

## Zoab in process

Zó naar verbetering van levensduur



Prijsvraag Schoner, Stiller en Homogener Asfalt  
Perceel 3, Homogener  
Eindrapport uitvoeringsfase

**Rapportnummer DWW- 2007-022**

Status : definitief  
Bedrijfsnaam : Combinatie SSH-2  
Datum : 10 oktober 2007



- |   |  |
|---|--|
| <p><b>1. Rapportnummer</b><br/>DWW-2007-022</p> <p><b>3. Ontvanger catalogus nummer</b><br/>-</p> <p><b>5. Datum rapport</b><br/>juli 2007</p> <p><b>7. Schrijver(s)</b><br/>Berwich Sluer, BAM Wegen bv</p> <p><b>9. Naam en adres opdrachtnemer</b><br/>Combinatie SSH3</p> <p><b>12. Naam en adres opdrachtgever</b><br/>Rijkswaterstaat<br/>DGP &amp; VROM</p> <p><b>15. Opmerkingen</b><br/>Verspreiding<br/>Ministerie V en W (nee)<br/>DGP &amp; VROM</p> <p><b>17. Referaat</b><br/>In deze rapportage wordt een beschrijving gegeven van de realisatie van het idee van SSH3 om het gehele proces van de aanleg van tweelaags zoab te verbeteren, teneinde de levensduur met twee jaar te verlengen.</p> <p><b>18. Distributie systeem</b><br/>Verkrijgbaar bij de<br/>Dienst Weg- en Waterbouwkunde<br/>T.a.v. Mw. M.A. Schomaker<br/>Tel.: 015 – 2518 308</p> <p><b>21. Aantal blz.</b><br/>-</p> <p><b>23. Acceptatie projectleider</b><br/>A. van den Burg</p> <p><b>25. Acceptatie afdelingshoofd IP</b><br/>drs W. Hoevers</p> | <p><b>2. Serienummer</b><br/>-</p> <p><b>4. Titel en ondertitel</b></p> <p><b>6. Code uitvoerende organisatie</b></p> <p><b>8. Nummer rapport uitvoerende organisatie</b></p> <p><b>10. Projectnaam</b><br/>Prijsvraag "schoner, stiller en homogener asfalt"</p> <p><b>11. Contractnummer</b><br/>DWW-2979</p> <p><b>13. Type rapport</b></p> <p><b>14. Code andere opdrachtgever</b><br/>-</p> <p><b>16. Trefwoorden</b><br/>tweelaags zoab, shuttle buggy, TAS, infrarood, homogeniteit</p> <p><b>19. Classificatie</b><br/>-</p> <p><b>20. Classificatie deze pagina</b><br/>-</p> <p><b>22. Prijs</b><br/>-</p> <p><b>24. Acceptatie programma manager IPG</b><br/>drs. J.R.P. Nijland</p> <p><b>26. Acceptatie directeur Infrastructuur</b><br/>dr. P. Stienstra</p> |
|---|--|

De Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat heeft de in deze publicatie opgenomen gegevens zorgvuldig verzameld naar de laatste stand van wetenschap en techniek. Desondanks kunnen er onjuistheden in deze publicatie voorkomen. Het Rijk sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die uit het gebruik van de hierin opgenomen gegevens mocht voortvloeien.



## Management samenvatting

- Om een goed wegdek van tweelaags zoab te realiseren, is het belangrijk om de invloed van kritieke onderdelen in het totale productieproces vanaf de bouwstofkeuze en het vaststellen van de mengselsamenstelling tot en met de verdichting van het asfalt in de weg te onderkennen en de negatieve invloeden op de kwaliteit van het eindproduct te beperken. Mogelijke procesverbeteringen zijn bijvoorbeeld het verbeteren van de verwerkbaarheid van de asfaltspecie, het robuuster maken van constructies en het logistiek optimaliseren van het productieproces.

De Combinatie SSH-2, bestaande uit BAM Infra (BAM Wegen en Multiconsult) en KOAC-NPC en gesteund door de Univesiteit Twente, heeft in de ideefase als oplossingsrichting gekozen voor het opzetten van een totaalprogramma voor het voorkomen van “early failures” in het ontwerp-, productie- en verwerkingsproces. Naast de verbetering van het ontwerp, de productie en de verwerking van het asfalt is ook veel aandacht besteed aan de monitoring van de resultaten. Immers, zonder gerichte en structurele monitoring van het verwerkte asfalt ontbreekt de noodzakelijke feitelijke informatie om gefundeerde conclusies te trekken over het werkelijke effect van de maatregelen.

In het project SSH3 zijn op basis van de resultaten van de ontwikkelfase en de voorbereiding van de uitvoeringsfase van de volgende onderdelen gerealiseerd:


1. Verwerkbaarheidstoets
2. Nauwkeurige inkoopseisen (bindmiddel PMBexp8 en vulstof EUF-C)
3. Temperatuurbeheersing asfaltinstallatie door verlaging productiecapaciteit
4. CPA meetapparatuur
5. Shuttle Buggy
6. Twee Laags Asfalt Systeem
7. Lage Temperatuur Asfalt
8. Infraroodcamera
9. GPS-registratie bewegend materieel
10. Statistisch analysemodel.

Op woensdag 24, donderdag 25 en vrijdag 26 april 2007 is een proefvak in Rijksweg 35, 1HRR km 60,700+30m tot km 61,100+90 m. De totale lengte van het proefvak bedraagt 460 m. De rijbaan bestaat uit een redresseerstrook, rijstrook 1, rijstrook 2 en een vluchtstrook, totale rijbaanbreedte is circa 12,5 m.

De weersomstandigheden tijdens de aanleg van het proefvak waren zeer goed en stabiel, gemiddelde temperatuur circa 18°C en gemiddelde windsnelheid circa 5 km/u.

De realisatie van de verschillende onderdelen van het project heeft de volgende bevinding opgeleverd:

- de verwerkbaarheidstoets kan direct worden ingezet bij het ontwerpen van gevoelige asfaltmengsels. Verificatie en validatie van de resultaten moet nog plaatsvinden om tot grootschalige toepassing van deze toets over te gaan.
- vanwege beperkingen aan de asfaltinstallatie was het niet mogelijk om de volledige gewenste hoeveelheid EUF-C ter verbetering van de aanvangstroefheid te



doseren. Dit heeft mede tot gevolg gehad dat de stroefheid van het wegdek in het proefvak tweemaal moest worden gemeten om te kunnen vaststellen dat aan de eisen is voldaan. Nader onderzoek naar de minimaal benodigde hoeveelheid EUF-C om de gewenste stroefheid en remvertraging bij nieuw asfalt te bereiken is noodzakelijk.

- Na afronding van de evaluatie van het gedrag van het speciaal voor dit werk ontwikkelde bindmiddel PMB exp8 wordt verwacht dat dit bindmiddel in potentie tot een aanzienlijke verbetering van de levensduur van tweelaags zoab kan leiden.
- De technische mogelijkheden voor de verbetering van de temperatuurbeheersing in de asfaltinstallatie vereisen nader onderzoek. Het verlagen van de productiecapaciteit van de asfaltinstallatie heeft niet geleid tot een betere beheersing van de temperatuur in de droogtrommel van de asfaltinstallatie en heeft daarmee niet het verwachte effect gehad voor het reguleren van het vochtpercentage in het mineraalaggregaat.
- Voor het bereiken van een homogener temperatuurverdeling in het asfalt na verwerking is gebruik gemaakt van een shuttle buggy voor het laden van de asfaltspreidmachine. De shuttle buggy vereist echter nog enige technische aanpassingen om de tweelaags asfaltspreidmachine (TAS) wisselen te laden met de asfaltmengsels voor de onder- en bovenlaag. Tijdens de uitvoering van het proefvak is besloten om de hopper voor de bovenlaag te laden met een kraan.
- Tijdens de aanleg van het proefvak zijn er problemen geweest met het vinden van de juiste hoogte-instelling van de afwerkbalken van de TAS om een vlakke en homogene laag tweelaags zoab aan te brengen. Op dit punt is nog enige technische verbetering van de TAS nodig, teneinde rijstrookbreed onderhoud van hoge kwaliteit met minimaal beslag op de beschikbaarheid van de weg met de TAS mogelijk te maken.
- Met behulp van infraroodcamerabeelden kan nauwkeurige temperatuurdata worden verkregen van het asfaltverwerkingsproces. Met deze data kunnen temperatuurcontourkaarten worden samengesteld, die veel informatie verschaffen over de temperatuurhomogeniteit in het werk. Het gebruik van warmtebeelden voor de beoordeling van het resultaat van het verwerkingsproces heeft absoluut een toekomst.
- De GPS-registratie van bewegend materieel is zeer effectief voor de beoordeling, en wellicht zelfs sturing, van het verwerkingsproces. Bovendien kunnen de resultaten van GPS-monitoring van het uitvoeringsproces zeer goed worden ingezet bij de ontwikkeling van de bekwaamheid van het uitvoerend personeel, omdat zeer gericht feedback kan worden gegeven op de invloed van hun subjectieve keuzes tijdens het werk op het resultaat van het verwerkingsproces.
- verdere ontwikkeling van het statistisch analysemodel is nodig om tot betrouwbare voorspellingen van het resultaat van ingrepen in het uitvoeringsproces op de levensduur van tweelaags zoab te komen. Een belangrijke voorwaarde hierbij is dat structurele monitoring in de gebruiksfase van uitgevoerde werken noodzakelijk is en dat er voldoende input van kennis van ervaringsdeskundigen in het systeem mogelijk is.

Uit de resultaten van de CPX-metingen is gebleken dat de homogeniteit van het eerste deel van rijstrook 2 (1HRR 2R-R) van het proefvak niet goed is, maar dat vanaf km 60,900 er sprake is van een uitstekende homogeniteit. De onvlakheid van de verharding in het eerste deel van het proefvak als gevolg van de problemen met de hoogte-instelling

van de afwerkbalen van de TAS, is zeer waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak voor de geringe homogeniteit tot km 60,900.

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde geluidsmetingen is vastgesteld dat de berekende geluidreductie voor het wegdek in het proefvak 5,3 dB(A) bedraagt. Deze waarde voldoet aan de eis voor tweelaags zoab,  $6,0 \pm 1,0$  dB(A). Voor de juiste beoordeling van deze geluidreductie moet er rekening mee worden gehouden dat het doel van de prijsvraag duurzaamheid betreft en niet geluidreductie. Uitgaande van de praktijkregel dat duurzaamheid van een geluidreducerende deklaag omgekeerd evenredig is met geluidreductie, wordt van het tweelaags zoab in het tweede deel van het proefvak een levensduur van meer dan zeven jaar verwacht.

De waterdoorlatendheid van tweelaags zoab aangelegd met de TAS, is beter dan van tweelaags ZOAB aangelegd met conventioneel materieel. Een belangrijke reden hiervoor kan zijn dat in het grensvlak tussen de onderlaag en toplaag er bij aanleg met de TAS minder verstoring optreedt dan bij aanleg van de beide lagen in twee arbeidsgangen. Tweelaags zoab aangelegd met de TAS heeft in potentie dan ook een betere waterafvoerende capaciteit en betere geluidsreducerende eigenschappen dan tweelaags zoab aangebracht in twee arbeidsgangen

De beeldvorming over de resultaten die in het proefvak van SSH3 zijn bereikt wordt in belangrijke mate bepaald door een aantal ongelukkige ervaringen, zoals het niet geleverde mineraalaggregaat, de aanloopproblemen met de TAS, de problemen met de shuttle buggy en het uitlopen van de werkzaamheden op de planning met een te late openstelling van de weg als gevolg.

Deze beeldvorming overschaduwde het feit dat er in een kleine werkruimte met een relatief grote uitvoeringstrein ook veel goede resultaten zijn geboekt.

Het idee van SSH3 betreft de verbetering van het totale proces van de aanleg van tweelaag zoab en het doel is de verlenging van de levensduur van tweelaags zoab door middel van implementatie in de praktijk van de voorgestelde procesverbeteringen. Omdat in dit geval de implementatie van de procesverbeteringen in de praktijk centraal staat en niet de realisatie van een innovatie onder geïdealiseerde praktijkcondities, is er bewust voor gekozen om het werk te realiseren vanuit de bestaande regionale uitvoeringsorganisatie. Zo is er ook maximaal inzicht verkregen in de te verwachten knelpunten bij de werkelijke implementatie van de resultaten van dit project in de praktijk, en kan hierop worden geanticipeerd.

De belangrijkste successen van het project SSH3 voor de duurzaamheid van tweelaags zoab zijn enerzijds de ontwikkeling van de verwerkbaarheidstoets en de ontwikkeling van een verbeterd bindmiddel als maatregelen om het asfaltmengsel te verbeteren, en anderzijds het inzicht in de verbeterpunten voor de toepassing van de TAS en de shuttle buggy om een optimale verwerking van het asfalt te bereiken.

Als de TAS en de shuttle buggy de benodigde technologische aanpassingen zijn ondergaan, is becijferd dat met de ontwikkelde verbeteringen aan het asfaltmengsel en het materieel de kosteneffectiviteit van het aanleggen van tweelaags zoab met 25% toeneemt ten opzichte van de aanleg onder de huidige conventionele omstandigheden. Bij de berekening van de kosteneffectiviteit is nog geen rekening gehouden met de maatschappelijke kosten als gevolg van het wegonderhoud, omdat de kwantificering

daarvan zeer locatiegebonden is. In het algemeen wordt wel gesteld dat in die situaties dat er bij de uitvoering van wegonderhoud sprake is van filevorming of omleidingsroutes, de kosteneffectiviteit van tweelaags zoab met de voorgestelde maatregelen nog aanzienlijk kan toenemen.

De werkelijke effectiviteit van de maatregelen kan uiteraard pas worden vastgesteld op basis van structurele monitoring en een goede analyse van de verkregen monitoringgegevens.

Tenslotte wordt geconcludeerd dat, rekening houdend met de omvang het proefvak en de werkruimte achter de afzettingen, in de ideefase van de prijsvraag een zeer ambitieus projectvoorstel is ingediend. Als de operationele problemen even buiten beschouwing worden gelaten, kan toch terecht worden geconcludeerd dat met de inspanningen en positieve inbreng van een ieder die in die project heeft geparticipeerd er grote stappen in de richting van de optimalisatie van tweelaags zoab zijn gezet. Na het wegnemen van de in dit project vastgestelde knelpunten kan door middel van een nieuw demonstratievak het succes van SSH3 in de praktijk worden aangetoond. De in dit project ontwikkelde innovatieve monitoringtechnieken om de temperatuurhomogeniteit en homogeniteit van de verwerking aan te tonen kunnen dan ook hun echte waarde voor de wegenbouwpraktijk gaan bewijzen.

Samenwerking tussen overheid en marktpartijen biedt kansen om innovatie te bevorderen; zo ook in de GWW sector. Met die gedachte heeft Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde begin 2006 de prijsvraag “Verbetering van wegdekken” uitgeschreven. Bij deze prijsvraag is aan marktpartijen gevraagd om complexe vraagstukken op het gebied van luchtkwaliteit, geluidsreductie en levensduur van tweelaags ZOAB op te lossen aan de hand van anticiperend onderzoek.

Ervaringen bij het programma ‘Wegen naar de Toekomst’ hadden toen al geleerd dat een alternatieve marktbenadering, zoals een prijsvraag vaak leidt tot verrassende oplossingen die ook in de praktijk implementeerbaar zijn.

De prijsvraag ‘Verbetering van wegdekken’ bestaat uit drie verschillende onderdelen, of percelen, met elk een eigen onderzoeksvraag.

- Perceel 1: het voorkomen van het opwerpen van fijn stof uit ZOAB
- Perceel 2: reiniging van tweelaags ZOAB om de geluidsreductie tijdens de levens duur te behouden
- Perceel 3: het verbeteren van de homogeniteit van tweelaags ZOAB met het doel en langere levensduur te garanderen

Voor u ligt één van de drie realisatierapporten die in het kader van perceel 3 zijn opgeleverd. Ook voor de andere twee percelen zijn ieder drie rapporten afgerond. Van de dertig ingediende ideeën zijn er negen, door een onafhankelijke jury, genomineerd voor verdere uitwerking. De negen ontwikkelde ideeën zijn geschikt om in 2007 in proefprojecten te demonstreren, te monitoren en te rapporteren.

Het ontwikkel- en realisatietraject is uitgevoerd door marktpartijen en door deskundigen van de overheid getoetst op de afgesproken procedure en op de technische inhoud.

Voor perceel 3 betrof het de volgende personen:

<b>Rijkswaterstaat DWW</b>	<b>Marktpartijen</b>	
Fons van Reisen Aad van den Burg Jan Voskuilen Rob Hofman	Heijmans Infrastructuur	Patrick van Beers, Heijmans Sjoerd Mangnus, Van Kleef Gerbert van Bochove, Heijmans Jan Hoogwerff, M+P
<b>Rijkswaterstaat DON</b>	Combinatie SSH	Berwich Sluer, BAM Wegen Matthijs van Domselaar, BAM Wegen Remy van den Beemt, BAM Wegen Henny ter Huerne, Universiteit Twente Seirgei Miller, Universiteit Twente
Frits Wissink Gerrit Maathuis	Dura Vermeer Infrastructuur	Laurens Smal Monique den Hertog Bas Laureijssen Bastiaan Ruiter



Samen is een flinke stap voorwaarts gezet bij deze vorm van publiek private samenwerking op het gebied van anticiperend onderzoek. Deze werkwijze kan in de toekomst vaker ingezet worden om onderzoeksvragen te beantwoorden.

RIJKSWATERSTAAT  
DIENST VERKEER EN SCHEEPVAART  
DE HOOFINGENIEUR-DIRECTEUR

drs. G.J.A. Al

Water  
en  
Scheepvaart



# Inhoudsopgave

<b>MANAGEMENT SAMENVATTING</b> .....	<b>3</b>
<b>VOORWOORD</b> .....	<b>7</b>
<b>INHOUDSOPGAVE</b> .....	<b>9</b>
<b>1 INLEIDING</b> .....	<b>12</b>
1.1 INLEIDING .....	12
1.2 HOOFDDOEL SSH PERCEEL 3 (IN HET VERVOLG SSH3).....	12
1.3 TE REALISEREN ONDERDELEN SSH3 .....	13
1.4 LEESWIJZER .....	14
<b>2 BESCHRIJVING ONDERDELEN SSH3</b> .....	<b>16</b>
2.1 INLEIDING .....	16
2.2 VERWERKBAARHEIDSTOETS .....	16
2.3 NAUWKEURIGE INKOOPEISEN; ONTWIKKELING BINDMIDDEL.....	16
2.4 TEMPERATUURBEHEERSING ASFALTINSTALLATIE .....	17
2.5 CPA MEETAPPARATUUR (COMPUTER PARTICLE ANALYSIS) .....	17
2.6 SHUTTLE BUGGY .....	17
2.7 TWEE LAAGS ASFALT SYSTEEM.....	18
2.8 LAGE TEMPERATUUR ASFALT .....	19
2.9 INFRAROODCAMERA.....	19
2.10 GPS REGISTRATIE OP DIGITALE ONDERGROND .....	20
2.11 STATISTISCH ANALYSEMODEL .....	21
<b>3 ONTWIKKELING ONDERDELEN IN FASE 3</b> .....	<b>22</b>
3.1 INLEIDING .....	22
3.2 VERWERKBAARHEIDSTOETS .....	22
3.3 NAUWKEURIGE INKOOPEISEN; ONTWIKKELING BINDMIDDEL.....	25
3.4 CPA-MEETAPPARATUUR .....	25
3.5 LAGE TEMPERATUUR ASFALT .....	26
3.6 STATISTISCH ANALYSEMODEL.....	27
<b>4 VOORBEREIDING EN UITVOERING PROEFVAK</b> .....	<b>31</b>
4.1 INLEIDING .....	31
4.2 BESCHRIJVING LOCATIE.....	31
4.3 GESCHIKTHEID LOCATIE .....	32
4.4 ORGANISATIE AANLEG PROEFVAK .....	34
4.5 SAMENSTELLING TOPLAAG EN ONDERLAAG TWEELAAGS ZOAB .....	35
4.6 PRODUCTIE ASFALTMENGSEL .....	36
4.7 WEERSOMSTANDIGHEDEN.....	38
4.8 ASFALTVERWERKING IN PROEFVAK .....	39
4.9 MONITORING TEMPERATUUR TIJDENS AANLEG PROEFVAK .....	43
4.10 MONITORING BEWEGINGEN MATERIEEL TIJDENS AANLEG PROEFVAK.....	50

<b>5</b>	<b>ONDERZOEK GEREALISEERD WERK .....</b>	<b>59</b>
5.1	INLEIDING .....	59
5.2	LOCATIES MONSTERNAME .....	59
5.3	LAAGDIKTE TWEELAAGS ZOAB .....	59
5.4	SAMENSTELLING .....	60
5.5	CT-SCANS BOORKERNEN .....	60
5.6	HOLLE RUIMTE BEPAALD DOOR BEREKENING .....	62
5.7	WATERDOORLATENDHEID IN SITU .....	63
5.8	WATERDOORLATENDHEID LABORATORIUM .....	63
5.9	SPLIJTSTERKTE EN WATERGEVOELIGHEID .....	65
5.10	STROEFHEID EN REMVERTRAGING .....	66
5.11	LANGSVLAKHEID .....	66
5.12	ABSORPTIEMETINGEN .....	67
5.13	GELUIDSMETINGEN .....	70
<b>6</b>	<b>BEOORDELING WERKING METHODE .....</b>	<b>73</b>
6.1	GESCHIKTHEID VOOR BEOOGD DOEL .....	73
6.2	KOSTENEFFECTIVITEIT OP HWN-NET .....	75
6.3	LANGE TERMIJN MONITORING .....	78
6.4	AANBEVELINGEN WERKING METHODE .....	78
<b>7</b>	<b>CONCLUSIES .....</b>	<b>81</b>
<b>8</b>	<b>REFERENTIES .....</b>	<b>84</b>
	<b>BIJLAGE 1: CE-CERTIFICAAT PMB EXP8 .....</b>	<b>86</b>
	<b>BIJLAGE 2: PROCEDURES VERWERKBAARHEIDSTOETS .....</b>	<b>87</b>
	<b>BIJLAGE 3: RESULTATEN VOLUMETRISCHE ANALYSE MENGSELSAMENSTELLING .....</b>	<b>88</b>
	<b>BIJLAGE 4: CE-CERTIFICATEN MINERAALAGGREGAAT .....</b>	<b>89</b>
	<b>BIJLAGE 5: LOCATIES MONSTERNAME .....</b>	<b>90</b>
	<b>BIJLAGE 6: LAAGDIKTE BOORKERNEN .....</b>	<b>92</b>
	<b>BIJLAGE 7: SAMENSTELLING .....</b>	<b>94</b>
	<b>BIJLAGE 8: RESULTATEN CT-SCANS .....</b>	<b>96</b>
	<b>BIJLAGE 9: BEREKENDE HOLLE RUIMTE .....</b>	<b>98</b>
	<b>BIJLAGE 10: RESULTATEN BECKERMETINGEN .....</b>	<b>100</b>
	<b>BIJLAGE 11: WATERDOORLATENDHEID LABORATORIUM .....</b>	<b>102</b>

 	<b>BIJLAGE 12: STROEFHEID EN REMVERTRAGING.....</b>	<b>104</b>
	<b>BIJLAGE 13: ABSORPTIEMETINGEN .....</b>	<b>106</b>

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10

# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

Begin 2006 is door Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde de prijsvraag “Verbetering van wegdekken” uitgeschreven. In deze prijsvraag is aan marktpartijen gevraagd oplossingen aan te geven ten aanzien van verbetering van luchtkwaliteit, geluidsreductie en levensduur in combinatie met de toepassing van tweelaags zoab.

De prijsvraag is verdeeld in drie percelen met een eigen onderzoeksvraag:

Perceel 1: het voorkomen van het opwerpen van fijn stof uit zoab

Perceel 2: reiniging van tweelaags zoab om de geluidsreductie tijdens de levensduur op een gelijk niveau te behouden

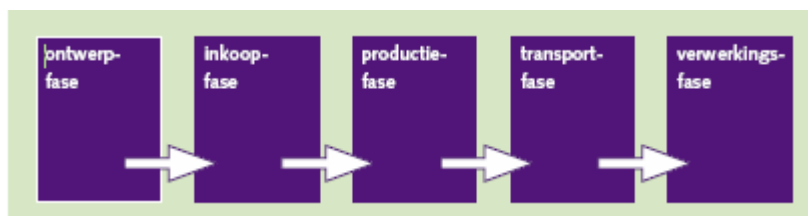
Perceel 3: verbetering van de homogeniteit van tweelaags zoab om de levensduur met minimaal twee jaar de verlengen

De Combinatie SSH-2, bestaande uit BAM Infra (BAM Wegen en Multiconsult) en KOAC-NPC, gesteund door de Universiteit Twente, had in haar oplossingsrichting gekozen voor het opzetten van een programma voor het voorkomen van “early failures” in het ontwerp-, productie- en verwerkingsproces. Bovendien is een drietal ontwikkelingen voorgesteld en ingezet voor verbetering van het totale proces op de langere termijn.

## 1.2 Hoofddoel SSH perceel 3 (in het vervolg SSH3)

Productverbeteringen, zoals de verbetering van de (gemiddelde) levensduur van asfalt, worden onder (ideale) laboratoriumomstandigheden ontwikkeld. In de praktijk resulteert dit niet altijd in een beter eindproduct. Dit wordt veroorzaakt doordat de consequenties van productmodificaties voor onder andere de verwerkbaarheid, tijdens de ontwikkeling te weinig aandacht krijgen. Er is een leemte tussen het ontwikkelingstraject en de dagelijkse praktijk.

Om een goed wegdek te realiseren, is het belangrijk om de invloed van kritieke onderdelen in het totale productieproces te onderkennen en de invloed ervan te beperken. Bijvoorbeeld door de verwerkbaarheid van specie te verbeteren, constructies robuuster te maken en productieprocessen en logistiek te optimaliseren. Onderstaande schematische weergave van het realisatieproces van een asfaltweg (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) maakt duidelijk op welke onderdelen technologische ontwikkelingen kunnen worden ingezet.



Figuur 1: schematische weergave realisatieproces

Doel van het idee van SSH3 is systematische eliminatie van early failures in alle fases te bewerkstelligen door procesoptimalisatie. Vier parameters blijken van grote invloed te zijn bij het realisatieproces:

- A. Bouwstofkeuze en samenstelling asfaltspecie
- B. Restvochtpercentage
- C. (Gelijkmatige) temperatuur van het te verwerken asfalt
- D. Ontmenging van het mengsel gedurende het totale proces.

De vier parameters zijn voor in het van de realisatie van een proefvak nader uitgewerkt en in de volgende paragrafen toegelicht.

### 1.3 Te realiseren onderdelen SSH3

Op basis van een inventarisatie van reeds beschikbare kennis [1] is in de ontwikkelingsfase ten eerste geconcludeerd dat bij mengselontwerp en productie een zo homogeen mogelijke en goed verwerkbaar asfaltmengsel moet worden nagestreefd (categorie: A. asfaltspecie en B. restvochtpercentage). Ten tweede kan er grote winst behaald worden door aandacht te besteden aan de homogeniteit van de temperatuurverdeling van het asfalt tijdens de verwerking (categorie: C. temperatuurhomogeniteit). Ten derde is het van groot belang dat de homogeniteit van de laag tweelaags zoab in verticale zin (geen afdruipt) en in horizontale zin (geen ontmenging) goed is (categorie D. homogeniteit verwerking).

De negen voorstellen van de ideefase zijn in de ontwikkelingsfase verder uitgewerkt en zijn als volgt gecategoriseerd:

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| Homogeniteit asfaltspecie | A: verwerkbaarheidstoets in relatie tot mengselontwerp<br>B: inkoop-eisen grondstoffen (bouwstofkeuze/samenstelling)<br>C: restvochtpercentage<br>D: temperatuurbeheersing mineraalaggregaat<br>E: beheersing korrelgradering met CPA meetapparatuur |
| Temperatuurhomogeniteit   | F: toepassing Shuttle Buggy  |
| Homogeniteit verwerking   | G: toepassing Tweelaags Asfalt Systeem (TAS)<br>H: toepassing Lage Temperatuur asfalt<br>I: Temperatuurmetingen met infraroodcamera  |

Naast deze voorstellen die een verwacht direct effect hebben op de duurzaamheid van tweelaags zoab, is er ook aandacht besteed aan drie ontwikkelingen die op de langere termijn geïmplementeerd kunnen worden, namelijk:

1. het opzetten van een statistisch analysemodel, waarmee de invloed van procesverbeteringen op de levensduur van asfalt kan worden gekwantificeerd
2. het opzetten van een innovatief monitoringsysteem op basis van GPS-registraties voor het registreren, analyseren en vervolgens optimaliseren van met name de stopplaatsen en verdichtingswerkzaamheden op de bouwplaats

3. het registreren van monitoringgegevens, bijvoorbeeld slechte plekken als gevolg van grote temperatuurvariaties in de verharding, op een digitale ondergrond door middel van GPS-plaatsbepaling.

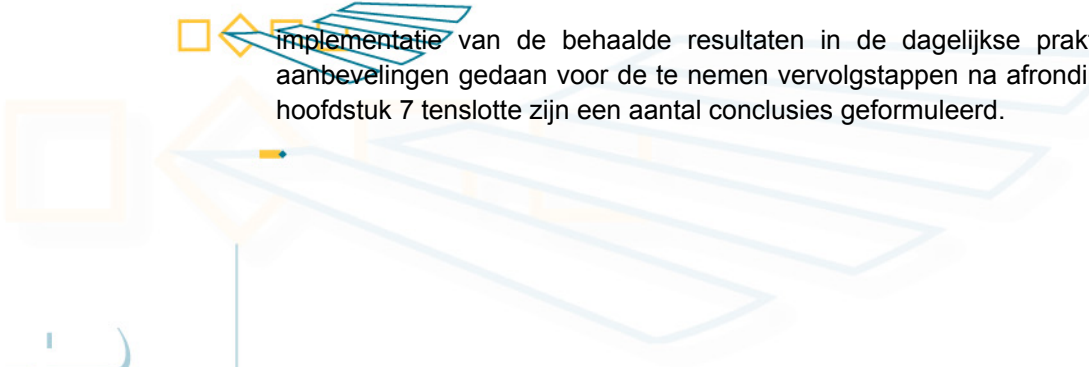
In de ontwikkelingsfase is enerzijds de praktische realiseerbaarheid van de ideeën kritisch bekeken en anderzijds is onderzocht welke kennis en inbreng van externe partijen noodzakelijk was om de ideeën verder uit te werken tot methoden en technieken die binnen de tijdshorizon van de prijsvraag praktisch realiseerbaar zijn. Voorwaarde hierbij is dat de methoden en technieken niet alleen onder het strikte regiem van een pilotproject realiseerbaar moeten zijn, maar dat implementatie in de dagelijkse praktijk binnen een periode van één tot drie jaar mogelijk moet zijn.

