

Het effect van de verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie op de kwaliteit van het asfalt



Bachelor Eindopdracht

Muzaffer Bahçeci, s1392697

23-7-2015

UNIVERSITEIT TWENTE.



Titel: 'Het effect van de verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie op de kwaliteit van het asfalt'

Auteur: Muzaffer Bahçeci
m.bahceci@student.utwente.nl
muzafferbahceci@live.nl

+31 637 33 67 32

Groenteweg 37

2525JT Den Haag

Student nr.: s1392697

Opleiding: Civiele Techniek en Management
Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Universiteit Twente

Begeleiders: Dr.ir. S.R. Miller (1^e interne UT-begeleider)

s.r.miller@utwente.nl

+31 6 2350 8491

P.O. Box 217

7500 AE Enschede

Ing. G.H. Snellink (2^e interne UT-begeleider)

g.h.snellink@utwente.nl

+31 53 489 2565

Postbus 217

7500 AE Enschede

Ir. Berwich Sluer (externe begeleider van Boskalis Nederland Infra B.V.)

berwich.sluer@boskalis.com

+31 653 495 700

+31 252 628 628

Pondweg 1

2153PK Nieuw-Vennep

Stafleden: Jolanthe Schretlen
Dr. Hans Voordijk
Joep Schijns

Voorwoord

Voor het afronden van mijn studie Civiele Techniek en Management aan de Universiteit Twente is dit rapport tot stand gekomen. In dit onderzoek wordt er gekeken naar het effect van het aantal walsovergangen op de kwaliteit van het asfalt. Voor het uitvoeren van mijn onderzoek ben ik via ASPARI (Asfalt Sector Professionalisering, Research & Innovatie op de Universiteit Twente) bij Boskalis Nederland Infra B.V. te Nieuw-Vennep terechtgekomen. Hierbij wil ik Boskalis Nederland Infra bedanken voor het gebruik van het QRS-lab en de begeleiding tijdens mijn afstudeeronderzoek. Ten eerste wil ik Berwich Sluer bedanken voor zijn begeleiding en zijn feedback op mijn verslagen. Daarnaast wil ik de laboranten Rens, Thomas en hoofdlaborant Mohammed bedanken voor het uitvoeren van mijn laboratoriumonderzoek. Verder ben ik een dankwoord verschuldigd aan mijn begeleiders Seirgei Miller en Gerrit Snellink vanuit de Universiteit Twente. Bovendien wil ik mijn familie bedanken voor het ondersteunen van mijn onderzoek. Als laatste wil ik mijn beste vriendin Busra bedanken voor haar vertrouwen.

Muzaffer Bahçeci

Nieuw-Vennep, juli 2015

Samenvatting

De asfaltkwaliteit is afhankelijk van meerdere parameters. Maar binnen dit onderzoek worden er gekeken naar twee parameters: verdichtingstemperatuur en verdichtingsenergie (walsovergangen). Onder ongunstige temperaturen en bij onvoldoende verdichting is de streefdichtheid van het asfalt niet meer te halen. Een lage dichtheid betekent een lage kwaliteit. Om het effect van het aantal walsovergangen op de kwaliteit van het asfalt te bepalen wordt er vanuit ASPARI (de organisatie omtrent het asfalt vanuit Universiteit Twente) een onderzoek voorgesteld. Vervolgens wordt dit onderzoek mede mogelijk gemaakt door het bedrijf Boskalis Nederland Infra B.V. te Nieuw Vennep.

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van het effect van de verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie op de kwaliteit van het asfalt. Om dit te kunnen bepalen worden er 6 asfaltplaten vervaardigd met 2 verschillende aantal walsovergangen en met 3 verschillende temperatuursintervallen. Te onderzoeken asfaltmengsel is AC 481 surf(deklaag) omdat dit asfaltmengsel vooral bij snelwegen wordt aangelegd. Om de verdichtingsvensters van het asfaltmengsel vast te kunnen stellen wordt er eerst een verwerkbaarheidsproef uitgevoerd. Hieruit wordt er geconcludeerd dat de verdichting vanaf de temperatuur van 126 °C tot 82 °C plaatsgevonden dient te worden. Na 82°C is het asfaltmengsel moeilijk te verdichten. Dit punt wordt het omslagpunt van het asfalt genoemd. Nadat de asfaltplaten vervaardigd zijn, worden er 16 proefstukken uit elke plaat geboord. Vervolgens worden de proefstukken boven en onderwater gewogen voor de dichtheidsbepalingen. Na het bewerken van de proefstukken worden er triaxiaal- en splijtproeven uitgevoerd.

De resultaten van het laboratoriumonderzoek zijn het volgende:

- Dichtheidsberekeningen: De asfaltplaat die boven het omslagpunt (82 °C) met 20 walsovergangen verdicht is, krijgt een hogere dichtheid vergeleken met asfaltplaten met 12 walsovergangen. Daarnaast krijgt de asfaltplaat hogere dichtheid bij verdichtingstemperatuur boven het omslagpunt.
- Splijtproef(watergevoeligheid): Uit de splijtproef resultaten kwam ook hetzelfde resultaat naar voren. De asfaltplaat die bij verdichtingstemperatuur boven het omslagpunt en met 20 walsovergangen verdicht is, heeft een hogere weerstand tegen de afschuiving(treksterkte). Naarmate de verdichtingstemperatuur onder het omslagpunt komt, neemt de treksterkte af. Daarnaast heeft het aantal walsovergangen ook hetzelfde effect. 20 walsovergangen hebben een positief effect op de kwaliteit van het asfaltmengsel vergeleken met 12 walsovergangen.
- Triaxiaalproef(permanente vervorming): Ook uit deze proef kwam er dezelfde conclusies die hierboven beschreven zijn, naar voren.

Na het afloop van dit onderzoek wordt er geconcludeerd dat de verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie een positief effect op de asfaltkwaliteit hebben. Na het bereiken van streefdichtheid dient het asfaltmengsel nog paar keer nagewalst te worden tot het omslagpunt. De verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie zijn afhankelijk van het soort mengsel.

Aanbeveling voor een vervolg onderzoek zijn het volgende:

- Voor een vervolgonderzoek kunnen er RFID sensoren ingezet worden voor het meten van de verdichtingstemperatuur en de verdichtingsdruk mits ze beschikbaar zijn op de markt.
- Omdat de dichtheidsprogressie niet gemeten is wegens het gebrek aan de tijd en materieel(bv. plaatverdichter), wordt er het energieverbruik van het asfalt niet berekend. Voor een vervolg onderzoek wordt er aanbevolen om dichtheidsprogressie wel te berekenen.

1 Inhoudsopgave

1.	Inleiding	1
1.1.	Doelstelling.....	2
1.2.	Projectkader	2
1.3.	Planning	2
1.3.1.	Balkenplanning	3
1.3.2.	Risico's	3
2.	Theoretisch Kader	4
2.1.	The Process Quality Improvement (PQi)	4
2.2.	Cooling Curve Calibration Unit	4
2.3.	Bestaande meetapparaten.....	5
2.3.1.	Warmtebeeldcamera's	5
2.3.2.	Linescanner.....	5
2.3.3.	Thermokoppels.....	6
2.3.4.	Nucleair dichtheidsmeter	6
2.4.	Het asfaltmengsel.....	6
2.5.	De verdichtingstemperatuur	6
2.6.	De verwerkbaarheid van het asfaltmengsel.....	7
2.7.	Walsovergangen	8
2.8.	Onderzoeksvragen.....	10
2.9.	Hypotheses	10
2.10.	Onderzoeksmethode	10
2.11.	Onderzoeksmodel	12
3.	Empirische Onderzoek.....	13
3.3.	Verwerkbaarheidskarakteristiek van het asfaltmengsel	13
3.4.	Temperatuur.....	14
3.5.	Walsovergangen	16
3.6.	Splijtproef	16
3.7.	Triaxiaalproef.....	17
4.	Conclusie	18
5.	Aanbevelingen	19
6.	Bibliografie.....	20
	Bijlage A : Inweegstaat van het asfaltmengsel	22

Bijlage B: Dichtheden van de proefstukken	23
Bijlage C: Verwerkbaarheidsmeter.....	25
Bijlage D: Temperatuurverloop van de asfaltplaten	26
Bijlage E: Splijtproef (Watergevoeligheid)	29
Bijlage F: Triaxiaalproef (Vervorming).....	31
Bijlage G: Afbeeldingen van het onderzoek	32

Figurenlijst

Figuur 1 Boskalis kwaliteitsonderzoek bij N207	1
Figuur 2 Balkenplanning	3
Figuur 3 The process quality improvement (PQi) cycle.....	4
Figuur 4 De vergelijking van de asfalttemperatuur, aantal walsovergangen & nucleair dichtheid (Miller, 2010)	5
Figuur 5 IR camera Bron:warmtebeeld-camera.nl.....	5
Figuur 6 Linescanner	5
Figuur 7 Thermokoppels.....	6
Figuur 8 Nucleair dichtheidsmeter(Tonne, 2008)	6
Figuur 9 Afkoeling van het asfaltmengsel (Timm et al., 2001).....	7
Figuur 10 Verwerkbaarheidskarakteristieken proefserie IV bij 15 RPM, gemiddeld per graad; Poeran (2012)	8
Figuur 11 Verwerkbaarheidsmeter	8
Figuur 12 De verdichting met trillende wals	9
Figuur 13 Splijtproef opstelling	11
Figuur 14 Triaxiaalproef opstelling.....	11
Figuur 15 Onderzoeksmodel	12
Figuur 16 Weerstand vs. temperatuur	13
Figuur 17 Temperatuur vs. tijd	14
Figuur 18 Weerstand vs. tijd	14
Figuur 19 De dichtheden van proefstukken	15
Figuur 20 Temperatuur vs. tijd	15
Figuur 21 Temperatuur vs. tijd	16
Figuur 22 De gemiddelde dichtheden voor verschillende walsovergangen en de temperatuursintervallen	16

Tabellenlijst

Tabel 1 Risico's en beheersmaatregelen.....	3
Tabel 2 De resultaten van de PQi methode	4
Tabel 3 Splijtproef resultaten.....	17
Tabel 4 Triaxiaalproef resultaten	17

1. Inleiding

De weginfrastructuur dient altijd aandacht te krijgen in ontwikkelde landen om het verplaatsen van de mensen, goederen en informatie mogelijk te maken. Volgens Ter Heurne(2004) vormt de mobiliteit een cruciale conditie voor de sociale en culturele ontwikkeling van de mensen en de maatschappij. Hiervoor investeert de Nederlandse overheid jaarlijks veel geld in de infrastructuur om het land goed bereikbaar te houden, bijv. € 982 mln. in 2014 (Minister van Financien, 2014). Om de bereikbaarheid te waarborgen wordt het netwerk steeds vergroot. Naast de grootte van het netwerk wordt de kwaliteit van de infrastructuur ook belangrijk gezien door de overheid. Binnen de infrastructuur is het asfalt onmisbaar. Het asfalt wordt van wegen tot fietspaden overal in Nederland aangelegd. Als ontwikkelde land in Nederland hebben de autosnelwegen een technische levensduur tussen 30 en 40 jaar (VBW Asfalt, 2005). Elk land streeft naar een lange levensduur van asfaltwegen om kosten te besparen en zo min mogelijk vertraging te hebben tijdens de onderhoudswerkzaamheden. Om een lange levensduur te hebben dient de asfaltkwaliteit hoog te zijn.

De asfaltkwaliteit wordt beïnvloed door meerdere parameters. Maar in dit onderzoek zijn twee parameters beschouwd: de verdichtingsenergie en de verdichtingstemperatuur van het asfalt(Bijleveld, 2010). Voor een goede kwaliteit van het asfalt dienen deze twee parameters gemonitord te worden om verdichtingsstrategie tegelijkertijd aan te kunnen passen. Het monitoren van de verdichtingsenergie en verdichtingstemperatuur kost moeite. De verdichtingsenergie van het asfalt is niet te monitoren op het veld. Daarentegen zijn er bepaalde meetapparaten beschikbaar voor het meten van de temperatuur van het asfalt. Het verloop van de asfalttemperatuur wordt gemeten door linescanner, infrarood camera's en thermokoppels(Bijleveld, 2010). Het monitoren van de druk en de temperatuur kosten aanzienlijk tijd en personeel. Daarnaast worden er dure apparaten aangeschaft voor het registreren van de asfalttemperatuur.

Nu luidt de vraag of de metingen betrouwbaar zijn. De betrouwbaarheid van de metingen is afhankelijk van de weeromstandigheden en het personeel dat de meting gaat verrichten. Bij ongunstige omstandigheden(bijv. slechte weer) worden de metingen minder betrouwbaar. Een onbetrouwbare meting kan een negatief effect op de walsstrategieën hebben en vervolgens een negatief effect op de kwaliteit van het asfalt. Volgens Ter Heurne (2004) hebben de minder gunstige omstandigheden een negatief effect op de kwaliteit van asfalt.



Figuur 1 Boskalis kwaliteitsonderzoek bij N207

Om onder de ongunstige omstandigheden de verdichtingstemperatuur en verdichtingsdruk zo nauwkeurig mogelijk te monitoren worden de RFID sensoren voorgesteld door de deskundigen. RFID sensoren kunnen in het asfalt gezet worden om verdichtingstemperatuur en verdichtingsdruk van het asfalt te registreren. Vervolgens wordt de geregistreerde data verzonden naar walsmachinist voor een gewenste niveau van de verdichting. Hiermee kan de beoogde kwaliteit van het asfaltmengsel bereikt worden. Als de walsmachinist geen real-time informatie ter beschikking heeft, dient hij zelf het verdichtingsvenster te bepalen (Vasenev et al., 2012). Een verkeerde bepaling kan leiden tot een slechte kwaliteit van het asfalt.

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van het effect van de verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie op de kwaliteit van het asfalt. Voor het bepalen van dit effect wordt er eerst een literatuuronderzoek gedaan omtrent de asfaltkwaliteit, onderzoeksvragen, onderzoeksmethodiek en onderzoeksmodel. Het literatuuronderzoek wordt opgenomen in hoofdstuk 2 theoretisch kader. Vervolgens in hoofdstuk 3 wordt het resultaat van het laboratoriumonderzoek gepresenteerd. In hoofdstuk 4 wordt de conclusie opgenomen en als laatste in hoofdstuk 5 wordt er een aantal aanbevelingen gedaan.

