

Starten met functioneel verifiëren van asfaltverhardingen

Berwich Sluer
Boskalis Nederland Infra

Natascha Poeran
Boskalis Nederland Infra

Mohamad Mohajeri
Boskalis Nederland Infra

Samenvatting

De invoering van het functioneel specificeren van asfaltmengsels heeft geleid tot een goede overeenstemming tussen asfalteigenschappen gemeten in het laboratorium en asfalteigenschappen gebruikt in het verhardingsontwerp (CROW-OIA). Als gevolg daarvan zijn verhardingsdikten volledig afgestemd op de eigenschappen van het toegepaste asfalt en dus (kosten)efficiënter. De ontbrekende schakel in het geheel is de relatie tussen de gemeten mechanische eigenschappen die in het ontwerp zijn toegepast en de daadwerkelijk gerealiseerde asfalteigenschappen in het werk. Dit is van belang om feitelijk aan te tonen dat de ontworpen en gerealiseerde constructie binnen de gestelde veiligheidsniveaus aan elkaar gelijk zijn. De huidige controle van de kwaliteit van het verwerkte asfalt is echter nog grotendeels gebaseerd op empirische in plaats van functionele eigenschappen, waardoor discussies bij de oplevering van werken nog te veel gaan over eigenschappen die helemaal niet meer relevant hoeven te zijn voor de kwaliteit van het werk.

De laatste jaren is er al veel gezegd en geschreven over de ontwikkeling van functioneel verifiëren in navolging van functioneel specificeren [o.a 1]. Dit als middel om aan te tonen dat de functionele eigenschappen van een typeonderzoek van een asfaltmengsel ook in de praktijk in een werk worden gerealiseerd. De ontwikkeling van functioneel verifiëren is inmiddels zo ver dat het tijd wordt om er daadwerkelijk in de praktijk ervaring mee op te doen. In deze paper wordt een praktische aanpak beschreven om de in een werk gerealiseerde asfaltkwaliteit aan de hand van functionele proeven te beoordelen. Voor de koplopers aan de zijde van opdrachtgevers, opdrachtnemers en kennisinstituten wordt een voorstel voor een pilotproject gepresenteerd, met als uiteindelijk doel functioneel verifiëren collectief praktisch handen en voeten te geven en het huidige empirische beoordelingskader te vervangen.

Asfalt, functioneel, specificeren, onderzoek, verifiëren

1. Achtergrond

In 2008 is CE-markering voor asfalt ingevoerd. Nederland heeft gekozen voor de functionele benadering voor het specificeren en beoordelen van de eigenschappen en kwaliteit van asfalt. Na bijna zeven jaar ervaring met deze functionele benadering mag geconcludeerd worden dat de kennis van eigenschappen en gedrag van asfalt in Nederland enorm is toegenomen. Een nadeel van CE-markering is, dat het een producent-eigen verklaring betreft voor asfaltspecie geleverd 'aan de poort' van de asfaltcentrale. Dit levert in de praktijk momenteel nog regelmatig problemen in contractrelaties tussen opdrachtgever en aannemer. De eigenschappen als vermeld op een CE-prestatieverklaring kunnen namelijk pas worden aangetoond als de asfaltspecie ook op adequate wijze is verwerkt in de weg. Het beoordelen van de kwaliteit van verwerkt asfalt op basis van parameters (zoals verdichting en samenstelling) die behoren bij de recept-gebaseerde oude empirische benadering is niet meer van deze tijd. Vandaar dat al enkele jaren wordt gewerkt aan een manier om de eigenschappen van verwerkt asfalt functioneel te verifiëren. Functioneel verifiëren houdt in dat de eigenschappen van het verwerkt asfalt ook middels de uitvoering van functionele proeven worden bepaald. De resultaten van deze proeven kunnen dan direct vergeleken worden met de verklaarde eigenschappen op de CE-prestatieverklaring. Anderzijds kunnen de eigenschappen van het gerealiseerde asfalt ook direct in ontwerpverificatieberekeningen worden ingevoerd.

Mede door grootschalige toepassing van asfaltgranulaat, composietvulstoffen, gemodificeerde bindmiddelen en allerhande toeslagstoffen in asfalt heeft de huidige kwaliteitscontrole aan de hand van samenstelling en mate van verdichting nog maar weinig zeggingskracht over de functionele kwaliteit van verwerkt asfalt. Opdrachtgevers roeren zich dan ook steeds meer over twijfels of het geleverde product wel de prestaties zal leveren die contractueel zijn overeengekomen. De ontwikkeling, en bovenal praktische implementatie, van functioneel verifiëren is daarom noodzaak.