Bij de uitvoering van het project zijn de volgende partijen betrokken:

BAM Wegen bv, T & O	Vorbereiding, coördinatie, begeleiding en algemene projectleiding van het onderzoeksproject
BAM Wegen bv, regio Oost	Opdrachtnemer prestatiebestek aanleg proefvak
Asfaltcentrale Stedendriehoek	Productie asfaltmengsels
Graniet Import bv	Leverancier Bestone (speciale partij)
Latexfalt bv	Leverancier PMBexp8 (speciaal bindmiddel)
Ankerpoort bv	Leverancier EUF-C (speciale vulstof)
Universiteit Twente	Innovatieve monitoring bewegingen materieel op het werk
KOAC-NPC	Opstellen statistisch analysemodel Opstellen verwerkbaarheidstoets
Esri Nederland bv	Ondersteuning opzet en uitwerking GPS-registratie
Leica Geosystems	Levering apparatuur GPS-registratie
Laboratorium Rotterdam	CPA-analyse

#### 1.4 Leeswijzer

Deze eindrapportage sluit aan op het rapport van de ontwikkelfase van de prijsvraag [1]. Na deze inleiding (hoofdstuk 1) wordt in hoofdstuk 2 een korte omschrijving gegeven van alle onderdelen van het project SSH3. In hoofdstuk 3 worden de resultaten beschreven van die onderdelen van het project, waarvan de ontwikkelingen zijn afgerond in de uitvoeringsfase. Hoofdstuk 4 gaat in op alle relevante aspecten van de voorbereiding en uitvoering van het proefvak. Bijzondere aandacht wordt in dit hoofdstuk besteed aan de resultaten van de innovatieve monitoring van de homogeniteit van de temperatuur en de bewegingen van het materieel tijdens de verwerking van het asfalt in het proefvak. In hoofdstuk 5 zijn alle resultaten van uitgevoerde onderzoeken op het gerealiseerd werk, zowel veldonderzoek als laboratoriumonderzoek, gegeven. In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de werking van de methode en de verwachtingen ten aanzien van de

A decorative graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue and yellow shapes, including squares and diamonds, arranged in a pattern that suggests movement or a process flow.

□◇□◇□◇ implementatie van de behaalde resultaten in de dagelijkse praktijk. Tevens worden  
aanbevelingen gedaan voor de te nemen vervolgstappen na afronding van dit project. In  
hoofdstuk 7 tenslotte zijn een aantal conclusies geformuleerd.

t  
r  
o  
c  
c  
s  
r

## 2 Beschrijving onderdelen SSH3

### 2.1 Inleiding

In de ideefase van het project zijn voorstellen ingediend voor het verhogen van de duurzaamheid van tweelaags zoab. Deze voorstellen zijn in de ontwikkelfase verder uitgewerkt met als doel om in de uitvoeringsfase de ontwikkelingen daadwerkelijk toe te passen in een proefvak. Na afronding van de ontwikkelingsfase is bepaald dat de volgende onderdelen in de uitvoeringsfase voor realisatie aanmerking komen [1]:

1. Verwerkbaarheidstoets
2. Nauwkeurige inkoop Eisen
3. Temperatuurbeheersing asfaltinstallatie door verlaging productiecapaciteit (dit onderdeel komt overeen met 3.3 en 3.4 uit de [1])
4. CPA meetapparatuur (Computer Particle Analysis)
5. Shuttle Buggy
6. Twee Laags Asfalt Systeem (= TAS)
7. Lage Temperatuur Asfalt
8. Infraroodcamera
9. GPS-registratie op digitale ondergrond
10. Statistisch analysemodel

In de volgende paragrafen zijn alle onderdelen kort toegelicht.

### 2.2 Verwerkbaarheidstoets

In het kader van de prijsvraag is een voorstel gedaan voor het toevoegen van een criterium voor verwerkbaarheid aan de mengselontwerpmethode voor asfalt [1]. Deze methode legt de nadruk op de verwerkbaarheid en verdichtbaarheid van een mengsel. Het belang van deze beide (asfaltspecie)eigenschappen is dat er bij verwerking in de weg altijd variaties zullen zijn in de omstandigheden. Indien deze natuurlijke variaties niet leiden tot vermindering van de verdichtingskwaliteit, als het mengsel tolerant is in deze eigenschappen, dan zal het eindproduct in de weg niet alleen kwalitatief beter zijn, maar ook zal de spreiding in de kwaliteit beperkt worden.

Met een verwerkbaarheidstoets wordt beoogd dat bij het ontwerp of bij optimalisaties van asfaltmengsels op een gestructureerde manier wordt nagedacht over de verwerkbaarheid van de mengsels in de praktijk. Deze processtap wordt in de huidige praktijk vrijwel nooit gezet.

### 2.3 Nauwkeurige inkoop Eisen; ontwikkeling bindmiddel

Voor de aanleg van het proefvak is besloten om een bindmiddel voor de bovenlaag te ontwikkelen dat aan de volgende eisen moet voldoen:

- goede viscositeit in het temperatuurtraject tijdens productie en transport
- constante verwerkingseigenschappen over een zo breed mogelijk temperatuurtraject tijdens de verwerking
- goede sterkte eigenschappen (robuustheid).





Daarnaast is op basis van ervaringen in het Zebra-project Euf-C als vulstof in het topaagmengsel toegepast. Deze vulstof moet zorgen voor een verbetering van de aanvangsstroefheid van het wegoppervlak.

Tenslotte wordt door de toepassing van een speciale partij mineraalaggregaat getracht om de homogeniteit van het korrelskelet van het asfaltmengsel te verbeteren.

Deze optimalisatie bij de keuze van de toe te passen bouwstoffen moet leiden tot een verbetering van de mengseleigenschappen (bij verwerking) en de constructieve eigenschappen van het asfalt na realisatie.

#### **2.4 Temperatuurbeheersing asfaltinstallatie**

Door de productiecapaciteit van de asfaltinstallatie te reserveren voor de productie van de tweelaags zoab voor het proefvak wordt bewerkstelligd dat de kwaliteit van het geleverde mengsel constant is. Nadat de installatie optimaal is ingesteld voor het draaien van de twee zoab-mengsels worden geen andere asfaltmengsels “tussendoor” gedraaid.

Het reserveren van de totale productiecapaciteit van één centrale voor een betrekkelijk klein volume aan gevraagde asfaltspecie is uniek. In de dagelijkse praktijk zal een asfaltcentrale trachten, uit efficiencyoogpunt, tegen de maximumcapaciteit te produceren.

Ook is ervoor gekozen om de productiesnelheid van het asfalt voor het proefvak te verlagen, met als doel de temperatuur van het mineraalaggregaat in de droogtrommel beter te kunnen beheersen. Dit laatste moet leiden tot minimalisatie van het restvochtgehalte in het mineraalaggregaat tijdens de productie van het asfalt.

#### **2.5 CPA meetapparatuur (Computer Particle Analysis)**

Bij de productie van asfalt wordt het mineraal via de voordosering gedoseerd, gedroogd en uitgezeefd: de uiteindelijke korrelverdeling in de mineraalsilo is afhankelijk van de homogeniteit in het depot, de snelheid van doseren en drogen en de effectiviteit van de zeefinstallatie. Om meer inzicht te krijgen in de korrelverdeling van het mineraal in de mineraalsilo is gezocht naar andere meetmethoden.

In de industriële productie van korrelvormige materialen wordt onder andere gebruik gemaakt van een korrelgroottebepaling (CPA) zoals ontwikkeld door de firma Haver & Boecker. Het onderzoek ter verkenning van de toepassingsmogelijkheden van CPA-analyses voor controle- en besturingsdoeleinden bij de asfaltproductie is in de uitvoeringsfase uitgevoerd.

#### **2.6 Shuttle Buggy**

Door te asfalteren met behulp van een Shuttle Buggy (zie Figuur 2) of ook wel voorlader, kunnen enkele voordelen worden behaald:



*Figuur 2: Shuttle Buggy*

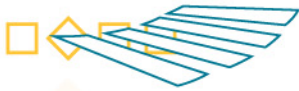
- vrachtwagens kunnen sneller lossen, waardoor minder vrachtwagens nodig zijn
- door toepassing van de shuttle buggy is er geen contact meer tussen de vrachtwagens en spreidmachine waardoor het aantal “stopplaatsen” wordt verminderd.
- de shuttle buggy homogeniseert het mengsel enigszins (zowel in samenstelling als in temperatuur). Het mengsel wordt door de vrachtwagens in één keer in de Shuttle Buggy gelost, waarna het door een gepatenteerd intern systeem ‘omgewoeld’ wordt en via een transportband naar de hopper van de spreidmachine wordt getransporteerd.

## **2.7 Twee Laags Asfalt Systeem**

Door met een speciale machine (TAS, zie Figuur 3) twee lagen asfalt in één werkgang aan te leggen wordt een optimale stapeling van de tweelaags zoab gerealiseerd. Bovendien wordt de periode waarin succesvol tweelaags zoab kan worden aangelegd vergroot omdat de twee lagen asfalt een grotere massa vormen, die in koudere omstandigheden toch een voldoende lang walstraject geeft.



*Figuur 3: Twee Laags Asfalt Systeem (TAS)*



De toepassing van een Twee Laags Asfalt Systeem is in Nederland relatief nieuw. Op een aantal grote asfaltwerken is de TAS al enkele malen, overigens met wisselend succes, ingezet.

## 2.8 Lage Temperatuur Asfalt

Onderzoek in binnen- en buitenland heeft inmiddels uitgewezen dat bij de aanleg van twee lagen asfalt in één keer, met name bij zoab, de actuele stabiliteit van de onderlaag een belangrijk aspect is. In eerdere projecten met de aanleg van tweelaags zoab met de TAS zijn negatieve ervaringen opgedaan met de vlakheid van het asfalt, die mede het gevolg is van onvoldoende stabiliteit van de onderlaag. Inzet in SSH3 is dan ook het vinden van een oplossing om de actuele stabiliteit van de onderlaag te verhogen. Deze oplossing was gezocht in het toepassen van zoab bereid volgens het halfwarm<sup>®</sup>-procédé.

Kort na afronding van de ontwikkelingsfase heeft de opdrachtgever te kennen gegeven geen toestemming te verlenen voor de toepassing van zoab volgens het halfwarm<sup>®</sup>-procédé: er is nog weinig ervaring (in binnen- en buitenland) en een proef binnen een proef leek geen goed idee.

De ontwikkelingen aan dit onderdeel in het kader van de prijsvraag zijn vervolgens gestaakt en er is gekozen voor een oplossing binnen de bekende mengseltechnologie.

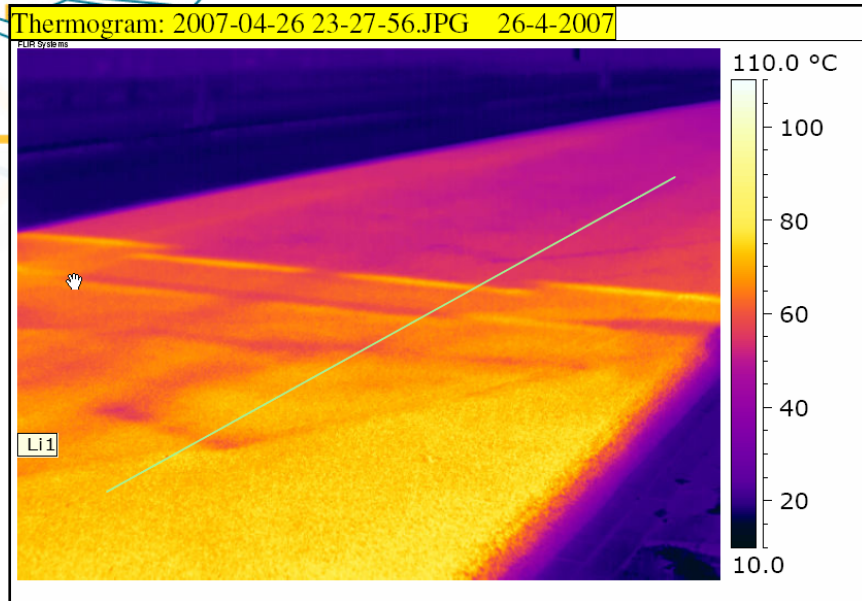
## 2.9 Infraroodcamera

In de rapportage van de ontwikkelingsfase [1] is beschreven wat het doel is van het onderzoek met de infraroodcamera, namelijk het opsporen van thermisch waarneembare onvolkomenheden in het asfalt direct na verwerking.

De geregistreeerde onvolkomenheden zouden dan voor monitoringdoeleinden op de lange termijn door middel van GPS-coördinaten op een digitale ondergrond worden vastgelegd. Circa drie weken voor aanleg van het proefvak was de benodigde apparatuur voor het vastleggen van de GPS-coördinaten niet meer voor huur beschikbaar op de markt. De levertijd en kosten van de apparatuur pasten niet in de planning en budget van de proef zodat van aanschaf is afgezien.

Uiteindelijk zijn er wel camerabeelden vastgelegd met een FLIR ThermaCAM type S65 infraroodcamera met hoge resolutie, zodat er conclusies getrokken kunnen worden over de toepasbaarheid van deze apparatuur voor het beoogde doel, zie het voorbeeld in Figuur 4.

De thermisch waarneembare onvolkomenheden en de, uit geregistreeerde positiedata van het bewegend materieel, af te leiden onvolkomenheden in het asfalt zijn wel vastgelegd ten behoeve van de lange termijn monitoring.



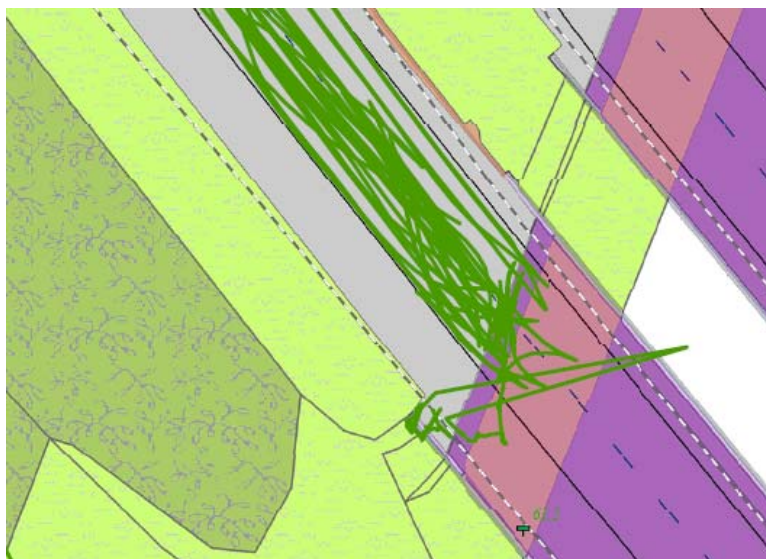
Figuur 4: infraroodcamerabeeld stopplaats

De vastgelegde infraroodcamerabeelden zijn gerapporteerd in [2,3,4,5].

## 2.10 GPS registratie op digitale ondergrond

Het registreren van de bewegingen van het materieel op de bouwplaats levert gedetailleerde informatie over de handelingen die door de machines zijn uitgevoerd. De loopsnelheid van de spreidmachine kan eenvoudig worden teruggerekend, het aantal stopplaatsen wordt nauwkeurig vastgelegd en de walsbewegingen worden zorgvuldig vastgelegd.

Figuur 5 geeft een voorbeeld van de bewegingen van één wals (groene lijnen) op rijstrook 1 en 2 ter plaatse van de beëindiging van het proefvak bij een viaduct.



Figuur 5: de walsbewegingen van één wals op donderdagnacht

Op deze wijze kan achteraf een grondige analyse worden uitgevoerd van de walsbewegingen en de invloed die zij hebben (gehad) op de (ontwikkeling van de) verdichting.

### 2.11 Statistisch analysemodel

Om de (stochastische) effecten van de maatregelen voor het maken van een homogener tweelaags ZOAB te kwantificeren is een fysisch-probabilistisch model samengesteld [7]. De variabelen en de parameters zijn verkregen aan de hand van een interviewopzet.

## 3 Ontwikkeling onderdelen in fase 3

### 3.1 Inleiding

Door het grote aantal onderdelen van de inzending van SSH3 was het niet mogelijk om in de ontwikkelfase alle ontwikkelingen om de voorstellen toepassingsgereed te maken af te ronden. De ontwikkelingen voor een aantal onderdelen van het project zijn in de uitvoeringsfase afgerond. Die onderdelen die in de ontwikkelfase zijn afgerond zijn uitgebreid beschreven in de rapportage van die fase [1]. Van de overige onderdelen zijn de resultaten van de ontwikkelingen in de volgende paragrafen beschreven.

### 3.2 Verwerkbaarheidstoets

Bij de ontwikkeling van de verwerkbaarheidstoets [6] is gebruik gemaakt van drie verschillende bindmiddelen, namelijk standaard bitumen 70/100, PMB exp8 (speciaal ontwikkeld voor toepassing in het proefvak van SSH3) en een als moeilijk verwerkbaar bekend staand polymeerbitumen (in het vervolg PMB-X) genoemd.

#### *Verwerkbaarheid*

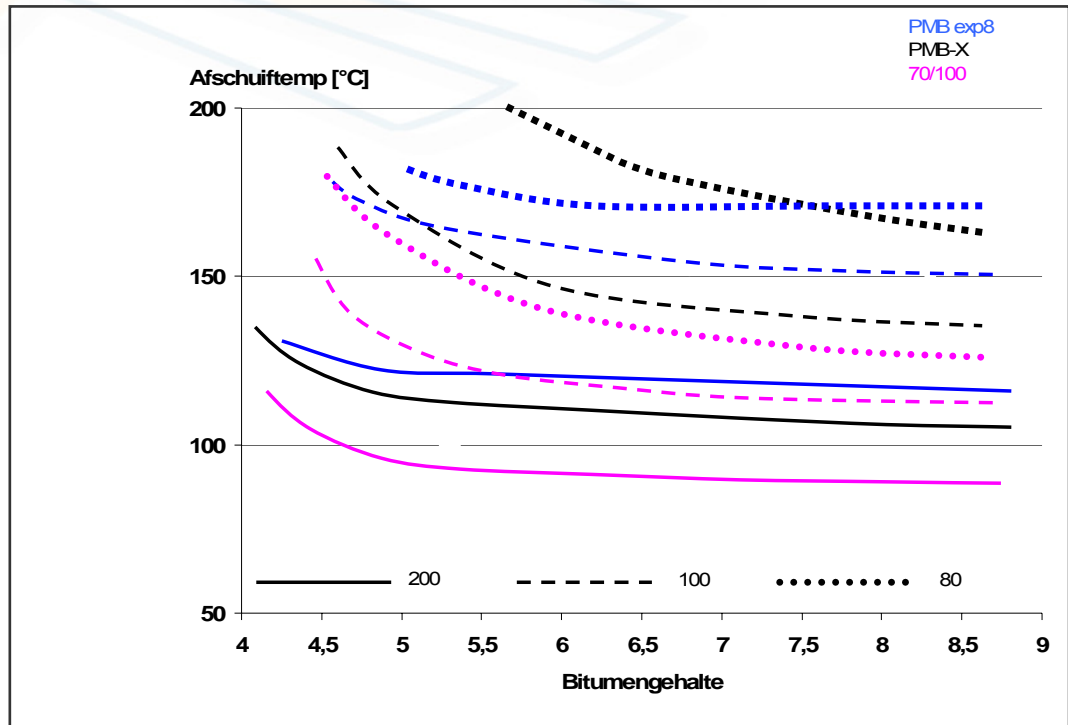
Het voorstel voor de verwerkbaarheid betreft het uitvoeren van een proef waarbij de kracht gemeten wordt, die nodig is om specie af te schuiven. Bij de gekozen afschuifproef wordt een bepaalde hoeveelheid specie in een meetbak gebracht (zie Figuur 6). Met behulp van een schuif wordt de specie afgeschoven. Dat levert een kracht-verplaatsingsdiagram op. De maximale kracht die voor het afschuiven nodig is, is als representatieve parameter genomen.



*Figuur 6: principe afschuiven specie*

In figuur 7 zijn de resultaten van het onderzoek naar de verwerkbaarheid op basis van de afschuifproef weergegeven. Bij de aanbevolen verwerkingstemperaturen blijkt dat

conventioneel 70/100 bitumen en PMB exp8 verwerkt worden met afschuifkrachten van rond de 70 N. Bij de PMB-X zijn hogere krachten nodig. Bovendien is de temperatuurafhankelijkheid voor het conventioneel 70/100 bitumen en het PMB exp8 beperkt ten opzichte van PMB-X.



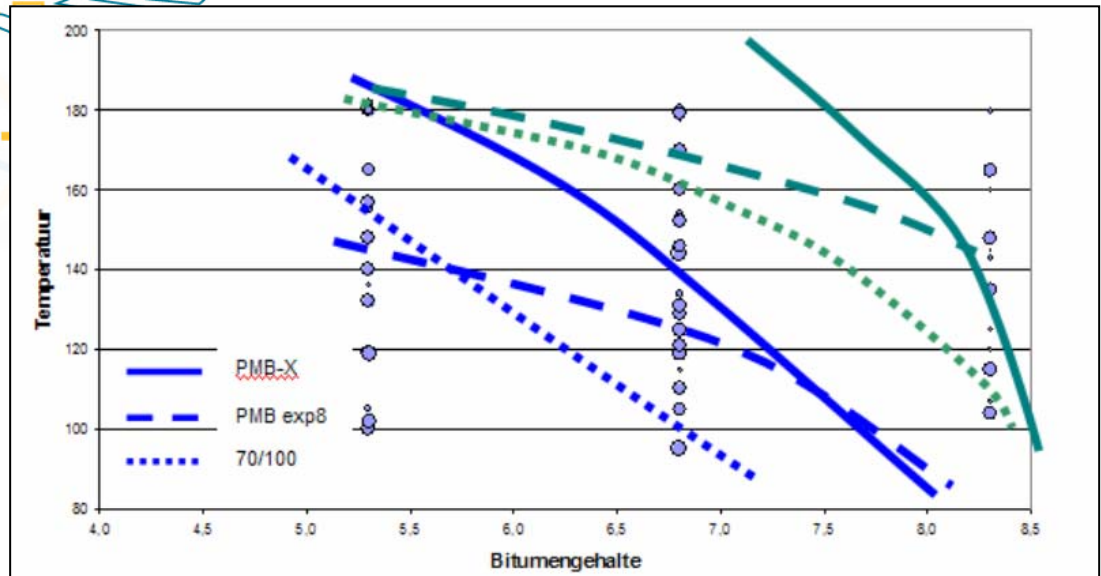
Figuur 7: resultaten verwerkbaarheid door middel van afschuifproef

#### Verdichtbaarheid

Het voorstel voor de verdichtbaarheid betreft uitvoeren van onderzoek met de gyrator. De veronderstelling hierbij is dat als een specie 'goed' verdicht wordt in de gyrator, het ook goed zal verdichten onder de afwerkbalk en onder de wals.

De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in figuur 8.

De drie bovenste (of rechter) lijnen geven de condities weer waarbij 80 gyraties nodig zijn om tot verdichting te komen, de drie onderste (of linker) lijnen geven de condities weer voor 90 gyraties.



Figuur 8: Verdichtbaarheid van sma met verschillende bindmiddelen

Evenals bij de resultaten van de verwerkbaarheid bij de afschuifproef is ook in Figuur 8 de goede verdichtbaarheid van het mengsel met PMB exp8 opvallend (het mengsel vergelijkt goed met het mengsel met conventioneel bitumen 70/100). Het mengsel met PMB-X als bindmiddel blijkt veel moeilijker verdichtbaar (c.q. heeft meer gyraties nodig), hetgeen volledig in overeenstemming is met de meningen vanuit de praktijk over de verwerkbaarheid van mengsels met dit bindmiddel.

Het lijkt mogelijk om met een geheel nieuwe techniek de verwerkbaarheid en verdichtbaarheid van asfaltmengsels te karakteriseren.

Uiteraard moet worden opgemerkt dat het hier gepresenteerde onderzoek slechts één asfaltmengsel omvat. Een uitgebreider onderzoek is aan te bevelen om de methode verder te onderbouwen en te verifiëren.

Het berust niet op toeval dat een analyse van de gyrator-karakterisering en de afschuifproeven aangeeft dat mengsels die bekend staan als goed verdicht- en verwerkbaar samenvallen. Uiteraard geldt ook hier dat het beperkte onderzoek nog niet kan leiden tot algemene conclusies hieromtrent. Nader onderzoek en ontwikkeling op dit gebied is sterk aan te bevelen.

Ten slotte lijkt de conclusie gerechtvaardigd om de verwerk- en verdichtbaarheid van (geheel) nieuwe mengsels te karakteriseren met de gyrator en de afschuifproef, zoals die hier beschreven zijn. Met de referentiewaarden die nu beschikbaar zijn kan vooraf nagegaan worden of deze nieuwe mengsels in potentie al dan niet risicovol zijn met betrekking tot deze twee voor de dagelijkse praktijk zo belangrijke eigenschappen.

De resultaten die met dit onderzoek zijn bereikt hebben ertoe geleid dat voor de beide proeven een onderzoeksprocedure is opgesteld. Deze procedures zijn in bijlage 2 opgenomen.

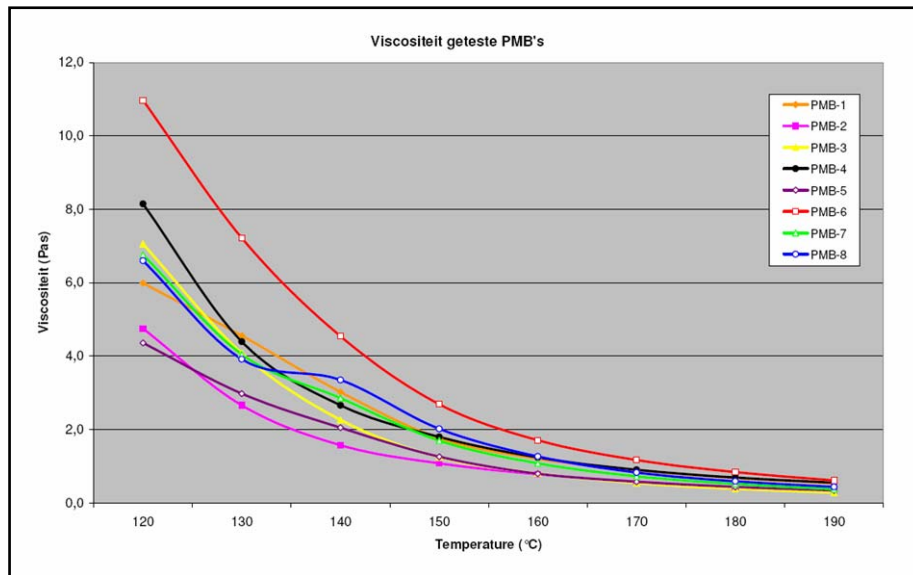


### 3.3 Nauwkeurige Inkoopseisen; ontwikkeling bindmiddel

In het laboratorium van Latexfalt is gewerkt aan de ontwikkeling van het bindmiddel dat aan de volgende eisen moet voldoen:

- goede viscositeit in het temperatuurtraject tijdens productie en transport
- constante verwerkingseigenschappen over een zo breed mogelijk temperatuurtraject tijdens de verwerking
- goede sterkte eigenschappen (robuustheid)

Vervolgens is uit acht experimentele bindmiddelen, na vergelijking met de beschikbare bestaande alternatieven, gekozen voor het bindmiddel dat in het vervolg van dit rapport PMB exp8 wordt genoemd. Figuur 9 toont het resultaat van de viscositeitsmetingen die in dit onderzoek zijn uitgevoerd.



Figuur 9: viscositeitbepaling experimentele bindmiddelen

Uit de resultaten van het onderzoek voor de ontwikkeling van de verwerkbaarheidstoets is gebleken dat met succes een bindmiddel met goede verwerkingseigenschappen is ontwikkeld.

### 3.4 CPA-meetapparatuur

Het onderzoek heeft zich in eerste instantie gericht op de kwaliteit van de CPA-analyses in vergelijking met de conventionele onderzoeksmethoden. Hiertoe is in het laboratorium van monsters van een partij steenslag (Grauacke 4/8) door middel van zeefanalyse de korrelverdeling bepaald. Van dezelfde partij steenslag zijn monsters door middel van CPA-analyse onderzocht door Laboratorium Rotterdam. Een samenvatting van de onderzoeksresultaten is in Tabel 1 opgenomen.

Tabel 1: resultaten verkenning toepassingsmogelijkheden CPA-analyse

zeef	LWR Rotterdam CPA-analyse			CL Utrecht Zeefanalyse			% afwijking gemiddelde CPA t.o.v zeef
	min	max	gem.	min	max	gem.	
C 11,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
C 8	6,9	17,2	10,6	9,1	11,6	10,5	1,0
C 5,6	58,6	71,6	64,8	59,6	67,2	61,7	5,0
C 4	85,1	92,5	88,3	86,5	88,0	87,5	0,9
2mm	95,8	98,0	96,9	95,7	96,6	96,3	0,6

Op basis van de resultaten van het onderzoek wordt geconcludeerd dat de gemiddelden van de resultaten van de zeefanalyse en de CPA-analyse enigszins overeenstemmen, maar dat de spreidingen in de resultaten van de CPA-analyse een punt zijn voor nader onderzoek. Als voorwaarde voor de uitvoering van dit nader onderzoek worden gesteld dat de apparatuur geschikt te maken is voor industriële toepassing in een asfaltinstallatie. Hiervoor is overleg met de leverancier van de apparatuur noodzakelijk.

Met behulp van dergelijke apparatuur in de asfaltinstallatie zou het mogelijk moeten zijn om tijdens de asfaltproductie continu (bij) te sturen op de gewenste korrelverdeling van het mineraalaggregaat van een asfaltmengsel. De homogeniteit van de asfaltspecie neemt daarmee sterk toe.

### 3.5 Lage Temperatuur Asfalt

In de rapportage van de ontwikkelingsfase [1] is uitgebreid verslag gedaan van de resultaten van een proef met halfwarme zoab. Na afronding van de ontwikkelingsfase zijn de definitieve resultaten van de bepaling van de spijsterkte van dit asfalt gerapporteerd. Deze zijn in Tabel 2 samengevat.

Het betreft hier een samenvatting van de ontwikkelingen in de huidige stand van de techniek en hebben dus geen directe relatie met de proef in het kader van de prijsvraag.

Tabel 2: resultaten splijtproeven

Proefstukomschrijving	Standaard zoab [MPa]	Zoab halfwarm® [MPa]
Splijsterkte bij 25°C gyratorproefstukken	0,356	0,291
Splijsterkte bij 25°C na retainen gyratorproefstukken	0,333	0,186
Splijsterkte bij 25°C boorkernen	--	0,307
Splijsterkte bij 1°C gyratorproefstukken	1,29	1,21

Op basis van deze resultaten kan worden geconcludeerd dat de sterkte van halfwarme zoab nog verbetering behoeft. Vanwege het besluit van DWW om af te zien van de toepassing van halfwarme zoab is de verdere ontwikkeling van dit mengsel in het kader van de prijsvraag gestaakt.