1.1. Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het bepalen van het effect van de verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie op de kwaliteit van het asfalt. Later in een verder onderzoek wordt er ook naar de bruikbaarheid van de RFID sensoren gekeken of geregistreerde data in de RFID sensoren voor een lange tijd worden bewaard.

1.2. Projectkader

Het bepalen van het effect van het aantal walsovergangen op de kwaliteit van het asfalt door middel van de RFID sensoren in het asfaltmengsel vereist een lange onderzoeksperiode van ± 2 jaar. Voor deze eindopdracht is er slechts 10 weken beschikbaar voor het afronden van dit onderzoek. Wegens het gebrek aan tijd richt het onderzoek zich vooral op de meetgegevens die in het laboratorium gekregen worden. Na de analyse van de meetgegevens zal er een veldonderzoek plaatsvinden voor het bepalen van de bruikbaarheid van de sensoren in de praktijk als er genoeg tijd en middelen beschikbaar zijn.

1.3. Planning

Het opstellen van een tijdsplanning is belangrijk voor omvangrijke projecten om een overzicht te krijgen van de activiteiten. Een balkenplanning is hiervoor uitermate geschikt. Naast een tijdsplanning dienen de risico's ook in kaart gebracht te worden om het project zonder vertraging optimaal te laten verlopen als de risico's op gaan treden.

1.3.1. Balkenplanning

Het onderzoek zal ongeveer 10 weken tijd in beslag nemen. De tijd van elke activiteit is niet definitief maar een schatting. Er dient rekening gehouden te worden met eventuele uitlooptijd van de activiteiten. De verslaglegging is een onafgebroken activiteit die plaatsvindt vanaf het begin tot het eind van het onderzoekstraject. In Figuur 2 wordt de balkenplanning in details uitgewerkt.

Activiteit/ Tijd	wk 19	wk 20	wk 21	wk 22	wk 23	wk 24	wk 25	wk 26	wk 27	wk 28	wk 29	wk 30
	4-mei	11-mei	18-mei	25-mei	1-jun	8-jun	15-jun	22-jun	29-jun	6-jul	13-jul	20-jul
Onderzoek voorbereiden												
Mengsel voorbereiden												
Mengsel inwegen												
Asfaltmengsel maken												
Kernen boren & inwegen												
Kernen bewerken & inwegen												
Kernen bewaren												
Kernen beproeven												
Conceptverslag inleveren												
Feedbackgesprek met begeleider												
Feedback verwerken												
Reflectieverslag inleveren												
Presentatie voorbereiden												
Eindverslag inleveren												
Verslaglegging												

Figuur 2 Balkenplanning

1.3.2. Risico's

Afhankelijk van het soort en de grootte van het project zijn er verschillende risico's te beschrijven. Voor dit onderzoek worden er de volgende risico's met de beheersmaatregelen in Tabel 1 gezet.

Risico	Oorzaak	Maatregel
Uitloop	Ziekte van de student	Buffer in planning
Uitloop	Tentamen van de student	Buffer in planning
Uitloop	De drukte in het lab	Buffer in planning
Dataverlies	Storing van het systeem	Online opslagprogramma

Tabel 1 Risico's en beheersmaatregelen

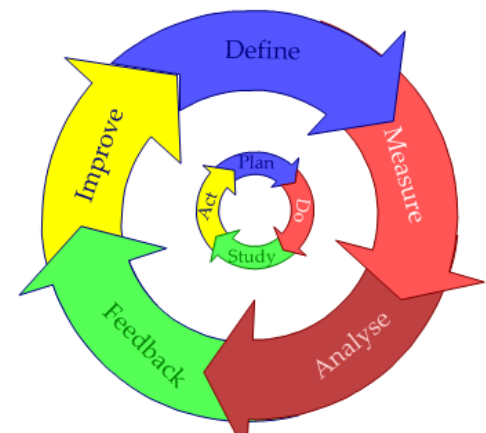
2. Theoretisch Kader

In dit hoofdstuk zal het theoretisch kader toegelicht worden. In het theoretisch kader wordt er met name ingegaan op het effect van het aantal walsovergangen op de kwaliteit van het asfalt. Eerst zal de process quality improvement (PQi) methode van Miller (2010) besproken worden. De meetapparaten die in de PQi methode te gebruiken zijn, worden geïnventariseerd en hun werkingwijze wordt uitgelegd. Na de PQi methode kwam het literatuuronderzoek van de asfaltverdichting aan bod. Vervolgens volgt het onderzoekskader waarin onderzoeksvragen, hypothesen, onderzoeksmethodiek en onderzoeksmodel besproken zal worden.

2.1. The Process Quality Improvement (PQi)

Process quality improvement (PQi) methode wordt in de studie van Miller (2010) naar voren gebracht. Het doel van deze methode is het verbeteren van de proceskwaliteit door het monitoren van het asfaltverwerkingsproces en het maken van operationele gedrag expliciet (Miller, 2010). Een PQi methode zoals weergegeven in Figuur 3, bestaat uit 5 fasen:

- Definiëren: in deze fase worden de metingsmethodiek, te monitoren asfaltproces en de belangrijke parameters gedefinieerd.
- Meten: De belangrijke parameters worden gemeten in deze fase en de resultaten van de metingen wordt verzameld.
- Analyseren: De verkregen data uit de metingen wordt geanalyseerd. De visualisaties en de animaties worden voorbereid.
- Feedback: Alle resultaten worden besproken met alle betrokkenen
- Verbeteren: Aan de hand van de feedback wordt er verbetervoorstellen gedaan.



Figuur 3 The process quality improvement (PQi) cycle

De indirecte en directe resultaten van de PQi methode die door Seirgei Miller (2010) onderzocht is, worden hieronder in het Tabel 2 weergegeven.

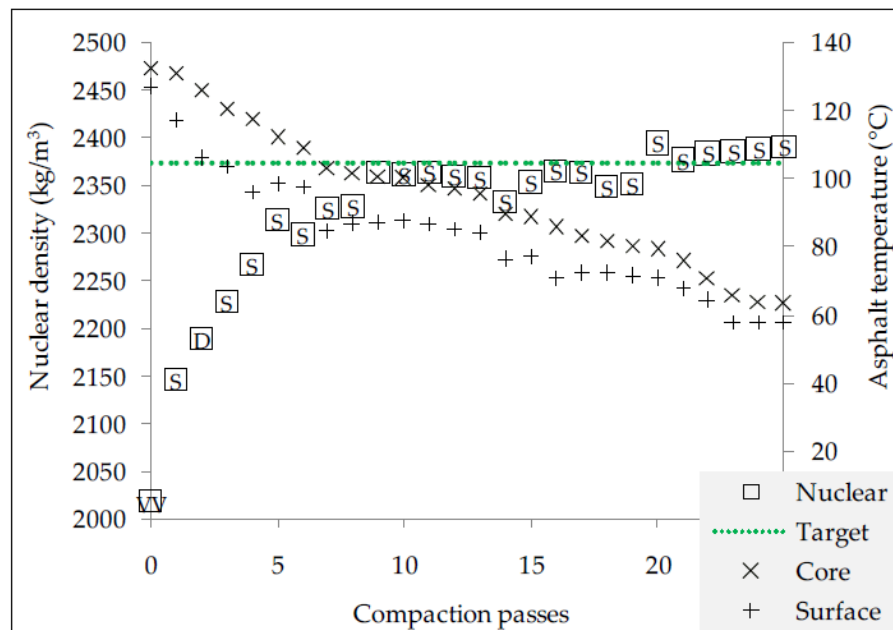
Tabel 2 De resultaten van de PQi methode

Directe resultaten	Indirecte resultaten
- 4D animatie van het gehele proces in de ProPave animatie tool - Het temperatuurverloop in 2D: en de progressie van oppervlakte- en kerntemperatuur tijdens het afkoelen van het asfaltmengsel gecombineerd met kerndichtheidsmetingen - Operationele karakteristieken van de spreidmachine - Indicatoren voor de spreiding in de resultaten en de werkingwijzen - Walsstrategieën - Kwetsbare plekken - Aanbevelingen	- Een documentatie voor het analyseren van toekomstige faalmechanismen - De communicatie in de asfaltploeg verbeteren - Kwaliteit verbetering en vermindering van de risico's - Meer inzicht krijgen tussen de asfaltploegen - Het bewustzijn van de kwaliteit voor alle asfaltploegen - De identificatie en de selectie van best praktijk voor meer uniforme werkwijze

2.2. Cooling Curve Calibration Unit

Cooling Curve Calibration Unit (CCCU) is het bepalen van de relatie tussen de verdichtingsdruk en de verdichtingstemperatuur met de bijbehorende dichtheid (Miller, 2010). Voor het vaststellen van deze relatie zijn er aantal meetapparaten beschikbaar. Een infrarood camera voor het meten van de oppervlaktetemperatuur en de thermokoppels voor het meten van de kerntemperatuur worden hiervoor gebruikt. De nucleair dichtheid van het asfaltmengsel wordt na elke walsovergang gemeten

door middel van de nucleair dichtheidsmeter. Hieronder in het Figuur 4 wordt de relatie van de asfalttemperatuur, aantal walsovergangen & de nucleair dichtheid uitgezet in de grafiek.



Figuur 4 De vergelijking van de asfalttemperatuur, aantal walsovergangen & nucleair dichtheid (Miller, 2010)

2.3. Bestaande meetapparaten

Voor het meten van de asfalttemperatuur gebruikt men warmtebeeldcamera's (infrarood), linescanner en thermokoppels. Het aanschaffen van deze meetapparaten kost aanzienlijk geld en de metingen zijn sterk afhankelijk van de weeromstandigheden. Door deze redenen is er een vraag naar een betrouwbare meetapparaat.

2.3.1. Warmtebeeldcamera's

Warmtebeeldcamera's nemen de infrarode (IR) straling op die door het object uitgezonden wordt. Daarna worden de IR stralingen omgezet in thermische beeld voor het menselijke oog (Thermografie, 2015). Op deze manier wordt de asfalttemperatuur gemeten door de warmtebeeldcamera's. Hiernaast in Figuur 5 is een IR camera te zien. Door zijn grootte en vorm kan deze warmtebeeldcamera overal gebruikt worden met inzet van een personeel. Bij slechte weeromstandigheden kunnen de warmtebeeldcamera's niet nauwkeurig genoeg meten omdat de oppervlaktetemperatuur onder de invloed van de weeromstandigheden kan veranderen.



Figuur 5 IR camera
Bron: warmtebeeld-camera.nl

2.3.2. Linescanner

De linescanner heeft ook dezelfde werkwijze als de warmtebeeldcamera's. Vergeleken met draagbare warmtebeeldcamera wordt de linescanner op het object gemonteerd. Tijdens de aanleg van het asfalt wordt de linescanner achter de spreidmachine geplaatst voor het meten van de verdichtingstemperatuur van het asfalt. Hiermee wordt de temperatuur continu gemonitord. Ook hierin hebben de slechte weeromstandigheden invloed op de nauwkeurigheid van de temperatuurmetingen.



Figuur 6 Linescanner

2.3.3. Thermokoppels

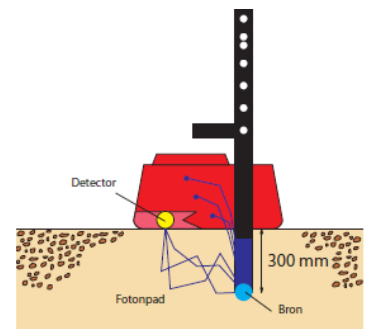
Een ander meetinstrument voor de asfalttemperatuur is thermokoppel. Met een thermokoppel kan de kerntemperatuur in het asfaltmengsel gemeten worden. De twee verschillende metaaldraden meten het temperatuurverschil van twee velden op. Voor het meten van de asfalttemperatuur wordt een metaaldraad in het asfaltmengsel gezet en andere metaaldraad blijft buiten het asfaltmengsel. Met de temperatuurverschillen van deze twee metaaldraden bij verschillende contactpunten wordt de asfalttemperatuur gemeten. Ook hierin hebben de slechte weeromstandigheden invloed op de nauwkeurigheid van de metingen. Een thermokoppel is niet altijd gebruikelijk wegens het uiterst kleine signaal, verouderingsverschijnselen en verstoring van het warmteveld (Wikipedia, 2015).



Figuur 7 Thermokoppels

2.3.4. Nucleair dichtheidsmeter

Nucleair dichtheidsmeter wordt gebruikt voor het meten van de dichtheid van het asfaltmengsel na elke walsovergang. Het apparaat bestaat uit een detector en een stalen stang. Stalen stang is instelbaar van 5 tot 30 cm. Radioactieve bron bevindt zich aan het uiteinde van stalen stang. Deze bron zendt de gammastralen die door de detector ontvangen worden. De detector zet de data om naar de dichtheid van het materiaal (Tonne, 2008). Hiernaast in Figuur 8 is de nucleair dichtheidsmeter te zien.



Figuur 8 Nucleair dichtheidsmeter (Tonne, 2008)

2.4. Het asfaltmengsel

Het asfaltmengsel wordt samengesteld door hoeveelheid steen, zand, vulstof te binden met bitumen (Van der Velden, 2003). Daarnaast kan het asfaltgranulaat die door het frezen van oude asfalt vrijkomt, gebruikt worden voor het asfaltmengsel. Er zijn verschillende asfaltsoorten te onderscheiden die voor verschillende toepassingen ontwikkeld zijn: Dichtasfaltbeton (DAB), Open asfaltbeton (OAB), Steenslagasfaltbeton (STAB), Zeer open asfaltbeton (ZOAB), Steenmastiekasfalt (SMA) (VBW Asfalt, 2000).

