

Transparantie in het asfaltverwerkingsproces

Asfaltmetingen met behulp van Radio-Frequency
Identification technologie

Rapport Bachelor Eindopdracht Civiele Techniek

Sjon van Dijk(s1383949)

Bachelor Civiele Techniek
Universiteit Twente
Juni 2016

Begeleiders Universiteit Twente:
dr. Ir. S. R. Miller en ing. G. H. Snellink

Colofon

Titel: Transparantie in het asfaltverwerkingsproces

Ondertitel: Asfaltmetingen met behulp van Radio Frequency Identification technologie.

Status: Openbaar

Versie: Concept eindrapport

Pagina's: 54 inclusief bijlage(81)

Datum: 16-06-2015

Auteur: Sjon van Dijk

Studentnummer: 1383949

E-mail: Sjon.van.dijk@gmail.com

Onderwijsinstelling: Universiteit Twente

Faculteit: Construerende Technische Wetenschappen

Opleiding: Bachelor Civiele Techniek

Opdrachtgever: ASPARi

Stagebedrijf: BAM Infra bv

Adres: Winthontlaan 28, 3526KV Utrecht

Begeleider BAM Infra: Ir. M. Oosterveld

Begeleider Universiteit Twente: dr. ir. S. R. Miller en ing. G.H. Snellink

Voorwoord

Dit document is de eindrapportage van het onderzoek: "RFID technologie in asfalt". Een onderzoek over het gebruik van Radio Frequency Identification technologie, om een verbeterde manier van meten tijdens en na het asfaltverwerkingsproces te vinden. Deze eindrapportage is geschreven in het kader van mijn afstuderen voor de Bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Van april 2015 tot juni 2015, ben ik bezig geweest met onderzoek doen en verslaglegging in deze rapportage.

Het onderzoek is uitgevoerd voor ASPARi, een civieltechnisch samenwerkingsverband dat zich richt op verbeteringen in het asfaltverwerkingsproces. Mijn interne begeleider en vertegenwoordiger van ASPARi, Sergei Miller, heeft een voorstel gedaan voor dit onderzoek bij ASPARi. Het onderzoek is uitgevoerd bij BAM Infra. Met behulp van Marco Oosterveld, mijn begeleider vanuit BAM, is het onderzoek op verscheidene wegen in Nederland uitgevoerd. Daarnaast bedank ik Asfalt Centrale Hengelo, voor het uitlenen van het lab, instrumenten en de steun in mijn onderzoek.

De zoektocht naar deze opdracht ging niet zonder moeite. Begonnen in oktober, zoekende naar een water gerelateerde opdracht kwam ik niet bij geschikte bedrijven terecht. Uiteindelijk kreeg ik te horen dat ik bij Sergei Miller voor een ander soort opdracht terecht kon. Na maanden zoeken naar juiste locatie, was de opdracht in één dag rond. Sergei Miller wil ik bedanken voor zijn enthousiasme en steun tijdens het proces. Gerrit Snellink wil ik bedanken voor zijn hulp met de zoektocht naar een stageplaats, niet vaak had ik met een docent in de auto naar Friesland gezeten.

Vanuit BAM wil ik Marco bedanken, hij heeft met mij meegedacht en geholpen met mijn onderzoek. Met enthousiasme heeft hij mij van goede informatie voorzien en het bedrijf in geholpen. Daarnaast wil ik Asfalt Centrale Hengelo bedanken voor het uitlenen van het lab en hun hulp met alles wat ik nodig had. Twee weken met de werknemers aan het testen heeft mij meer geleerd over asfalt dan ik had durven hopen.

Veel plezier met het lezen van dit verslag!

Sjon van Dijk
Enschede, Juli 2015

Samenvatting

De asfaltsector wordt op de schop genomen, aannemers worden niet meer alleen geselecteerd op goedkoopste prijs, maar ook op geleverde kwaliteit en de gebruikte hoeveelheid energie. Om op basis van deze selectie de beste te blijven, zijn veel bedrijven bezig met het verbeteren van het asfaltverwerkingsproces. Een probleem waar hierbij tegenaan wordt gelopen is een gebrek van feedback uit het proces. Het verloop van de kwaliteit van het asfalt wordt niet bijgehouden en asfalt wordt op basis van ervaring verwerkt.

Om het verwerkingsproces te professionaliseren is ASPARi, een samenwerkingsverband van grote wegenbouwaannemers in Nederland, begonnen met het meten van asfalteigenschappen. Er wordt gebruik gemaakt van een PQi methodiek waarmee temperatuur en dichtheid in kaart worden gebracht. Om het meetproces te verbeteren wordt onderzocht naar andere methodes om het asfalt te meten. In dit onderzoek is onderzocht of RFID technologie, een technologie gebaseerd op radiogolven, een bruikbare manier is voor het meten in asfalt. Met behulp van BAM Infra en Asfaltcentrale Hengelo zijn testen uitgevoerd en onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid van RFID sensoren in asfalt.

Eerst is begonnen met een literatuuronderzoek om een duidelijk beeld van het verwerkingsproces te krijgen. Aan de hand van dit beeld is vastgesteld welke eigenschappen een RFID sensor nodig heeft om gebruikt te worden in het proces. Vervolgens is er een sensor aanbeveelt. Een passieve SAW RFID chip blijkt de meest toepasbare RFID vorm. Met de gegevens van de sensor zijn de invloeden op het asfalt bepaald.

De chip kan het asfalt verzwakken. Het asfalt verstoort de sensor en zorgt voor verplaatsing. Om deze gevolgen te voorkomen is gekozen om de chip op circa 30cm van de rand van het asfalt te plaatsen. Op deze manier wordt de sensor niet kapot gereden, is de sensor makkelijk her vindbaar en wordt het asfalt op belangrijke plekken niet verzwakt. De sensor moet in het midden van de laag worden geplaatst om de kerntemperatuur van het asfalt te meten.

De sensor is niet van grote afstand uitleesbaar en om achteraf de plaats van de sensor terug te vinden is het belangrijk dat de sensor tijdens het proces niet verplaatst. Om dit te voorkomen wordt er gebruik gemaakt van gietasfalt om de sensor aan de onderlaag vast te smelten. Deze methode heeft geen ernstige gevolgen voor de chip of het asfalt en is daarom een goede oplossing.

RFID technologie blijkt uit testen gedaan voor dit onderzoek een goede nauwkeurigheid te bieden ten opzichte van de huidige PQi methodiek. Er zijn helaas nog wel mankementen waar de toekomstige RFID chips geen last van hebben. Daarom moet er verder onderzoek worden gedaan met betere RFID sensoren.

Naast het bedenken van een meetmethode voor asfalt, is er onderzocht hoe de meetbare eigenschappen in asfalt kunnen worden omgezet naar verbruikte energie. Dit is het doel wat de asfaltsector immers probeert te bereiken. Daarom is een formule uitgeschreven waarmee de temperatuur en de dichtheid van het asfalt samen met mengseleigenschappen, kan worden omgezet naar toegepaste energie. Het is daarbij belangrijk empirisch vast te stellen wat de warmtecapaciteit van het asfalmengsel is om de energie verbruikt voor het asfalt verwarmen vast te stellen. Daarnaast moet de aan de hand van drukmetingen in asfalt worden bepaald wat voor walsen over het asfalt rijden. Aan de hand van de kracht benodigd voor de verplaatsing van de wals, kan worden vastgesteld wat de verbruikte energie tijdens het proces is. Verder onderzoek naar relaties tussen verandering van dichtheid en toegepaste kracht moet worden uitgevoerd, om een niet empirische manier voor het schatten van energieverbruik te creëren. Daarnaast moet verder onderzoek worden gedaan voor het gebruik van RFID voor langdurige asfaltmetingen zodat monitoren van asfaltkwaliteit mogelijk is. Deze manier van monitoren zou via actieve of passieve sensoren kunnen. Actief door bedrading in asfalt aan te leggen en passief door wagens te voorzien van RFID uitleesapparatuur.

