

# Verwerkbaarheid van asfaltmengsels

Natascha Poeran  
*Boskalis Nederland*

Berwich Sluer  
*Boskalis Nederland*

Bert Andeweg  
*Boskalis Nederland*

## Samenvatting

De aanleg van een asfaltverharding is een aangelegenheid waarbij tal van disciplines elkaar ontmoeten. Logistiek, transport en vakmanschap zijn hierin sleutelwoorden. Met name het temperatuurafhankelijke gedrag van asfaltmengsels compliceert het realiseren van een kwalitatief hoogwaardige verharding. Zo kan het verwerken van asfalt bij (te) hoge en (te) lage temperaturen leiden tot onder andere moeilijkheden bij verdichting. De aanlevering van asfalt bij een optimale temperatuur is daarom van groot belang. Dit is sterk afhankelijk van het logistieke proces en wijze van transport. Voor standaardmengsels met penetratiebitumen is deze gevoeligheid relatief klein. Uitvoerders kunnen op basis van hun vakmanschap en ervaring kritieke punten voor standaardmengsels bij onverwachte omstandigheden goed inschatten. Toenemende variatie in mengselsoorten en bitumina hebben echter als gevolg dat men tijdens de verwerking steeds minder kan vertrouwen op ervaring. Bepalen van de verwerkbaarheid van asfaltmengsels als functie van temperatuur zou derhalve een grote bijdrage leveren aan het gehele asfaltproces, van productie tot verwerking. Het benoemen van de gunstigste temperatuursintervallen voor de verwerking van asfalt leidt tot efficiëntere logistiek, optimale verwerking en verdichting en voldoening bij asfaltploegen. Allen resulteren in een betere kwaliteit van asfaltverhardingen.

Om de verwerkbaarheid van asfalt tijdens afkoeling te kunnen bepalen is op basis van eerdere onderzoeken een verwerkbaarheidsmeter ontwikkeld. Dit apparaat registreert door middel van een zeer nauwkeurige krachtopnemer het koppel dat wordt uitgeoefend op een mengarm, die tijdens het afkoelingstraject in een asfaltmengsel ronddraait. Het verloop van het gemeten koppel geeft een (relatieve) indicatie van de verwerkbaarheid. In een verkennend onderzoek zijn de meest geschikte proefcondities en mengconfiguratie bestudeerd door het beproeven van een variatie aan mengsels en bitumina. De resultaten van dat onderzoek worden in dit artikel gerapporteerd en toegelicht.

## 1. Inleiding

Het huidige scala aan beschikbare asfaltmengsels is vrij omvangrijk en groeit gestaag door in omvang. Van dicht tot zeer open, van kanariegeel tot pimpelpaars of met een printje. Een verklaring voor dit brede assortiment is redelijk voor de hand liggend. Eisen aan de constructieve efficiëntie en prestatie van verhardingen verlangen van elk mengsel andere eigenschappen. Een deklaagmengsel voor een zwaar belaste oprit zal een ander karakter moeten bezitten dan een onderlaagmengsel voor een plattelandsweg. Bovendien is de opkomst van integrale projecten een sterke aanleiding tot de ontwikkeling van asfalt met een langere levensduur. Daarnaast worden vanuit de omgeving legio aanvullende eisen gesteld aan het asfalt. Deze zijn niet zozeer constructief van aard, maar betreffen eerder aanzien, comfort en (geluid)hinder.. Het voorzien in de vraag heeft dus geleid tot een toename van de diversiteit in asfaltmengsels. Hoewel deze toenemende diversiteit bevredigt in de behoefte, bewerkstelligt het ook een tegenstrijdig effect. Asfaltploegen kunnen in mindere mate terugvallen op de schat aan ervaring die zij bezitten, omdat het karakter van vertrouwde mengsels is veranderd. Ook bij het inspelen op onverwachte situaties wordt men hierdoor belemmerd. Met name de toepassing van gemodificeerde bitumen in plaats van penetratiebitumen als bindmiddel is hiervan een oorzaak. De verscheidenheid aan asfaltmengsels leidt tevens tot minder frequente toepassing van afzonderlijke mengsels. Het opdoen van nieuwe ervaringen is zodoende lastiger. Slechte verwerking heeft zijn weerslag op de effectiviteit van de daaropvolgende acties, zoals verdichting, en daarom ook op de uiteindelijke kwaliteit van asfaltverhardingen.

Veranderingen in het verwerkingsgedrag van nieuwe asfaltmengsels zijn echter een voldongen feit. Desalniettemin, is het zaak dat de kwaliteit van asfaltverhardingen niet in het geding komt. Omdat het inzichtelijk maken van de verwerkbaarheid van asfaltmengsels daar sterk aan bijdraagt, is een onderzoek gestart naar het karakteriseren van de verwerkbaarheid van individuele asfaltmengsels. Het doel van dit onderzoek is het vaststellen van de meest gunstige temperatuursintervallen voor verwerking per mengsel. Als resultaat worden concrete verwerkbaarheidskarakteristieken verwacht, waarmee op een werk makkelijker en beter gestuurd kan worden tijdens de verwerking van de gangbare en in het bijzonder de relatief onbekende mengsels.

Het vertrekpunt van dit onderzoek is eerder onderzoek verricht naar de verwerkbaarheid van asfaltmengsels. Een korte samenvatting van de werkwijzen en bevindingen in deze onderzoeken is in het vervolg van dit artikel opgenomen. Aansluitend hierop zijn de huidige onderzoeksopstelling en onderzoeksopzet toegelicht. Daarna worden de resultaten van de uitgevoerde proeven geanalyseerd. Tenslotte worden de getrokken conclusies en daaruit voortvloeiende aanbevelingen gepresenteerd.

## 2. Literatuuroverzicht

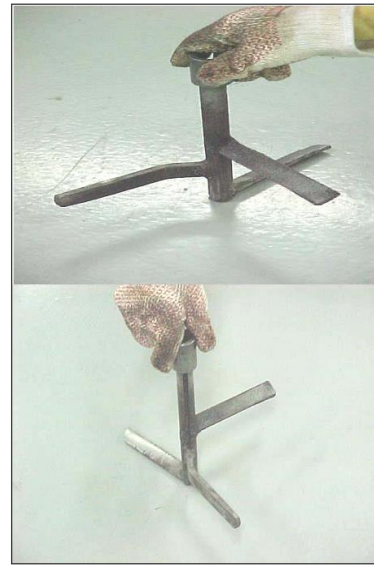
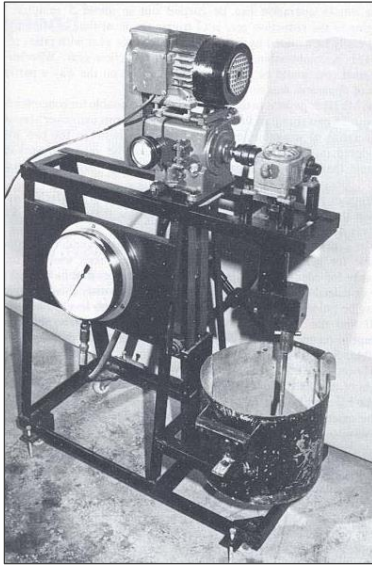
De behoefte aan een proef die inzicht biedt in de verwerkbaarheid van asfaltmengsels is geen nieuwe. Reeds in 1978 is door Marvillet & Bougault [4] onderzoek gedaan naar het verwerkbaarheidsgedrag van asfalt. De opmars van gemodificeerde bitumen, bitumenvervangers, recycling, etcetera heeft sindsdien een verschuiving van behoefte naar noodzaak in gang gezet. Als gevolg hiervan is de belangstelling voor verwerkbaarheid toegenomen en zijn redelijk recentelijk nieuwe onderzoeken uitgevoerd. Het merendeel van deze nieuwe onderzoeken vervolgen in de richting ingeslagen door Marvillet & Bougault.