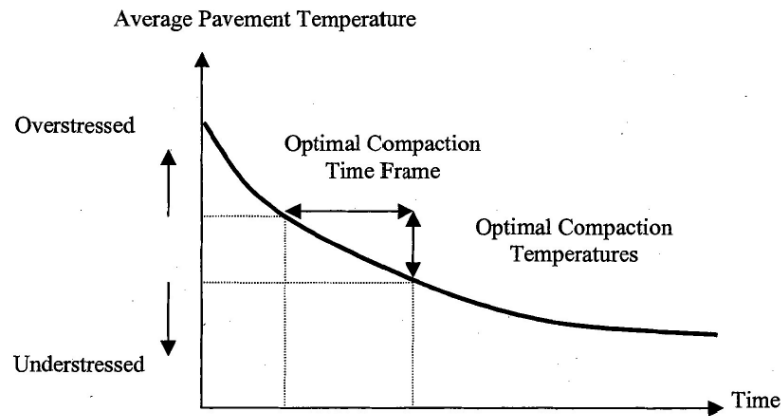
Voor dit onderzoek wordt het asfaltmengsel 'DAB- AC 16 40/60 surf' zonder regeneratieasfalt (PR) gekozen. In de benaming staat het getal '16' voor maximale korreldiameter van 16 mm, surf voor deklaag en 40/60 voor bitumensoort (CROW, 2015). De dichtheid van het mengsel is 2456 kg/m^3 en streefdichtheid is 2379 kg/m^3 . Er zijn verschillende redenen om dit mengsel te gebruiken. Ten eerste heeft dit mengsel relatief weinig holle ruimte (%2-5). Daarnaast wordt dit mengsel vooral aangelegd bij autosnelwegen en wijkontsluitingswegen (CROW, 2015). Hiermee kan de vervorming van het asfalt onder zware belasting onderzocht worden. Dit mengsel wordt voorbereid volgens de NEN-EN 13108 normen. De samenstelling van het mengsel is te vinden in de Bijlage A : Inweegstaat van het asfaltmengsel.

2.5. De verdichtingstemperatuur

De verdichtingstemperatuur is de temperatuur waarop het asfalt verdicht wordt. Volgens Timm et al. (2001) wordt de temperatuur van het asfalt gebruikt om de begintijd van de verdichting te bepalen. Hierdoor wordt de temperatuur als een van de belangrijkste parameters van het asfalt gezien. Want de temperatuur speelt belangrijkste rol bij het verkrijgen van een bepaalde verwerkbaarheid van het asfaltmengsel (Bijleveld, 2010). Omdat bitumen als bindmiddel in het asfalt gebruikt wordt, maakt dit de verwerkbaarheid temperatuurafhankelijk. Bij de opgegeven productietemperatuur is bitumen minder viskeus dan bij lagere temperaturen.

Het asfaltmengsel dient binnen de optimale temperatuur- en tijdsvenster verdicht te worden om hoge kwaliteit te hebben. Voor het bepalen van deze verdichtingsvensters zijn er verschillende tools ontwikkeld; Pavcool (Chadbourn et al, 1998), Calcool (Timm et al, 2001), Heat2 en Wegtem (TU

Delft). In Figuur 9 wordt het onderzoek van Timm et al. (2001) over de afkoeling van het asfaltmengsel gepresenteerd. Hierin valt op te merken dat de temperatuur parabolisch afneemt in het verloop van de tijd. Later in het onderzoek van Poeran (2012) wordt er naar de verdichtingstemperatuur van het asfaltmengsel gekeken m.b.v. een verwerkbaarheidsmeter die de asfalttemperatuur en de weerstand van het asfaltmengsel op een ronddraaiende mengarm continu registreert als functie van de tijd. In het volgende hoofdstuk wordt de werkingwijze van verwerkbaarheidsmeter uitgelegd.

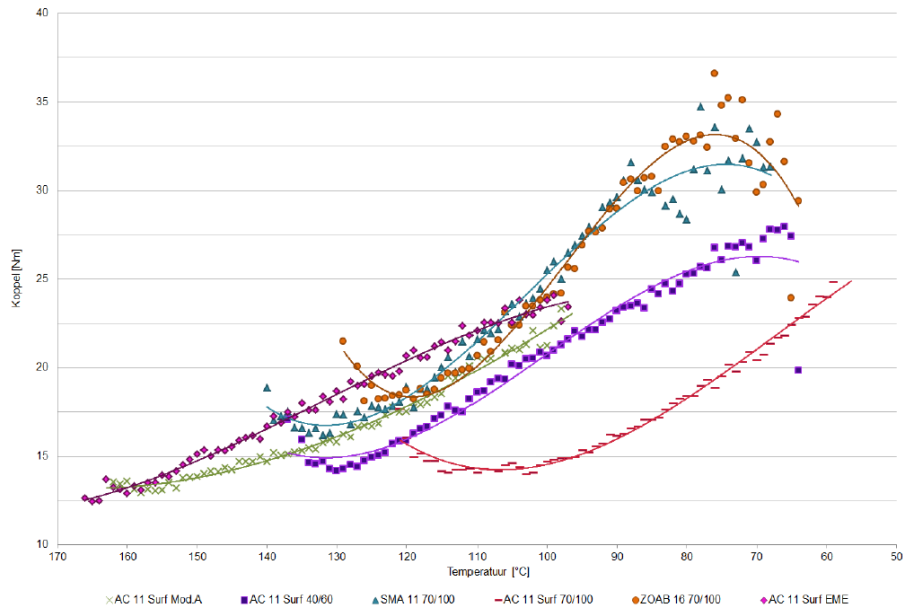


Figuur 9 Afkoeling van het asfaltmengsel (Timm et al., 2001)

2.6. De verwerkbaarheid van het asfaltmengsel

De verwerkbaarheid van het asfaltmengsel speelt een belangrijke rol op de kwaliteit van het asfalt. Met een verwerkbaarheidsproef kunnen de temperatuursintervallen voor de verdichting van een asfaltmengsel bepaald worden. Een slechte verwerking heeft negatief effect op de verdichting en vervolgens op de eindkwaliteit van het asfalt (Poeran et al., 2012). Omdat de bitumen in het asfaltmengsel als bindmiddel gebruikt wordt, maakt deze de kwaliteit van het asfalt temperatuurafhankelijk. Naarmate de temperatuur afneemt, neemt de viscositeit van de bitumen toe. Dit leidt tot afnemende verwerkbaarheid van het asfaltmengsel. De verwachting van deze verwerkbaarheidsproef is dat de weerstand na het verloop van de tijd toe zal nemen totdat het asfaltmengsel dof uitslaat. Het punt waarbij het asfaltmengsel dof uitslaat, wordt het omslagpunt genoemd. Na dit punt neemt de weerstand geleidelijk af. Vanaf dit punt is het asfaltmengsel moeilijk te verdichten.

In het onderzoek van Poeran (2012) wordt naar de meest gunstige temperatuursintervallen voor verwerking per mengsel gekeken. Een verwerkbaarheidsmeter die uit een mengkamer en een star frame bestaan, is hiervoor uitermate geschikt. Het asfaltmengsel wordt gemengd met een mengarm die voorzien van een nauwkeurige koppelmeter is. Met de sensoren worden de weerstand en temperatuur van het asfaltmengsel gemeten. Vervolgens wordt de weerstand tegen de temperatuur uitgezet in een grafiek. Voor dit onderzoek heeft Poeran (2012) 6 asfaltmengsels gemonitord. Uit het Figuur 10 blijkt dat de weerstand aanvankelijk dalend is, omdat het mengsel bij hoge temperaturen goed verwerkbaar is en de menghoogte nog niet bereikt is. Hiermee wordt er weinig kracht uitgeoefend tegen de mengarm. De daling gaat door tot het linkerbuigpunt. Vanaf dit punt neemt de weerstand toe. De bijbehorende temperatuur van dit buigpunt is optimaal om te beginnen met het verdichten. De weerstand loopt op tot het rechterbuigpunt. Vanaf dit moment slaat het asfaltmengsel dof en de verdichtbaarheid van het asfaltmengsel wordt moeilijker.



Figuur 10 Verwerkbaarheidskarakteristieken proefserie IV bij 15 RPM, gemiddeld per graad; Poeran (2012)



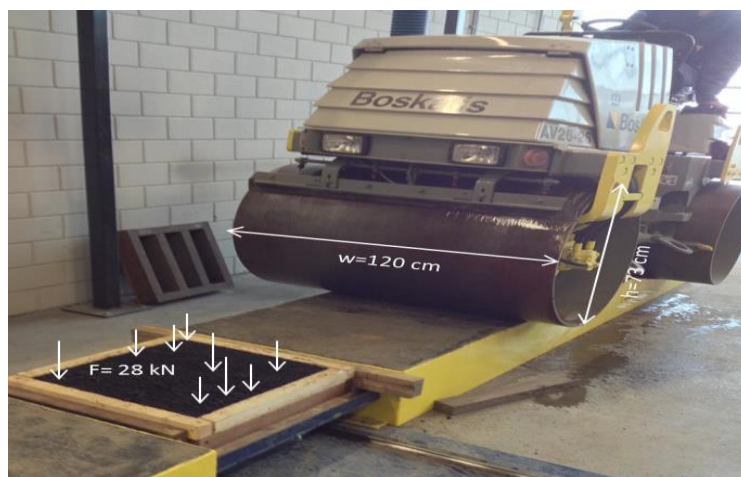
Figuur 11 Verwerkbaarheidsmeter

2.7. Walsovergangen

De verdichting is het samendrukken van de aggregaten dichter bij elkaar waardoor de lucht in de holle ruimte gereduceerd wordt (Bahia et al. 2006). Door de reductie van de holle ruimte neemt de volume van het mengsel af. Volgens Ter Heurne (2004) is de dichtheid hoeveelheid massa in een bepaald volume. Dat betekent een afname in de volume van het mengsel een toename in de dichtheid resulteert. Hiermee kan de beoogde dichtheid behaald worden. Een goede dichtheid heeft positief effect op mengseleigenschappen, bijv. weerstand tegen blijvende vervorming, vochtbestendigheid, stijfheid en vermoeiingseigenschappen (Decker, 2006). Daarentegen leidt een slechte dichtheid tot scheuren, rafeling en minder bestandheid tegen de vocht (Decker, 2006). Het bereiken van de beoogde dichtheid is het hoofddoel van de verdichtingsproces. Naast het bereiken van de beoogde dichtheid wordt het walsen ook gebruikt om vlakke oppervlakten te creëren (Ter Heurne, 2004).

Scherocman (2006) beweert dat de mate van de verdichting de belangrijkste factor is die de prestaties van het wegdek onder de verkeersbelasting beïnvloedt. Uit het onderzoek van Scherocman (2006) blijkt dat een holle ruimte percentage van 6% of minder in het algemeen verhoogt de vermoeiingslevensduur, vermindert de hoeveelheid blijvende vervorming of spoorvorming, vermindert de hoeveelheid oxidatie of veroudering, vermindert vochtschade of strippen, verhoogt de kracht en de interne stabiliteit, en kunnen enigszins verminderen de hoeveelheid lage temperaturen scheurvorming die zich kunnen voordoen in de mix. Hieraan voegt de VBW Asfalt (2000) ook toe dat de bereikte dichtheid grote invloed op de weerstand tegen vervorming en de duurzaamheid van asfalt heeft. Daarom is een goede verdichting essentieel voor een lange levensduur van het asfalt (Vasenev et al., 2012).

De verdichtingsproces van het asfalt vindt plaats door middel van de walsen die de druk op het asfaltmengsel uitoefenen (Bijleveld, 2015). Voor de verdichting van het asfaltmengsel dienen er horizontale en verticale krachten door de walsen uitgeoefend te worden. De horizontale krachten zorgen ervoor cohesie tussen de korrels ontstaat en de verticale krachten verdichten het asfaltmengsel. Om de korrels aan elkaar te hechten wordt de bitumen als bindmiddel gebruikt in het asfaltmengsel. Door de bitumen krijgt het asfaltmengsel een visco-elastisch eigenschap (Bijleveld, 2010). Dat betekent het asfalt in korte termijn elastisch en in lange termijn plastisch gedrag heeft onder de invloed van verkeersbelasting (VBW Asfalt, 2005).



Figuur 12 De verdichting met trillende wals

De walsen waarmee het asfalt verdicht wordt, zijn te onderscheiden in 3 categorieën: trillende walsen met stalen wielen, walsen met stalen wielen en met luchtbanden. In Nederland worden de walsen met stalen wielen meest gebruikt vergeleken met bandenwalsen (Ter Heurne, 2004). De keuze van te volgen walsprocedure en te gebruiken walstype is afhankelijk van de afkoelingstijd van het asfalt, het optimale werktraject van de walsen en het type asfalt (VBW Asfalt, 2000). Het verdichtingsresultaat is afhankelijk van het aantal factoren. Deze zijn het type en het gewicht van de wals; de samenstelling van het asfalt en de eigenschappen van de materialen; de temperatuur tijdens het verdichten; de eigenschappen van de onderlaag; de aan te brengen laagdikte; de weersomstandigheden (VBW Asfalt, 2000).

De verdichtingsniveaus zijn bepalend voor de stabiliteit van het asfaltmengsel (Bijleveld, 2010). De gewenste mate van de verdichting kan variëren afhankelijk van het type materiaal dat wordt verdicht en de eigenschappen van het materiaal zoals het vochtgehalte en de temperatuur. Als het asfaltmengsel niet genoeg verdicht is, heeft het asfalt niet voldoende sterkte om de verkeersbelasting te dragen. De oververdichting kan leiden tot overvulling van het asfaltmengsel. Dit leidt tot een hoog risico op spoorvorming. Om de kwaliteit van het asfaltmengsel hoog te houden

dient de verdichtingsproces goed gemeten en geëvalueerd te worden. Door middel van continu monitoring kan de walsmachinist zijn walsstrategie aanpassen om tot een gewenste mate van de verdichting te komen.

2.8. Onderzoeksvragen

Voor dit onderzoek wordt er getracht antwoorden op hieronder staande onderzoeksvraag en deelvragen te vinden. De onderzoeksvraag is:

Wat is het effect van de verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie op de kwaliteit van het asfalt?

Het onderzoeksvraag wordt gesplitst in volgende deelvragen:

1. Wat is de verwerkbaarheidskarakteristiek van een mengsel?
2. Wat is de asfaltkwaliteit voor verschillende temperaturen?
3. Wat is de asfaltkwaliteit voor verschillende walsovergangen?