Inhoudsopgave

Colofon	2
Voorwoord.....	3
Samenvatting.....	4
Inhoudsopgave	5
1 Inleiding	6
1.1 Probleemstelling	6
1.2 Doelstelling	6
1.3 Onderzoeksvragen	7
1.4 Methodiek	8
2 Deelvraag 1: Invloeden van het asfaltverwerkingsproces op RFID sensoren	11
2.1 Asfaltverwerkingsproces.....	11
2.2 Keuze temperatuursensor in onderzoek.....	12
2.3 Welke invloeden heeft de temperatuursensor op de asfaltlagen?	15
2.4 Welke invloeden heeft het asfaltverwerkingsproces op de temperatuursensor?	17
2.5 Overige externe factoren van invloed op de plaatsing.	18
2.6 Conclusies asfaltplaatsing	20
3 Deelvraag 2: Hoe kunnen de RFID sensoren praktisch geplaatst worden in de verscheidene asfaltlagen?.....	22
3.1 Plaatsingsmethodieken.....	22
3.2 Resultaten plaatsingsmethodieken in lab opstelling.....	24
4 Deelvraag 3: Welke prestatie levert de RFID sensor in het asfalt ten opzichte van de gebruikelijke PQi methodiek?	33
4.1 Beschrijving huidige PQi methodiek	33
4.2 Labtest 1 RFID zonder bevestiging in asfalt	34
4.3 Labtest 2 met temperatuur	36
4.4 Veldtest 1.....	38
4.5 Veldtest 2.....	40
4.6 Veldtest 3.....	42
4.7 Veldtest 4.....	44
4.8 Eindconclusie asfalttesten	46
4.9 Aanbeveling	47
5 Deelvraag 4: Omzetting van temperatuur en dichtheid in hoeveelheid verbruikte energie.....	49
5.1 Parameters	49
5.2 Asfalttemperatuur	50

5.3	Asfaltdichtheid.....	50
5.4	Discussie	51
6	Conclusies.....	52
7	Aanbevelingen	54
8	Literatuurlijst	55
9	Bijlage	58
	<i>BIJLAGE I - OVERWOGEN SENSOREN.....</i>	<i>58</i>
	<i>BIJLAGE II-- APPARATUUR SPECIFICATIES.....</i>	<i>59</i>
	<i>BIJLAGE III-- PLAN VAN EISEN SENSOR EN PLAATSING.....</i>	<i>62</i>
	<i>BIJLAGE IV - AFGEVALLEN PLAATSINGSMETHODIEKEN</i>	<i>63</i>
	<i>BIJLAGE V - WAARNEMINGEN VERPLAATSING SENSOREN</i>	<i>65</i>
	<i>BIJLAGE VI - ONDERBOUWING CRITERIA MCA.....</i>	<i>66</i>
	<i>BIJLAGE VII - TOELICHTING SCORE MCA PLAATSINGSMETHODIEKEN</i>	<i>67</i>
	<i>BIJLAGE VIII - TEST GEGEVENS PLAATSINGSTESTEN 1-3</i>	<i>69</i>
	<i>BIJLAGE IX – TEST GEGEVENS TEMPERATUUR TESTEN 1-5</i>	<i>73</i>
	<i>BIJLAGE X - HANDLEIDING GEBRUIK RFID IN ASFALT</i>	<i>75</i>
	<i>BIJLAGE XI – LOCATIES GEPLAATSTE RFID SENSOREN.....</i>	<i>78</i>
	<i>BIJLAGE XII – TOEKOMSTVISIE RFID</i>	<i>80</i>

1 Inleiding

Een grote verschuiving heeft plaatsgevonden in de Wegenbouwmarkt. Opdrachtgevers selecteren bouwondernemingen niet alleen meer op de prijs. De nieuwe selectie gaat volgens de Economisch meest verantwoorde inschrijving (EMVI) (Rijkswaterstaat, 2015). In deze EMVI speelt ook duurzaamheid een grote rol. Meerdere bedrijven spelen hierop in, door duurzaamheidsvisie's op te stellen voor de komende jaren. Naarmate duurzaamheid en kwaliteit hoger op de agenda komt te staan, moeten bedrijven manieren verzinnen om de beste te blijven. Daarnaast is het niet alleen gunstig om energie te besparen zodat de bedrijven opdrachten binnenkrijgen, een duurzame manier van asfalt verwerken met een verbeterde kwaliteit levert ook winst op. Om het asfaltverwerkingsproces te verbeteren en te professionaliseren moet het beter in kaart worden gebracht. Met behulp van nieuwe technologieën moet dat tegenwoordig mogelijk zijn. Alleen door gebrek aan bewijs dat aanpassingen in verwerking de levensduur verhogen, worden deze technologieën nog niet toegepast (Bijleveld F. R., 2015).

Dit is de verslaglegging van een onderzoek gefocust op het vergroten van de duurzaamheid in de asfaltsector. Het onderzoek is gefocust op RFID, een nieuwe technologie op basis van radiogolven, met een grote potentie om gebruikt te worden voor asfaltmetingen.

1.1 Probleemstelling

De duurzaamheid binnen de asfaltsector moet worden vergroot door de efficiëntie, met betrekking op energieverbruik, binnen het verwerkingsproces te verhogen. Om energiereductie te bewerkstelligen is feedback nodig vanuit het asfalt over de gebruikte energie in het proces. Daarvoor dienen gegevens over temperatuur en dichtheid bekend te zijn. Daarnaast moet de kwaliteit van het asfalt over de tijd kunnen worden gevolgd, hiervoor is het vochtgehalte binnen asfalt nodig.

Om deze gegevens te monitoren is een PQi methode ontwikkeld. Deze methode meet temperatuur in en op asfalt, alsmede de dichtheid. Deze methode vraagt veel arbeid en verstoort het werkproces. Daarnaast geeft het alleen informatie tijdens het proces en niet jaren later. Gezocht wordt naar een andere efficiëntere methode om het verloop van eigenschappen in asfalt over de tijd te meten. Kort samengevat:

“Om het asfaltverwerkingsproces op het gebied van energieverbruik en duurzaamheid te verbeteren moet de progressie van temperatuur, dichtheid en vochtigheid tijdens en na het verwerkingsproces worden gemeten.”

1.2 Doelstelling

Het probleem vraagt een nieuwe methode om de eigenschappen binnen asfalt te meten. Een technologie aangedragen door ASPARi is de RFID technologie. In dit onderzoek wordt gekeken of RFID technologie een oplossing is om het meetproces in asfalt te verbeteren.

Het doel van dit onderzoek is inzicht krijgen in de RFID technologie en de bruikbaarheid van RFID sensoren in asfalt. Er wordt onderzocht of en hoe de RFID sensoren praktisch op de weg gebruikt kunnen worden en of de gegevens uit de RFID sensoren een vergelijkbare nauwkeurigheid hebben als de gegevens van de huidige meetapparatuur. Dit onderzoek concentreert zich op de temperatuurgegevens uit het asfalt. Verdere project afkadering is onder hoofdstuk 1.4.3. te vinden. Kort samengevat is het volgende hoofddoel opgesteld:

“Het doel van dit onderzoek is een aanbeveling maken voor een nieuwe methodiek betreffende het meten van temperatuur binnen het asfaltverwerkingsproces, door een zelf ontworpen RFID methodiek en de huidige PQi methodiek op het gebied van efficiëntie en nauwkeurigheid met elkaar te vergelijken.”

1.3 Onderzoeksvragen

Om het doel van het onderzoek te bereiken is een initiële hoofdvraag opgesteld. Aan de hand van meerdere deelvragen zal gewerkt worden naar het antwoord op de hoofdvraag.

Hoofdvraag: *“Wat is de toepasbaarheid van RFID sensoren, in vergelijking met de huidige methodiek, om het verloop van gebruikte energie en temperatuur in asfalt, tijdens en na het asfaltverwerkingsproces te meten?”.*

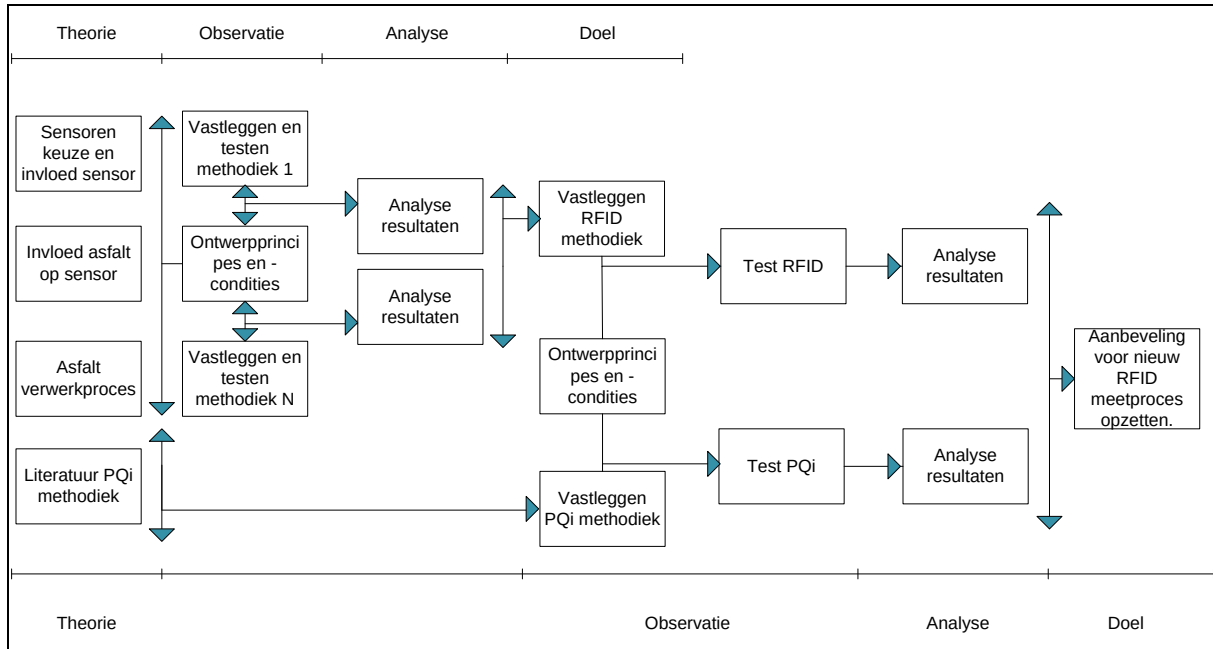
Deelvragen:

1. Welke invloeden heeft het asfaltverwerkingsproces op de RFID sensoren?
 - Welke temperatuursensoren zullen worden gebruikt in het onderzoek?
 - Welke invloeden heeft de plaatsing van deze RFID sensoren op het asfalt?
 - Welke invloeden hebben de RFID sensoren op het asfalt?
 - Waar wordt de RFID sensor in het asfalt geplaatst, om negatieve invloeden tegen te gaan?
2. Hoe kunnen de RFID sensoren praktisch geplaatst worden in asfaltenlagen?
 - Op welke manieren kan de RFID sensor systematisch op de juiste locatie geplaatst worden?
 - Welke plaatsingsmethodiek is het meest geschikt?
3. Welke prestatie levert de RFID sensor in het asfalt ten opzichte van de gebruikelijke PQi methodiek?
 - Wat is de gebruikelijke PQi meetopstelling voor temperatuur?
 - Wat is de nieuwe meetopstelling met gebruik van RFID sensoren?
 - Welke verschillen en overeenkomsten komen er voort uit de metingen met de huidige meetopstelling, ten opzichte van de metingen met RFID?
 - Wat zijn de voor en nadelen van beide metingen?
4. Hoe kunnen de gegevens gemeten in asfalt worden omgezet in verbruikte energie?
 - Welke parameters zijn van belang voor de conversie van temperatuur en dichtheid naar energie?
 - Hoe kunnen temperatuur en dichtheid worden omgezet naar energie?

1.4 Methodiek

In deze paragraaf wordt beschreven hoe het onderzoek zal worden uitgevoerd. Eerst is er een onderzoeksmiddel opgesteld waarna de aanpak van het onderzoek en de afkadering zijn beschreven.

1.4.1 Onderzoeksmiddel



FIGUUR 1 - ONDERZOEKSMODEL

Voor de start van het onderzoek wordt eerst basiskennis gelegd over de asfaltverwerking en de RFID technologie. Aan de hand van het bestuderen van de theorie, wordt het asfaltverwerkingsproces uitgelegd. Deze kennis samen met informatie over wegenbouw, RFID sensoren en invloeden binnen het verwerkingsproces leiden tot een geschikte sensor en daarbij passende manieren van plaatsing in asfalt.

De verschillende plaatsingsmethodieken worden tegen elkaar afgewogen waarna vervolgens de beste werkende oplossing wordt getest tegenover de huidige meetmethodiek. De testen en vergelijken zullen allemaal worden gebaseerd op het meten van temperatuur als hoofddoel.

Daarnaast wordt er onderzocht hoe de gegevens uit het asfalt kunnen worden omgezet naar energieverbruik. Temperatuur en dichtheid zijn de eigenschappen die uiteindelijk worden gemeten, met als doel om energieverbruik in kaart te brengen. Voor een visuele weergave van het onderzoek zie Figuur 1.

1.4.2 Aanpak deelvragen

Aan de hand van de opgestelde deelvragen wordt de hoofdvraag beantwoord. In deze paragraaf wordt inzicht gegeven in de manier waarop de deelvragen worden beantwoord. Elke deelvraag heeft een eigen methodiek om tot het antwoord te komen. In Figuur 2 is een flowchart weergegeven voor de chronologische aanpak van het onderzoek.

Deelvraag 1: Welke invloeden heeft het asfaltverwerkingsproces op de RFID sensoren?

De eerste deelvraag wordt beantwoord met behulp van een onderzoek op basis van literatuur en gesprekken met deskundigen in de asfaltsector. Eerst wordt het asfaltverwerkingsproces en daarmee de sensor keuze uitgelegd. Vervolgens wordt aan de hand van invloeden van het asfaltverwerkingsproces op de sensoren een Plan van Eisen opgesteld voor de plaatsingsmethodiek.

Deelvraag 2: Hoe kunnen de RFID sensoren praktisch geplaatst worden in asfaltenlagen?

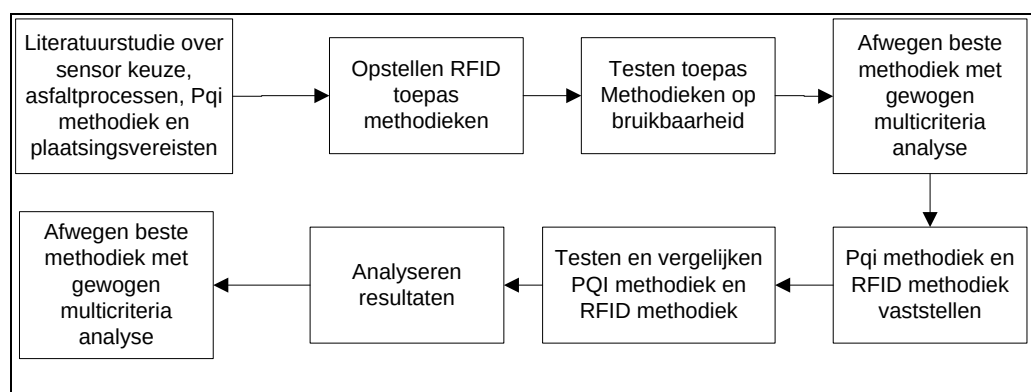
De tweede vraag begint met een brainstormproces en ruimte in een lab om het asfalt te leren kennen, om vervolgens per sub deelvraag te kijken naar de manier waarop aan de eisen aan de plaatsing van de sensor wordt voldaan. Hieruit komen oplossingen naar voren. Vervolgens worden de oplossingen getest in het lab. Via een gewogen Multi criteria analyse zal de beste oplossing worden vastgesteld. De uiteindelijke oplossing wordt tijdens de derde fase van het onderzoek gebruikt om in het veld de RFID sensoren te situeren.

Deelvraag 3: Welke prestaties levert de RFID sensor in het asfalt ten opzichte van de gebruikelijke PQi methodiek?

Nu wordt het vergelijk gemaakt tussen de PQi methodiek en de RFID methodiek. Eerst worden de verschillende meetopstellingen uitgebreid beschreven. Vervolgens worden de testen gedaan, waarna de resultaten aan de hand van het vastgestelde Plan van Eisen worden geanalyseerd. Met gebruik van een gewogen Multi criteria analyse zal er worden gekeken of de RFID methodiek een verbetering is ten opzichte van de PQi methodiek. In deze Multi criteria zullen nauwkeurigheid mede als gebruiksgemak worden meegenomen als belangrijke criteria.

Deelvraag 4: Hoe kunnen de gegevens gemeten in asfalt worden omgezet in verbruikte energie?

De gegevens gemeten door de meetmethodieken moeten uiteindelijk inzicht bieden in het energieverbruik. Temperatuur en dichtheid moeten worden omgezet in energie. Hiervoor zal gebruik worden gemaakt van literatuur en data van vroegere PQi metingen.



FIGUUR 2 FLOWCHART

1.4.3 Projectkader

Het onderzoek zal acht weken in beslag nemen. Omdat dit maar een relatief korte tijd is, moet er een duidelijke afkadering van het onderzoek worden weergegeven.