Marvillet & Bougault ontwikkelden in de 70er jaren het eerste prototype verwerkbaarheidsmeter. Dit apparaat bestond uit een mengkamer opgehangen aan een star frame, waarin  $\pm 15$  kg asfaltspecie gemengd werd met behulp van een motorisch aangedreven mengarm bij 22 omwentelingen per minuut. Tijdens het mengen werd in de mengkamer de temperatuur geleidelijk opgevoerd van  $150^{\circ}\text{C}$  tot  $200^{\circ}\text{C}$ . Het toerental werd op niveau gehouden door een *potentiometer*, een variabele weerstand. Met die potentiometer en een stel veren werd de weerstand van het mengsel gemeten. Deze weerstand werd vervolgens omgezet naar numerieke waarden voor het uitgeoefende koppel. De belangrijkste bevindingen volgend uit het onderzoek zijn:

- ❖ Een toename van de viscositeit van bitumen heeft een negatief effect op de verwerkbaarheid van asfaltmengsels
- ❖ De hoeveelheid bitumen in een mengsel beïnvloedt de verwerkbaarheid niet tot nauwelijks.
- ❖ Een stijging van het percentage vulstof in een asfaltmengsel resulteert in slechtere verwerkbaarheid.
- ❖ Hoekig mineraal aggregaat veroorzaakt minder goed verwerkbare mengsels in vergelijking met minder hoekig en/of rond mineraal aggregaat.

Ook constateerden Marvillet & Bougault dat de verwerkbaarheid niet slechts een functie is van mengseleigenschappen, maar ook van externe factoren als temperatuur en het ontwerp van het prototype van de verwerkbaarheidsmeter.

Nadien gestarte onderzoeken naar de verwerkbaarheid hebben zich vooral gericht op het optimaliseren van de verwerkbaarheidsmeter om nauwkeuriger de invloedsfactoren te kunnen bepalen. Tao en Mallick aan het Worcester Polytechnic Institute [6] ontwikkelden daartoe een opstelling waarmee het koppel preciezer kon worden vastgesteld. Met behulp van een momentsleutel werd een mengarm bij een aantal vooraf bepaalde temperaturen eenmaal omgewenteld. De waarde aangegeven door de sleutel werd geregistreerd als de weerstand die het mengsel levert tegen verwerking. Nadelig aan deze opstelling is de discontinue meting van weerstand. De kans bestaat dat temperatuursintervallen te breed gekozen zijn en karakteristiek gedrag niet opgemerkt wordt. Het aantal metingen is overigens ook erg laag om betrouwbare, herhaalbare en reproduceerbare uitspraken te doen over de verwerkbaarheid van asfaltmengsels. Het verhogen van de meetfrequentie heeft echter als gevolg dat de proef vrij arbeidsintensief wordt. Ook in een poging het eerste Franse prototype te verbeteren, ontwierp Dongre [2] een verwerkbaarheidsmeter waarvan niet de mengarm, maar de mengkom werd rondgedraaid. Dit onderzoek heeft voor zover bekend geen bruikbare resultaten opgeleverd.



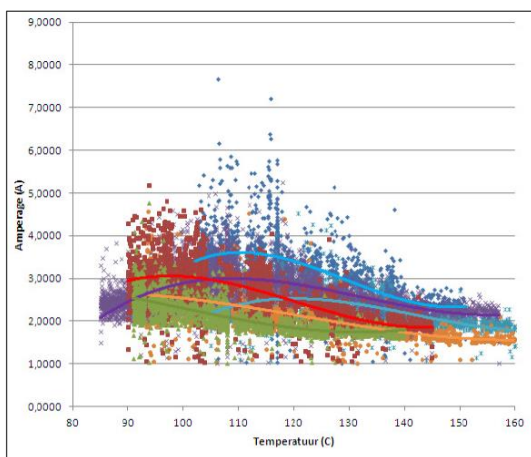
Figuur 1 & 2 : Verwerkbaarheidsmeters ontwikkeld door de jaren heen

Figuur 3 : Mengarm met schoepen ontwikkeld door Gudimettla et al. 2003

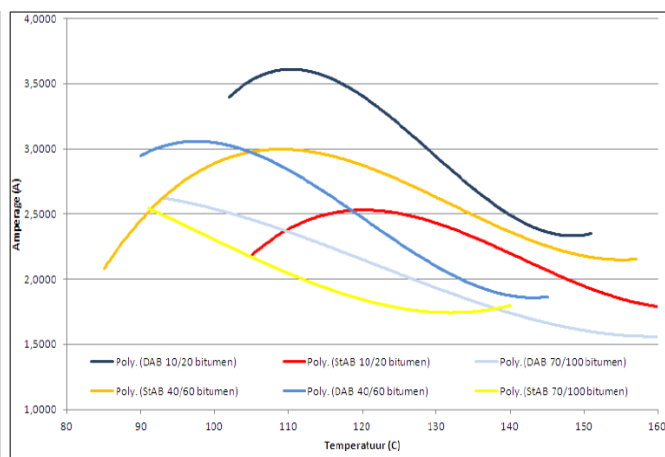
In 2003 is door Gudimettla et al. [3] eenzelfde onderzoek gedaan naar de verwerkbaarheid met als meetopstelling een Hobart menger gekoppeld aan een ampèremeter. Tijdens de beweging van de mengarm door het mengsel werd een bepaalde weerstand opgewekt die kon worden geregistreerd door de ampèremeter. Dit ampèrage is daarna omgezet naar een getalswaarde voor het koppel. In de eerste instantie werd er gemengd met een deeghaak. Na enkele proeven met matig resultaat is besloten een nieuw soort mengarm te ontwikkelen. Deze mengarm had drie schoepen verdeeld over de hoogte van de mengas. Een verticale verdeling van de schoepen zou de kans op het ontstaan van een afschuifvlak in het losse mengsel verlagen. De laagste schoep is aan de mengas bevestigd onder een hoek van  $45^\circ$  tegen de mengrichting in, om zo aankoeking op de bodem van de mengkom te voorkomen. De middelste schoep draait met een rechte hoek tegen de mengrichting in, waardoor ontmenging minder zou moeten optreden. De hoogste schoep is aangebracht met een hoek van  $45^\circ$  met de mengrichting mee teneinde het mengsel de kom in te drukken. Met deze mengarm zijn aansluitend een serie proeven uitgevoerd op een SMA en twee Superpave<sup>1</sup> mengsels. Uit deze proeven volgde dat de mengarm met schoepen een aanzienlijke daling van ruis in de metingen en afname van ontmenging teweegbracht. Ook het toerental waarmee de mengarm werd rondgedraaid bleek van grote invloed. Toerentallen van 5 RPM en 25 RPM leidden beide tot aanzienlijke spreiding in de metingen. Bij een omwentelingsnelheid van 15 RPM was de spreiding in de meetgegevens het kleinst en konden voorzichtige trends worden onderscheiden in het verwerkbaarheidsgedrag van asfalt. Hoewel het werk van Gudimettla et al. veelbelovend lijkt, moet worden opgemerkt dat de spreiding in ruwe meetdata nog relatief groot is. De trends die na bewerking zijn waargenomen zijn om deze reden niet betrouwbaar. Bovendien zijn de proeven uitgevoerd van  $170^\circ\text{C}$  tot een temperatuur van  $120^\circ\text{C}$ . Verwerkbaarheidskarakteristieken zullen echter een wijder temperatuursgebied moeten overspannen, tot minstens  $70^\circ\text{C}$  á  $80^\circ\text{C}$ , wil men gericht kunnen sturen tijdens de verdichting.