2. Ontwikkeling functioneel verifiëren

Boskalis houdt zich al vier jaar intensief bezig met de voorbereiding en ontwikkeling functioneel verifiëren van asfalt. Oorspronkelijk is de wens voor functioneel verifiëren hierbij niet primair ontstaan vanwege een gevoel van maatschappelijke verantwoordelijkheid, maar simpelweg de behoefte aan betrouwbare informatie of in het laboratorium gemeten eigenschappen van nieuwe mengsamenstellingen ook in een werk worden gerealiseerd. Door de toename van het aantal asfaltmengsels met onderscheidende eigenschappen, waarin vaak ook speciale bindmiddelen, additieven en andere toevoegingen worden toegepast, blijkt het oude empirische beoordelingskader op basis van mengsamenstelling en dichtheid bij lange na niet meer te voldoen.

Tabel 1 toont de eigenschappen waarmee in de huidige praktijk asfaltbeton wordt gespecificeerd conform de CE-regelgeving.

Tabel 1: Proeven functioneel specificeren asfalt CE-markering

Functioneel specificeren	
Eigenschap	Proef
Doelsamenstelling	Extractie, bitumengehalte, korrelverdeling
Streefdichtheid	Boven en onder water weging
Watergevoeligheid	Indirecte trekproef
Vervormingsweerstand	Triaxiaalproef
Vermoeiingsweerstand	4-punts buigproef
Stijfheidsmodulus	4-punts buigproef

Voor succesvolle functionele verificatie van de eigenschappen van gerealiseerd asfalt in een werk gelden drie belangrijke voorwaarden:

1. De proeven die op het materiaal uit het werk worden uitgevoerd voor functionele verificatie moeten voldoende zeggingskracht hebben voor de eigenschappen die zijn bepaald bij de uitvoering van het typeonderzoek van het betreffende mengsel.
2. De mechanische eigenschappen van asfalt ontwikkelen zich sterk in de eerste weken na productie en verwerking van het asfalt. De proeven voor functionele verificatie moeten bij voorkeur in een periode van minimaal zes tot acht weken na verwerking van het asfalt uitgevoerd kunnen worden.
3. De proeven voor functionele verificatie van de eigenschappen van verwerkt asfalt moeten op eenvoudig uit het werk te verkrijgen proefstukken worden uitgevoerd. De absolute voorkeur gaat hiermee uit naar cilindervormige proefstukken (boorkernen) Ø 100-150 mm.

Ad 1

Voor het beoordelen van de stijfheidsmodulus en vermoeiingsweerstand van asfalt wordt voor het functioneel specificeren gebruik gemaakt van de 4-punts buigproef. De proeven worden uitgevoerd op prismatische proefstukken (balkjes) met afmetingen 50 x 50 x 450 mm. Voor functioneel verifiëren is het zeer onpraktisch en zelfs onwenselijk om uit gerealiseerd werk balkjes te zagen. Inmiddels is twee jaar ervaring opgedaan met het bepalen van de stijfheidsmodulus en vermoeiingsweerstand van asfalt op cilindervormige proefstukken Ø 100-150 mm. Diverse onderzoeken hebben aangetoond dat de stijfheidsmodulus van asfalt bepaald met de cyclische indirecte trekproef (CY-ITT) op cilindervormige proefstukken goede overeenkomsten vertoont met de stijfheidsmodulus bepaald op balkjes in de 4-puntsbuigproef. Voor de vermoeiingsweerstand is daarentegen in diverse onderzoeken aangetoond dat de resultaten van de 4-punts buigproef en de CY-ITT niet vergelijkbaar zijn, uitgaande van de klassieke interpretatie van de resultaten van vermoeiingsproeven. In het kader van de ontwikkeling van functioneel verifiëren wordt bij Boskalis sinds juni 2015 bij ieder nieuw typeonderzoek ook aanvullend onderzoek uitgevoerd met de CY-ITT proef om de referentie te bepalen voor de stijfheid en vermoeiingsweerstand van materiaal uit het werk dat met deze proef wordt onderzocht. Tabel 2 toont de complete set aan onderzoeken die dan bij een typeonderzoek op asfaltbeton wordt uitgevoerd.

Tabel 2: Proeven functioneel specificeren asfalt Boskalis

Functioneel specificeren	
Eigenschap	Proef
Doelsamenstelling	Extractie, bitumengehalte, korrelverdeling
Streefdichtheid	Boven en onder water weging
Watergevoeligheid	Indirecte trekproef
Vervormingsweerstand	Triaxiaalproef
Vermoeiingsweerstand	4-punts buigproef
Stijfheidsmodulus	4-punts buigproef
Vermoeiingsweerstand	CY-ITT
Stijfheidsmodulus	CY-ITT