### 3.6 Statistisch analysemodel

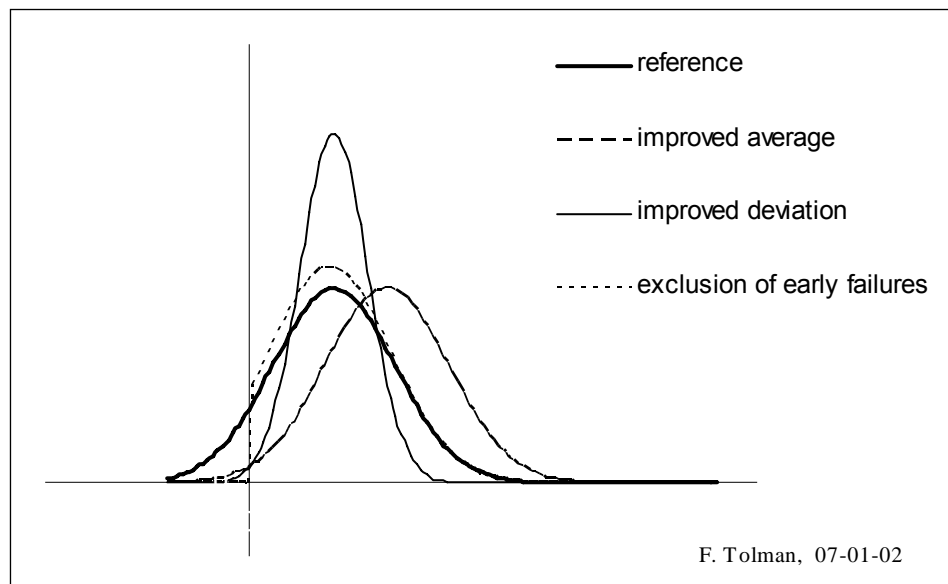
Om de (stochastische) effecten van de maatregelen voor het maken een homogener tweelaags ZOAB te kwantificeren is een fysisch-probabilistisch model samengesteld [7]. De variabelen en de parameters zijn verkregen aan de hand van een interviewopzet.

Omdat de variabelen stochasten zijn, heeft ook de levensduur een verdeling. Verbetering van de levensduur kan, zoals vermeld, bereikt worden door:

- verschuiven van de verdeling
- versmallen van de verdeling
- eliminatie van de linker flank van de verdeling

In de praktijk zijn sterkte en belasting onderhevig aan een mate van onzekerheid en daarmee aan spreiding in de grootte. Schade aan constructies ontstaat op de plaatsen die het zwakst zijn en waar de grootste belastingen optreden.

Er zijn verschillende manieren denkbaar om de kans te verkleinen, dat de belasting de sterkte overschrijdt (zie Figuur 10). Vaak wordt de spreiding geaccepteerd en wordt de curve door het treffen van verbeteringen naar rechts verschoven (improving the averages). Dit blijkt een grote ingreep te zijn, zie het grote verschiloppervlak tussen de dikgedrukte en de dingedrukte getrokken curven, waarvan verwacht mag worden dat de kosten hoog zullen zijn. Een tweede maatregel is de spreiding te verkleinen (improving the deviation). Dit lijkt al aanmerkelijk efficiënter, maar ook de zeer gunstige gevallen verdwijnen. De beste aanpak lijkt de reductie van de linkerstaart van de verdelingscurve te zijn (exclusion of early failures).



Figuur 10: statistische principes om levensduur te verlengen

Het basismodel is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- maximale levensduur wordt bereikt bij volledige menging en homogeniteit, afgewalst bij de juiste temperatuur

afwalsen bij te lage temperatuur geeft lagere levensduur (in extreme gevallen door verbrijzeling, maar voornamelijk door in/afscheuren van reeds ontstane hechtbruggen). Dit geldt zowel voor de totale toplaag als voor lokaal te koude plekken. Bij zoab is de invloed van lagere afwalstemperatuur op de verdichtingsgraad (VG) en Holle Ruimte (HR) vermoedelijk veel minder groot dan bij dichte mengsels en minder groot dan de invloed door in/afscheuren van reeds ontstane hechtbruggen

- hoe hoger de mastieffilm dikte, hoe langer de levensduur
- hoe hoger de HR (bij gelijke mastieffilm dikte), hoe korter de levensduur (een lagere HR geeft alleen een langere levensduur zolang geen verbrijzeling van het aggregaat optreedt)
- hoe lager de verdichtingsgraad (onder de 100%), hoe korter de levensduur (voornamelijk rechtstreeks via de HR).

Er zijn berekeningen uitgevoerd voor de volgende gevallen:

- o huidig tweelaags zoab, ongecorrleerde invoervariabelen
- o verbeterd tweelaags zoab, ongecorrleerde invoervariabelen
- o huidig tweelaags zoab, gecorrleerde invoervariabelen
- o verbeterd tweelaags zoab, gecorrleerde invoervariabelen

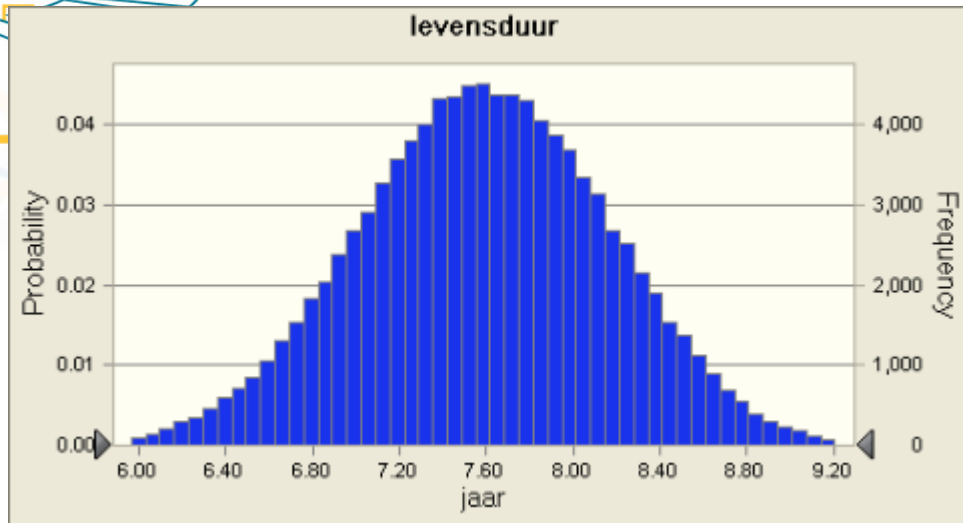
De verbetering bestaat uit het treffen van de genoemde maatregelen zoals het meten en bijsturen en het inzetten van nieuwe apparatuur. In de beide eerste berekeningen is er van uit gegaan dat alle maatregelen onafhankelijk zijn. Vervolgens is het effect van afhankelijkheden berekend.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het Monte Carlo programma Crystal Ball.

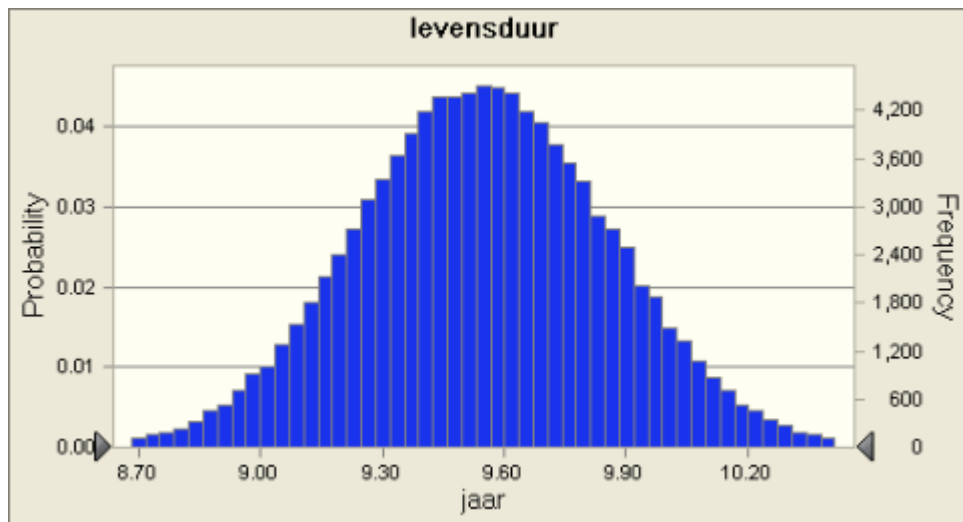
In Tabel 3, Figuur 10 en Figuur 11 zijn de berekeningsresultaten voor vier beschouwde gevallen weergegeven.

Tabel 3: Prognose levensduren voor vier gevallen

	huidig tweelaags zoab, ongecorrleerde invoervariabelen	verbeterd tweelaags zoab, ongecorrleerde invoervariabelen	huidig tweelaags zoab, gecorrleerde invoervariabelen	verbeterd tweelaags zoab, gecorrleerde invoervariabelen
Trials	100.000	100.000	100.000	100.000
Mean	7,58	9,55	7,59	9,55
Median	7,59	9,55	7,59	9,55
Standard Deviation	0,58	0,31	0,59	0,31
Variance	0,34	0,10	0,34	0,10
Skewness	-0,0491	0,0248	-0,0449	0,0232
Kurtosis	2,89	2,92	2,88	2,91
Coeff. of Variability	0,0763	0,0325	0,0772	0,0329
Minimum	5,16	8,36	5,11	8,28
Maximum	9,79	10,77	9,76	10,73
Range Width	4,63	2,41	4,65	2,45
Mean Std. Error	0,00	0,00	0,00	0,00



*Figuur 11: huidig tweelaags zoab*



*Figuur 12: verbeterd tweelaags zoab*

Uit de resultaten van de berekeningen blijkt dat door de maatregelen juist de gemiddelde levensduurverwachting met twee jaar toeneemt en dat de spreiding in de levensduurverwachting afneemt. De scheefheid van de verdeling van de levensduur verandert nauwelijks, zodat het oorspronkelijk beoogde effect van de maatregelen, namelijk de verlenging van de levensduur door eliminatie van slechte gevallen, niet uit het resultaat van de berekeningen blijkt.

Hiervoor zijn meerdere oorzaken aan te geven. In de huidige praktijk komen excessieve fouten niet structureel voor, zodat verbeteringen of wel een globaal karakter hebben (verschuiving van een overigens vrijwel onveranderde verdeling van de levensduur), ofwel tot een betere beheersing (verkleining van de standaardafwijking) leiden.

De tweede oorzaak is wiskundig van aard. Er is een groot aantal variabelen van invloed op de levensduur. De centrale limietstelling leert dat combinatie van variabelen met afwijkende verdelingen naar een normale verdeling van de resultaatvariabele tendeert. Dit verschijnsel speelt ook hier.

□ Tenslotte speelt uiteraard ook nog het feit dat de mate van correlatie tussen de variabelen en het effect op het resultaat (nog) niet goed bekend is.

■ De resultaten die bereikt zijn met dit analysemodel zijn veelbelovend en het verdient aanbeveling om de input van kennis in het model verder uit te breiden en het model zelf verder te verfijnen.

t  
r  
o  
c  
c  
s  
r

## 4 Voorbereiding en uitvoering proefvak

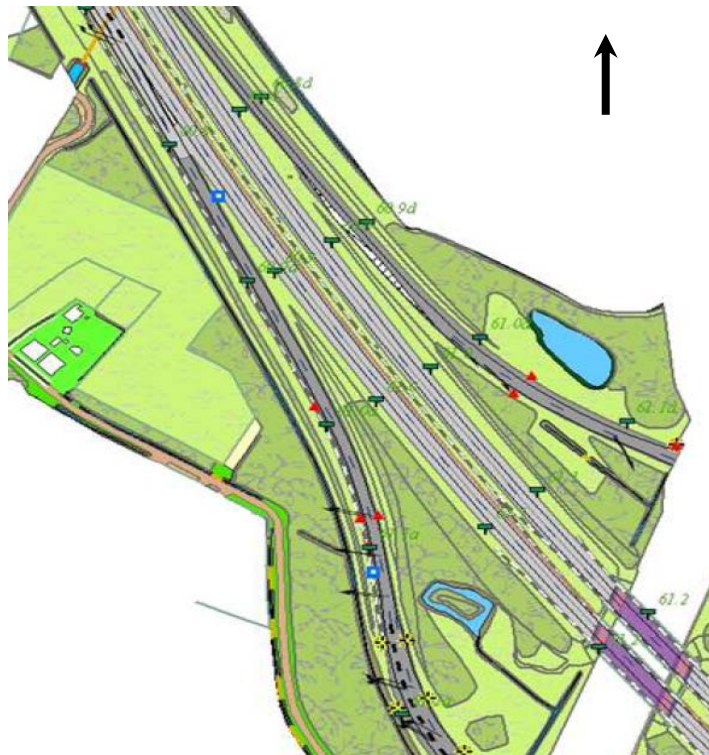
### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de aspecten die een rol gespeeld hebben bij de voorbereiding en realisatie van het proefvak nader toegelicht. De paragrafen 4.2 t/m 4.4 hebben betrekking op de voorbereiding terwijl de paragrafen 4.5 t/m 4.8 de realisatie van het proefvak behandelen. In paragraaf 4.9 en 4.10 worden de resultaten gepresenteerd van de zeer gedetailleerde innovatieve monitoring van de temperatuur van het asfalt en de bewegingen van het materiaal tijdens de verwerking van het asfalt.

### 4.2 Beschrijving locatie

Het proefvak voor de uitvoering van de ideeën van SSH perceel 3 is in de ontwikkelingsfase van de prijsvraag toegewezen. Het betreft een vak in Rijksweg 35 1HRR km 60,700+30m tot km 61,100+90 m. De totale lengte van het proefvak bedraagt 460 m. De rijbaan bestaat uit een redresseerstrook, rijstrook 1, rijstrook 2 en een vluchtstrook. De rijbaanbreedte is circa 12,5 m.

In Figuur 13: locatie proefvak is de locatie van het proefvak op de zuidwestelijke rijbaan van de A35 weergegeven.



Figuur 13: locatie proefvak

In het vervolg wordt het begin van het proefvak (km 60,700+30m) aangeduid met 'nulpunt' en worden de locaties binnen het proefvak weergegeven in meters ten opzichte van het nulpunt.

Doordat tijdens de werkzaamheden één rijstrook voor het verkeer beschikbaar diende te zijn, is het wegvak opgeknipt in twee delen van 230 m en per nacht zijn deze subvakken in twee delen afgezet met een omzetting halverwege de nacht.

Voorafgaand aan de uitvoering van het proefvak is bepaald op welke locaties er veldonderzoek (boringen, absorptiemetingen etc.) zou worden uitgevoerd. Om tijdens de uitvoering van het proefvak de juiste locaties in het werk te kunnen bepalen zijn per 10 m pikketen geslagen met daarop de vermelding van de locatie in meters.

#### 4.3 Geschiktheid locatie

In de ideefase zijn de voorstellen voor de verbetering van de productie en verwerking van tweelaags zoab en de monitoring van het praktijkgedrag opgesteld, zonder rekening te houden met de specifieke situatie waarin een eventueel proefvak in de uitvoeringsfase moet worden aangelegd.

In de ontwikkelingsfase is de locatie voor het proefvak vastgesteld, namelijk de A35 nabij Hengelo.

De keuze voor deze locatie voor het proefvak heeft enkele praktische consequenties:

- de asfaltcentrale Stedendriehoek die het asfalt voor het proefvak moest leveren heeft (nog) geen voorzieningen voor een driepunts (temperatuurs)meting om het restvochtpercentage te kunnen beter te kunnen beheersen
- asfalt volgens het Halfwarm-procédé kan momenteel alleen bij de asfaltcentrale ZNAC in Breda worden geproduceerd. De afstand tot het proefvak bedraagt meer dan 100 km en de verwachte reistijd is circa twee uur. De risico's bij toepassing van Halfwarm asfalt nemen daarmee toe tot een wellicht onacceptabel niveau.
- de asfaltcentrale Stedendriehoek beschikt niet over de mogelijkheid om de gewenste hoeveelheid speciale vulstof ter verbetering van de aanvangstroefheid te doseren.

De specifieke locatie van het proefvak heeft er dan ook toe geleid dat de driepunts (temperatuurs)meting voor de beheersing van het restvochtpercentage niet verder is uitgewerkt, en mede vanwege de lange transportafstand is afgezien van de toepassing van halfwarm asfalt in het proefvak. De beperkingen van de installatie ten aanzien van de dosering van vulstof zijn tenslotte aanleiding geweest om de mengselsamenstelling op dit punt enigszins aan te passen.

De werkzaamheden dienden te worden uitgevoerd zonder afsluiting van de rijbaan waarop de werkzaamheden moesten plaatsvinden. Dit betekende dat:

- werkzaamheden 's nachts moesten plaatsvinden
- aan het eind van de nacht de weg weer volledig vrij moest worden gegeven voor het verkeer
- het aanbrengen van de (tweelaags) zoab in één nacht rijbaanbreed moest worden uitgevoerd (omzetting met een politiestop)



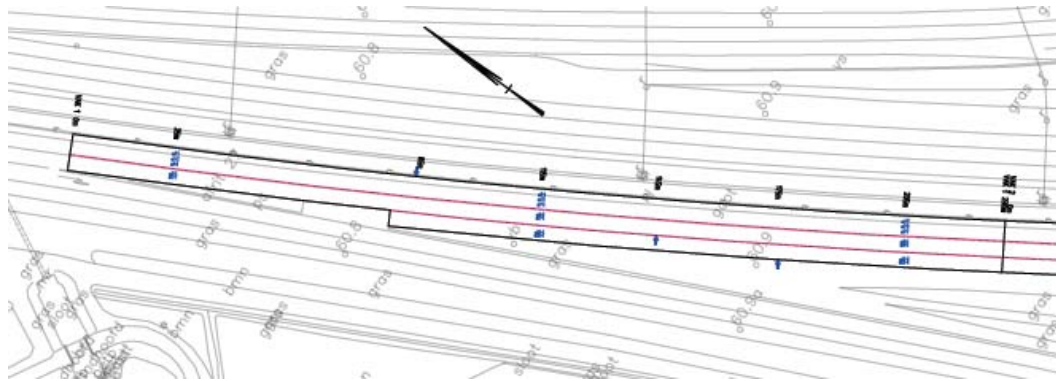


Dit betekent dat het niet mogelijk was om het asfalt in lange banen te trekken. Een werkvak met de afmetingen van het proefvak is in principe te klein voor de inzet van het type materieel dat betrokken was bij de uitvoering van het asfaltwerk voor SSH3.

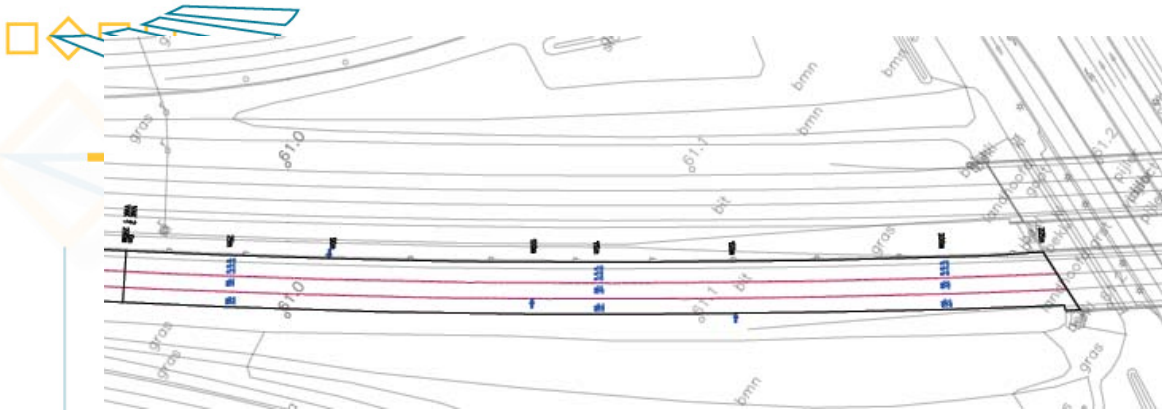


*Figuur 14: veel materieel in een klein werkvak*

In Figuur 15 en Figuur 16 is te zien hoe de twee vakken zijn ingedeeld. Het grootste deel van het werkvak is in drie stroken geasfalteerd zodat de TAS machine driemaal per nacht is “opgezet”.



*Figuur 15, vak 1 van het proefvak (woensdagnacht)*



*Figuur 16, vak 2 van het proefvak (donderdagnacht)*

Rekening houdend met locatie en omvang van het proefvak en de aard van het in te zetten materieel is besloten om in het hele proefvak slechts op één enkele wijze het tweelaags zoab in het werk te brengen en geen 'referentievak' op de conventionele wijze aan te leggen. Deze keuze is mede te rechtvaardigen vanwege het feit dat het tweelaags zoab, dat in het kader van het ZEBRA-project van RWS is aangelegd een uitstekende referentie is voor dit proefvak. Het aggregaat in het asfalt is van min of meer gelijke samenstelling en de resultaten die in het ZEBRA-project zijn bereikt, worden goed gedocumenteerd.

#### 4.4 Organisatie aanleg proefvak

De organisatie voor de uitvoering van het project is specifiek afgestemd op het doel, namelijk de implementatie van methoden en technieken in de bestaande praktijk om de levensduur van tweelaags zoab met minimaal twee jaar te verlengen. Dit houdt in dat de voorbereiding, coördinatie, begeleiding en algemene projectleiding van het project vanuit de centrale organisatie van BAM Wegen is opgepakt. De uitvoering van het proefvak zelf is door de verantwoordelijke regionale Directie van Rijkswaterstaat (Oost Nederland) contractueel gegoten in een prestatiebestek. De formele uitvoering van dit prestatiebestek is, conform de gangbare praktijk van BAM Wegen, de verantwoordelijkheid van het desbetreffende regiobedrijf, namelijk BAM Wegen Oost bv.

Aangezien het proefproject van SSH3 de algehele procesverbetering van de aanleg van tweelaags zoab betreft, met als uiteindelijke doel een verlenging van de levensduur met twee jaar, is er bewust voor gekozen om het werk uit te voeren vanuit de bestaande organisatie van BAM Wegen. Dat houdt in dat onder andere de bemanning van het materieel op dezelfde wijze heeft plaatsgevonden als bij de uitvoering van de reguliere projecten, hetgeen betekent dat personeel van het betreffende regiobedrijf wordt ingezet om het materieel bedienen.

Uiteraard is er wel veel aandacht besteed aan het instrueren van het personeel dat betrokken zou zijn bij de aanleg van het proefvak. Zo is de asfaltcoördinator van BAM Wegen Regio Oost al vanaf de start van de uitvoeringsfase bij het project betrokken geweest en heeft regelmatig overleg plaatsgevonden over de vorderingen van de voorbereidingen van het werk.

Enkele weken vóór aanleg van het proefvak is er een plenair afstemmingsoverleg geweest met alle bij de aanleg betrokken partijen, teneinde de alle raakvlakken te

□◇ controleren en de benodigde (rest)afspraken te maken voor een succesvolle realisatie van het proefvak.

Op de avond van de eerste uitvoeringsdag zijn er tenslotte twee toolbox meetings gehouden, waarin zowel het uitvoeringspersoneel als het relatief grote onderzoeksteam volledig geïnstrueerd zijn over wat er van hen verwacht werd.

#### 4.5 Samenstelling toplaag en onderlaag tweelaags zoab

De volgende mengselsamenstellingen zijn in de voorbereiding van het proefvak door middel van een vooronderzoek vastgesteld voor toepassing in het werk:

##### Fluisterfalt 4/8 (toplaag)

Bestone 5/8	93,3%
EUFC	7,7%
	100,0%
PMB Exp8	5,6% "op" (5,3% "in")

Opgemerkt moet worden dat op basis van de ervaringen in het Zebra-project het de bedoeling was om 10-11% EUFC, een middel ter verbetering van de aanvangsstroefheid, in het toplaagmengsel toe te passen. Door een aantal beperkingen van de Asphaltcentrale Stedendriehoek is het echter niet mogelijk gebleken om meer dan circa 8% EUFC in het mengsel te doseren.

##### Fluisterfalt 11/16 (onderlaag)

Graucke 11/16	88,1%
Brekerzand	8,1%
Wigro 60K	3,3%
Eigen stof	0,5%
	100,0%
Bitumen 40/60	4,7% "op" (4,5% "in")

Conform het voorstel, zoals uitgewerkt in de ontwikkelingsfase was de bedoeling om in de toplaag fijn mineraalaggregaat toe te passen afkomstig van één enkele dagproductie van de breker. Hiermee zou de spreiding in het materiaal kleiner moeten zijn, zodat het aggregaat voldoet aan nauwere toleranties. Met de leverancier van Bestone, Granietimport bv, waren afspraken gemaakt over de levering van het materiaal voor het proefvak.

Door een ongelukkige samenloop van omstandigheden, waaronder miscommunicatie tussen Granietimport en haar transporteur en onjuiste informatievoorziening op de productiedag zelf over het leveringstijdstip van het mineraalaggregaat, was de bijzondere partij Bestone circa twee uur vóór het starten van de productie nog niet geleverd bij de asphaltinstallatie. Op dat moment is het besluit genomen om Graucke 4/8, die op dat moment in voldoende mate bij de installatie beschikbaar was, in te zetten voor de productie van het toplaagmengsel in plaats van de geplande speciale partij Bestone.

De samenstellingen van de mengsels die in het werk zijn gebracht zijn:

<u>Fluisterfalt 4/8 (toplaag)</u>	
Graucke 4/8	93,3%
EUF-C	7,7%
	<u>100,0%</u>
PMB Exp8	5,6% "op" (5,3% "in")

<u>Fluisterfalt 11/16 (onderlaag)</u>	
Graucke 11/16	88,1%
Brekerzand	8,1%
Wigro 60K	3,3%
Eigen stof	0,5%
	<u>100,0%</u>
Bitumen 40/60	4,7% "op" (4,5% "in")

Op basis van een analyse van de volumetrische samenstelling van de toplaagmengsels is achteraf nagegaan wat de consequenties van de wijziging van het mineraalaggregaat zijn voor de samenstelling van het toplaagmengsel. Hiertoe zijn de volumetrische samenstellingen van de mengsels met Bestone en Graucke onderling vergeleken. De conclusie is dat de uitgevoerde wijziging van mineraalaggregaat geen noemenswaardige invloed heeft op de volumetrische doelsamenstelling van de toplaag. De resultaten van de berekeningen zijn in bijlage 3 opgenomen.

Ook de mechanische eigenschappen van de beide aggregaten zijn aan de hand van de CE-certificaten vergeleken (zie bijlage 4). Ook hieruit volgt de conclusie dat de beide soorten mineraalaggregaat in principe gelijkwaardig zijn aan elkaar en dat eventuele verschillen aan de hand van de monitoring van het langetermijn gedrag van deklagen met deze steensoorten moeten worden vastgesteld.

Achteraf wordt geconcludeerd dat het besluit te elfder ure om in de toplaag Graucke in plaats van Bestone te gebruiken op technische gronden gerechtvaardigd is. Bij dit besluit is uiteraard ook in aanmerking genomen dat de toepassing van de partij speciale steenslag slechts één van de vele onderzoeksaspecten van het werk is.

#### 4.6 Productie asfaltmengsel

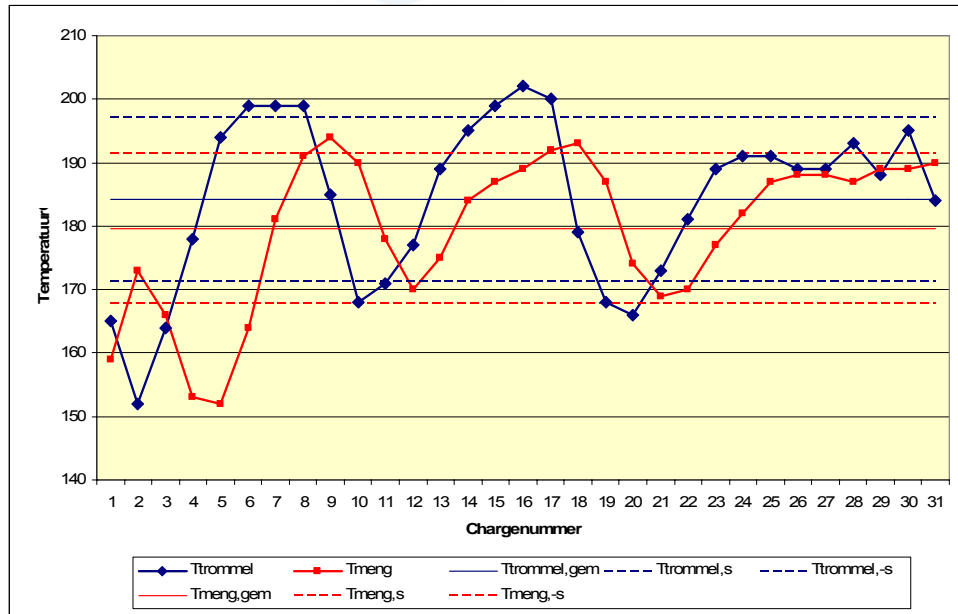
Om de condities van de proef zoveel mogelijk te kunnen beheersen is ook nagestreefd om tijdens de productie van het mengsel in de installatie geen producties voor andere werken te plannen. Alle aandacht van de asfaltinstallatie is zo gericht op de juiste uitvoering van de maatregelen en het uitvoeren van de gewenste controles en metingen.

De productie van de mengsels voor het proefvak is op alle drie productiedagen op regelmatige wijze verlopen.

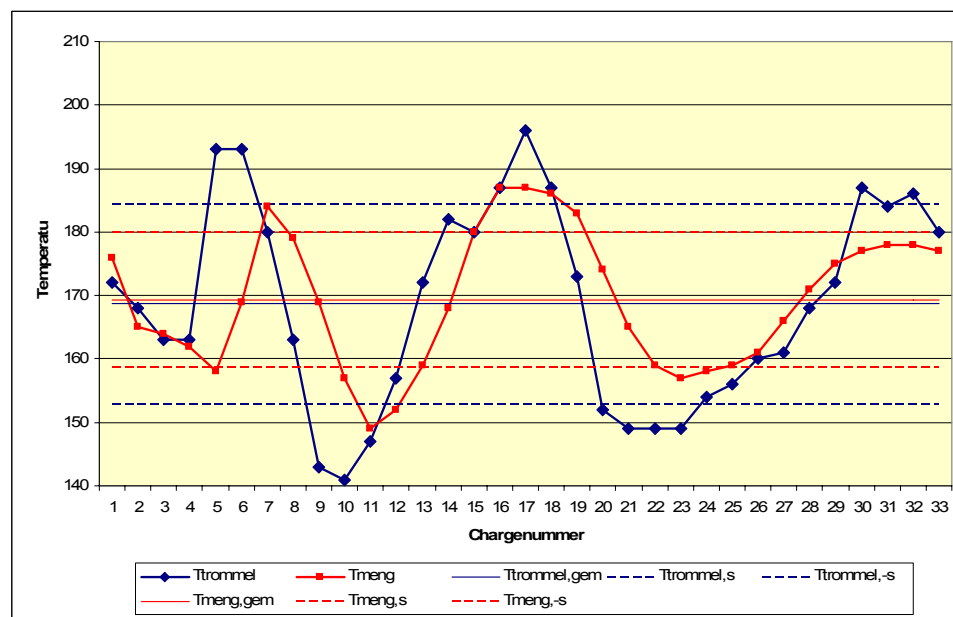
Zoals in de Ontwikkelingsfase al was besloten is de productiecapaciteit van de asfaltinstallatie tijdens de productie verlaagd, teneinde de verblijftijd van het mineraalaggregaat in de droogtrommel te verlengen en daarmee het restvochtpercentage in het materiaal te minimaliseren. Het toplaagmengsel is geproduceerd met een productiesnelheid van circa 75-80% van de productiecapaciteit van de installatie.

