

ANALYSE KLIMAATNEUTRAAL CIRCULAIR WATERBOUW- ASFALTBETON (KCW) PROEFLAKKEN LAUWERSMEERDIJKEN



RAPPORT

2026
29

ANALYSE KLIMAATNEUTRAAL CIRCULAIR
WATERBOUWASFALTBETON (KCW) PROEFVLAKKEN
LAUWERSMEERDIJKEN

RAPPORT

2026

29

ISBN 978.94.6479.141.9



Amersfoort, september 2026

Uitgave	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer STOWA Postbus 2180 3800 CD Amersfoort
Auteurs	Ir. L.D. Everaars (Infram) Ing. A.K. de Looff (Infram)
Begeleidingscommissie	Rien Davidse (Rijkswaterstaat) Myron van Damme (Rijkswaterstaat) Gerbert Pleijter (HKV lijn in water)
Foto omslag	Proefvlakken Lauwersmeerdijken van Arjan de Looff (Infram)
Vormgeving	Buro Vormvast Uitgeest
STOWA	STOWA 2026-29
ISBN	978.94.6479.141.9

Disclaimer

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

Copyright

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

TEN GELEIDE

WARM WATERBOUWASFALT OP DE DIJK: KANSRIJK, MAAR NOG NIET ZONDER AANDACHTSPUNTEN

De aanleiding voor dit onderzoek ligt in de ambitie om waterbouwasfalt klimaatneutraler en circulaarder te maken. Binnen het project Klimaatneutraal Circulair Waterbouwasfalt (KCW) wordt onderzocht hoe de productietemperatuur van waterbouwasfaltbeton kan worden verlaagd, zonder dat dit ten koste gaat van verwerkbaarheid, verdichting en uiteindelijke kwaliteit.

Dit onderzoek laat zien wat de eerste praktijkproef met warm waterbouwasfalt op de Lauwersmeerdijk oplevert voor de uitvoerbaarheid, kwaliteit en verdere verduurzaming van asfaltbekledingen op dijken. Het geeft beheerders, opdrachtgevers en uitvoerende partijen inzicht in de vraag of WAB bij lagere productietemperaturen praktisch toepasbaar is, welke aandachtspunten daarbij ontstaan en welk vervolgonderzoek nodig is voordat bredere toepassing verantwoord kan worden opgeschaald.

Een belangrijke conclusie is dat de eerste praktijkervaring met warm WAB positief is, maar dat de resultaten nog niet zonder meer kunnen worden vertaald naar grootschalige toepassing. Verschillen in mengselsamenstelling, productietemperatuur, verwarmingstijd en temperatuurdaling kunnen de gemeten kwaliteit hebben beïnvloed.

De resultaten bieden een concreet handelingsperspectief voor vervolgprouven en toekomstige projecten: stuur scherper op constante mengselsamenstelling, productie- en transportcondities, monitor temperatuur en verdichting tijdens de uitvoering en koppel vervolgmetingen aan de exacte locaties van de verwerkte vrachten.

Mark van der Werf
Directeur STOWA



SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft de aanleg en analyse van proefvakken met Warm Mixed Asphalt (WMA) van waterbouwasfaltbeton (WAB) op de Lauwersmeerdijk binnen het project Klimaatneutraal Circulair Waterbouwasfalt (KCW). Doel van het onderzoek is om op basis van uitvoeringsdata, temperatuurmetingen, nucleaire verdichtingsmetingen, boorkernen en interviews met uitvoerend personeel eerste conclusies te trekken over de praktische verwerkbaarheid en gerealiseerde kwaliteit van warm WAB bij een verlaagde productietemperatuur.

In de oorspronkelijke opzet waren drie proefvakken voorzien: een regulier warm WAB-mengsel, een warm WAB-mengsel met LEAB en een warm WAB-mengsel met Lynpave. Door logistieke omstandigheden is het LEAB-mengsel niet gerealiseerd. In de praktijk zijn twee relevante proefvakken aangelegd en onderzocht: proefvak 1 met warm WAB zonder additief en proefvak 2 met warm WAB waaraan Lynpave is toegevoegd. Beide mengsels zijn geproduceerd bij een beoogde lagere temperatuur van circa 140 °C en bestaan grotendeels uit secundaire materialen.

De uitvoering laat zien dat warm WAB in beide proefvakken praktisch goed verwerkbaar is. Uit de interviews met uitvoerend personeel blijkt dat het handmatig en machinaal verwerken van het materiaal grotendeels vergelijkbaar is met regulier heet WAB. Voor proefvak 1 zijn geen bijzondere uitvoeringsproblemen gemeld. Bij proefvak 2, met Lynpave, werd het materiaal als smeüiger en langer vervormbaar ervaren. Hierdoor waren meer en langdurigere walsgangen nodig om tot voldoende verdichting te komen.

STOWA IN HET KORT

KENNIS OVER WATER, VOOR NU ÉN LATER

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer – kortweg STOWA – is het kennisplatform van regionale waterbeheerders in Nederland. Vanuit Amersfoort werken we aan het ontwikkelen, verzamelen, verspreiden en implementeren van toegepaste kennis. Die kennis hebben waterbeheerders nodig om de opgaven waar zij voor staan, goed uit te kunnen voeren. Of het nu gaat om klimaatadaptatie (zowel stedelijk als landelijk gebied), een goede waterkwaliteit, duurzame en effectieve afvalwaterzuivering, veilige dijken en kaden, energietransitie of circulaire economie.

Het soort kennis dat wij ontwikkelen, is breed: technisch en natuurwetenschappelijk, maar soms ook bestuurlijk en/of juridisch. Om te zorgen dat die kennis kan worden toegepast in de praktijk, presenteren we onze onderzoeksresultaten indien mogelijk in de vorm van rapporten, praktische handreikingen, tools en instrumenten. Ook faciliteren we met het oog op kennisdoorwerking leergemeenschappen en organiseren we symposia, werksessies en webinars.

Om zo veel mogelijk impact te creëren met ons werk, besteedt STOWA nadrukkelijk aandacht aan de organisatorische en menselijke factoren die de impact van ons werk kunnen beïnvloeden. Want verandering gaat via de inhoud (kennis), maar wordt gedragen door mensen. Bovendien kijken we breder dan het eigen netwerk bij het zoeken naar oplossingen. We richten onze blik daarvoor tevens op andere sectoren, gaan op zoek naar andere invalshoeken en leren van het buitenland. Via onze eigen en andermans media geven we uitleg over de achtergronden bij ons werk.

STOWA werkt vraaggestuurd en agendeert ook. We inventariseren welke kennisvragen waterbeheerders hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers: universiteiten, kennisinstituten, kennisbedrijven of adviesbureaus. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met de projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de projectresultaten de deelnemers praktische handelingsperspectieven bieden. Ieder project wordt om die reden begeleid door een commissie waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden vastgesteld door programmacommissies, waar waterbeheerders zitting in hebben.

STOWA is onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De gebruikers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan waterbeheerders te bepalen hoe ze de kennis van STOWA in de praktijk gebruiken.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast een cijfermatige jaarrekening een directieverslag opgenomen over de stichting en haar activiteiten. Het budget bedraagt jaarlijks ongeveer 20 miljoen euro. Onze deelnemers leggen gezamenlijk ieder jaar ongeveer 10 miljoen in als structurele bijdrage. Daarnaast ontvangen we jaarlijks ongeveer 10 miljoen euro in de vorm van bijdragen aan afzonderlijke projecten.

ANALYSE KLIMAATNEUTRAAL CIRCULAIR WATERBOUWASFALTBETON (KCW) PROEFVLAKKEN LAUWERSMEERDIJKEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding en doel van dit rapport	1
1.2	Aanpak	1
2	PROJECT BESCHRIJVING	2
2.1	Project inleiding en locatie	2
2.2	Uitvoeringsproces en -metingen	3
	2.2.1 Beschrijving uitgevoerde metingen	3
	2.2.2 Nucleaire metingen	3
	2.2.3 Boorkern onderzoek	4
3	METHODIEK UITVOERINGSANALYSE	5
3.1	Uitleg subvak bepaling	5
3.2	Toelichting focus meetpunten	6

4	RESULTATEN UITVOERINGSDATA	7
4.1	Reconstructie temperatuurverloop en verdichting	7
4.1.1	Resultaat reconstructie Proefvak 1 Sensor 1 Vracht 3 (P1S1V3)	8
4.1.2	Resultaat reconstructie Proefvak 1 Sensor 2 Vracht 6 (P1S2V6)	8
4.1.3	Resultaat reconstructie Proefvak 2 Sensor 1 Vracht 1 (P2S1V1)	9
4.1.4	Resultaat reconstructie Proefvak 2 Sensor 2 Vracht 3 (P2S2V3)	10
4.1.5	Verwarmingstijden asfaltcentrale tot projectlocatie	11
4.2	Mengsel samenstelling	13
4.3	Resultaten asfalt eigenschappen	13
4.4	Interviews werknemers aannemer	16
5	ANALYSE RESULTATEN UITVOERING	17
6	CONCLUSIE	19
7	AANBEVELINGEN	20
8	VERWIJZINGEN	21
	BIJLAGEN	22
BIJLAGE A	TEMPERATUURVERANDERINGEN UITVOERINGSPROCES	23
BIJLAGE B	WAB-SAMENSTELLINGEN	25
BIJLAGE C	WAARNEMINGEN BIJ AANLEG PROEFVAKKEN WARM WAB LAUWERSMEERDIJK	74

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING EN DOEL VAN DIT RAPPORT

Dit rapport heeft betrekking op het verwerven van kennis op het gebied van Warm Mixed Asphalt (WMA) van Waterbouwasfaltbeton (WAB). Binnen het onderzoeksproject Klimaatneutraal Circulair Waterbouwasfalt (KCW) wordt onderzoek gedaan naar de verlaging van de productietemperatuur van WAB. Hierbij is gewenst de veranderingen in mechanisme eigenschappen in kaart te brengen, ten opzichte van regulier Hot Mixed Asphalt (HMA). Ook is het nuttig te weten welke implicaties het uitvoeren van WMA-WAB heeft op de praktische uitvoerbaarheid. Omdat met een lagere productietemperatuur de viscositeit lager ligt wordt verwacht dat het verwerkingsproces intensiever wordt om de juiste verdichting te behalen. Tot nu toe is alleen ervaring opgedaan met warm WAB in het laboratorium [1]. In oktober 2025 zijn de eerste proefvakken met warm WAB op een dijk aangelegd door de uitvoerende aannemer Heijmans. Deze rapportage heeft betrekking op de resultaten van deze eerste proefvakken.

Het doel van deze rapportage is het vastleggen en analyseren van de uitvoeringsdata, om vervolgens eerste conclusies over de verwerkbaarheid op te stellen.

1.2 AANPAK

De rapportage begint in hoofdstuk 2 met een beschrijving van het project waarbij het uitvoeringsproces is beschreven, maar ook welke data tijdens dit proces verworven is en met welke methode. In hoofdstuk 3 is ingegaan op de methodiek van de dataverwerking en analyse. Vervolgens zijn de resultaten van de uitvoering gepresenteerd in hoofdstuk 4 als tijdsreconstructie, asfaltsamenstelling, asfalteigenschappen en interviews. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten geanalyseerd en zijn verbanden gelegd tussen verschillende resultaten. Hoofdstuk 6 beschrijft de bevindingen van het onderzoek als conclusie, waarna in hoofdstuk 7 aanbevelingen zijn beschreven als gevolg van dit onderzoek. Als laatste zijn de Bijlagen toegevoegd waar in deze rapportage naar is verwezen.

2

PROJECT BESCHRIJVING

2.1 PROJECT INLEIDING EN LOCATIE

Op dijktraject 6-5 wordt sinds april 2023 gewerkt aan een dijkversterkingsopgave, zie *Figuur 2.1*. De opgave betreft een versterking voor de faalmechanismen hoogte en bekleding. Voor de versterking van de asfaltbekleding wordt een standaardmengsel gebruikt wat een HMA-mengsel betreft en voor 85% bestaat uit secundaire materialen, waarvan 50% asfaltgranulaat. In het kader van het onderzoeksproject KCW zijn door Waterschap Noorderzijlvest drie proefvakken geïnitieerd. Op deze drie proefvakken is asfalt met lagere productietemperatuur aangebracht. De streef productietemperatuur van de proefvakken is 140 °C en bestaat uit de volgende mengsels:

- Proefvak 1: Regulier asfaltmengsel (prod. temp. 140 °C);
- Proefvak 2: Regulier asfaltmengsel met LEAB (bitumenverschuiming) (prod. temp. 140 °C);
- Proefvak 3: Regulier asfaltmengsel met Lypave (oppervlaktetspanningverlager, biologische olie) (prod. temp. 140 °C).