Naast het uitvoeren van de aanvullende CY-ITT proeven bij een typeonderzoek wordt momenteel ook onderzoek uitgevoerd met een alternatieve interpretatiemethode voor de resultaten van vermoeiingsonderzoek. De essentie van deze benadering is dat de resultaten van vermoeiingsonderzoek worden geïnterpreteerd met de methode van Shen & Carpenter [2], die uitgaat van de beoordeling van de energie die tijdens een vermoeiingsproef in een proefstuk wordt gedissipeerd voor de ontwikkeling van vermoeiingsschade. De bewering van Shen & Carpenter is dat ongeacht de gehanteerde proef voor een bitumineus mengsel dezelfde (fundamentele) vermoeiingskarakteristiek wordt gevonden, onder voorwaarde dat de energie die per lastcyclus in het proefstuk wordt gedissipeerd gelijk is. Als de bewering van Shen & Carpenter blijkt te kloppen, ontstaan er nieuwe mogelijkheden om de resultaten van 4-punts buigproeven en cyclische indirecte trekproeven met elkaar te vergelijken voor functionele verificatie van de gerealiseerde asfaltkwaliteit.

Ad 2

Op basis van de jarenlange ervaring met typeonderzoek van asfalt is bekend dat de eigenschappen van vers geproduceerd en verwerkt asfalt zich in de eerste weken nog sterk ontwikkelen (verbeteren). Voor functioneel verifiëren is het daarom van groot belang om aandacht te besteden aan het moment van uitvoeren van de proeven in vergelijking met het moment van beproeven van de proefstukken bij het typeonderzoek van het betreffende mengsel. Momenteel is het uitgangspunt dat de proeven voor functioneel verifiëren bij voorkeur in de periode tussen zes tot acht weken na verwerken van het asfalt worden uitgevoerd. Onderzoeksresultaten buiten deze periode zijn uiteraard wel van waarde voor de ontwikkeling van de inzichten in de functionele prestaties van asfalt in de tijd, waarmee op den duur het referentiekader voor de beoordeling van de resultaten van functionele proeven kan worden verruimd.

Indien het voor de beoordeling van een werk wenselijk is dat er eerder inzicht is in de gerealiseerde kwaliteit, dan kan het gebruik van prognosemodellen voor een eerste beoordeling worden ingezet. In [1,3] wordt nader ingegaan op het gebruik van een set veelbelovende prognosemodellen. Feit is dat deze modellen middels aanvullend onderzoek nog verder ontwikkeld en gevalideerd moeten worden, maar in het kader van de ontwikkeling van functioneel verifiëren wordt ook de stijfheid van de bitumen of mortel met het DSR-apparaat gemeten om de functionele eigenschappen te kunnen voorspellen en data te genereren om de prognosemodellen verder te ontwikkelen.

Ad 3

Voor het specificeren van de functionele eigenschappen van asfalt wordt voor de stijfheidsmodulus en de vermoeiingsweerstand gebruik gemaakt van 4-punts buigproeven,

omdat de resultaten van deze proeven in Nederland al decennia lang de basis vormen voor het constructief ontwerpen (dimensioneren) van asfaltverhardingen. Om praktische redenen kan de functionele verificatie niet worden uitgevoerd op balken die uit de weg moeten worden gezaagd en is gekozen voor de toepassing van de cyclische indirecte trekproef, die op cilindervormige proefstukken kan worden uitgevoerd.

Op basis van het voorgaande is in tabel 3 beschreven met welke proeven de functionele verificatie van de eigenschappen van verwerkt asfalt kan worden uitgevoerd.

Tabel 3: Proeven functioneel verifiëren asfalt

Functioneel verifiëren	
Eigenschap	Proef
Samenstelling	Extractie, bitumengehalte, korrelverdeling
Dichtheid proefstuk	Boven en onder water weging
Indirecte treksterkte (ITS)	Statische indirecte trekproef
Vervormingsweerstand	Triaxiaalproef
Vermoeiingsweerstand	Cyclische Indirecte trekproef
Stijfheidsmodulus	Cyclische Indirecte trekproef
Bitumen-/mortelstijfheid	DSR

3. Verantwoording proeven functioneel verifiëren

3.1 Samenstelling

De samenstelling van het materiaal uit het werk moet om twee redenen worden bepaald. Ten eerste is het van belang om inzicht te hebben in de mate waarin de samenstelling van het materiaal uit het werk overeenstemt met de doelsamenstelling van het mengsel. Hier wordt overigens wel per definitie verschil tussen de beide samenstellingen verwacht, omdat er in de huidige praktijk nog veel onduidelijk is over de doelsamenstelling en samenstellingen in het verdere verloop van het proces [6]. Ten tweede is het van belang om vast te stellen wat de samenstelling is van het mengsel behorende bij de eigenschappen die worden bepaald op het materiaal uit de weg. Aan de hand van deze informatie kan naderhand worden vastgesteld in welke mate afwijkingen in de samenstelling van een mengsel van invloed zijn op de functionele eigenschappen ervan.

