



Boskalis

Functioneel Verifiëren Asfalt

Voorstel pilotproject



Boskalis Nederland BV
 Pondweg 1, 2153 PK Nieuw Vennepe
 Postbus 185, 2150 AD Nieuw Vennepe

Project : Functioneel Verifiëren Asfalt
 Opdrachtgever : Boskalis Nederland Infra
 Zaaknummer : --

Titel : **Voorstel Pilotproject**
 Kenmerk :
 Datum : 30 september 2017
 Status : Definitief
 Revisie : 1.1

Opgemaakt : Berwich Sluer

Rev	Datum	Opgesteld	Controle	Vrijgave	Omschrijving
1.2	30092017	BSL	JST	BSL	Actualisatie proefherhalingen onderzoek
1.1	05062017	BSL	JST	BSL	Diverse onderdelen geactualiseerd
1.0	13012016	BSL	JST	BSL	Definitief

Inhoud

1	Achtergrond	4
2	Ontwikkeling functioneel verifiëren.....	5
3	Voorstel pilotproject functioneel verifiëren asfalt	11
4	Kosten.....	13
Bijlage 1	Artikel CROW-Infradagen 2014.....	16
Bijlage 2	Artikel VBW Asfaltblij 2014	33

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 en 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 pas 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. Over de redenen en noodzaak van functioneel verifiëren is er reeds veel geschreven. In de bijlagen bij deze notitie zijn twee publicaties hierover ter informatie opgenomen.

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

De afdeling Quality, Research & Support (QRS) van Boskalis Nederland Infra houdt zich al sinds 2013 intensief bezig met de voorbereiding en ontwikkeling functioneel verifiëren van asfalt. 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	--
Streefdichtheid	Boven- en onderwater weging
Watergevoeligheid	Indirecte trekproef
Vervormingsweerstand	Triaxiaalproef
Vermoeiingsweerstand	4-punts buigproef
Stijfheidsmodulus	4-punts buigproef

Voor succesvolle functionele verificatie van de eigenschappen van asfalt gelden vier 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 verschillen tussen in het laboratorium gemeten functionele eigenschappen en in het werk gerealiseerde eigenschappen, zijn evenals de mogelijke spreidingen in de gerealiseerde functionele eigenschappen, met grote waarschijnlijkheid anders dan voor de nu gangbare empirische eigenschappen. Dit betekent dat voor functioneel verifiëren de veiligheden (in het ontwerp) en toleranties voor de kwaliteitsbeoordeling moeten worden herijkt, alvorens in de praktijk tot contractuele beoordeling van werken middels functioneel verifiëren kan worden overgegaan.
3. 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.
4. 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) \varnothing 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 \varnothing 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 in het verleden 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-QRS 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 door Boskalis-QRS bij een typeonderzoek op asfaltbeton wordt uitgevoerd.

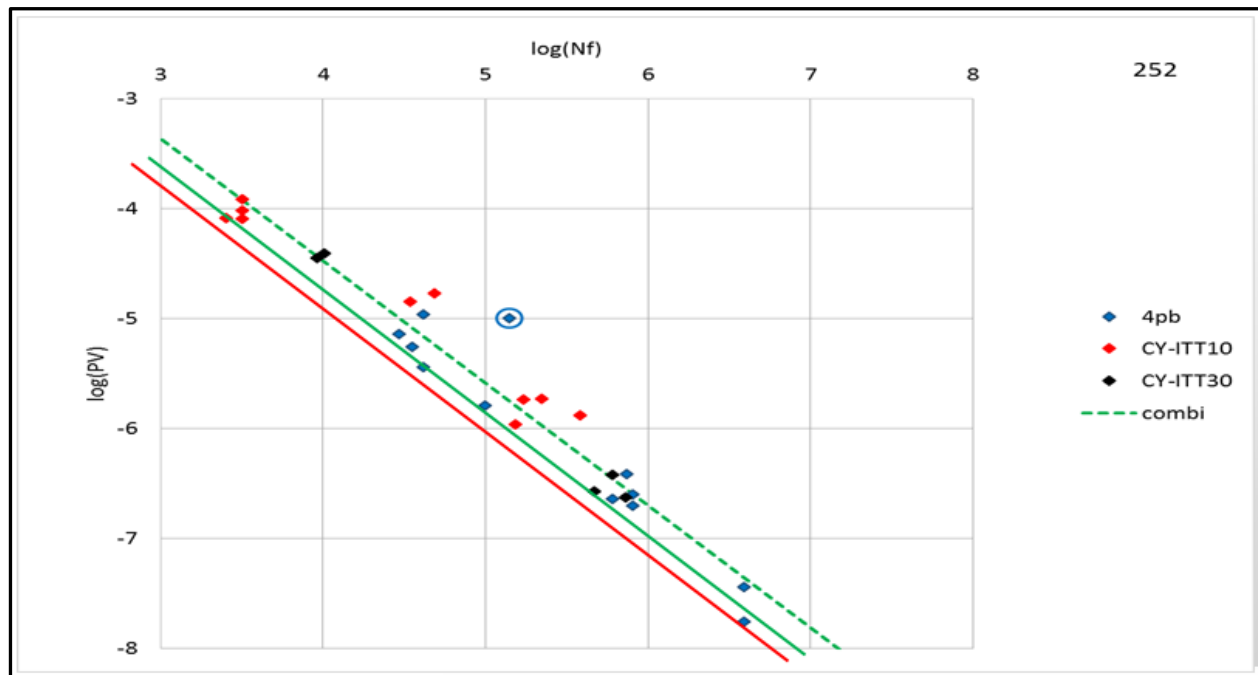
Tabel 2: Proeven functioneel specificeren asfalt Boskalis-QRS

Functioneel specificeren	
Eigenschap	Proef
Doelsamenstelling	Extractie
Streefdichtheid	Boven- en onderwater 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, 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 [1].

De resultaten van een succesvol verificatieonderzoek met deze methode zijn inmiddels beschikbaar. Na afronding van dit onderzoek is de beoogde analyseprocedure door Q-Consult (Jan Telman) wiskundig en statistisch beoordeeld en vastgesteld [2]. Figuur 1 toont de belangrijkste resultaten van dit onderzoek.

Volgens Shen & Carpenter bestaat er voor een asfaltmengsel een lineaire relatie op log-log schaal tussen de vermoeiingslevensduur en de energiedissipatie gemeten in verschillende vermoeiingsproeven. Dit betekent dat het uiteindelijk mogelijk moet zijn om de gerealiseerde vermoeiingseigenschappen van een asfaltmengsel in een werk aan de hand van vermoeiingsonderzoek op boorkernen direct te beoordelen ten opzichte van de vermoeiingseigenschappen die in het typeonderzoek zijn vastgesteld. In figuur 1 is bij wijze van voorbeeld middels de doorgetrokken groene lijn een mogelijk tolerantiegebied en middels de rode doorgetrokken lijn een mogelijke grens voor een kortingsgebied gemarkeerd. Functioneel verifiëren biedt vanwege de objectieve kwantitatieve beoordeling van gerealiseerde eigenschappen van een asfaltmengsel ook nieuwe mogelijkheden om een aannemer te belonen als de gemiddelde verwachtingswaarden voor de eigenschappen worden overtroffen.



Figuur 1: Resultaten analyse vermoeiingsgedrag middels theorie van Shen & Carpenter [2]

Als deze methodiek middels toepassing in de praktijk wordt gevalideerd, is het mogelijk om de resultaten van 4-punts buigproeven en cyclische indirecte trekproeven met elkaar te vergelijken voor functionele verificatie van de gerealiseerde asfaltkwaliteit. Het eerder genoemde referentieonderzoek met de CY-ITT proef is dan, als onderdeel van een typeonderzoek, niet meer nodig.