In Figuur 17 en 18 zijn de temperatuursregistraties van de asfaltinstallatie voor het toplaagmengsel voor de eerste en de tweede productiedag grafisch weergegeven. In de figuren zijn de gemeten temperaturen, het gemiddelde en de standaardafwijking weergegeven.

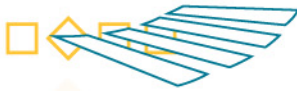
De mengtemperatuur voor de toplaag bedroeg, conform de door de leverancier opgegeven equiviscositeitstemperatuur (EVT)  $170 \text{ mm}^2/\text{s}$  (= mengtemperatuur asfalt), circa  $180^\circ \text{C}$ .



Figuur 17: Temperatuur droogtrommel en mengtemperatuur vak 1 (24/07/2007)



Figuur 18: Temperatuur droogtrommel en mengtemperatuur vak 2 (25/07/2007)



Uit de grafieken in figuur 17 en figuur 18 blijkt dat het, met name bij het starten van de productie, enige moeite heeft gekost om met de branderbesturing van de installatie op de gewenste mengtemperatuur te komen en die ook vast te houden. Karakteristiek hierbij is de golfbeweging in de temperatuur, waarbij de mengtemperatuur de temperatuur in de droogtrommel volgt.

De conclusie op basis van deze molenregistraties is dat de productieverlaging niet geleid heeft tot het resultaat dat verwacht werd van de in de ideefase beschreven driepuntsmeting van de temperatuur in de asfaltinstallatie, inclusief de daarop aangepaste branderbesturing.

De golfbeweging, zoals geconstateerd, is echter ook het gevolg van de geringe benodigde hoeveelheid asfalt, waardoor de installatie niet op een constant productieniveau door kon produceren.

Het is aan te bevelen om de driepuntsmeting alsnog nader uit te werken. Door middel van een nader vast te stellen procedure dient er bovendien zorg voor worden gedragen dat de mengselproductie pas start als het mineraalaggregaat de gewenste temperatuur heeft bereikt. Aggregaat dat niet op de gewenste temperatuur is moet dan worden afgetapt. Voor deze procedure is het van belang dat allereerst wordt vastgesteld hoe snel de temperatuur van het mineraalaggregaat stijgt of daalt.

#### 4.7 Weersomstandigheden

Het proefvak is uitgevoerd op woensdag 24, donderdag 25 en vrijdag 26 april 2007.

De weersomstandigheden tijdens de aanleg van het proefvak zijn verkregen van het weerstation van Vliegveld Twente. De weergegevens zijn opgenomen in Tabel 4.

Tabel 4: weergegevens tijdens aanleg proefvak

Vliegveld Twente		Temp (°C)	Windspeed	wind direction	Humidity
Night 1	Max.	21.0	6.9	135.0	82.0
Wednesday	Min.	13.0	1.2	0.0	53.0
	Range	8.0	5.7	135.0	29.0
	Average	17.9	4.4	81.7	65.6
	St. Dev.	2.4	1.7	45.8	8.4
Night 2	Max.	23.3	6.9	90.0	87.0
Thursday	Min.	9.0	3.5	0.0	25.0
	Range	14.3	3.4	90.0	62.0
	Average	13.4	4.9	49.7	67.1
	St. Dev.	5.0	1.1	37.2	19.0

Uit Tabel 4 blijkt dat de weersomstandigheden tijdens de aanleg van het proefvak zeer stabiel waren, gemiddelde temperatuur circa 18°C en gemiddelde windsnelheid van 5 km/u. Op basis van deze gegevens is de eventuele invloed van variabele weersomstandigheden op de aanleg van het proefvak niet nader onderzocht.

Overigens was deze buitentemperatuur zodanig, dat snelle afkoeling van de tweelaags zoab niet optrad: enerzijds een kwalitatief voordeel en anderzijds een lange verwerkingstijd, vanwege de trage afkoeling van het asfalt.

#### 4.8 Asfaltverwerking in proefvak

##### VAK 1, eerste nacht

Op het werk is na levering van het asfalt gestart met de verwerking op de linkerrijstrook (1R-R), inclusief redresseerstrook, van vak 1. De TAS werd bemand door een asfaltploeg van BAM Wegen regio Oost. De ervaringen van deze ploeg met de TAS waren beperkt en in de eerste tientallen meters van de eerste strook zijn er problemen geweest met de instelling van de machine.

Bij eerdere werken waarin tweelaags zoab met TAS is aangebracht zijn er problemen geweest met de vlakheid van het asfalt. Een van de belangrijkste oorzaken daarvan was de onstabiliteit van het onderlaagmengsel in combinatie met de hogere warmtecapaciteit van de relatief dikke laag zoab. Door de onstabiliteit van het onderlaag mengsel 'zakte' de afwerkbalk van de onderlaag langzaam weg en door middel van de hydraulische balkontlasting werd de hoogte van de balk gecorrigeerd.

In dit proefvak is er op voorhand voor gekozen om het onderlaagmengsel voor wat betreft de actuele stabiliteit te verbeteren, door bitumen 40/60 toe te passen en de mengtemperatuur zo laag mogelijk te kiezen. Het resultaat hiervan is dat de door de hogere actuele stabiliteit van het onderlaagmengsel de balkontlasting anders moet worden ingesteld of dat het wellicht helemaal niet meer nodig is. Het vinden van de juiste instelling heeft aan het begin van de eerste avond enige moeite gekost.



Figuur 19: foto van de nachtelijke werkzaamheden

Het resultaat van de eerste 90-100 m van de eerste trek was van dien aard (onvlak en de onderlaag kwam plaatselijk door de toplaag heen), dat al direct is besloten om de volgende dag de toplaag weer af te frezen en een nieuwe toplaag aan te brengen met een conventionele machine.

Ondanks de problemen met de instelling van de machine is wel het resultaat bereikt dat de onvlakheid van de eerdere projecten, namelijk onvlakheden in langsrichting met een relatief korte golflengte (door de automobilist bij hogere rijksnelheden als hinderlijke ribbelvorming ervaren), in dit project niet is waargenomen.

Bij het begin van de werkzaamheden op de eerste dag bleek dat de shuttle buggy na het laden van het onderlaagmengsel niet volledig leeg getrokken en gereinigd werd. Gevreesd werd voor vermenging van het onderlaag- en het toplaagmengsel bij het wisselen van mengsel in de shuttle buggy. Er is direct bij aanvang van de werkzaamheden besloten om de bovenste hopper van de TAS met een kraan (die als beheersmaatregel stand-by stond) te laden met het toplaagmengsel. De reden dat dit probleem vooraf niet was onderkend is gelegen in het feit dat op dit werk gebruik gemaakt is van een gloednieuwe shuttle buggy. Deze werd verondersteld van hetzelfde type te zijn als de gebruikte versie die kort voor de uitvoering van het proefvak is vervangen. Dit laatste was niet helemaal het geval en onder andere een iets andere uitvoering van schraapladder en afmetingen van de voorraadbunker hebben ertoe geleid dat de shuttle buggy niet volledig schoongemaakt wordt bij het laden van de hopper van de TAS.

Na afronding van de eerste strook van vak 1 bleek er ter plaatse van de uitvoeger nog net te weinig ruimte over te zijn voor de TAS om in de gefreesde strook te kunnen werken. Pas na het loslaatpunt van de uitvoeger moest ook ter plaatse van de vluchtstrook de deklaag worden vervangen. Vanaf het begin van het proefvak tot aan het loslaatpunt is met een conventionele asfaltset de tweelaags zoab in de tweede strook (2R-R) aangebracht.



Figuur 20: Shuttle Buggy laadt de spreidmachine (TAS)



Door de enigszins moeizame start van de werkzaamheden en de relatief hoge nachttemperatuur, die ertoe leidde dat het asfalt veel langzamer afkoelde dan voorzien, liepen de werkzaamheden enigszins uit de planning. Om geen risico's te lopen ten aanzien van de vlakheid van de weg is veel aandacht besteed aan het tijdstip waarop met walsen is begonnen. Ook voor het toelaten van het verkeer op de eerste strook na omzetting van de verkeersmaatregelen moest lang worden gewacht, omdat de relatief dikke laag zoab maar zeer langzaam afkoelde. Uiteindelijk zijn de werkzaamheden in het eerste werkvak te laat afgerond om tijdig van de weg af te zijn en het verkeer weer de beschikking te geven over de volledige rijbaan.

### VAK 2, tweede en derde nacht


De tweede nacht zijn de werkzaamheden op tijd gestart en de problemen met de instelling van de TAS waren onder controle. Na afronding van de eerste strook (1R-R) heeft de asfaltploeg met een conventionele asfaltspreidmachine de toplaag van de eerste 90-100 m van de eerste strook van de eerste nacht opnieuw aangebracht.

In de eerste strook van het tweede vak is er een stopplaats aanwezig, waar de TAS gedurende enige tijd heeft stilgestaan.

De hoge temperaturen van de tweede nacht hebben er andermaal toe geleid dat nog langer dan was voorzien, gewacht moest worden op de afkoeling van het asfalt. De leiding van het werk heeft absoluut willen voorkomen dat de weg weer te laat zou worden vrijgegeven en heeft besloten om de vluchtstrook van het tweede werkvak in de nacht van 26 april uit te voeren. Onvoldoende controle op de werkzaamheden aan het eind van de tweede nacht hebben ertoe geleid dat de weg de volgende ochtend is opengesteld, zonder het freesvak van de vluchtstrook van passende verkeersmaatregelen te voorzien.



*Figuur 21, achterste afwerkbalk van de TAS*



Heel sporadisch zijn er lokaal kleine plekken waar de onderlaag van de tweelaags zoab door de toplaag aan het oppervlak komt. De oorzaak hiervan is gelegen in enkele technische onvolkomenheden in de afstelling c.q. configuratie van de beide afwerkbalken. In de eerste balk (onderlaag) is namelijk een lichte zeeg (bolling) aanwezig. Als de afstellingen niet op elkaar zijn afgestemd of de onderlaagbalk tijdens het asfalteren iets te hoog komt rest er in het midden van de balk nog maar heel weinig ruimte voor het aanbrengen van de toplaag. Als de 'stuwing' die er dan ontstaat te groot wordt, schiet het onderlaag mengsel dan voor even door de bovenlaag heen en komt aan het oppervlak te liggen.

#### **Terugkijkend op de uitvoering van de werkzaamheden**

Afgezien van de beschreven onregelmatigheden bij de uitvoering van het proefvak zijn de werkzaamheden verder volgens plan verlopen. De onderzoeksactiviteiten zijn probleemloos uitgevoerd, waarbij moet worden opgemerkt dat in de derde nacht, waarin de vluchtstrook van vak 2 van tweelaags zoab is voorzien, geen bijzondere onderzoeksactiviteiten door het team van de Universiteit Twente zijn uitgevoerd.

Ondanks de problemen die tijdens de uitvoering van het proefvak zijn opgetreden is de conclusie dat met de getroffen verbeteringen aan het mengsel voor de onderlaag de in eerdere projecten opgetreden hinderlijke onvlakheid van met de TAS aangebracht tweelaags zoab nu onder controle is.

Langetermijn monitoring van het proefvak is noodzakelijk om tot gefundeerde conclusies over de levensduur van het asfalt te komen.



#### 4.9 Monitoring temperatuur tijdens aanleg proefvak

De temperatuur van het asfalt tijdens de aanleg van het proefvak is uitgebreid onderzocht om inzicht te verkrijgen in de homogeniteit van de temperatuur en de eventuele effecten daarvan op kwaliteit van het werk [8].

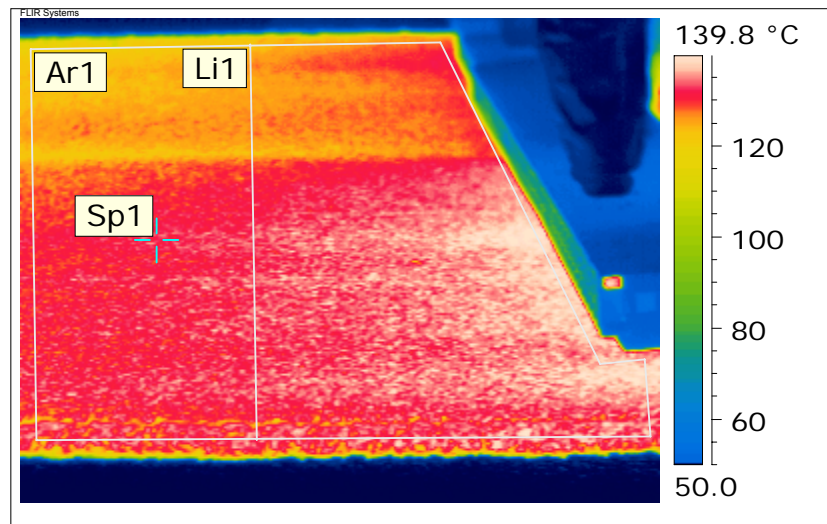
De oppervlakttemperatuur is gemeten met twee ThermaCAM™ E320 infraroodcamera's en vastgelegd in camerabeelden volgens een vooraf opgesteld meetplan (zie Figuur 22).

Staked position on the asphalt lane to be paved - based on the paver speed of 3m/min	
	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230
Time an infrared picture is taken (min)	0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46
	9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33 35 37 39 41 43 45 47 49 51 53 55
	20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66
	29 31 33 35 37 39 41 43 45 47 49 51 53 55 57 59 61 63 65 67 69 71 73 75
	58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86
	67 69 71 73 75 77 79 81 83 85 87 89 91 93 95

Figuur 22: meetplan temperatuur voor vak 1 (24/04/2007)

Het meetplan is gebaseerd op een snelheid van de asfaltspreidmachine van 3-5 m/min en de metingen zijn iedere 10 m uitgevoerd.

Met de verzamelde warmtebeelden is het mogelijk om de temperatuur van meetpunten (Sp1), raaien (Li1) en vlakken (Ar1) te analyseren. Figuur 23 toont een voorbeeld van een dergelijke meting, waarop aan de rechterzijde de balk van de asfaltspreidmachine duidelijk waarneembaar is.



Figuur 23: voorbeeld warmtebeeld

Tijdens de uitvoering van de werkzaamheden moest van het oorspronkelijk meetplan worden afgeweken als gevolg van discontinuïteiten in het aanlegproces en variaties in de snelheid van de asfaltspreidmachine. Tabel 5 toont de gemiddelde snelheid van de

asfaltspredmachine per rijstrook per vak. Deze snelheid is bepaald aan de hand van de vaste afstand tussen de meetpunten en de geregistreerde tijd tijdens de metingen.

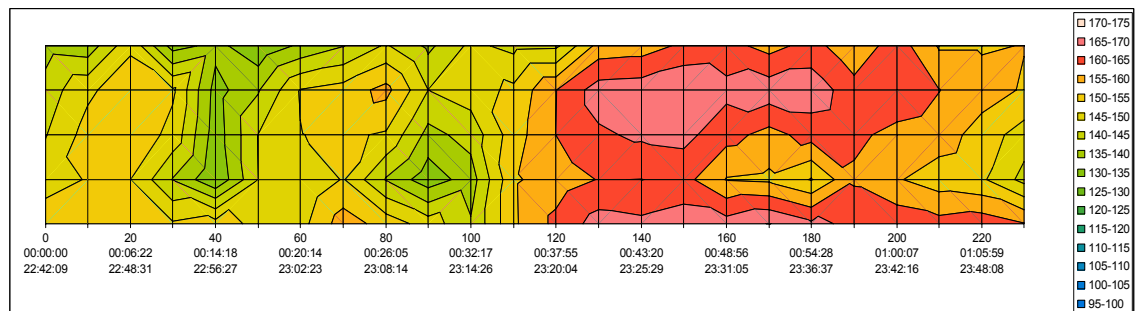
Tabel 5: gemiddelde snelheid asfaltspredmachine in m/min

Paver speed in m/min	Wednesday			Thursday	
	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 1	Lane 2
average	3.4	5.1	5.5	3.3	3.9
st. dev.	0.3	0.9	2.0	1.2	1.2

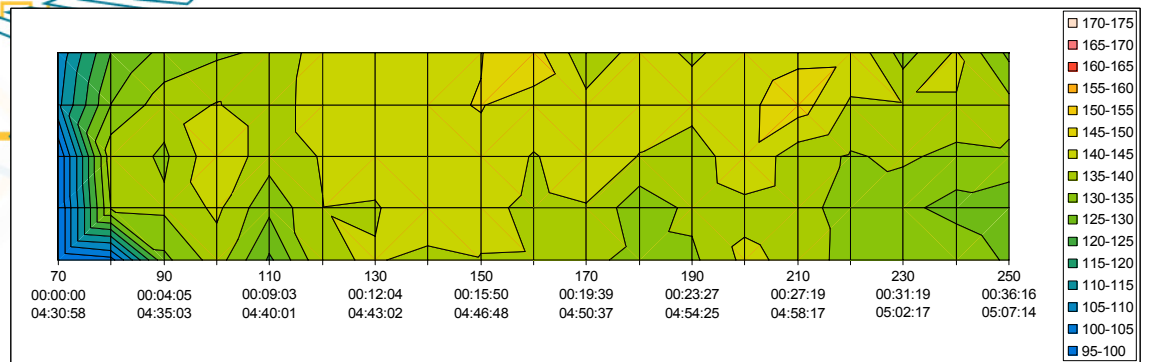
Uit Tabel 5 blijkt dat de gemiddelde snelheid van de asfaltspredmachine voor de stroken 2R-R en 1VL-R tijdens de eerste nacht (iets) hoger is dan het uitgangspunt van maximaal 5 m/min en beduidend hoger is dan de snelheid van circa 3,5 m/min op de overige rijstroken van de beide vakken.

Met de verzamelde temperatuurbeelden zijn temperatuurcontourkaarten van de asfaltverwerking opgesteld. Deze kaarten zijn gebaseerd op de temperatuurmetingen direct achter de balk van de asfaltspredmachine. Figuur 24, Figuur 25 en Figuur 26 tonen de temperatuurkaarten voor het 5 m brede vak 1 (nacht 24/04/2007). Het nulpunt van dit vak is km 60,730, tevens het nulpunt voor strook 1R-R. De metingen van de stroken 2R-R en 1VL-R zijn gestart op 70 m vanaf het nulpunt, corresponderend met het startpunt van de werkzaamheden met de TAS.

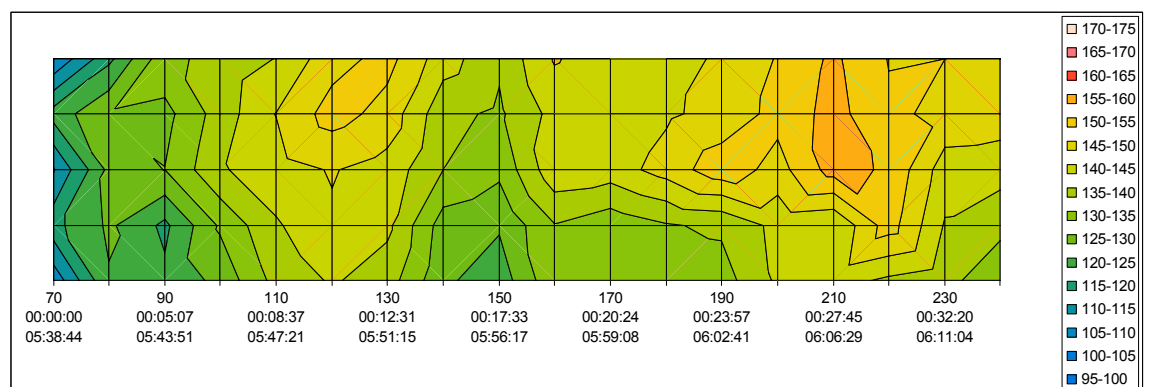
Het nulpunt van vak 2 (nacht 25/04/2007) is km 60,960, hetgeen tevens het nulpunt is voor de metingen van de stroken 1R-R en 2R-R in dit vak. De vluchtstrook is door het uitlopen van de werkzaamheden niet meer in de nacht van 25 april uitgevoerd. In de derde nacht (26/04/2007) zijn geen metingen uitgevoerd.



Figuur 24: temperatuurcontourkaart strook 1R-R (24/04/2007)



Figuur 25: temperatuurcontourkaart strook 2R-R (24/04/2007)

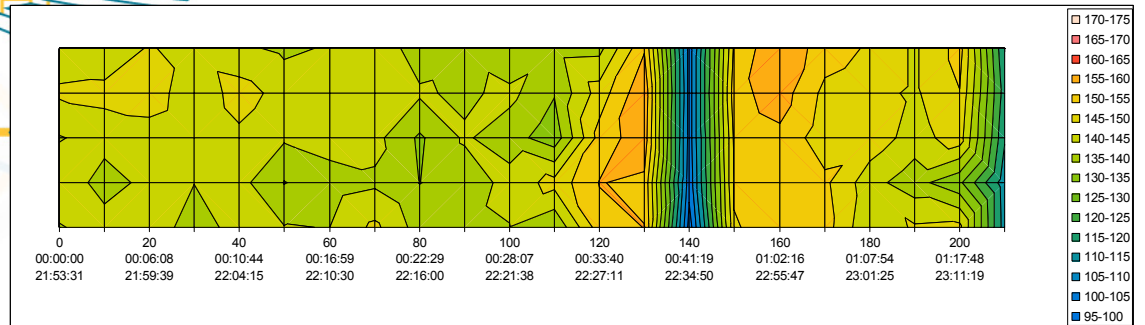


Figuur 26: temperatuurcontourkaart strook 1VL-R (24/04/2007)

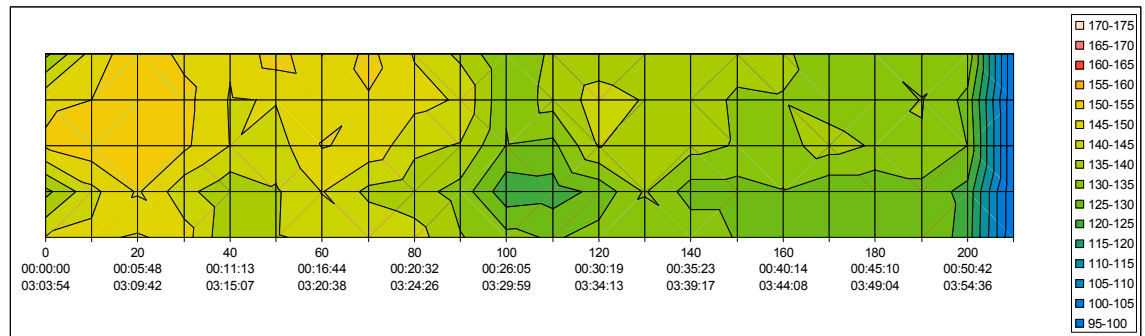
De belangrijkste bevindingen op basis van de temperatuurmetingen voor vak 1 zijn:

- Op rijstrook 1R-R is van circa 22:30-23:50 uur geasfalteerd met een rijnsnelheid van de spreidmachine van circa 3,5 m/min. De relatief lage temperatuur op de eerste 100 m van deze strook (circa 145°C) is het gevolg van het feit dat door de problemen met de instelling van de TAS de koudere onderlaag (140°-150°C) vrijwel aan het oppervlak van de weg ligt. In de rest van het vak is de gemeten oppervlakt temperatuur circa 160°C, hetgeen ongeveer overeenkomt met de gewenste temperatuur voor het gekozen bindmiddel.
- Rijstrook 2R-R is geasfalteerd van circa 04:30-05:10 uur. De smalle band met sterk oplopende temperatuur in de eerste 20 meter van het vak is het gevolg van het opstarten van de asfaltspreidmachine, waarbij tevens de mate van afkoeling van het asfalt bij het opstarten waarneembaar is. De min of meer gelijkmatige contourbeelden tussen circa 110 m en 190 m duiden op een constante snelheid van de asfaltspreidmachine en constante aanvoer van asfalt.
- Vluchtstrook 1VL-R is geasfalteerd van circa 05:30-06:10 uur. Ook hier is de invloed van het opstarten van asfaltspreidmachine zichtbaar.
- De snelheid van de asfaltspreidmachine voor de stroken 2R-R en 1VL-R is circa 5 m/min. Dit is veel hoger dan de snelheid in de eerste strook (1R-R) en het gevolg van het streven om vak 1 in de eerste nacht helemaal af te ronden.

De temperatuurcontourkaarten voor vak 2 (1R-R en 2R-R) zijn in Figuur 27 en Figuur 28 opgenomen.



Figuur 27: temperatuurcontourkaart strook 1R-R (25/04/2007)



Figuur 28: temperatuurcontourkaart strook 2R-R (25/04/2007)

De belangrijkste bevindingen op basis van de temperatuurmetingen voor vak 2 zijn:

- Rijstrook 1R-R is geasfalteerd van circa 21:50-23:20 uur met een gemiddelde snelheid van de asfaltspreidmachine van 3,3 m/min. In deze strook is een stopplaats aanwezig en duidelijk blijkt de mate van afkoeling van het asfalt gedurende een dergelijke stop.
- Met het asfalteren van rijstrook 2R-R is circa vier uren later gestart en het werk is uitgevoerd van circa 03:00-04:00 uur met een snelheid van de asfaltspreidmachine van 4 m/min.
- Uit de temperatuurkaarten blijkt dat ook aan het einde van een strook de temperatuur van het asfalt daalt, als de laatste specie uit hopper wordt gebruikt.

Van alle vijf bemeten stroken is een analyse uitgevoerd van het (lokaal) verloop van de temperatuur binnen het vak. De resultaten zijn in Tabel 6 weergegeven.

Surface temp. differentials	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	>30	total
Wednesday Lane 1	0	6	6	11	1	0	0	24
Lane 2	2	9	6	0	1	0	1	19
Lane 3	0	1	11	5	1	0	0	18
Thursday Lane 1	2	17	1	1	1	0	0	22
Lane 2	0	9	11	2	0	0	0	22
total	4	42	35	19	4	0	1	105

Tabel 6: Temperatuurverloop [°C] gemeten stroken per vak

In alle stroken zijn gebieden aanwezig met lokale spreidingen in de temperatuur. Deze spreiding is beperkt tot circa 20°C.

Op basis van de ervaringen in de Verenigde Staten [1] voor dicht asfaltbeton zou verwacht kunnen worden dat deze temperatuurverschillen leiden tot dichtheidsverschillen die in potentie schadelijk zijn voor de levensduur van het asfalt.

Vanwege principiële verschillen in doel en aard van het verdichtingsproces van zeer open asfaltbeton ('stenen goed stapelen') ten opzichte van dicht asfaltbeton zal het resultaat voor ZOAB anders zijn: doordat de gevonden verschillen in temperatuur nog altijd in het beoogde viscositeitsgebied van het bindmiddel liggen en de "verdichting/korrelstapeling" relatief gemakkelijk tot stand komt wordt verondersteld, dat de waargenomen verschillen niet tot een verhoogde kans op schade (rafeling) zullen leiden. Lange termijn monitoring van het proefvak moet leiden tot definitieve conclusies hierover en uiteraard wordt dan bijzondere aandacht besteed aan de gebieden met temperatuurvariaties groter dan 20°C.

Er is in een zeer beperkt aantal gebieden een oppervlaktemperatuur gemeten van minder dan 100°C, of wel de onderkant van het temperatuurtraject voor het verdichten. Deze gebieden zijn beperkt tot de start- en eindstukken van de stroken en de stopplaats van de spreidmachine.

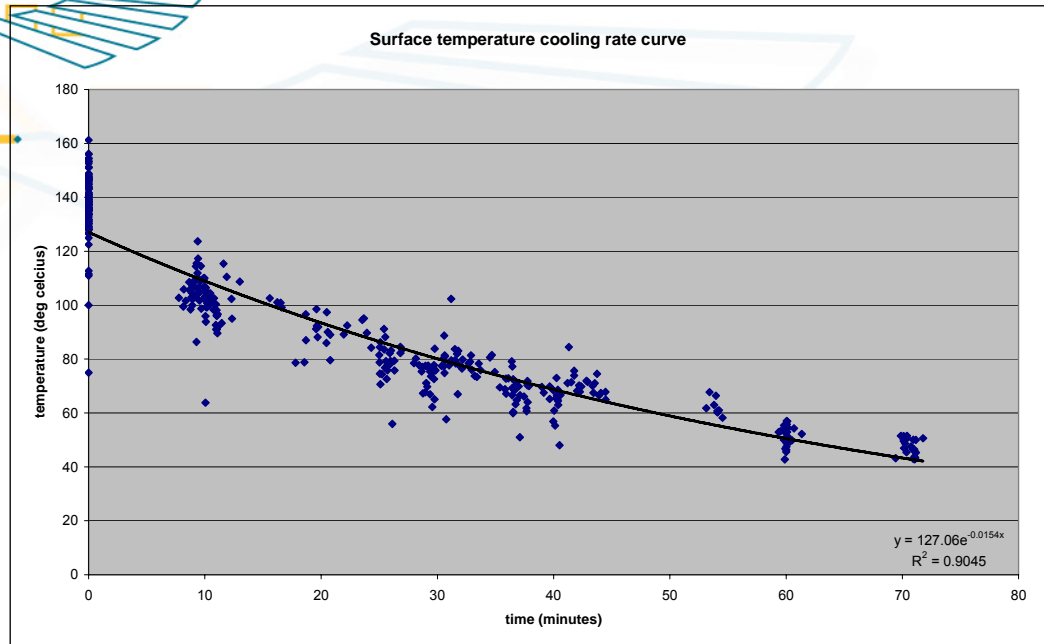
De resultaten van de temperatuurmetingen zijn ook gebruikt om inzicht te verkrijgen in de afkoelingsnelheid van het tweelaags zoab. Een voorbeeld van de resultaten van de analyse is voor rijstrook 1R-R van vak 1 (24/04/2007) weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: Oppervlaktemperatuur rijstrook 1R-R vak 1

position	160					
IR: Date Of Creation	25/04/2007	25/04/2007	25/04/2007	26/04/2007	26/04/2007	26/04/2007
IR: Time Of Creation	23:31:05	23:40:23	23:55:01	00:06:01	00:14:26	00:24:13
time difference	0.0	9.3	23.9	34.9	43.4	53.1
Sp1	159.2	114.7	86.5	73.1	65.4	56.0
Li1: Max	163.7	121.4	96.7	83.3	76.9	68.2
Li1: Min	148.3	109.6	82.7	67.1	63.2	55.3
Li1: Max - Min	15.4	11.8	14.1	16.2	13.7	12.9
Li1: Average	156.0	115.5	89.7	75.2	70.1	61.8
Ar1: Max	169.4	124.6	97.7	85.0	77.7	68.9
Ar1: Min	140.2	106.8	78.4	66.7	62.1	54.5
Ar1: Max - Min	29.2	17.8	19.3	18.3	15.6	14.4
Ar1: Average	157.7	114.3	87.9	74.0	68.2	59.7

Voor dit punt (160 m) van rijstrook 1R-R van vak 1 blijkt de temperatuur in circa 53 minuten van 156°C terug te vallen naar 62°C, hetgeen een afkoelingsnelheid van circa 1,8°C/min betekent.