- Het onderzoek zal zich richten op de temperatuurmetingen in asfalt. Vochtgehalte en dichtheid zijn belangrijk, maar voor dit onderzoek is dat te veel. Het vergelijken van de metingen zal gedaan worden met maar één type RFID sensor.
- Er zal getracht worden een visie te geven over het gebruik van RFID technologie, maar dit zal gedaan worden aan de hand van deze één sensor. Wel zullen er aanbevelingen worden gemaakt over het algemene gebruik van RFID in de toekomst. De technologie ziet nog ruimte voor verbetering.
- Het aantal testen in het onderzoek zal niet genoeg zijn om een statistische onderbouwde conclusie te trekken, dit is niet mijn doel. Voor een echte conclusie zal meer onderzoek worden uitgevoerd.
- De invloeden op het asfalt kunnen alleen worden beschreven. Dit onderzoek richt zich op de praktische kant van het toepassen van de RFID. De daadwerkelijke invloeden op het asfalt zullen verder moeten worden onderzocht.

2 Deelvraag 1: Invloeden van het asfaltverwerkingsproces op RFID sensoren

Dit hoofdstuk begint met een introductie in de asfaltwegenbouw, het verwerkingsproces en de RFID technologie. Aan de hand van de zware in asfalt omstandigheden en de RFID technologie beschreven in de introductie, wordt een RFID sensor gekozen. Vervolgens worden de invloeden van het asfalt op de sensor en de sensor op het asfalt beschreven. Uiteindelijk wordt met behulp van deze informatie de eisen voor het gebruik van de RFID sensor opgesteld.

2.1 Asfaltverwerkingsproces

De aanleg van asfaltwegen begint bij het gereedmaken van de ondergrond. De grond wordt machinaal aangepast tot het de juiste eigenschappen heeft om het asfalt te dragen. Op deze eerste ondergrond wordt een laag zand van ongeveer 50cm aangebracht. Daarbovenop wordt de fundering aangebracht. Fundering kan een extra laag zand zijn, of juist afvalstoffen en asfaltlakken (CROW, 2010). Diktes soort en volgorde kunnen verschillen, afhankelijk van de omgeving. Figuur 3 is een schematische doorsnede van een gemiddelde asfaltweg.

De asfaltweg wordt algemeen aangelegd in drie lagen: een onderlaag, een tussenlaag en een deklaag. De onderlaag neemt de trekspanningen van de verkeersbelasting op, daarnaast moet het de ongelijkmatige zettingen kunnen volgen zonder dat de constructieve sterkte van de weg wordt gereduceerd (CROW, 2010). Verder wordt deze laag gebruikt als de werkvloer om de andere asfaltlagen aan te brengen.



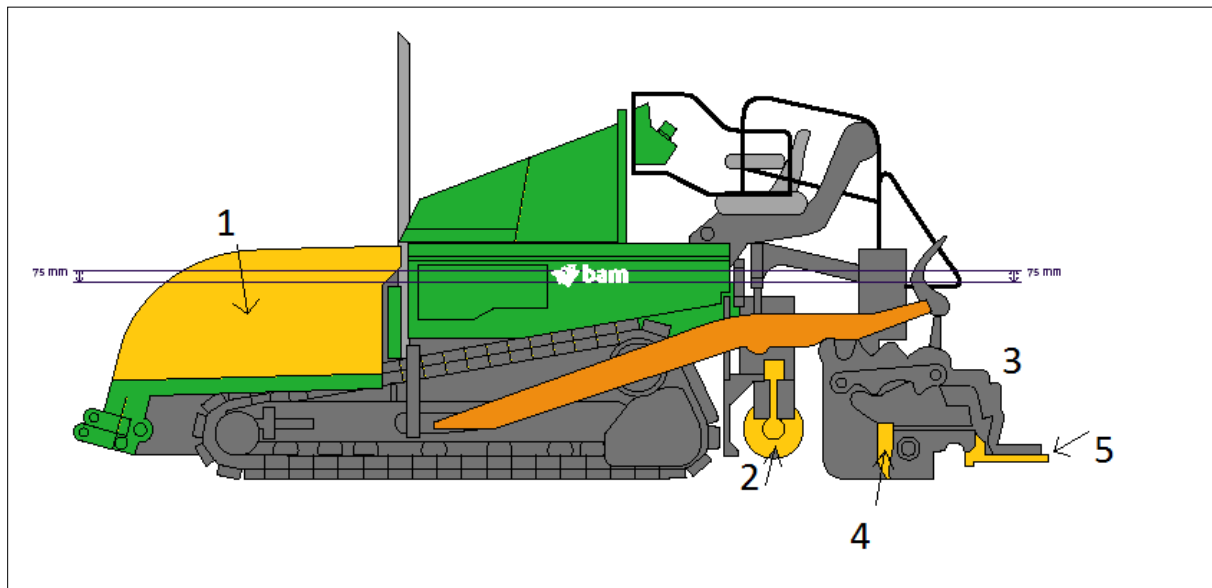
FIGUUR 3 - DOORSNEDE ASFALTWEG

De tussenlaag moet de krachten van de deklaag overbrengen naar de onderlaag en de fundering. Via de tussenlaag moet naar maximale vlakheid voor de deklaag worden gestreefd.

De deklaag is de bovenste laag asfalt en wordt vaak gezien als de belangrijkste laag. De deklaag moet aan veel eisen voldoen: slijtvastheid, stijfheid, weersbestendigheid, stroefheid, waterberging, lichtreflectie, kleur en textuur (CROW, 2010). De deklaag bestaat in Nederland meestal uit asfaltbeton, maar daar zijn meerdere soorten van. Het kan dicht asfaltbeton zijn of een andere vorm bijvoorbeeld zeer open asfaltbeton, steenmastiekasfalt of combinatiedeklagen (Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 2007). Doordat dekasfalt aan een breed spectrum aan eisen moet voldoen, is het de duurste asfaltlaag. De deklaag wordt daarom zeer secuur aangelegd. Tussen de verschillende lagen asfalt wordt een kleeflaag aangebracht, waardoor het asfalt beter hecht aan de omliggende lagen.

Het creëren van een asfaltlaag zelf begint bij de asfaltfabriek. Hier wordt mineraal aggregaat, vulstof en bitumen gemengd tot asfaltspecie, de samenstelling van deze specie kan sterk verschillen. Deze specie wordt met vrachtwagens getransporteerd naar de locatie waar het wordt verwerkt (CROW, 2010). Vervolgens wordt het asfalt op de weg aangebracht met behulp van een asfaltspreidmachine. Dit werkt als volgt: De vrachtwagen zorgt voor de aanvoer van de asfaltspecie en wordt met constante snelheid door de spreidmachine voortgeduwd. In Figuur 4 is een genummerde weergave van een asfaltspreidmachine gegeven. De asfaltspecie wordt al rijdende in de hopper(1) van de spreidmachine gestort met een temperatuur tussen de 130 en 170 °C. Temperaturen in asfalt verschillen per locatie door verschillen in samenstelling. Op brede transportbanden wordt het hete asfalt naar de verdeelworm gebracht(2). Hier wordt het asfalt gelijkmatig op de weg voor de afwerkbalk verdeeld. De verwarmde afwerkbalk(3) zorgt voor de verdichting van het asfalt en

bepaalt de dikte van de laag. De volledig afstelbare afwerkbalk zorgt met zijn gewicht, stampmes(4) en brede trilplaat(5) voor 85% tot 95% van de verdichting van het asfalt (CROW, 2010).



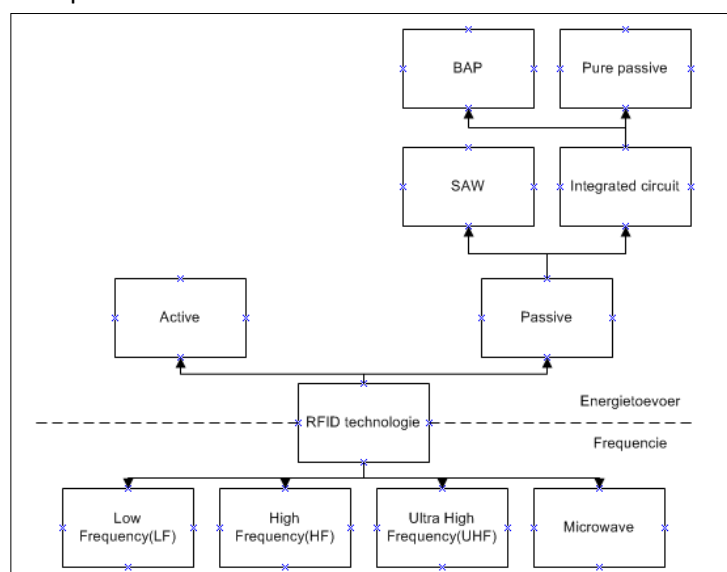
FIGUUR 4 VOORBEELD VAN EEN ASFALTSPREIDMACHINE (BAM, Z.D.)