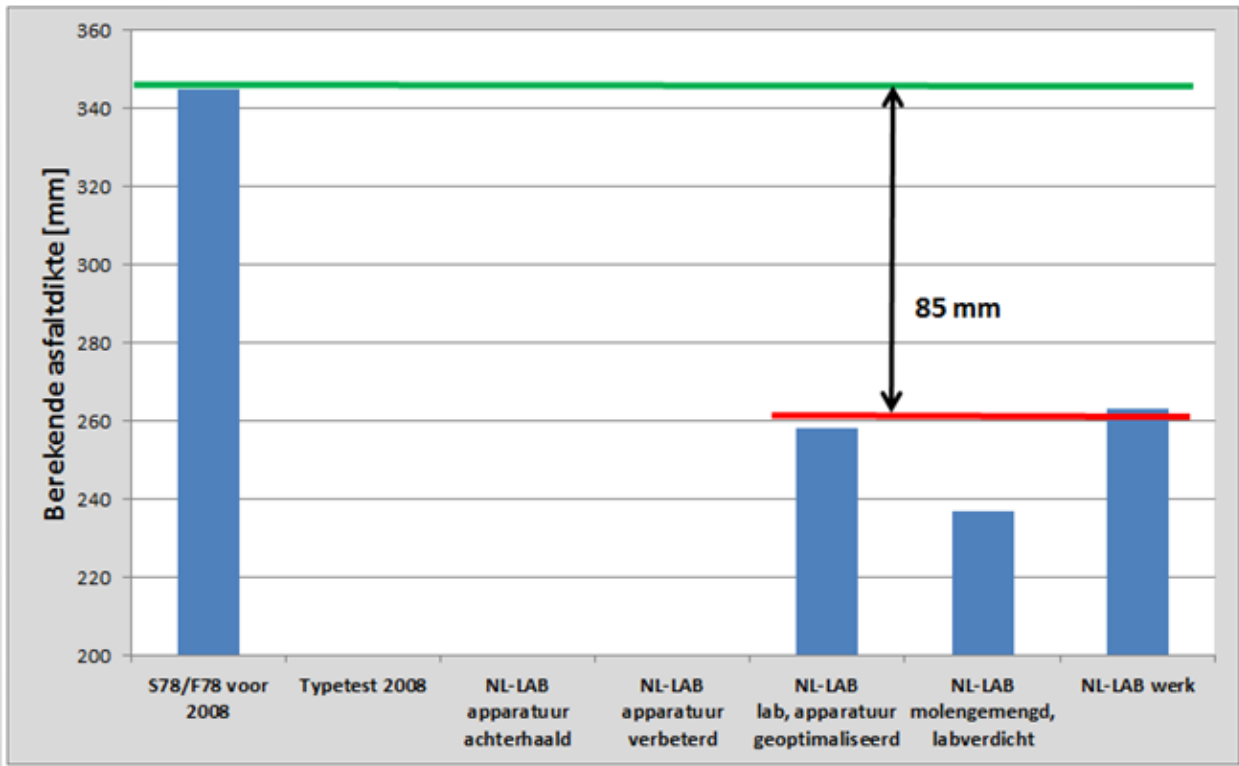
Ad 2

Functioneel verifiëren betreft de beoordeling van de kwaliteit van gerealiseerd werk op basis van daadwerkelijke objectief meetbare mechanische of functionele eigenschappen van het asfalt. Dit betreft een wezenlijk andere benadering dan het beoordelen van de kwaliteit van gerealiseerd werk met het huidige empirische toetsingskader. De eigenschappen van het asfalt die aan de basis hebben gestaan van het constructief ontwerp van een verharding worden nu immers daadwerkelijk gemeten. Aan de hand van harde kwantitatieve gegevens kan worden vastgesteld in welke mate het beoogde ontwerp stand houdt met de daadwerkelijk gerealiseerde asfalteigenschappen. Tekortkomingen kunnen direct worden vertaald in levensduurverkorting, maar nieuw is dat ook betere kwaliteit nu direct te vertalen is in functionele (extra) waarde voor een opdrachtgever.

Voor de succesvolle invoering van functioneel verifiëren voor het beheersen van de kwaliteit van asfalt in contracten is het een absolute noodzaak dat onderzoek plaats vindt naar de te hanteren toleranties voor goed- en afkeur en dat in relatie tot de in het verhardingsontwerp gehanteerde veiligheidsniveaus. Zo wordt bijvoorbeeld sinds de invoering van CE-markering in 2008 de dimensionering van verhardingsconstructies met OIA uitgevoerd op basis van de functionele eigenschappen van het asfalt, zoals gemeten in een typeonderzoek. Vanaf 2008 hebben laboratoriumapparatuur en laboratoriumprocedures zich zo rap ontwikkeld, dat voor een mengsel als bijvoorbeeld conventioneel steenslagasfaltbeton wezenlijk betere eigenschappen in het laboratorium worden gemeten dan vóór

2008 middels de S78/F78 asfaltkarakteristieken werd aangenomen. Figuur 2 toont enkele resultaten van het NL-Lab onderzoek.

Rijkswaterstaat heeft in het verleden geclaimd dat de met S78/F78 berekende laagdikten voor verhardingsconstructies zijn gevalideerd. Als dit het geval is, dan moeten de huidige veiligheden in het verhardingsontwerp dringend worden herzien als er nu tot circa 90 mm kleinere laagdikten worden berekend voor in de basis hetzelfde asfalt.



Figuur 2: Laagdikte verhardingsconstructie met steenslagasfaltbeton vóór en na invoering CE-markering

De vaststelling van de toe te passen toleranties op de gemeten asfalteigenschappen bij functioneel verifiëren staat in directe relatie tot de herijking van de veiligheden in het ontwerp. De veiligheden op de materiaaleigenschappen in het verhardingsontwerp vormen namelijk de basis voor de toe te passen toleranties in de uitvoeringspraktijk.

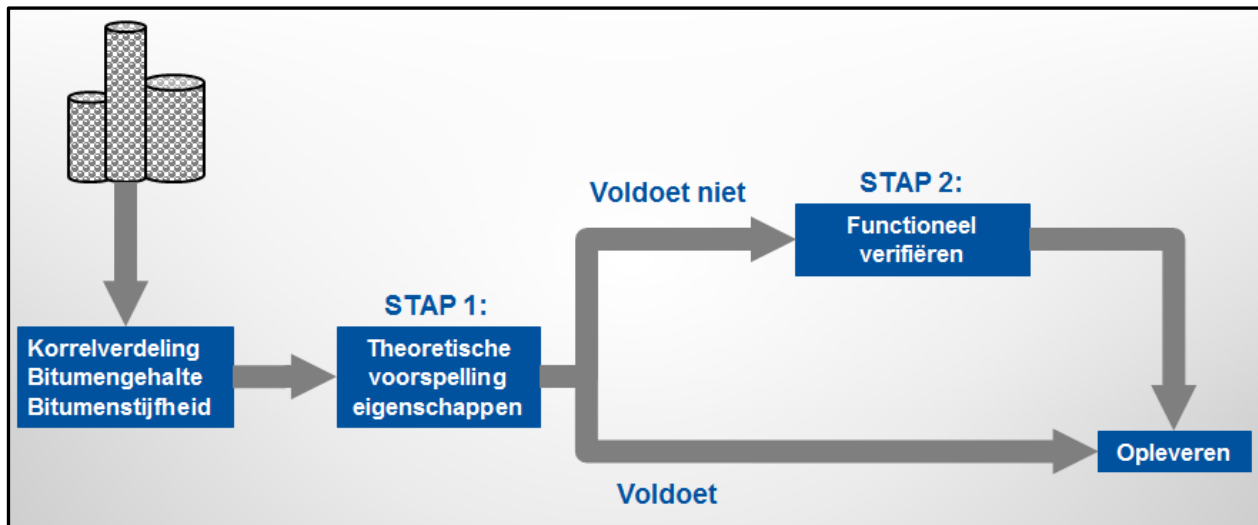
Het kwantitatief vaststellen van de daadwerkelijk geleverde functionele eigenschappen bij functioneel verifiëren opent ook nieuwe wegen voor eerlijke(re) afrekening van tekortkomingen in geleverde asfaltkwaliteit en zelfs bonussystemen bij aantoonbaar geleverde hoge(re) kwaliteit behoren tot de mogelijkheden. Immers, door de op het materiaal uit het werk vastgestelde eigenschappen in te voeren in de ontwerpberoeeningen kan een eventueel surplus aan levensduur aantoonbaar worden vastgesteld.

Ad 3

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 (zie figuur 3).

In het artikel in bijlage 1 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.



Figuur 3: Mogelijk voorstel systeem functioneel verifiëren

Ad 4

Voor het specificeren van de functionele eigenschappen van asfalt wordt voor de stijfheidsmodulus en de vermoeingsweerstand 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
Dichtheid proefstuk	Boven- en onderwater weging
Indirecte treksterkte (ITS)	Statische indirecte trekproef
Vervormingsweerstand	Triaxiaalproef
Vermoeiingsweerstand	Cyclische Indirecte trekproef
Stijfheidsmodulus	Cyclische Indirecte trekproef
Bitumen-/mortelstijfheid	DSR

3 Voorstel pilotproject functioneel verifiëren asfalt

Zoals reeds beschreven is Boskalis-QRS nu al vier jaar bezig met 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 opdrachtgevende instanties ('koplopers') gezocht die willen participeren in een pilotproject dat voor langere tijd zal lopen.

Het principe van deelname is als volgt:

- De opdrachtgever levert per onderzoek 10 boorkernen van de te beoordelen asfaltlaag geanonimiseerd aan
- De opdrachtgever levert de relevante eigenschappen uit CE-markeringinformatie en het verkort verslag van het mengsel aan
- De opdrachtgever levert de resultaten van de bedrijfscontrole van het mengsel aan
- Boskalis-QRS voert het laboratoriumonderzoek en interpretatie van de resultaten uit
- Boskalis-QRS 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-QRS verschaft deelnemende opdrachtgevers (geanonimiseerd) periodieke overzichten van alle onderzoeksresultaten in de database
- Boskalis-QRS informeert de deelnemende opdrachtgevers over de voortgang van alle ontwikkelingen ten aanzien van functioneel verifiëren in de vorm van periodieke informatiebijeenkomsten. Gedacht wordt aan twee bijeenkomsten per jaar.

Het resultaat van ieder individueel onderzoek levert een opdrachtgever 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 in welke aspecten wel, minder of (nagenoeg) niet relevant zijn voor de functionele kwaliteit van asfalt.

Iedere deelnemende opdrachtgever 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'. De kosten per onderzoek zijn in de volgende paragraaf vermeld.

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.

Het voordeel van deelname middels pilotprojecten voor koplopers onder de opdrachtgevers is dat er daadwerkelijk kennis wordt opgebouwd voor het vormgeven van de eigen contractbeheersingsstrategie bij invoering van functioneel verifiëren.

