

Robuust SMA

Jan Stigter
Boskalis

Jan Voskuilen
Rijkswaterstaat

Mahesh Moenielaal
Dibec Materiaalkunde

Marc Eijbersen
CROW

Samenvatting

In het kader van de CROW-Werkgroep Volumetrisch ontwerp en bedrijfscontrole steenskeletmengsels zijn diverse onderzoeken uitgevoerd op SMA. Er zijn kernen geboord uit goede en minder goed presterende SMA wegvakken, waarvan na extractie o.a. de eigenschappen van de steenslag, zoals vlakheidsindex en HRS, zijn bepaald. Van de mengsels uit de “oude” (goed presterende) IVO-SMA proefvakken en een aantal andere mengsels kon ook de vergelijking tussen het mengselontwerp en de gerealiseerde samenstelling worden gemaakt. De resultaten laten zien dat de ontworpen SMA mengsels in principe goed zijn, maar dat zelfs al kleine afwijkingen in korrelverdeling en/of dichtheid van de bouwstoffen ten opzichte van het mengselontwerp al voldoende kunnen zijn voor het minder goed presteren in de praktijk. Deze afwijkingen betreffen met name verhoging van het gehalte fijne steen, maar ook bitumengehalte, gehalte < 0,063 mm en penetratie van het teruggewonnen bindmiddel. Volumetrisch aanpassen van de samenstelling tijdens de productie als gevolg van een afwijkende HRS ten opzichte van het mengselontwerp bleek te weinig onderscheidend om goed acterende SMA mengsels te produceren.. Ook controle van de samenstelling en viscositeit van de mastiek tijdens de productie is van cruciaal belang voor het beheersen van de kwaliteit van het SMA mengsel. Een HRS-proef op het gehele mineraal (0-11 mm) geeft inzicht in de gevoeligheid van het minerale skelet voor afwijkingen in de korrelverdeling. Daarnaast kunnen ook de toepassing van teveel eigen stof en te weinig afdruiptremmende stof leiden tot het falen van SMA.

De werkgroep heeft aanbevelingen opgesteld voor aanpassing van de keuze van de bouwstoffen, de verhouding van de bouwstoffen en toleranties bij de inkoop, productie en verwerking. Deze worden in onderhavige paper besproken.

Steekwoorden: SMA, HRS, volumetrie, afdruiptremmende stof, mastiek, kwaliteitsbeheersing

1. Aanleiding

Steenskeletmengsels zoals SMA zijn veel toegepaste deklaagmengsels bij provinciale en gemeentelijke wegbeheerders. Dit type asfaltmengsel wordt vanwege haar hoge weerstand tegen vervorming vaak toegepast op wegen met hoge verkeersintensiteiten.

De hoge weerstand tegen vervorming komt voort uit de opbouw van het korrelskelet van het asfaltmengsel. Door het steen-op-steen contact wordt een stabiel mengsel verkregen. De volumetrie van het korrelskelet in combinatie met de mastiek (het bindmiddel, bestaande uit zand, vulstof en bitumen, dat de steenkorrels bij elkaar houdt) is voor de stabiliteit van groot belang. De in 2009 door CROW uitgebrachte 'Richtlijn Volumetrisch Ontwerp Steenmastiekasfalt' is een goed hulpmiddel voor het ontwerpen van steenskeletasfaltmengsels. Het ontwerp van SMA concentreert zich tot nu voornamelijk op het steenskelet en minder op de mastiek. Er zijn nagenoeg geen eisen gesteld aan de samenstelling en helemaal niet aan de viscositeit van mastiek.

In de afgelopen jaren is op grote schaal SMA aangebracht. In het merendeel van de gevallen acteren de mengsels, zoals mag worden verwacht. Toch is er een aantal gevallen geweest, waar ondanks dat het SMA mengsel aan de RAW eisen voldeed toch vroegtijdig falen van het mengsel in de vorm van spoorvorming en vetslaan is geconstateerd. Dit is aanleiding geweest om in 2014 de CROW werkgroep 'Volumetrisch ontwerp en bedrijfscontrole van steenskeletmengsels' in te stellen.