De productie van het asfaltmengsel met LEAB (proefvak 2) is door logistieke redenen niet tot realisatie gekomen. Dit asfaltmengsel kan dus niet worden meegenomen in de analyse. In praktijk is in proefvak 2 het asfaltmengsel met Lypave uitgevoerd, en proefvak 3 is aangelegd met een regulier HMA-mengsel. De twee gerealiseerde proefvakken zijn dus aangrenzend.

Figuur 2.1 Situatieschets locatie proefvakken (bron: Apple Maps)



2.2 UITVOERINGSproces EN -METINGEN

2.2.1 BESCHRIJVING UITGEVOERDE METINGEN

Bij de uitvoering van dit project is gestuurd op het vergaren van data om de uitvoeringsprocessen goed in kaart te kunnen brengen. In deze paragraaf is het uitvoeringsproces met bijbehorende metingen toegelicht. De realisatie van de proefvakken begint bij de asfalt centrale Asfalt Productie Kootstertille (APK), gelegen in Kootstertille (Friesland). Vanaf deze locatie is het ongeveer 45 minuten rijden naar de project locatie. Bij aankomst moet de vrachtwagen achteruit de dijk op om vervolgens op de juiste locatie aan te komen [2]. In bijlage K is een verslag opgenomen van de aanleg van de twee proefvakken, inclusief een fotobijlage waarin het proces van aanleg en meten is vastgelegd. Bij de aanleg van de twee proefvakken is gebruik gemaakt van twee pendelende vrachtwagens. Op locatie is het asfalt geprofileerd middels een graafwerktuig. De temperatuur van het asfalt mengsel is voorafgaand en naderhand van het profileren vijfmaal als steekproef gemeten met een handthermometer. De tijden waarop de metingen zijn uitgevoerd, zijn niet genoteerd. Na het profileren wordt het asfalt gewalst. Per proefvak zijn op twee vaste locaties aan de boven- en onderzijde van het talud nucleaire metingen uitgevoerd. Hierbij zijn per walsgang de tijd, temperatuur in het midden van de laag, oppervlaktetemperatuur (infrarood), dichtheid en holle ruimtes gemeten. Na realisatie heeft de aannemer 16 kernboringen uitgevoerd ten behoeve van bedrijfscontrole. Deze gegevens geven inzicht in de aangelegde kwaliteit.

Tabel 2.1 geeft inzicht in de beschikbare gegevens voor een analyse en reconstructie van de realisatie van de proefvakken. Voor de verschillende uitvoeringsprocessen zijn de frequenties van een datapunt weergegeven, evenals de methode van de data verstrekking. De laatste kolom is een weergave van de relevante data output ten behoeve van een analyse.

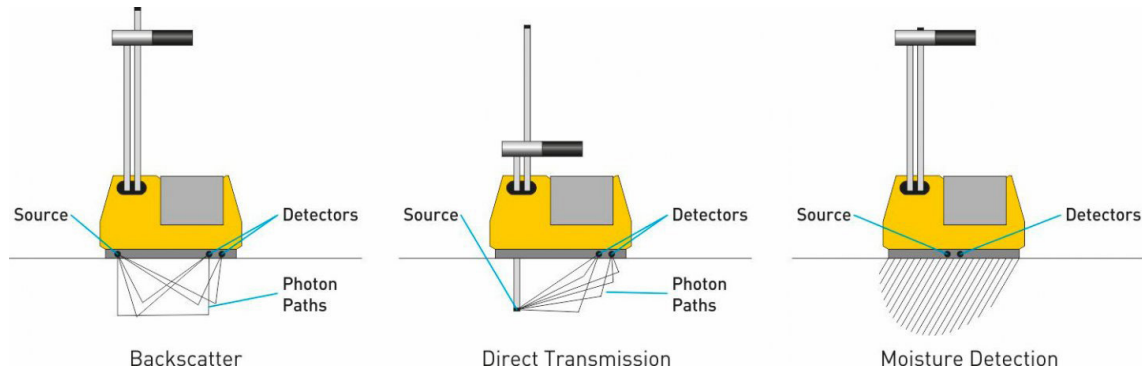
Tabel 2.1 Beschikbare uitput data tijdens realisatie proces

Proces	Frequentie	Methode	Relevante output			
			Tijd	Temp.	Dichth.	HR
Asfaltcentrale	Elke Charge, ± 1 min.	Thermometer	X	X		
Leverantie bonnen (vracht)	Elke vracht	Kopie van leverantie bonnen	X			
Voor profileren	Elke vracht 5 maal	Hand thermometer		X		
Na profileren	Elke vracht 5 maal	Hand thermometer		X		
Walsen	Op 4 locaties, elke ±2 walsgangen bij onder en boven aan talud	Nucleaire meting	X	X	X	X
Na aanleg	1x 16 metingen	Boringen Ø100			X	X

2.2.2 NUCLEAIRE METINGEN

De nucleaire meting wordt vaak gebruikt tijdens het walsen. Met deze meetmethode kan op makkelijke en niet destructieve wijze voor het asfalt de verdichtingsgraad bepaald worden. Door tijdens het walsen te meten kan gemonitord worden tot welke verdichtingsgraad gekomen is. Dit waarborgt het gewenste uitvoeringsontwerp. Een voorbeeld van een nucleaire dichtheidsmeter is weergegeven in *Figuur 2.2*. Het nucleaire meetinstrument zendt vanuit de radioactieve bron (source) straling uit (photon paths). Hoe dieper de zender komt, hoe zwakker het signaal dat wordt gedetecteerd (detectors). Op deze wijze wordt de intensiteit van de terugkerende straling gemeten. Op locatie tijdens uitvoering kan de tussentijdse dichtheid gemeten worden en werkzaamheden worden bijgestuurd om tot de ontwerpverdichting te komen.

Figuur 2.2 Nucleaire dichtheidsmeter (bron: utest.com)



2.2.3 BOORKERN ONDERZOEK

In dit project zijn 16 kernen geboord met een diameter van 100mm. Deze kernen zijn in het laboratorium getest en resulteren in asfalteigenschappen, zoals laagdikte, samenstelling, dichtheid en holle ruimte. Deze boorkernen zijn vaak ter controle voor de aannemer en geven inzicht in de kwaliteit van het asfalt. In het stadium van dit onderzoek zijn nog geen additionele boorkernen uitgevoerd voor extra laboratoriumonderzoek naar de mechanische eigenschappen van het asfalt.

3

METHODIEK UITVOERINGSANALYSE

Om een goed overzicht te krijgen van de uitvoeringswerkzaamheden, dient het gehele proces van de asfalt menging tot realisatie in kaart gebracht te worden. De beschikbare informatie van paragraaf 2.2 laat zien dat alleen op specifieke locaties het aanlegproces is vastgelegd middels nucleaire metingen; elk proefvak heeft twee meetlocaties, en op elke meetlocatie is gemeten aan de boven- en onderzijde van het talud. Van elke vracht is bepaald op welke locatie in het proefvak deze is verwerkt. In paragraaf 3.1 is de methode toegelicht om de juiste vracht met het juiste meetpunt te verbinden. Paragraaf 3.2 geeft een verdere uitleg over de samenstelling van het uitvoeringsproces.

3.1 UITLEG SUBVAK BEPALING

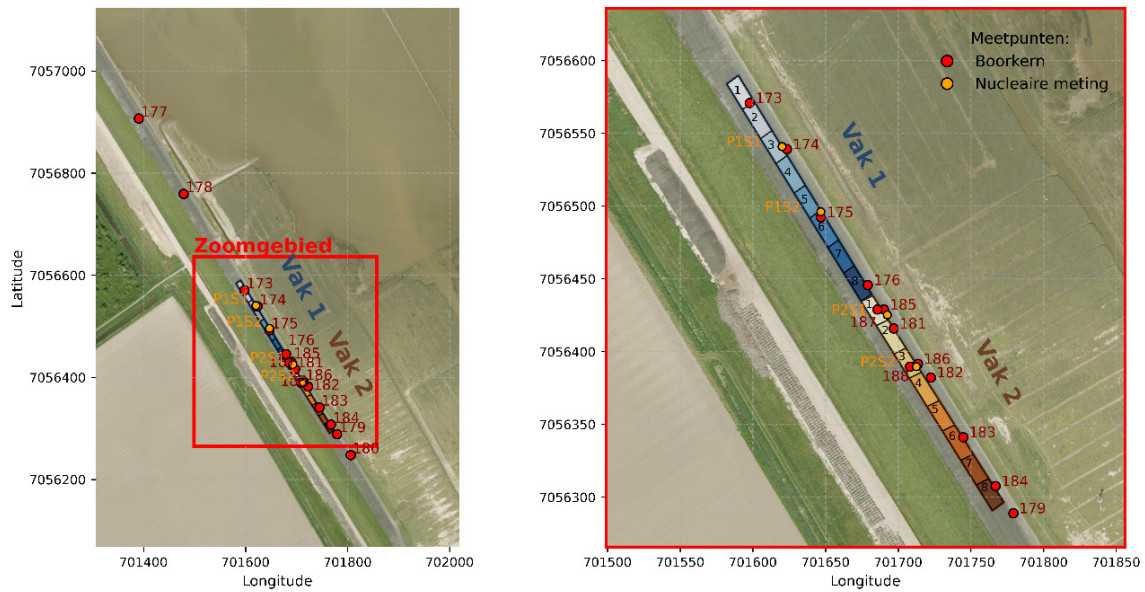
Ieder proefvak is opgevuld met een asfaltmengsel uit 8 vrachtwagens. Het is interessant om te weten waar in het proefvak welk aandeel van welke vrachtwagen ligt. Omdat van elke vracht de productie temperaturen en verwarmings tijden bekend zijn kan dit vervolgens gekoppeld worden aan de nucleaire metingen en boorkern gegevens. Zo komt er op een aantal locatie inzicht in de totale aanleg keten van het asfalt.

Om een inschatting te maken waar in het vak welk vrachtaandeel ligt, dienen eerst de twee proefvakken zelf in kaart gebracht te worden. De afmetingen van de proefvakken op de projectlocatie zijn opgenomen in het werkplan van de aannemer. Hier is de breedte 5,35m, de lengte 100m en de ontwerp laagdikte 0,165m. De contouren van de proefvakken zijn ook vastgelegd in een .dwg file aan de hand van GPS-coördinaten. De breedtes uit het werkplan komen ongeveer overeen met de gecalculerde afmetingen op basis van de coördinaten. Na de aanleg zijn ook boorkernen gemaakt die inzicht geven in de gerealiseerde laagdikte en dichtheid. Elke vracht heeft een leverantiebon met een geregistreerd gewicht aan asfaltmengsel. Met deze gegevens kan bepaald worden welke lengte in het dijkvak is aangelegd voor vracht n , zie formule (1). In de berekening is aangenomen dat de breedte constant is, de lengte gebaseerd op de .dwg file en de laagdikte als gemiddelde van de boorkernen uit het betreffende proefvak.

$$Lengte\ aangelegd\ uit\ vracht\ n = \frac{Gewicht\ asfaltmengsel\ uit\ vracht\ n}{Gemiddelde\ laagdikte * Gemiddelde\ dichtheid * Breedte}$$

Als dit van elke vracht bekend is kan worden bepaald waar elke vracht op de dijk is verwerkt, dit is gedefinieerd als een subvak. Op de kaart in *Figuur 3.1* is gevisualiseerd waar elk subvak is gelegen en waar de meetlocaties (nucleair en boorkern). Zo kan worden geobserveerd welke meetlocaties toebehoren aan welke vracht. De blauwe vakken zijn een representatie voor de verschillende vrachten in proefvak 1, en de bruin vakken voor vrachten in proefvak 2. In oranje bolletjes zijn de locaties te zien waar de nucleaire metingen zijn uitgevoerd. Hiervan representeert één bolletje zowel de meting aan de boven als onderzijde van het talud. In rood zijn de boorkernen weergegeven die de aannemer na aanleg heeft uitgevoerd. Boorkernen 177, 178, 179 en 180 vallen buiten de scope van de proefvakken.