Figuur 29 toont de grafiek voor de afkoelingsnelheid die is gebaseerd op alle gemeten data.



*Figuur 29: afkoelingsnelheid-karakteristiek voor het gehele databestand*

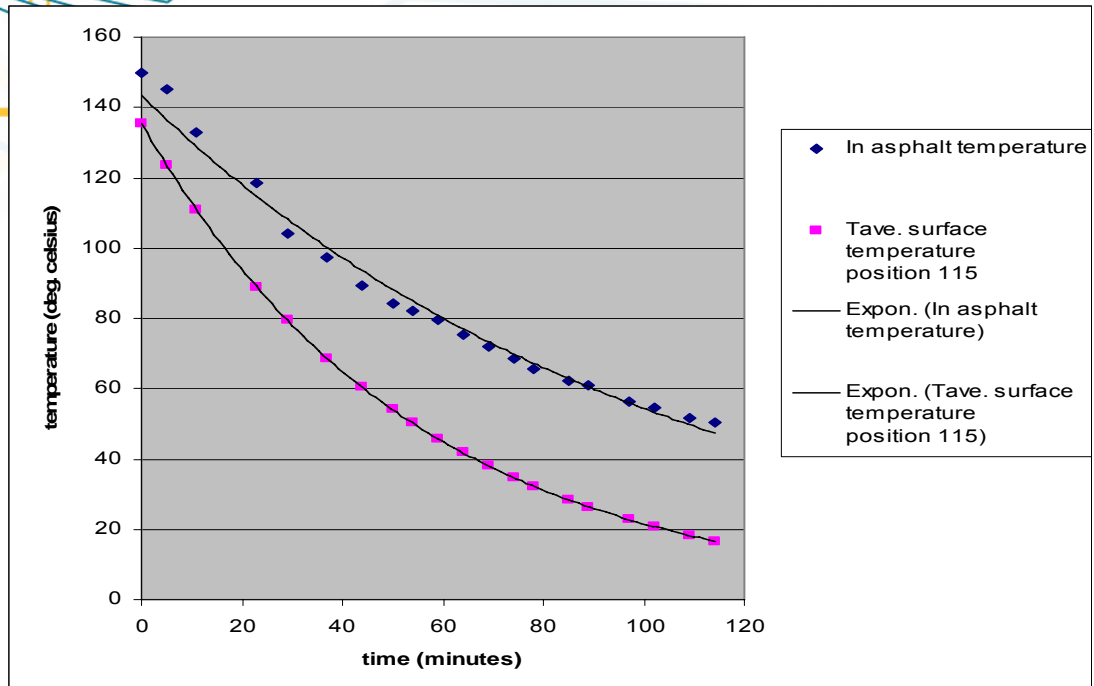
De afkoelingsnelheid van het tweelaags zoab aangelegd met de TAS bij een omgevingstemperatuur van circa 18°C bedraagt circa 1,1-1,3°C/min.

Op basis van deze gegevens is te berekenen dat het minstens 2 tot 3 uur kan duren bij deze omgevingstemperatuur, voordat het verkeer kan worden toegelaten op de weg. Dit is ook de verklaring voor de lange tijd die er in beide nachten is verstreken tussen de aanleg van de eerste strook (1R-R) en de tweede strook (2R-R). Na aanleg van de eerste strook moest namelijk de afzetting worden omgezet, maar voor die tijd moest het net aangelegde asfalt voldoende zijn afgekoeld. De tweede (2R-R) en derde strook (1VL-R) zijn binnen dezelfde afzetting aangelegd, waardoor de tijd tussen de aanleg van deze stroken aanzienlijk korter is.

Tenslotte is er ook onderzoek gedaan naar het verschil tussen de oppervlaktemperatuur van het asfalt en de temperatuur in het asfalt. De temperatuur in het asfalt is gemeten met insteekthermometers. Een voorbeeld van de resultaten van dit onderzoek is voor meetpunt 115 m van vak 1 (24/04/2007) weergegeven in Figuur 30. Deze resultaten zijn representatief voor het gehele databestand.

Uit deze figuur blijkt, zoals is te verwachten, dat de afkoelingsnelheid van het asfalt aan het oppervlak hoger is dan in de asfaltlaag zelf.





*Figuur 30: representatieve karakteristiek voor de afkoelingsnelheid*

Er blijkt voor alle vijf bemeten stroken een zeer sterke correlatie te bestaan tussen de oppervlakttemperatuur en de temperatuur in het asfalt [8].

#### *Conclusies monitoring temperatuur*

De temperatuur van het asfalt direct achter de balk varieert in enige mate en (zeer) plaatselijk zelfs sterk in zowel langs- als dwarsrichting. De plekken met een zeer sterke temperatuurinhomogeniteit beperken zich tot de aanzetten en beëindigingen van de stroken en een enkele stopplaats. De temperatuurval van het asfalt op deze punten blijkt duidelijk uit de geregistreeerde temperatuurgegevens. In het algemeen is de temperatuurvariatie in alle geasfalteerde stroken beperkt tot maximaal circa 20°C.

Het gebruik van een kraan voor het voeden van de bovenste hopper van de TAS heeft bijgedragen aan de waargenomen inhomogeniteit van de temperatuur. Bovendien is hierdoor de beoogde positieve invloed van de Shuttle Buggy op de kwaliteit van het asfalt niet ten volle benut.

Met behulp van infraroodcamerabeelden kan nauwkeurige temperatuurdata worden verkregen van het asfaltverwerkingsproces. Met deze data kunnen temperatuurcontourkaarten worden samengesteld, die veel informatie verschaffen over de temperatuurhomogeniteit in het werk. Het gebruik van de infraroodcamera's is nog enigszins arbeidsintensief en het resultaat is afhankelijk van de specifieke keuzes van de gebruiker voor bijvoorbeeld afstand, hoek etc. Voor een goede analyse van de verkregen data is nog vrij veel nabewerking van de gegevens noodzakelijk.

De verzamelde temperatuurdata kan worden gebruikt voor het voorspellen van de afkoelingskarakteristiek van tweelaags zoab, uitgaande van de actuele

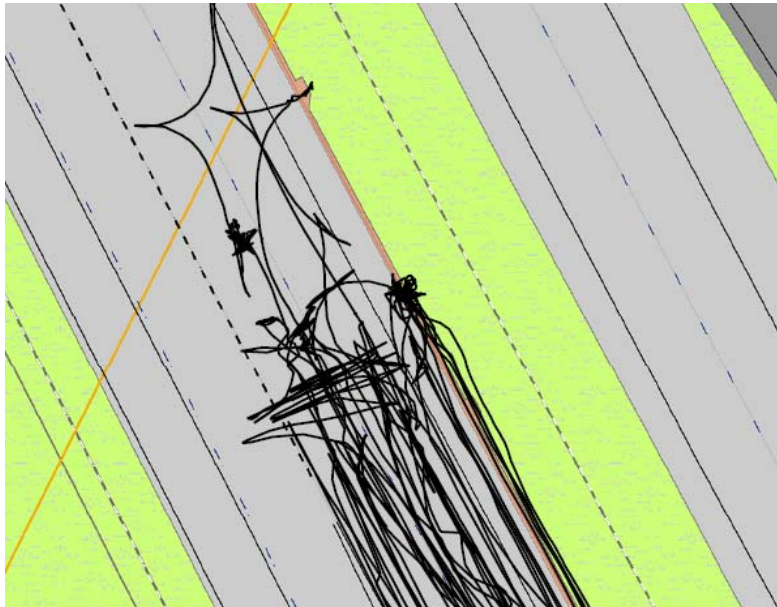
omgevingstemperatuur. Met deze informatie moet het mogelijk zijn om zowel walsregiem als walstraject voor tweelaags zoab te optimaliseren.

De uitstekende correlatie van de gemeten oppervlaktemperatuur en de temperatuur in het asfalt levert een belangrijke bijdrage aan de validatie van de uitgevoerde metingen van de oppervlaktemperatuur voor monitoring van het asfaltverwerkingsproces.

#### 4.10 Monitoring bewegingen materieel tijdens aanleg proefvak

Het doel van de monitoring van de bewegingen van het materieel tijdens de aanleg van het proefvak is tweeledig, namelijk onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van GPS-technologie bij de asfaltverwerking en onderzoek naar het gebruik van GPS-technologie bij onderzoek naar de (gedrags)processen tijdens de verwerking van asfalt [8].

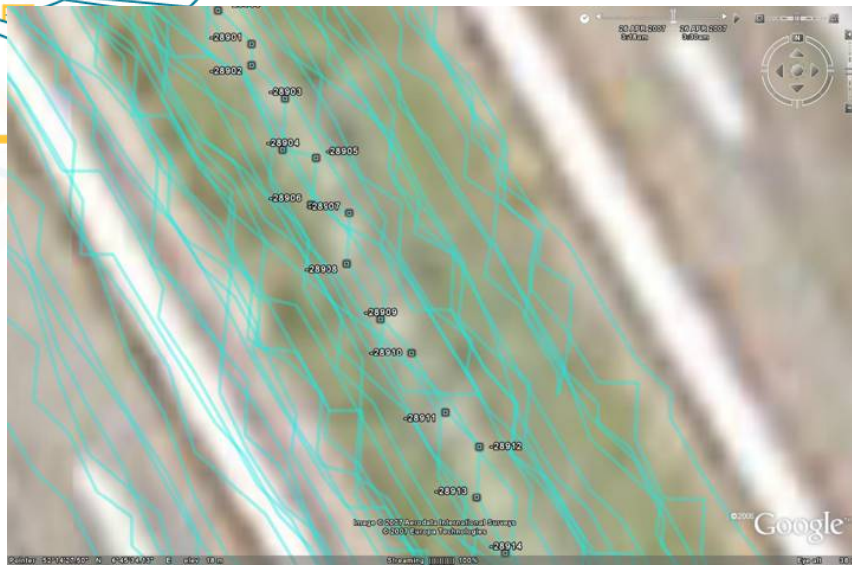
Er zijn twee GPS-systemen gebruikt om positiedata te verzamelen tijdens de aanleg van vak 1 en vak 2 (24/04/2007 en 25/04/2007). Het ene systeem is een high-end Leica GPS-systeem, bestaande uit een basisstation en twee rovers op de walsen en de asfaltspreidmachine, met een nauwkeurigheid van 0,1 m. De posities van het materieel zijn per seconde vastgelegd. Een voorbeeld van de registratie met het high-end systeem is te zien in Figuur 31.



Figuur 31: GPS-data van high-end systeem

Het tweede systeem, een prototype van een low-end systeem, is ook in dezelfde nachten ingezet. Dit systeem bestaat uit een combinatie van een GPS-ontvanger en een datalogger. De nauwkeurigheid van dit eenvoudige 'standaard' systeem is 3-5 m. Op iedere wals en de asfaltspreidmachine zijn twee ontvangers gemonteerd en per seconde is de positie van het materieel vastgelegd.

Een voorbeeld van de low-end data, geprojecteerd op een Google Earth foto van het werkvak is te zien in Figuur 32.



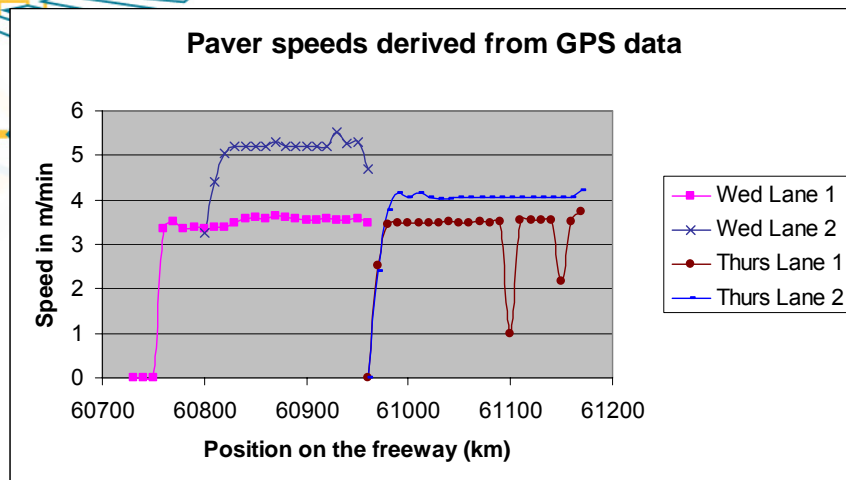
*Figuur 32: GPS-data van low-end systeem*

De reden om twee verschillende systemen toe te passen is een onderzoek of door middel van intensieve nabewerking van de data ook met het low-end systeem acceptabele resultaten kunnen worden bereikt. Dit onderzoek valt verder buiten de scope van SSH3.

De resultaten van de verzamelde data zijn verwerkt in speciale software, waarmee voor onderzoeks- en instructiedoeleinden animaties zijn vervaardigd van de bewegende walsen en de spreidmachine.

De snelheid van de asfaltspreidmachine is afgeleid van de GPS-data en is weergegeven in Figuur 33. De data van de vluchtstrook van vak 1 (1VL-R) bevatte meet-/registratiefouten en is niet in de figuur opgenomen.

Ter vergelijking is in Tabel 8 andermaal de gemiddelde snelheid van de spreidmachine, bepaald aan de hand van de temperatuurregistraties, weergegeven.



Figuur 33: snelheid asfaltspreidmachine

Tabel 8: gemiddelde snelheid asfaltspreidmachine in m/min

Paver speed in m/min	Wednesday			Thursday	
	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 1	Lane 2
average	3.4	5.1	5.5	3.3	3.9
st. dev.	0.3	0.9	2.0	1.2	1.2

Het is duidelijk dat de gemiddelde snelheid van de asfaltspreidmachine voor de stroken 2R-R en 1VL-R tijdens de eerste nacht hoger is dan de snelheid van circa 3,5 m/min op de overige rijstroken van de beide vakken. Dit is, zoals eerder reeds gesteld, het gevolg van het streven om vak 1 in de eerste nacht volledig af te ronden en het werk de volgende ochtend op tijd voor het verkeer open te stellen.

Tabel 9 toont de tijdstippen waarop gestart is met aanbrengen van het asfalt en de tijdstippen waarop gestart is met walsen. Uit deze tabel blijkt door de zeer snelle start van wals 1 op strook 2R-R en 1VL-R vak 1 en strook 2R-R vak 2 duidelijk de druk die op het werk is ontstaan om bijtijds het werk af te ronden voor openstelling voor het verkeer.

Tabel 9: start werkzaamheden spreidmachine en walsen

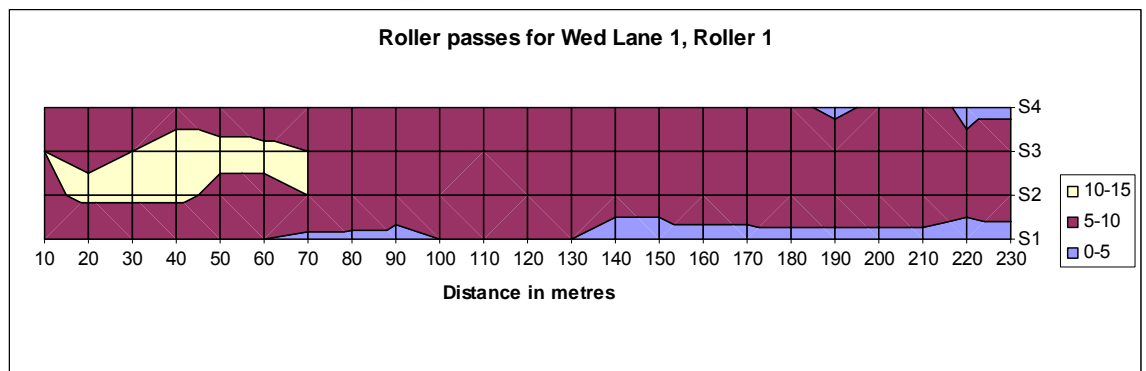
	Wednesday			Thursday	
	Lane 1	Lane 2	Lane 3	Lane 1	Lane 2
Start of paving	T <sub>0</sub> (22h40)	T <sub>0</sub> (04h30)	T <sub>0</sub> (05h39)	T <sub>0</sub> (21h58)	T <sub>0</sub> (03h07)
Start of roller 1 (T <sub>mins later</sub> )	T <sub>41</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>32</sub>	T <sub>2</sub>
Start of roller 2 (T <sub>mins later</sub> )	T <sub>85</sub>	T <sub>35</sub>	T <sub>28</sub>	T <sub>60</sub>	T <sub>45</sub>

Uit het onderzoek voor de ontwikkeling van de verwerkbaarheidstoets [6] is af te leiden dat, rekening houdend met de wens voor een goede stabiliteit, het gewenste waltraject voor de onderlaag 130°-80° is en voor de bovenlaag 150°-100°C. Voor de laag tweelaags zoab wordt, rekening houdend met de bindmiddelkeuze, een waltraject gesteld van 140°-90°. Deze temperatuursrange is een arbitraire keuze, daar de juiste “verdichting” van ZOAB mengsels geëvalueerd moet worden: de RAW Standaard methode met

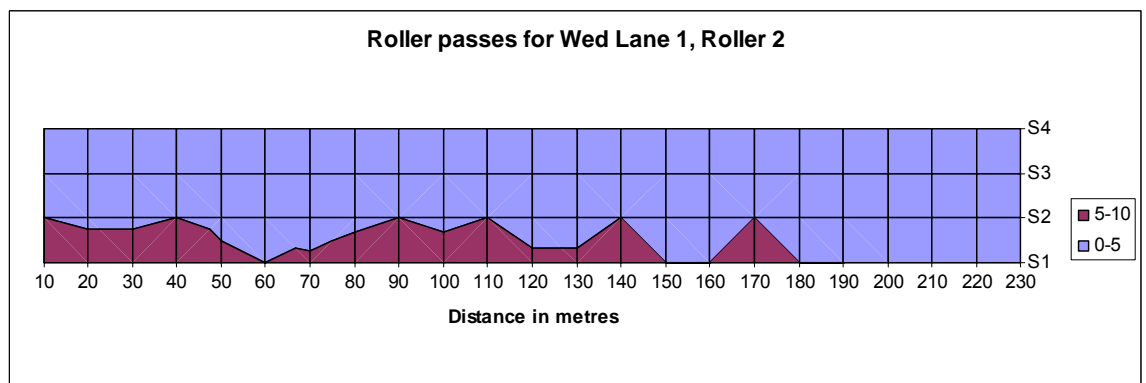
verdichtingsgraad geeft een grote kans op verbrijzeling en latente breuk in de bindmiddelbruggen.

Uitgaande van de berekende afkoelingsnelheid van circa 1,2°C/min zou er tussen circa 15 en 60 minuten na aanbrengen van het asfalt gewalst moeten worden.

Het verdichtingsproces is nader beschouwd door middel van 'verdichtingscontourkaarten', die aan de hand van het aantal walsovergangen weergeven in welke mate er verdicht is. Figuur 34 en Figuur 35 tonen de typische resultaten van de uitgevoerde walsovergangen voor strook 1 van vak 1.



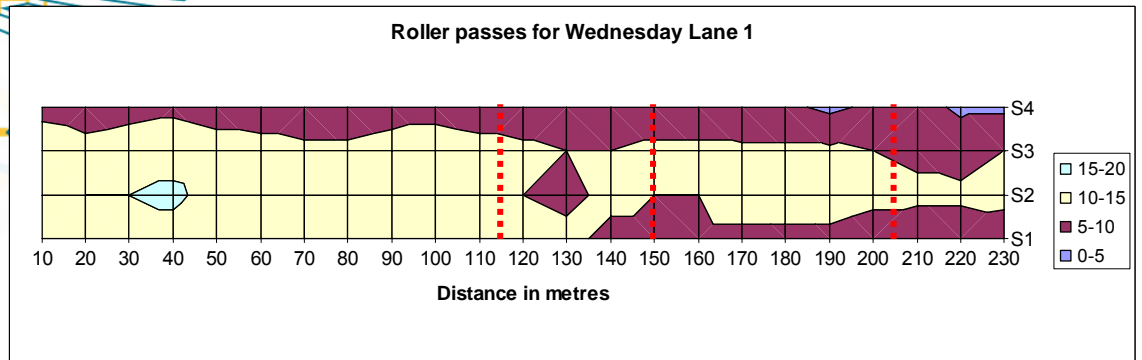
Figuur 34: verdichting door wals 1 van strook 1 van vak 1 (24/04/2007)



Figuur 35: verdichting door wals 2 van strook 1 van vak 1 (24/04/2007)

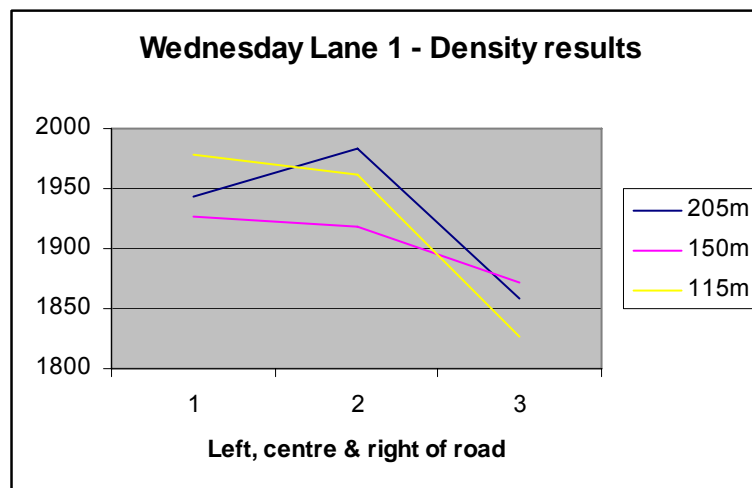
De belangrijkste bevindingen voor de verdichting van vak 1 zijn:

- Wals 1 heeft de eerste nacht de meeste walsovergangen gedaan op strook 1R-R, waarbij op het grootste deel van de strook 5-10 walsovergangen zijn uitgevoerd.
- Wals 2 heeft op strook 1R-R veel minder walsovergangen gedaan en op het grootste deel van het vak zijn door wals 2 minder dan 5 walsovergangen uitgevoerd.
- Het resultaat voor strook 1R-R en 2R-R van vak 1 is dat de meeste walsovergangen zijn gemaakt op de rechterzijde van de strook.
- De walsmachinisten lijken complementair te hebben gewerkt (de strook te hebben 'verdeeld'). Toch is er enige inconsistentie, omdat er blijkt dat in het midden van de strook de meeste walsovergangen zijn uitgevoerd (Figuur 34). Op grote delen van de randen van de strook zijn minder walsovergangen uitgevoerd.



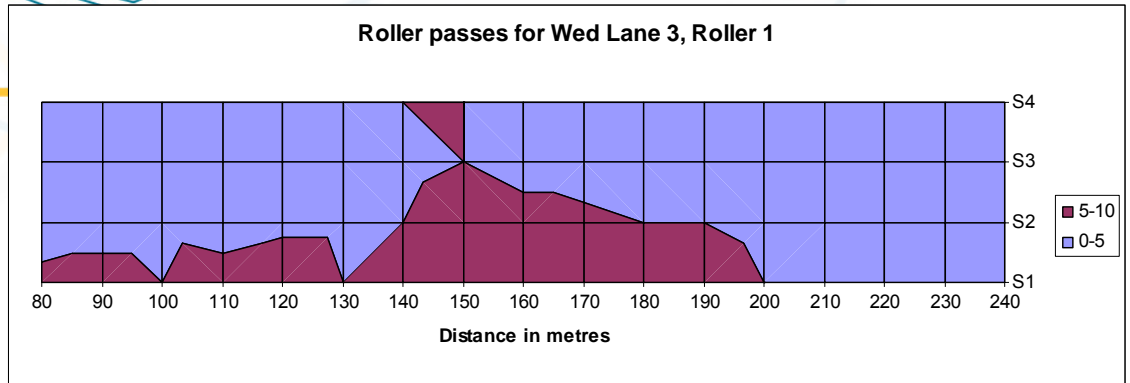
Figuur 36: Verdichtingsresultaat (aantal walsovergangen) strook 1 van vak 1

- Figuur 37 toont de resultaten van de gemeten dichtheden (nucleair) van het asfalt in drie raaien van strook 1 van vak 1 (op 115 m, 150 m en 205 m). Uit deze figuur blijkt dat de dichtheid van het asfalt lager is op de plaatsen waar er minder walsovergangen zijn uitgevoerd.

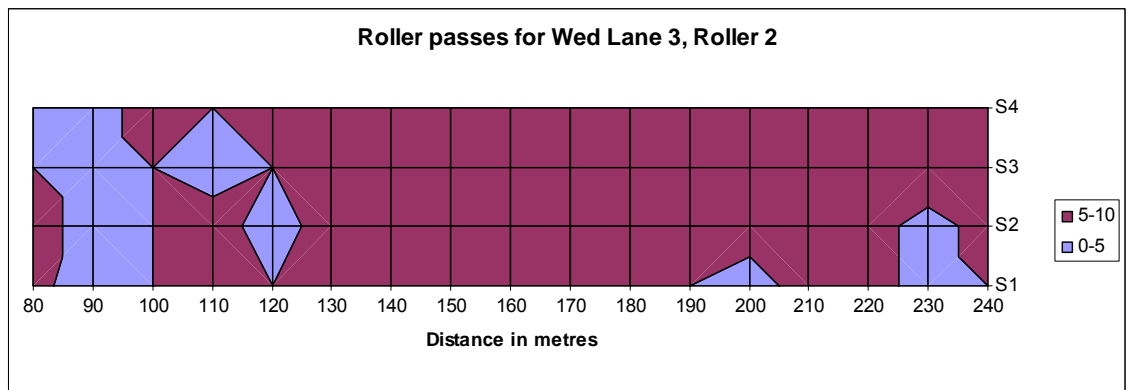


Figuur 37: dichtheid boorkernen voor strook 1 van vak 1

- De verdichting van strook 3 (1VL-R) van vak 1 wijkt af van de verdichting van strook 1 en 2. Wals 1 heeft op circa 75% van het oppervlak minder dan 5 walsovergangen uitgevoerd (Figuur 38), terwijl wals 2 op circa 85% van het oppervlak 5-10 walsovergangen uitgevoerd (Figuur 39). Het resultaat is dat er op deze relatief smalle strook (3 m) ook 10-15 walsovergangen zijn uitgevoerd.

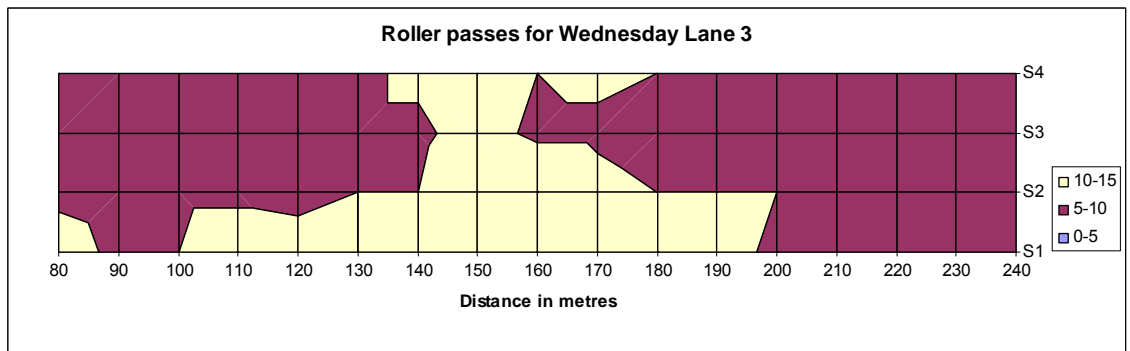


Figuur 38: verdichting door wals 1 van strook 3 van vak 1 (24/04/2007)



Figuur 39: verdichting door wals 1 van strook 3 van vak 1 (24/04/2007)

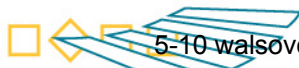
- Figuur 40 toont het uiteindelijke “verdichtingsresultaat” voor de derde strook (1VL-R) van vak 1. Uit de figuur blijkt duidelijk dat er in lengterichting van de strook gebieden met een verschillend aantal walsovergangen zijn te onderscheiden.



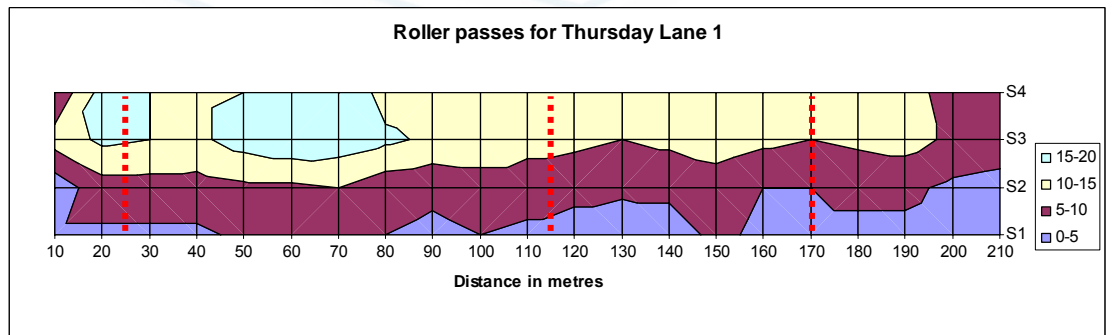
Figuur 40: Verdichtingsresultaat (aantal walsovergangen) strook 3 van vak 1

De belangrijkste bevindingen voor de verdichting van vak 2 zijn:

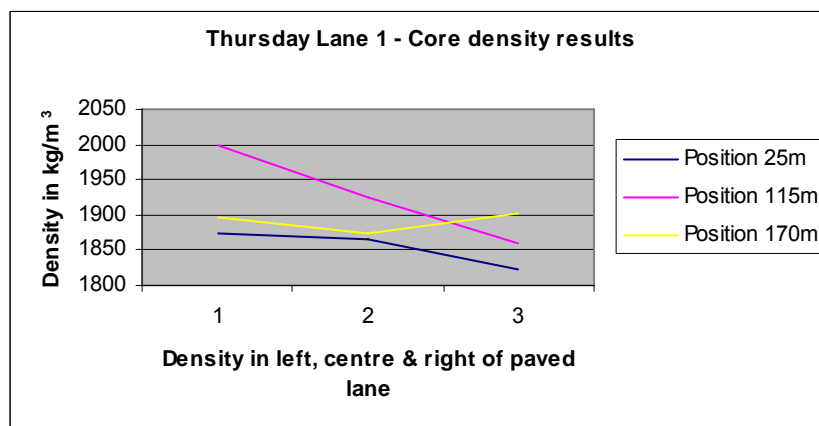
- De walsinzet van strook 1 (1R-R) van vak 2 is min of meer het omgekeerde van dat van vak 1. Wals 1 heeft in vak 2 de meeste walsovergangen uitgevoerd, grotendeels



5-10 walsovergangen. Wals 2 heeft met minder dan 5 overgangen op circa 60% van de strook aanzienlijk minder bijgedragen aan de verdichting. De verdichting van strook 1 van vak 2 is in Figuur 41 weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat er vrijwel consequent minder walsovergangen zijn uitgevoerd van de linkerzijde naar de rechterzijde van het vak, hetgeen leidt tot een lagere verdichting van de rechterzijde van de strook ten opzichte van de linkerzijde (Figuur 42).