3.2 Dichtheid

Evenals de samenstelling moet ook de dichtheid van het mengsel in het werk worden bepaald, teneinde vast te stellen in welke mate het overeenkomt met de streefdichtheid. Daarnaast is het ook ten aanzien van de dichtheid van belang om inzicht te krijgen in de mate waarop deze van invloed is op de gerealiseerde functionele eigenschappen van het asfalt.

3.3 Indirecte treksterkte

In het typeonderzoek wordt de watergevoeligheid, en daarmee ook de indirecte treksterkte, bepaald op basis van onderzoek op cilindervormige proefstukken. Daarmee is een directe vergelijking mogelijk met resultaten van onderzoek op materiaal uit het werk.

Voor het functioneel verifiëren van de gerealiseerde kwaliteit van asfalt wordt in plaats van de watergevoeligheid gekozen voor het beoordelen van de indirecte treksterkte van het asfalt na behandeling in een waterbad. De belangrijkste reden hiervoor is dat met slechts een minimaal aantal proefstukken er zowel inzicht wordt verkregen in het niveau van de treksterkte van het asfalt, als van de mogelijke invloed van vocht op het mengsel. Bij het vergelijken van de watergevoeligheid is er een grote kans dat er onjuiste conclusies worden getrokken als de watergevoeligheid (ITSR) van het materiaal uit het werk weliswaar vrijwel gelijk is aan die van het typeonderzoek, terwijl de absolute waarde van de indirecte treksterkte (substantieel) lager is.

Bij het functioneel verifiëren van de indirecte treksterkte van asfalt uit het werk wordt er rekening mee gehouden dat de hoogte van de proefstukken uit het werk afhankelijk is van de laagdikte waarin het betreffende mengsel is toegepast en daarmee kan afwijken van de proefstukhoogte in het type onderzoek. Tevens moet rekening worden gehouden met het verschil in verdichtingswijze tussen typeonderzoek (gyrator) en praktijk (wals).

3.4 Vervormingsweerstand

Evenals de indirecte treksterkte wordt ook de vervormingsweerstand van een asfaltmengsel in het typeonderzoek bepaald op cilindervormige proefstukken. Hiermee is ook voor deze eigenschap een directe vergelijking mogelijk tussen typeonderzoek en gerealiseerde kwaliteit in het werk.

Ook bij het functioneel verifiëren van de vervormingsweerstand moet er rekening mee worden gehouden dat de hoogte van de proefstukken uit het werk afhankelijk is van de laagdikte waarin het betreffende mengsel is toegepast en daarmee kan afwijken van de proefstukhoogte in het type onderzoek. Tevens kan ook bij de vervormingsweerstand het verschil in verdichtingswijze tussen typeonderzoek (gyrator) en praktijk (wals) een rol spelen bij het vergelijken van de gerealiseerde kwaliteit in het werk met de gemeten waarde van het typeonderzoek.

3.5 Stijfheidsmodulus

In het typeonderzoek wordt de stijfheidsmodulus van asfalt gemeten door middel van de vierpunts buigproef (4PB) op prismatische proefstukken. Voor het verifiëren van de gerealiseerde stijfheidsmodulus is het praktisch niet wenselijk om platen uit het werk te zagen voor het uitvoeren van vierpunts buigproeven. Een geschikte proef voor het bepalen van de stijfheidsmodulus op cilindervormige proefstukken (boorkernen) lijkt gevonden in de cyclische indirecte trekproef (CY-ITT). Tabel 4 toont de resultaten voor de stijfheidsmodulus van vergelijkende 4PB en CY-ITT-proeven.

Tabel 4: Stijfheidsmoduli bepaald met 4PB en CY-ITT proeven

Onderzoekscode	Type mengsel	CY-ITT @8Hz		4PB @8Hz		Verschil E [%]	Verschil ϕ [%]
		E* [Mpa]	ϕ [°]	E* [Mpa]	ϕ [°]		
QRS-2015-N-06	AC22 BaseBind 10-20MG 55%PR	16255	14,3	14511	15,7	12%	-9%
QRS-2015-N-07	AC16 BaseBind 10-20MG 55%PR	18311	14,9	15483	13,9	18%	7%
QRS-2015-H-01	AC 16 Base/Bind met 40%PR	10281	24,6	9082	24,4	13%	1%
QRS-2014-A-06	AC 22 Base/Bind met 65%PR	11305	21,7	8782	23,8	29%	-9%
QRS-2014-N-01	AC 16 base-bind 10-20	18517	15,2	13362	13,9	39%	9%
QRS-2014-N-02	AC 16 surf SFB 5-50 HS	5471	30,1	4922	31,7	11%	-5%
QRS-2014-N-04	FEC 2.0 AC 22 Base	14050	23,5	9810	20,3	43%	16%
QRS-2015-N-10	AC16 Base 5-50HT 50%PR	7957	25,4	8126	24,9	-2%	2%
QRS-2015-N-11	AC16 Base 10-20MG 50%PR	13167	17,5	12388	17,3	6%	1%