Figuur 3.1 Satelliet kaart van proefvak 1 (blauw) en proefvak 2 (bruin) met de berekende subvakken op basis van vrachtinformatie. In rood zijn de locaties van de verschillende boorkernen en in oranje de locaties waar de nucleaire metingen zijn uitgevoerd.



3.2 TOELICHTING FOCUS MEETPUNTEN

Met het inzicht van *Figuur 31* zijn de nucleaire meetpunten een bepaalde vracht toegekend. Op deze wijze zijn tijdseries samengesteld van de uitvoeringsprocedure. Deze worden beschreven en gepresenteerd in hoofdstuk 4. *Tabel 3.1* geeft een overzicht van de gekoppelde nucleaire meting en boorkern gerelateerd aan een vrachtnummer. In de laatste kolom van de tabel is een codenaam toegewezen aan de verschillende samenstellingen. Op basis van deze gegevens zijn vier tijdseries samengesteld. Deze resultaten zijn weergegeven in paragraaf 4.1.

Tabel 3.1 Gekoppelde items (proefvak, nucleaire meting, boorkern, vracht) resulterende in een codenaam

Proefvak nr.	Nucleaire meting	Boorkern	Vracht nr.	Codenaam
Proefvak 1	P1S1 boven talud	174	Vracht 1-3	P1S1V3-B
Proefvak 1	P1S1 onder talud	174	Vracht 1-3	P1S1V3-0
Proefvak 1	P1S2 boven talud	175	Vracht 1-6	P1S2V6-B
Proefvak 1	P1S2 onder talud	175	Vracht 1-6	P1S2V6-0
Proefvak 2	P2S1 boven talud	185	Vracht 2-1	P2S1V1-B
Proefvak 2	P2S1 onder talud	185	Vracht 2-1	P2S1V1-0
Proefvak 2	P2S2 boven talud	186	Vracht 2-3	P2S2V3-B
Proefvak 2	P2S2 onder talud	186	Vracht 2-3	P2S2V3-0

4

RESULTATEN UITVOERINGSDATA

Op basis van de uitgevoerde methodiek van hoofdstuk 3 zijn in dit hoofdstuk de resultaten van de uitvoeringsdata gepresenteerd. Allereerst zijn in paragraaf 4.1 de resultaten weergegeven van de vier samengestelde tijdsreeksen op basis van *Tabel 3.1*. Op deze wijze komt er inzicht in het uitvoeringsproces van voor naar achter. Paragraaf 4.2 toont de resultaten van asfalteigenschappen op basis van de kernboringen. Er is een vergelijking gemaakt met de resultaten van de nucleaire metingen na aanleg en de boorkernen op de 4 vaste locaties, volgens *Tabel 31*. Als laatste zijn in paragraaf 4.4 de resultaten weergegeven volgend uit de interviews met uitvoerend personeel tijdens aanleg van de proefvakken. Hierin zijn hun ervaringen met de uitvoering van de warme asfalt mengsels gedeeld.

4.1 RECONSTRUCTIE TEMPERATUURVERLOOP EN VERDICHTING

In deze paragraaf zijn de grafieken van het temperatuurverloop en de verdichting van het asfalt in de tijd weergegeven. De grafieken zijn opgedeeld in verschillende processen; het mengproces, transport, profileren en walsen. Het lichtblauwe vlak betreft het mengproces van de verschillende grondstoffen totdat het gewenste asfalmengsel als eindproduct klaar is. Het lichtgroene representeert de transportperiode. Het vlak begint op het tijdstip waarop het asfalt geladen is bij de asfaltcentrale en eindigt na een geschatte reistijd van ± 55 minuten. Van de centrale tot de dijk is het 45 minuten rijden, waarna de vrachtwagen nog een stuk over de dijk naar de projectlocatie moet zien te komen waarvoor 10 minuten is aangenomen. Het profileren is gemarkeerd met het lichtgele vlak. Zoals vermeld in *Tabel 2.1* zijn de exacte tijden van de temperatuurmetingen bij het profileren zijn niet genoteerd. Daarom is aangenomen dat het profileren van één vracht ongeveer een halfuur duurt. De temperatuurmeting na het profileren is aangenomen op 5 minuten voor de start van het wals-proces. Het lichtroze vlak geeft een weergave van het walsen met de verschillende walsgangen aangegeven in nummers.

TOELICHTING GRAFIEKEN:

In de grafieken zijn verschillende lijnen te zien behorende bij de verschillende y-assen. De blauwe lijn (linker y-as) geeft het temperatuurverloop weer over de tijd. De lichtblauwe lijnen geven het temperatuurverloop weer van de infraroodmeting (linker y-as). Dit representeert de temperatuur van de bovenzijde van de asfaltlaag. De rode lijnen (rechter y-as) zijn een weergave van de dichtheid (kg/m^3) van de asfaltlaag. Het verloop van de holle ruimte is weergegeven door de groene lijnen (rechter y-as). De ononderbroken lijnen representeren de metingen aan de onderzijde van het talud en de stippellijnen de bovenzijde. Zoals aangegeven in *Tabel 3.1* zijn de temperatuurmetingen van voor en na het profileren steekproefsgewijs uitgevoerd ($n=5$). Op deze locaties in het figuur zijn daarom box-plots toegevoegd om de spreiding ten opzichte van de mediaan weer te geven.

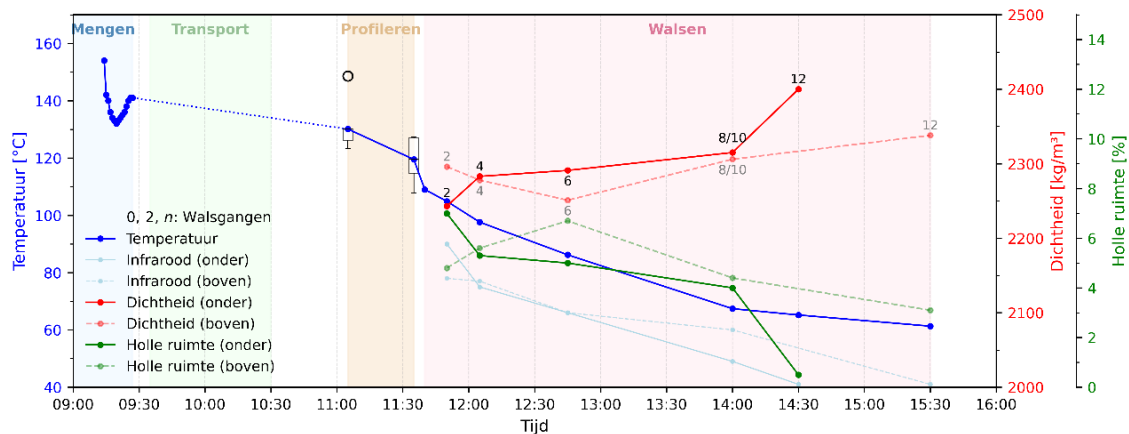
4.1.1 RESULTAAT RECONSTRUCTIE PROEFVAK 1 SENSOR 1 VRACHT 3 (P1S1V3)

De reconstructie is gelegen in proefvak 1, waar alleen de productietemperatuur is verlaagd. *Figuur 4.1* en *Tabel 4.1* zijn een weergave van de samengestelde tijdreeks P1S1V3 (zie *Tabel 3.1*). Na het mengproces (09:27) is het asfalt direct geladen in de vrachtwagen (09:35). Voor het profileren is de mediaan van de temperatuur 130,1 °C en na het profileren 119,5 °C. Op basis van de geregistreerde tijdsobservaties zit er niet veel tijd tussen de aankomst van de vrachtwagen op project locatie en de start van het walsen (01u:10m). De dichtheid onder aan het talud gaat van 2243 kg/m³ (wals 2) naar 2400 kg/m³ (wals 12). Bovenaan het talud is de verdichting van 2296 kg/m³ (wals 2) naar 2350 kg/m³ (wals 12). De holle ruimte is hieraan gespiegeld en gaat onderaan het talud van 7,0% naar 0,3%, en bovenaan het talud van 4,8% naar 3,1%. Tijdens het wals-proces is de bovenkant van het asfalt (infrarood) 20 °C tot 30 °C minder warm dan de interne temperatuur van het asfalt. De walsperiode is verspreid over ongeveer 3 uur en 50 minuten.

Tabel 4.1 Activiteit tijdsoverzicht P1S1V3

Activiteit/proces	Tijd	Duur	Opmerking/aanname
Start mix proces	09:14	-	
Eind mix proces	09:27	00u:13m	
Vrachtwagen geladen	09:35	00u:08m	
Vrachtwagen op locatie	10:30	00u:55m	* ± 55 minuten rijden tot project uitvoering
Meting voor profileren	11:05	00u:35m	
Meting na profileren	11:35	00u:30m	* geschatte profileertijd: 30m.
Start nucleaire meting (w=0)	11:40	00u:05m	* geschatte wachttijd tussen profileren/walsen: 5m.
Start walsen (w=0)	11:40	00u:00m	
Tijdens wals-proces (w>0)	11:50	00u:10m	
Eind wals-proces	15:30	03u:40m	

Figuur 4.1 Grafiek tijdreconstructie aanleg ter plaatse van P1S1V3



4.1.2 RESULTAAT RECONSTRUCTIE PROEFVAK 1 SENSOR 2 VRACHT 6 (P1S2V6)

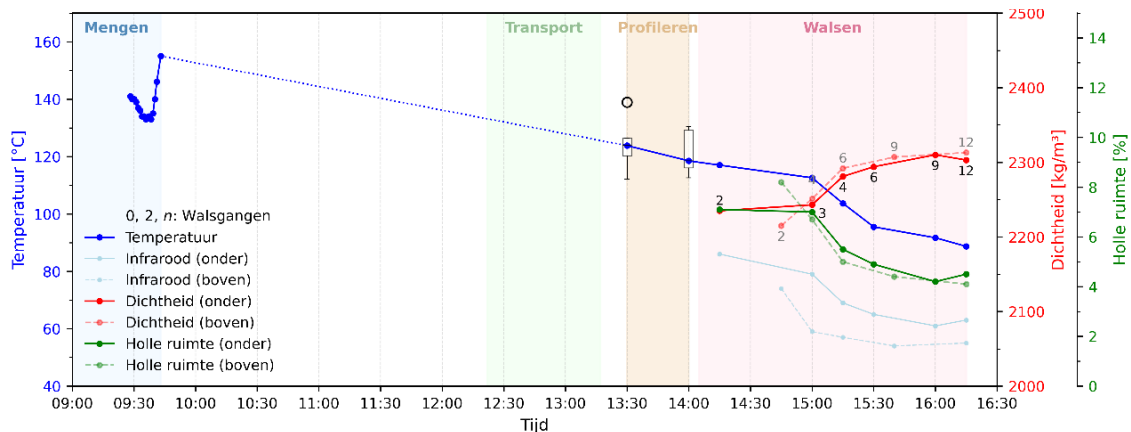
De reconstructie is gelegen in proefvak 1, waar ook alleen de productietemperatuur is verlaagd. *Figuur 4.2* en *Tabel 4.2* zijn een weergave van de samengestelde tijdreeks P1S2V6 (zie *Tabel 3.1*). Na het mengproces (09:43) is het mengsel pas na 2 uur en 39 minuten geladen in de vrachtwagen (12:22). Voor het profileren is de mediaan van de temperatuur 123,8 °C en na het profileren 118,5 °C. Op basis van de geregistreerde tijdsobservaties zit er maar ± 48 minuten tussen de aankomst van de vrachtwagen op project locatie en de start van het walsen. De dichtheid onder aan het talud gaat van 2235 kg/m³ (wals 2) naar 2400 kg/m³ (wals 12). Bovenaan het talud is de verdichting van 2215 kg/m³ (wals 2) naar

2313 kg/m³ (wals 12). De holle ruimte is hieraan gespiegeld en gaat onderaan het talud van 7,1% naar 4,5%, en bovenaan het talud van 8,2% naar 4,1%. Tijdens het wals-proces is de bovenkant van het asfalt (infrarood) 30 °C tot 55 °C minder warm dan de interne temperatuur van het asfalt. De walsperiode is verspreid over ongeveer 2 uur en 10 minuten.