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 Kosten

Zoals reeds vermeld worden ten minste drie opdrachtgevers gezocht die participeren in het pilotproject 'functioneel verifiëren asfalt'. Deze opdrachtgevers worden geacht elk enkele onderzoeken per jaar uit te voeren. De uitgangspunten voor de kosten per onderzoek zijn in tabel 4 opgenomen.

Tabel 4: Onderzoek functioneel verifiëren asfalt

Eigenschap	Proef	Aantal
Samenstelling	Extractie, bitumengehalte, korrelverdeling	1
Dichtheid proefstuk	Boven- en onderwater weging	9
Dichtheid mengsel	pyknometer	1
Indirecte treksterkte (ITS,cond)	Statische indirecte trekproef	3
Vervormingsweerstand	Triaxiaalproef	2
Vermoeiingsweerstand	Cyclische Indirecte trekproef	4
Stijfheidsmodulus	Cyclische Indirecte trekproef	4
Bitumenstijfheid + mastercurve	DSR	1

Participeren als opdrachtgever

Voor de uitvoering van een onderzoek levert een opdrachtgever:

- 10 boorkernen \varnothing 100 mm
- Relevante eigenschappen uit CE-markeringsinformatie asfaltmengsel
- Relevante eigenschappen uit Verkort Verslag asfaltmengsel
- Resultaten bedrijfscontrole asfaltmengsel
- € 3 000 per onderzoek.

De opdrachtgever krijgt van Boskalis-QRS:

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

Participeren als wegenbouwbedrijf of onderzoeksinstituut

Voor deelname aan dit project gelden voor een opdrachtnemer of onderzoeksinstituut de volgende voorwaarden:

- Het onderzoek wordt volgens de vastgestelde procedures zelf door de deelnemer uitgevoerd
- De data van het onderzoek wordt aangeleverd voor opname in de centrale database
- Leveren van corresponderende relevante eigenschappen uit CE-markeringsinformatie asfaltmengsel
- Leveren van relevante eigenschappen uit Verkort Verslag asfaltmengsel
- Leveren van relevante resultaten bedrijfscontrole asfaltmengsel
- Deelname aan een periodiek ringonderzoek voor de functionele proeven
- Eenmalige bijdrage in de ontwikkelkosten voor de onderzoeksprocedures van € 4 500.

De opdrachtnemer of het onderzoeksinstituut krijgt van Boskalis-QRS:

- Periodiek overzicht van alle resultaten (geanonimiseerd) in de database
- De mogelijkheid om zelf analyses uit te (laten) voeren op de gehele database
- Twee maal per jaar informatiebijeenkomst ontwikkelingen functioneel verifiëren.

5 Literatuur

1. Shen, S. & Carpenter, S., Dissipated energy concepts for HMA performance: fatigue and healing, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois, Maart 2007, Urbana (IL)
2. Telman, Jan, Verificatie RDEC methodiek voor karakterisering asfaltvermoeiing, Q-Consult Progress Partners, 18 april 2017, Waardenburg

Bijlage 1 Artikel CROW-Infradagen 2014

Functioneel verifiëren asfaltverhardingen

Berwich Sluer
Boskalis Nederland BV

Jan Stigter,
Boskalis Nederland BV

Samenvatting

Nederland heeft bij de invoering van CE-markering voor asfalt gekozen voor de functionele benadering voor asfaltbeton. Dit houdt in dat asfalt gespecificeerd en beoordeeld wordt op basis van mechanische eigenschappen die representatief zijn voor het werkelijke gedrag van het materiaal in de weg. Met de invoering de functionele benadering voor CE-markering alleen is Nederland er echter nog niet. Ten eerste gelden de eigenschappen bij CE-markering voor de asfaltspecie die aan de poort van de asfaltproducent wordt geleverd, waarmee niet automatisch geldt dat ook na verwerking in de constructie minimaal dezelfde prestaties worden geleverd. Ten tweede worden de bepalende mengselbestanddelen voor het gedrag van asfalt nog steeds empirisch gespecificeerd, waardoor een asfaltemensel ondanks de aanwezigheid van deze bestanddelen toch wezenlijk ander gedrag in de verharding kan vertonen dan bij het typeonderzoek is vastgesteld. En ten derde vindt de controle en beoordeling van het verwerkte materiaal in de weg plaats op basis van onderzoeksmethoden die in het oude empirische tijdperk zijn ontwikkeld. Het is na de invoering van de functionele benadering voor CE-markering van asfalt nu tijd om de volgende stap te zetten, namelijk functioneel verifiëren van het geleverde product. Functioneel verifiëren houdt in dat op basis van functionele proeven op het asfalt na verwerking wordt beoordeeld of het geleverde product, binnen nader te stellen toleranties, voldoet aan de specificaties overeenkomstig het typeonderzoek.

In deze paper worden vier verschillende methoden onderscheiden om functioneel te verifiëren, namelijk door middel van het gebruik van correlaties op basis van indicatieve proeven, het gebruik van theoretische voorspellingsmethoden, het gebruik van functionele proeven en de toepassing van niet destructieve in situ meetmethoden. In situ methoden zijn nu nog niet voorhanden en komen verder niet aan bod, maar de overige drie methoden worden beschreven en aanbevelingen voor functioneel verifiëren worden gedaan.

Achtergrond

Nederland heeft bij de invoering van de Europese regelgeving voor asfalt in 2008 gekozen voor de functionele benadering voor asfaltbeton. Het gevolg van deze keuze is dat de laatste jaren ontzettend veel inzicht is verkregen in het gedrag van asfalt en de wijze waarop met dit materiaal moet worden omgegaan bij het ontwerp en de beoordeling van verhardingsconstructies. Vijf jaar na de invoering van CE-markering voor asfalt is het meerjarig onderzoeksprogramma FEC2.0 gestart, waarin onderzocht wordt in welke mate met de gekozen functionele benadering de resultaten van typeonderzoeken in het laboratorium representatief zijn voor de asfalteigenschappen die in de praktijk in het werk worden gerealiseerd. De verwachting is dat de resultaten van dit onderzoek de mate waarin het praktijkgedrag van asfalt door middel van laboratoriumonderzoek voorspeld kan worden nog verder zal vergroten.

Toch zijn er ook een aantal kanttekeningen te plaatsen bij de wijze waarop tot nu toe de functionele benadering van asfalt op Europees niveau is uitgewerkt. Dit betreft met name de wijze van specificeren van de bestanddelen van het asfalt die bepalend zijn voor het mechanisch gedrag ervan en dientengevolge ook de wijze van beoordelen van de gerealiseerde kwaliteit in het werk. Het is nog enigszins begrijpelijk dat op basis van de stand der techniek in 2008 besloten is om bij CE-markering voor asfalt alleen eisen te stellen aan de asfaltspecie tot aan de poort van de asfaltproducent, maar een asfaltverharding beschikt pas over de gewenste eigenschappen nadat het asfalt in de juiste laagdikte op correcte wijze is verwerkt in de verhardingsconstructie. En dan is er onherroepelijk de vraag hoe nu de afnemer van het asfalt ervan verzekerd is dat het geleverde product ook echt over de eigenschappen beschikt die op de verstrekte mengselinformatiedocumenten zijn verklaard.

Typeonderzoek en asfalt in het werk

In een typeonderzoek van asfalt worden nu de volgende eigenschappen bepaald om het materiaal (asfaltbeton) te karakteriseren: stijfheidsmodulus, vermoeingsweerstand, vervormingsweerstand en watergevoeligheid op basis van splijtsterkte.

Hoewel er uiteraard nog altijd wat te wensen valt, levert deze set van asfalteigenschappen een redelijk betrouwbaar beeld van daadwerkelijke prestaties die van het materiaal verwacht mogen worden bij toepassing in een verhardingsconstructie in de praktijk. Belangrijk hierbij is dat de door de asfaltproducent verklaarde eigenschappen van een asfaltmengsel onlosmakelijk verbonden zijn met de doelsamenstelling ervan en de dichtheid van het mengsel in de proefstukken waarop het typeonderzoek is uitgevoerd. Er wordt nu immers nog vanuit gegaan dat de functionele eigenschappen van een asfaltmengsel bepaald worden door de (streef)dichtheid van de proefstukken en de (doel)samenstelling van het mengsel.

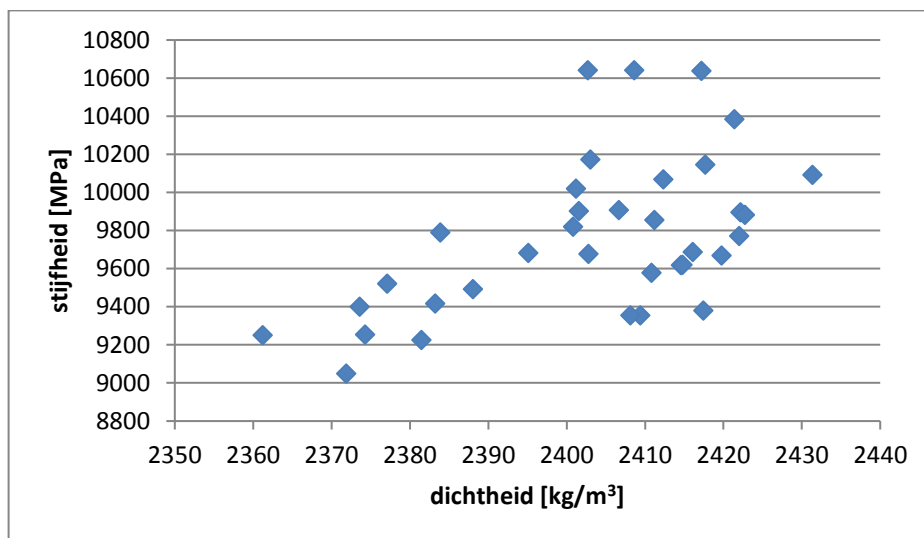
Na bijna zes jaar ervaring met het werken met functionele eigenschappen van asfalt is echter ook vast komen te staan dat de eigenschappen van de samenstellende bouwstoffen (bitumen, vulstof asfaltgranulaat, additieven etc.), wellicht nog meer dan de samenstelling en dichtheid, de functionele eigenschappen van het asfalt bepalen [1]. En hier begint langzaam in de praktijk in contractrelaties tussen opdrachtgevers en opdrachtnemers de schoen te wringen. De keuze en aankoop van asfalt vindt plaats op basis van de eigenschappen die door de producent in concreto zijn verklaard voor de specie, maar de controle van het verwerkte asfaltbeton in het werk wordt nog steeds uitgevoerd op basis van laagdikte, holle ruimte/verdichtingsgraad en samenstelling (korrelverdeling en bitumengehalte).