Bij de onderzoeksresultaten in tabel 4 moet worden opgemerkt dat de proeven deels zijn uitgevoerd gedurende de periode dat er ervaring werd opgedaan met de CY-ITT proef. Met name voor de geel gearceerde onderzoeksresultaten moet er rekening mee worden gehouden dat de proefstukken ten tijde van de uitvoering van de beide proeven niet van gelijke levensduur waren. Voor alle onderzoeken geldt dat er nog werd geëxperimenteerd met de instelwaarden en proefcondities voor de CY-ITT proef. Momenteel vindt er een validatieonderzoek plaats, dat moet resulteren in optimale proefcondities om de resultaten van 4PB en CY-ITT met elkaar te kunnen vergelijken [5]. Tabel 5 toont enkele resultaten van dat onderzoek.

Tabel 5: Vergelijking stijfheid 4PB en CY-ITT bij gelijk energieniveau

Onderzoekscode	Type mengsel	CY-ITT@8Hz		4PB@8Hz		Verschil E* [%]	Verschil ϕ [%]
		E* [MPa]	ϕ [°]	E* [MPa]	ϕ [°]		
QRS-2015-N-21	AC22 BaseBind met 55%PR	10051	21,8	8838	24,6	12,1	-12,8
QRS-2015-N-21	AC22 BaseBind met 55%PR	10499	21,0	9201	25,2	12,4	-20,0
QRS-2015-N-21	AC22 BaseBind met 55%PR	11179	22,0	9201	25,2	17,7	-14,5
QRS-2015-N-21	AC22 BaseBind met 55%PR	10051	21,8	9476	24,7	5,7	-13,3
QRS-2015-N-21	AC22 BaseBind met 55%PR	10625	22,1	9047	25,0	14,8	-13,1

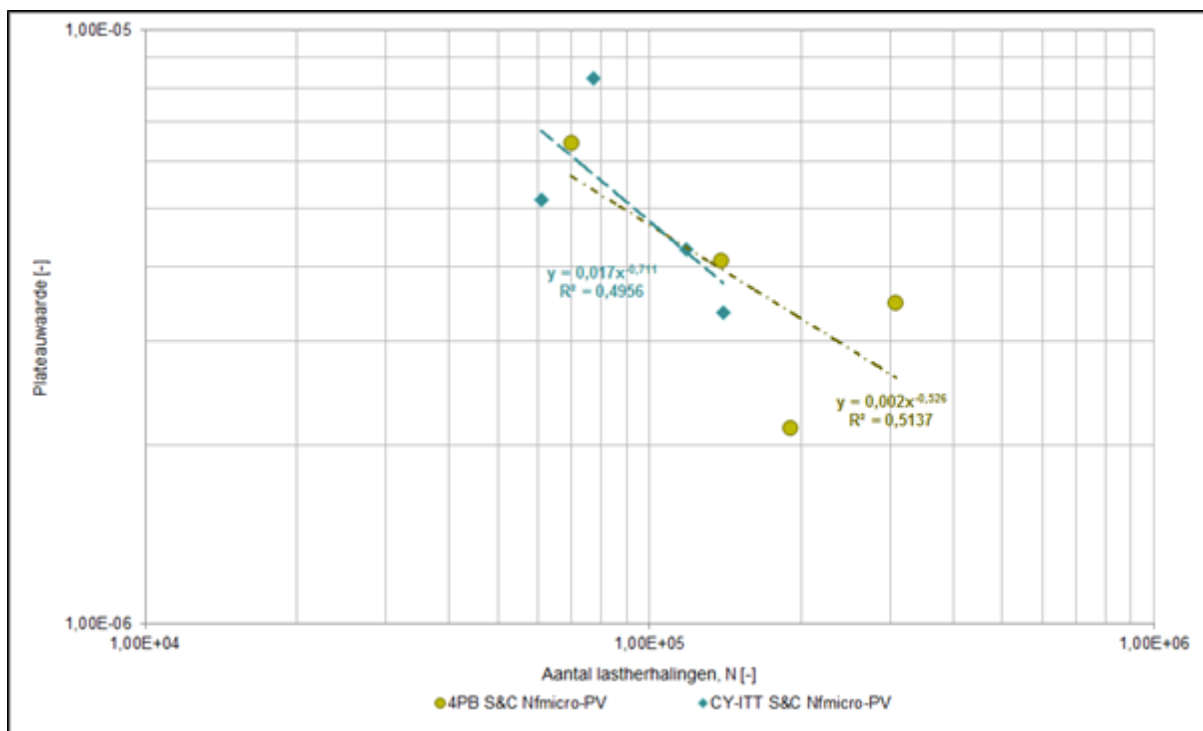
Uit de resultaten van tabel 5 blijkt dat er rekening moet worden gehouden met een structureel verschil tussen de stijfheidsmoduli gemeten met de 4PB en de CY-ITT. Door meer ervaring op te doen met de CY-ITT proef kan, indien nodig, binnen afzienbare tijd de correlatie tussen de 4PB en CY-ITT stijfheidsmoduli worden vastgesteld en gevalideerd.