2. Database SMA

In het kader van de CROW werkgroep Volumetrisch ontwerp en bedrijfscontrole van steenskeletmengsels is een database opgebouwd met gegevens van boorkernonderzoeken van goed en minder goed of slecht presterende SMA-mengsels. Onder slecht presteren wordt in dit geval kort na aanleg vetslaan verstaan of het ontstaan van teveel spoorvorming. Voor zover beschikbaar zijn ook de gegevens van de mengselontwerpen en typeonderzoeken aan de database toegevoegd. De database is verder aangevuld met gegevens van de RAW-regelgeving in 2005 en 2015.

2.1 Boorkernonderzoeken

De boorkernonderzoeken betreffen in totaal 39 sets boorkernen. Dit betreft negen sets SMA 8 (zes verschillende mengsels waaronder een SMA NL 8G+) en 30 sets SMA 11 (13 verschillende mengsels).

Twaalf sets betreffen zes mengsels die circa 10 jaar geleden in het kader van de werkgroep IVO-SMA zijn onderzocht. Alle mengsels uit de IVO SMA proefvakken blijken na 10 jaar praktijk nog steeds goed te presteren.. Door Rijkswaterstaat zijn de gegevens aangeleverd van 3 sets boorkernen uit een slecht presterende deklaag op een niet nader bekend gemaakte locatie (Mengsel X).

De overige 24 sets boorkernen zijn verkregen uit eigen onderzoek ten behoeve van de werkgroep. Van een SMA 8 mengsel en zes SMA 11 mengsels die vrij kort na aanleg vette plekken vertonen zijn telkens twee sets kernen onderzocht. Eén set is geboord in een vette plek en de andere set is geboord in een niet vet gedeelte. Dit betreft de onderzoeken op de

N207 (Boskalis), N306 en N309 (Provincie Flevoland), N448 (Provincie Zuid-Holland), N665 (Provincie Zeeland), Karspeldreef en Emmen (KWS). Ook zijn twee sets door de Provincie Gelderland aangeleverde kernen onderzocht van zowel een goed als een slecht presterend mengsel. Door Dura Vermeer is een onderzoek op een SMA-NL 8G+ aangeleverd en Boskalis heeft nog twee goed presterende mengsels van de NOAP onderzocht.

Elke set bestaat uit 5 of 6 boorkernen. Van de boorkernen is de dichtheid proefstuk bepaald door opmeting en onder en boven water wegen. Vervolgens zijn alle door het boren en zagen beschadigde stenen uit de rand van de kernen verwijderd. De kernen zijn geëxtraheerd, waarna op de teruggewonnen steenfractie de HRS-proef is uitgevoerd. De uit de rand van de kernen verwijderde beschadigde stenen zijn apart geëxtraheerd en de resultaten van beide extracties zijn samengevoegd. Van elke teruggewonnen fractie is de dichtheid bepaald, waarna diverse volumetrische eigenschappen van het mengsel zijn berekend, zoals VRS, VMA, VFB, F/B. Van het teruggewonnen bindmiddel zijn de penetratie en het verwekingspunt bepaald.

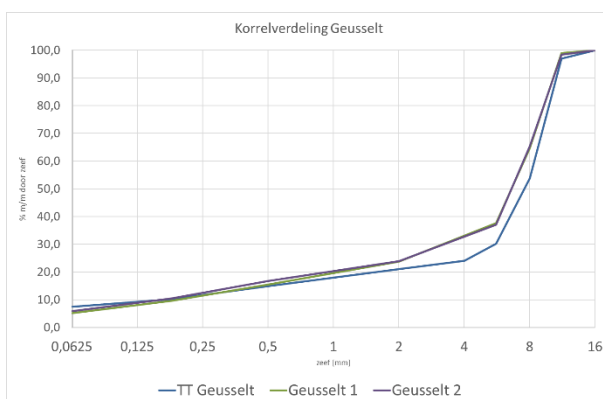
2.2 Mengselontwerpen en typeonderzoeken

Van de IVO-SMA mengsels en de mengsels van de N207 en N665 zijn de gegevens van het oorspronkelijke typeonderzoek (TT) verzameld. Op de N207 is een deel vervangen met een licht aangepast mengsel, waarna ook hier een set boorkernen is genomen.