Tabel 4.2 Activiteit tijdsoverzicht P1S2V6

Activiteit/proces	Tijd	Duur	Opmerking/aanname
Start mix proces	09:28	-	
Eind mix proces	09:43	00u:15m	
Vrachtwagen geladen	12:22	02u:39m	
Vrachtwagen op locatie	13:17	00u:55m	* ± 55 minuten rijden tot project uitvoering
Meting voor profileren	13:30	00u:13m	
Meting na profileren	14:00	00u:30m	* geschatte profileertijd: 30m.
Start nucleaire meting (w=0)	14:05	00u:05m	* geschatte wachttijd tussen profileren/walsen: 5m.
Start walsen (w=0)	14:05	00u:00m	
Tijdens wals-proces (w>0)	14:15	00u:10m	
Eind wals-proces	16:15	02u:00m	

Figuur 4.2 Grafiek tijdreconstructie aanleg ter plaatse van P1S2V6



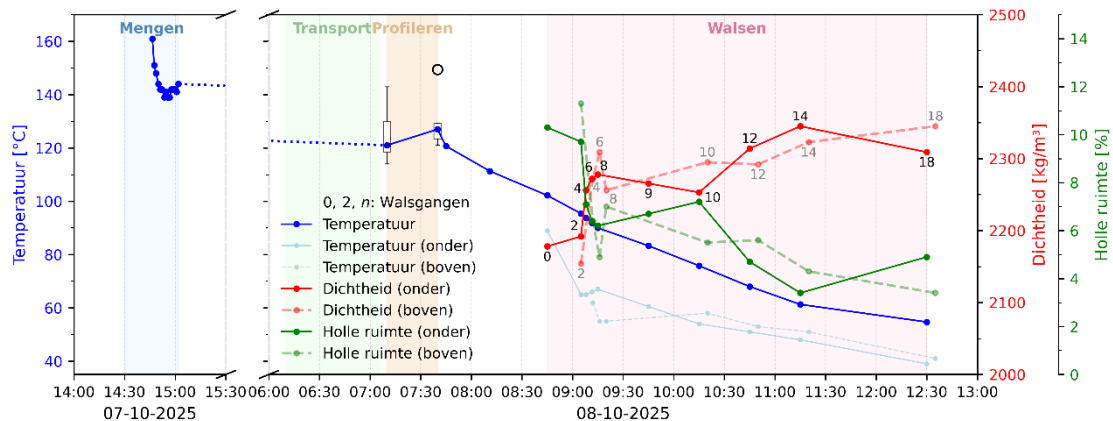
4.1.3 RESULTAAT RECONSTRUCTIE PROEFVAK 2 SENSOR 1 VRACHT 1 (P2S1V1)

De reconstructie is gelegen in proefvak 2, waar de productietemperatuur is verlaagd en het additief Lynpave is toegevoegd aan het mengsel. *Figuur 4.3* en *Tabel 4.3* zijn een weergave van de samengestelde tijdreeks P2S1V1 (zie *Tabel 3.1*). Het mengproces is uitgevoerd de dag voor aanleg van het asfalt (7 oktober), waardoor het mengsel meer dan 15 uur in de opslagsilo verwarmd moet blijven voordat het geladen is in de vrachtwagen de volgende ochtend (06:10). Voor het profileren is de mediaan van de temperatuur 121,0 °C en na het profileren 127,1 °C. Op basis van de geregistreeerde tijdsobservaties zit er maar ± 40 minuten tussen de aankomst van de vrachtwagen op project locatie en de eerste nucleaire meting. Echter duurde het dan nog een uur voordat het walsen start (08:45). De dichtheid onder aan het talud gaat van 2178 kg/m³ (wals 0) naar 2309 kg/m³ (wals 18). Bovenaan het talud is de verdichting van 2154 kg/m³ (wals 2) naar 2345 kg/m³ (wals 12). De holle ruimte is hieraan gespiegeld en gaat onderaan het talud van 10,3% naar 4,9%, en bovenaan het talud van 11,3% naar 3,4%. Tijdens het wals-proces is de bovenkant van het asfalt (infrarood) 10 °C tot 40 °C minder warm dan de interne temperatuur van het asfalt. De walsperiode is verspreid over ongeveer 3 uur en 50 minuten.

Tabel 4.3 Activiteit tijdsoverzicht P2S1V1.

Activiteit/proces	Tijd	Duur	Opmerking/aanname
Start mix proces	14:46	-	
Eind mix proces	15:01	00u:15m	
Vrachtwagen geladen	06:10	15u:09m	* >15u tussen mixen en ophalen vrachtwagen.
Vrachtwagen op locatie	07:05	00u:55m	* ± 55 minuten rijden tot project uitvoering
Meting voor profileren	07:10	00u:05m	
Meting na profileren	07:40	00u:30m	* geschatte profileertijd: 30m.
Start nucleaire meting (w=0)	07:45	00u:05m	* geschatte wachttijd tussen profileren/walsen: 5m.
Start walsen (w=0)	08:45	01u:00m	* 1u tussen 1 ^e nucleaire meting en 1 ^e walsen.
Tijdens wals-proces (w>0)	09:05	00u:20m	
Eind wals-proces	12:35	03u:30m	

Figuur 4.3 Grafiek tijdreconstructie aanleg ter plaatse van P2S1V1



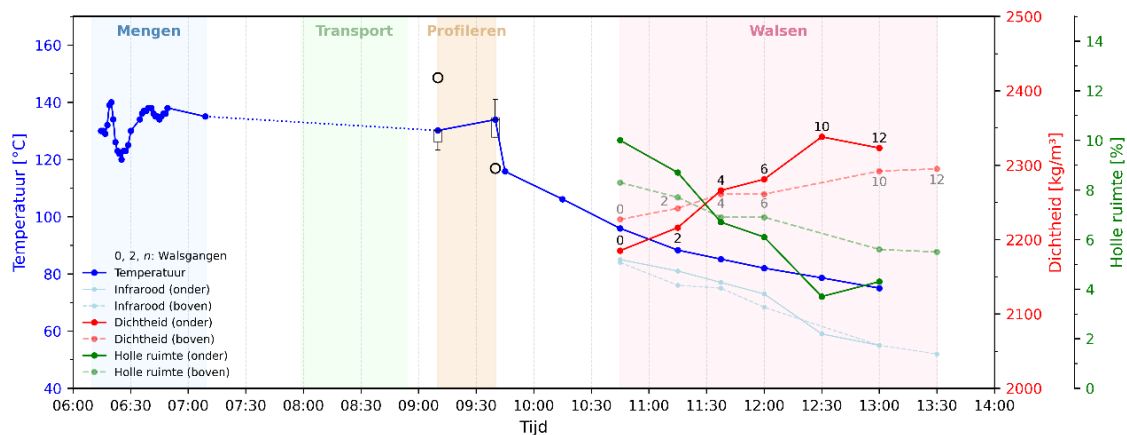
4.1.4 RESULTAAT RECONSTRUCTIE PROEFVAK 2 SENSOR 2 VRACHT 3 (P2S2V3)

De reconstructie is gelegen in proefvak 2, waar de productietemperatuur is verlaagd en het additief Lynpave is toegevoegd aan het mengsel. *Figuur 4.4* en *Tabel 4.4* zijn een weergave van de samengestelde tijdreeks P2S2V3 (zie *Tabel 3.1*). Na het mengproces (07:08) is het mengsel na 51 minuten geladen in de vrachtwagen (07:59). Voor het profileren is de mediaan van de temperatuur 130,1 °C en na het profileren 133,9 °C. Op basis van de geregistreerde tijdsobservaties zit er maar ± 51 minuten tussen de aankomst van de vrachtwagen op project locatie en de eerste nucleaire meting. Echter duurde het een uur voordat er gestart werd met walsen (10:45). De dichtheid onder aan het talud gaat van 2185 kg/m³ (wals 0) naar 2323 kg/m³ (wals 12). Bovenaan het talud is de verdichting van 2227 kg/m³ (wals 0) naar 2295 kg/m³ (wals 12). De hollere ruimte is hieraan gespiegeld en gaat onderaan het talud van 10,0% naar 4,3%, en bovenaan het talud van 8,3% naar 5,5%. Tijdens het wals-proces is de bovenkant van het asfalt (infrarood) 10 °C tot 25 °C minder warm dan de interne temperatuur van het asfalt. De wals periode is verspreid over ongeveer 2 uur en 45 minuten.

Tabel 4.4 Activiteit tijdsoverzicht P2S2V3.

Activiteit/proces	Tijd	Duur	Opmerking/aanname
Start mix proces	06:14	-	
Eind mix proces	07:08	00u:54m	
Vrachtwagen geladen	07:59	00u:51m	
Vrachtwagen op locatie	08:54	00u:55m	* ± 55 minuten rijden tot project uitvoering
Meting voor profileren	09:10	00u:16m	
Meting na profileren	09:40	00u:30m	* geschatte profileertijd: 30m.
Start nucleaire meting (w=0)	09:45	00u:05m	* geschatte wachttijd tussen profileren/walsen: 5m.
Start walsen (w=0)	10:45	01u:00m	* 1u tussen 1 ^e nucleaire meting en 1 ^e walsen.
Tijdens wals-proces (w>0)	11:15	00u:30m	
Eind wals-proces	13:30	02u:15m	

Figuur 4.4 Grafiek tijdreconstructie aanleg ter plaatse van P2S2V3



4.1.5 VERWARMINGSTIJDEN ASFALTCENTRALE TOT PROJECTLOCATIE

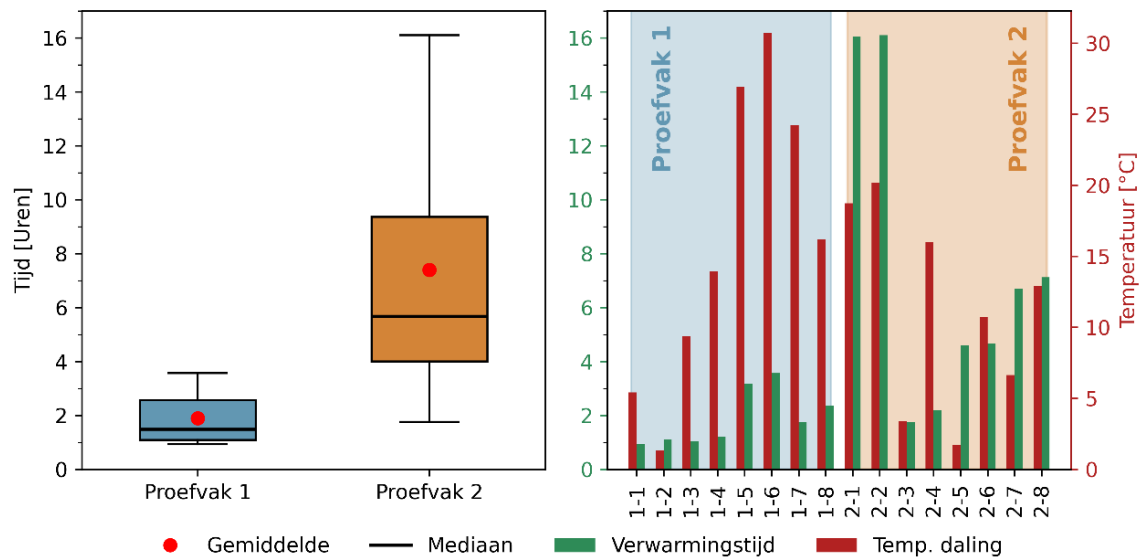
De tijd tussen het einde van de asfalt mix en de aankomst van het asfalt mengsel op projectlocatie kan sterk variëren. Ook de temperatuurdaling van het mengsel verschilt. *Figuur 4.5* geeft een overzicht van deze data in een box-plot (links) en bar plot (rechts). In het linker figuur representeren de box-plots de spreiding van de tijd die het mengsel erover doet om op de projectlocatie te komen vanaf het moment dat het mengsel klaar is. In de tussentijd is het mengsel warm gehouden op de centrale of getransporteerd in een geïsoleerde vrachtwagen. Er is onderscheid gemaakt tussen proefvak 1 (blauw) en proefvak 2 (bruin). De gemiddelde verwarmingstijd voor proefvak 1 ligt rond de twee uur, waar dit voor proefvak 2 al meer dan 7 uur is. De uitschieters hierbij lopen op tot over de 16 uur (vracht 1 en 2 van proefvak 2).