2.9. Hypotheses

Met behulp van dit onderzoek wordt er gekeken of de voorgestelde hypothese verworpen dient te worden of niet. Het doel van het onderzoek is *het bepalen van het effect van de verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie op de kwaliteit van het asfalt*. Door middel van data-analyse kan er conclusie getrokken worden of de alternatieve hypothese verworpen te worden of juist niet. Nulhypothese is neutraal uitgangspunt. Hiermee wordt er vanuit gegaan dat de walsovergangen geen effect op de kwaliteit van het asfalt hebben. Daarentegen wijkt de alternatieve hypothese van nulhypothese af. Met alternatieve hypothese wordt er getracht het effect van de walsovergangen wel aan te tonen. Hieronder worden de hypothesen opgesteld:

H0 (Nulhypothese): De verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie hebben geen effect op de kwaliteit van het asfalmengsel.

H1 (Alternatieve hypothese): De verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie hebben wel effect op de kwaliteit van het asfalmengsel.

2.10. Onderzoeksmethode

Het onderzoek zal vooral in het laboratorium plaatsvinden. De praktijkmetingen zouden later in een verder onderzoek plaatsvinden als er genoeg tijd beschikbaar is. Om het effect van het aantal walsovergangen op de kwaliteit van het asfalt te bepalen dient er een onderzoeksplan opgesteld te worden waarin te volgen stappen duidelijk worden beschreven. Het onderzoek zal als volgt uitgevoerd worden:

- Allereerst dient er vastgesteld te worden hoeveel platen er gemaakt moeten worden. Om het effect van de walsovergangen te zien dienen er platen met 2 verschillende aantal walsovergangen en met 3 verschillende temperatuursintervallen gemaakt te worden. Er zullen 12 en 20 walsovergangen toegepast worden. De temperatuursintervallen waarbinnen het asfalmengsel verdicht moet worden, zijn afhankelijk van de verwerkbaarheidsproef.
- Te maken asfalmengsel wordt met de begeleider afgestemd. Het asfalmengsel AC 16 surf 40/60 wordt gebruikt voor dit onderzoek.
- Voor 6 asfaltplaten worden de benodigde stoffen verzameld volgens het recept van het asfalmengsel. Daarna worden de benodigde stoffen ingewogen en volgens het recept in de emmer gezet. Bitumen en de emmers worden verwarmd tot een temperatuur van 165 °C.
- 6 kisten van 50x50 cm worden gemaakt en elke kist wordt voorzien van thermokoppels.
- Het asfalmengsel wordt gemengd in de mengmachine en daarna wordt het aangelegd in de wal.

- Voor het behalen van de streefdichtheid wordt het asfaltmengsel voorverdicht door de laborant. Daarna wordt het asfaltmengsel door de tandem wals 12x of 20x verdicht .
- Na het verdichten worden de asfaltplaten gezaagd door het midden. Per plaat worden er 16 proefstukken geboord. De proefstukken worden boven en onder water gewogen. Nadat de proefstukken uitgedroogd zijn, wordt het droog gewicht van de proefstukken bepaald voor het berekenen van de dichtheden. Vervolgens wordt er een keuze gemaakt tussen de proefstukken voor triaxiaal- en splijtproof. Na de keuze worden de proefstukken opnieuw gezaagd tot de vereiste hoogte. Daarna worden de proefstukken bewaard in klimaatkamer.
- Na een bepaalde tijd uitrusten worden de proefstukken beproefd. De resultaten worden vergeleken met elkaar om het effect van het aantal walsovergangen op de kwaliteit van het asfalt te bepalen.

Splijtproof: In de deklaag kunnen grote horizontale krachten optreden(b.v. door rembelasting van het verkeer) Als deze horizontale krachten de treksterkte overschrijden, treedt er scheurvorming op. Om de grootte van deze treksterkte onder laboratorium omstandigheden in kaart te brengen wordt de splijtproof gebruikt. Het resultaat van deze proef geeft de weerstand van het materiaal tegen de trekkrachten.

Volgens standaard RAW bepalingen worden de volgende regels voorgeschreven voor de splijtproof:

- De proefstukken zijn vervaardigd van 100 mm diameter en 50 mm hoogte.
- De proefstukken worden bewaard bij een temperatuur van 15 °C (CROW, 2015).
- Nadat de proefstukken uit de klimaatkamer gehaald zijn, dienen de proefstukken binnen 1 minuut beproefd te worden (CROW, 2015).



Figuur 13 Splijtproof



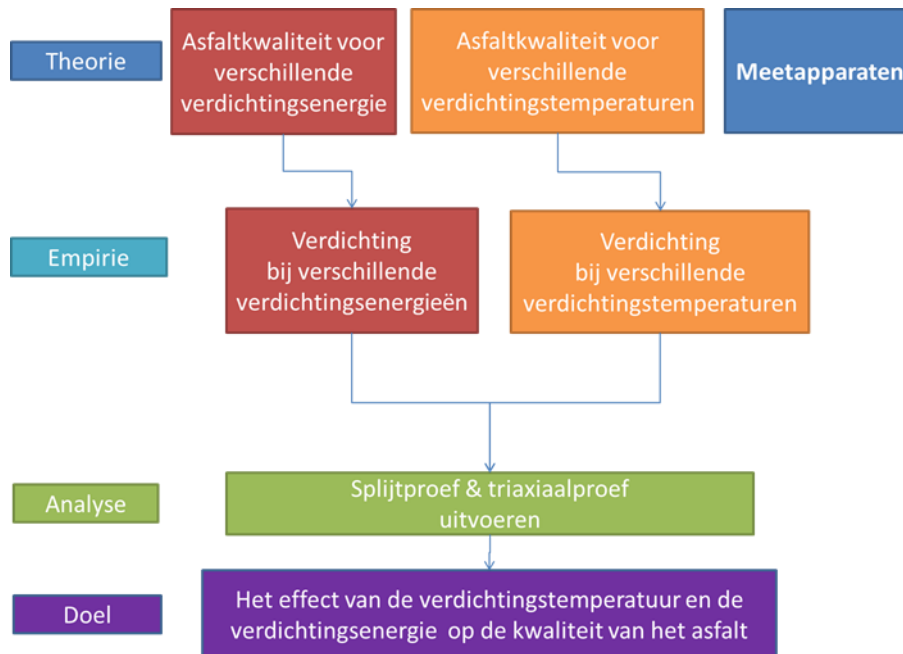
Figuur 14 Triaxiaalproef opstelling

Triaxiaalproef: Een andere proef om het vervormingsgedrag van het asfalt te bepalen is triaxiaalproef. In triaxiaalproef wordt het proefstuk belast tussen twee platen (VBW Asfalt, 2000). Het resultaat van deze proef geeft de weerstand tegen de opgelegde belasting waaronder verkeersbelasting voor het asfalt. Volgens standaard RAW worden de volgende regels voorgeschreven voor de splijtproof:

- Het asfaltmengsel voor deklagen dient bij een temperatuur van 50 °C beproefd te worden.
- Een wrijvingsreducerend systeem wordt aangebracht tussen de belastingsplaten. Het wrijvingsreducerend systeem bestaat uit uit latexmembranen waartussen siliconenvet is aangebracht.
- Totale axiale spanning voor deklaagmengsels is 0,75 MPa en radiale spanning 0,15 MPa.

2.11. Onderzoeksmodel

Volgens Verschuren en Doorewaard (2007) is een onderzoeksmodel de stapsgewijs uitwerking van deelvragen naar het doel toe. In het begin vindt er een literatuuronderzoek plaats voor het toepassen van theorie naar praktijk. Vervolgens wordt opgedane kennis toegepast in het laboratorium voor verschillende metingen. Het resultaat wordt geanalyseerd en gecontroleerd of het doel bereikt wordt. In Figuur 15 wordt het onderzoeksmodel weergegeven.



Figuur 15 Onderzoeksmodel

Aanvankelijk richt het onderzoek zich op literatuurstudie. Met verschillende literaturen wordt er informatie verzameld over de asfaltkwaliteit. In het laboratorium worden er 6 asfaltplaten voorbereid met verschillende aantal walsovergangen en verschillende verdichtingstemperatuur. Van elke asfaltplaat worden er kernen geboord om hun mechanische eigenschappen te testen. Te uitvoeren testen zijn splijtproef voor treksterkte en triaxiaalproef voor spoorvorming. Aan de hand van testresultaten wordt er geconcludeerd welk aantal walsovergang en de verdichtingstemperatuur het beste is voor een hoge kwaliteit van het asfalt.

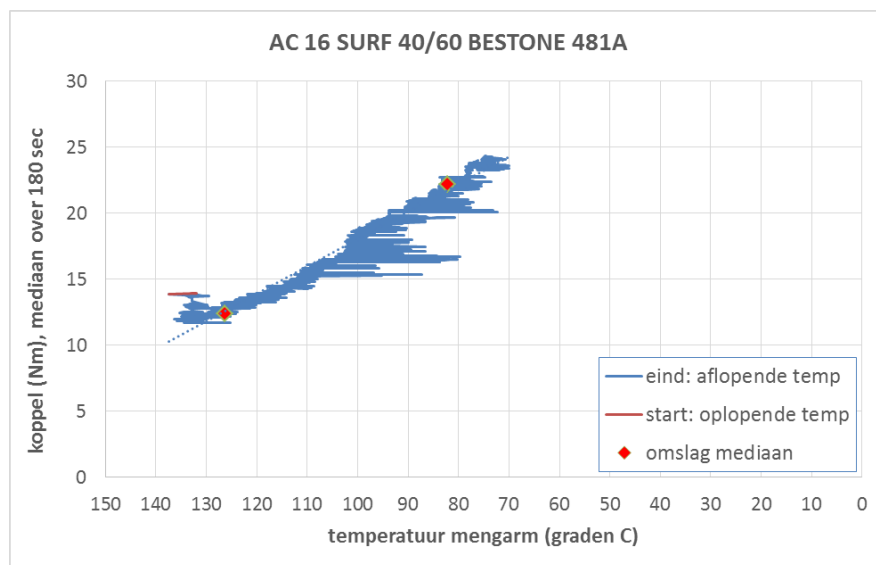
3. Empirische Onderzoek

In dit hoofdstuk wordt het resultaat van de metingen besproken. In het empirische onderzoek wordt er gekeken namelijk naar de 3 parameters:

- De verwerkbaarheid van het asfaltmengsel
- De afkoeling van het asfalttemperatuur
- De verdichting van het asfaltmengsel

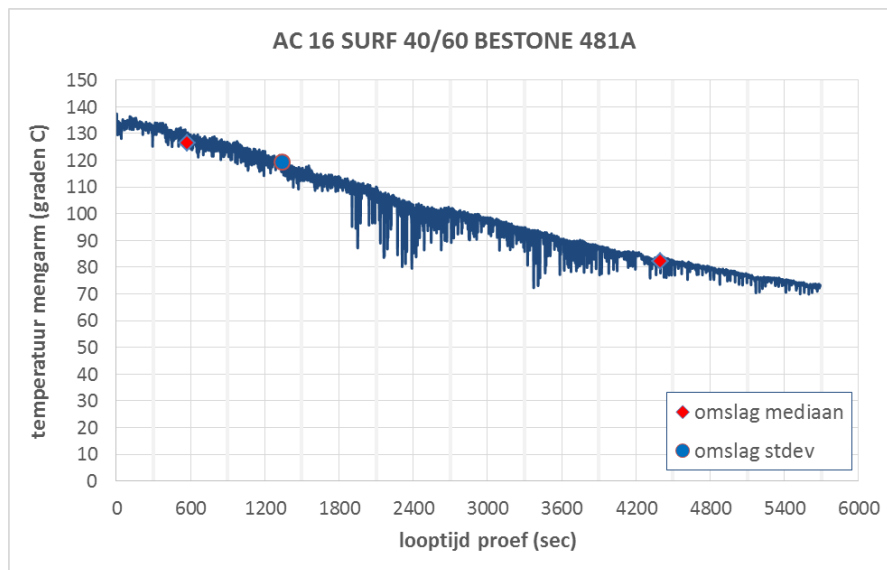
3.3. Verwerkbaarheidskarakteristiek van het asfaltmengsel

In het hoofdstuk 2 theoretisch kader wordt het belang van de verwerkbaarheid van het asfaltmengsel toegelicht. Voordat er met de verdichting begonnen wordt, dient er de verdichtingstemperatuur van het asfaltmengsel bepaald te worden om een hoge asfaltkwaliteit te kunnen realiseren. Deze verdichtingstemperatuur geeft de startpunt van de verdichting aan en kan d.m.v. een verwerkbaarheidsmeter vastgesteld worden. Omdat elk asfaltmengsel niet identiek is, wordt er ook voor dit asfaltmengsel een verwerkbaarheidsproef gedaan. De werkwijze van Poeran (2012) wordt gehanteerd voor deze proef. De resultaat van de proef komt overeen met de verwachting. Uit Figuur 16 blijkt dat de weerstand steeds toeneemt naarmate de temperatuur afneemt wat er van te voren ook verwacht was. De linkerbuigpunt waarin de weerstand begint te stijgen, wordt 'omslagpunt' benoemd. In de Bijlage C: Verwerkbaarheidsmeter is te zien dat de omslagpunt voor dit asfaltmengsel is 82 °C. Dat betekent het asfaltmengsel vanaf dit punt niet meer verdicht kan worden.

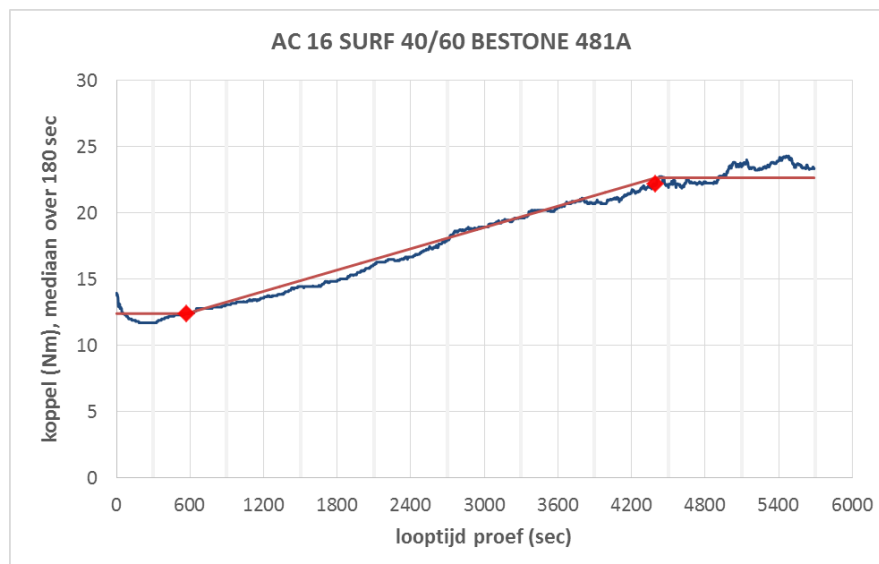


Figuur 16 Weerstand vs. temperatuur

In de volgende grafieken worden de weerstand en de temperatuur tegen de tijd uitgezet. Hierin is duidelijk te zien dat de weerstand toeneemt als de temperatuur afneemt. Bovendien uit Figuur 17 blijkt dat het omslagpunt binnen 4500 sec (1,25 uur) bereikt wordt. Dat wil zeggen de verdichting binnen 1,25 uur afgerond moet zijn. Met behulp van deze verwerkbaarheidsproef kunnen de asfaltploegen temperatuurs- en tijdsintervallen van elk mengsel te weten komen om verdichtingsproces aan te passen.