Maar is dit (nog) de juiste weg?

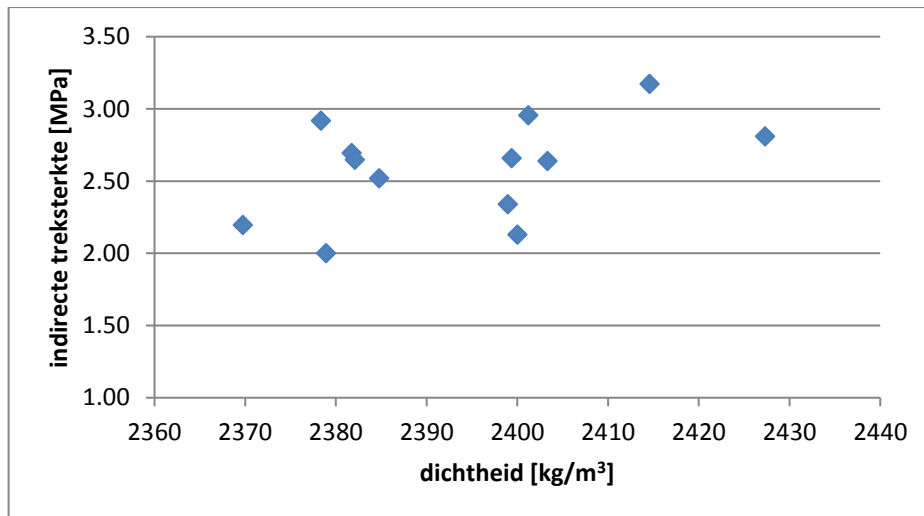
Relatie samenstelling, dichtheid/holle ruimte en functionele eigenschappen

Onderzoek in het kader van CIENA [2] om inzicht te krijgen in de mate waarin de functionele eigenschappen van asfaltmengsels worden beïnvloed door variaties in samenstelling en dichtheid tot buiten de toleranties heeft uitgewezen dat deze beide parameters op basis van die specifieke onderzoeksresultaten helemaal niet zo bepalend zijn voor de functionele eigenschappen van het asfalt. Wat zegt dit dan over de betrouwbaarheid van de uitspraken die worden gedaan over de kwaliteit van verwerkt asfalt als de controle alleen plaats vindt op basis van de beoordeling van samenstelling en dichtheid/verdichtingsgraad/holle ruimte? Is het wel terecht om verwerkt asfalt af te keuren enkel omdat er afwijkingen zijn in de samenstelling of omdat de dichtheid, holle ruimte of verdichtingsgraad afwijkt van de richtlijnen die in het empirische tijdperk zijn vastgesteld?

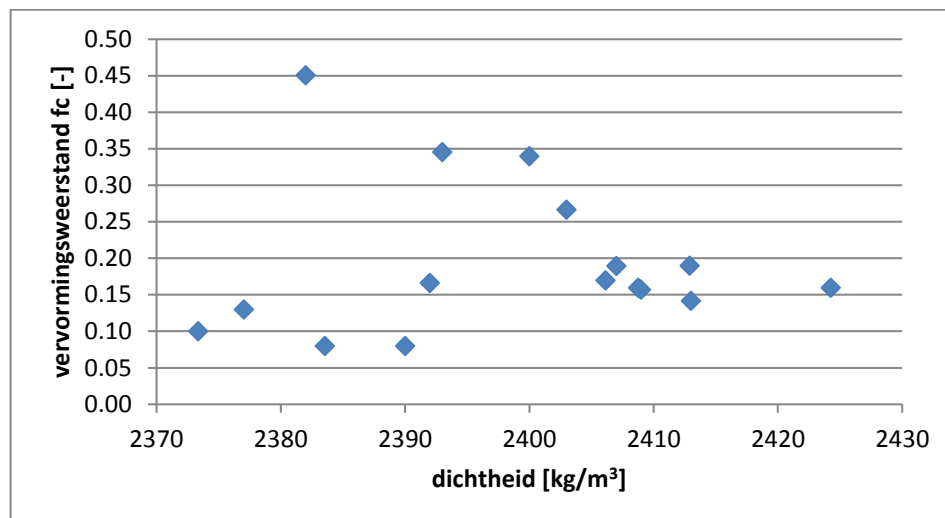
Momenteel loopt het eerder genoemde FEC2.0 onderzoek. Als er al twijfel was over de voorspellende waarde van de dichtheid/verdichtingsgraad/holle ruimte van een mengsel voor de functionele eigenschappen daarvan, dan roepen de gepresenteerde ‘relaties’ in figuur 1 t/m 3, gebaseerd op data van FEC2.0, andermaal de vraag op of de kwaliteit van verwerkt asfalt wel (alleen) aan de hand van deze parameters kan worden beoordeeld.



Figuur 1: Voorbeeld resultaten van stijfheidsmodulus tegen dichtheid



Figuur 2: Voorbeeld resultaten van indirecte treksterkte tegen dichtheid



Figuur 3: Voorbeeld resultaten van vervormingsweerstand tegendichtheid

Op basis van de onderzoeksresultaten die in de drie figuren zijn getoond mag toch wel voorzichtig worden geconcludeerd dat er vrijwel geen relatie te zien is tussen de dichtheid (en daarmee ook holle ruimte of verdichtingsgraad) en de functionele eigenschappen van het asfalt.

Eigenschappen samenstellende delen van asfalt

Zoals eerder reeds gesteld is na ruim vijf jaar op grote schaal werken met functionele eigenschappen van asfalt vast komen te staan dat naast de samenstelling en de dichtheid van een mengsel, vooral de (functionele) eigenschappen van de samenstellende delen van het asfalt het gedrag van het mengsel in de praktijk bepalen. Toch wordt bij de beoordeling van de kwaliteit van het geleverde product asfalt in een werk niet gekeken naar eigenschappen die daadwerkelijk inzicht geven of de functionele eigenschappen minimaal gelijkwaardig zijn aan de vereiste prestaties conform het verhardingsontwerp.

In de NEN-EN 13108-20 [3] en de Standaard RAW-Bepalingen 2010, proef 62 [4] zijn criteria beschreven voor situaties waarin een wijziging in de samenstellende delen van asfalt leidt tot de

noodzaak voor het uitvoeren van een nieuw typeonderzoek. Andersom geredeneerd, in het licht van deze paper, is in de beide documenten beschreven onder welke omstandigheden een typeonderzoek nog geldig is, ondanks een wijziging of variatie in de eigenschappen van de samenstellende delen. Een typeonderzoek is geldig zolang:

- Bitumentype en bitumengrade gelijk zijn
- Het mineralogisch type, voor Nederland merk en grondstoffen, van vulstof gelijk is/zijn
- Het petrografisch type van steenslag gelijk is
- De samenstelling van eventueel toegepast asfaltgranulaat binnen gestelde toleranties gelijk is en de hoeveelheid asfaltgranulaat binnen gestelde grenzen gelijk is
- Toegepaste additieven gelijk zijn.

Het is opvallend dat uit onderzoek blijkt dat de eigenschappen van de samenstellende delen in grote mate de eigenschappen van het asfalt bepalen, maar dat bij de controle van het geleverde product in het werk er helemaal geen onderzoek wordt gedaan naar de functionele eigenschappen van het geleverde asfalt.

Bepalende bestanddelen voor het gedrag van asfalt worden momenteel in de Europese normen onvoldoende of onjuist gespecificeerd, waardoor de samenstelling en dichtheid van een mengsel (nog) binnen de tolerantie van de doelsamenstelling van het typeonderzoek kunnen vallen, maar waarbij de werkelijke functionele eigenschappen van typeonderzoek en materiaal in het werk mijlenver uit elkaar kunnen liggen.

Volgens de huidige regels staat het een asfaltproducent vrij om paraffinische en naftenische penetratiebitumen uit te wisselen in een werk op basis van een enkel typeonderzoek met slechts één van de twee bitumina. Er wordt vanuit de regelgeving nu nog vanuit gegaan dat de asfaltmengseleigenschappen van de geleverde asfaltmengsels gelijk zijn.

Als de samenstelling van een composietvulstof verandert vanwege wijzigingen in de beschikbaarheid van de grondstoffen van die vulstof, dan moeten volgens de regels alle typeonderzoeken van het asfalt met die vulstof opnieuw worden uitgevoerd. Het is maar de vraag of dit ook echt nodig is als aangetoond kan worden dat een wijziging in de samenstelling of grondstoffen in een vulstof geen consequenties heeft voor het functioneel gedrag van het asfalt.