<sup>1</sup> Superpave is een Amerikaanse systematiek voor het ontwerpen van asfaltmengsels

Voortbouwend op het werk verricht door Gudimettla et al. is door De Bruin et al. [1] in 2011 aanvullend onderzoek gedaan naar de bepaling van verwerkbaarheid van asfaltmengsels. In dit onderzoek is gebruikt gemaakt van een Bear menger en twee mengarmen, een wokkel en de mengarm met schoepen zoals eerder beschreven. Registratie van de weerstand ondervonden door de mengarm is tevens door middel van een ampèremeter uitgevoerd. Het doel van De Bruin was een representatiever experiment voor de verwerkbaarheid te ontwikkelen teneinde betrouwbaardere verwerkbaarheidskarakteristieken te produceren. Daarom is besloten de omwentelingssnelheid van de mengarm af te stemmen op de omwentelingssnelheid van de worm in de asfaltspreidmachine die 35 RPM bedraagt. Aangezien de menger slechts met één omwentelingssnelheid, 98 RPM, kon mengen is het contactoppervlak van de mengarmen evenredig verkleind. De temperatuur werd gemeten met een insteekthermometer aan het begin en eind van de proef en met infrarood tijdens de proef. Het interval waarbinnen door de De Bruin gemeten is groter dan in het onderzoek van Gudimettla en loopt van 160°C tot 80°C. In overeenstemming met Gudimettla et al. constateerde De Bruin dat de mengarm met schoepen ontmenging reduceert. Ook toont De Bruin enkele karakteristieken na bewerking van de ruwe meetdata. De ampères zijn echter niet omgezet naar getalswaarden voor het koppel, waardoor een vergelijking met eerdere resultaten niet mogelijk is. Opvallend is de spreiding in ruwe meetdata die ook in dit onderzoek relatief groot is. Dit kan een gevolg zijn van de hoge omwentelingssnelheid. De betrouwbaarheid van de gerapporteerde karakteristieken is daardoor nog onzeker.



Figuur 4 : Ruwe verwerkbaarheidsdata (De Bruin, 2011)



Figuur 5 : Verwerkbaarheidskarakteristieken na filtering ruwe data (De Bruin, 2011)

Uit de literatuur volgt dat er, ondanks de aandacht voor de verwerkbaarheid van asfaltmengsels, nog geen aantoonbaar geschikte proefopstelling, proefprocedure en analyse-methode zijn vastgesteld. Een aantal van de bevindingen en ervaringen beschreven in de literatuur zijn echter zeer waardevol om mee te nemen in een nieuw ontwikkelingstraject.

Zo blijkt dat een verwerkbaarheidsmeter met motorisch aangedreven mengarm en vaste mengkom de meest veelbelovende basisopstelling is. Bovendien is door meerdere onderzoeksresultaten bevestigd dat de mengarm met specifiek geplaatste schoepen ruis vermindert, ontmenging reduceert en het ontstaan van afschuifvlakken voorkomt. Overigens wordt vermoed dat een groot deel van de ruis in metingen toe te kennen is aan de wijze van data acquisitie. Het omzetten van een weerstand gemeten via een ampèremeter naar een uiteindelijke waarde voor het koppel leidt immers tot een opeenstapeling van meetonzekerheden. Daarnaast zou continue registratie van de betreffende grootheden kwaliteit van de metingen bevorderen, omdat interpolatie in dit geval niet meer noodzakelijk is.

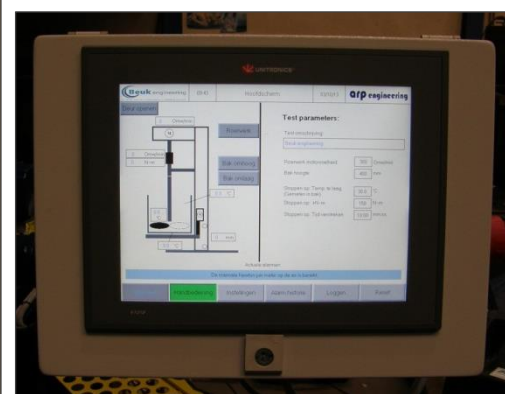
Wat betreft de proefprocedure lijkt de omwentelingsnelheid van de mengarm een aanzienlijke invloed te hebben op de meetgegevens. Toerentallen tussen 5 RPM en 30 RPM leverden tot nu de meest bruikbare data. Ook het temperatuurinterval waarin gemeten wordt is erg smal en negeert lagere temperaturen die wezenlijk het meest bepalend zijn. Tenslotte varieert de hoeveelheid te beproeven materiaal van 5 kg tot 20 kg en invloed van de batchgrootte op de meting is niet beschreven.

### 3. Ontwikkeling prototype verwerkbaarheidsmeter Boskalis

Uitgaande van een opstelling bestaande uit een vaste mengkom en een mengarm voortgestuwd door een motor stond de basis voor een nieuw prototype verwerkbaarheidsmeter vast. Hoewel de mengkom niet roteert, kan deze wel automatisch in hoogte versteld worden. Een verwerkbaarheidsproef wordt op deze manier een stuk minder arbeidsintensief. Een bijkomend voordeel is dat de mengkom omhoog gebracht kan worden, terwijl de mengarm reeds in beweging is. De initieel te overwinnen weerstand blijft hierdoor laag, wat overbelasting van het meetsysteem verhindert. De hoogte van de bak is bovendien gedurende de proef te wijzigen. Hoogst waarschijnlijk zal de mengarm de kans op het ontstaan van een afschuifvlak niet geheel wegnemen. Bij het onverhoopte voordoen van een dergelijke luchtlaag kan men door de bakhoogte te veranderen eventuele verstorende invloeden op de meetdata minimaliseren.