Deze uitschieters zijn ook te zien in het rechter figuur, waar op de x-as alle vrachten staan. In de groene bars zijn de verwarmingstijden te zien (zoals in het linker figuur), en in het rood zijn de temperatuurdalingen geplot over de betreffende verwarmingstijd (rechter y-as). De verwarmingstijden (groen) corresponderen met de box-plots zoals in het linker figuur. De temperatuurdaling (rood) loopt sterk uiteen, namelijk van 1,5 °C tot 30 °C. Grote temperatuurdalingen zijn voornamelijk zichtbaar in proefvak 1, maar ook in proefvak 2 zijn er dalingen tot 20 °C.

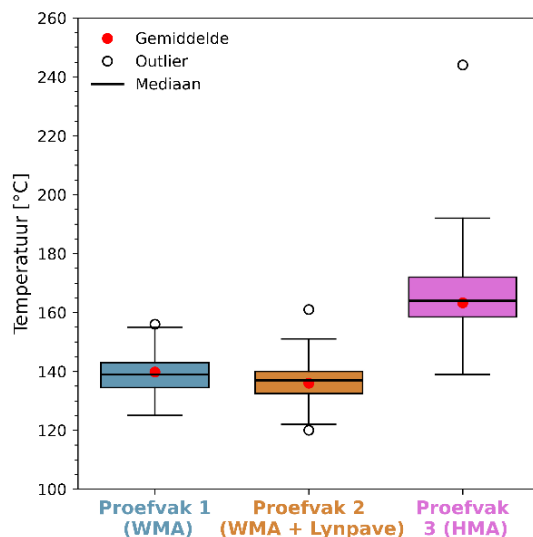
De gemiddelden en standaarddeviaties (SD) van temperatuur bij productie, en voor en na het profileren voor elke vracht zijn opgenomen in de tabellen en box-plots in bijlage A. Ook de periode tussen einde productie mengsel en aankomst op de project locatie (verwarmingsperiode) is hierin voor elke vracht weergegeven.

Om de productie temperaturen van het WMA uit proefvakken 1 en 2 in perspectief te plaatsen is in *Figuur 46* ook een box-plot van de HMA-productie temperaturen weergegeven (roze). Dit HMA-mengsel is in proefvak 3 aangelegd, ter vervanging van het WMA mengsel met LEAB (zie paragraaf 2.1). De box-plots zijn een representatie van de temperatuur van alle charges die in de centrale worden gemixt voor de proefvakken. Ieder proefvak bestaat uit ongeveer 60 charges van ± 3900 kg, die in ruim een minuut worden samengesteld en gemixt. Bij proefvak 1 en 2 ligt de gemiddelde productietemperatuur van een charge rond de 140°C , en is de spreiding voor beiden plus en min 15°C . Voor het HMA-mengsel ligt, zoals verwacht, de gemiddelde temperatuur hoger (163°C), waarbij de spreiding meer dan plus en min 20°C is.

Figuur 4.5 (Links) resultaten van tijd tussen einde mix en ophalen vrachtwagen (verwarmingstijd) in box-plot. Rode marker geeft gemiddelde aan. (Rechts) resultaten van verwarmingstijd per vracht in groen (linker y-as) en temperatuurdaling in rood (rechter y-as).



Figuur 4.6 Temperatuur van de productiecharges weergegeven in box-plots voor proefvak 1 (WMA), proefvak 2 (WMA + Lynpave) en het 3^e proefvak wat is opgevuld met HMA (zie paragraaf 2.1).



4.2 MENGSEL SAMENSTELLING

Zoals benoemd in hoofdstuk 1 bestaan de proefvakken uit dezelfde samenstelling. Echter is in proefvak 2 een de biologische olie, Lynpave, toegevoegd voor het verlagen van de viscositeit ter bevordering van het mix- en verwerkingsproces. Het mengsel bestaat uit verschillende componenten uit het mengsel zijn zand, steen (8/11), eigenvulstof, wigro, bitumen (160/220) en PR (Partiële Recycling). Van deze onderdelen bestaat 85% uit hergebruikte materialen.

Van de asfaltcentrale zijn databestanden verkregen waarbij het mixproces in kaart is gebracht. In deze sheets zijn de hoeveelheden van de toegevoegde grondstoffen weergegeven per charge. In elke vracht zitten gemiddeld $\pm 7,5$ charges. In bijlage B is een analyse tabel toegevoegd met de gemiddelde samenstellingen per vracht voor beide proefvakken. Hieruit blijkt dat voor de verschillende vrachten het gemiddelde aandeel per component dicht bij elkaar liggen. De standaarddeviatie (SD) geeft een indicatie voor de verschillen van de charges aanwezig in elke vracht. Ook deze verschillen zijn marginaal, maar bij de component steen zitten bij enkele vrachten wat uitschieters in variatie. Bijvoorbeeld vracht 1 en 3 in proefvak 1 hebben een SD van 2,7%, en vracht 3 in proefvak 2 zelfs 3,2%. Dit kan dus leiden tot een significant hoger steenpercentage in de asfaltlaag op bepaalde locaties.

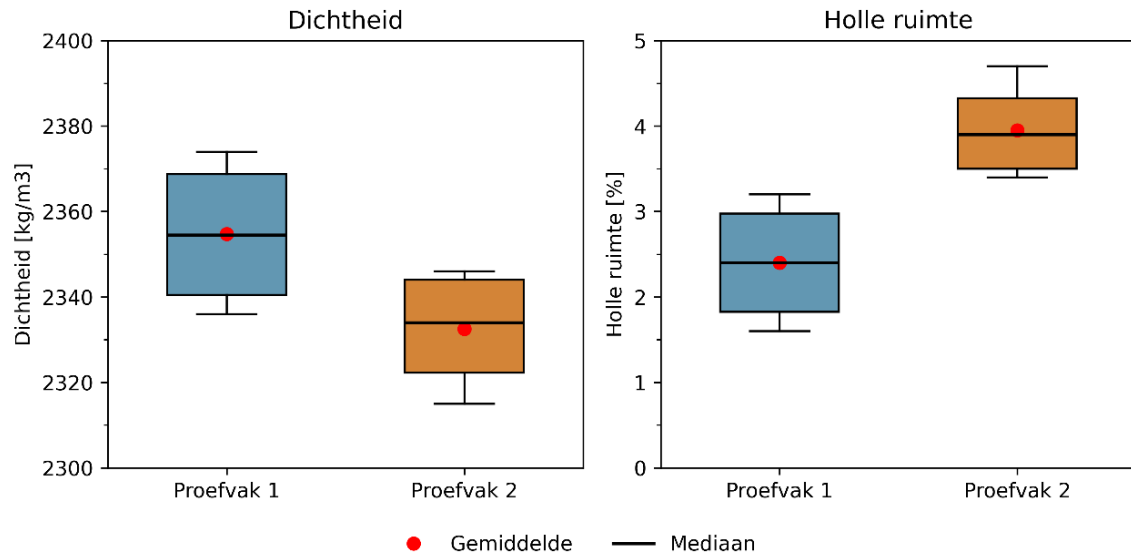
Daarnaast valt op dat het aandeel van de componenten zand en steen in het mengsel voor proefvak 1 en 2 verschillen. Het aandeel van zand is $\pm 20\%$ in proefvak 1, maar in proefvak 2 is dit meer dan 25%. Voor steen is het aandeel bijna 24% in proefvak 1 en $\pm 19,5\%$ in proefvak 2. Ook de vulstof wigro kent bijna een factor 2 toename in proefvak 2. Deze verschillen kunnen effect hebben op de uitvoerbaarheid en de kwaliteit van de asfalteigenschappen. Dit is opvallend omdat de mengselsamenstelling ongewijzigd zou blijven ten opzichte van het mengsel dat op de rest van de Lauwersmeerdijk is toegepast. Mogelijk is hier in de asfaltcentrale een fout gemaakt. Dit zou een mogelijke oorzaak kunnen zijn van de slechtere verdichtbaarheid van het Lynpave WAB.

Het overzicht zoals weergegeven in bijlage B geeft inzicht in het herleiden van de samenstelling en homogeniteit van het asfalt. Boringonderzoek kan inzicht brengen in de effecten van deze verschillen.

4.3 RESULTATEN ASFALT EIGENSCHAPPEN

Na aanleg van de proefvakken heeft de aannemer 100mm diameter kernen geboord (Bijlage H). De uitgevoerde proeven (RAW 2020 Proef 66 en 69) bepalen de dichtheid van het proefstuk en gehalte aan poriën (holle ruimte) van het asfalt. *Figuur 4.6* geeft een overzicht van alle beproefde boorkernen, met in de linker box-plots de resultaten van de dichtheid en in de rechter box-plots de holle ruimte. Proefvak 1 en 2 heeft ieder 8 boorkernen. De box-plots laten een duidelijk verschil zien in kwaliteit van eigenschappen. Het warme WAB-mengsel in proefvak 1 betreft een gemiddeld hogere verdichting van ongeveer 25 kg/m^3 dan het Lynpave mengsel in proefvak 2. Zelfde soort observaties zijn ook te zien bij de holle ruimte (rechter box-plot). Hier is in proefvak 1 de holle ruimte gereduceerd tot gemiddeld onder de 2,5%, waar het mengsel in proefvak 2 rond de vereiste 4,0% ligt.

Figuur 47 **Overzicht van alle boorkernen in box-plots van verdichting en holle ruimte. De box-plots geven een maat aan de percentielen van de data ten opzichte van de mediaan (zwarte streep). De rode stip geeft het gemiddelde weer. Proefvak 1 bevat boorkern nummers: 173, 174, 175, 176, en proefvak 2 boorkern nummers 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188 (zie Figuur 3.1).**

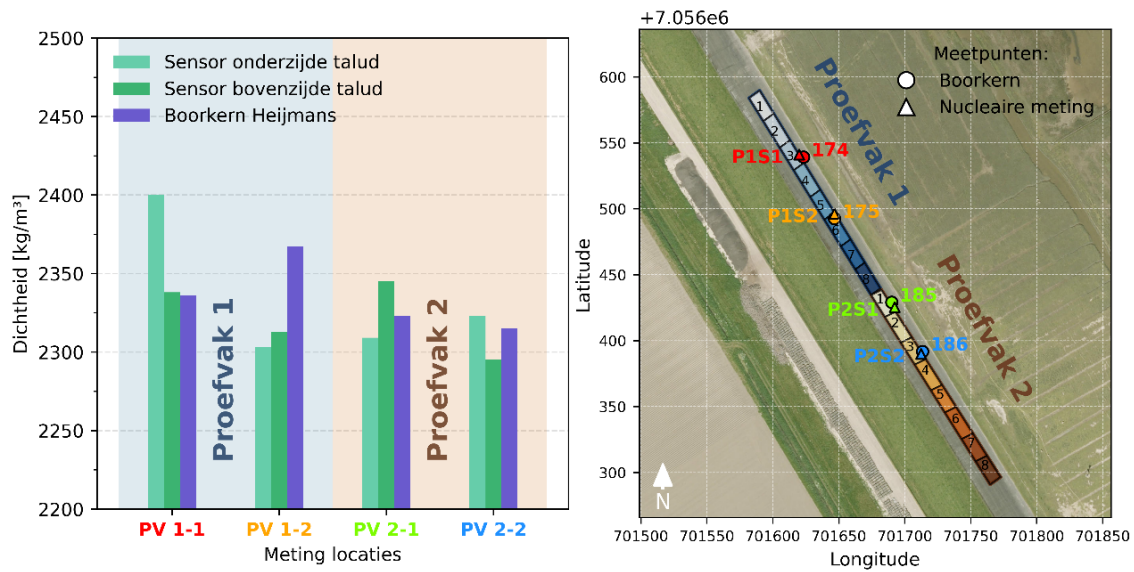


Naast deze boorkernen zijn er tot na de uitvoering nucleaire metingen uitgevoerd die ook, maar minder nauwkeurig, de holle ruimte en dichtheid meten. Zoals beschreven in paragraaf 2.2.1 zijn deze metingen tijdens de uitvoering zowel aan de boven- als onderzijde van het talud genomen. Op basis van de boor- en meetlocaties is aan een nucleaire meting een boorkern toegewezen, zie Tabel 3.1. Ook in onderstaande figuren is op de kaart in bijpassende kleuren weergegeven welke metingen aan elkaar gekoppeld zijn, zo representeren de ronde markers de boorkernen en de driehoeken de nucleaire metingen.