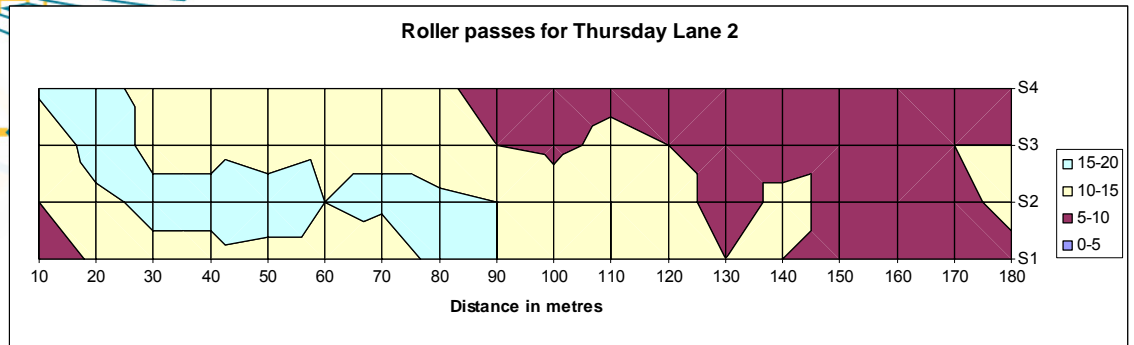
Figuur 41: verdichtingsresultaat (aantal walsovergangen) strook 1 van vak 2



Figuur 42: dichtheid boorkernen voor strook 1 van vak 2

Bij het verdichtingsresultaat van strook 2 van vak 2 zijn twee gebieden met een verschillend aantal walsovergangen te onderscheiden. Op de eerste 120 m zijn meer dan 10 walsovergangen uitgevoerd en in de laatste 60 m 5-10 walsovergangen (zie Figuur 43).





Figuur 43: verdichtingsresultaat (aantal walsovergangen) strook 2 van vak 2

#### Conclusies monitoring bewegingen materieel

De snelheid van de asfalspreidmachine in strook 2 en 3 van vak 1 verschilt sterk van de snelheid in de overige stroken. Ook is in strook 2 en 3 van vak 1 relatief vroeg gestart met walsen. Dit is het gevolg van het feit dat men ondanks enige vertraging door de trage start van de verwerking van het asfalt en de lange afkoelingstijd toch vak 1 in de eerste nacht wilde afronden.

Uit de resultaten van de analyses blijkt dat de beide walsen op het werk in principe complementair hebben gewerkt en dat het erop lijkt dat een verdeling naar linker en rechterzijde van een strook is gemaakt. De uiteindelijke verdichtingsresultaten per strook vertonen echter toch een aantal opmerkelijke verschillen. Zo blijkt de ene zijde van een strook meer walsovergangen te hebben gehad dan de andere zijde, heeft het midden van een strook meer walsovergangen gehad dan de zijkanten of zijn er in lengterichting van een strook gebieden met een verschillend aantal walsovergangen te onderscheiden.

De walspatronen variëren sterk, ondanks het feit dat er uit de vervaardigde animaties duidelijk blijkt dat de walsmachinisten volgens een bepaalde procedure te werk gaan. Meer aandacht moet worden besteed aan een gelijkmatige verdeling van het aantal walsovergangen binnen een strook. Hierbij moet tevens aandacht worden besteed aan de breedte van de te walsen strook. Uit de verdichtingsresultaten van de verschillende stroken blijkt dat het aantal walsovergangen in de smallere stroken hoger is dan in de bredere stroken. Dit is ook af te lezen in Tabel 10.

Tabel 10: gemiddeld aantal walsovergangen per strook

Roller coverage on lanes (number of passes)	ave. passes	std. dev.	no > average	n	% > ave. passes
Wednesday Lane 1 (5m)	8.0	2.4	36.0	92.0	39.1
Wednesday Lane 2 (4m)	9.1	2.8	40.0	72.0	55.6
Wednesday Lane 3 (3m)	10.6	2.7	50.0	68.0	73.5
Thursday Lane 1 (5m)	9.9	3.4	48.0	84.0	57.1
Thursday Lane 2 (4m)	10.0	2.7	61.0	84.0	72.6

Het is met high-end GPS-apparatuur mogelijk om met nauwkeurigheden van 0,1 m GPS positiedata vast te leggen van de bewegingen van het materieel tijdens de asfaltverwerking. De kosten van deze apparatuur zijn echter nog aan de hoge kant.

Door middel van de GPS-registratie van de bewegingen van het materieel tijdens de asfaltverwerking kan het op ervaring gebaseerde gedrag van de machinisten nader in kaart worden gebracht. Deze kennis kan vervolgens worden ingezet om de processen waar nodig verder te verbeteren.

## 5 Onderzoek gerealiseerd werk

### 5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van alle onderzoeken beschreven die zijn uitgevoerd op het gerealiseerde wegdek of op monsters/boorkernen die zijn genomen uit de weg. Dit onderzoek is uitgevoerd conform een vooraf opgesteld onderzoeksplan [1].

### 5.2 Locaties monsternamen

Voor de bepaling van de laagdikte, holle ruimte, treksterkte en watergevoeligheid en de samenstelling van de tweelaags zoab zijn er 40 boringen uitgevoerd, 18 hoppermonsters en 8 monsters (4x onderlaag en 4x bovenlaag) bij de asfaltinstallatie genomen.

In rijstrook 1 zijn in zes dwarsraaien drie boringen uitgevoerd, één aan de linkerkant van de afwerkbalk van de spreidmachine (1,20 m vanaf kant asfalt aan middenbermszijde), één in het midden van de afwerkbalk (3,30 m vanaf kant asfalt aan middenbermszijde) en één aan de rechterkant in het uitschuifgedeelte van de afwerkbalk (4,50 m vanaf kant asfalt aan middenbermszijde). In de huidige situatie is de linkerstreep van rijstrook 1 aangebracht op 1,50 m vanaf kant asfalt en de rechterstreep op 5,10 m.

Het belangrijkste doel van deze boringen is het verkrijgen van inzicht in de homogeniteit van de samenstelling van het asfalt.

In rijstrook 2 zijn in het hart van de rijstrook in zes dwarsraaien twee gepaarde boringen uitgevoerd. Het belangrijkste doel van deze boringen is de bepaling van de treksterkte en watergevoeligheid.

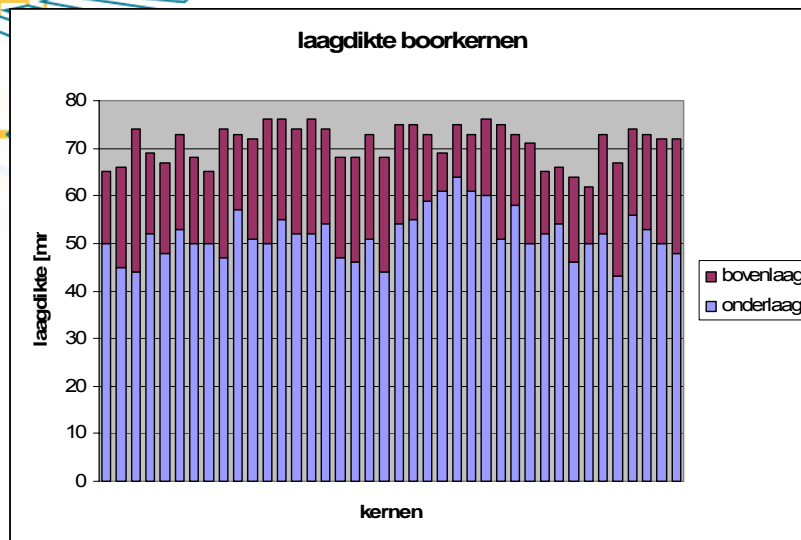
In de vluchtstrook zijn in vijf dwarsraaien twee gepaarde boringen Ø150 mm uitgevoerd. Deze boringen zijn in eerste instantie bedoeld als reservemateriaal voor nader vast te stellen onderzoek.

De boorlocaties en de locaties waar er hoppermonsters zijn genomen zijn in bijlage 5 beschreven.

### 5.3 Laagdikte tweelaags zoab

Van alle uitgevoerde boringen is de dikte van de onderlaag en bovenlaag van de boorkernen gemeten. Hierbij moet worden opgemerkt dat de scheiding tussen de onder- en bovenlaag bij asfalt dat in twee lagen met de TAS is aangebracht niet altijd scherp is.

De resultaten van de laagdiktemetingen zijn in bijlage 7 opgenomen. De laagdiktes zijn grafisch gepresenteerd in Figuur 44.



Figuur 44: laagdikte boorkernen

Uit de resultaten blijkt dat een gemiddelde laagdikte is aanbracht van 52 mm onderlaag en 19 mm bovenlaag (uitgangspunt wat 45 mm onderlaag en 25 mm toplaag). De gemiddelde totale dikte is 71 mm. Deze gemiddelde dikte is aangebracht met een standaardafwijking van 3,9 mm op de totale dikte.

#### 5.4 Samenstelling

De samenstelling van het asfalt, onderscheiden naar toplaag en onderlaag, is bepaald op marshalltabletten (laboratorium), speciemonsters van de asfaltcentrale en speciemonsters uit de hopper. De samenstelling van het geproduceerde asfalt is in bijlage 7 in tabelvorm weergegeven.

Uit de resultaten van de extracties van het materiaal van de toplaag blijkt dat de teruggevonden hoeveelheid bitumen tot wel 0,6% minder kan zijn dan de gedoseerde hoeveelheid. Dit heeft te maken met de onoplosbaarheid van de polymeermodificatie die aan het bindmiddel is toegevoegd. Er wordt nader onderzoek uitgevoerd naar de oplosbaarheid van het bindmiddel en de modificatie.

#### 5.5 CT-scans boorkernen

##### 5.5.1 Beschrijving methode

Bij de TUDelft zijn met behulp van een CT scanner de percentages holle ruimte, mastiek en steenslag bepaald van de boorkernen van de linker- en rechterrijstrook van het proefvak. Deze percentages, volumepercentages (%V/V), zijn zowel voor de onder- als bovenlaag van de tweelaags zoab bepaald [9].

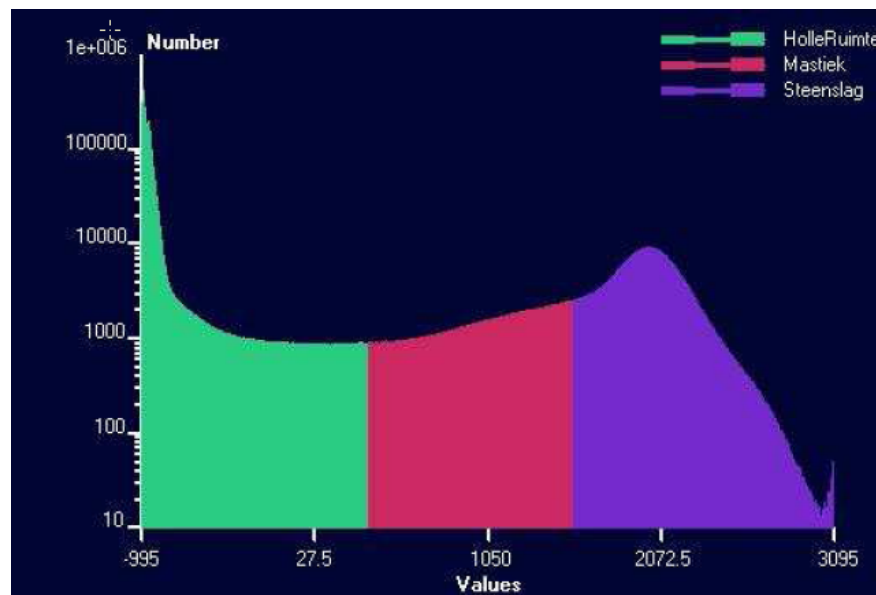
Het onderscheid tussen holle ruimte, mastiek en steenslag wordt gemaakt door naar het verschil in Hounsfield Units (HU) te kijken. De holle ruimte heeft de laagste HU waarde. Om het volume te bepalen van de holle ruimte moet er een grenswaarde gesteld worden (Figuur 45). Alles onder de grens behoort tot de holle ruimte, alles boven de grens behoort tot de mastiek en steenslag.



Op de horizontale as in figuur 32 staan de Hounsfield Units, op de verticale as het aantal voxels. In het groen zijn alle voxels die gedefinieerd zijn als holle ruimte, in het rood de voxels die gedefinieerd zijn als mastiek en in paars de voxels gedefinieerd als steenslag.

Door alle voxels van een bepaalde groep op te tellen kan het volume bepaald worden. Dit kan gedaan worden voor elke afzonderlijke beschouwde doorsnede (slice). Vervolgens worden alle voxels geteld (het volume van een voxel is bekend) en kan het volume van de afzonderlijke groepen per slice bepaald worden.

Het proces wordt bemoeilijkt omdat de grenswaarde tussen de twee groepen niet vast ligt. De grenswaarde is voornamelijk afhankelijk van het soort materiaal (dichtheid en atoomnummer), maar ook van de totale dichtheid van het monster, de afmetingen van het monster, de percentages van de verschillende materialen, de korrelgrootte en de instellingen van de scanner.



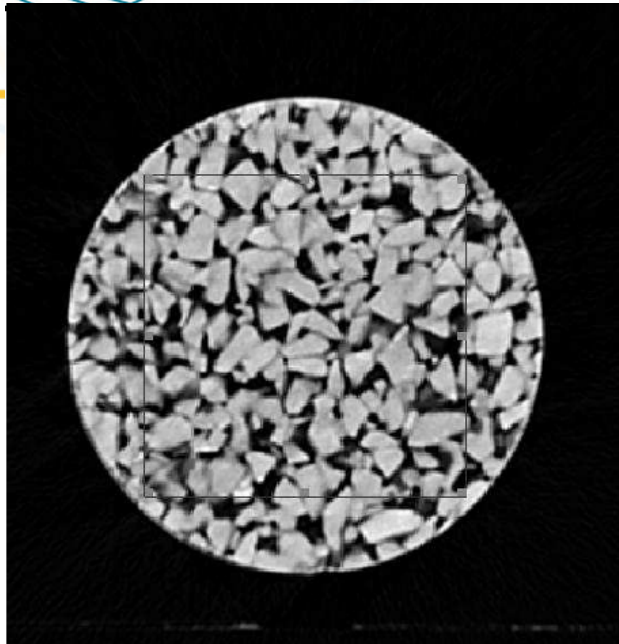
Figuur 45: Instelwaarden voor onderscheid holle ruimte, mastiek en steenslag

Het gemiddelde percentage holle ruimte, minimum en maximum zijn bepaald van de scans gelegen in het meest representatieve deel van de kern. Meestal is dit van enkele millimeters onder de bovenkant tot enkele millimeters boven de onderkant. Om randeffecten van de proefstukken, grotendeels veroorzaakt door boorgruis van het uitboren, uit te sluiten is de bepaling van percentage het holle ruimte uitgevoerd op een 'uitsnede' van de kern zie Figuur 46.

### 5.5.2 Resultaten CT scans

De vastgestelde percentages holle ruimte, mastiek en steenslag per kern zijn in bijlage 8 in tabelvorm weergegeven.

De genoemde percentages zijn bepaald van het massieve deel van de kern. De invloed van de oppervlaktetextuur is niet meegenomen. Hierdoor zullen de percentage holle ruimte bepaald volgens de RAW bepalingen iets hoger zijn dan de in deze rapportage gegeven waarden. De overgang van toplaag naar 2e laag is niet altijd herkenbaar, een andere keuze zou tot verschillen in de berekende gemiddelde kunnen leiden.



*Figuur 46: 'Uitsnede' kern voor analyse*

De holle ruimte bepaald door middel van CT-scans is voor de toplaag gemiddeld 24,2% en voor de onderlaag gemiddeld 22,5%. De waarden die worden gevonden bij de 'opmeten' conform de RAW liggen, zoals eerder gesteld, iets hoger vanwege het randeffect dat bij de CT-scans niet mee wordt genomen.

### 5.6 Holle ruimte bepaald door berekening

De dichtheid proefstuk van de bovenlaag van tweelaags zoab is in het algemeen moeilijk te bepalen vanwege een mogelijke grote proeffout door randeffect en verlies van steentjes [10]. Om die reden is van de volgende methode (verschilmethode) gebruik gemaakt om de holle ruimte van de toplaag en de onderlaag van de boorkernen te berekenen [10]:

Eerst is de dichtheid bepaald van de beide lagen samen. Vervolgens is de kern gezaagd op het scheidingsvlak van beide mengsels en is de dichtheid van de onderlaag bepaald.

De dichtheid van de toplaag is dan berekend volgens RAW Proef 69:

$$d_{p,top} = \frac{l_{top}}{(l_{tot} / d_{p,tot}) - (l_{ond} / d_{p,ond})}$$

waarin:

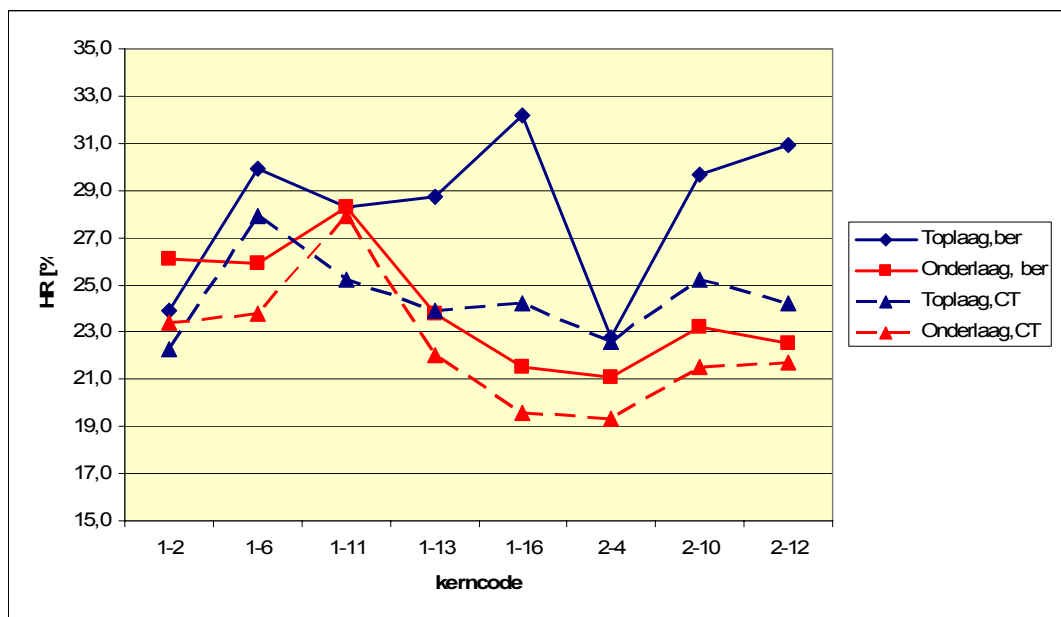
- $d_{p,top}$  = dichtheid proefstuk van de toplaag [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $d_{p,tot}$  = dichtheid proefstuk van beide lagen samen [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $d_{p,ond}$  = dichtheid proefstuk van de onderlaag [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $l_{tot}$  = laagdikte van beide lagen samen [mm]
- $l_{ond}$  = laagdikte onderlaag [mm]
- $l_{top}$  = laagdikte toplaag [mm]



De resultaten van de berekende holle ruimte zijn in tabelvorm in bijlage 9 weergegeven.

In Figuur 47 zijn zowel de berekende als de met de CT-scans bepaalde resultaten van de holle ruimte voor de deklaag en onderlaag weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de berekende holle ruimte en de met de CT-scans bepaalde holle ruimte voor de onderlaag zeer goed correleren. De berekende holle ruimte is circa 2% hoger, hetgeen het gevolg is van het randeffect van de proefstukken.

De berekende en met de CT-scans bepaalde holle ruimte voor de toplaag correleert veel minder. Ook hier werd een structureel verschil van circa 2% verwacht, maar er is kennelijk nog een aspect van invloed op de nauwkeurigheid van de berekende waarden. Nader onderzoek naar dit fenomeen is wenselijk.



Figuur 47: berekende holle ruimte en holle ruimte CT-scans

## 5.7 Waterdoorlatendheid in situ

In het proefvak zijn één dag na aanbrengen van het asfalt waterdoorlatendheidsmetingen in situ uitgevoerd met het Beckerapparaat. De resultaten van deze metingen zijn in tabelvorm in bijlage 10 opgenomen. De gemiddelde doorstroomtijd bedraagt 9,5 seconden met een standaardafwijking van 1,8 seconden.

De resultaten van de waterdoorlatendheid in situ zijn bijzonder goed en liggen in dezelfde orde als de resultaten die op de A8 [10] zijn gevonden.

## 5.8 Waterdoorlatendheid laboratorium

De horizontale en verticale waterdoorlatendheid zijn in het laboratorium bepaald op kernen uit de weg en geboorde kernen uit de reserve kernen van de vluchtstrook conform NEN-EN 12697-19. De resultaten zijn in twee tabellen in bijlage 11 opgenomen. In Tabel

11 zijn de resultaten afgezet tegenover resultaten van metingen van tweelaags zoab uit het verleden.

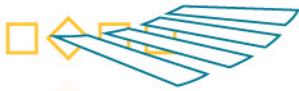
Tabel 11: gemiddelde waterdoorlatendheid tweelaags zoab [10,11,12,13]

Herkomst proefstukken	Horizontale waterdoorlatendheid (m/s)	Verticale waterdoorlatendheid (m/s)
Tweelaags zoab ZEBRA-vakken [13]	$0,78 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-3}$
Tweelaags zoab TAS A8 [10]	$2,10 \cdot 10^{-3}$	$4,07 \cdot 10^{-3}$
Tweelaags zoab SSH3 Ø100 uit de weg	$1,99 \cdot 10^{-3}$	$4,31 \cdot 10^{-3}$
Tweelaags zoab SSH3 Ø100 uit Ø150	$2,84 \cdot 10^{-3}$	$2,87 \cdot 10^{-3}$

Uit de resultaten van het onderzoek naar de waterdoorlatendheid, zoals beschreven in de bovenstaande tabel, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De waterdoorlatendheid van tweelaags zoab aangelegd met de TAS is beter dan van tweelaags zoab aangelegd met conventioneel materieel. Een mogelijke reden hiervoor kan zijn dat in het grensvlak tussen de onderlaag en toplaag er bij aanleg met de TAS minder verstoring optreedt dan bij aanleg van de beide lagen in twee arbeidsgangen. Tweelaags zoab aangelegd met de TAS heeft in potentie dan ook een betere waterafvoerende capaciteit en betere geluidsreducerende eigenschappen dan tweelaags zoab aangebracht in twee arbeidsgangen.
- In het onderzoek van SSH3 is de waterdoorlatendheid van het tweelaags zoab bepaald op kernen Ø100 mm uit de weg en kernen Ø100 mm in het laboratorium geboord uit kernen Ø150 mm uit de weg. Het boren van de kernen in laboratorium is met extra zorg en aandacht uitgevoerd. Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat de horizontale en verticale waterdoorlatendheid van de zorgvuldig behandelde kernen gemiddeld gelijk zijn aan elkaar. Dit in tegenstelling tot de resultaten die gevonden worden voor kernen die uit de weg zijn geboord.
- De resultaten van het onderzoek naar de waterdoorlatendheid in het project SSH3 zijn aanleiding om de monsternamen en proefomschrijving voor de bepaling van de waterdoorlatendheid kritisch te beoordelen en na te gaan of de resultaten van de proef nauwkeurig genoeg zijn.





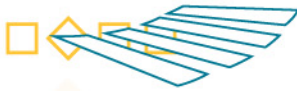
## 5.9 Splijsterkte en watergevoeligheid

De splijsterkte en watergevoeligheid van het mengsel zijn in het laboratorium bepaald. Hierbij is onderzoek verricht aan de onderlaag, de toplaag en beide lagen tegelijk. De proeven zijn uitgevoerd bij 15°C, volgens NEN-EN 12697-12.

Tabel 12: resultaten splijsterkte en watergevoeligheid

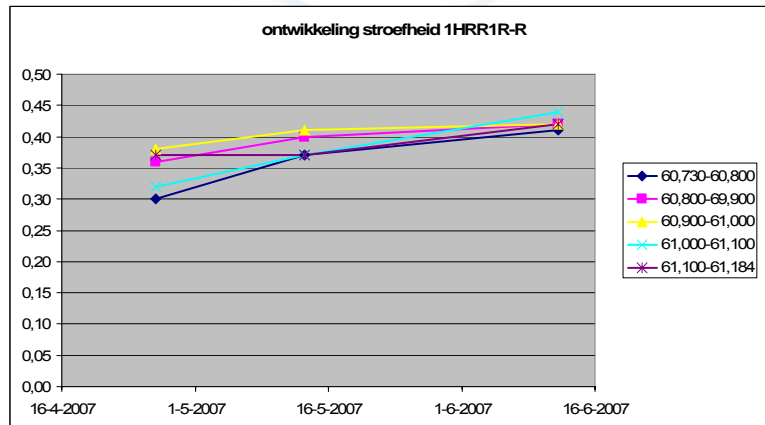
	Direct		Retained		
	Aantal proefstukken	ITS <sub>d</sub> [MPa]	Aantal proefstukken	ITS <sub>w</sub> [MPa]	Retain index [%]
Onderlaag					
BAM Wegen , Marshall	2	1,070	2	0,806	76
Marshall Stedendriehoek	3	0,958	3	0,643	67
Bovenlaag					
BAM Wegen , Marshall	2	1,145	2	0,593	52
Marshall Stedendriehoek	2	0,753	3	0,624	86
Tweelaags proefstuk					
BAM Wegen , Marshall	3	1,147	3	0,768	67
Boorkernen ø100 uit ø150	3	1,010	3	0,854	85

De splijsterkte is conform de nieuwe Europese normen bepaald bij 15°C, waardoor geen directe vergelijking mogelijk is met de resultaten van andere projecten. Opvallend is de relatief lage retained splijsterkte van de Marshallproefstukken.



## 5.10 Stroefheid en remvertraging

De remvertraging en de stroefheid zijn meermaals gemeten om aan te tonen dat aan de eisen van het contract wordt voldaan. De resultaten van de metingen zijn in bijlage 12 opgenomen.



Figuur 48, ontwikkeling van de stroefheid op rijstrook 1

In het toplaagmengsel is een stroefheidverbeterende maatregel getroffen in de vorm van de toepassing van EUF-C. In het Zebra-project (A15) zijn hiermee goede ervaringen opgedaan. Aan de hand van een theoretische analyse van de bindmiddel- en mortelfilmdikte in een zoab-mengsel is bepaald hoeveel EUF-C gedoseerd moet worden voor een goede werking. Het is namelijk belangrijk dat de korreltjes van de speciale vulstof boven het oppervlak van het bindmiddel 'uitsteken'.

Door de beperkingen van de asfaltinstallatie Stedendriehoek kon er maximaal circa 8% EUF-C gedoseerd worden en vermoedelijk is dat de reden dat het enige tijd heeft geduurd voordat er aan de stroefheideisen is voldaan.

## 5.11 Langsvlakheid

De langsvlakheid van het proefvak is gemeten met de viagraaf (proef 149) [14]. De resultaten van de metingen zijn in Tabel 13 en Tabel 14 opgenomen.

Tabel 13: viagraafmetingen rijstrook 1HRR 1R-R

Van km	Tot km	A5 stuks	f5 stuks	C5 %	Opmerking of A5 per 5 m (plaats(Bult,Kuil)/aantal)
60,731	60,800	0		0,0	
60,800	60,900	1	1	0,7	30 begin mechanische beschadiging A5 30B/01
60,900	61,000	1	1	0,5	65 einde mechanische beschadiging 70 las A5 70K/01
61,000	61,100	0	0	0,0	
61,100	61,181	0		0,0	



Tabel 14: viagraafmetingen rijstrook 1HRR 2R-R

Van km	Tot km	A5 stuks	f5 stuks	C5 %	Opmerking of A5 per 5 m (plaats(Bult,Kuil)/aantal)
60,729	60,800	2		3,2	A5 25K/01 65B/01
60,800	60,900	7	7	4,7	A5 05K/02 10B/04 25B/01
60,900	61,000	1	1	0,6	70 las A5 70K/01
61,000	61,100	0	0	0,0	
61,100	61,184	0		0,0	

Er is in het vak nogal wat langsonvlakheid aanwezig. Enerzijds is dat het gevolg van de aanloopproblemen met de bediening van de TAS, maar anderzijds is er ook nogal wat mechanische schade ontstaan aan het asfalt kort na aanleg door het drukke 'werkverkeer' binnen de relatief kleine werkruimte achter de verkeersmaatregelen.

Een belangrijke constatering is dat de voor weggebruikers zeer hinderlijke onvlakheid van eerdere werken met de TAS, de 'ribbels', in het proefvak niet voelbaar aanwezig is. De maatregelen om dit te voorkomen blijken succesvol.

### 5.12 Absorptiemetingen

Met absorptiemetingen kan op een niet-destructieve wijze inzicht worden verkregen in de homogeniteit van de holle ruimte van tweelaags zoab. In tegenstelling tot enkellaags zoab betreft het uiteraard de akoestische absorptie van zowel de onder- als bovenlaag van tweelaags zoab, waardoor de berekende holle ruimte in belangrijke mate afhankelijk is van de onderlinge verhouding van de dikte van de beide lagen.

De absorptiemetingen zijn uitgevoerd door middel van de spotmethode (Figuur 49) en de vrije veldmethode (Figuur 50).

Voor zowel de vrije veld metingen als voor de spotmetingen wordt de absorptiecoëfficiënt als functie van de frequentie weergegeven, waarbij de volgende absorptiekengetallen worden gebruikt voor de presentatie van de meetresultaten:

- $f_{a,max}$  [Hz], de frequentie van het eerste absorptiemaximum
- $\alpha_{max}$  [-], de bijbehorende maximale absorptiecoëfficiënt.