Figuur 6 : Impressie nieuw prototype verwerkbaarheidsmeter



Figuur 7 (b) : Mengarm en Rotary Torque

Figuur 8 (o) : Besturing middels touchscreen

Cruciaal voor het succes van de verwerkbaarheidsmeter is de dataregistratie. Om de temperatuur doorlopend te monitoren wordt gebruik gemaakt van drie sensoren. Een sensor bevindt zich in de bodem van de bak en staat in contact met het asfalt. De middelste schoep van de mengarm is uitgerust met de tweede sensor. Als derde wordt middels een infrarood thermometer, geplaatst boven de mengkom, de temperatuur van het mengsel gemeten. Ook de bakhoogte wordt met hulp van een sensor onafgebroken bijgehouden. Belangrijker nog dan de temperatuurregistratie en bakhoogte is de manier waarop de verwerkbaarheid wordt gemeten en in welke eenheid deze wordt uitgedrukt. In beginsel levert het asfalt weerstand tegen verwerking door uitoefening van een wringend moment op de mengarm. Daarom is besloten om de verwerkbaarheid ook in dit onderzoek te karakteriseren als koppel. Een mengsel dat slecht verwerkbaar is zal een groter moment leveren en vice versa. Het is echter gebleken dat omzetten van het benodigde extra vermogen, waarmee het toerental in stand gehouden wordt, niet de gewenste precisie oplevert. Gunstiger zijn directe metingen aan het koppel. Dit is gerealiseerd door het gebruik van een *shaft to shaft rotary torque sensor* met *encoder*. Deze sensor wordt tussen de aandrijfjas en de mengarm in geplaatst en meet met behulp van rekstrookjes direct het moment dat is uitgeoefend op de mengarm. Dit voorkomt de opeenstapeling van meetonzekerheden. De encoder verzekert dat in 99,9% van de gevallen het ingestelde toerental gelijk is aan het uitgevoerde toerental.

De verwerkbaarheidsmeter wordt bestuurd middels een touchscreen. Bij aanvang van een proef kunnen de mengselgegevens, maximale tijdsduur, ondergrens van de temperatuur, bovengrens van het koppel, bakhoogte en het toerental worden ingesteld. Op basis van de ingevoerde data slaat het apparaat af, als een grens overschreden is. Uiteraard kan de proef te allen tijde handmatig wordt gestaakt. Daarnaast bestaat de mogelijkheid gedurende de proef de metingen te volgen. Hoewel de sensoren continu meten, toont deze 'live' datalog om de 10 seconden een meetpunt. De data bestemd voor analyse wordt per seconde geregistreerd en opgeslagen.

#### **4. Ontwikkeling protocol verwerkbaarheidsproef Boskalis**

Het voorlopige proefprotocol is opgesteld door proefondervindelijk waar te nemen welke instellingen en omstandigheden de meest zuivere data verschaffen. De startwaarden voor een aantal parameters worden echter op basis van conclusies uit de literatuur bepaald. Zo is het opmerkelijk dat het merendeel van de onderzoeken zich heeft geconcentreerd op het verwerkbaarheidsgedrag van asfaltmengsels bij temperaturen vanaf 120°C, terwijl juist de lagere temperaturen kritiek zijn tijdens verwerking. Bovendien zijn de kritieke temperatuurvensters per bitumen verschillend. In plaats van vaste grenzen te stellen, is ervoor gekozen de aanvangs- en eindtemperatuur van de proef af te stemmen op de eigenschappen van de betreffende bitumen. Als aanvangstemperatuur moet gestreefd worden de voorgeschreven mengtemperatuur zo dicht mogelijk te benaderen. De proef kan worden afgebroken zodra de temperatuur van het mengsel is gedaald tot het softening point. Bij temperaturen lager dan het softening point van de bitumen kan een asfaltmengsel immers al niet meer fatsoenlijk worden verdicht. Kennis van het verwerkbaarheidsgedrag is op dat moment niet benodigd.

Over de massa van het proefmengsel lijken de meningen verdeeld, want deze varieerde tussen 5 kg en 20 kg. Omdat de variatie in batchgrootte geen merkbaar effect heeft getoond op de zuiverheid van de metingen is de massa van het monster gedurende dit onderzoek afgestemd op het ontworpen prototype. Rekening houdend met de plaatsing van de sensoren is een maximale vulling van de mengkom bepaald.

Vervolgens is de mengkom tot de aangegeven hoogte gevuld met een aantal soorten asfaltmengsels, waaruit bleek dat de massa van de proefmonsters  $20 \pm 1$  kg bedraagt. Uit eerder onderzoek is tevens gebleken dat het optimale toerental hoogst waarschijnlijk ergens tussen 5 RPM en 30 RPM ligt. Ook is aangetoond dat de omwentelingssnelheid van grote invloed is op de kwaliteit van de meting. Daarom is besloten een aantal identieke series proeven uit te voeren, waarin enkel het toerental is gevarieerd. Er is gestart met 25 omwentelingen per minuut. Op basis van de resultaten uit het eerste proefdraaien, zijn benodigde aanpassingen gemaakt. Daarnaast is de maximale tijdsduur van een verwerkbaarheidsproef ingeschat op een uur. Verwacht wordt dat een asfaltmengsel binnen een uur de temperatuuurdaling van mengtemperatuur tot temperatuur ring en kogel moet kunnen behalen.

Per omwentelingssnelheid is een divers aantal asfaltmengsels beproefd. Er is geprobeerd zoveel mogelijk soorten asfalt mee te nemen om het effect van verschil in mengselsamenstelling te onderzoeken. Bovendien zijn per proefserie vier verschillende soorten bitumen getest, twee standaard penetratiebitumina, één harde penetratiebitumen (EME) en één gemodificeerde bitumen. Overigens is het mineraal aggregaat in alle mengsels van dezelfde soort. Een overzicht van beproefde asfaltmengsels met bijbehorende specifieke temperatuurgrenzen is te vinden in tabel 1.

Tabel 1 : Overzicht van beproefde asfaltmengsels

| MENGSELTYPE | BINDMIDDEL        | STARTTEMPERATUUR<br>[°C] | EINDTEMPERATUUR<br>[°C] |
|-------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| AC 11 SURF  | BITUMEN<br>40/60  | 160                      | 70                      |
| AC 11 SURF  | BITUMEN<br>70/100 | 160                      | 60                      |
| AC 11 SURF  | MODIFICATIE A     | 185                      | 80                      |
| AC 11 SURF  | EME 15/25         | 185                      | 80                      |
| ZOAB 16     | BITUMEN<br>70/100 | 160                      | 60                      |
| SMA 11      | BITUMEN<br>70/100 | 160                      | 60                      |

### Proefserie I – 25 rpm

Voor de proeven tijdens deze serie zijn de asfaltmengsels van te voren gemengd en op temperatuur gebracht in een stoof. Bij aanvang van de eerste proef is meteen ondervonden dat de mengsels in een stoof vrij moeilijk de gewenste temperatuur aannemen en aanhouden. De temperatuur van de mengsels bij de start van de proef was daarom erg laag. In sommige gevallen tot  $30^{\circ}\text{C}$  onder de gewenste aanvangstemperatuur. Als gevolg vormden zich al vroeg mortelballetjes in het mengsel. Na verloop van tijd leek de mengarm rond te draaien in een bak gevuld met knickers. Dit heeft zich vooral geuit in een vlak verloop van verwerkbaarheidscurves, die niet direct stroken met de verwachting. Daarnaast rijst het vermoeden dat het toerental van 25 RPM erg hoog is en bijdraagt aan een versnelde klontvorming. Een andere opvallende observatie tijdens deze proefserie is het regelmatige voorkomen van erg hoge uitschieters in koppel die de spreiding negatief beïnvloeden. De afwijkende meetwaarden worden veroorzaakt door korrels die zeer kortstondig klem zitten tussen de schoepen van de mengarm en de wand van de mengkom.