Het resterende percentage van verdichting wordt bereikt met behulp van verschillende soorten walsen. De walsen verschillen van grootte en vorm, zo zijn er walsen met twee of drie rollen of walsen met banden. Daarnaast loopt het gewicht van de spreidmachine van 5,9 ton tot wel 28,7 ton (JOSEPH VÖGELE AG, 2014).

Het asfaltverwerkingsproces kent een hoop variabele factoren. Zo is er verschil in de asfaltmengsels die worden gebruikt, zit de temperatuur tussen de 130 en 175°C en worden er verschillende spreidmachines en walsen gebruikt om de verdichting van het asfalt te bewerkstelligen. Uiteindelijk hebben al deze verschillende factoren invloed op de sterkte van het asfalt.

2.2 Keuze temperatuursensor in onderzoek

Het asfaltverwerkingsproces is een intensief proces waarin de sensor moet overleven onder zware omstandigheden. Temperaturen die oplopen tot 175 C° en gebruik van hoge druk en trillingen om de juiste asfaltverdichting te bereiken. De sensor die wordt gekozen moet bestand zijn tegen deze zware omstandigheden. Daarnaast zijn voor de bruikbaarheid van de sensor nog twee aspecten die meewegen in de sensor keuze: de energietoevoer en de gebruikte radio frequentie. In *BIJLAGE I - OVERWOGEN SENSOREN* is een tabel toegevoegd met daarin de gevonden sensoren. Daarnaast is Figuur 5 toegevoegd, met daarin een schematisering van de verschillende RFID sensoren op basis van frequentie en energietoevoer.



FIGUUR 5 - VERSCHILLENDE RFID SENSOREN

Na de uitleg over de verschillende vormen RFID technologie, zal er een aanbeveling worden gemaakt, voor de vorm RFID sensor in asfalt. Daarnaast zal de keuze van ASPARi worden beschreven, waar de rest van het onderzoek mee gewerkt is.

2.2.1 RFID technologie

Radio Frequency Identification, is een technologie die data overdracht via radiogolven mogelijk maakt. Direct contact of bedrading is niet benodigd voor deze data overdracht. Informatie wordt opgeslagen in zogenaamde RFID tags en kunnen met behulp van een reader worden uitgelezen. De reader zendt een signaal uit en de tag reageert hierop. Vroeger werd het alleen gebruikt voor beveiliging in bijvoorbeeld kleding, maar tegenwoordig zijn er nog veel meer toepassingen bekend (Saleem, Zamin Ali Khan, & Afzal, 2012). De meeste toepassingen hebben betrekking op identificatie van objecten, maar tegenwoordig is de technologie in staat gegevens in de omgeving te meten. Dit maakt de technologie geschikt om informatie te verkrijgen over moeilijk bereikbare plaatsen of zelfs in asfaltmetingen (Siden, Xuezhi, Unander, Koptug, & Nilsson, 2007).

Om de kern van asfalt te monitoren zou de RFID technologie zeer geschikt kunnen zijn. Maar het asfalt heeft invloeden op de sensor waardoor gebruik eventueel niet mogelijk is. Voor een goede toepassing van de sensoren moet onderzocht worden wat de juiste soort RFID is, om metingen te verrichten in het asfalt. Twee aspecten in RFID zijn van belang in de keuze voor het onderzoek: de energievoorziening en de radio frequentie (Jovix, 2015). Beiden opties en uiteindelijke keuze worden verder in het hoofdstuk uitgelegd.

2.2.2 Keuze op basis van energietoevoer.

RFID sensoren worden met betrekking op energietoevoer onderverdeeld in twee categorieën: actief en passief (Smith, 2004). Active RFID sensoren gebruiken een interne elektrische bron voor energievoorziening. Deze sensoren hebben door de interne stroomtoevoer de capaciteit om te continue te meten en te zenden. Een actieve sensor staat altijd aan en kan continue processen uitvoeren. Active technologie heeft genoeg aan een zwak signaal van de reader om gelezen te worden en geeft zelf een sterk signaal af. Daarnaast kan een actieve sensor zelf signalen versturen waarin duidelijk wordt waar de sensor zich bevindt. Dit betekent dat er bij de plaatsing in het asfalt snelle lokalisering van de sensor mogelijk is (Dressen, z.d.).

Nadelen van Active RFID is dat er bedrading nodig is voor de stroomtoevoer. Dit betekent meer problemen bij plaatsing en als de sensor op grote schaal wordt toegepast, moeten er speciale stroomnetwerken worden opgezet. Ook is de sensor relatief duur, gemiddeld ongeveer 15 tot 100 dollar (Jovix, 2015). Het uiteindelijke doel van het onderzoek is het meten van temperatuur tijdens en na het asfaltverwerkingsproces. Dit moet op grote schaal gebeuren, wat betekent dat de prijs van de sensor een belangrijk criterium is.

Passieve RFID sensoren maken geen gebruik van elektrische bedrading. Deze vorm van sensoren gebruiken het signaal van de reader als energiebron. Daardoor hebben ze een sterk signaal nodig en zenden ze een zwak signaal uit. Hierdoor kunnen ze minder snel data overzetten dan actief (Dressen, z.d.). Het grote voordeel aan passieve sensoren zijn de lage kosten en het gebrek aan bedrading. Passieve sensoren kunnen door hun externe energievoorziening voor de volledige levensduur in het asfalt worden geplaatst.

Om de zwakkere capaciteit van passieve sensoren te compenseren, is een vorm van passieve sensoren bedacht die dezelfde kracht heeft als de actieve sensor. Dit zijn de Battery Assisted Passive(BAP) sensoren. Omdat deze sensoren op batterijen werken, betekent dat een beperkte houdbaarheid. Als de batterij leeg is, is de sensor onbruikbaar (Dressen, z.d.). Daarom is dit voor langdurig monitoren van het asfalt niet geschikt en wordt deze vorm met de huidige batterij capaciteit niet meegenomen in de overweging.

Van passieve RFID sensoren zijn meerdere varianten: SAW, IC BAP en IC passive (Kaare, Koppel, & Kuhi, 2012). IC BAP is de battery assisted RFID en is niet bruikbaar door het gebruik van de batterij als

energietoever. SAW en IC passive maken beide gebruik van een reader om van stroom te worden voorzien. IC passive zet de reader signalen om in gelijkstroom. Die stroom wordt gebruikt om het inwendige circuit van energie te voorzien. Als de signalen van de reader te zwak zijn, gaat de passive sensor uit. SAW maakt gebruik van een piëzo-elektrisch effect, waardoor gelijkstroom niet nodig is. De sensor wekt door buiging elektriciteit op in de sensor. De radiogolven wekken stroompjes op. Bij een zwak signaal komt er een zwak signaal terug en bij een sterk signaal is er ook een sterke respons. SAW werkt dus ook bij een zwak signaal. Dit zorgt ervoor dat SAW beter leesbaar is dan IC passive (Hartmann & Claiborne, 2007).

2.2.3 Keuze op basis van radiofrequentie.

RFID technologie wordt voor vier verschillende frequentiegebieden ontwikkeld: Lage frequentie(LF), 30 – 300kHz; Hoge frequentie(HF), 3 – 30MHz, Ultra Hoge Frequentie(UHF), 300- 3000MHz en Microwave, 3 - 30 GHz (Dressen, z.d.). Elke frequentie heeft voor en nadelen. De perfecte sensor

TABEL 1 - EIGENSCHAPPEN FREQUENTIES

Frequency Band	System Type	3 cm	10 cm	30 cm	1m	3m	10m	> 10m
LF	Passive							
HF	ISO14443							
	ISO15693							
UHF	Passive							
	Active							
Microwave	Passive							
	Active							

Frequency Band	System Type	16	64	256	512	1K	8K	16K	32K	128K
LF	Passive ISO									
HF	ISO14443									
	ISO15693									
UHF	Passive									
Microwave	Passive									

heeft een grote geheugen, waarmee grote hoeveelheden informatie snel kunnen worden overgezet, en een groot bereik om de sensor af te lezen. Alleen kan dit natuurkundig gezien niet. Data overzet snelheid en bereik zijn gedeeltelijk van elkaar afhankelijk (Dressen, z.d.). In Tabel 1 zijn de belangrijkste parameters aangegeven waar de keuze op wordt gebaseerd. De sensoren komen maximaal 30 cm in het asfalt te liggen. Een veel groter bereik is alleen voor lokalisatie handig. Hoge Frequentie kan het snelst data overzetten (Schwartz, Khan, Pfeiffer, & Mustafa, 2014), maar ook grote hoeveelheden data zullen niet worden overgezet. Alleen de gemeten

temperatuur moet worden doorgegeven.