*Figuur 49: spotmethode*



*Figuur 50: vrije veld methode*

Eerder onderzoek [16] heeft aangetoond dat er een goede correlatie is tussen de resultaten van absorptiemetingen en de holle ruimte van het asfalt. In [16] is daar de volgende formule voor enkellaags zoab gebruikt:

$$HR_{\text{voorspeld}} [\%] = (32 \cdot \alpha_{\text{max}}) + (0,014 \cdot f_{\text{amax}}) - 19,5.$$

Bovenstaande formule is ook in dit onderzoek gebruikt om de resultaten van de absorptiemetingen om te rekenen naar een  $HR_{\text{voorspeld}}$ , teneinde inzicht te verkrijgen in de homogeniteit van de holle ruimte.

De absorptiemetingen zijn uitgevoerd op de linkerrijstrook de rechterrijstrook en de vluchtstrook. Op het proefvak zijn op negen locaties (raai A, B, C, D, E, F, G, H en I) absorptiemetingen uitgevoerd. Per raai zijn op twee of drie posities absorptiemetingen

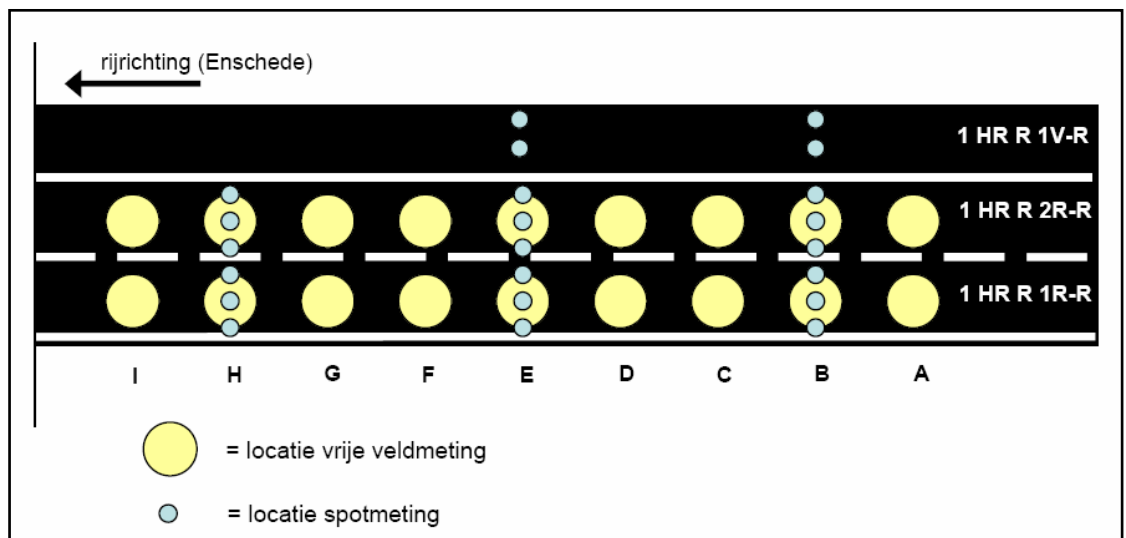
verricht. In bijlage 13 zijn de resultaten van alle uitgevoerde absorptiemetingen terug te vinden.

De absorptiemetingen volgens de spotmethode zijn uitgevoerd in het linker en rechterrijspoor en tussen de rijsporen. De absorptiemetingen volgens de vrije veld methode zijn uitgevoerd tussen de rijsporen.

Op raai B en E zijn ook metingen op de vluchtstrook uitgevoerd. Ter hoogte van raai H was de vluchtstrook ten tijde van de meting nog niet gereed. Op de vluchtstrook zijn metingen volgens de spotmethode uitgevoerd.

De vrije veldmeting op raai C op de linker rijstrook (1 HR R 1R-R) is niet gerapporteerd. Het wegdek was ten tijde van de metingen nat.

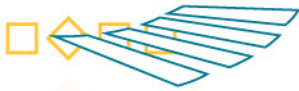
In Figuur 51 staan de uitgevoerde metingen per meetraai op het proefvak 2-laags ZOAB op de A35 schematisch weergegeven.



*Figuur 51: Meetposities absorptiemetingen*

De voorspelde holle ruimte op basis van de absorptiemetingen vertoont bij de spotmethode een zeer grote spreiding. Deze spreiding wordt bij de vrije veld methode niet teruggevonden en daarmee lijkt het gerechtvaardigd om aan te nemen dat de voorspelde holle ruimte met de spotmethode niet betrouwbaar is. Te meer daar de resultaten van de vrije veld methode, ondanks dat de waarden structureel wat lager zijn, aardig overeenstemmen met de waarnemingen van de CT-scans.

Uit de resultaten van de voorspelde holle ruimte voor de vrije veldmetingen blijkt overigens dat de geluidsreducerende eigenschappen van de eerste 100 m van rijstrook 1R-R van het proefvak beduidend lager zijn dan in de rest van het proefvak. Dit is in overeenstemming met de voorlopige conclusies voor de geluidsreductie op basis van de CPX-metingen.



## 5.13 Geluidsmetingen

Op het proefvak zijn geluidsmetingen uitgevoerd om de geluidsreducerende eigenschappen van het gerealiseerde wegdek te bepalen. Deze eigenschappen zijn bepaald door middel van de Statistical Pass-By (SPB) en Close Proximity (CPX) methode volgens de SILVIA-procedure.

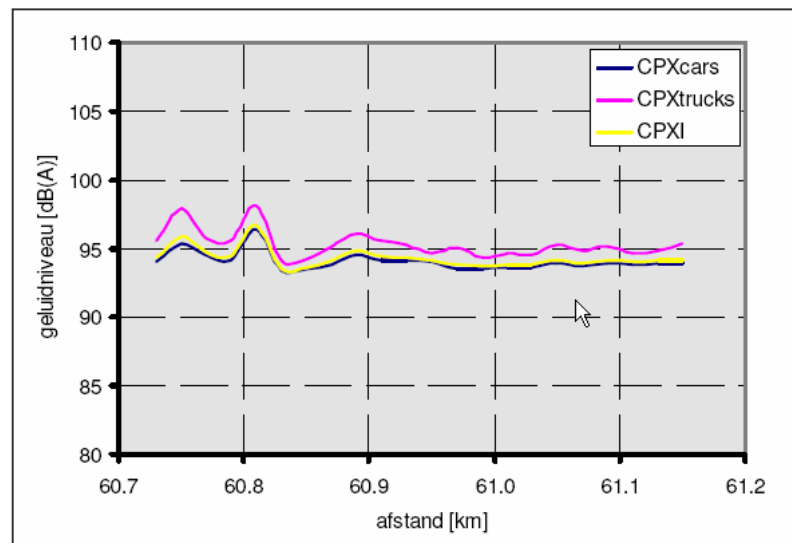
De resultaten van de uitgevoerde metingen zijn hier samengevat. De volledige resultaten van de metingen zijn beschreven in [17].

### 5.13.1 CPX-methode

Met de Survey Close-Proximity (CPX) methode volgens ISO/CD 11819-2 [3] wordt het geluidniveau van een aantal standaardbanden gemeten. De standaardbanden en de microfoons zijn gemonteerd in een speciale trailer met twee wielen die in de rijsporen rijden. Met twee microfoons per band wordt dichtbij de linker en rechter band gemeten over de lengte van een wegvak. Hierdoor wordt alleen het rolgeluid gemeten.

De CPX-meting is uitgevoerd op 4 juni 2007. De luchttemperatuur bedroeg ten tijde van de meting 22°C.

In figuur 52 zijn de resultaten van de CPX-metingen uitgezet tegen de afstand voor 20 m vakken.



Figuur 52: gemeten CPX-data als functie van afstand voor 20 m vakken

In Tabel 15 zijn de resultaten van de voor temperatuur gecorrigeerde gemiddelde CPX-niveaus bij 80 km/uur weergegeven.

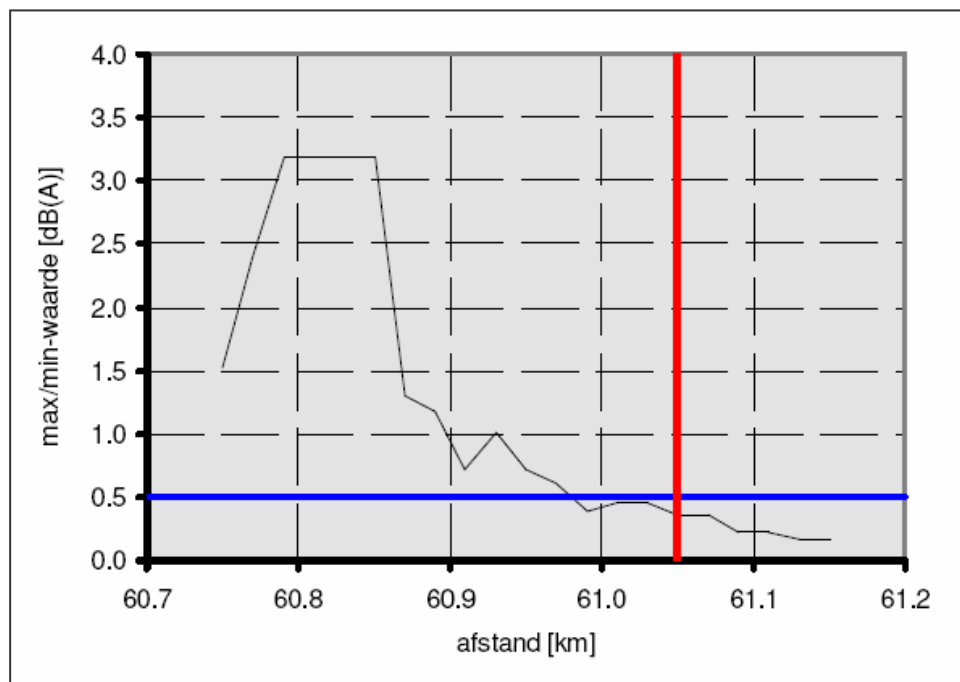
Tabel 15: gemiddelde temperatuurgecorrigeerde CPX-niveaus

	CPX <sub>cars</sub> [dB(A)]	CPX <sub>trucks</sub> [dB(A)]	CPXI [dB(A)]
2-laags zoab	94,3	95,5	94,5



Uit de resultaten van de CPX-metingen blijkt dat de homogeniteit van het eerste deel van rijstrook 2 (1HRR 2R-R) van het proefvak niet goed is, maar dat vanaf km 60,900 er sprake is van een uitstekende homogeniteit. De vlakheid van de verharding in het eerste deel van het proefvak, zie paragraaf 5.11, tabel 13 en 14, is zeer waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak voor de geringe homogeniteit tot km 60,900.

Om een geschikte SPB-locatie te vinden is de homogeniteit (gedefinieerd als de max/min-waarde) van de CPXI (CPX waarde voor gemengd verkeer) van 100 m vakken bepaald met een stapgrootte van 20 m. In figuur 53 staat grafisch het resultaat hiervan weergegeven met de bijbehorende eis van 0,5 dB(A). Tevens is de gekozen SPB-meetlocatie (km 61.05) weergegeven.



Figuur 53: Lopende max/min-waarden CPXI t.b.v. SPB-locatie

### 5.13.2 SPB-methode

De Statistical Pass-by (SPB) meetmethode is gestandaardiseerd in de internationale norm ISO 11819-1 [4] waarbij een microfoon op 7,5 m uit het hart van de rijbaan is geplaatst. In Nederland wordt een microfoonhoogte van 5,0 m gehanteerd.

De SPB-meting is uitgevoerd op 6 augustus 2007. De luchttemperatuur bedroeg ten tijde van de meting 26°C.

In tabel 16 en tabel 17 is een overzicht opgenomen van de voor gemiddelde temperatuur gecorrigeerde SPB-niveaus voor respectievelijk lichte en zware motorvoertuigen, gemeten op 5 m hoogte. Tevens zijn de referentiewaarden weergegeven.

Tabel 16: Temperatuur gecorrigeerde SPB-niveaus lichte voertuigen

Wegdek	SPB-niveau [dB(A)]				
	100 km/u	110 km/u	115 km/u	120 km/u	130 km/u
tweelaags zoab	73,3	74,4	74,9	75,4	76,3
referentie	78,0	79,3	80,0	80,6	81,7

Tabel 17: Temperatuur gecorrigeerde SPB-niveaus zware voertuigen

Wegdek	SPB-niveau [dB(A)]		
	80 km/u	85 km/u	90 km/u
tweelaags zoab	79,5	79,7	79,9
referentie	84,5	85,4	82,9

Op basis van de in tabel 16 en 17 beschreven resultaten is voor een gemengde verkeersstroom conform tabel 18 de representatieve gemiddelde emissiewaarde van het wegdek berekend. Tevens is met dezelfde verdeling de genormeerde referentie-emissie berekend. De resultaten van deze berekeningen zijn in tabel 19 opgenomen.

Tabel 18: gehanteerde verkeersverdeling

categorie	aandeel [%]	snelheid [km/u]
licht	85	115
zwaar	15	85

Tabel 19: gewogen emissiewaarde en geluidreductie

wegdek	emissie [dB(A)]	referentie [dB(A)]	gemiddelde reductie [dB(A)]
tweelaags zoab	76,0	81,3	5,3

Uit tabel 19 blijkt dat de berekende geluidreductie voor het wegdek in het proefvak 5,3 dB(A) bedraagt. Deze waarde voldoet aan de eis voor tweelaags zoab,  $6,0 \pm 1,0$  dB(A). Voor de juiste beoordeling van deze geluidreductie moet er rekening mee worden gehouden dat het doel van de prijsvraag duurzaamheid betreft en niet geluidreductie. Uitgaande van de praktijkregel dat duurzaamheid van een geluidreducerende deklaag omgekeerd evenredig is met geluidreductie, wordt van het tweelaags zoab in het tweede deel van het proefvak een levensduur van meer dan zeven jaar verwacht.



## 6 Beoordeling werking methode

### 6.1 Geschiktheid voor beoogd doel

Het idee van SSH3 voor de prijsvraag betreft de verbetering van het gehele proces van de aanleg van tweelaags zoab, vanaf het mengselontwerp en de inkoop van bouwstoffen tot en met de monitoring van het gereede werk gedurende de gebruikperiode. Er werd veel verwacht van de geformuleerde voorstellen, te meer daar een succesvolle afronding van het proefproject veel perspectief biedt voor directe implementatie in de dagelijkse praktijk.

Zoals eerder beschreven is naast de verbetering van het ontwerp, de productie en de verwerking van het asfalt ook veel aandacht besteed aan de monitoring van de resultaten. Immers, zonder gerichte en structurele monitoring van het verwerkte asfalt ontbreekt de noodzakelijke feitelijke informatie om gefundeerde conclusies te trekken over het werkelijke effect van de maatregelen. Bijkomend nadeel is dat er dan ook geen drive is om continue verbetering van de processen na te streven, omdat feedback vanuit de praktijk eenvoudigweg niet of nauwelijks plaats vindt.

In het project SSH3 zijn uiteindelijk de volgende onderdelen gerealiseerd:

11. Verwerkbaarheidstoets
12. Nauwkeurige inkoopplanning
13. Temperatuurbeheersing asfaltinstallatie door verlaging productiecapaciteit
14. CPA meetapparatuur
15. Shuttle Buggy
16. Twee Laags Asfalt Systeem
17. Lage Temperatuur Asfalt
18. Infraroodcamera
19. GPS-registratie bewegend materieel
20. Statistisch analysemodel

Een aantal van deze onderdelen betreft onderzoek naar de haalbaarheid van de toepassing van nieuwe of specifieke technieken bij de aanleg van tweelaags zoab. Dit zijn onder andere de onderdelen 3, 4 en 10. Het resultaat van deze onderdelen is het vertrekpunt voor verder onderzoek, tenzij geconcludeerd is dat nader onderzoek op basis van de huidige stand der techniek niet nodig is.

De onderdelen 1 en 9 behoorden in principe ook tot de categorie onderzoek haalbaarheid, maar vanwege de boven verwachting positieve resultaten wordt snelle implementatie in de dagelijkse praktijk met hoge prioriteit nagestreefd.

De toepassing van infraroodcamera's tijdens de verwerking van tweelaags zoab (onderdeel 8) kan ook op vrij korte termijn in praktijk worden gebracht. De relatief hoge kosten van de apparatuur en de discipline die nodig is om tot bruikbare resultaten te komen vormen wellicht nog een drempel.

Onderdeel 7, de toepassing van halfwarm asfalt (ook zoab) op het rijkswegennet, biedt perspectieven, maar verdere ontwikkeling is nog absoluut noodzakelijk. Voor de toepassing van het halfwarm<sup>®</sup>-procédé bij de productie van onder en tussenlagen is naar verwachting nog op beperkte schaal verificatieonderzoek nodig om met name de sterkte-



Risico	Beheersmaatregel
Geen of onvoldoende bouwstoffen beschikbaar in projecten met een hoog risicoprofiel	Alle bouwstoffen ruim op tijd bestellen en ten minste één dag vóór productie laten leveren
Luchttemperatuur te hoog of te laag tijdens werkzaamheden	Planning van werkzaamheden afstemmen op gevolgen (te) hoge of te lage temperatuur luchttemperatuur. Hierbij kan goed gebruik worden gemaakt van de karakteristieken van de afkoelingsnelheid van asfalt in relatie tot de voorspellingen van de weersomstandigheden
Slechte uitvoeringsresultaten door slecht functioneren van verwerkingsmaterieel	Werken met vaste bemanning op complex of gevoelig uitvoeringsmaterieel
Mechanische beschadiging nieuw asfalt door materieel en voertuigen	Geen voertuigen en materieel langdurig parkeren op nieuw werk en geen gebruik stuurbechrachting bij stilstand voertuigen
Moeizame acceptatie en implementatie van procesverbeteringen	Door middel van passende instructies en het stimuleren van betrokkenheid het personeel wijzen op het doel en het resultaat van procesverbetering
De effecten van implementatie van procesverbeteringen zijn niet meetbaar	Ontwikkeling van monitoringtechnieken waarmee de effecten van procesverbetering meetbaar kunnen worden gemaakt. Hierbij kan goed gebruik worden gemaakt van reeds beschikbare monitoringinspanningen zoals bijvoorbeeld ARAN-metingen

## 6.2 Kosteneffectiviteit op HWN-net

Op basis van de hetgeen in de vorige paragraaf is beschreven wordt er voor de beoordeling van de kosteneffectiviteit vanuit gegaan dat op een tijdshorizon van circa 9 maanden tot een jaar de volgende maatregelen het meest relevant zijn:

1. Verwerkbaarheidstoets
2. Nauwkeurige inkoopisen (vulstof EUF-C en bindmiddel PMBexp8)
3. Shuttle Buggy
4. Twee Laags Asfalt Systeem
5. Infraroodcamera
6. GPS-registratie bewegend materieel.

De genoemde periode van circa een jaar is nodig om de gewenste technische verbeteringen aan het materieel, de TAS en de shuttle buggy, te realiseren.

De analyse van de kosteneffectiviteit is uitgevoerd aan de hand van dezelfde case die reeds in [1] is beschreven. Dit houdt in dat, uitgaande van een actueel groot onderhoud

project waarin een bestaande deklaag moet worden vervangen door tweelaags zoab, de kosteneffectiviteit van de maatregelen beoordeeld is in relatie tot de totale projectkosten.

Kosteneffectiviteit is gedefinieerd als het quotiënt van levensduur maatregel en kosten maatregel.

De kosten voor de voorgestelde maatregelen zijn als volgt geraamd:

Uitgangspunt: productie = 40 000 ton tweelaags zoab per jaar

Verwerkbaarheidstoets	€ 0,25/ton
Bitumen en EUF	€ 1,00/ton
Shuttle Buggy	€ 1,00/ton
TAS	€ 0,75/ton
Monitoring	€ 2,00/ton
Totale meerkosten	€ 5,00/ton

**Case : Engineering& Construct contract**

**Werk : vervangen bestaande deklaag bestaande rijbanen door tweelaags zoab**

Autosnelweg 2 rijbanen bestaande uit 2 rijstroken + vluchtstroken en in-/uitvoegers

Totale lengte wegvak 2,65 km

Wegoppervlakte circa 85000 m<sup>2</sup>

Tweelaags zoab bestaande uit 45 mm zoab 11/16 en 25 mm 4/8

Toepassing complete asfaltploeg + shuttle buggy

Projectduur 7 nachten (nachtwerk) 10 werkbare uren per avond+nacht

Productie circa 800 ton tweelaags zoab per nacht (totaal 5600 ton tweelaags zoab))

Kosten onderlaag € 65,00/ton (€ 49,00 af molen)

Kosten bovenlaag: € 72,00/ton (€ 57,00 af molen)

Totale projectkosten € 1 475 000 - € 159 000 (voor kunstwerken) = € 1 316 000

Kosten asfalt € 800 000, kosten overige werkzaamheden € 516 000.

Kosten per m<sup>2</sup> = € 15,50/m<sup>2</sup> voor een levensduurverwachting van 7 jaar.

Bij uitvoering van de voorgestelde maatregelen bedragen de meerkosten € 5,00/ton. De kosten voor het asfalt worden dan € 828 000 en de totale projectkosten € 1 344 000.

Kosten per m<sup>2</sup> = € 15,80/m<sup>2</sup> voor een levensduurverwachting van 9 jaar.

Kosteneffectiviteit zonder maatregelen : 7 jaar/€15,50 = 0,452

Kosteneffectiviteit met maatregelen : 9 jaar/€15,80 = 0,570

De toename van de kosteneffectiviteit van de toepassing van tweelaags zoab met de voorgestelde maatregelen bedraagt ongeveer 25%. Hierbij zijn nog alleen de directe kosten als gevolg van de uitvoering van de onderhoudsmaatregelen (inclusief verkeersmaatregelen) beschouwd.

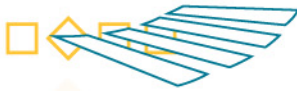
De werkelijke effectiviteit van de maatregelen kan uiteraard pas worden vastgesteld op basis van structurele monitoring en een goede analyse van de verkregen monitoringgegevens.

De kosteneffectiviteit kan nog fors oplopen in situaties waarin er onderhoud aan wegen kan leiden tot hoge (indirecte) maatschappelijke kosten. Dit zijn in principe die locaties waar bij de uitvoering van werkzaamheden aan de weg omleidingsroutes worden ingesteld, er kosten ontstaan voor de weggebruiker als gevolg van files of kosten ontstaan als gevolg van een andere vervoerswijzekeuze.

De filekosten bestaan uit [18]:

- Voertuigkosten in de vorm van extra slijtage, afschrijving en dergelijke.
- Voertuigkosten in de vorm van extra brandstofkosten: onregelmatig rijden in een file leidt tot een extra brandstofverbruik van circa 25% voor zowel personenauto's als vrachtauto's.
- Reiskosten in de vorm van verloren persoonsuren: dit is het product van voertuigverliestijd en de bezettingsgraad van de weg, vermenigvuldigd met de reistijdwaardering ('value-of-time'). De reistijdwaardering is onder andere afhankelijk van de gemiddelde bruto-uurloonkosten van weggebruikers.

Naast deze filekosten die aan de hand van beschikbare modellen nog te kwantificeren zijn, zijn er ook nog een aantal indirecte kosten die vrijwel niet of zeer moeilijk te kwantificeren zijn, zoals de kosten die samenhangen met extra milieubelasting, kosten als gevolg van extra verkeersonveiligheid en de kosten die samenhangen met de keuze voor een andere vervoerswijze of de keuze voor een andere route door de weggebruikers.



### 6.3 Lange termijn monitoring

Voor de daadwerkelijke beoordeling van de bereikte resultaten van de proef is monitoring gedurende de volledige levensduur van het asfalt in het proefvak noodzakelijk. De resultaten van deze monitoring moeten bij voorkeur worden afgezet tegen de monitoringresultaten van een ZEBRA-vak, de referentie voor het proefvak.

Op basis van de registraties die tijdens de aanleg van het proefvak zijn gedaan worden de bijzonderheden van het werk en de vastgestelde onvolkomenheden op een digitale ondergrond geregistreerd. Tevens wordt de geometrie van het proefvak (rijstrookindeling etc.) op de ondergrond aangegeven en wordt er een raster van meetpunten (hart op hart 10 m) aangebracht. De tekening met de onvolkomenheden in het proefvak, de geometrische informatie en het raster vormt de basis van een monitoringplan.

In het monitoringplan zijn naast de kenmerken van het proefvak, de richtlijnen voor onderhoud en de monitoringfrequenties ook de specifieke aandachtspunten voor de monitoring beschreven. Aan de hand van de ervaringen tijdens de aanleg van het proefvak kunnen de volgende specifieke aandachtspunten worden genoemd:

- lokale onvlakheid
- plekken waar de onderlaag door de toplaag heen is gekomen
- de stopplaatsen en het begin en einde van de stroken van vak 1 en 2
- gebieden met verschillen in aantal walsovergangen of verschillen in verdichting
- gebied waarin asfalt is aangebracht met de TAS
- gebied waarin asfalt is aangebracht met de conventionele spreidmachine (eerste 100 m van strook 1R-R van vak 1)
- gebied waarin de toplaag is gefreesd en vervangen door een nieuwe toplaag met de conventionele machine (ter plaatse van de uitvoeger)
- verschil in gedrag tussen rijstrook 1R-R, 2R-R en de vluchtstrook.

Op alle prestatiecontracten waarop garantieverplichtingen rusten voert BAM Wegen een structurele monitoring uit met een frequentie van ten minste twee maal per jaar. Het proefvak betreft ook een prestatiecontract met garantieverplichtingen en wordt met de structurele monitoringronden meegenomen.

Rijkswaterstaat voert door middel van ARAN-metingen ook periodieke monitoring uit op het hoofdwegennet. Via overleg met wegbeheerder zal getracht worden om tot afspraken te komen over het ter beschikking stellen van de resultaten van de monitoring van het rijkswegennet, waarbij zal worden nagestreefd dat deze monitoring jaarlijks wordt uitgevoerd.

### 6.4 Aanbevelingen werking methode

Analyse van de resultaten van het gyratoronderzoek en de resultaten van afschuifproeven heeft aangetoond dat deze proeven discriminerend zijn voor goed verdichtende en goed verwerkbaar asfaltmengsels. Nader onderzoek en ontwikkeling op

dit gebied is sterk aan te bevelen, teneinde het aspect verwerkbaarheid aan het mengselontwerp toe te kunnen voegen.

Uit het onderzoek is gebleken dat de beheersing van de temperatuur van het mineraalaggregaat door het verlagen van de productiecapaciteit tijdens de asfaltproductie niet afdoende is. Het is aan te bevelen om de driepunts meting, zoals in de ideefase beschreven, nader uit te werken.

Met behulp van infraroodcamerabeelden kan nauwkeurige temperatuurdata worden verkregen van het asfaltverwerkingsproces. Met deze data kunnen temperatuurcontourkaarten worden samengesteld, die veel informatie verschaffen over de temperatuurhomogeniteit in het werk. Voor een goede analyse van de verkregen data is nog vrij veel nabewerking van de gegevens noodzakelijk en het verdient aanbeveling deze nabewerking te optimaliseren.

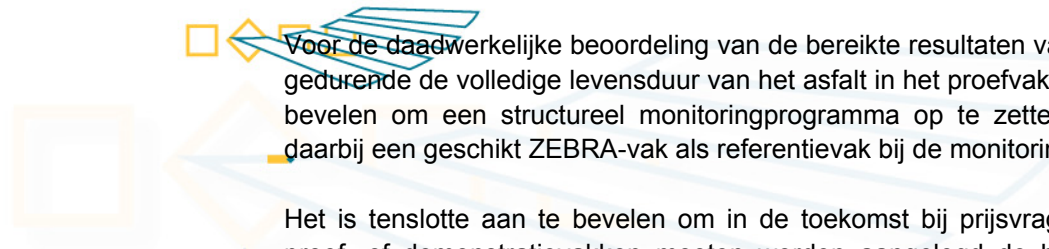
De verzamelde temperatuurdata kunnen worden gebruikt voor het voorspellen van de afkoelingskarakteristiek van tweelaags zoab, uitgaande van de actuele omgevingstemperatuur (en windsnelheid). Met deze informatie moet het mogelijk zijn om zowel het walsregiem als walstraject voor tweelaags zoab te optimaliseren. Aanbevolen wordt om van meerdere projecten de temperatuurdata in relatie tot de omgevingstemperatuur (en windsnelheid) te verzamelen om te komen tot karakteristieken die gebruikt kunnen worden voor verdere optimalisatie van de voorbereiding en uitvoering van werken.

Uit het onderzoek naar de homogeniteit van de verwerking van het asfalt door middel van de GPS-registratie van de bewegingen van het materieel blijkt dat walspatronen sterk kunnen variëren, ondanks het feit dat walsmachinisten nastreven om volgens een bepaalde procedure te werk te gaan. Meer aandacht moet worden besteed aan een gelijkmatige verdeling van het aantal walsovergangen binnen een strook. Hierbij moet tevens aandacht worden besteed aan de breedte van de te walsen strook.

De berekende en met de CT-scans bepaalde holle ruimte voor de toplaag van tweelaags zoab correleert veel minder dan voor de onderlaag. Aanbevolen wordt om nader onderzoek te verrichten naar de oorzaken voor de onnauwkeurigheid die optreedt bij toepassing van de theoretische formules voor de berekening van de holle ruimte/dichtheid van de toplaag van tweelaags zoab.

De resultaten van het onderzoek naar de verticale en horizontale waterdoorlatendheid van tweelaags zoab zijn aanleiding om de monsternamen en proefomschrijving van de proef kritisch te beoordelen en na te gaan of de resultaten van de proef nauwkeurig genoeg zijn.

Met de TAS en shuttle buggy kan er asfalt van hoge kwaliteit worden aangelegd. In dit onderzoek is enerzijds naar voren gekomen dat belangrijke verbeteringen zijn gerealiseerd bij de toepassing van dit materieel en anderzijds is veel inzicht verkregen in een aantal resterende verbeterpunten. Het is ten eerste aan te bevelen om de benodigde aanpassingen aan het materieel uit te voeren en vervolgens een demonstratievak aan te leggen.

A decorative graphic on the left side of the page, featuring a vertical line of squares and arrows pointing to the right. The top square is orange, and the others are light blue. The arrows are also light blue and point towards the text area.

Voor de daadwerkelijke beoordeling van de bereikte resultaten van de proef is monitoring gedurende de volledige levensduur van het asfalt in het proefvak noodzakelijk. Het aan te bevelen om een structureel monitoringprogramma op te zetten voor het proefvak en daarbij een geschikt ZEBRA-vak als referentievak bij de monitoring mee te beschouwen.

Het is tenslotte aan te bevelen om in de toekomst bij prijsvragen of projecten waarbij proef- of demonstratievakken moeten worden aangelegd de beoogde locatie van het werk al in een vroeg stadium voor opdrachtgevers en opdrachtnemers als belangrijk gegeven te beschouwen. De mogelijkheden en uitwerking om de ideeën te realiseren kunnen sterk afhankelijk zijn van de lokale omstandigheden in de omgeving van het proefvak, zoals de beschikbaarheid van materialen, materieel en mogelijkheden en onmogelijkheden van de asfaltinstallatie.

Dit betekent in ieder geval voor de opdrachtnemer, dat het ambitieniveau aangepast dient te worden aan de beschikbare proeflocatie.