Ook is opgemerkt dat er tegen de wand van de mengkom vrij veel fijn materiaal afgezet is en de mate van ontmenging groot is. Deze waarneming wijst er eveneens op dat de omwentelingssnelheid waarschijnlijk te hoog is. Tegen het aflopen van de verwerkbaarheidsmeting oogden alle mengsels tamelijk dof. Dit dof slaan wordt in de praktijk beschouwd als indicatie voor het moment waarna het asfaltmengsel niet meer te bewerken is. De doffe aanblik van het monster ging opvallend genoeg van start op hetzelfde moment dat de spreiding in de metingen verder toenam. Desalniettemin lijkt de spreiding van de metingen duidelijk kleiner dan die in metingen verricht tijdens eerder onderzoek. Na afloop van elke meting dient de bak schoongemaakt te worden voor nieuw gebruik. Dit bleek, vooral bij de gemodificeerde en harde penetratiebitumen, een hels karwei vanwege de dikke laag afgezet fijn materiaal tegen de wand en de bodem van de bak. De verwerkbaarheidsproeven konden hierdoor niet snel achtereenvolgend worden uitgevoerd. Dit is ondervangen door een tweede identieke mengkom te laten maken.



Figuur 9 : Afzetting van fijn materiaal tegen wand mengkom



Figuur 10 : Laagdikte van aangekoekt fijn materiaal

Uit observaties en resultaten van de eerste serie proeven zijn een aantal moeilijkheden ontdekt. Met enkele aanpassingen aan de proefopstelling en de proefinstellingen is vervolgens geprobeerd deze op te lossen. De doorgevoerde wijzigingen zijn:

- ❖ De asfaltmengsels moeten zo snel mogelijk na menging worden beproefd in de verwerkbaarheidsmeter om het werkelijke venster voor de verwerking van de specie vast te kunnen leggen. Dit voorkomt tevens vroege vorming van klonten, die onverwacht vlakke verwerkbaarheidscurves oplevert.
- ❖ De schoepen van de mengarm zijn met 15 mm ingekort. Op deze manier wordt de kans op kortstondig klemzittende stenen verlaagd, wat spreiding in de metingen verder reduceert. Om het effect van het toerental en de afmetingen van de mengarm op de spreiding in data te kunnen onderscheiden, is de tweede serie proeven uitgevoerd bij 25 RPM.
- ❖ Omdat de mengsels bij relatief lage begintemperaturen getest zijn, is het nog niet helder of de maximale ingeschatte tijdsduur van 1 uur in alle gevallen toereikend is. Ook in serie II is elk mengsel daarom een uur getest. Het gelijktijdig dof slaan van het mengsel en toenemen van de spreiding doet trouwens vermoeden dat aan dit fenomeen een geschikt afbreekcriterium voor de proef kan worden verbonden.

## **Proefserie II – 25 rpm met aangepaste mengarm**

Hoewel ingezet was op het beproeven van de asfaltmengsels zo snel mogelijk na menging stonden de locatie van de meetopstelling en de daar voorhanden zijnde faciliteiten dit helaas niet toe. Het asfalt is daartoe gemengd op een andere locatie en gemiddeld 4 uur na menging beproefd in de verwerkbaarheidsmeter. Onderwijl is geprobeerd de mengsels, zoals tijdens de eerste serie, in een stoof op temperatuur te krijgen en houden. De tijd verstreken tussen menging van het asfalt en de uiteindelijke plaatsing ervan in de stoof op locatie was geringer dan voorheen. Deze serie verwerkbaarheidsmetingen is daarom gestart met warmer asfalt. Het verschil in begintemperatuur kon vooral worden opgemerkt aan een meer gedefinieerd verloop van het gemeten koppel. Daarnaast heeft het inkorten van de mengschoepen een onmiskenbaar beperkend effect op de spreiding in data. Het aankoeken van de fijne fractie en ontmenging zijn niet afgenomen. Tevens blijkt dat het dof slaan van het monster ook tijdens de tweede serie samenvalt met het moment waarop de toename in spreiding zichtbaar start. Voorts is opgemerkt dat de duur van een uur in de meeste gevallen erg lang is. Een verwerkbaarheidsproef kan worden gestopt, als het mengsel dof oogt. Metingen tonen namelijk dat na het dof slaan van het asfalt het koppel redelijk constant blijft. De veronderstelling dat het toerental van 25 RPM te hoog is, is door de nieuwe resultaten overigens eerder gesterkt dan ontkracht. Volgende series zijn om die reden ingezet met omwentelingssnelheden van 5 RPM in serie III en 15 RPM in serie IV.

## **Proefserie III – 5 rpm met aangepaste mengarm**

Om tijdens deze reeks proeven wel te kunnen starten met asfaltmengsels op mengtemperatuur is de verwerkbaarheidsmeter van locatie veranderd. Deze verhuizing maakte het mogelijk direct na mengen de verwerkbaarheid van het asfalt te meten. Jammer genoeg bleek tijdens de eerste twee proeven dat het toerental te laag was. Het gehanteerde toerental van 5 RPM was erg onstabiel en op bepaalde momenten viel de mengarm stil. Serie III is derhalve vroegtijdig beëindigd.

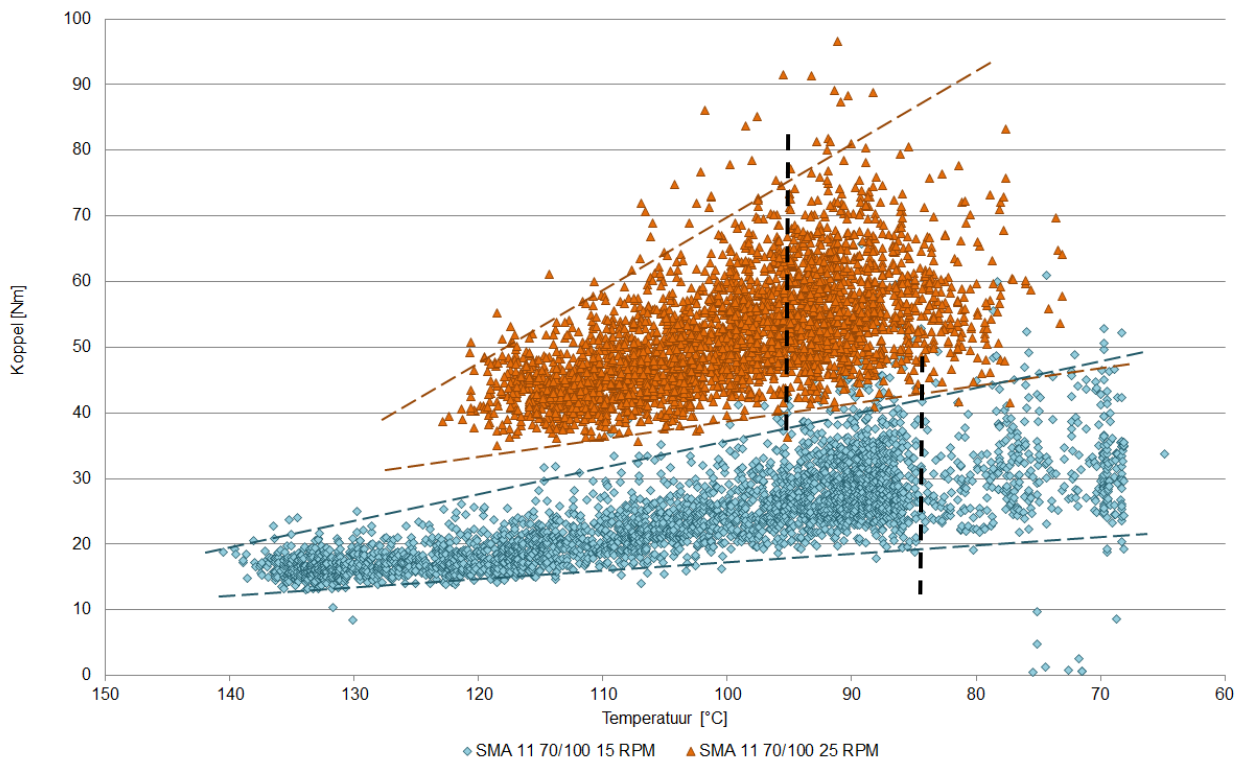
## **Proefserie IV – 15 rpm met aangepaste mengarm**