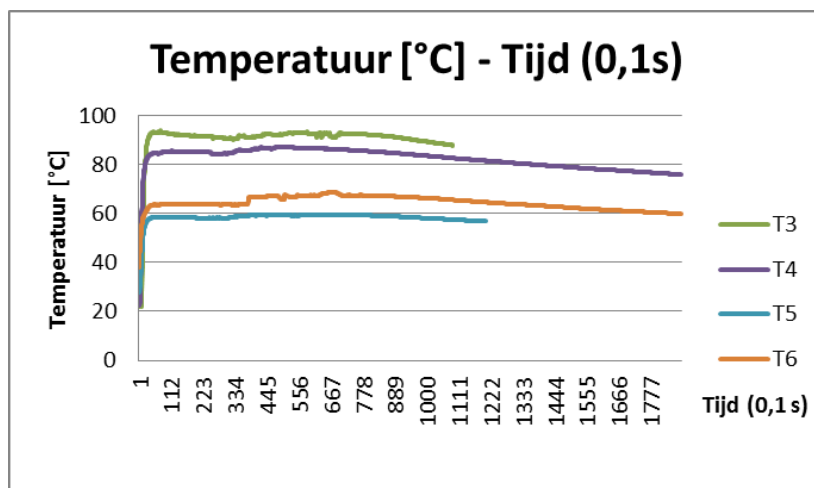
Figuur 17 Temperatuur vs. tijd



Figuur 18 Weerstand vs. tijd

3.4. Temperatuur

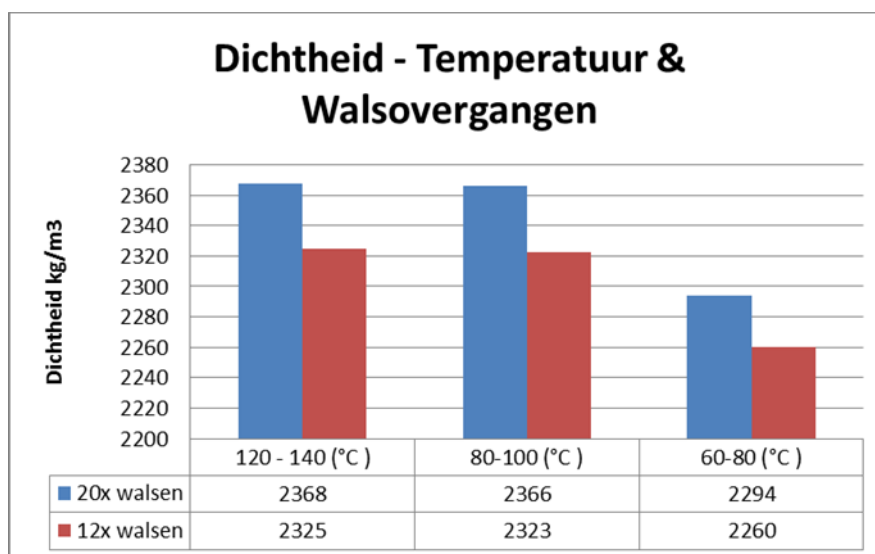
Zoals in de verwerkbaarheidsproef aangetoond is, wordt de temperatuur als een van de belangrijkste parameters voor de kwaliteit van het asfalt gezien. In de loop van de tijd neemt de temperatuur af, dan is het asfaltmengsel moeilijk verwerkbaar wat ook de verdichtingsproces benadeelt. (Poeran, 2012). Om het effect van de temperatuur op de kwaliteit van het asfaltmengsel te kunnen zien wordt er 6 asfaltplaten gemaakt met 3 verschillende temperatuursintervallen. De asfaltplaten worden verdicht bij de temperatuur boven omslagpunt ([120-140] °C en [80-100] °C), onder omslagpunt ([60-80] °C). Uit de beproevingen kwam duidelijk in Figuur 19 naar voren dat het asfaltmengsel bij de temperatuur boven omslagpunt verdicht was, kreeg hoge dichtheid vergeleken met lage verdichtingstemperaturen. Hiermee valt op te merken dat de verdichtingstemperatuur evenredig is met de dichtheid van het asfaltmengsel. Naarmate de temperatuur afneemt, neemt de dichtheid ook af. Een uitgebreide uitwerking van dichtheidsberekeningen vindt uw in de Bijlage B: Dichtheden van de proefstukken



Figuur 21 Temperatuur vs. tijd

3.5. Walsovergangen

Na de dichtheidsmetingen van de asfaltplaten kwam naar voren dat het asfaltmengsel met 20 walsovergangen bij verdichtingstemperatuursintervallen boven omslagpunt [120-140 °C] hoogste dichtheid heeft. Hieruit volgt de conclusie dat het aantal walsovergangen een positief effect op de dichtheid van het asfaltmengsel heeft. In onderstaande Figuur 22 worden de gemiddelde dichtheden per walsovergang bij variërende temperatuursintervallen weergegeven



Figuur 22 De gemiddelde dichtheden voor verschillende walsovergangen en de temperatuursintervallen

3.6. Splijtproef

Hieronder in de Tabel 3 wordt het resultaat van de splijtproef weergegeven. De grootte van de ITS waarde geeft de weerstand van het asfaltmengsel tegen de afschuiving aan. Hieronder valt op te merken dat de asfaltplaten met 20 walsovergangen een hogere ITS waarde hebben vergeleken met asfaltplaten met 12 walsovergangen. Het positieve effect van het aantal walsovergangen op de treksterkte is duidelijk te zien. Daarnaast heeft de verdichtingstemperatuur ook een positieve effect op de treksterkte. De asfaltplaten met een verdichtingstemperatuur boven omslagpunt (82 °C) hebben hogere ITS waarde dan de asfaltplaten met een verdichtingstemperatuur onder omslagpunt. Een uitgebreide uitwerking van splijtproef vindt uw in de Bijlage E: Splijtproef (Watergevoeligheid)

Plaat	Temperatuur (°C)	Walsovergangen	ITS [N/mm ²]	Retainindex [%]
1	[120-140]	20x	2,561	72
2	[120-140]	12x	1,988	66
3	[100-120]	20x	2,652	75
4	[100-120]	12x	2,104	76
5	[60-80]	20x	1,663	71
6	[60-80]	12x	1,385	73

Tabel 3 Splijtproef resultaten

3.7. Triaxiaalproef

De grootte van f_{cmax} geeft de permanente vervorming in ($\mu\text{m}/\text{m}$) per lastherhaling (n) aan. Er zijn paar uitschieters die buiten beschouwing gelaten moeten worden. Bij proefstuk 1 van plaat 3 (3-1) trad er een fout tijdens de beproeving waardoor de uitkomst grote afwijkingen toont vergeleken met andere proefstukken uit dezelfde plaat. Daarnaast ging het proefstuk 6 van plaat 4 (4-6) kort na de start bezwijken onder de opgelegde belasting. Daarom wordt de uitkomst van dit proefstuk ook buiten beschouwing gelaten.

Uit de Tabel 4 blijkt dat de permanente vervorming toeneemt naarmate het aantal walsovergangen minder en de verdichtingstemperatuur lager wordt. Hieruit luidt de conclusie dat de toename in het aantal walsovergangen en de verdichtingstemperatuur boven het omslagpunt een positief effect op de kwaliteit van het asfalt hebben. Een uitgebreide uitwerking van de splijtproef vindt uw in de Bijlage F: Triaxiaalproef (Vervorming)

Plaat	Temperatuur (°C)	Walsovergangen	f_{cmax} ($\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$)
1	[120-140]	20x	0,288
2	[120-140]	12x	0,292
3	[100-120]	20x	0,193
4	[100-120]	12x	0,343
5	[60-80]	20x	0.345
6	[60-80]	12x	0.412

Tabel 4 Triaxiaalproef resultaten

4. Conclusie

In dit hoofdstuk worden de belangrijke conclusies van dit onderzoek besproken. De resultaten van het laboratoriumonderzoek zijn het volgende:

- Dichtheidsberekeningen: Het asfaltplaat die boven omslagpunt (82 °C) met 20 walsovergangen verdicht is, krijgt de hoogste dichtheid vergeleken met asfaltplaten met 12 walsovergangen bij verdichtingstemperatuur onder omslagpunt.
- Splijtproef(Watergevoeligheid): Uit de splijtproef resultaten kwam ook hetzelfde resultaat naar voren. Het asfaltplaat die bij verdichtingstemperatuur boven omslagpunt en met 20 walsovergangen verdicht is, heeft een hogere weerstand tegen de treksterkte.
- Triaxiaalproef(Permanente vervorming): Ook uit deze proef kwam er hetzelfde conclusies die hierboven beschreven zijn. De asfaltplaat met 20 walsovergangen bij de verdichtingstemperatuur boven het omslagpunt heeft minder vervorming vergeleken met andere asfaltplaten die met 12 walsovergangen bij verdichtingstemperatuur onder het omslagpunt.

Uit de resultaten van het laboratoriumonderzoek worden er de antwoorden van de onderzoeksvragen gevonden. De antwoorden zijn het volgende:

- Deelvraag 1: Wat is de verwerkbaarheidskarakteristiek van een mengsel?

Uit de verwerkbaarheidsproef blijkt dat het omslagpunt voor het mengsel AC 16 surf 40/60 bij 82 °C ligt. Vanaf dit punt is het mengsel slecht verwerkbaar. De verdichting dient tot dit punt afgerond te zijn.

- Deelvraag 2: Wat is de asfaltkwaliteit voor verschillende temperaturen?

Er worden 6 asfaltplaten gemaakt waarvan 4 platen boven het omslagpunt en 2 platen onder het omslagpunt verdicht zijn. Uit het empirische onderzoek kwam naar voren dat de asfaltplaat die boven het omslagpunt verdicht is, kreeg hogere dichtheid, hogere treksterkte en minder permanente vervorming vergeleken met de asfaltplaat die onder het omslagpunt verdicht is. Dat wil zeggen dat de asfaltplaat die boven het omslagpunt verdicht is, heeft een hoge kwaliteit.

- Deelvraag 3: Wat is de asfaltkwaliteit voor verschillende walsovergangen?

Er worden 6 asfaltplaten gemaakt waarvan 3 platen met 20 walsovergangen en 3 platen met 12 walsovergangen verdicht zijn. De platen met 20 walsovergangen hebben minder permanente vervorming, hogere dichtheid en hogere treksterkte vergeleken met de platen met 12 walsovergangen. Dat betekent dat de asfaltplaat met 20 walsovergangen een hoge kwaliteit heeft.

Na het onderzoek wordt er ook gekeken naar de alternatieve hypothese H1(*De verdichtingstemperatuur en de verdichtingsenergie hebben wel effect op de kwaliteit van het asfaltmengsel*) of deze hypothese verworpen dient te worden of niet. Uit het onderzoek blijkt dat ze wel effect op de asfaltkwaliteit hebben. Hierdoor wordt de alternatieve hypothese niet verworpen.

Als laatste kwam er een antwoord op onze onderzoeksvraag. Na het afloop van dit onderzoek wordt er geconcludeerd dat de toename van het aantal walsovergangen een positief effect op de asfaltkwaliteit heeft. Na het bereiken van streefdichtheid dient het asfaltmengsel nog paar keer nagewalst te worden. Het aantal walsovergangen is afhankelijk van het soort mengsel. Daarnaast heeft de verdichting bij boven omslagtemperatuur ook een positief effect op de kwaliteit van het asfalt. Ook hierbij is de verdichtingstemperatuur afhankelijk van het soort bitumen en het soort asfaltmengsel.

5. Aanbevelingen

Na dit onderzoek kunnen er aantal aanbevelingen gedaan worden voor een vervolg onderzoek. Met behulp van deze verbetervoorstellen zal het volgende onderzoeksproces beter verlopen kunnen worden.

De aanbevelingen voor het laboratorium zijn het volgende:

- In dit onderzoek wordt er geen meting buiten het laboratorium plaatsgevonden. Hierdoor wordt er de werkelijkheid op het veld gemist binnen het onderzoek. In het laboratorium wordt er binnen de standaardtemperatuur gewalst terwijl op het veld ongunstige weersomstandigheden kunnen gaan optreden. Een vervolgonderzoek op het veld wordt aanbevolen om het laboratoriumresultaat te vergelijken met de praktijk.
- De thermokoppels worden de onderkant van de asfaltplaten gemonteerd terwijl ze juist in het midden van elk plaat gezet moest worden. Bij onderkant van het plaat koelt het asfalt sneller af dan midden van het plaat. Bij een vervolgonderzoek kunnen de thermokoppelsdraden in het midden van de asfaltplaat gemonteerd worden om geen effect van de bodem op de gemeten temperatuur te hebben.
- De dichtheidsprogressie wordt niet gemeten. Hierdoor wordt er het energieverbruik van het asfalt tijdens het walsen niet gevolgd. Het bepalen van de dichtheidsprogressie wordt aanbevolen voor een vervolg onderzoek.
- Voor het begin van het onderzoek dient er aanwezigheid en hoeveelheid van alle materieel gecontroleerd te worden om geen vertraging te hebben tijdens de uitvoering wegens het gebrek aan het materieel. Van te voren het controleren van alle benodigdheden is aanbevolen.