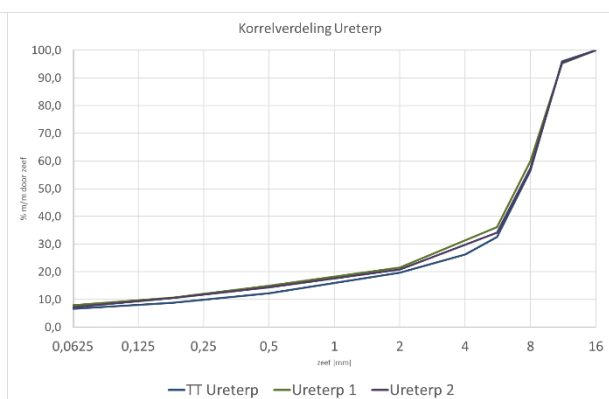
2.3 Analyse database

De gegevens in de database zijn op verschillende manieren geanalyseerd. Er zijn zowel vergelijkingen gemaakt tussen de resultaten van boorkernonderzoeken in vette en niet-vette plekken als vergelijkingen tussen de mengselontwerpen of typeonderzoeken en de boorkernresultaten.

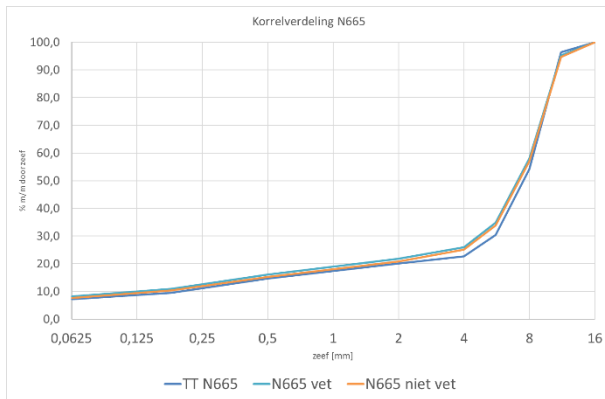
In figuur 1 is de korrelverdeling van het spoorvormingsgevoelige mengsel bij de Geusselt weergegeven. Duidelijk zichtbaar is dat het mengsel uit de boorkernen fijner is dan het typeonderzoek. Dit is mogelijk een oorzaak van het slecht presteren van dit mengsel. Bij het goed presterende mengsel in Ureterp liggen de resultaten van de boorkernen veel dichterbij de lijn van het typeonderzoek. Maar uit figuur 3 blijkt dat de korrelverdeling van de N665 nog dichterbij de lijn van het typeonderzoek ligt, terwijl dit mengsel in de praktijk niet blijkt te voldoen.