Verwerkbaarheidsmetingen in de vierde en laatste reeks zijn direct na het mengen uitgevoerd. Over het algemeen is de spreiding in de gemeten koppelwaarden kleiner dan voor proeven gedaan bij 25 RPM. Ook de vorming van mortelballetjes en de afzetting van fijn materiaal is afgenomen door de verlaging van het toerental. Bij het instellen van een lagere omwentelingssnelheid is de stabiliteit ervan niet geheel onbelangrijk gebleken. Tijdens de metingen heeft de mengarm met een constante snelheid van 15 omwentelingen per minuut zonder uitval gedraaid.

De resultaten van de verwerkbaarheidsmetingen bij 15 RPM zien er veelbelovend uit. Duidelijk zichtbare trends, relatief weinig ruis in initiële meetdata, naar verhouding redelijk weinig aangekoekt fijn materiaal en dus minder ontmenging. Figuur 11 toont de ruwe data van verwerkbaarheidsmetingen gedaan met een SMA 11 70/100. Beide metingen zijn uitgevoerd met de aangepaste mengarm.

Uit de grafiek kan worden opgemaakt dat de spreiding bij 25 RPM aanzienlijk groter is dan bij 15 RPM. Bovendien lijkt de data van de meting bij 15 omwentelingen per minuut een

trend te volgen. In de figuur zijn ook twee zwarte, gestippelde lijnen getekend. Bij die aangegeven temperatuur begon de SMA doffer te ogen. De toename in spreiding lijkt vanaf dat moment sneller te verlopen.

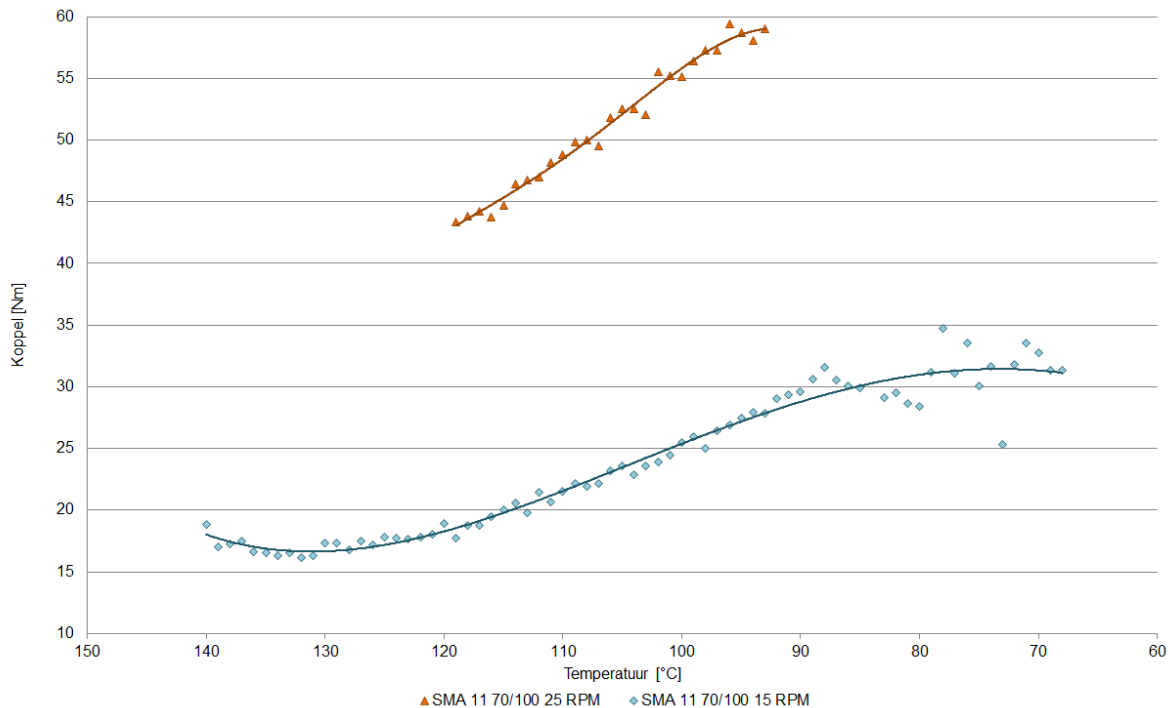


Figuur 11 : Ruwe data verwerkbaarheidsmeting SMA 70/100 bij 25 RPM en 15 RPM

Overigens moet worden opmerkt dat een deel van de ruis wordt veroorzaakt door de hoge frequentie van de geregistreerde data. De temperatuursensoren meten de temperatuur op een decimaal nauwkeurig. De metingen aan het koppel worden per seconde weggeschreven. Omdat de asfaltmengsels langzamer afkoelden dan  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{s}$  worden aan eenzelfde temperatuur meer koppelwaarden verbonden. In figuur 12 is daarom dezelfde data weergegeven als in figuur 11, maar nu per graad gemiddeld. De karakteristiek van de meting bij 15 RPM is sterker terug te herkennen in de ruwe data dan de karakteristiek bij 25 RPM.

Op basis van genoemde gronden is besloten met de metingen gedaan bij 15 RPM een analysemethodiek te ontwikkelen, waarmee op een statisch verantwoorde manier verwerkbaarheidskarakteristieken kunnen worden opgesteld. Over de resultaten van proefserie IV, de metingen bij 15 RPM, en de betreffende de analysemethodiek wordt in de volgende paragraaf uitgeweid.

Een overzicht van het voorlopig meest geschikte proefprotocol is gegeven in tabel 2.