2.2.4 Uiteindelijke keuze

Voor asfaltmetingen tijdens het verwerkingsproces wordt een passieve SAW RFID chip aangeraden. Deze maakt gebruik van Microwave golven tot 2,45 GHz, kan snel data overzetten en heeft minimale signaalsterkte nodig. De keuze voor deze sensor berust op de volgende argumenten:

- Passief heeft geen bedrading of interne bron nodig. Een speciaal stroomnetwerk aanleggen voor RFID is een te grote kostenpost.
- Er zijn veel verschillende passieve sensoren op de markt en de SAW technologie is goed bestand tegen hoge temperaturen.
- SAW werkt goed tussen metalen en vloeistoffen, dus de bitumen in het asfalt levert minder verstoring (RFSAW, 2015).
- De reader voor SAW technologie is draagbaar.
- Een zwak signaal is genoeg voor SAW technologie.
- De sensor is over grote afstand van tot wel 15 meter af te lezen (Tentacle Technologies, 2015)

Voor monitoren van RFID over langere tijd moet gebruik worden gemaakt van actieve RFID. Actieve RFID kan gegevens loggen, zodat pieken in temperatuur en dichtheid kunnen worden opgeslagen en later worden afgelezen. Passieve RFID geeft alleen de exacte momentopname en is daarbij voor latere informatie niet geschikt.

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een andere RFID sensor dan in eerste instantie aanbeveelt. Een passieve UHF sensor zal de basis zijn voor dit onderzoek. De Microsensys Telid 412 met een piektemperatuur tot 175°C.

Om de chips uit te lezen wordt gebruik gemaakt van de Casio IT800 met een RFID Module. Voor verdere specificaties van de sensoren en reader zie *BIJLAGE II-- APPARATUUR SPECIFICATIES*.

2.3 Welke invloeden heeft de temperatuursensor op de asfaltenlagen?

De RFID sensor voor het onderzoek is in de vorige paragraaf bepaald. Op basis van deze keuze wordt er gekeken naar de invloeden van de sensor en de invloeden van de plaatsing in het asfalt. Asfalt kent veel problemen met betrekking op de sterkte. Extreem hoge en lage temperaturen, verkeerslasten en boomwortels zorgen voor problemen in asfalt (Scherocman, Kennedy, Tahmoressi, & Holmgreen, 1988). Er is weinig onderzoek gedaan naar de invloeden van het extra belasten van asfalt door plaatsing van sensoren. Daarom wordt dit vraagstuk beschreven aan de hand van een aantal voorkomende problemen met asfalt die overeenkomen met de geschatte invloeden die de sensor levert.

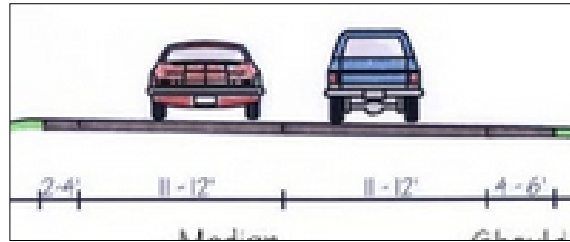
De volgende problemen vergelijkbaar met de sensor invloeden zijn te benoemen:

- Spanning in asfalt
- Verdichting in asfalt
- Perforatie van asfalt

Deze invloeden worden beschreven en meegenomen in het Plan van Eisen. Uit de testen zal blijken of de beschreven problemen in het asfalt voorkomen.

2.3.1 Spanning in asfalt

Op een asfaltweg werken voortdurend verkeerslasten. Door de continue verkeerslast ontstaat vervorming in het asfalt (Scherocman, Kennedy, Tahmoressi, & Holmgreen, 1988). Asfalt veert mee met de beweging van het verkeer. De sensor is groter dan een normaal stuk aggregaat en veert op een andere manier mee. Hierdoor ontstaat er spanning in het asfalt. Dit effect is op een zeer kleine schaal, omdat de sensor maar een fractie van de totale breedte van de weg is. Toch kan dit plaatselijk voor eventuele scheurvorming zorgen.



FIGUUR 6 - SCHEMATISATIE WIELSPOREN

Een asfaltweg wordt op een aantal plaatsen belast. Dit zijn de locaties waar het verkeer de weg raakt.

Zoals te zien in Figuur 6 raken de wielen maar een beperkt gedeelte van de weg. Dit zijn de zogenaamde rijsporen. In deze rijsporen ontstaan scheuren en beschadigingen omdat de belasting hier het hoogst is (Scherocman, Kennedy, Tahmoressi, & Holmgreen, 1988). Omdat er bij normale verkeersbelasting al veel slijtage in de wielsporen van de weg is, moet in dat gebied het asfalt niet extra worden belast. Voor de temperatuursensor is het niet van belang dat in het wielspoor gemeten wordt, de temperatuurmeting kan op andere locaties in het asfalt worden gedaan. Daarom moet de sensor buiten de rijsporen worden geplaatst. Ook de rijsporen van de spreidmachine moeten worden meegenomen, deze zitten op minimaal 40cm van de kant. Als de sensor vooraf in het rijspoor van de spreidmachine wordt geplaatst, wordt de sensor kapot gereden.

2.3.2 Verdichting in asfalt

Via de spreidmachine en wals overgangen wordt getracht een homogene verdichting in de asfaltlaag te krijgen. Een sensor heeft een andere dichtheid dan het asfalt eromheen. Daardoor kan een zogeheten drijfeffect ontstaan. De sensoren werken langzaam naar de oppervlakte toe, waarna vervolgens problemen zouden ontstaan met de onderliggende dichtheid van het asfalt (Schwartz, Khan, Pfeiffer, & Mustafa, 2014).

Uit onderzoek van Schwartz(2014) is gebleken dat er geen meetbare verandering van dichtheid optreedt door gebruik van chips in asfalt. Zelfs als de sensoren opwaarts drijven door de kleinere dichtheid van de chip is er geen merkbare verandering in de dichtheid en daarmee de sterkte van het asfalt.

Nog een andere aan dichtheid gerelateerd probleem is een mindere mate van verdichting rond de sensor. Afhankelijk van de plaatsingsmethode kan rond de sensor sprake zijn van holtes, slechte aanhechting en een veranderde aggregaat structuur.

2.3.3 Perforatie van het asfalt

Bij plaatsing na de asfaltverwerking wordt de laag geperforeerd, om de sensor in de laag te plaatsen. Dit gat wat hierdoor ontstaat, wordt later dichtgemaakt en verder verdicht. In onderlagen worden vaak gaten gemaakt. Zo worden putten kabels en andere verstoringen in de onderlaag verwerkt, waardoor het asfalt vaker wordt opengehaald. Toch wordt dit als schadelijk gezien voor de wegen.

In deklagen wordt het boren en beschadigen van het asfalt niet gedaan. De deklaag wordt gezien als de belangrijkste laag en bij de plaatsing van deklagen wordt voorzichtig te werk gegaan.

2.4 Welke invloeden heeft het asfaltverwerkingsproces op de temperatuursensor?

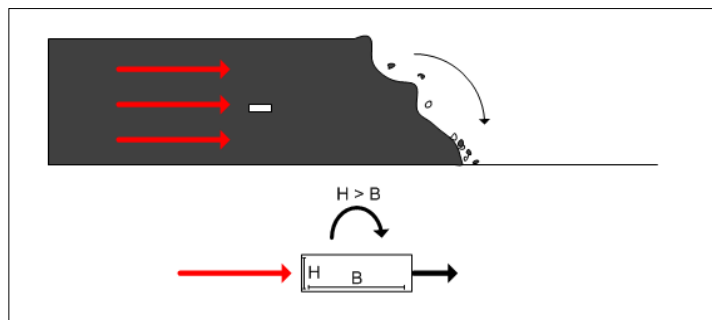
Nu wordt er gekeken welke krachten en problemen er optreden tijdens het asfaltverwerkingsproces die van invloed zijn op de sensor. Er zijn invloeden waar de sensoren op zijn berekend, maar ook omstandigheden die wel problemen veroorzaken. Daarnaast zijn er invloeden die zorgen voor een verplaatsing van de sensor.

2.4.1 Temperatuur

Een eerste invloed van het asfaltverwerkingsproces op de sensor zijn de omstandigheden waar de sensor voor is gebouwd. De sensor is gemaakt om een temperatuur te verdragen van 125 °C. Maar de sensor kan temperaturen aan met een piek van 175 °C. Het meeste asfalt wordt aangeleverd met een temperatuur van rond de 175 °C. Op het moment van plaatsen is het alleen al afgekoeld naar ongeveer 150 °C. De sensor is berekend op deze temperaturen, daar mogen geen problemen ontstaan. Omdat de sensor is gebouwd op 125°C, betekent dit dat de temperatuurmeting is nauwkeurig zijn voor ongeveer dezelfde temperatuur. Daarom zal bij overschrijding van de 125°C de meting niet betrouwbaar zijn.