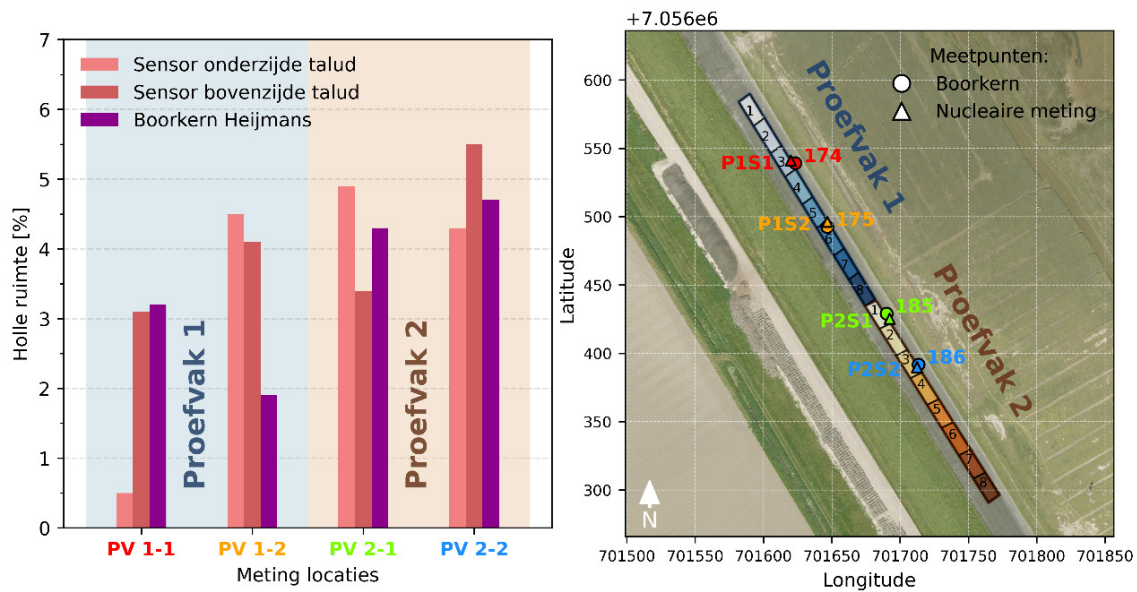
In Figuur 4.7 zijn verschillende dichtheidsresultaten te zien. In proefvak 2 komen de resultaten uit de boorkern en de meting redelijk overeen met dichtheden tussen de 2300 kg/m³ en 2350 kg/m³, overeenstemmend met het gemiddelde van alle kernen uit Figuur 4.6. De dichtheden in proefvak 1 lijken iets hoger te zijn, maar de verschillen tussen de boorkernen en metingen lopen ook iets verder uiteen. Hier liggen de dichtheden tussen 2300 kg/m³ en 2400 kg/m³.

De dichtheid en de holle ruimtes zijn met elkaar verbonden. Dat blijkt ook uit Figuur 4.8 waar de resultaten voor de holle ruimtes zijn weergegeven. Over het algemeen zijn de holle ruimtes in proefvak 2 hoger dan in proefvak 1, overeenkomend met Figuur 4.6. In dit eerste proefvak is het percentage holle ruimte tussen de 1,5% en 4,5%, waar dat in proefvak 2 van 3,5% tot 5,5% is.

Figuur 4.8 Vergelijking verdichtingsgraad boorkernen en nucleaire sensors. Op de kaart is weergegeven in kleur welk nr. boorkern en sensor aan elkaar gelinkt worden in de grafiek.



Figuur 4.9 Vergelijking holle ruimte boorkernen en nucleaire sensors. Op de kaart is weergegeven in kleur welk nr. boorkern en sensor aan elkaar gelinkt worden in de grafiek.



4.4 INTERVIEWS WERKNEMERS AANNEMER

Tijdens de uitvoering is elke dag een interview afgenomen met een werknemer van de aannemer. In de vragenlijst wordt een drietal vragen beantwoord, namelijk:

Vraag 1

Hoeveel kracht moet je gebruiken om asfalt te verplaatsen? Cijfer 1 t/m 10 (1 licht, 10 zwaar). Was de inspanning anders dan normaal? Ook cijfer geven voor het handmatig verwerken van heet WAB.

Vraag 2

Heb je bijzonderheden waargenomen tijdens de verwerking t.o.v. de eerder uitgevoerde dijkvakken? Waren de materiaaleigenschappen verschillend?

Vraag 3

Heb je aandachtspunten waargenomen/ervaringen in geval het materiaal uit het proefvak op grotere schaal toegepast zou worden?

Onderstaand zijn de antwoorden verwerkt in *Tabel 4.5*.

Tabel 4.5 Resultaten vragenlijst uitvoeringspersoneel

Vraag	Proefvak 1 (Warm WAB)	Proefvak 2 (Warm WAB+Lynpave)
Vraag 1	- Verwerken asfalt gelijk aan normaal WAB - Inspanning handmatig verwerken en walsen gelijk aan normaal WAB. Cijfer: 7	- Verwerken Lynpave gelijk aan heet en warm WAB. - Inspanning handmatig verwerken gelijk aan beide andere mengsels. Cijfer: 7
Vraag 2	Geen bijzonderheden.	- Mengsel is smeûiger dan heet en warm WAB. - Walsen is intensiever (duurt langer). Mengsel blijft lang vervormbaar, verdichting pas bij 40 – 50 °C.
Vraag 3	Aandachtspunt is het voorverwarmen van de kraanbak. Hierdoor is het WAB gladder/dichter af te werken. Een systeem hiervoor kan tijd opleveren	- Personele invulling: 1 wals machinist voor eerste walsgangen en 1 wals machinist voor verdichting. - Plaats warmtesensoren op wals om asfalttemperatuur goed te kunnen zien. - Aandachtspunt is het voorverwarmen van de kraanbak. Hierdoor is het WAB gladder/dichter af te werken. Een systeem hiervoor kan tijd opleveren

5

ANALYSE RESULTATEN UITVOERING

Dit hoofdstuk analyseert de gepresenteerde resultaten van hoofdstuk 4. Een opvallend en belangrijk resultaat is het significante verschil in de verdichtingsgraad en percentage holle ruimtes tussen proefvak 1 en 2 uit *Figuur 4.6*. Hieruit blijkt een verschil van gemiddeld 25 kg/m³ in dichtheid en meer dan 1,5% in holle ruimte. Uit de interview reacties (paragraaf 4.4) blijkt ook dat bij het warme WAB met Lynpave meer moeite gedaan moest worden om tot een goede verdichting te komen. Ook wordt aangegeven dat meer walsen nodig waren, omdat tot op een lage temperatuur het asfalt nog erg vervormbaar was. Dit is ook geconstateerd in de projectbezoeking rapportage [4] waarin is aangegeven dat bij het Lynpave mengsel nog lang moet worden na verdicht door de flexibiliteit van het asfalt. Een goed voorbeeld hiervan is te zien in de tijdsreconstructie van P2S1V1 in *Figuur 4.3*. Hier zijn 18 walsgangen nodig om tot 4,9% holle ruimte te komen. De laatste meting is gedaan bij een temperatuur van 54,7 °C. Dit suggereert dat Lynpave arbeidsintensiever is om te verdichten en na verdichting een hogere holle ruimte heeft dan het proefvak zonder Lynpave. Mogelijk moet het Lynpave WAB bij een lagere temperatuur worden verdicht. Tenslotte is het mogelijk dat het mengsel nog niet is geoptimaliseerd voor de toepassing van Lynpave. Uit interviews bleek ook dat het verwerken, zowel handmatig als met machines, gelijkwaardig is aan heet en warm WAB. Uit de resultaten van paragraaf 4.2 blijkt dat het aandeel van de componenten zand en steen in het asfalmengsel varieert tussen proefvak 1 en 2. Dit zou een effect kunnen hebben op de verwerkbaarheid en asfalteigenschappen. Het daadwerkelijke effect hiervan is echter nog onbekend.

Uit de resultaten van dichtheden en holle ruimtes in *Figuur 4.6* blijkt ook dat warm WAB (proefvak 1) tot een goede kwaliteit verdichting komt, namelijk gemiddelde dichtheid van 2354 kg/m³ en gemiddelde holle ruimte van 2,4%. Ook in de interviews is de verwerking met warm WAB positief beoordeeld. Dit is boven verwachting, er werden problemen met de verwerkbaarheid verwacht. De gerealiseerde holle ruimte in dit proefvak is hiermee vergelijkbaar met de rest van de Lauwersmeerdijk waar heet WAB is toegepast.

Uit de datagegevens blijkt dat de tijdsperiode tussen einde mix asfalmengsel en de aankomst van het mengsel op projectlocatie sterk uiteenlopen. Dit zorgt ook voor grote onderlinge verschillen tussen de twee proefvakken. *Figuur 4.5* (links) geeft dit duidelijk weer. Proefvak 1 heeft een gemiddelde van 2 uur, maar proefvak 2 heeft een gemiddelde van boven de 7 uur met een uitschieters tot 16 uur. Een voorbeeld hiervan is vracht 1 voor proefvak 2 (P2S1V1 paragraaf 4.1.3). Hier begon de productie van het mengsel een dag eerder. In recent onderzoek [5] zijn bepaalde asfaltprojecten geëvalueerd, waarbij geconcludeerd werd dat langdurige verwarming van asfalt mogelijk invloed kan hebben op de kwaliteit van de asfalt eigenschappen. Een langere verwarmingstijd zorgt voor brosser materiaal en gedraagt zich daardoor minder ductiel en is gevoeliger voor scheurvorming. Ten opzichte van deze asfaltprojecten hebben de proefvakken als voordeel dat het asfalt bij een lagere temperatuur is verwarmd waardoor de veroudering van het bindmiddel minder snel gaat. Dit volgt ook uit de rapportage van het KCW-project waarbij onderzoek is gedaan naar de verwarmingsduur bij warm WAB [1]. Op laboratoriumschaal werden geen grote verschillen geconstateerd

in mechanische eigenschappen en ductiliteit bij verwarmingsperiodes van de asfaltspecie tussen de 1 en 16 uur. Bij de proefvakken is nauwkeurig bekend waar elke vrachtwagen is verwerkt en hoe lang de asfaltspecie verwarmd is geweest. Het is van belang om na te gaan of de relatie tussen verwarmingsperiode en mechanische eigenschappen en ductiliteit in het veld vergelijkbaar is. Hieruit kunnen voor toekomstige projecten richtlijnen worden opgesteld over de periode tussen productie en verwerking van asfaltspecie.

Over de periode van de verwarmingstijd vindt een temperatuurdaling plaats. Deze temperatuur delta betreft de temperatuur einde mix tot temperatuurmeting vóór het profileren. Uit de resultaten van *Figuur 4.5* (rechts) vallen verschillende dingen op. Allereerst is een zeer brede range van temperatuurdaling zichtbaar, namelijk tussen 1,5 °C en 30 °C. Deze observatie is ook benoemd in de rapportage van de aannemer [3]. Ten tweede is de daling in temperatuur niet evenredig met de tijdperiode tussen einde mix en aankomst vracht op projectlocatie (verwarmingsperiode). De tijd tussen productie en verwerking was bij proefvak 1 veel korter dan bij proefvak 2, maar de temperatuurafname in deze periode is hoger voor proefvak 1. Dit suggereert dat het asfalt minder goed geïsoleerd door de tijd heen komt. Het is goed te benoemen dat op de uitvoeringsdagen voor proefvak 1 en 2 de twee zelfde geïsoleerde vrachtwagens zijn gebruikt, en ook de weersomstandigheden waren deze dagen gelijkwaardig. Een goede verklaring voor deze significante temperatuurschommeling is dus niet bekend. Wel moet rekening gehouden worden met onzekerheid in de steekproef van temperatuurmetingen voor het profileren, deze kunnen uiteen liggen.