Voor asfaltgranulaat is de penetratie van het teruggewonnen bindmiddel een leidende parameter om het materiaal te karakteriseren. Volgens de huidige Nederlandse regels kan, zolang de penetratie van het teruggewonnen bindmiddel gelijk is, granulaat van bijvoorbeeld polymeer gemodificeerd asfalt vrijelijk worden uitgewisseld met asfaltgranulaat met penetratiebitumen.

Bovenstaande voorbeelden tonen aan dat bij de keuze voor de functionele benadering voor het specificeren en beoordelen van asfalt ook de eigenschappen van de samenstellende delen functioneel gekarakteriseerd moeten worden om de doelmatigheid en veiligheid van de uiteindelijk te realiseren verhardingsconstructies te borgen.

In een recent gestarte taakgroep Bitumen slaan de Vakgroep Bitumineuze Werken (VBW) en de bitumenindustrie de handen ineen om het functioneel specificeren van bitumen ter hand te nemen.

Evenzo hebben in een recent gestarte taakgroep Vulstof de VBW en de vulstofleveranciers de handen ineen geslagen om het functioneel specificeren van vulstof ter hand te nemen. Maar ook van asfalt granulaat moeten wellicht functionele parameters worden bepaald om de invloed van wijzigingen in het granulaat op de eigenschappen van het asfalt beter te beheersen.

Feit is dat er meer dan voldoende aanwijzingen zijn dat een bij controle vastgestelde asfaltsamenstelling en dichtheid/holle ruimte/verdichtingsgraad geen enkele zekerheid bieden dat het geleverde asfalt daadwerkelijk de vereiste prestaties kan leveren.

Onvrede bij opdrachtgevers

Opdrachtgevers uiten tegenwoordig steeds vaker twijfels of het geleverde asfalt wel over de eigenschappen beschikt conform de aangeleverde CE-markeringsinformatie en het Verkort Verslag. Men heeft het gevoel grip te verliezen op de kwaliteit van de prestaties van de aannemerij, waarbij met name de kwaliteit van geleverde producten als asfalt punt van discussie is.

Op verschillende manieren wordt geprobeerd de grip weer enigszins terug te krijgen. Zo is in CROW-verband het initiatief geweest om een handboek 'Best Practices' samen te stellen, waarin door de aannemerij onder meer zou moeten worden vastgelegd hoe op aantoonbare en verifieerbare wijze 'goed asfalt' gerealiseerd wordt.

Een ander, wat abstracter, initiatief is de ontwikkeling en toepassing van een 'EMVI-performance meter', waarmee de prestaties van de aannemer verbeterd zouden moeten worden. Deze twee initiatieven richten zich nog op het aan de voorzijde verbeteren van de prestaties van een aannemer. Een derde initiatief, dat absoluut niet meer past in de huidige Nederlandse praktijk, is de toepassing van een repressief kortingsregelsysteem dat door KOAC-NPC uit de volledig empirisch gebaseerde Belgische wegebouwpraktijk, waar het vertrouwen tussen opdrachtnemers en opdrachtgevers relatief gering is, is overgenomen.

Deze ontwikkelingen roepen de vraag op waarom verbeteringen niet eerst aan de basis worden gezocht, te beginnen bij het beter waarborgen dat de vereiste en gerealiseerde eigenschappen of prestaties van materialen als asfalt met elkaar in overeenstemming zijn.

Functioneel verifiëren

Het is hoog tijd om in navolging van de keuze om asfalt functioneel te specificeren nu ook de volgende stap te zetten en over te gaan tot het functioneel verifiëren van asfalt. Met functioneel verifiëren wordt bedoeld dat ook de controle van de eigenschappen en prestaties van het verwerkte product asfalt wordt uitgevoerd aan de hand van methoden en technieken die over deze eigenschappen en prestaties betrouwbare informatie opleveren.

Er zijn vier verschillende methoden te onderscheiden om functioneel te verifiëren, namelijk:

1. Het gebruik van correlaties op basis van indicatieve proeven
2. Het gebruik van theoretische voorspellingsmethoden
3. Het gebruik van functionele proeven
4. Het gebruik van in situ meetmethoden .

Criteria voor correlaties op basis van indicatieve proeven:

- De proef moet bij voorkeur met meerdere functionele eigenschappen van asfalt een betrouwbare (cor)relatie vertonen

- De proef moet eenvoudig en snel zijn uit te voeren
- Uitvoering op kernen uit de weg

Criteria of theoretische voorspellingsformules:

- Voorspellingskracht voor werkelijke eigenschappen op basis van (volumetrische) samenstelling en dichtheid
- Betrouwbaarheid en gevoeligheid van (cor)relaties voor variaties in samenstelling

Criteria voor het gebruik van functionele proeven:

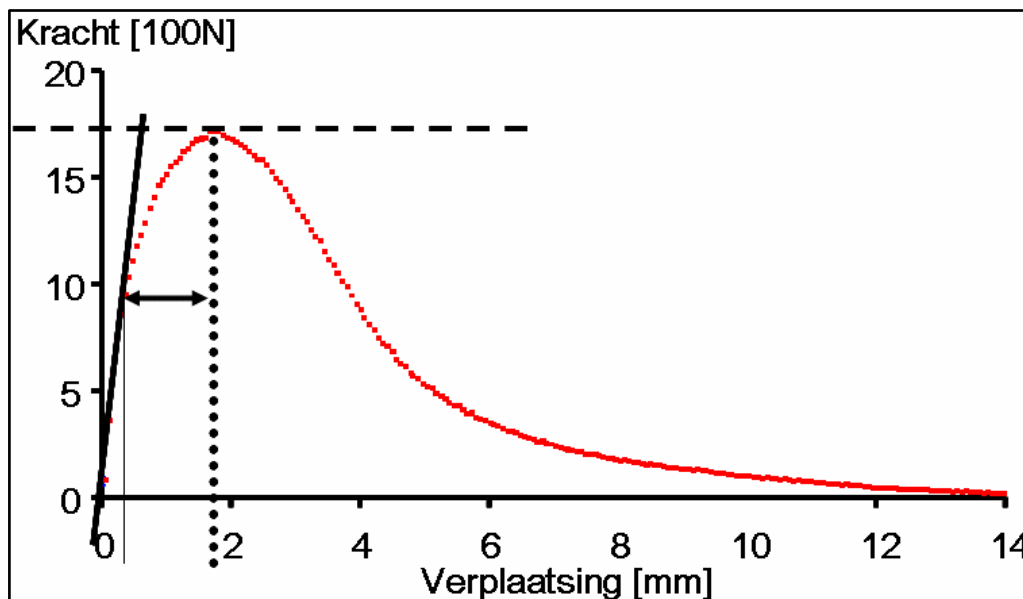
- Uitvoering op kernen uit de weg
- Tijdsduur voor besterven en beproeven
- Reproduceerbaarheid en herhaalbaarheid
- Voorspellingskracht voor werkelijke eigenschappen

In de navolgende paragrafen wordt op alle drie genoemde methoden nader ingegaan. Het gebruik van in situ methoden voor de beoordeling van functionele eigenschappen komt in het vervolg niet aan de orde, omdat er nog geen geschikte proeven beschikbaar zijn.

Indicatieve proeven voor functioneel verifiëren

Een mogelijk voorbeeld van indicatieve proef die bij het functioneel verifiëren kan worden gebruikt is de indirecte trekproef. In [5] is over de proef het volgende geschreven:

De indirecte trekproef wordt hier als voorbeeld uitgebreid aan de orde gesteld als indicatieve proef. Daarbij is van belang welke informatie uit de proefresultaten van deze eenvoudige proef valt te halen. In figuur 4 is het verloop van een indirecte trekproef grafisch weergegeven.



Figuur 4: Voorbeeld resultaat indirecte trekproef

Hieronder volgen een aantal indicaties c.q. mogelijkheden van interpretatie van proefresultaten. Deze indicaties zijn kwalitatief.

- *Is het materiaal te slap (breekt bij kleine kracht), dan zal het een geringe weerstand tegen deformatie hebben. Is het sterk, dan is niet gezegd hoe goed deze weerstand is. In figuur 4 is de sterkte van het materiaal 1700 N.*
- *Uit dezelfde proef kan ook een indicatie voor de stijfheid van het mengsel verkregen worden. Deze indicatie volgt uit de helling aan het begin van de kracht-verplaatsingscurve. In figuur 4 is dat de helling van de lijn door de oorsprong. Is deze helling groot (veel kracht nodig voor een kleine verplaatsing), dan is de stijfheid hoog. Hoe groot precies kan pas vastgesteld worden in de vierpuntsbuigopstelling.*
- *Een indicatie voor de vervormingsgevoeligheid wordt gegeven door de verplaatsing tussen het moment dat de lijn met bovenbedoelde helling groter wordt dan de kracht en het moment van het halen van het maximum. In figuur 4 is deze verplaatsing aangegeven met de liggende horizontale pijl.*
- *Bovendien kan uit de proef het oppervlak bepaald worden van het gebied onder de curven en tot het maximum van die curve. Is dit oppervlak groot (groter) dan is er een goede kans dat de vermoeiingslevensduur lang (langer) is.*

Over de betrouwbaarheid van deze beschrijving wordt in deze paper geen uitspraken gedaan, omdat het toepassen van de indirecte trekproef als indicatieve proef voor functioneel verifiëren nog veel nader onderzoek vereist. Ondanks dit voorbeeld ligt het niet voor de hand om de toepassing van indicatieve proeven voor functioneel verifiëren een hoge prioriteit toe te kennen.