3.6 Vermoeiingsweerstand

Evenals de stijfheidsmodulus wordt ook de vermoeiingsweerstand in een typeonderzoek gemeten op prismatische proefstukken met de vierpuntsbuigproef. In tegenstelling tot de stijfheidsmodulus melden vele onderzoeken, waaronder [4], een structureel verschil tussen vermoeiing gemeten met de 4PB en CY-ITT. Daarbij komt dat ook goede correlaties nog niet zijn gevonden.

Voor het verifiëren van het vermoeiingsgedrag van gerealiseerd werk op basis van onderzoek op boorkernen wordt gebruik gemaakt van de CY-ITT. De referentie voor de resultaten van deze proeven zou moeten worden verkregen door aanvullend CY-ITT onderzoek ten tijde van de uitvoering van het typeonderzoek van een asfaltmengsel. Dit betekent enerzijds een uitbreiding van het typeonderzoek en daarmee verhoging van de toch al forse kosten, en anderzijds komt het erop neer dat bij acceptatie van de CY-ITT proef pas bij de volgende generatie typeonderzoeken de referentie voor de gerealiseerde vermoeiingsweerstand in het werk beschikbaar is.

Boskalis heeft wellicht een andere oplossing gevonden in de vorm van de theorie van Shen & Carpenter [2]. In [2] wordt gesteld dat middels de meting van de gedissipeerde energie tijdens een vermoeiingsproef en gebruik van de Ratio of Dissipated Energy Change (RDEC) de fundamentele vermoeiingskarakteristiek van een asfaltmengsel kan worden gemeten. Dit betekent volgens Shen & Carpenter dat, ongeacht de proefopstelling, voor een asfaltmengsel dezelfde vermoeiingsweerstand wordt gemeten onder voorwaarde dat de gedissipeerde energie in iedere lastcyclus gelijk is. In [5] worden de resultaten van de eerste verkenningen van de toepassing van de RDEC bij de analyse van 4PB en CY-ITT vermoeiingsonderzoek gepresenteerd. Figuur 1 toont een voorbeeld van de vermoeiingsrelaties die voor de 4PB en CY-ITT worden gevonden als de gedissipeerde energie per lastcyclus in deze proeven min of meer gelijk wordt ingesteld.



Figuur 1: Vermoeiingsrelaties bepaald met S&C analysemethode voor vermoeiing [5]

Na validatie van de toepassing van de RDEC voor het vergelijken van de resultaten van 4PB- en CY-ITT vermoeiingsonderzoek is het mogelijk om de resultaten van de korte vermoeiingsproeven (hoge rek) van het typeonderzoek te gebruiken als referentie voor de vermoeiing die met de CY-ITT proef wordt gemeten op boorkernen uit de weg.

3.7 Bitumenstijfheid

In [3] is reeds de potentie beschreven van het toepassen van de bitumenstijfheid en de mengselsamenstelling voor de theoretische voorspelling van de functionele eigenschappen van een asfaltmengsel. Door de mastercurve van de bitumenstijfheid van asfalt uit het werk te bepalen kunnen met de beschreven methode de gerealiseerde eigenschappen worden voorspeld. Door dit op structurele basis te doen, naast de uitvoering van de functionele proeven, kunnen de theoretische voorspellingsformules verder worden ontwikkeld en geoptimaliseerd. Aan de hand van theoretische voorspellingen kan dan een eerste beoordeling van de gerealiseerde asfaltkwaliteit plaatsvinden. Indien niet aan voor de theoretische voorspellingen nader vast te stellen criteria wordt voldaan, kan dan worden besloten om de functionele proeven uit te voeren.

4. Pilotproject functioneel verifiëren asfalt

4.1 Opzet pilotproject

Zoals reeds beschreven wordt nu al vier jaar gewerkt aan de voorbereiding en ontwikkeling van functioneel verifiëren van asfalt. De ontwikkelingen zijn inmiddels zo ver gevorderd dat het wenselijk is om praktijkervaring op te doen en een database op te bouwen om de verdere ontwikkelingen te kunnen versnellen. Om dit mogelijk te maken (en te kunnen financieren) worden koplopers gezocht die willen participeren in een pilotproject dat voor langere tijd moet lopen.