Naast variërende temperatuurdalingen zijn er ook fluctuaties en afwijkingen in een aantal charges (productiebatches) waar de productietemperatuur boven de bestelde asfalttemperatuur (120 – 140 °C) is verhit. Regelmatig valt de temperatuur hoger uit dan 150 °C. Voorbeelden zijn zichtbaar in *Figuur 4.1* en *Figuur 4.3* waar de mengtemperatuur nog afkoelt van 160 °C naar de gewenste temperatuur, of *Figuur 4.2* waar de temperatuur juist verhoogd wordt naar 160 °C. In de eindrapportage van de aannemer [3] geeft de asfaltproducent Kootstertille (APK) hier een reactie op. Volgens hen komt dit door de relatief kleine producties (minder dan 100 ton per charge), drukte bij de centrale (veel wisselingen van mengsels én dus ook temperaturen) en weersomstandigheden. Ook worden er bepaalde toleranties gehanteerd, om een kwalitatief goed product te leveren. Bij grotere afnames is de aflevertemperatuur stabiel. Deze fluctuaties zijn van belang omdat de temperatuur invloed kan hebben op de kwaliteit van het mengsel. Bij hogere temperaturen is doorgaans betere hechting en mixing mogelijk met de diverse grondstoffen. Echter, het doel van dit onderzoek is juist om te zien hoe dat bij lagere mix temperaturen is. Daarom is het belangrijk om te benoemen dat de productietemperaturen ook hoger gelegen hebben dan 140 graden binnen de proefvakken warm WAB.

In dit onderzoek zijn wisselende productietemperaturen, verschillende verwarmingsperiodes, variatie in mengselsamenstelling en holle ruimte waargenomen. Een belangrijke vraag voor vervolgonderzoek is de invloed die deze variaties hebben op de mechanische eigenschappen. Omdat de eigenschappen per vrachtwagen bekend zijn, is het waarschijnlijk mogelijk om resultaten van het sterkte-onderzoek te koppelen aan de in dit rapport gepresenteerde resultaten.

6

CONCLUSIE

Uit de analyse van de gepresenteerde data wordt geconcludeerd dat de WMA-WAB in proefvak 1 en 2 beiden goed uitvoerbaar zijn. Zowel het handmatig als machinaal bewerken van het asfalmengsel is goed mogelijk. Uit de resultaten van interviews met uitvoerders (aannemer) blijkt weinig verschil merkbaar met de uitvoering van HMA-WAB. Wel is het met Lypave aangebrachte asfalmengsel arbeidsintensiever gebleken om tot de gewenste verdichting te komen. Bij de aanleg van de proefvakken waren meer walsgangen nodig, want het asfalt was nog tot lage temperaturen (50-60) goed vervormbaar.

Ook komen de resultaten van de boorkernen ($\varnothing 100$) van het asfalmengsel met Lypave minder goed naar voren. Men had moeite de <4% holle ruimte te verwezenlijken, evenzo voor de dichtheid (gem. 2332 kg/m³). Het WMA-WAB zonder additieven laat daarentegen betere resultaten zien, namelijk een gemiddelde holle ruimte van 2,3% en een dichtheid van 2358 kg/m³. Dit is vergelijkbaar met het HMA-WAB dat op de Lauwersmeerdijk is toegepast.

Bij controle van de mengsamenstelling bleek er een verschil in samenstelling te zijn tussen de twee proefvakken. Dit is opvallend omdat volgens plan de samenstelling ongewijzigd zou blijven. Mogelijk is er een fout gemaakt bij de productie van het mengsel van Lypave WAB. Dit kan ook de oorzaak zijn voor de slechtere verdichtbaarheid van het Lypave WAB.

Overige constatering zoals sterk uiteenlopende verwarmingstijden en temperatuurdalingen en temperatuurwisselingen in de asfalmenger kunnen de kwaliteit van het asfalt ook beïnvloed hebben. Echter bij een constantere stroom van asfaltproductie (groter project) is de verwachting dat de asfaltproductie en aanvoer van beter kwaliteit is.

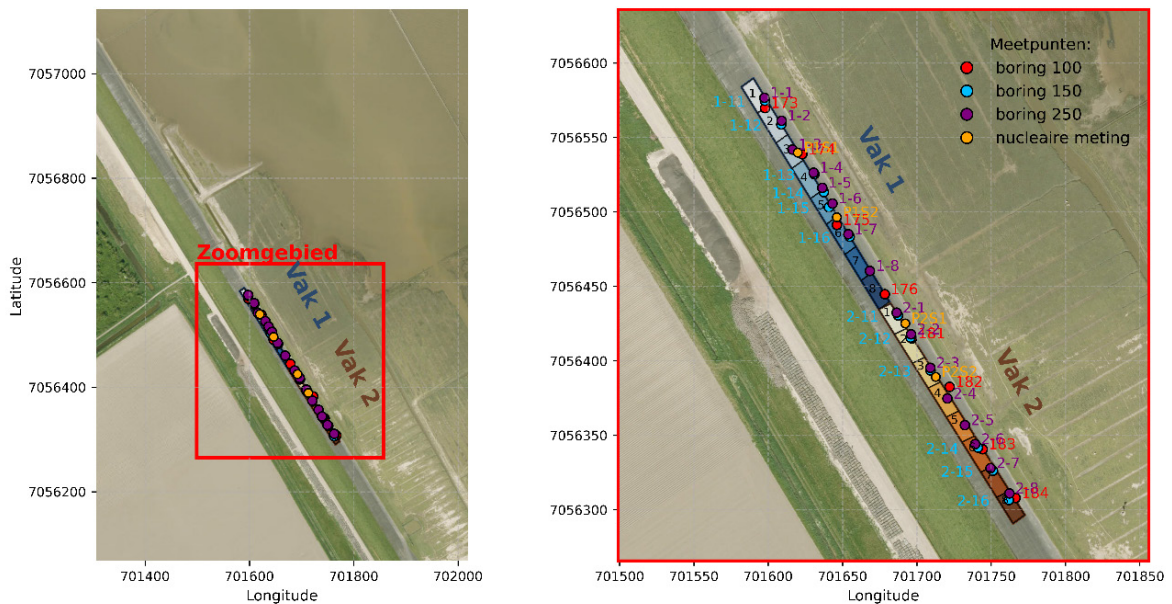
7

AANBEVELINGEN

Later onderzoek naar de mechanische eigenschappen (buigtreksterkte, rek bij breuk, breuk energie) moet uitwijzen of de conceptconclusies over de kwaliteit verschillen van de proefvakken correct zijn. Vervolgonderzoek kan ook meer duidelijkheid geven over constatering zoals de sterk uiteenlopende verwarmingstijden. Dit is een waardevolle praktijk aanvulling op recent onderzoek op laboratoriumschaal [1]. Inzichten van deze rapportage, zoals de nauwkeurig bepaalde locaties van asfaltvrachten, is een goed startpunt voor vervolgonderzoek bij de proefvakken. De kernen voor dit onderzoek zijn inmiddels geboord, zie *Figuur 7.1*.

Verder onderzoek naar optimalisatie van het Lynpave additief in een warm WAB-mengsel is ook van meerwaarde. Uit de resultaten van dit onderzoek heeft het niet de gewenste holle ruimte kunnen behalen.

Figuur 7.1 Overzicht boorkern metingen overzicht. De Ø 100 boorkernen (rood) waren genomen ter bedrijfscontrole van de aannemer. Deze zijn in dit rapport al gebruikt. De Ø 150 (blauw) en Ø 250 (paars) zijn recent geboord. Ze zijn verspreid over de verschillende proefvakken en kunnen gebruikt worden in vervolgonderzoek.



Verwacht wordt dat de verschillen in productietemperatuur en verwarmingsperiode de mechanische eigenschappen zullen beïnvloeden. Een hogere productietemperatuur en langere verwarmingsperiode leveren naar verwachting brosser materiaalgedrag; een hogere buigtreksterkte en lagere rek bij breuk. De hogere holle ruimte van het Lynpave-WAB levert naar verwachting een lagere score bij de water- en vorstgevoeligheid.

8

VERWIJZINGEN

- [1] Deltares; Infram Hydren, „Resultaten KCW als input voor eisen warm WAB (KCW werkpakket 7 onderdeel 2),” Wetterskip Fryslân; KCW, 2026.
- [2] M. v. d. Ven, „Foto impressie proefvak_MV,” Delft, 2025.
- [3] Heijmans, „Rapportage proefvakken WAB,” Heijmans, 2025.
- [4] Ven, Martin van de, „Proefvakken Lauwersmeer_OKT_2025_verslag uitvoering,” 2025.
- [5] Deltares; Infram Hydren, „Onderzoek sterkte-eigenschappen dijkvakken met asfaltgranulaat (KCW werkpakket 7 onderdeel 1),” Wetterskip Fryslân; KCW, 2025.



BIJLAGEN

BIJLAGE A

TEMPERATUURVERANDERINGEN

UITVOERINGSPROCES

PROEFVAK 1:

Tabel 0.1 Overzichtstabel met het gemiddelde en standaarddeviatie (SD) voor elke vracht in proefvak 1.
De temperatuurmetingen komen uit de uitvoeringsprocessen: Productie, Voor het profileren en Na het profileren.
De laatste kolom geeft de periode in uren van einde productie mengsel tot en met transport (verwarmingsperiode).

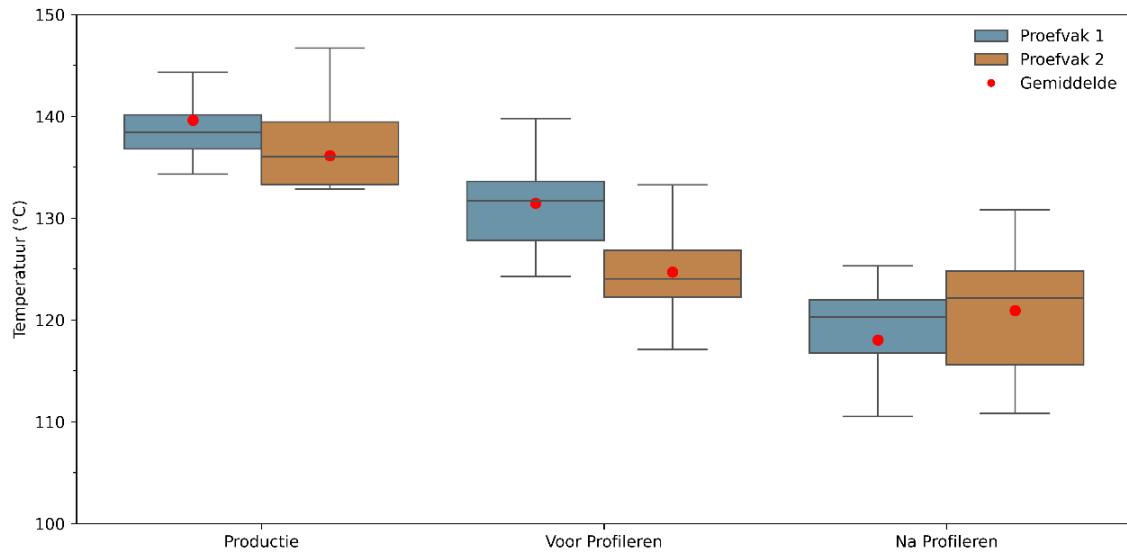
PV1 Vrachtnr.	Productie [°C]		Voor profileren [°C]		Na profileren [°C]		Verwarmingsperiode [uur]
	gem.	st.dev.	gem.	st.dev.	gem.	st.dev.	
1-1	134,3	4,4	132,6	5,7	110,5	14,5	0,9
1-2	144,3	4,8	136,7	9,1	121,4	11,7	1,1
1-3	138,7	7,1	131,6	8,9	119,3	7,4	1,0
1-4	137,3	3,0	127,0	12,7	118,8	3,3	1,2
1-5	138,1	2,4	128,1	5,3	103,8	19,0	3,2
1-6	138,8	7,4	124,3	8,8	121,3	7,1	3,6
1-7	135,4	7,3	131,8	10,6	125,3	5,2	1,7
1-8	150,0	4,7	139,8	8,0	123,8	8,1	2,4
Totaal	139,8	7,6	131,5	10,1	118,0	12,7	1,9

PROEFVAK 2:

Tabel 0.2 Overzichtstabel met het gemiddelde en standaarddeviatie (SD) voor elke vracht in proefvak 2.
De temperatuurmetingen komen uit de uitvoeringsprocessen: Productie, Voor het profileren en Na het profileren.
De laatste kolom geeft de periode in uren van einde productie mengsel tot en met transport (verwarmingsperiode).