Figuur 1 Korrelverdeling Geusselt

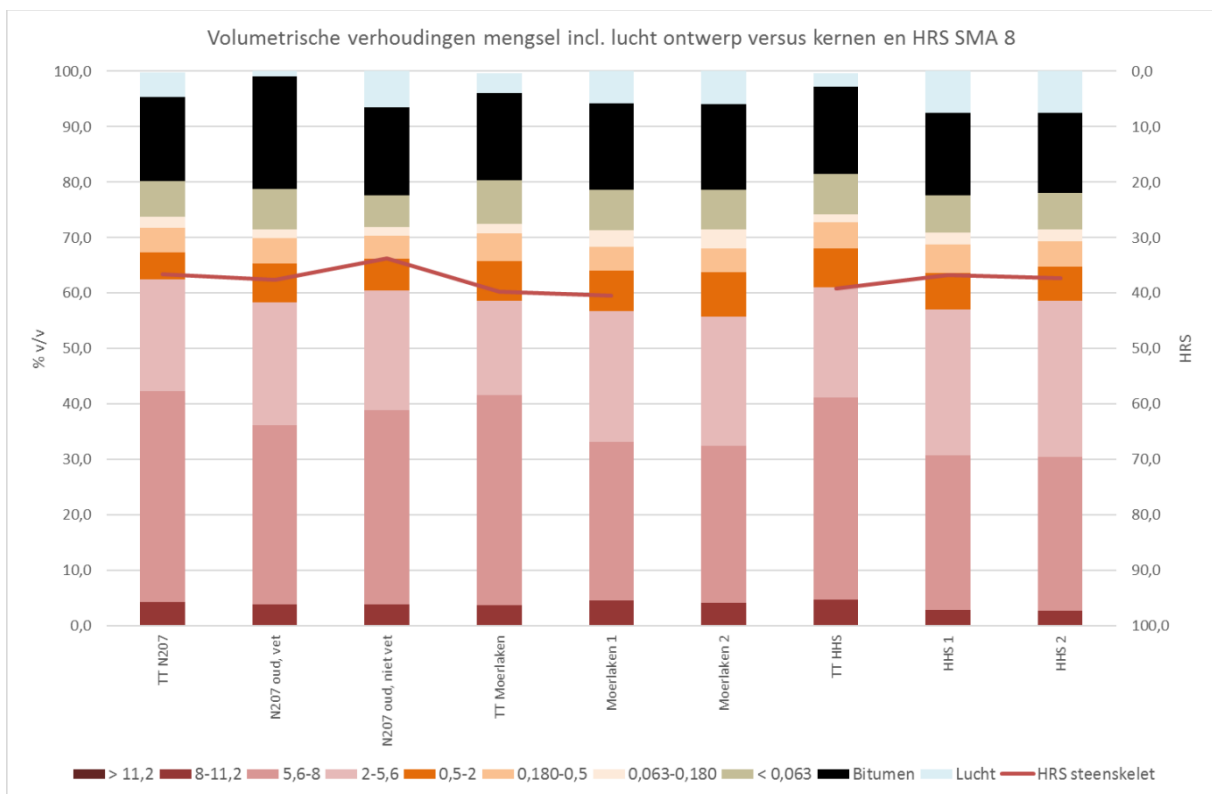


Figuur 2 Korrelverdeling Ureterp

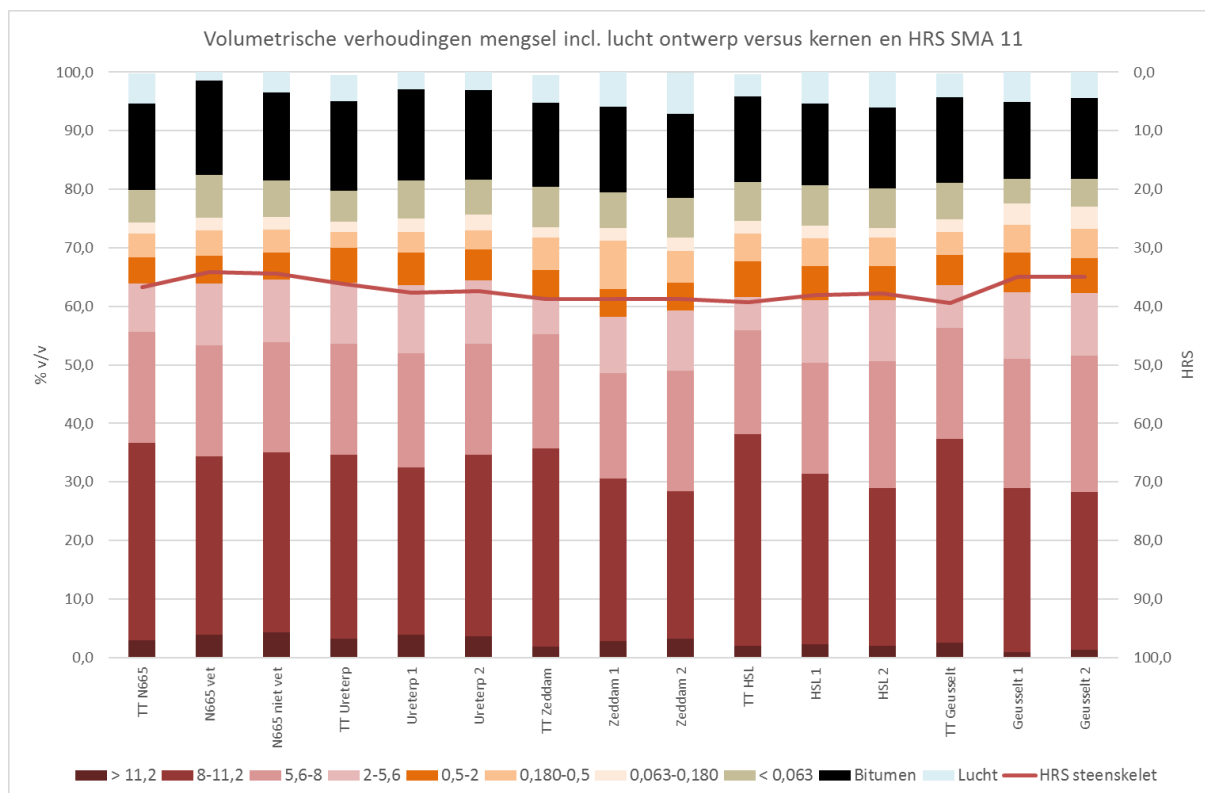


Figuur 3 Korrelverdeling N665

Omdat de korrelverdeling wordt weergegeven in massapercentages zegt dit slechts indirect iets over de volumetrie van het mineraal, dat immers vaak bestaat uit materiaal met verschillende dichtheden. Bovendien zijn uiteindelijk de volumetrische eigenschappen van het gehele mengsel inclusief lucht (holle ruimte) van belang. Er van uitgaande dat het mengselontwerp goed is uitgevoerd, kan het falen van mengsel N665 mogelijk het gevolg zijn van toepassing van een of meerdere bouwstoffen met een dichtheid, die duidelijk teveel afwijkt van die van het mengselontwerp of door toepassing van steenslag met een van het mengselontwerp afwijkende HRS. In figuur 4 en 5 zijn de berekende volumetrische verhoudingen van de SMA 8, respectievelijk SMA 11 mengsels weergegeven. De HRS is als een lijn in beide figuren toegevoegd, waarbij de waarden op de omgekeerde tweede Y-as zijn weergegeven. De HRS zou dan theoretisch onder de fractie 0,5-2 mm (oranje) moeten liggen. Ook uit deze vergelijking kunnen geen eenduidige conclusies worden getrokken. Een hogere HRS (N207 oud vet, tweede kolom van links in figuur 4) kan alsnog een vette plek geven, terwijl op de niet vette plek een lagere HRS wordt gevonden (derde kolom).



Figuur 4 Volumetrische verhoudingen SMA 8



Figuur 5 Volumetrische verhoudingen SMA 11

2.4 Conclusie database

Door de resultaten van de vette en niet-vette mengsels en de gegevens van het mengselontwerp en de boorkernen te vergelijken is geen eenduidige direct oorzaak voor het wel of niet vet slaan van een mengsel te trekken, maar blijken wel enkele tendensen waarneembaar:

- Het bitumengehalte in de vette plekken is hoger dan van de niet-vette plekken;