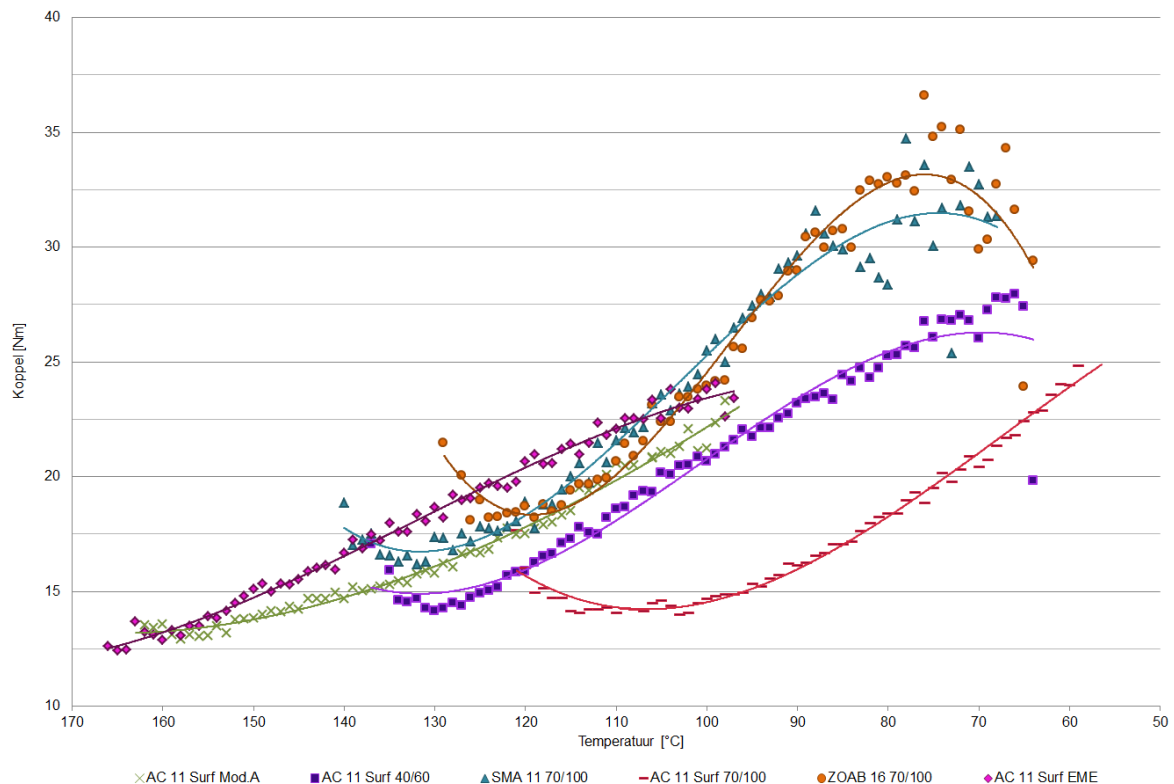
Figuur 12 : Verwerkbaarheidsdata SMA 11 70/100 bij 25 RPM en 15 RPM met meetwaarden gemiddeld per graad

Tabel 2 : Overzicht instellingen en omstandigheden voorlopig proefprotocol verwerkbaarheidsproef

| BATCHGROOTTE<br>[KG]  | TOERENTAL<br>[RPM] | STARTTEMPERATUUR<br>[°C]                     | EINDTEMPERATUUR<br>[°C]                                       |
|---|--------------------|--|---|
| 20  | 15                 | VOORGESCHREVEN<br>MENGTEMPERATUUR<br>BITUMEN | SOFTENING POINT BITUMEN<br><i>OF</i><br>BIJ DOF SLAAN MENGSEL |
| ❖ ASFALTMENGSELS DIENEN DIRECT OF ZO SNEL MOGELIJK NA MENGING TE WORDEN BEPROEFD. |                    |  |   |
| ❖ GEBRUIK WORDT GEMAAKT VAN EEN MENGARM MET SPECIFIEK GEPLAATSTE SCHOEPEN         |                    |  |   |

## 5. Resultaten

In de vierde reeks proeven zijn van zes asfaltmengsels de verwerkbaarheidskarakteristieken bij 15 omwentelingen per minuut bepaald. De resultaten hiervan zijn, gemiddeld per graad, weergegeven in figuur 13. Opvallend aan de figuur is dat alle curves eenzelfde S-vormige slinger lijken te volgen. Dit verloop komt overeen met de verwachting. Bij de start van een proef dient een initiële weerstand te worden overwonnen door de mengarm. Vervolgens zal de weerstand dalen, want de mengsels zijn bij hogere temperaturen prima te verwerken. Naarmate de temperatuur afneemt, neemt de weerstand geleidelijk toe. Als het softening point van bitumen wordt genaderd, begint de stijging van het gemeten koppel langzaam af te nemen. Dit is te wijten aan klontvorming in het mengsel. Tevens is dit het punt waarop het asfalt duidelijk dof uitslaat. Op een gegeven moment is de vorming van klonten zo ver gevorderd dat het mengsel geen cohesie meer bezit. Dit moment wordt geassocieerd met het rechterbuigpunt. De weerstand op de mengarm neemt daarom vanaf die temperatuur enkel nog af.

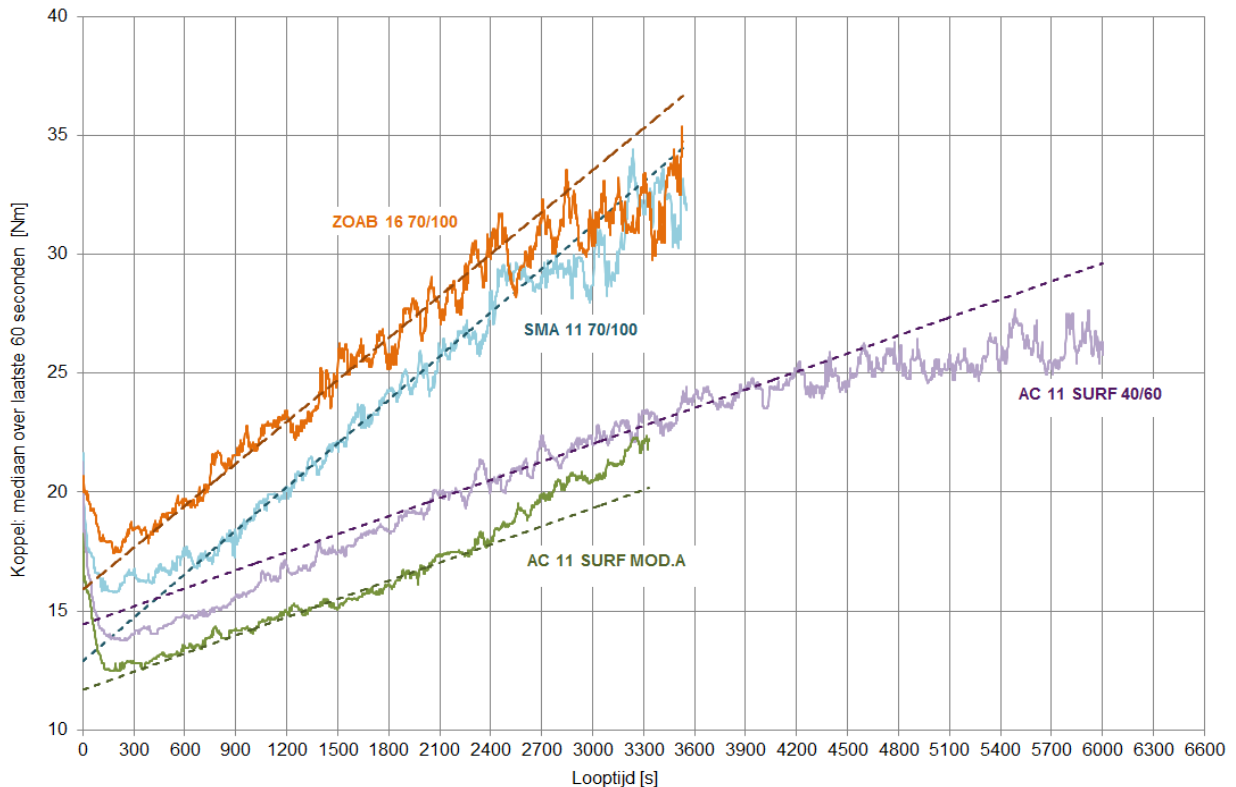


Figuur 13 : Verwerkbaarheidskarakteristieken Proefserie IV bij 15 RPM, gemiddeld per graad