2.4.2 Schuivende werking van het asfalt

De schuivende kracht van het asfalt zorgt ervoor dat als de sensor voor de spreidmachine wordt neergelegd, de sensor van locatie verplaatst. De spreidmachine trekt het asfalt tijdens verwerking met zich mee. Voor de verdeelworm ligt een grote hoeveelheid asfalt die al rijdende wordt verspreid over de weg. Deze bult asfalt kan de sensor met zich meetrokken. Dit zorgt voor problemen met lokalisering. Uit onderzoeken van het PAST project blijkt dat sommige sensoren wel anderhalve meter uit positie werden teruggevonden. Asfalt is geen transparante stof en de sensor kan geen informatie over zijn locatie verzenden. Daarnaast heeft de reader een leesbereik van ongeveer 20 cm. Als de sensor van plaats is veranderd, is het vinden van de sensor geen gemakkelijke taak.



FIGUUR 7 - SCHEMATISATIE SENSORVERSCHUIVING

Een ander effect door de voorttrekkende beweging van het asfalt is het rollen van de sensor. Als de sensor in verhouding meer hoogte heeft dan breedte, drukken de krachten vanaf de zijkant de sensor om. Rollen is niet zozeer een probleem voor deze sensor als het gaat over het leesbereik, de sensor is namelijk afleesbaar vanuit elke oriëntatie. Maar voor de locatie is rollen wel belangrijk. Door een rolbeweging kan de sensor zich voortbewegen naar een andere locatie.

2.4.3 Puntlast van aggregaat

De sensor kan een puntlast ondervinden van een verkeerd gepositioneerd stuk aggregaat. Als de spreidmachine het asfalt verspreidt gaat het aggregaat in het asfalt rangschikken. Dit is ook wat er gebeurt bij verdichting. Met een externe druk wordt getracht de gewenste verdichting te bereiken door het herschikken van het aggregaat. Daarom trillen sommige walsen ook het asfalt tijdens het verwerken. De trillingen ondersteunen het verdichten. Als tijdens deze rangschikking een steentje op de sensor terecht komt, waar vervolgens druk op komt te staan, is er een kans op het breken van de sensor. Er moet getracht worden een bescherming voor de sensor te realiseren.

2.4.4 Opwaarts drijven van de sensor

De dichtheid van de sensor is lager dan de dichtheid van het asfalt. Daarnaast heeft de sensor ook minder verandering van afmeting door temperatuur dan het asfalt zelf. Asfalt gaat inkrimpen en vervormen door temperatuurwisseling. De sensor kan gaan meebewegen in het asfalt. Door de lagere dichtheid kruipt de sensor tijdens de beweging langzaam omhoog. Waarna uiteindelijk de sensoren aan het oppervlak verschijnen. Dit is een probleem waar Schwartz(2014) tegen aanliep in zijn onderzoek. Dit opwaarts drijven zorgt voor een veranderde locatie van de sensor. De sensor kan hierdoor hoger in de asfaltlaag belanden, wat invloed heeft op de temperatuurmeting.

2.4.5 Radiosignaal verstoring

Vloeistoffen en metalen hebben een versturende werking op radiosignalen (Ong, et al., 2008) De bitumen in het asfalt zorgen voor verslechterde leesbaarheid van de sensor. Omdat er gebruik wordt gemaakt van een UHF sensor, wordt het signaal niet dermate verstoord dat het onleesbaar is. In de testen van Pfeiffer(2010) bleek dat sommige sensoren niet leesbaar waren door de oriëntatie van de chip. Als het oppervlak van de sensor richting de reader te klein wordt, zijn sommige type sensoren niet meer afleesbaar voor de reader. Dit probleem heeft zich bij de Microsensys sensor niet voorgedaan, maar voor toekomstige toepassing moet hier rekening mee worden gehouden.

Daarnaast is voor het uitlezen van de RFID sensor belangrijk dat de sensor automatisch vanaf de rijdende voertuigen kan worden afgelezen. Aangezien de reader maar een bepaald bereik heeft voor het aflezen van de sensoren, moet de reader zich boven de geplaatste sensor bevinden. De reader heeft tijd nodig om de sensor te lezen. Daarom moet er gebruik worden gemaakt van langere readers waardoor met de snelheid van de wals de sensor toch kan worden afgelezen. Als in de wals, de reader op dezelfde afstand van de rand wordt geplaatst als de sensor, dan is het lezen tijdens rijden haalbaar. Mocht de sensor niet af te lezen zijn, moet er overwogen worden de sensor hoger in de asfaltlaag te plaatsen.

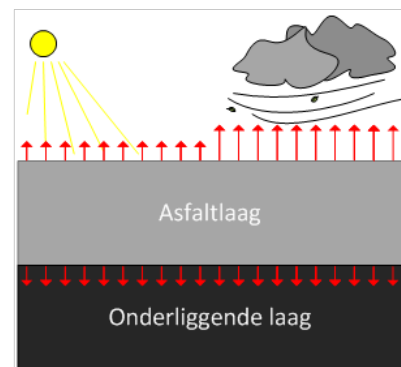
2.5 Overige externe factoren van invloed op de plaatsing.

Behalve invloeden van het asfalt zelf, zijn er externe invloeden en problemen waar rekening mee wordt gehouden voor de plaatsing.

2.5.1 Omgevingstemperatuur

De sensor moet tijdens het proces een zo nauwkeurig mogelijke temperatuur in het asfalt aangeven. Een asfaltlaag wordt op een oudere asfaltlaag geplaatst en wordt aan de bovenkant tijdelijk blootgesteld aan de weersomstandigheden. Bij een deklaag is dit permanent het geval, omdat daar geen andere asfaltlaag op wordt aangebracht. Dit betekent dat, zoals weergegeven in Figuur 8, twee factoren van buitenaf invloed hebben op de temperatuur: Een koudere ondergrond waar het asfalt op ligt, en de weersomstandigheden aan de bovenkant (Schwartz, Khan, Pfeiffer, & Mustafa, 2014). Omdat de warmte van grote invloed is op de samendrukbaarheid van het asfalt is het belangrijk de hoogste temperatuur in het asfalt te meten. Miller(2010) laat in zijn onderzoek zien dat de temperatuur in het midden van de asfaltlaag tot wel 40 °C hoger kan zijn dan de oppervlakte temperatuur.

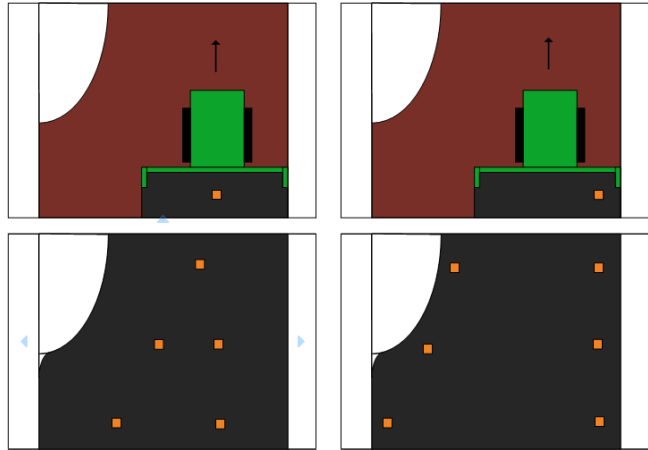
Voor het blijvend controleren van het asfalt over de jaren is het belangrijk de grote temperatuurveranderingen te meten. Dit laat namelijk zien waar schade is ontstaan door extreme weersomstandigheden. De grootste temperatuurverschillen zitten uiteindelijk in het bovenste gedeelte van de deklaag omdat daar het weer, de voornaamste fluctuerende warmtebron, het meeste grip op heeft. De asfaltlagen en onderliggende lagen zullen snel dezelfde temperatuur hebben bereikt, maar de deklaag zal blijven veranderen van temperatuur door de weersafhankelijkheid.