- De holle ruimte is in de vette plekken lager dan in de niet-vette plekken;
- De steenfractie van de slecht presterende mengsels is fijner en minder gap-graded dan van de goed presterende mengsels;
- Het ontbreken van tussenzeven geeft een vertekend beeld en maakt interpretatie lastig;
- De verhouding volume steen : volume zand is kleiner in de vette plekken;
- De HRS is niet onderscheidend voor de prestatie, maar de hoeveelheid mastiek t.o.v. de HRS. De mate waarin de HRS door mastiek wordt gevuld, blijkt uit HRS -/ - volume mastiek of uit de Vullingsratio Steenskelet (VRS);
- De bitumeneigenschappen vertonen een grote spreiding.

Uit de database is niet direct te herleiden waarom een kleine wijziging in de samenstelling bij sommige mengsels leidt tot falen, terwijl andere mengsels zelfs bij grote relatief grote afwijkingen nog goed presteren. Inzicht hierin is wel noodzakelijk om tot een robuust mengselontwerp te komen.

3. Mengselontwerp SMA

3.1 Theorie en een klein beetje praktijk

Als het mineraal aggregaat van een SMA wordt geschematiseerd tot een verzameling zuivere bollen met diameter D bedraagt het percentage holle ruimte circa 26%. De maximale bol die in de holle ruimte past heeft een diameter van 1/4D. De HRS van in SMA toegepast steenmengsel varieert tussen 35 en 40%. De holle ruimte in het skelet is groter dan in de verzameling zuivere bollen doordat de korrelvorm anders is, maar ook doordat de fijnere stenen groter zijn dan de theoretische holle ruimte. De HRS wordt gevuld met de mastiek totdat de ontwerp holle ruimte over blijft. De vulling met mastiek is gewaarborgd als:

- Het steenskelet stabiel blijft
- De hoeveelheid mastiek juist is
- De (zand)korrels in de mastiek in de holle ruimtes passen.

Het steenskelet blijft echter niet stabiel, want tijdens mengen komen er ook zand- en vulstofkorrels tussen de stenen, waardoor de holle ruimte in het steenskelet wordt opgeruimd.