Het principe van deelname aan het pilotproject is als volgt:

- De deelnemer levert per onderzoek 10 boorkernen van de te beoordelen asfaltlaag geanonimiseerd aan
- De deelnemer levert de relevante eigenschappen uit CE-markeringsinformatie en het verkort verslag van het mengsel aan
- De deelnemer levert de resultaten van de bedrijfscontrole van het mengsel aan
- Boskalis voert het laboratoriumonderzoek en interpretatie van de resultaten uit
- Boskalis levert een rapportage volgens een vast format van ieder onderzoek aan. In dit rapport wordt naast de resultaten van het uitgevoerd onderzoek, indien relevant, ook een voorstel gedaan voor de interpretatie van de resultaten van de functionele verificatie ten opzichte van de gespecificeerde eigenschappen van het betreffende mengsel
- Boskalis verschaft deelnemende opdrachtgevers (geanonimiseerd) periodieke overzichten van alle onderzoeksresultaten in de database
- Boskalis informeert de deelnemers over de voortgang van alle ontwikkelingen ten aanzien van functioneel verifiëren in de vorm van periodieke informatiebijeenkomsten. Uitgegaan wordt aan twee bijeenkomsten per jaar.

Het resultaat van ieder individueel onderzoek levert een deelnemer direct informatie over de functionele kwaliteit van het gerealiseerde asfalt. Dit onderzoek wordt bij voorkeur uitgevoerd op zowel asfalt dat bij de conventionele bedrijfscontrole geen afwijkingen vertoont, als asfalt dat bij de conventionele bedrijfscontrole wel afwijkingen vertoont.

Naarmate er meer data beschikbaar is, zal het inzicht zich ontwikkelen welke aspecten wel, minder of (nagenoeg) niet relevant zijn voor de functionele kwaliteit van asfalt. Iedere deelnemende partij wordt geacht, in alle redelijkheid, een aantal onderzoeken per jaar uit te laten voeren, teneinde aanspraak te kunnen maken op de informatie over alle ontwikkelingen en resultaten van het pilotproject ‘functioneel verifiëren asfalt’.

Eén van de belangrijkste doelen voor deze opzet van een pilotproject is het realiseren van een vlotte voortgang van de ontwikkeling en implementatie van functioneel verifiëren in de Nederlandse wegebouwpraktijk. De resultaten van het onderzoek zijn uiteraard voorbehouden aan alle deelnemende partijen aan het pilotproject. Dit kunnen zowel opdrachtgevers als opdrachtnemers of onderzoeksinstituten zijn, maar een harde voorwaarde voor participatie door andere opdrachtnemers en onderzoeksinstituten is dat 1x per jaar wordt deelgenomen aan een ringonderzoek van alle proeven voor de functionele verificatie van asfalt.

Indien op enig moment de ontwikkeling van functioneel verifiëren collectief wordt opgeschaald, bijvoorbeeld onder auspiciën van CROW, dan wordt er in de basis vanuit gegaan dat de resultaten van dit pilotproject bij dit groter collectief worden ingebracht.

4.2 Kosten per onderzoek

Zoals reeds vermeld worden koplopers gezocht die participeren in het pilotproject ‘functioneel verifiëren asfalt’. Deze deelnemers worden geacht elk enkele onderzoeken per jaar uit te voeren. De uitgangspunten voor de kosten per onderzoek zijn in tabel 6 opgenomen.

Tabel 6: Onderzoek functioneel verifiëren asfalt

Eigenschap	Proef	Aantal
Samenstelling	Extractie, bitumengehalte, korrelverdeling	2
Dichtheid proefstuk	Boven en onder water weging	2
Dichtheid mengsel	Pyknometer	2
Indirecte treksterkte (ITS,cond)	Statische indirecte trekproef	3
Vervormingsweerstand	Triaxiaalproef	3
Vermoeiingsweerstand	Cyclische Indirecte trekproef	3
Stijfheidsmodulus	Cyclische Indirecte trekproef	3
Mastercurve G* & ϕ bitumen	DSR	1

Voor de uitvoering van een onderzoek levert een deelnemer:

- 10 boorkernen Ø 100 mm (of 7 proefstukken Ø 100 mm en 3 Ø 150 mm)
- Relevante eigenschappen uit CE-markeringsinformatie asfaltmengsel
- Relevante eigenschappen uit Verkort Verslag asfaltmengsel
- Resultaten bedrijfscontrole asfaltmengsel
- Circa € 2 500 per onderzoek.

4.3 Communicatie resultaten onderzoek

Iedere deelnemer aan het pilotproject wordt op de volgende wijze geïnformeerd over de resultaten van het onderzoek:

- Rapportage van onderzoeksresultaten per onderzoek, inclusief eventueel advies (zie figuur 2)
- Periodiek overzicht van alle resultaten (geanonimiseerd) in de database
- Twee maal per jaar informatiebijeenkomst ontwikkelingen functioneel verifiëren.