De aanbevelingen voor de asfaltploeg zijn het volgende:

- Ook hierbij is het meten van dichtheidsprogressie noodzakelijk voor het bepalen van het energieverbruik van het asfalmengsel.
- De verdichtingstemperatuur dient goed gemonitord te worden. Onder de omslagtemperatuur (bv. 82 °C voor AC 16 surf) dient er gestopt te zijn met de verdichting.

6. Bibliografie

- Bahia, H.; Fahim, A.; Nam, K. (2006). Prediction of Compaction Temperatures Using Binder Rheology. *Transportation Research Circular*, pp. 3-18.
- Bijleveld, F. (2010). *Temperatuur- tijdsvensters verdichten asfaltmengsels op basis van mechanische eigenschappen*. Enschede.
- Bijleveld, F. (2010). Verdichtingstemperatuur en mechanische eigenschappen. *Asfalt*.
- Bijleveld, F. (2015). *Professionalising the asphalt construction process*. Enschede: Gildeprint.
- Ceylan, H.& Taylor, P. (2011). *A Feasibility Study on Embedded Micro-Electromechanical Sensors and Systems (MEMS) for Monitoring Highway Structures*. Iowa: InTrans Project Reports.
- Chadbourn, B.A., Newcomb, D.E., Voller, V.R., Desombre, R.A., Luoma, J.A., en Timm, D.H. (1998). *An asphalt paving tool for adverse conditions*. Minnesota Dept. of Transportation Final Report MN/RC-1998.
- CROW. (2015). *Standaard RAW Bepalingen*. Ede: CROW.
- Decker, D. (2006). State-of-the-Practice for Cold-Weather Compaction of Hot-Mix. *Factors Affecting Compaction of Asphalt Pavements*.
- Miller, S. (2010). *Hot mix asphalt construction*. University of Twente.
- Minister van Financien. (2014). *Rijksbegroting*. Den Haag: Sdu Uitgevers.
- Pfeifer, H. (2010). *Using radio-frequency identification technology to measure asphalt cooling*.
- Poeran, N.; Sluer, B.; Andeweg, B.;. (2012). Verwerkbaarheid van asfaltmengsels.
- Scherocman, J. (2006). Compaction of Stiff and Tender Asphalt Concrete Mixes. *Transportation Research*, pp. 69-83.
- Ter Heurne, H. (2004). *Compaction of Asphalt Road Pavements Using Finite Elements and Critical State Theory*. University of Twente.
- Thermografie. (2015). Opgeroepen op mei 4, 2015, van Testo:
https://www.testo.nl/nl/home/producten/thermografie/testo_870/wat_is_thermografie_1/wat_is_thermografie.jsp
- Timm, D.H., Voller, V.R., Lee, E., en Harvey, J. (2001). Calcool: A multi-layer asphalt pavement cooling tool for temperature prediction during construction. *International Journal of Pavement Engineering*, 169-185.
- Tonne, P. (2008). Nucleaire dichtheidsmetingen van de opbouwende lagen van een wegstructuur. *Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw*, 1-2.
- Van der Velden, J. (2003). *Wegenbouwkunde*. Wolters-Noordhoff B.V.

- Vasenev, A., Hartmann, T., & Dorée, A. G. (2012). Prediction of the in-asphalt temperature for road construction operations.
- VBW Asfalt. (2000). *Asfalt in wegen- en waterbouw*. Breukelen.
- VBW Asfalt. (2005). *Economische, milieu, maatschappelijke en technische overwegingen bij de keuze van verhardingsmaterialen*.
- VBW-asfalt. (2003). *Waarom walsen?*
- Verschuren, P., & Doorewaard, H. (2007). *Het ontwerpen van een onderzoek*. Den Haag: LEMMA.
- Wikipedia. (21, Februari 2015). *Thermokoppel*. Opgeroepen op April 27, 2015, van Wikipedia: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Thermokoppel>

Bijlage A : Inweegstaat van het asfaltmengsel

Met de afstemming van de externe begeleider meneer Sluer wordt er een keuze gemaakt voor te maken asfaltmengsel. Het asfaltmengsel wordt AC 16 deklaag met 40/60 bitumensoort. De verdeling van de bouwstoffen van het asfaltmengsel wordt d.m.v. een standaard template berekend.

Inweegstaat					QRS-Wegen Quality, Research & Support				
Opdrachtnummer:		QRS-2015-A-01 AC surf Waterdoorlatendheid							
Mengselcode:		481							
Soort mengsel:		AC 16 surf							
Asfaltcentrale:		Asfaltproductie Amsterdam							
Korrelverdeling					Benodigde Bouwstoffen				
Bouwstof	Soort	Fractie	Percentage		Aantal batches	4 st			
Steen	Bestone	2/5	13,2		Massa steenslag per batch	36 kg			
	Bestone	4/8	24,2		Bestone 2/5	47,5 kg			
	Bestone	8/11	6,8		Bestone 4/8	87,1 kg			
	Bestone	11/16	15,8		Bestone 8/11	24,5 kg			
Zand	Schots Graniët BRZ	0/2	25,7		Bestone 11/16	56,9 kg			
	Rivierzand	0/2	8,6						
Vulstof	Wigras 40k	nvt	4,7		Schots Graniët BRZ	74,0 kg			
	Eigenstof APA	nvt	1,0						
Asfalt granulaat					Rivierzand	24,8 kg			
Bitumen	Bitumen 40/60			6,0	Wigras 40k	13,5 kg			
Totaal			100,0	6,0	Eigenstof APA	2,9 kg			
					Bitumen 40/60	17,3 kg			
					Totaal:	348,5 kg			
Inweegstaat batch					In te wegen emmers tbv fractioneren				
Fractie	Percentage 'in'	Aantal [st]	Massa [g]	Totaal [st]	Bestone 2/5	3,08 kg			
C31.5 - C22.4	0,00	0		0	Bestone 4/8	5,65 kg			
C22.4 - C16	2,12	1	1381,63	4	Bestone 8/11	1,59 kg			
C16-C11.2	12,06	1	7872,48	4	Bestone 11/16	3,69 kg			
C11.2-C8	8,40	1	5481,67	4					
C8-C5.6	12,92	1	8431,88	4					
C5.6-2mm	18,96	1	12376,13	4					
<2mm	2,15	1	456,20	4	Totaal aantal emmers	16 st			
Schots Graniët BRZ	24,25	2	7710,00	8	Massa van Cylinders, proefstukken Ø100 Hoofdgaten 100, 77 mm Massa <100 143,0 gram				
Rivierzand	8,11	1	5160,00	4					
Wigras 40k	4,43	1	2820,00	4					
Eigenstof APA	0,94	1	600,00	4					
Bitumen 40/60	5,66	1	3600,00	17,28 kg	Gewogen dichtheid toeslagmateriaal				
Totaal	100,0				2680 kg/m³				
Dichtheden									
Streefdichtheid					2379 kg				
Dichtheid mengsel berekend					2456 kg				
Holle ruimte berekend					3,2 %				

Bijlage B: Dichtheden van de proefstukken

De bewerkte proefstukken worden boven en onder water gewogen. Vervolgens na het uitdrogen van de proefstukken worden de dichtheden per proefstuk bepaald. De resultaten worden hieronder weergegeven.

Kernen	Dichtheid "water"				
Plaat 1	"water"	Holle R.	Delta		Keuze
Nauwkeurigheid	0 dec	1 dec	dichtheid	Rangorde	watergev /
Code	[kg/m³]	[%]	[kg/m³]		triax
1	2365	3,7	3,0	11	ITT
2	2361	3,8	6,5	5	Triax
3	2370	3,5	2,0	13	Res
4	2369	3,5	1,6	16	Res
5	2372	3,4	4,0	8	ITSR
6	2360	3,9	7,5	3	ITSR
7	2364	3,7	3,8	9	ITSR
8	2365	3,7	3,1	10	ITT
9	2370	3,5	2,1	12	ITT
10	2366	3,6	1,7	14	Res
11	2363	3,7	4,4	7	Triax
12	2377	3,2	9,7	2	Triax
13	2373	3,3	5,6	6	ITSR
14	2369	3,5	1,6	15	Res
15	2361	3,8	6,9	4	ITSR
16	2378	3,1	10,2	1	ITSR
Gemiddelde	2368	3,6			
std. Afwijking	5,5				
Watertemp.:	22,0	[°C]			
Dichtheid water:	997,902	[kg/m³]			

Kernen	Dichtheid "water"				
Plaat 2	"water"	Holle R.	Delta		Keuze
Nauwkeurigheid	0 dec	1 dec	dichtheid	Rangorde	watergev /
Code	[kg/m³]	[%]	[kg/m³]		triax
1	2309	5,9	15,4	4	ITSR
2	2341	4,7	16,0	3	ITSR
3	2341	4,6	16,5	2	Triax
4	2324	5,3	1,1	16	Res
5	2308	6,0	17,3	1	ITSR
6	2327	5,2	1,8	14	Res
7	2340	4,7	15,0	5	Triax
8	2311	5,9	13,6	7	Triax
9	2311	5,9	14,1	6	ITSR
10	2333	5,0	8,6	10	ITT
11	2329	5,1	4,2	12	ITT
12	2321	5,5	3,9	13	Res
13	2312	5,8	13,0	8	ITSR
14	2333	5,0	8,6	11	ITT
15	2334	4,9	8,9	9	ITSR
16	2324	5,4	1,2	15	Res
Gemiddelde	2325	5,3			
std. Afwijking	11,9				
Watertemp.:	22,0	[°C]			
Dichtheid water:	997,902	[kg/m³]			

Kernen	Dichtheid "water"				
Plaat 3	"water"	Holle R.	Delta		Keuze
Nauwkeurigheid	0 dec	1 dec	dichtheid	Rangorde	watergev /
Code	[kg/m³]	[%]	[kg/m³]		triax
1	2350	4,3	16,9	2	Triax
2	2370	3,4	3,9	9	ITSR
3	2363	3,7	3,2	11	ITT
4	2372	3,4	6,1	5	Triax
5	2364	3,7	2,9	13	Res
6	2366	3,6	0,0	16	Res
7	2368	3,6	1,3	15	Res
8	2372	3,4	5,2	7	Triax
9	2372	3,4	5,4	6	ITSR
10	2371	3,4	4,5	8	ITSR
11	2363	3,7	3,3	10	ITT
12	2385	2,9	18,5	1	ITSR
13	2353	4,2	13,3	3	ITSR
14	2369	3,5	3,1	12	ITT
15	2365	3,7	1,5	14	Res
16	2360	3,9	6,9	4	ITSR
Gemiddelde	2366	3,6			
std. Afwijking	8,3				
Watertemp.:	22,0	[°C]			
Dichtheid water:	997,902	[kg/m³]			

Kernen	Dichtheid "water"				
Plaat 4	"water"	Holle R.	Delta		Keuze
Nauwkeurigheid	0 dec	1 dec	dichtheid	Rangorde	watergev /
Code	[kg/m³]	[%]	[kg/m³]		triax
1	2297	6,4	25,3	2	Triax
2	2325	5,3	1,8	15	Res
3	2333	5,0	10,2	9	ITSR
4	2318	5,6	5,3	11	ITT
5	2320	5,5	2,5	13	Res
6	2336	4,9	13,0	5	Triax
7	2337	4,8	14,1	3	ITSR
8	2327	5,2	3,9	12	ITT
9	2321	5,5	2,2	14	Res
10	2331	5,0	8,7	10	ITT
11	2335	4,9	12,2	7	Triax
12	2337	4,8	14,0	4	ITSR
13	2277	7,3	46,2	1	ITSR
14	2324	5,3	1,1	16	Res
15	2336	4,9	12,8	6	ITSR
16	2313	5,8	10,3	8	ITSR
Gemiddelde	2323	5,4			
std. Afwijking	16,3				
Watertemp.:	22,0	[°C]			
Dichtheid water:	997,902	[kg/m³]			

Kernen	Dichtheid "water"				
Plaat 5	"water"	Holle R.	Delta		Keuze
Nauwkeurigheid	0 dec	1 dec	dichtheid	Rangorde	watergev /
Code	[kg/m³]	[%]	[kg/m³]		triax
1	2220	9,6	74,6	2	Triax
2	2310	5,9	15,9	10	ITT
3	2320	5,5	25,9	9	ITSR
4	2216	9,7	78,5	1	ITSR
5	2289	6,8	5,6	13	Res
6	2328	5,2	34,1	6	ITSR
7	2333	5,0	39,1	4	ITSR
8	2306	6,1	11,3	11	ITT
9	2295	6,5	0,7	16	Res
10	2326	5,2	31,9	7	Triax
11	2332	5,0	37,6	5	Triax
12	2324	5,3	29,8	8	ITSR
13	2237	8,9	57,1	3	ITSR
14	2296	6,5	1,5	15	Res
15	2287	6,8	7,3	12	ITT
16	2290	6,7	4,6	14	Res
Gemiddelde	2294	6,5			
std. Afwijking	38,4				
Watertemp.:	22,0	[°C]			
Dichtheid water:	997,902	[kg/m³]			

Kernen	Dichtheid "water"				
Plaat 6	"water"	Holle R.	Delta		Keuze
Nauwkeurigheid	0 dec	1 dec	dichtheid	Rangorde	watergev /
Code	[kg/m³]	[%]	[kg/m³]		triax
1	2196	10,6	64,3	2	Triax
2	2244	8,6	15,9	10	ITT
3	2240	8,8	20,4	9	ITSR
4	2163	11,9	97,2	1	ITSR
5	2273	7,4	13,5	12	ITT
6	2301	6,3	41,2	3	ITSR
7	2281	7,1	21,0	7	Triax
8	2244	8,6	15,8	11	ITT
9	2271	7,5	10,7	13	Res
10	2289	6,8	29,3	5	Triax
11	2282	7,0	22,1	6	ITSR
12	2263	7,8	3,0	16	Res
13	2270	7,5	10,1	14	Res
14	2295	6,5	34,9	4	ITSR
15	2281	7,1	20,7	8	ITSR
16	2267	7,7	7,0	15	Res
Gemiddelde	2260	7,9			
std. Afwijking	36,6				
Watertemp.:	22,0	[°C]			
Dichtheid water:	997,902	[kg/m³]			