Bij het typeonderzoek van een mengsel zal aan deze eisen worden voldaan, maar tijdens de productie is altijd sprake van een zekere mate van spreiding in de samenstelling. Om een indicatie van het effect van een wijziging in de verhoudingen binnen de steenfractie te verkrijgen zijn vier "HRS"-proeven uitgevoerd op het volledige mineraal aggregaat (0-11,2 mm), waarbij in eerste instantie (alternatief 1 en 2) alleen in de steenfractie wijzigingen zijn doorgevoerd binnen de toleranties. Bij het derde alternatief is ook het gehalte kleiner dan 2 mm aangepast. Zie tabel 1.

fractie	basis		alternatief 1		alternatief 2		alternatief 3	
	fractie	totaal	fractie	totaal	fractie	totaal	fractie	totaal
11,2 - 16 mm	3,7	3,7	1,8	1,8	7,7	7,7	4,7	4,7
8 - 11,2 mm	42,2	45,9	49,2	51,0	35,2	42,9	37,2	41,9
5,6 - 8 mm	23,8	69,7	18,7	69,7	28,8	71,7	23,3	65,2
4 - 5,6 mm	7,7	77,4	7,7	77,4	5,7	77,4	8,7	73,9
2 - 4 mm	2,6	80,0	2,6	80,0	2,6	80,0	4,6	78,5
0,5 - 2 mm	5,5	85,5	5,5	85,5	5,5	85,5	6,0	84,5
0,180 - 0,5 mm	5,2	90,7	5,2	90,7	5,2	90,7	5,7	90,2
0,063 - 0,180 mm	2,3	92,9	2,3	92,9	2,3	92,9	2,7	92,9
< 0,063 mm	7,1	100,0	7,1	100,0	7,1	100,0	7,1	100,0
HRS	20,9		20,6		21,2		19,5	
HRS-/-Vbit	5,8		5,5		6,0		4,4	
δHR	0,0		-0,3		0,3		-1,4	

Tabel 1 Effect wijzigingen in steen en zand.

Uit tabel 1 blijkt dat een wijziging in de steenfracties slechts een gering effect heeft, maar dat een toename van de fijne steenfracties en de zandfractie de holle ruimte duidelijk laat afnemen. Indirect kan uit de tabel ook worden afgeleid dat een overmaat aan zand niet gecompenseerd kan worden door een wijziging in de steenfracties. Het effect van wijzigingen in de steenfracties is immers klein ten opzichte van het effect van een toename van de zandfractie.

Dit leidt tot de conclusie dat een SMA mengselontwerp zo moet worden opgesteld dat het vergevingsgezind is voor een wijziging van het gehalte < 2 mm of dat de tolerantie op zeef 2 mm eenzijdig moet zijn. Dit maakt de SMA robuuster voor afwijkingen tijdens productie.

3.2 Voorstel ontwerplijn SMA 11

Wellicht ten overvloede: het is principieel onjuist om een algemene ontwerplijn gebaseerd op massapercentage te maken als de dichtheid van de bouwstoffen niet constant is. Idealiter wordt de ontwerplijn gebaseerd op volumepercentages en op basis van de werkelijke dichtheid van de verschillende fracties en het bindmiddel omgerekend naar een ontwerplijn in massapercentages.