Samenstelling				
Doel-samenstelling	Samenstelling na extractie	Samenstelling boorkern	Samenstelling boorkern	Samenstelling boorkern
C 31,5 C 22,4 C 16 C 11,2 C 8 C 5,6 2 mm 0,5 mm 0,180 mm 0,063 mm Bitumen				
Dichtheid				
Streefdichtheid	Dichtheid typeonderzoek	Dichtheid boorkern	Dichtheid boorkern	Dichtheid boorkern
kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Bitumenstijfheid				
Mastercurve parameters	Mastercurve			
Functionele eigenschappen				
Typeonderzoek	Theoretische voorspelling	Gerealiseerd werk	Gerealiseerd werk	Gerealiseerd werk
ITS _{cond} f _c S _{mix} N _{f,ε}				
Opmerkingen/advies				

Figuur 2: rapportage onderzoek functionele verificatie asfalt

5. Conclusies en aanbevelingen

Na jaren van onderzoek en ontwikkeling is er een set proeven geselecteerd voor het verifiëren van de kwaliteit van gerealiseerd asfaltwerk aan de hand van de functionele eigenschappen. De volgende stap in de ontwikkeling van functioneel verifiëren is het opzetten van een database van resultaten van functionele proeven op asfalt uit het werk. Middels onderzoek en analyse van de resultaten in de database kunnen definitieve protocollen voor functioneel verifiëren voor contractrelaties worden ontwikkeld.

Het meten van stijfheid en vermoeiingsweerstand op boorkernen van asfalt uit het werk ten behoeve van de functionele beoordeling van de gerealiseerde kwaliteit is de grootste uitdaging. De cyclische indirecte trekproef (CY-ITT) blijkt een veelbelovende proef voor dit doel, maar de validatie moet nog plaats vinden. De stijfheid gemeten met de CY-ITT correleert goed met de stijfheid gemeten met de 4PB, maar voor de vermoeiingsweerstand zijn grotere ingrepen nodig. De toepassing van de theorie van Shen en Carpenter, gebaseerd op energiedissipatie tijdens een vermoeiingproef, biedt mogelijkheden om de resultaten van vermoeiingsproeven met de CY-ITT direct te vergelijken met de resultaten van vermoeiingsproeven van het typeonderzoek met de 4PB.

Het opzetten van een pilotproject in de beschreven vorm moet leiden tot een versnelling van de ontwikkeling van functioneel verifiëren voor de wegenbouwpraktijk. Het voordeel van deze opzet is dat koplopers direct kunnen aansluiten en bijdragen aan de ontwikkeling van functioneel verifiëren. Deze deelnemers beschikken met de uitvoering van ieder individueel onderzoek over waardevolle informatie over het functioneel beoordeelde werk en tegelijkertijd wordt de database waarin de resultaten van alle onderzoeken worden opgeslagen gevoed. Deze database is noodzakelijk voor de verdere ontwikkeling van de analyseprotocollen en validatie van functioneel verifiëren. Deelname aan het pilotproject is voor alle geïnteresseerde partijen mogelijk. Aannemers en onderzoekinstituten die zelf onderzoek willen uitvoeren worden wel geacht deel te nemen aan een jaarlijks ringonderzoek voor de hele set proeven.

Functioneel verifiëren is een zeer belangrijke schakel om in geïntegreerde contracten aan te kunnen tonen dat de gerealiseerde kwaliteit van asfalt aan de gespecificeerde eisen op basis van het verhardingsontwerp voldoet. Met de resultaten van functioneel verifiëren is het mogelijk om voor contractrelaties tot een afrekensysteem te komen dat recht doet aan het functionele technische kader voor asfaltverhardingen. De resultaten van het onderzoek op het materiaal uit het werk kunnen namelijk direct als invoer worden gebruikt in verhardingsberekeningen om te toetsen of aan contracteisen is voldaan.

Met de gekozen opzet van het pilotproject is de grootste drempel voor collectief opschalen van dit onderzoek, namelijk het financiële aspect, weggenomen. Het is aan te bevelen om het pilotproject op termijn onder een passende organisatie onder de vlag van CROW onder te brengen.

6. Geraadpleegde bronnen

1. Sluer, B.W, Stigter, J.; Functioneel Verifiëren van Asfaltverhardingen, CROW Infradagen, Papendal, juni 2014
2. Shen, S & Carpenter, S; Dissipated Energy Concepts for HMA Performance: Fatigue and Healing, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois, Urbana, 2007
3. Mohan, S.; Ontwikkelen van een Methodiek voor het Voorspellen van Functionele Eigenschappen van Asfaltmengsels, stageverslag TUDelft, Delft, Februari 2010
4. Ning Li; Asphalt Mixture Fatigue Testing – Influence of Test Type and Specimen Size, proefschrift TUDelft, Delft, 2013
5. Poeran, N, Sluer, B.W.; Analyse van Vermoeingsgedrag met Methode Shen & Carpenter, CROW Infradagen, Papendal, juni 2016
6. Sluer, B.W, Stigter, J.; Samengestelde Appels als referentie voor Dichte Peren, CROW Infradagen, Papendal, juni 2016.