Een interessante observatie is de grote overeenkomst tussen de metingen van de twee steenskeletmengsels, SMA en ZOAB. Uit de karakteristieken valt op te maken dat de SMA bij hogere temperaturen beter verwerkbaar is. Het grotere percentage mastiek in de SMA is hiervoor de oorzaak. Vervolgens neemt de verwerkbaarheid van beide mengsels met ongeveer dezelfde snelheid af en bevinden de buigpunten zich in hetzelfde gebied. Bovendien leveren de steenskeletmengsels in vergelijking met de dichte asfaltmengsels een hogere weerstand bij verwerking. Deze waarneming is in overeenstemming met de praktijkervaring. Daarnaast is het verschil in helling van de dichte en steenskeletmengsels opvallend. Een meer continue gradering lijkt bij te dragen aan een langere verwerkbaarheidsperiode. Ook is het verschil in bitumina goed te onderscheiden. De verwerkbaarheid van de AC 11 mengsels met twee zachtere, niet-gemodificeerde bitumina is beter dan de verwerkbaarheid van de mengsels met gemodificeerde en de harde penetratiebitumen. Het buigpunt voor deze mengsels lijkt bovendien eerder te ontstaan dan voor de mengsels met penetratiebitumen. Deze resultaten wijzen erop dat het gemeten verwerkbaarheidsgedrag strookt met het werkelijke gedrag in het werk.

Er zijn echter een aantal kanttekeningen te plaatsen bij de verrichte metingen. Een van de kanttekeningen betreft het toerental waarbij de verwerkbaarheid gemeten is. Idealiter zou de belasting die dit toerental levert representatief moeten zijn voor de handelingen uitgevoerd tijdens verwerking. Tijdens dit onderzoek is nogmaals bevestigd dat het verloop van de verwerkbaarheidskarakteristiek afhangt van het opgelegde toerental gedurende de proef. Ook de vorm van de mengarm blijkt van belang. Hier is dus nog een optimalisatieslag mogelijk. Daarnaast zijn de mengsels beproefd in de gecontroleerde omgeving van het laboratorium. De invloed van weersomstandigheden op de afkoelingscurve van het asfalt is derhalve niet

meegenomen. De informatie kan vervolgens gekoppeld worden aan onderzoek verricht door ASPARi [5][7] betreffende het vastleggen van afkoelingscurves van asfalt tijdens aanleg. Door koppeling van de resultaten van de gemeten verwerkbaarheid aan de afkoelingscurves kunnen per individueel asfaltmengsel aanbevelingen worden herleid voor beschikbare verwerkingstijd bij verwachte weersomstandigheden. De statistische analysemethode is op het moment nog in ontwikkeling. Een impressie van de verwerkbaarheidsdata afgezet tegen de tijd is weergegeven in figuur 14.



Figuur 14 : Verwerkbaarheidsdata (mediaan over laatste 60 s) uitgezet tegen looptijd proef

## 6. Conclusies en aanbevelingen

De resultaten van het onderzoek bevestigen de veronderstelling dat het opstellen van karakteristieken die de verwerkbaarheid van asfaltmengsels beschrijven mogelijk is. De trends van de verwerkbaarheidsgrafieken blijken representatief voor het werkelijke verwerkingsgedrag van asfalt. Ook het verschil in de verwerkbaarheid van type asfaltmengsels en soorten bitumen zijn waargenomen en in lijn met de praktijkervaring. Wel is gebleken dat de gebruikte meetopstelling en het toegepaste proefprotocol van belang zijn voor de borging van de betrouwbaarheid en praktische toepasbaarheid van de karakteristieken. Met name de wijze van data-acquisitie en -registratie, de omwentelingssnelheid van de mengarm en de vorm van de mengarm hebben hierop veel invloed. Experimenteel zal moeten worden ondervonden welke aanpassingen aan het prototype van het apparaat en het proefprotocol bijdragen aan een verhoging van de nauwkeurigheid en de bruikbaarheid van de verwerkbaarheidsdata. De reeds gestarte ontwikkeling van een statistisch onderbouwde analysemethodiek draagt tevens bij aan een uniforme, objectieve beoordeling van de gemeten karakteristiek.

Enkele suggesties om mee te nemen in een vervolgonderzoek zijn:

- ❖ Het optimaliseren van de mengarm, zodat ontmenging en klontvorming kunnen worden gereduceerd. Dit zal zich uiten in een verdere afname van de spreiding in meetgegevens.
- ❖ Een heroverweging betreffende het materiaal waaruit de mengkom is vervaardigd. Een materiaal dat minder vatbaar is voor het aancoeken van fijn materiaal kan bijdragen aan een vermindering van de ontmenging en dus meetspreiding. Daarnaast is de kans op stenen die kortstondig klem komen te zitten tussen de mengarm en de wand van de mengkom, bij een dunnere aangekoekte laag kleiner. Dit zal ook leiden tot een afname in spreiding.
- ❖ Het leggen van verbanden tussen de werkelijke afkoeling van een asfaltmengsel onder invloed van weersomstandigheden en de afkoeling van een asfaltmengsel beproefd in het laboratorium. Op deze manier kan de verwerkbaarheidskarakteristiek gemeten in het lab worden gekoppeld aan praktijkcondities om uiteindelijk betrouwbare aanbevelingen te doen voor de beschikbare verwerkingstijd bij gegeven weersomstandigheden.

## 7. Referenties

- [1] **De Bruin, B. et al.**, *Bepaling verwerkbaarheids- en verdichtbaarheidsparameters asfaltmengsels*, BAM Wegen T&O, Utrecht, 2011
- [2] **Dongre, R. & Salomon, D.**, *New workability device for asphalt emulsion cold mixes and hot-mix asphalt*, Dongre Laboratory Services Inc., 2006
- [3] **Gudimettla, J. et al.**, *Workability of hot mix asphalt*, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Auburn, 2003
- [4] **Marvillet, J. & Bougault, P.**, *Workability of bituminous mixtures; Development of a workability meter*, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Denver, 1979
- [5] **Miller, S. et al.**, *Proefproject Aziëhavenweg*, Universiteit Twente/ASPARi & BAM Wegen T&O, Enschede, 2008
- [6] **Tao, M. & Mallick, R.**, *Effects of warm-mix asphalt additives on workability and mechanical properties of reclaimed asphalt pavement material*, Journal of transportation research record, 2009
- [7] **Vasenev, A. et al.**, *Prediction of the in-asphalt temperature for road construction operations*, Universiteit Twente, [www.aspari.nl](http://www.aspari.nl), Enschede, 2012