## 7 Conclusies

Ten aanzien van de temperatuurhomogeniteit tijdens de aanleg van het poefvak is de conclusie dat de temperatuur van het asfalt direct achter de balk in enige mate, en (zeer) plaatselijk zelfs sterk, varieert in zowel langs- als dwarsrichting. De plekken met een zeer sterke temperatuurinhomogeniteit beperken zich tot de aanzetten en beëindigingen van de stroken en een enkele stopplaats. In het algemeen is de temperatuurvariatie in alle geasfalteerde stroken beperkt tot maximaal circa 20°C.

Uit de resultaten van het onderzoek naar de homogeniteit van de verwerking blijkt dat de beide walsen op het werk nagestreefd hebben om complementair aan elkaar te werken. De uiteindelijke verdichtingsresultaten per strook vertonen echter toch een aantal opmerkelijke verschillen. Zo blijkt de ene zijde van een strook meer walsovergangen te hebben gehad dan de andere zijde, heeft het midden van een strook meer walsovergangen gehad dan de zijkanten of zijn er in lengterichting van een strook gebieden met een verschillend aantal walsovergangen te onderscheiden. Om hier structurele verbeteringen in aan te brengen moeten de walsmachinisten gestimuleerd worden om beter gebruik te maken van de moderne hulpmiddelen die op de wals beschikbaar zijn ter toetsing en controle van hun eigen subjectieve, op praktische ervaring gebaseerde, werkwijze.

De waterdoorlatendheid van tweelaags zoab aangelegd met de TAS, is beter dan van tweelaags ZOAB aangelegd met conventioneel materieel. Een belangrijke reden hiervoor kan zijn dat in het grensvlak tussen de onderlaag en toplaag er bij aanleg met de TAS minder verstoring optreedt dan bij aanleg van de beide lagen in twee arbeidsgangen. Tweelaags zoab aangelegd met de TAS heeft in potentie dan ook een betere waterafvoerende capaciteit en betere geluidsreducerende eigenschappen dan tweelaags zoab aangebracht in twee arbeidsgangen.

Uit de resultaten van de CPX-metingen is gebleken dat de homogeniteit van het eerste deel van rijstrook 2 (1HRR 2R-R) van het proefvak niet goed is, maar dat vanaf km 60,900 er sprake is van een uitstekende homogeniteit. De onvlakheid van de verharding in het eerste deel van het proefvak als gevolg van de problemen met de hoogte-instelling van de afwerkbalken van de TAS, is zeer waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak voor de geringe homogeniteit tot km 60,900.

Op basis van de resultaten van de uitgevoerde geluidsmetingen is vastgesteld dat de berekende geluidreductie voor het wegdek in het proefvak 5,3 dB(A) bedraagt. Deze waarde voldoet aan de eis voor tweelaags zoab,  $6,0 \pm 1,0$  dB(A). Voor de juiste beoordeling van deze geluidreductie moet er rekening mee worden gehouden dat het doel van de prijsvraag duurzaamheid betreft en niet geluidreductie. Uitgaande van de praktijkregel dat duurzaamheid van een geluidreducerende deklaag omgekeerd evenredig is met geluidreductie, wordt van het tweelaags zoab in het tweede deel van het proefvak een levensduur van meer dan zeven jaar verwacht.

De beeldvorming over de resultaten die in het proefvak van SSH3 zijn bereikt wordt in belangrijke mate bepaald door een aantal ongelukkige ervaringen, zoals het niet

geleverde mineraalaggregaat, de aanloopproblemen met de TAS, de problemen met de shuttle buggy en het uitlopen van de werkzaamheden op de planning met een te late openstelling van de weg als gevolg.

Deze beeldvorming overschaduwde het feit dat er in een kleine werkruimte met een relatief grote uitvoeringstrein ook veel goede resultaten zijn geboekt.

Het idee van SSH3 betreft de verbetering van het totale proces van de aanleg van tweelaags zoab en het doel is de verlenging van de levensduur van tweelaags zoab door middel van implementatie in de praktijk van de voorgestelde procesverbeteringen. Omdat in dit geval de implementatie van de procesverbeteringen in de praktijk centraal staat en niet de realisatie van een innovatie onder geïdealiseerde praktijkcondities, is er bewust voor gekozen om het werk te realiseren vanuit de bestaande regionale uitvoeringsorganisatie. Zo is er ook maximaal inzicht verkregen in de te verwachten knelpunten bij de werkelijke implementatie van de resultaten van dit project in de praktijk, en kan hierop worden geanticipeerd.

Op basis van de resultaten van de proef wordt wel geconcludeerd dat de invoering van procesverbeteringen een gedegen voorbereiding en begeleiding vereist, en dat dit ook als voorwaarde moet worden gezien voor de succesvolle implementatie van de resultaten van deze proef in de praktijk.

De TAS en de shuttle buggy vereisen nog enige technische verbeteringen om de beoogde hoogwaardige kwaliteit van tweelaags zoab te realiseren. Naast deze technische verbeteringen verdient ook de organisatie van het werk enige aandacht, want de ervaringen tijdens de aanleg van het proefvak hebben aangetoond dat complex en gevoelig uitvoeringsmaterieel te allen tijde bemand moet zijn met ervaren personeel.

Ondanks de problemen die tijdens de uitvoering van het proefvak zijn opgetreden is een belangrijke conclusie op basis van de resultaten van het proefvak dat met de getroffen verbeteringen aan het mengsel voor de onderlaag, de in eerdere projecten opgetreden hinderlijke onvlakheid van met de TAS aangebracht tweelaags zoab beheersbaar lijkt te zijn.

De belangrijkste successen van het project SSH3 voor de duurzaamheid van tweelaags zoab zijn enerzijds de ontwikkeling van de verwerkbaarheidstoets en de ontwikkeling van een verbeterd bindmiddel als maatregelen om het asfaltmengsel te verbeteren, en anderzijds het inzicht in de verbeterpunten voor de toepassing van de TAS en de shuttle buggy om een optimale verwerking van het asfalt te bereiken.

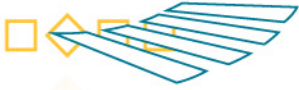
Als de TAS en de shuttle buggy de benodigde technologische aanpassingen zijn ondergaan, is becijferd dat met de ontwikkelde verbeteringen aan het asfaltmengsel en het materieel de kosteneffectiviteit van het aanleggen van tweelaags zoab met 25% toeneemt ten opzichte van de aanleg onder de huidige conventionele omstandigheden. Bij de berekening van de kosteneffectiviteit is nog geen rekening gehouden met de maatschappelijke kosten als gevolg van het wegonderhoud, omdat de kwantificering daarvan zeer locatiegebonden is. In het algemeen wordt wel gesteld dat in die situaties dat er bij de uitvoering van wegonderhoud sprake is van filevorming of omleidingsroutes, de kosteneffectiviteit van tweelaags zoab met de voorgestelde maatregelen nog aanzienlijk kan toenemen.

□ De werkelijke effectiviteit van de maatregelen kan uiteraard pas worden vastgesteld op basis van structurele monitoring en een goede analyse van de verkregen monitoringgegevens.

Tenslotte wordt geconcludeerd dat, rekening houdend met de naderhand toegewezen omvang het proefvak en de werkruimte achter de afzettingen, in de ideefase van de prijsvraag een zeer ambitieus projectvoorstel is opgesteld. Als de operationele problemen even buiten beschouwing worden gelaten, kan toch terecht worden geconcludeerd dat met de inspanningen en positieve inbreng van een ieder die in die project heeft geparticipeerd er grote stappen in de richting van de optimalisatie van tweelaags zoab zijn gezet. Na het wegnemen van de in dit project vastgestelde knelpunten kan door middel van een nieuw demonstratievak het succes van SSH3 in de praktijk worden aangetoond. De in dit project ontwikkelde innovatieve monitoringtechnieken om de temperatuurhomogeniteit en homogeniteit van de verwerking aan te tonen kunnen dan ook hun echte waarde voor de wegenbouwpraktijk gaan bewijzen.

## 8 Referenties

1. IPG, 'ZOAB in process-Zó naar verbetering van levensduur, fase A', onderzoeksrapport DWW-2006-078, Delft, november 2006
2. BAM Wegen, 'Thermography Inspection langsprofielen A35 Hengelo-Zuid 25/04/2007', inspectierapport, Utrecht, 29 mei 2007
3. BAM Wegen, 'Thermography Inspection langsprofielen A35 Hengelo-Zuid 26/04/2007', inspectierapport, Utrecht, 30 mei 2007
4. BAM Wegen, 'Thermography Inspection dwarsprofielen A35 Hengelo-Zuid 25/04/2007', inspectierapport, Utrecht, 30 mei 2007
5. BAM Wegen, 'Thermography Inspection stopplaats A35 Hengelo-Zuid 26/04/2007', inspectierapport, Utrecht, 29 mei 2007
6. KOAC-NPC, 'Innovatief mengselontwerp', onderzoeksrapport e0700169, Apeldoorn, juni 2007
7. KOAC-NPC, 'IPG Tweelaags ZOAB, Schoner-Stiller-Homogener, Combinatie SSH', rapport e070127, Apeldoorn, juni 2007
8. Miller, S.R., Huerne, H.L. ter, Dorée, A.G., 'A35: Test Section 3, Temperature profiling and the monitoring of equipment movements during construction', Research report, Universiteit Twente, Enschede, juli 2007
9. Verwaal, W., Ven, M.F.C. van der, 'Bepaling volume percentages holle ruimte, mastiek en steenslag van asfalt boorkernen-BAM Wegen SSH3', rapport TA/IG/07.015, TUDelft, Delft, juni 2007
10. KOAC-NPC, 'Kwaliteitsbepaling en laboratoriumonderzoek demonstratieproject aanleg tweelaags ZOAB met tweelaagsmachine, A8 nabij Zaandam', rapport, Apeldoorn, november 2006
11. KOAC-NPC, 'Horizontale en verticale doorlatendheid tweelaags ZOAB (vluchtstrook)', onderzoeksrapport, project e702131-2, Apeldoorn, juni 2007
12. KOAC-NPC, 'Horizontale en verticale doorlatendheid tweelaags ZOAB', onderzoeksrapport, project e702131-1, Apeldoorn, juni 2007
13. IPG, 'Verbetering aanvangsstroefheid Tweelaags ZOAB Proefvakken A15 te Leerdam', rapport DWW-2005-086, Delft november 2005
14. KOAC-NPC, 'Langsvlakheidsmetingen op RW035 (proefvak 3) in de provincie Overijssel', meetrapport e0701243-6, Apeldoorn, juni 2005
15. M+P raadgevende ingenieurs, 'Akoestische absorptiemetingen proefvak tweelaags ZOAB A35 Hengelo direct na aanleg', meetrapport M+P.VKA.07.01.1, Vught, juni 2007
16. CROW, 'Ontmenging ZOAB ontrafeld', CROW-rapport 04-02, CROW, Ede, mart 2004
17. Van Keulen Advies, 'Geluidsmetingen aan 2-laags ZOAB op de A35', rapport 07bm11.07r054, Vlijmen, september 2007
18. NEA Transportonderzoek en – opleiding, 'Aanpassing Berekening Filekosten-Deelproject 1: Aanpassing berekening voertuigverliesuren', rapportnr R970241\12577, Rijswijk, februari 1998



ت

ل

و

ج

ح

ع

ل

Bijlage 1: CE-certificaat PMB exp8

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10



Bijlage 2: Procedures verwerkbaarheidstoets

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10

Bijlage 3: Resultaten volumetrische analyse  
mengsamenstelling

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10





## Bijlage 4: CE-certificaten mineraalaggregaat



IPG  
B  
C  
B  
S  
L



Bijlage 5: locaties monsternamen



t

l

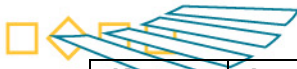
c

c

c

s

l



Kernnr.	Locatie [m]	Rijstrook	Raai	Hopper monster
	25			1-O en 1B
1-4*	115	1R-R	Links	
1-5*	115	1R-R	Midden	
1-6*	115	1R-R	Rechts	
1-1	150	1R-R	Links	
1-2	150	1R-R	Midden	
1-3	150	1R-R	Rechts	
1-7	205	1R-R	Links	2-O en 2B
1-8	205	1R-R	Midden	
1-9	205	1R-R	Rechts	
1-10	255	1R-R	Links	
1-11	255	1R-R	Midden	
1-12	255	1R-R	Rechts	
1-13	345	1R-R	Links	
1-14	345	1R-R	Midden	
1-15	345	1R-R	Rechts	
1-16	400	1R-R	Links	5-O en 5B
1-17	400	1R-R	Midden	
1-18	400	1R-R	Rechts	
2-1	25	2R-R	Midden-L	
2-2	25	2R-R	Midden-R	
2-3	115	2R-R	Midden-L	3-O en 3B
2-4	115	2R-R	Midden-R	
2-5	205	2R-R	Midden-L	4-O en 4B
2-6	205	2R-R	Midden-R	
2-7	255	2R-R	Midden-L	6-O en 6B
2-8	255	2R-R	Midden-R	
2-9	345	2R-R	Midden-L	7-O en 7B
2-10	345	2R-R	Midden-R	
2-11	400	2R-R	Midden-L	8-O en 8B
2-12	400	2R-R	Midden-R	
Vlstr 1	115	1VL-R	Midden-L	
Vlstr 2	115	1VL-R	Midden-R	
Vlstr 3	205	1VL-R	Midden-L	
Vlstr 4	205	1VL-R	Midden-R	
Vlstr 5	255	1VL-R	Midden-L	
Vlstr 6	255	1VL-R	Midden-R	
Vlstr 7	345	1VL-R	Midden-L	9-O en 9B
Vlstr 8	345	1VL-R	Midden-R	
Vlstr 9	400	1VL-R	Midden-L	
Vlstr 10	400	1VL-R	Midden-R	

\* boorlocaties gewijzigd vanwege verwijderen toplaag



## Bijlage 6: laagdikte boorkernen



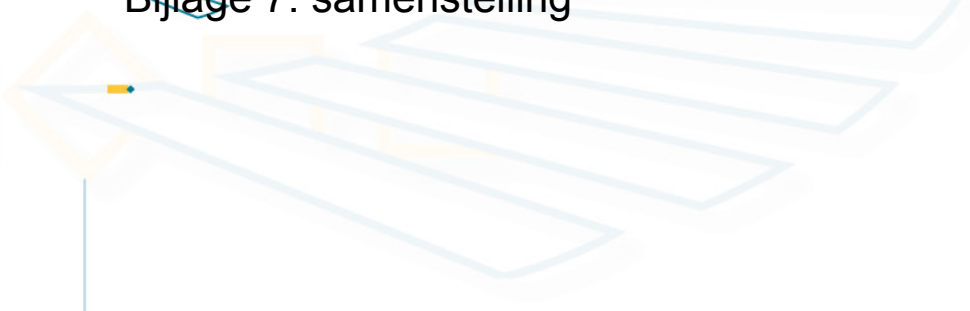
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10

Tabel 20: laagdikte onderlaag, bovenlaag en totaal

Kernnr.	Onderlaag [mm]	Bovenlaag [mm]	Totaal [mm]
1-1	50	15	65
1-2	45	21	66
1-3	44	30	74
1-4	52	17	69
1-5	48	19	67
1-6	53	20	73
1-7	50	18	68
1-8	50	15	65
1-9	47	27	74
1-10	57	16	73
1-11	51	21	72
1-12	50	26	76
1-13	55	21	76
1-14	52	22	74
1-15	52	24	76
1-16	54	20	74
1-17	47	21	68
1-18	46	22	68
2-1	51	22	73
2-2	44	24	68
2-3	54	21	75
2-4	55	20	75
2-5	59	14	73
2-6	61	8	69
2-7	64	11	75
2-8	61	12	73
2-9	60	16	76
2-10	51	24	75
2-11	58	15	73
2-12	50	21	71
Vlstr 1	52	13	65
Vlstr 2	54	12	66
Vlstr 3	46	18	64
Vlstr 4	50	12	62
Vlstr 5	52	21	73
Vlstr 6	43	24	67
Vlstr 7	56	18	74
Vlstr 8	53	20	73
Vlstr 9	50	22	72
Vlstr 10	48	24	72
<b>gemiddeld</b>	<b>52</b>	<b>19</b>	<b>71</b>
<b>St.afw.</b>	<b>4,9</b>	<b>4,7</b>	<b>3,9</b>



Bijlage 7: samenstelling



1

2

3

4

5

6

7

Tabel 21: samenstelling onderlaag productiecontrole asfaltcentrale

Op zeef	[% m/m]			Gemiddeld	Gewenst
	1	2	3		
C 22,4	0,0	0,0	0,0		
C 16	5,6	4,9	6,5		
C 11,2	69,4	69,1	69,1	69,2	77,0
C 8	80,4	85,6	86,1		
C 5,6	80,4	86,2	86,6		
2 mm	87,0	86,8	88,2	87,3	86,0
500 µm	91,3	92,8	92,9		
180 µm	92,5	93,6	93,8		
63 µm	93,5	94,5	94,3	94,1	94,9
< 63 µm	6,5	5,5	5,7		
Zandgradering					
2 mm - 500 µm	66	78	77	74	
500 µm - 180 µm	19	10	15	15	
180 µm - 63 µm	15	12	8	12	
Bindmiddelgehalte	<b>5,0</b>	<b>4,6</b>	<b>4,6</b>	4,7	4,7

Tabel 22: samenstelling toplaag productiecontrole asfaltcentrale

Op zeef	[% m/m]					Gemiddeld	Gewenst
	1	2	3	4	5		
C 11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
C 8	6,9	8,6	7,9	8,0	15,5		
C 5,6	52,7	53,4	55,3	59,4	72,7	58,7	67,0
C 4							
2 mm	86,8	87,2	87,7	88,1	90,6	88,1	91,0
500 µm	87,1	87,4	87,9	88,3	90,8		
180 µm	87,7	88,2	88,5	89,1	90,9		
63 µm	92,6	93,2	92,6	93,3	91,2	92,6	93,6
< 63 µm	7,4	6,8	7,4	6,7	8,8		
Zandgradering							
2 mm - 500 µm	5	3	4	4	33	10	
500 µm - 180 µm	11	14	12	15	17	14	
180 µm - 63 µm	84	83	84	81	50	76	
Bindmiddelgehalte	<b>4,9</b>	<b>5,1</b>	<b>5,0</b>	<b>5,0</b>	<b>4,8</b>	5,0	5,4

Bijlage 8: resultaten CT-scans

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10



Tabel 23. samenstelling onderlaag productiecontrole asfaltcentrale

Kernnr.	Toplaag			Onderlaag		
	Holle ruimte [% V/V]	Mastiek [% V/V]	Steenslag [% V/V]	Holle ruimte [% V/V]	Mastiek [% V/V]	Steenslag [% V/V]
1-2	22,3	22,7	55,0	23,4	20,7	55,9
1-3	25,8	23,7	50,5	22,4	19,8	57,7
1-4	23,5	23,6	52,9	20,5	21,4	58,1
1-5	19,5	23,2	57,3	23,2	20,0	56,8
1-6	27,9	23,4	48,7	23,8	20,7	55,6
1-7	21,7	24,6	53,8	17,7	23,5	58,9
1-8	23,8	22,3	53,9	24,9	19,9	55,2
1-9	25,7	23,6	50,8	22,8	19,3	57,9
1-10	23,4	23,9	52,6	24,6	18,1	57,3
1-11	25,2	23,2	51,6	27,9	16,4	55,7
1-12	26,3	23,0	50,8	26,9	16,3	56,8
1-13	23,9	23,7	52,4	22,0	20,5	57,5
1-14	26,4	22,8	50,8	23,6	20,1	56,3
1-15	29,5	23,0	47,5	25,3	18,9	55,8
1-16	24,2	23,3	52,5	19,6	19,6	60,8
1-17	24,3	22,7	53,0	25,4	19,5	55,1
1-18	26,1	23,3	50,5	23,9	18,5	57,6
2-1	27,3	23,6	49,1	18,7	21,4	59,9
2-2	29,1	23,4	47,5	24,1	19,8	56,2
2-3	23,2	22,7	54,1	22,0	20,1	58,0
2-4	22,6	24,2	53,3	19,3	21,6	59,1
2-5	19,0	23,5	57,5	19,0	21,4	59,6
2-6	19,7	21,0	59,4	19,6	21,0	59,4
2-7	19,7	21,0	59,4	19,6	21,0	59,4
2-8	24,9	23,4	51,6	23,9	18,2	57,9
2-9	24,1	23,9	51,9	20,3	21,9	57,8
2-10	25,2	23,2	51,7	21,5	20,8	57,7
2-11	23,5	23,4	53,1	23,7	19,5	56,7
2-12	24,2	22,3	53,5	21,7	20,9	57,4
<b>gemiddelde</b>	<b>24,2</b>	<b>23,2</b>	<b>52,6</b>	<b>22,5</b>	<b>20,0</b>	<b>57,5</b>
<b>St. afw.</b>	<b>2,63</b>	<b>0,78</b>	<b>2,95</b>	<b>2,51</b>	<b>1,52</b>	<b>1,46</b>



## Bijlage 9: berekende holle ruimte



t  
r  
o  
c  
c  
s  
r

Tabel 24: berekende holle ruimte boorkernen

Kernnr.	Hele boorkern			Toplaag		Onderlaag	
	Dichtheid mengsel [kg/m <sup>3</sup> ]	Dichtheid proefstuk [kg/m <sup>3</sup> ]	Holle ruimte [%]	Dichtheid proefstuk [kg/m <sup>3</sup> ]	Holle ruimte [%]	Dichtheid proefstuk [kg/m <sup>3</sup> ]	Holle ruimte [%]
1-1	2552	1905	25,4				
1-2	2552	1903	25,4	1937	23,9	1887	26,1
1-3	2551	1910	25,1				
1-4	2552	1965	23,0				
1-5	2552	1917	24,9				
1-6	2552	1863	27,0	1784	29,9	1892	25,9
1-7	2552	1977	22,5				
1-8	2552	1879	26,4				
1-9	2551	1889	25,9				
1-10	2553	1883	26,2				
1-11	2552	1829	28,3	1824	28,3	1831	28,3
1-12	2551	1841	27,9				
1-13	2552	1910	25,1	1815	28,7	1947	23,8
1-14	2552	1856	27,3				
1-15	2552	1816	28,8				
1-16	2552	1929	24,4	1724	32,2	2005	21,5
1-17	2552	1864	26,9				
1-18	2551	1864	26,9				
2-1	2552	1945	23,8				
2-2	2551	1883	26,2				
2-3	2552	1932	24,3				
2-4	2552	2001	21,6	1963	22,8	2015	21,1
2-5	2553	1993	21,9				
2-6	2554	1960	23,3				
2-7	2553	1931	24,4				
2-8	2553	1889	26,0				
2-9	2553	1934	24,3				
2-10	2551	1906	25,3	1790	29,7	1961	23,2
2-11	2553	1900	25,6				
2-12	2552	1915	24,9	1759	30,9	1981	22,5
<b>gemiddelde</b>	<b>2552</b>	<b>1906</b>	<b>25,3</b>	<b>1825</b>	<b>28,3</b>	<b>1940</b>	<b>24,1</b>

Bijlage 10: resultaten Beckermetingen

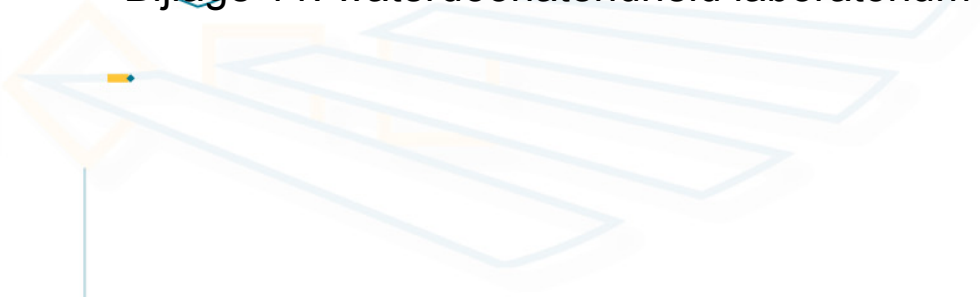
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10

Tabel 25: Resultaten Beckermetingen

Kernnr.	Locatie [m]	Dichtheid nucleair	Doorstroomtijd [s]
1-2	150	1919	10
1-4	115	1943	9
1-9	205	1827	7
1-10	25	1873	8
1-13	115	2000	9
1-18	170	1901	7
2-1	25	1794	11
2-4	115	1978	12
2-6	205	1956	12
2-7	25	1889	7
2-10	115	1870	10
2-11	170	1939	9
VL- 2	115	1958	10
VL- 3	205	2003	12
<b>gemiddeld</b>		<b>1917,86</b>	<b>9,5</b>
<b>standaardafwijking</b>		<b>62,5</b>	<b>1,8</b>



## Bijlage 11: waterdoorlatendheid laboratorium



t

l

o

c

c

s

l

Tabel 26: waterdoorlatendheid kernen Ø100 mm uit kernen Ø 150 mm geboord [11]

Code kern	Diameter (mm)	Dikte (mm)	Horizontale waterdoorlatendheid (m/s)	Verticale waterdoorlatendheid (m/s)
3	102,0	61,5	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$2,48 \cdot 10^{-3}$
4	102,0	59,6	$2,20 \cdot 10^{-3}$	$2,50 \cdot 10^{-3}$
5	101,9	66,1	$3,16 \cdot 10^{-3}$	$4,58 \cdot 10^{-3}$
7	102,0	69,0	$3,07 \cdot 10^{-3}$	$3,32 \cdot 10^{-3}$
8	102,0	67,8	$2,89 \cdot 10^{-3}$	$1,55 \cdot 10^{-3}$
gemiddelde			<b><math>2,84 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>2,87 \cdot 10^{-3}</math></b>

Tabel 27: Waterdoorlatendheid boorkernen Ø100 mm uit de weg [12]

Code kern	Diameter (mm)	Dikte (mm)	Horizontale waterdoorlatendheid (m/s)	Verticale waterdoorlatendheid (m/s)
1-5	102,1	57,3	$1,40 \cdot 10^{-3}$	$3,11 \cdot 10^{-3}$
1-10	101,3	69,5	$1,78 \cdot 10^{-3}$	$4,94 \cdot 10^{-3}$
1-17	101,0	62,9	$2,74 \cdot 10^{-3}$	$5,21 \cdot 10^{-3}$
2-3	101,6	69,6	$1,95 \cdot 10^{-3}$	$3,61 \cdot 10^{-3}$
2-8	101,3	68,6	$2,10 \cdot 10^{-3}$	$4,70 \cdot 10^{-3}$
gemiddelde			<b><math>1,99 \cdot 10^{-3}</math></b>	<b><math>4,31 \cdot 10^{-3}</math></b>

Bijlage 12: stroefheid en remvertraging



1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10



Tabel 28: resultaten stroefheid 1HRR 1R-R

wegvak	Stroefheid 27/04/2007	Stroefheid 14/05/2007	Stroefheid 12/06/2007
60,730-60,800	0,30	0,37	0,41
60,800-69,900	0,36	0,40	0,42
60,900-61,000	0,38	0,41	0,42
61,000-61,100	0,32	0,37	0,44
61,100-61,184	0,37	0,37	0,42

Tabel 29: resultaten stroefheid 1HRR 2R-R

wegvak	Stroefheid 27/04/2007	Stroefheid 14/05/2007	Stroefheid 12/06/2007
60,730-60,800	0,45	0,55	0,56
60,800-69,900	0,38	0,47	0,51
60,900-61,000	0,39	0,45	0,50
61,000-61,100	0,37	0,43	0,47
61,100-61,182	0,35	0,45	0,46

Tabel 30: resultaten remvertraging

wegvak	Remvertraging [m/s <sup>2</sup> ] 14/05/2007
60,800-60,900 2R-R	5,14
61,000-61,100 2R-R	5,29
61,100-61,190 2R-R	5,34

## Bijlage 13: absorptiemetingen

Tabel 31: meetposities absorptiemetingen

Meetraai	Kilometrering	Afstand t.o.v. nulpunt [m]
A	60,770	40
B	60,810	80
C	60,850	120
D	60,890	160
E	60,930	200
F	60,970	240
G	61,010	280
H	61,050	320
I	61,090	360

De absorptiemetingen zijn uitgevoerd op 27 april 2007.

Tabel 32: meetresultaten vrije veld methode (gemeten tussen de rijsporen)

Meetraai	1 HRR 1R-R			1HRR 2R-R		
	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\alpha\max}$ [Hz]	HR <sub>voorspeld</sub> [%]	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\alpha\max}$ [Hz]	HR <sub>voorspeld</sub> [%]
A	0,81	425	12,4	0,95	670	20,3
B	0,66	710	11,6	0,97	850	23,4
C	--	--	-	0,94	560	-
D	0,95	670	20,3	0,96	670	20,6
E	0,93	710	20,2	0,89	560	16,8
F	0,94	670	20,0	0,86	670	17,4
G	0,90	670	18,7	0,88	500	15,7
H	0,96	630	20,0	0,96	600	19,6
I	0,97	710	21,5	0,97	600	19,9
Gemiddelde			18,0 (20,1)*			
Standaard afwijking			3,59 (0,82)			

\* Resultaten exclusief eerste 100 m van 1R-R in vak 1 (vervangen toplaag)

Tabel 33: meetresultaten spotmethode 1HRR 1R-R

Meetraai	linkerrijspoor		tussenspoor		rechterrijspoor	
	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\alpha\max}$ [Hz]	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\alpha\max}$ [Hz]	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\alpha\max}$ [Hz]
B	0,73	850	0,79	800	0,41	600
E	0,67	750	0,80	800	0,76	710
H	0,83	800	0,77	750	0,73	750



Tabel 34: meetresultaten spotmethode 1HRR 2R-R

Meetraai	linkerrijspoor		tussenspoor		rechterrijspoor	
	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\max}$ [Hz]	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\max}$ [Hz]	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\max}$ [Hz]
B	0,64	670	0,94	950	0,90	900
E	0,49	560	0,66	710	0,70	710
H	0,57	630	0,70	710	0,87	800

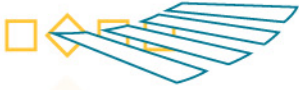
Tabel 35: meetresultaten spotmethode 1HRR 1VL-R

Meetraai	linkerrijspoor		tussenspoor		rechterrijspoor	
	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\max}$ [Hz]	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\max}$ [Hz]	$\alpha_{\max}$ [-]	$f_{\max}$ [Hz]
B	--	--	0,91	850	0,71	750
E	--	--	0,76	750	0,67	710

Tabel 36:  $HR_{\text{voorspeld}}$  op basis van resultaten spotmethode

Meetraai	1HRR 1R-R			1HRR 2R-R			1HRR 1VL-R	
	LS	TS	RS	LS	TS	RS	TS	RS
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
B	15,8	17,0	2,0	10,4	23,9	21,9	21,5	13,7
E	12,4	17,3	14,8	4,0	11,6	12,8	15,3	11,9
H	18,3	15,6	14,4	7,6	12,8	19,5	--	--

iPG



ت

ل

و

ج

ح

ع

ل