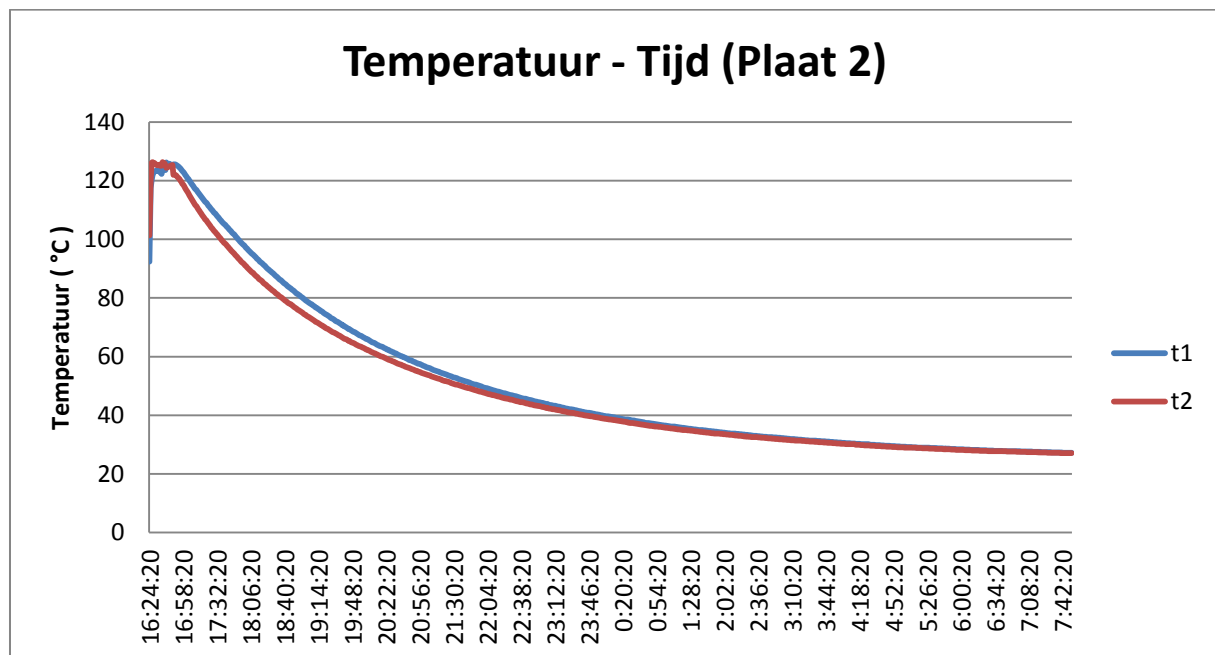
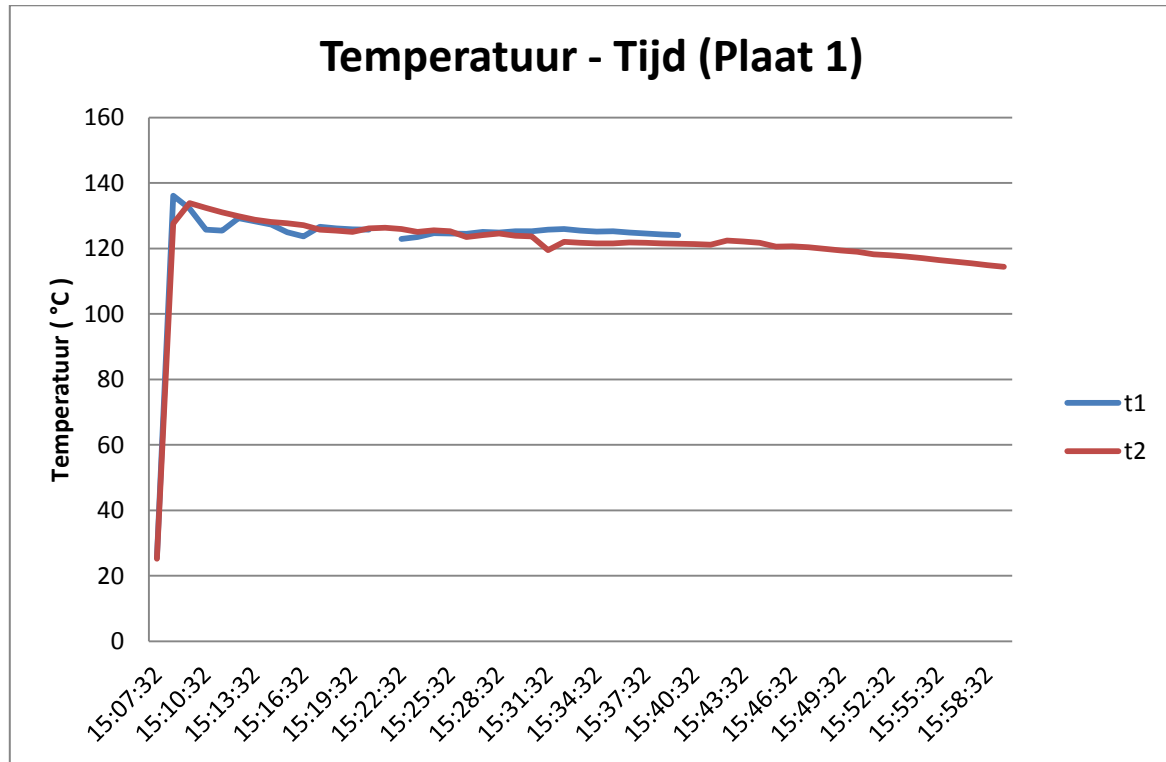
Bijlage C: Verwerkbaarheidsmeter

Uit de verwerkingsproef komt de hieronder staande resultaat naar voren. Hierin valt op te merken dat het beginpunt voor de verdichting van het mengsel AC 16 surf op 126 °C ligt. Vanaf dat moment neemt de weerstand toe tot de temperatuur van 82 °C. Na dit punt is het asfaltmengsel slecht verwerkbaar. Hieronder wordt het resultaat van de verwerkbaarheidsproef weergegeven.

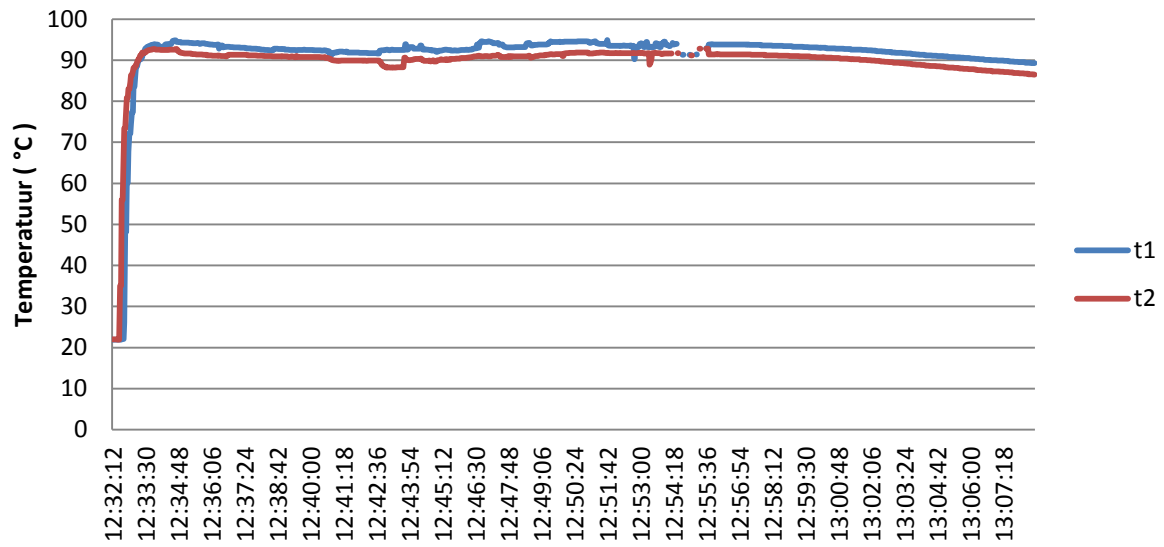
mengsel	AC 16 SURF 40/60 BESTONE			
omslagpunten mediaan				
moment	seconde	koppel	temperatuur	kwaliteit
start	573	12,3	126	goed
eind	4397	22,7	82	goed
toelichting kwaliteit	A: afwijking mediaan tov snijpunt	dT: marge op temperatuur	afwijking data tov gefitte lijn	
start	-0,05	2,9	2,76	
eind	-1,34	4,6	3,91	
start oké	1	1	1	
eind oké	1	1	1	
omslagpunten spreiding (standaardafwijking)				
moment	seconde	stdev koppel	temperatuur	kwaliteit
start	1339	0,866	119	goed
toelichting kwaliteit		dT: marge op temperatuur		
start		0,9		

Bijlage D: Temperatuurverloop van de asfaltplaten

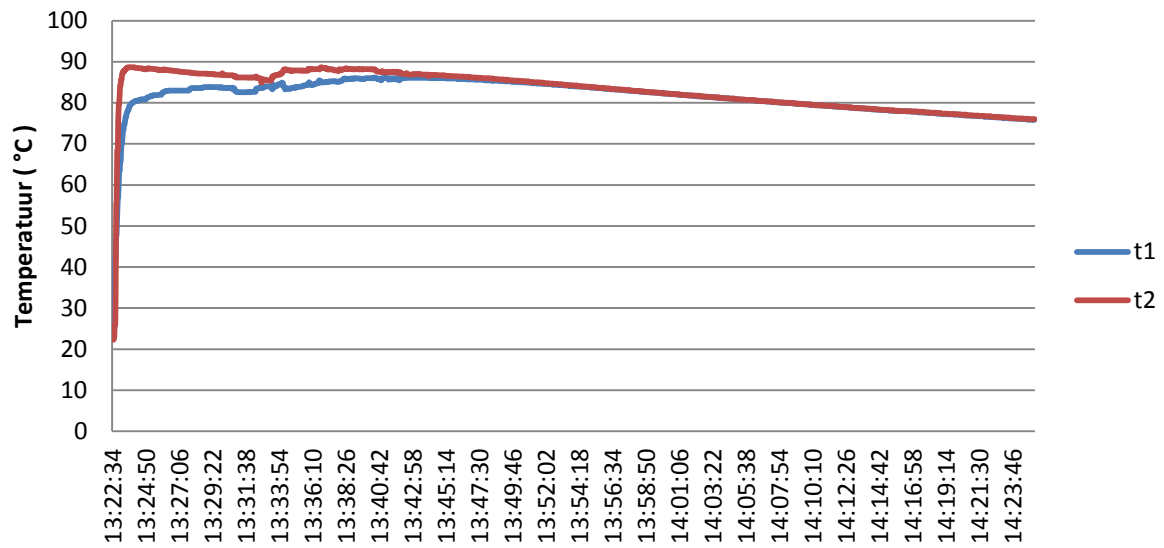
Hieronder worden de temperatuurverloop van alle asfaltplaten weergegeven. Sommige platen worden lange tijd en sommigen voor korte tijd gemonitord afhankelijk van de beschikbare tijd. Omdat er slechts een thermokoppel datalogger beschikbaar was, kon er alleen maar een plaat tegelijkertijd gemonitord worden. Daarna moest de meting stopgezet worden voor de monitoring van volgende plaat.



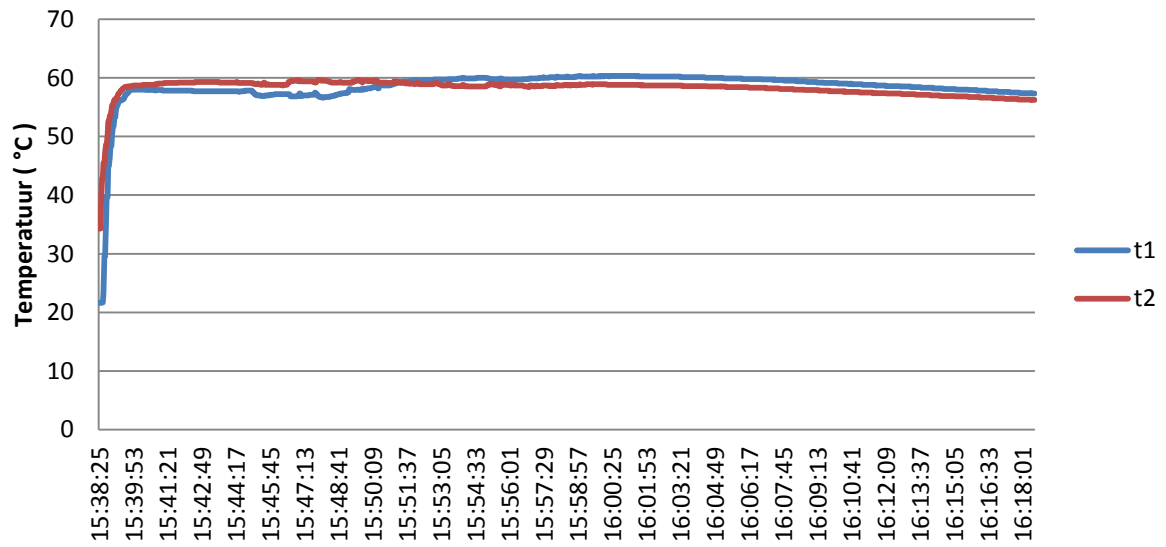
Temperatuur - Tijd (Plaat 3)



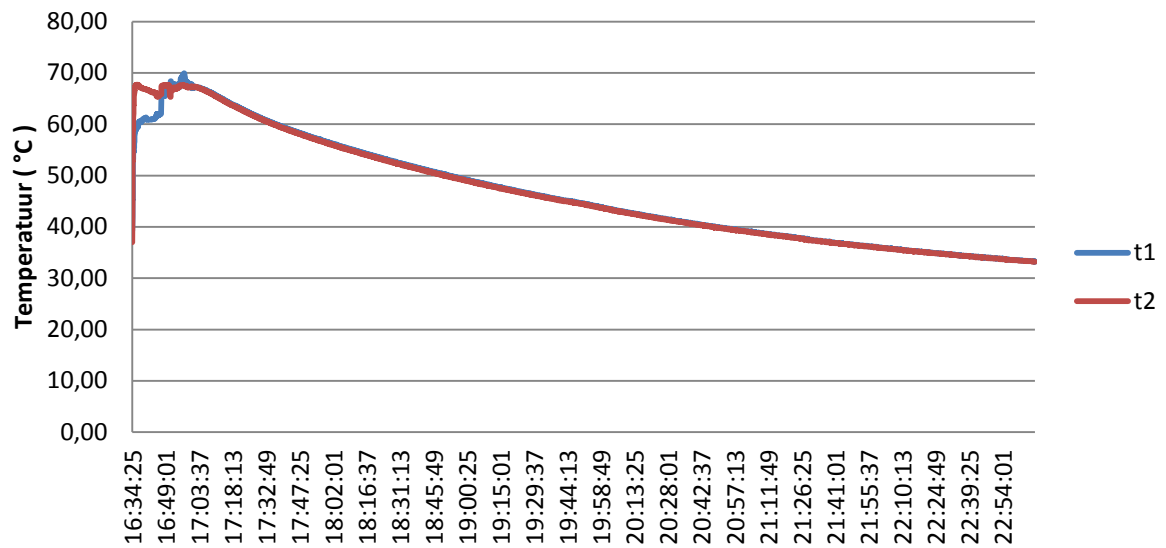
Temperatuur - Tijd (Plaat 4)



Temperatuur - Tijd (Plaat 5)



Temperatuur - Tijd (Plaat 6)



Bijlage E: Splitsproef (Watergevoeligheid)

Hierin wordt het resultaat van de splitsproef per asfaltplaat in details weergegeven.