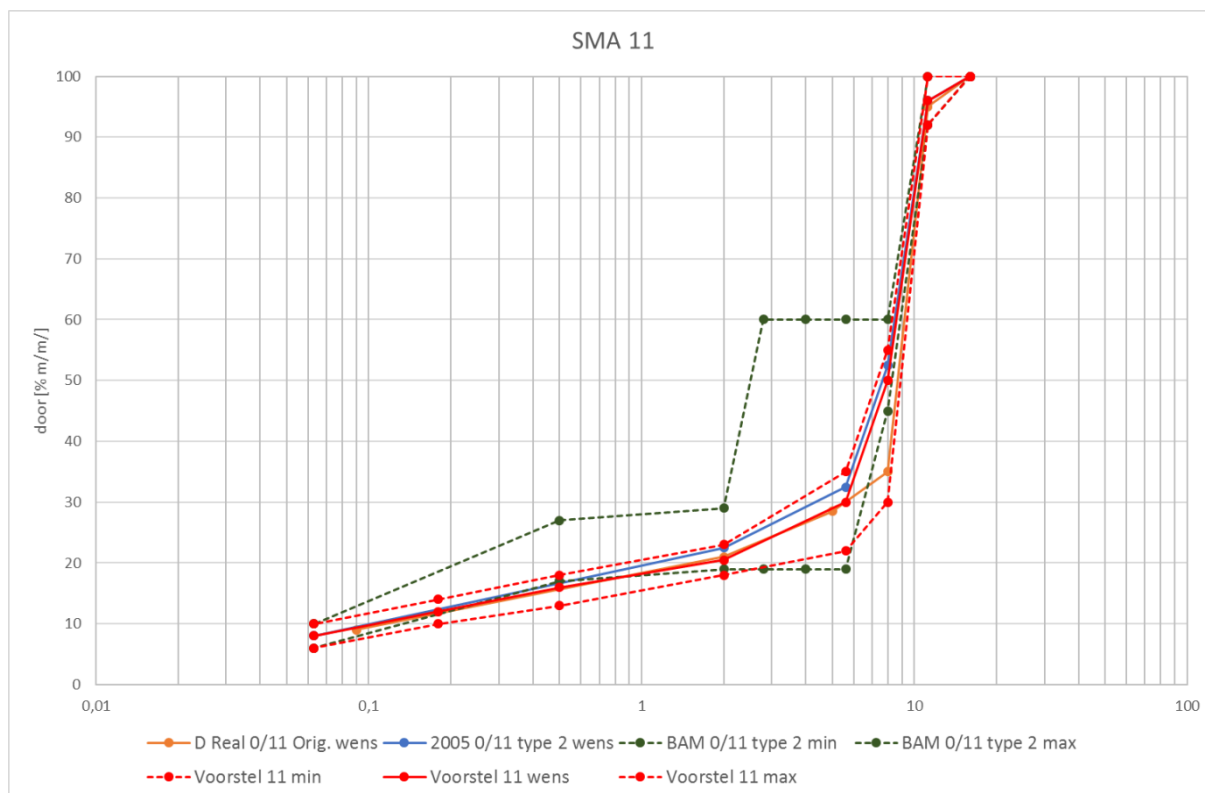
De ontwerplijn moet in feite een eenduidige lijn zijn, die ook op alle tussenliggende zeven is gedefinieerd. Toleranties per zeef moeten ofwel zeer nauw zijn, ofwel afhankelijk van elkaar zijn. Bij te ruime onafhankelijke toleranties ontstaat alsnog een gebied, waarbinnen ongewenste graderingen voor kunnen komen. Een voorbeeld van een goede ontwerplijn is de lijn van Real SMA, zoals deze is gepresenteerd door Rettenmaier [1,2]. In plaats van, of aanvullend op, toleranties per zeef kan ook een tolerantie worden gesteld aan het verschil tussen twee zeefresten. Bijvoorbeeld dat het verschil tussen D en de eerstvolgende zeef minimaal 45% moet zijn. De gevolgen van een afwijking van de ontwerplijn zijn niet altijd gelijk. In principe is een lagere doorval op de grove zeven eerder een verbetering dan een verslechtering, maar kan een hogere doorval het steenskelet verbreken of vullen. Voor de fijne zeven is dit precies andersom.

De nieuwe versie van de Europese norm NEN-EN 13108-5 staat het toe om voor SMA naast 1,4 D, D, 2 mm en 0,063 mm de korrelverdeling te beschrijven met een karakteristieke grove zeef en twee extra zeven tussen D en 2 mm en een karakteristieke fijne zeef en twee extra zeven tussen 2 mm en 0,063 mm. Daarvan is in dit voorstel gedeeltelijk gebruik gemaakt door waarden op te nemen voor de twee zeven direct onder D en voor 0,5 mm en 0,180 mm. Deze laatste zeef is weliswaar afwijkend van de norm, maar geeft de mogelijkheid tot vergelijken met het zandpunt, zoals dat voorheen werd gebruikt.

