voor on-verouderd ZOAB geldt dat voor zowel een monomodale LfHa vermoeiing (temperatuursbelasting) als een HfLa vermoeiing (verkeersbelasting) separaat geen schadeontwikkeling optreedt voor de in dit onderzoek realistisch opgelegde deformaties gedurende een beproeving van 7 dagen. In een bimodale gecombineerde beproeving op vers materiaal treedt wel schadeontwikkeling op en is snel optredende schade met name het gevolg van de verkeersbelasting bovenop de temperatuursbelasting. Deze laatste belasting lijkt separaat weinig invloed te hebben op het schadegedrag voor vers materiaal. Na veroudering lijkt het hoog-frequente deel van het bimodale signaal in de vermoeiingstest juist niet langer dominant te zijn in de schadeontwikkeling in het ZOAB materiaal, maar leidt het laag-frequente deel van het signaal tot de grootste stijfheidsafname. Afhankelijk van de veroudering van het materiaal lijkt ZOAB onder een verschillend type belasting te lijden. Het beoordelen van ZOAB dient dan ook in een objectieve beproeving afhankelijk van de veroudering onder de juiste condities (laag/hoog-frequent, laag/hoog-amplitude) te gebeuren.

## 6. Literatuur

1. CROW. RAW standaard 2010, **2010**, p. 620-626. Ede : CROW , ISBN 978 90 6628 567 5.
2. S.D. Mookhoek *et al.*, *Accelerated ageing of asphalt binders to allow assessment of binder properties in terms of raveling resistance using Dynamic Shear Rheometry (DSR)*. **2012**, InfraQuest report IQ-2012-29
3. M. Hurman, *Lifetime optimisation tool, lot, main report.*, **2008**, Delft: Delft University of Technology.
4. S.A. Mohan, *Winter damage of porous asphalt*. Road and Railway Engineering, TU Delft. **2010**. Msc Thesis.
5. J. Voskuilen, *Duurzaamheid ZOAB*, september **2001**, VBW Asphalt, Vol. 3, pp. 9-11. ISSN: 0376-6977.