Theoretische voorspellingsmethode voor functioneel verifiëren

De toepassing van betrouwbare theoretische voorspellingsmethoden voor de beoordeling van functionele eigenschappen van een asfaltmengsel lijkt veel interessanter. Voorwaarde hierbij is uiteraard dat het voorspellingsmodel, naast betrouwbaar, ook voldoende gevoelig moet zijn voor variaties in de samenstelling en eigenschappen van asfaltmengsels en de bouwstoffen daarin. In 2010 is bij BAM Wegen door Mohan [6] gewerkt aan de doorontwikkeling van een bestaand voorspellingsmodel. De belangrijkste verbetering van dit model betrof het vervangen van de penetratie van het bindmiddel als belangrijke voorspellende parameter door de gemeten dynamische bitumenstijfheid. In het navolgende zijn enkele van de resultaten uit [6] ter illustratie van de mogelijkheden van theoretische voorspellingsmodellen beschreven.

Het model start met de berekening van de volumetrische samenstelling van een asfaltmengsel, die de basis vormt voor de voorspelling van de functionele eigenschappen. Tabel 1 en 2 tonen voor twee mengsels de berekende volumetrische samenstellingen. In deze tabellen staat 'samenstelling' voor de berekende volumetrische samenstelling, 'BAM' voor de gemeten volumetrische samenstelling en 'Prado' voor de berekende volumetrische samenstelling volgens het Belgische mengselontwerpsysteem PRADO.

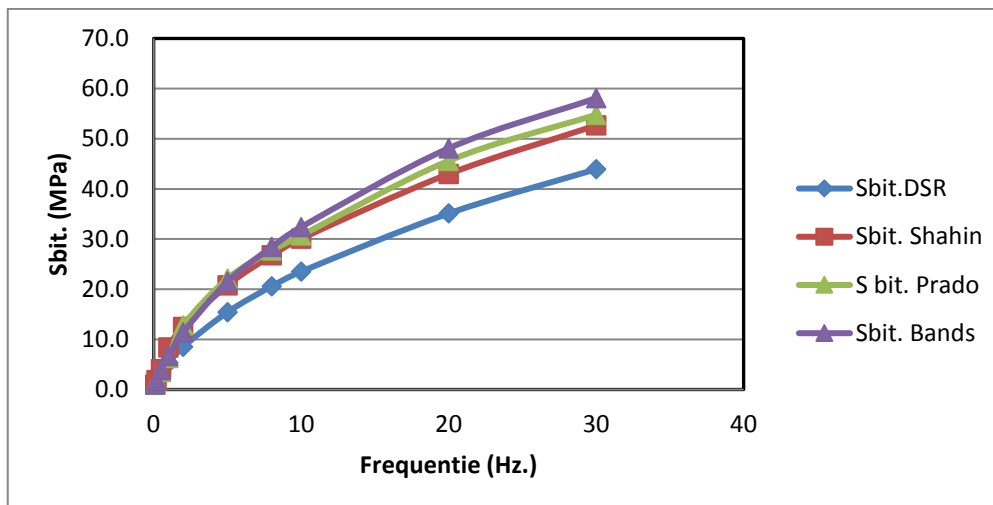
Tabel 1: voorbeeld (typetest A) voorspelling volumetrische samenstelling

Component	Samenstelling	BAM	Prado
Va (%)	3,6	2,1	2,1
Vb (%)	13,1	13,1	15,5
Vg (%)	83,4	83,4	82,5
VFB (%)	78,2	86,4	88,0
Dichtheid mengsel (kg/m ³)	2423	2384	2388

Tabel 2: voorbeeld (typetest B) voorspelling volumetrische samenstelling

Component	Samenstelling	BAM	Prado
Va (%)	4,3	4,1	4,1
Vb (%)	10,5	10,5	11,2
Vg (%)	85,31	85,31	84,7
VFB (%)	70,8	72,0	73,2
Dichtheid mengsel (kg/m ³)	2461	2455	2452

Figuur 5 toont de resultaten van de voorspelling van de bitumenstijfheid op basis van de empirische eigenschappen als de Penetratie en de met de Dynamic Shear Rheometer (DSR) gemeten bitumenstijfheid. Uit de figuur blijkt dat drie gehanteerde voorspellingsmethoden de bitumenstijfheid overschatten, vergeleken bij de gemeten bitumenstijfheid Sbit,DSR. Voor de voorspelling van de functionele eigenschappen is in [6] verder dan ook uitgegaan van de gemeten bitumenstijfheid in plaats van de voorspelde waarden.



Figuur 5: Sbit-waarden bij 20°C bitumen 40/60

In tabel 3 zijn de resultaten opgenomen van de voorspelling van de stijfheidsmoduli van asfalt vervaardigd met verschillende bitumengrades. Het verschil in stijfheid van de twee mengsels met 40/60 bitumen is het gevolg van de toepassing van asfaltgranulaat in het ene mengsel, terwijl het andere uit enkel nieuwe materialen bestaat.

De voorspelling van de stijfheid van een asfaltmengsel conform de methodiek in [6] blijkt zeer veelbelovende resultaten op te leveren. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de voor betrouwbare voorspellingen de glasmodulus (G_{∞} -waarde) van de bitumen als invoerwaarde bekend moet zijn.

In het onderzoek zijn, afhankelijk van het type bitumen, de volgende waarden aangehouden voor de glasmodulus:

Bitumen 70/100 : 330 MPa
 Bitumen 40/60 : 450 MPa
 Bitumen 1/10 : 830 MPa

Tabel 3: Berekende S_{mix} waarden bij verschillende G_{∞} -waarden en 20°C, 8Hz

		Voorspellingen S_{mix}				
		$G_{\infty} = 1000$	$G_{\infty} = 750$	$G_{\infty} = 500$	$G_{\infty} = 250$	
Type test	Bitumen	S_{mix} (MPa)	S_{mix} (MPa)	S_{mix} (MPa)	S_{mix} (MPa)	S_{mix} 4pb,BAM
TT 78	40/60	4162	4936	6214	8960	6528
TT 56	40/60	7649	8855	10752	14493	11175
TT 76	70/100	2774	3334	4274	6357	5492
AC 1/10	1/10	16068	18102	21197	27009	17906

In tabel 4 zijn de resultaten opgenomen van de voorspelling van de rek bij 1 miljoen lastherhalingen (ϵ_6) voor 23 asfaltmengsels. Voor deze mengsels zijn tevens de ϵ_6 -waarden die in de desbetreffende typeonderzoeken door BAM Wegen zijn gemeten weergegeven. De afwijkingen tussen de voorspelde en gemeten waarden zijn in het algemeen uitermate laag, waarmee ook voor vermoeiing kan worden geconcludeerd dat de gehanteerde voorspellingsmethode zeer veelbelovend is.

Tabel 4: Vergelijking ε_6 waarden

Type test	ε_6 voorspeld	ε_6 BAM	Afwijking (%)
TT12	122	116	-5
TT13	123	121	-2
TT14	121	102	-18
TT24	119	107	-11
TT28	131	121	-9
TT29	119	104	-14
TT34	121	126	4
TT41	119	117	-2
TT42	120	128	6
TT65	123	114	-7
TT78	129	127	-2
TT02	92	84	-9
TT03	90	79	-14
TT55	93	96	3
TT56	91	94	3
TT112	98	101	3
TT16	128	127	-1
TT37	124	132	6
TT43	135	127	-6
TT35	128	140	9
TT76	119	127	7
TT85	124	133	7
AC 1/10	127	113	-12

Tabel 5: Vergelijking voorspelde en gemeten kruipfactoren

Test	fc berekend	fc BAM	Afwijking (%)
TT24	0.44	0.23	-91
TT28	0.82	1.06	23
TT29	0.39	0.24	-63
TT34	0.3	0.2	-50
TT41	0.3	0.3	0
TT42	0.37	0.23	-61
TT65	0.56	0.69	19
TT78	0.59	0.65	9
TT37	0.75	0.24	-213
TT76	0.56	0.34	-65
TT85	0.71	1.23	42
TT55	0.24	0.11	-118

TT56	0.32	0.27	-19
TT112	0.19	0.1	-90
AC 1/10	0.16	0.17	6

In tabel 5 zijn tenslotte de resultaten van de voorspelling van de vervormingsweerstand weergegeven. Uit de getoonde afwijkingen tussen voorspelde en gemeten waarde blijkt dat hier nog werk verzet moet worden.

De belangrijkste oorzaak voor de grote verschillen tussen voorspelde en gemeten waarden is evident. De oorspronkelijke voorspellingsrelaties zijn namelijk niet bedoeld geweest om de vervormingsweerstand, gemeten met de triaxiaalopstelling, te voorspellen, waardoor eerst nader onderzoek nodig is om de modelparameters en wellicht zelfs de formules zelf te valideren voor deze proefopstelling.