In figuur 6 zijn de voorgestelde lijnen en toleranties per mengsel weergegeven en vergeleken met de “gewenste” lijn volgens Standaard 2005, de richtlijnen die BAM [3] hanteert en Real SMA. In tabel 2 zijn de bijbehorende getallen weergegeven en vergeleken met Standaard 2005.

door zeef [mm]	D			2005			2015			BAM			Voorstel		
	Real 0/11 Orig.			0/11 type 2			11B			0/11 type 2			11		
	min	wens	max	min	wens	max	min	wens	max	min	wens	max	min	wens	max
16	100	100	100	100	100		100	100		100			100	100	100
11,2	95	95	95	92	96	100	92	96	100	92		100	92	96	100
8	33	35	37	45	52,5	60				45		60	30	50	55
5,6				25	32,5	40				19		60	22	30	35
5	27	28,5	30												
4										19		60			
2,8										19		60			
2	19	21	23	17,5	22,5	27,5	19	24	29	19		29	18,0	20,5	23,0
0,5										17		27	13	16	18
0,18													10	12	14
0,09	8	9	10												
0,063				6	8	10	6	8	10	6		10	6	8	10

Tabel 2 Korrelverdeling Standaard 2005 en voorstel ontwerplijnen SMA11



Figuur 6 Ontwerplijnen SMA 11

Het gehalte op 2 mm is berekend met een volumetrische benadering en ligt wat lager dan volgens de Standaard 2005 en dicht bij Real SMA. Het gehalte door zeef 8 mm is op 50% gekozen, dat wil zeggen op ongeveer 2/3 van de het verschil tussen 2 mm en D. Het gehalte door zeef 5,6 mm is berekend op 2/3 van het verschil tussen 2 mm en 8 mm. Dit gehalte ligt op de lijn van Real SMA en dichtbij de Standaard 2005. Bij een vergelijking met de richtlijnen van BAM is duidelijk zichtbaar dat het trekken van een lijn tussen niet opeenvolgende zeven tot verkeerde conclusies kan leiden. Daarom zijn hier de lijnen deels horizontaal doorgezet.

4 Risico's

Door de werkgroep is analyse gemaakt van de risico's die bij productie, transport en verwerking van SMA voorkomen.

Bij de productie is als grootste risico het produceren op een onjuiste temperatuur aangemerkt, gevolgd door de dosering en menging van de vezels. Ook afwijkingen in het eigen stof en grote afwijkingen in de korrelverdeling vormen een belangrijk risico.

Bij het transport is het risico op afdruipen tijdens transport en gedurende een eventuele wachttijd van belang. Bij de verwerking zijn naast de stopplekken met name de instellingen van de machine en walsinzet van groot belang.

Een ontwerp holle ruimte van 4% kan bij afwijkingen in de korrelverdeling en/of afwijkingen in dichtheid eerder leiden tot spoorvormingsgevoelige SMA mengsels. Met 5% ontwerp holle ruimte wordt een robuuster SMA mengsel verkregen.

Het toepassen van pellets als afdruipremmend middel kan in de praktijk tot vette plekken lijden als de pellets niet homogeen in de SMA verdeeld worden en/of niet smelten.

5 Aanbevelingen

Op basis van het onderzoek komt de werkgroep tot de volgende aanbevelingen voor het mengselontwerp:

- Ontwerp alleen SMA mengsels met een holle ruimte van minimaal 5%;
- Formuleer eenduidige ontwerplijnen voor elk type SMA met voldoende tussenzeven;
- Gebruik zand met een gering aandeel groter dan 2 mm en kleiner dan 0,063 mm;
- Gebruik steen 5/8 in plaats van 4/8 t.b.v. het creëren van een gap;
- Maximaliseer het gebruik van eigen stof en controleer of de eigenschappen ervan in de tijd gelijk blijven;
- Stem het mengselontwerp en de inkoop toleranties op elkaar af;

De werkgroep doet de volgende aanbevelingen voor productie en verwerking:

- Formuleer richtlijnen voor de productie en verwerking van SMA; controle op samenstelling van de bouwstoffen en viscositeit van de mastiek is cruciaal
- Produceer SMA binnen de helft van de volgens de FPC toegestane toleranties
- Gebruik een afdruiptremmer die homogeen fijn in het SMA wordt verdeeld;
- Voer DSR-onderzoek uit naar de viscositeit van de mastiek:
- Zet voorladers in bij verwerking van SMA t.b.v. het homogeniseren van SMA .

Voor een deel zullen deze aanbevelingen leiden tot aanpassingen in de (RAW)-regelgeving, terwijl andere aanbevelingen zijn gericht aan de producenten en verwerkers van SMA.

6 Referenties

1. Presentatie J. Rettenmaier & Söhne, Faserstoffwerke, Holzmühle, Germany, ongedateerd
2. Poeran c.s., SMA: kritisch of mismaakt?, CROW Infradagen 2018
3. BAM, Procedure Volumetrisch ontwerp SMA mengsels, 12-2-2008