PV2 Vrachtnr.	Productie [°C]		Voor profileren [°C]		Na profileren [°C]		Verwarmingsperiode [uur]
	gem.	st.dev.	gem.	st.dev.	gem.	st.dev.	
2-1	146,7	6,9	125,3	10,2	130,0	10,1	16,1
2-2	141,3	1,6	123,8	6,9	123,0	6,3	16,1
2-3	133,4	4,1	131,6	8,9	130,8	8,1	1,8
2-4	124,0	2,8	119,0	5,0	123,1	5,0	2,2
2-5	136,6	1,3	133,3	17,8	111,5	7,2	4,6
2-6	135,5	1,1	124,3	8,8	121,3	7,1	4,7
2-7	138,9	1,5	123,4	10,8	117,0	6,4	6,7
2-8	132,9	2,5	117,1	6,4	110,8	5,1	7,1
Totaal	136,0	7,1	124,7	11,3	120,9	10,0	7,4

Figuur 0.1 Box-plots van de gemiddelde temperatuur van de verschillende vrachten in een betreffend proefvak voor de uitvoeringsprocessen: Productie (asfaltcentrale), voor het profileren en na het profileren. De rode stip representeert de gemiddelde temperatuur van alle gemeten waarde tijdens het proces.



BIJLAGE B

WAB-SAMENSTELLINGEN

PROEFVAK 1:

Tabel 0.3 Overzichtstabel met het gemiddelde en standaarddeviatie (SD) van asfaltmengsel samenstelling verhoudingen per vracht voor proefvak 1.

PV1	Zand		Steen (8/10)		Eigenvulstof		Wigro		Bitumen 160/220		PR warm		Totale Massa
	gem	st.dev.	gem	st.dev.	gem	st.dev.	gem	st.dev.	gem	st.dev.	gem	st.dev.	
1-1	20,3%	0,8%	24,9%	2,7%	1,0%	0,1%	1,8%	0,1%	2,9%	0,2%	49,1%	1,6%	100,0%
1-2	20,3%	0,1%	23,8%	0,4%	1,0%	0,0%	1,9%	0,0%	3,0%	0,0%	50,0%	0,3%	100,0%
1-3	20,3%	0,5%	23,8%	2,7%	1,0%	0,1%	1,9%	0,0%	3,2%	0,1%	49,8%	1,9%	100,0%
1-4	20,2%	0,1%	23,6%	0,1%	1,0%	0,0%	1,9%	0,0%	3,2%	0,0%	50,1%	0,2%	100,0%
1-5	20,3%	0,1%	23,9%	0,2%	1,0%	0,0%	1,9%	0,0%	3,2%	0,0%	49,7%	0,4%	100,0%
1-6	20,3%	0,3%	23,8%	0,5%	1,0%	0,0%	1,9%	0,0%	3,2%	0,0%	49,8%	0,6%	100,0%
1-7	20,3%	0,5%	23,8%	0,7%	1,0%	0,0%	1,9%	0,1%	3,2%	0,1%	49,8%	0,6%	100,0%
1-8	20,2%	0,3%	23,9%	1,5%	1,0%	0,0%	1,9%	0,0%	3,2%	0,0%	49,8%	1,1%	100,0%

PROEFVAK 2:

Tabel 0.4 Overzichtstabel met het gemiddelde en standaarddeviatie (SD) van asfaltmengsel samenstelling verhoudingen per vracht voor proefvak 2.

PV2	Zand		Steen (8/10)		Eigenvulstof		Wigro		Bitumen 160/220		PR warm		Totale Massa
	gem	st.dev.	gem	st.dev.	gem	st.dev.	gem	st.dev.	gem	st.dev.	gem	st.dev.	
2-1	25,4%	0,6%	19,5%	1,7%	0,8%	0,1%	1,1%	0,0%	3,4%	0,1%	49,6%	1,1%	100,0%
2-2	25,3%	0,5%	19,4%	1,7%	0,8%	0,1%	1,1%	0,0%	3,4%	0,1%	49,8%	1,1%	100,0%
2-3	25,3%	1,0%	19,9%	3,2%	0,8%	0,0%	1,1%	0,0%	3,4%	0,1%	49,3%	2,0%	100,0%
2-4	25,4%	0,7%	19,0%	1,5%	0,8%	0,0%	1,1%	0,0%	3,4%	0,1%	50,1%	1,3%	100,0%
2-5	25,4%	0,9%	19,4%	2,1%	0,8%	0,0%	1,0%	0,1%	3,4%	0,1%	49,8%	1,1%	100,0%
2-6	25,3%	0,5%	19,5%	1,4%	0,8%	0,0%	1,1%	0,0%	3,4%	0,1%	49,7%	0,8%	100,0%
2-7	25,6%	0,4%	18,8%	0,5%	0,8%	0,0%	1,0%	0,0%	3,4%	0,1%	50,2%	0,4%	100,0%
2-8	25,5%	0,2%	19,2%	0,2%	0,8%	0,0%	1,1%	0,0%	3,4%	0,0%	49,8%	0,1%	100,0%



BIJLAGE C

WAARNEMINGEN BIJ AANLEG PROEFVAKKEN WARM WAB LAUWERSMEERDIJK

Waarnemingen bij aanleg proefvakken warm WAB Lauwersmeerdijk

Op 6 t/m 8 oktober zijn drie proefvakken aangelegd op de Lauwersmeerdijk waarvan twee met warm WAB in plaats van heet WAB. Dit verslag is opgesteld door Arjan de Looft op basis van waarnemingen die op 6 en 8 oktober zijn gedaan. De belangrijkste kenmerken van de proefvakken zijn gegeven in tabel 1.

Tabel 1: kenmerken van de proefvakken

Kenmerk	Waarde
Lengte	100 m ¹
Breedte	5,35 m ¹
Dikte	Minimaal 0,15m ¹ (rekenen met 0,165 m ¹)
Massa (WAB)	237 ton
Taludhelling	1:3

Op maandag 6 oktober is een proefvak aangelegd met hetzelfde mengsel dat in het gehele project is toegepast. De enige aanpassing is dat de productietemperatuur is verlaagd naar circa 140 graden. Op dinsdag 7 oktober is een vak aangelegd met hetzelfde mengsel en een reguliere productietemperatuur van circa 165 graden. Op woensdag 8 oktober is een proefvak met Lynpave WAB aangelegd. Hier is de productietemperatuur verlaagd naar 120-140 graden en is het mengsel geproduceerd volgens de Lynpave methode, d.w.z. er is een olie aan toegevoegd om de viscositeit van het mengsel te verhogen. In dit document zijn de waarnemingen beschreven tijdens bezoeken op 6 en 8 oktober.

Weersomstandigheden

Op beide dagen was het rustig weer en waren de omstandigheden gunstig. Het is beide dagen overwegend droog geweest. Op woensdag 8 oktober heeft het kortstondig gemiezerd. De temperatuur was circa 10-15 graden Celsius en er was op beide dagen westenwind. Door de oriëntatie van de proefvakken, de dijknormaal is Noordoost, kon er worden gewerkt in de luwte van de dijk.

Warm WAB zonder additieven (6 oktober)

Lossen van de vrachtwagen

Bij het lossen van de vrachtwagen viel het op dat het asfalt enigszins klontert. Bij het meten van de asfalttemperatuur na het lossen, viel het op dat er soms grote temperatuurverschillen van circa 20 graden Celsius in dezelfde bult aanwezig zijn. Mogelijk is dit veroorzaakt doordat de charges bij productie een verschillende temperatuur hadden.

Profileren en verdichten van het asfalt

Het spreiden van het asfalt met de kraan ging zonder problemen. Hetzelfde geldt voor het handwerk dat met de hark werd gedaan. Ter plaatse van de randen van het vak wordt het asfalt handmatig op de gewenste hoogte gebracht, voorafgaand aan het profileren met de bak van de kraan. Verwacht werd dat dit erg zwaar zou gaan en daardoor problematisch zou zijn. Dit viel echter erg mee. Volgens de betrokkenen was het handwerk nauwelijks zwaarder dan wat men gewend was bij het heet WAB. Met de bak van de kraan wordt het WAB glad afgewerkt en voorverdicht. Hierna vindt de verdichting plaats door te walsen totdat de gewenste holle ruimte in het asfalt is bereikt. In de fotobijlage is het proces inzichtelijk gemaakt. Bij het warm WAB zonder additieven waren weinig walsgangen nodig, vergelijkbaar met het heet WAB.

Temperatuurmetingen tijdens de aanleg

Direct na het lossen van een vrachtwagen werd de temperatuur van het asfalt gemeten door 5x op willekeurige plaatsen in de hoop asfalt te meten. Opvallend was dat de variatie in temperatuur soms groot was. Hierna werd het asfalt gespreid en geprofileerd. Direct na het profileren werd de temperatuur in de laag weer gemeten. Ook tijdens het walsen is de temperatuur in het asfalt steeds geregistreerd. Hierbij moet worden bedacht dat er altijd een variatie in de meetresultaten ontstaat. Er ontwikkelt zich over de hoogte een temperatuurgradiënt in het asfalt. De temperatuur zal in het midden van de laag het langst hoog blijven en koelt het snelst af aan de bovenzijde. Maar ook aan de onderzijde koelt de laag harder af dan in het midden. De voeler van de thermometer zal nooit exact op dezelfde diepte worden geplaatst bij het meten. Dit veroorzaakt verschillen van enkele graden in de meetresultaten.

Warm WAB met Lynpave

Op 8 februari is het proefvak met Lynpave aangebracht. Bij het lossen van de vrachtwagen viel het op dat het materiaal niet klontert maar mooi uit elkaar valt. Ook leek het iets meer te glimmen dan het warm WAB zonder additieven. Het verwerken en profileren ging vergelijkbaar met dat van het warm WAB zonder additieven: Het kostte nauwelijks extra moeite ten opzichte van het WAB. Het walsen ging moeizamer. Er moest langer worden doorgewalst en de gewenste verdichtingsgraad werd niet gehaald. Direct na het profileren leek het asfalt nog te veel te vervormen zonder te verdichten. Mogelijk is te vroeg gestart met het walsen.



Fotobijlage aanleg proefvakken Lauwersmeerdijk



Figuur 1 Lossen van het asfalt uit de vrachtwagen en direct meten van de asfalttemperatuur



Figuur 2 Detail temperatuurmetering. Dit wordt steeds 5x gedaan direct na het lossen



Figuur 3 Aanbrengen van het asfalt in het vak met de bak van de kraan



Figuur 4 Het op hoogte brengen van het asfalt met de hark



Figuur 5 Profileren van het asfalt



Figuur 6 Temperatuurmeting direct na het profileren



Figuur 7 Meting van de oppervlaktetemperatuur met infrarood



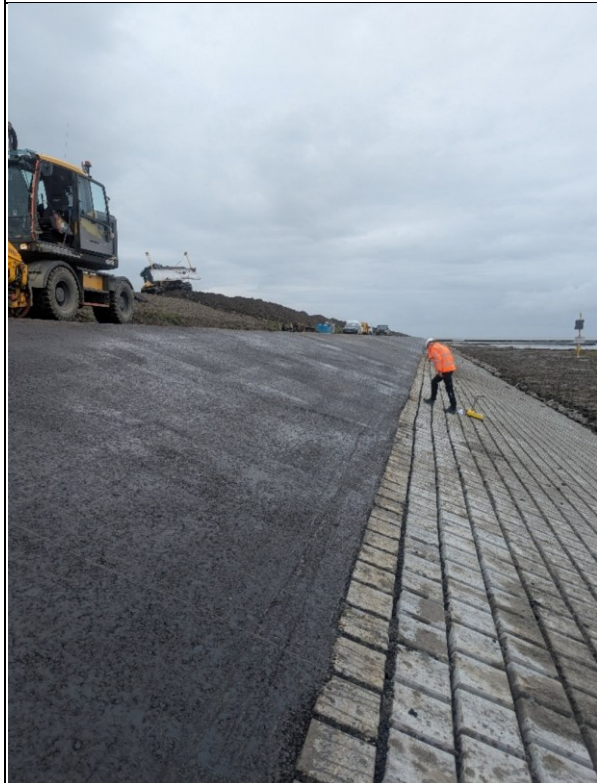
Figuur 8 Vergelijking van twee metingen van de asfalttemperatuur. De thermometers zelf kunnen enigszins afwijkende resultaten geven maar verschillen in positie van de sensoren in de asfaltlaag geven waarschijnlijk grotere afwijkingen



Figuur 9 Temperatuurmeting tijdens het walsen



Figuur 10 Walsen van de overgang met de berm



Figuur 11 Resultaat na het walsen



Figuur 12 Detail van het oppervlak



Figuur 13 Daglas aan het einde van het proefvak



Figuur 14 Aanbrengen van het laatste deel van het proefvak



Figuur 15 Aansluiting op het volgende vak (daglas)



Figuur 16 Overzicht van het eindresultaat