Code pr.st.	D [mm]	H [mm]	ρ [kg/m ³]	HR [%V/V]	Pmax [kN]	Bezwijk patroon	Bezwijk- oppervlak ⁴	ITS [N/mm ²]
Geretainde proefstukken								
1-05	99,4	49,8	2398	2,3	14527	C	0	1,868
1-06	99,5	49,8	2394	2,5	14574	C	0	1,872
1-15	99,4	49,9	2398	2,3	14223	C	0	1,826
Gem.			2397	2,4				1,855
Niet-geretainde proefstukken								
1-07	99,4	49,0	2390	3,0	18169	C	0	2,375
1-13	99,3	49,7	2398	2,6	21284	C	0	2,746
1-16	99,6	49,1	2404	3,2	19686	C	0	2,563
Gem.			2397	2,9				2,561
Retainindex [%]								72

Code pr.st.	D [mm]	H [mm]	ρ [kg/m ³]	HR [%V/V]	Pmax [kN]	Bezwijk patroon	Bezwijk- oppervlak ⁴	ITS [N/mm ²]
Geretainde proefstukken								
2-01	99,5	49,5	2342	4,6	10136	C	0	1,310
2-05	99,4	49,8	2343	4,6	9441	C	0	1,214
2-15	99,5	50,8	2360	3,9	11168	C	0	1,407
Gem.			2348	4,3				1,310
Niet-geretainde proefstukken								
2-02	99,5	49,8	2367	3,0	16516	C	0	2,122
2-09	99,5	48,8	2342	2,6	14877	C	0	1,951
2-13	99,5	50,2	2347	3,2	14851	C	0	1,893
Gem.			2352	2,9				1,988
Retainindex [%]								66

Code pr.st.	D [mm]	H [mm]	ρ [kg/m ³]	HR [%V/V]	Pmax [kN]	Bezwijk patroon	Bezwijk- oppervlak ⁴	ITS [N/mm ²]
Geretainde proefstukken								
3-02	99,5	50,0	2403	2,1	15686	C	0	2,007
3-09	99,5	49,5	2398	2,3	15350	C	0	1,984
3-16	99,6	50,6	2395	2,4	15741	C	0	1,988
Gem.			2399	2,3				1,993
Niet-geretainde proefstukken								
3-10	99,4	49,4	2402	3,0	20233	C	0	2,623
3-12	99,4	49,3	2422	2,6	21096	C	0	2,741
3-13	99,6	49,9	2380	3,2	20233	C	0	2,592
Gem.			2401	2,9				2,652
Retainindex [%]								75

Code pr.st.	D [mm]	H [mm]	ρ [kg/m ³]	HR [%V/V]	Pmax [kN]	Bezwijk patroon	Bezwijk- oppervlak ⁴	ITS [N/mm ²]
Geretainde proefstukken								
4-12	99,5	50,6	2364	3,7	12422	C	0	1,571
4-15	99,5	51,0	2367	3,6	13974	C	0	1,753
4-16	99,5	50,6	2344	4,5	11640	C	0	1,472
Gem.			2358	3,9				1,599
Niet-geretainde proefstukken								
4-03	99,5	51,0	2366	3,0	18452	C	0	2,315
4-07	99,6	49,6	2371	2,6	17852	C	0	2,301
4-13	99,5	49,1	2294	3,2	13030	C	0	1,698
Gem.			2344	2,9				2,104
Retainindex [%]								76

Code	D	H	ρ	HR	Pmax	Bezwijk	Bezwijk-	ITS
pr.st.	[mm]	[mm]	[kg/m ³]	[%V/V]	[kN]	patroon	oppervlak ¹)	[N/mm ²]
Geretainde proefstukken								
5-06	99,5	50,2	2354	4,1	10777	C	0	1,374
5-12	99,5	50,7	2348	4,4	10176	C	0	1,284
5-13	99,5	51,0	2269	7,6	6872	C	0	0,862
Gem.			2323	5,4				1,173
Niet-geretainde proefstukken								
5-03	99,6	50,9	2350	3,0	14493	C	0	1,820
5-04	99,6	50,2	2250	2,6	9084	C	0	1,157
5-07	99,6	49,9	2356	3,2	15714	C	0	2,013
Gem.			2318	2,9				1,663
							Retainindex [%]	71

Code	D	H	ρ	HR	Pmax	Bezwijk	Bezwijk-	ITS
pr.st.	[mm]	[mm]	[kg/m ³]	[%V/V]	[kN]	patroon	oppervlak ¹)	[N/mm ²]
Geretainde proefstukken								
6-03	99,8	50,4	2269	7,6	7128	C	0	0,902
6-11	99,7	50,8	2314	5,8	8079	C	0	1,015
6-14	99,8	50,1	2326	5,3	8632	C	0	1,099
Gem.			2303	6,2				1,006
Niet-geretainde proefstukken								
6-04	99,7	50,3	2199	3,0	7007	C	0	0,890
6-06	99,6	50,6	2334	2,6	14210	C	0	1,795
6-15	99,6	50,7	2316	3,2	11674	C	0	1,472
Gem.			2283	2,9				1,385
							Retainindex [%]	73

Bijlage F: Triaxiaalproef (Vervorming)

Hierin wordt het resultaat van de triaxiaalproef per asfaltplaat in details weergegeven.

Code	H	D	ρ	N1	N2	Nmax*	ϵ_{max}	A	B
proefstuk	[mm]	[mm]	[kg/m ³]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%/herh]
1-02	59,7	99,2	2392	#N/B	#N/B	-	1,37	1,57	2,57E-05
1-11	59,9	99,1	2387	#N/B	#N/B	-	2,13	2,40	3,08E-05
1-12	59,9	99,2	2402	#N/B	#N/B	-	2,05	2,35	2,98E-05
Gem.			2394				1,85	2,10	2,88E-05
								$f_{cmax}=$	0,29

Code	H	D	ρ	N1	N2	Nmax*	ϵ_{max}	A	B
proefstuk	[mm]	[mm]	[kg/m ³]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%/herh]
2-03	60,1	99,6	2369	#N/B	#N/B	-	2,09	2,36	3,39E-05
2-07	59,9	99,4	2363	#N/B	#N/B	-	1,73	1,91	1,60E-05
2-08	59,7	99,5	2326	#N/B	#N/B	-	2,16	2,42	3,77E-05
Gem.			2353				1,99	2,23	2,92E-05
								$f_{cmax}=$	0,29

Code	H	D	ρ	N1	N2	Nmax*	ϵ_{max}	A	B
proefstuk	[mm]	[mm]	[kg/m ³]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%/herh]
3-01	60	99,4	2376	#N/B	#N/B	-	1,54	1,36	1,14E-04
3-04	59,9	99,3	2402	#N/B	#N/B	-	1,10	1,26	2,06E-05
3-08	60,3	99,4	2406	#N/B	#N/B	-	1,04	1,18	1,80E-05
Gem.			2394				1,23	1,27	5,09E-05
								$f_{cmax}=$	0,51

Code	H	D	ρ	N1	N2	Nmax*	ϵ_{max}	A	B
proefstuk	[mm]	[mm]	[kg/m ³]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%/herh]
4-01	60	99,5	2328	#N/B	#N/B	-	2,76	3,11	4,73E-05
4-06	59,8	99,4	2366	#N/B	#N/B	-	bezuken	0,00	0,00E+00
4-11	59,9	99,5	2366	#N/B	#N/B	-	1,45	1,61	2,13E-05
Gem.			2353				2,10	1,57	3,43E-05
								$f_{cmax}=$	0,34

Code	H	D	ρ	N1	N2	Nmax*	ϵ_{max}	A	B
proefstuk	[mm]	[mm]	[kg/m ³]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%/herh]
5-01	60	99,6	2260	#N/B	#N/B	-	2,57	2,96	4,46E-05
5-10	60,1	99,5	2352	#N/B	#N/B	-	1,25	1,45	3,63E-05
5-11	59,7	99,5	2355	#N/B	#N/B	-	0,97	1,11	2,24E-05
Gem.			2322				1,60	1,84	3,45E-05
								$f_{cmax}=$	0,35

Code	H	D	ρ	N1	N2	Nmax*	ϵ_{max}	A	B
proefstuk	[mm]	[mm]	[kg/m ³]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%/herh]
6-01	59,9	99,7	2238	#N/B	#N/B	-	3,48	4,06	6,46E-05
6-07	60,1	99,4	2313	#N/B	#N/B	-	1,38	1,56	2,90E-05
6-10	59,8	99,5	2321	#N/B	#N/B	-	1,45	1,65	3,00E-05
Gem.			2291				2,11	2,42	4,12E-05
								$f_{cmax}=$	0,41

Bijlage G: Afbeeldingen van het onderzoek

Soms vertellen de afbeeldingen meer dan woorden en geven ze de werkelijkheid weer. Daarom in deze bijlage wordt er ook ruimte gereserveerd voor een foto reportage. Vanaf het begin tot het eind wordt elk proces gefotografeerd.



Het verzamelen van de bouwstoffen



Het uitzeven van de stenen



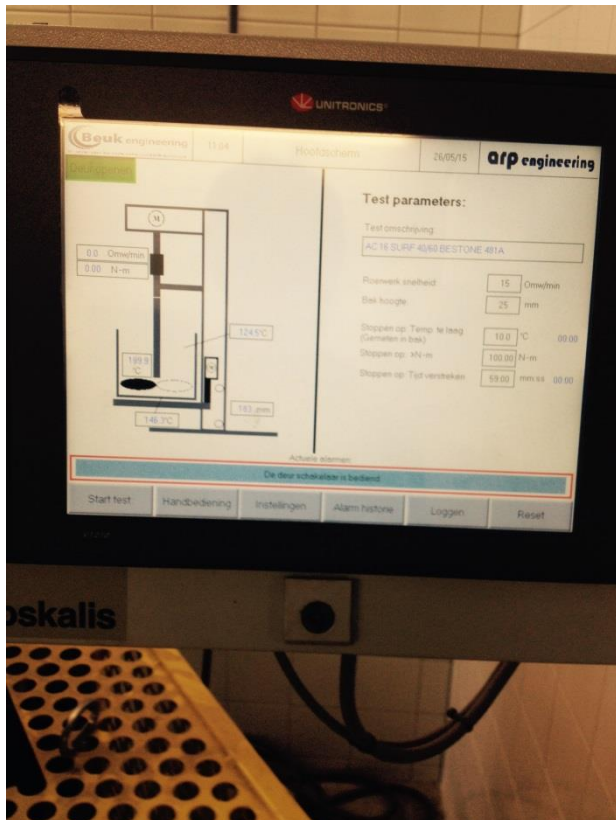
Het inwegen van de bouwstoffen



Het verwarmen van de bouwstoffen



Het maken van het asfaltmengsel



De verwerkbaarheidsproef



De verwerkbaarheidsproef



Het aanbrengen van thermokoppels



Het opmeten van de plaatafmetingen



De aanleg van het asfalt in de kist



De verdichtingstemperatuur van plaat 1



Het afkoelen van het asfaltmengsel voor temperatuursinterval [110-90]



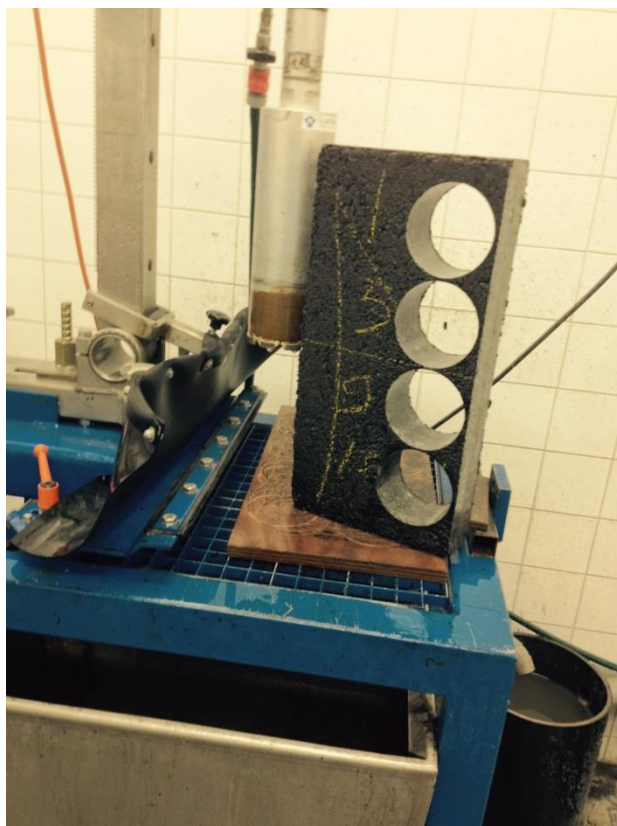
Slechte verwerkbaarheid van plaat 5 wegens laag temperatuur



Slechte verdichting van plaat 5 wegens laag temperatuur



Het zagen van de asfaltplaten



Het boren van de asfaltplaten



Het zagen van de proefstukken



De dichtheidsbepaling van de proefstukken



De proefstukken in temperatuurkamer