Met de in deze paragraaf beschreven resultaten van onderzoek naar de mate waarin de functionele eigenschappen van asfalt kunnen worden voorspeld, is aangetoond dat dit een zeer interessante route kan zijn voor de wegenbouwpraktijk om gerealiseerde asfalteigenschappen functioneel te verifiëren. Als de voorspellingsrelaties met voldoende betrouwbaarheid de functionele eigenschappen van asfalt kunnen voorspellen op basis van de samenstelling en bindmideleigenschappen, dan is een krachtig instrument voorhanden om te bepalen of gerealiseerd werk binnen nader te stellen toleranties aan de eisen voldoet. Pas als de voorspelde waarden buiten de gestelde eisen vallen kan besloten worden tot het uitvoeren van functionele proeven voor het gedetailleerd verifiëren van het gerealiseerd werk.

Functionele proeven voor functioneel verifiëren

Momenteel worden asfalt gespecificeerd door middel van functionele eigenschappen, die door middel van een typeonderzoek vooraf moeten worden bepaald. De eigenschappen in het typeonderzoek worden als valide beschouwd voor een mengsel met een corresponderende identieke doelsamenstelling en dichtheid als het mengsel in het typeonderzoek. De factory production control (FPC) moet borgen dat inderdaad een, binnen gestelde toleranties, gelijke samenstelling als de doelsamenstelling wordt geproduceerd en geleverd. Maar aan de poort van de asfaltcentrale houdt CE-markering nu op, terwijl de uiteindelijke eigenschappen van het asfalt pas aan de hand van het verwerkte product kunnen worden aangetoond. Het is daarom wenselijk dat de eigenschappen van het asfalt ook op materiaal uit het werk kunnen bepaald, zodat het geleverd product ook functioneel kan worden geverifieerd. Hiervoor moeten wel geschikte proeven beschikbaar zijn c.q. worden ontwikkeld. De belangrijkste voorwaarden voor deze proeven zijn:

- De eigenschappen moeten aan cilindrische proefstukken (boorkernen) kunnen worden bepaald
- De tijdsduur tussen verwerking van het asfalt en uitvoering van de functionele proeven moet minimaal zijn. Hierbij moet op voorhand in acht worden genomen dat in de regel de eigenschappen van het asfalt in een typeonderzoek pas in de periode van vier tot acht weken na productie van de proefplaten (verwerking) worden bepaald.

Functioneel verifiëren van verwerkt asfalt c.q. een aangelegde asfaltconstructie kan op basis van de huidige beschikbare proeven op basis van de volgende eigenschappen worden uitgevoerd:

- Samenstelling
- Dichtheid
- Indirecte treksterkte (ITS,direct)
- Stijfheidsmodulus(Smix)
- Weerstand tegen vermoeing
- Weerstand tegen spoorvorming (fc).

De samenstelling en dichtheid van het verwerkt asfalt kunnen direct worden gecontroleerd aan de eisen voor het werk conform het contract of het verhardingsontwerp. Deze eigenschappen zijn van belang om de condities voor de functionele beoordeling van de gerealiseerde eigenschappen te bepalen.

Indirecte treksterkte

De indirecte treksterkte is een maat voor de sterkte van het asfalt en wordt bepaald door middel van de statische slijtproef. Deze parameter wordt bij een standaard typeonderzoek ook gemeten bij de bepaling van de watergevoeligheid.

De condities voor de indirecte trekproef zijn gelijk aan de condities die worden gehanteerd bij het bepalen van de watergevoeligheid in het typeonderzoek. Hiermee is er voor het materiaal uit het werk een referentie beschikbaar.

De proef wordt uitgevoerd op cilindervormige proefstukken en boorkernen uit de weg zijn daarmee geschikt voor deze proef. Een nadeel is dat voor deze proef een bestervingstijd (periode direct na verwerking waarin de eigenschappen van het asfalt zich ontwikkelen) in de praktijk wordt aangehouden, waardoor het altijd minimaal twee weken na verwerking van asfalt duurt, voordat de proef kan worden uitgevoerd.

Stijfheidsmodulus

De stijfheidsmodulus is een maat voor het draagvermogen van het asfalt en wordt in het typeonderzoek bepaald door middel van vierpunts-buigproeven. De stijfheidsmodulus kan voor functioneel verifiëren worden bepaald door middel van de dynamische slijtproef op cilindervormige proefstukken. Boorkernen uit de weg zijn hierdoor geschikt voor de uitvoering van deze proef. Uit onderzoek is gebleken dat de stijfheid van asfalt bepaald met de dynamische slijtproef ongeveer gelijk is aan de stijfheid bepaald met de vierpunts-buigproef van het typeonderzoek. Hierdoor is de dynamische slijtproef geschikt voor functioneel verifiëren.

De proefcondities voor deze proef zijn in Nederland (nog) niet geformaliseerd, omdat deze proef geen onderdeel uitmaakt van het functioneel typeonderzoek volgens proef 62 op asfalt. In 2013 heeft een ad hoc werkgroep, samengesteld uit vertegenwoordigers van bedrijven en instanties die de dynamische slijtproef willen implementeren, een set beproevingscondities voor deze proef vastgesteld.

Ook voor deze proef wordt een bestervingstijd aangehouden, waardoor het altijd minimaal twee weken na verwerking van asfalt duurt, voordat de proef kan worden uitgevoerd.

Verder is het aan te bevelen om, tot het moment van aantonen dat de stijfheid gemeten met de dynamische slijtproef gelijk is aan de stijfheid gemeten met de vierpunts-buigproef, ten tijde van een typeonderzoek ook de stijfheid van het mengsel te bepalen met de dynamische slijtproef. Deze laatste waarde is dan de referentie voor functioneel verifiëren van het materiaal uit het werk.

Weerstand tegen vermoeiing

De weerstand tegen vermoeiing is een maat voor de sterkte van het asfalt onder invloed van herhaalde (verkeers)belastingen en wordt in het typeonderzoek bepaald door middel van vierpunts-buigproeven. Ook de weerstand tegen vermoeiing kan voor functioneel verifiëren worden bepaald door middel van de dynamische splijtproef op cilindervormige proefstukken. Boorkernen uit de weg zijn hierdoor geschikt voor de uitvoering van deze proef.

Uit vele uitgevoerde onderzoeken is gebleken dat de weerstand tegen vermoeiing, bepaald met de dynamische splijtproef, niet te vergelijken is met de weerstand tegen vermoeiing bepaald met de vierpunts-buigproef van het typeonderzoek. Dit alleen al omdat de ene proef onder volledig andere belastingcondities (krachtgestuurd) wordt uitgevoerd dan de andere (verplaatsingsgestuurd). De dynamische splijtproef is wel geschikt voor functioneel verifiëren, maar alleen onder de voorwaarde dat de referentiewaarde voor functioneel verifiëren wordt bepaald door middel van aanvullend onderzoek met deze proef ten tijde van de uitvoering van het typeonderzoek van het asfalt.

Evenals voor de bepaling van de stijfheid zijn ook voor de bepaling van de weerstand tegen vermoeiing voor deze proef afspraken gemaakt door de ad hoc werkgroep voor de toe te passen beproevingscondities.

Voor deze proef wordt ook een bestervingstijd aangehouden, waardoor het altijd minimaal twee weken na verwerking van asfalt duurt, voordat de proef kan worden uitgevoerd.

Weerstand tegen vervorming

De weerstand tegen vervorming wordt in het typeonderzoek bepaald door middel van de triaxiaalproef op cilindervormige proefstukken. Deze triaxiaalproef is daarmee ook geschikt voor functioneel verifiëren van de kwaliteit van geleverd en verwerkt asfalt aan de hand van boorkernen uit het werk.

De beproevingscondities voor de toepassing van functioneel verifiëren zijn gelijk aan de condities voor het typeonderzoek. Vanwege de bestervingstijd duurt het minimaal twee weken na verwerking van het asfalt voordat de proef kan worden uitgevoerd.

Conclusies en aanbevelingen

Nederland heeft voor CE-markering van asfalt gekozen voor de functionele route. Dit houdt in dat van te leveren asfaltspecie de functionele eigenschappen zijn gespecificeerd. De voorwaarden waarmee de geldigheid van een typeonderzoek voor asfaltmengsel is bepaald en de wijze waarop de kwaliteit van het geleverde product in de weg wordt vastgelegd zijn echter nog helemaal empirisch beschreven. Hierdoor is er een spanningsveld tussen geleverde kwaliteit van een asfaltspecie en de functionele kwaliteit van verwerkt asfalt, dat ertoe leidt dat er bij opdrachtgevers van werken een drempel blijft bestaan om er volledig op te vertrouwen dat door aannemers een eindproduct van overeengekomen kwaliteit wordt geleverd.

Na meer dan vijf jaar ervaring met functioneel specificeren van asfalt is het hoog tijd om ook de laatste stap te zetten en over te gaan tot functioneel verifiëren. Met functioneel verifiëren wordt bedoeld dat ook van het verwerkte asfalt in een werk wordt aangetoond dat de functionele

eigenschappen binnen nader te stellen toleranties gelijk zijn aan de eigenschappen die in het typeonderzoek zijn bepaald.

Er zijn drie verschillende methoden te onderscheiden om functioneel te verifiëren, namelijk het gebruik van correlaties op basis van indicatieve proeven, het gebruik van theoretische voorspellingsmethoden en het gebruik van functionele proeven. Het gebruik van correlaties op basis van indicatieve proeven is wellicht te overwegen als middel voor een eerste snelle beoordeling van de asfaltkwaliteit, maar de verwachting is dat dit instrument onvoldoende betrouwbaar is voor toepassing in een formele contractrelatie.

Hoewel er nog genoeg nader onderzoek nodig is voor de ontwikkeling van een voldoende betrouwbaar theoretisch voorspellingsmodel, zijn in een recent onderzoek veelbelovende resultaten bereikt. Zeker nu asfaltonderzoek met DSR-apparatuur gemeengoed wordt in de asfaltwegenbouw, zijn er mogelijkheden om de toepassing van voorspellingsmodellen als instrument voor functioneel verifiëren verder te ontwikkelen. Zo wordt het wellicht mogelijk om door middel van onderzoek naar het gedrag van mastiek en mortel van een asfaltmengsel ook in de voorspellingsmodellen rekening te houden met de invloed van type vulstof en mineraalaggregaat in het asfalt.

Het toepassen van functionele proeven voor functioneel verifiëren van de kwaliteit van verwerkt asfalt is uiteraard nog de meest betrouwbare vorm aan te tonen dat aan gestelde eisen in voldaan. Voorwaarde is dan wel dat het onderzoek op cilindervormige proefstukken (bijvoorbeeld boorkernen) kan worden uitgevoerd. Een moeilijkheid bij de toepassing van functionele proeven is wel dat de proeven in de regel pas minimaal twee weken na verwerking van het asfalt kunnen worden uitgevoerd vanwege in acht te nemen conditioneringsperioden.

Aanbevolen wordt om de toepassingsmogelijkheden van de dynamische slijtproef (of cyclische indirecte trekproef) op cilindervormige proefstukken nader te onderzoeken. Hierbij moet er aanvankelijk vanuit worden gegaan dat bij de uitvoering van een typeonderzoek voor een asfaltmengsel in het laboratorium ook onderzoek met de dynamische slijtproef wordt uitgevoerd om de referenties voor het functioneel verifiëren vast te stellen. Dit is nodig, omdat de gemeten eigenschappen met de dynamische slijtproef niet (geheel) overeenstemmen met de gemeten eigenschappen in een vierpunts-buigopstelling.

Vanwege de voorgeschreven conditioneringstijd voor de uitvoering van functioneel asfaltonderzoek is het niet mogelijk om dit onderzoek te gebruiken voor de bedrijfscontrole. Voor de praktijk wordt er dan ook aanbevolen om het functioneel verifiëren alleen in te zetten in het kader van nader onderzoek in contractrelaties. Hierbij kan zeer nuttig gebruik worden gemaakt van een zeer betrouwbare theoretische voorspellingsmethode als ondersteunend instrument. Met de theoretische voorspellingsmethode kan op basis van de samenstelling en bindmideleigenschappen van een mengsel een eerste beoordeling worden uitgevoerd of aan de eisen wordt voldaan.

Pas als de voorspelde waarden buiten nader te stellen toleranties vallen, wordt besloten tot het uitvoeren van de functionele proeven voor het gedetailleerd verifiëren van het gerealiseerd werk.

Geraadpleegde bronnen

1. VBW; Workshop 'Functionele eigenschappen asfalt', bijdragenbundel, Utrecht, maart 2013

2. Visser, A.F.H.M., Hopman, P.C.; Mechanische eigenschappen van asfaltmengsels, hun spreiding en Mengselboxen, onderzoeksrapport CIENA, KOAC-NPC, Utrecht, februari 2005
3. NEN; NEN-EN 13108-20;2006 ‘ Bitumineuze mengsels – Materiaalspecificaties – Deel 20: Typeonderzoek’, Delft, 2006
4. CROW; Standaard RAW-Bepalingen 2010, Ede, 2010
5. VBW, Richtlijn Typekeuring (Type Testing), Breukelen, 2005
6. Mohan, S.; Stageverslag TU Delft, Utrecht, februari 2010

Bijlage 2 Artikel VBW Asfaltblij 2014

Functioneel verifiëren en de CROW contractbepalingen 2020

Nederland heeft bij de invoering van de Europese regelgeving voor asfalt in 2008 gekozen voor de functionele benadering voor asfaltbeton. Het gevolg van deze keuze is dat de laatste jaren veel inzicht is verkregen in het gedrag van asfalt en de wijze waarop met dit materiaal moet worden omgegaan bij het ontwerp en de beoordeling van verhardingsconstructies. Toch zijn er ook een aantal kanttekeningen te plaatsen bij de wijze waarop tot nu toe de functionele benadering van asfalt op Europees niveau is uitgewerkt. Dit betreft met name de wijze van specificeren van de bestanddelen van het asfalt die bepalend zijn voor het mechanisch gedrag ervan en dientengevolge ook de wijze van beoordelen van de gerealiseerde kwaliteit van verhardingsconstructies. Het is nog enigszins begrijpelijk dat op basis van de stand der techniek in 2008 besloten is om bij CE-markering voor asfalt alleen eisen te stellen aan de asfaltspecie tot aan de poort van de asfaltproducent, maar een asfaltverharding beschikt pas over de gewenste eigenschappen nadat het asfalt in de juiste laagdikte op correcte wijze is verwerkt in de verhardingsconstructie.

Het is hoog tijd om de volgende stap te zetten in de ontwikkeling van het Nederlandse functionele technische kader voor het ontwerpen en uitvoeren van asfaltverhardingen. Zo vormen de functionele eigenschappen die voor asfalt worden bepaald met de typeonderzoeken volgens de Europese regelgeving tegenwoordig de directe invoer voor ontwerpprogramma's als CROW-OIA. De ontwerpveiligheden van de oude ontwerpprogramma's zijn min of meer overgenomen, terwijl de materiaaleigenschappen die in de typeonderzoeken worden gerapporteerd een sterke ontwikkeling hebben doorgemaakt. Een asfaltconstructie kan tegenwoordig met traditionele standaardmengsels 20-30% dunner worden geconstrueerd dan vóór 2008, enkel al vanwege de voortdurende ontwikkeling van beproevingsapparatuur en onderzoeksprocedures. De vraag kan worden gesteld of de veiligheidsbenaderingen voor het ontwerpen van de verhardingen niet aan een grondige evaluatie en herbeoordeling toe zijn.

De zekerheden die nodig zijn aan de productzijde betreffen naast herziene veiligheden in het verhardingsontwerp ook het waarborgen dat het asfalt dat uiteindelijk in de weg wordt geleverd ook daadwerkelijk over de functionele eigenschappen beschikt die in het ontwerp zijn gehanteerd. Na bijna zes jaar ervaring met het werken met functionele eigenschappen van asfalt is vast komen te staan dat de eigenschappen van de samenstellende bouwstoffen (bitumen, vulstof asfaltgranulaat, additieven etc.) een grotere invloed hebben op de functionele eigenschappen van het mengsel dan de samenstelling en dichtheid ervan. En hier begint langzaam in de praktijk in contractrelaties tussen opdrachtgevers en opdrachtnemers de schoen te wringen. De keuze en aankoop van asfalt vindt plaats op basis van de eigenschappen die door de producent in concreto zijn verklaard voor de specie, maar de controle van het verwerkte asfaltbeton in het werk wordt nog steeds uitgevoerd op basis van laagdikte, holle ruimte, verdichtingsgraad en samenstelling (korrelverdeling en bitumengehalte). Na functioneel beoordelen en specificeren moet er ook functioneel worden geverifieerd. Het in het werk geleverde product moet worden beoordeeld op basis van eigenschappen als stijfheid, vermoeiingsweerstand, weerstand tegen vervorming en treksterkte. Vanwege de ontwikkeling van asfalteigenschappen in de tijd moet functioneel verifiëren wellicht in twee fasen worden uitgevoerd: een eerste beoordeling met behulp van een betrouwbare theoretische voorspellingsmethodiek voor de eigenschappen met de samenstelling, dichtheid en bindmideleigenschappen als input en een gedetailleerde nadere analyse met functionele proeven op proefstukken uit uitvoeringseenheden die niet met positief gevolg door de eerste beoordeling heen komen.

Naast de zekerheden die opdrachtgevers aan de productzijde zoeken, is er door de ontwikkeling van contractbeheersing op afstand in geïntegreerde contracten ook sprake van een sterke focus op beheerste processen aan aannemerszijde en een stringente aantoonplicht dat een werk aan de contracteisen voldoet. In de huidige praktijk zijn er diverse ontwikkelingen gaande die moeten leiden tot aantoonbaar beheerste processen bij aannemers, maar een eenduidige, uniforme oplossing hiervoor is nog niet gevonden. Met name van opdrachtgevers en toetsers namens de opdrachtgevers mag meer initiatief worden verwacht om te komen tot een uniforme, geaccepteerde methodiek voor de beoordeling van de kwaliteit van de processen van de aannemers. Bij CROW zijn al initiatieven om de proceseisen voor traditionele en geïntegreerde contracten te uniformeren, hetgeen beschouwd kan worden als de eerste noodzakelijke stap om tot een eenduidige waardering van de processen van aannemers te komen.

De Standaard Bepalingen van 2020 komen ruim tien jaar na de grootschalige toepassing van functioneel gespecificeerde contracten en functioneel gespecificeerd asfalt uit. Met nog ruim vijf jaar te gaan is het een geweldige uitdaging om een grote stap te zetten in de vernieuwing van het Nederlandse technische kader voor het ontwerpen en uitvoeren van asfaltverhardingen door ontwerpmethoden te herijken en te optimaliseren voor gebruik van functionele materiaaleigenschappen, gerealiseerd werk functioneel te verifiëren en de kwaliteit van de processen de aannemer op uniforme wijze objectief en effectief te beoordelen.