FIGUUR 8 - SCHEMATISATIE TEMPERAATUUR INVLOEDEN

2.5.2 Lokalisering

Voor een efficiënte meetmethode is het een grote aanwinst in gebruiksgemak als de sensoren uiteindelijk automatisch vanaf de asfaltspredmachine worden geplaatst. De sensor moet in een rechte lijn met evenredig ruimte tussen de sensoren geplaatst worden. Dit maakt het aflezen vanaf een voertuig makkelijker. De asfaltspredmachine kan verbreedt worden waardoor een weg geleidelijk breder of smaller kan worden gemaakt, ook rijdt bij een te brede weg de asfaltspredmachine soms twee banen naast elkaar. Dit betekent dat het midden daardoor verplaatst. Verstandig is dus om vanaf de machine op een afstand van de buitenrand de sensor te plaatsen. Want hoeveel de machine ook breder wordt, de afstand tot de buitenrand blijft hetzelfde. Zoals in Figuur 9 geschetst wordt is bij plaatsing in het midden van de machine de sensor bij wegversmalling niet in het midden van de weg. Dit betekent dat die sensor zeer lastig terug te vinden is. Bij sensor plaatsing op vaste afstand van de kant is bij versmalling of verbreding de sensor gemakkelijk te lokaliseren.

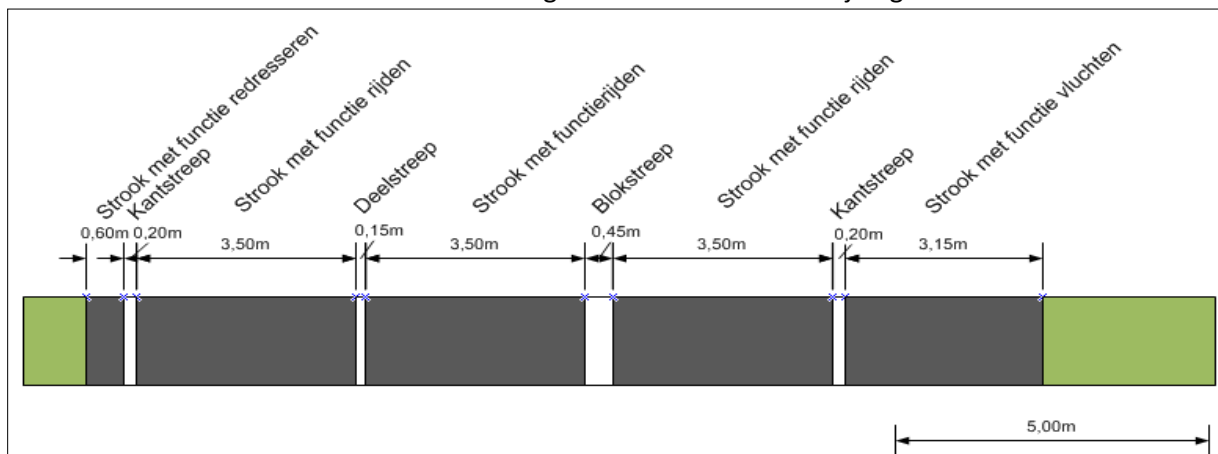


FIGUUR 9 - SENSORPLAATSING

Om een goede vaste afstand te kiezen wordt er gekeken naar een schematische weergave van een voorbeeld verkeersbaan. De maten in deze weergave zijn gebaseerd op de gegeven afmetingen van Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 2007).

Uit de schematisatie valt op te halen dat de belijning van een verkeersbaan op vastgestelde afstand van de kant worden getrokken. De strepen op de weg liggen niet in de wielsporen van het verkeer. Maar de strepen zijn van een stof gemaakt wat van invloed kan zijn op de leesbaarheid van de sensoren. In het midden van de weg worden boorsamples genomen, waardoor gevaar voor verlies van sensoren bestaat. Daarnaast is het uitlezen tijdens de testen op grote afstand van de kant niet mogelijk. Voor een goede lokalisatie wordt een vaste maat ten opzichte van de belijning gekozen. Wat neerkomt op een algemene afstand van circa 30cm vanaf de kant.

Soms zijn er afwijkingen met betrekking tot de belijning op een snelweg. Zo is de redresseerstrook soms 50cm in plaats van 60cm. Daarom moet duidelijk worden aangegeven dat bij de plaatsing van de sensor altijd gebruik wordt gemaakt van dezelfde maten, en dat de kantlijn de richtlijn is voor de locatie. Plaatsing gebeurt dus aan de kant van de vluchtstrook of de redresseerstrook. Hierbij is de vluchtstrook optimaal door een betere bereikbaarheid. Figuur 10 is een schematische doorsnede van een snelweg met locaties van de belijning.



FIGUUR 10 - WEERGAVE SNELWEG

2.6 Conclusies asfaltplaatsing

Uit het literatuuronderzoek worden nu conclusies getrokken om de definitieve verticale en horizontale locatie van de sensor te bepalen. Daarnaast wordt een aanbeveling gemaakt over de bevestiging van de sensor. Een totaal plan van eisen is opgesteld en te vinden in *BIJLAGE III-- PLAN VAN EISEN SENSOR EN PLAATSING*.

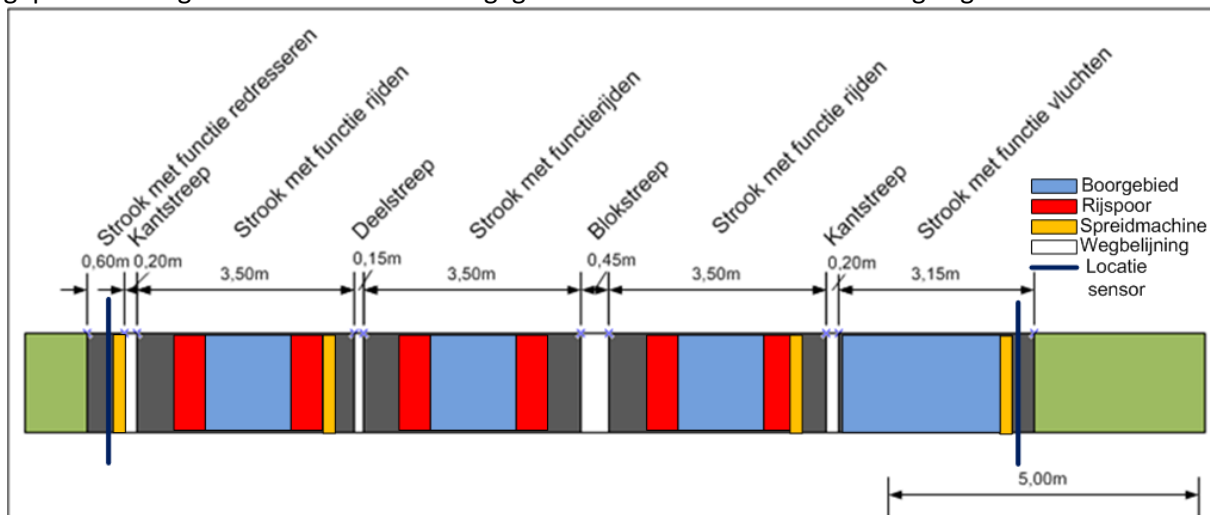
2.6.1 Verticale plaatsing

Om een realistische beeld te geven van de temperatuur in het asfalt is het belangrijk ver van de twee beschreven temperatuurverstoreningen verwijderd te zijn. Dit betekent dat de sensor voor de gewenste meting tijdens het asfaltverwerkingsproces in het midden van de laag moet worden geplaatst.

Voor het blijvend controleren van het asfalt over de jaren is het belangrijk de grote temperatuurveranderingen te meten. Dit laat namelijk zien waar schade is ontstaan door extreme weersomstandigheden. De grootste temperatuurverschillen zitten uiteindelijk in de deklaag omdat daar het weer, de voornaamste fluctuerend warmtebron het meeste grip op heeft. De onderliggende lagen kunnen dezelfde temperatuur niet bereiken. Daarnaast moet er gekeken worden naar de dikte van het asfalt waardoor de sensor kan worden afgelezen. Als de sensor niet meer afleesbaar is, moet er gekeken worden naar een hogere plaatsing van de sensor.

2.6.2 Horizontale plaatsing

Voor de horizontale plaatsing is de volgende locatie te markeren. De sensor moet niet binnen de wielsporen vallen, makkelijk te plaatsen zijn, makkelijk te lokaliseren en af te lezen te zijn. Door de sensor naast de wegmarkering te plaatsen is de sensor gemakkelijk te lokaliseren. Maar het wielspoor van de spreidmachine loopt over de wegbelijning. Bij vooraf plaatsen zal hierdoor de sensor kapot worden gereden. Daarom moet de sensor op 30cm van de rand het asfalt worden geplaatst. In Figuur 11 is de locatie weergegeven in de doorsnede van de weg. Figuur 11



FIGUUR 11 - LOCATIE SENSOREN

2.6.3 Verankering

Uit gesprekken met deskundigen en eerdere testen met plaatsing van objecten in asfalt, is er gebleken dat er verplaatsing van objecten in asfalt optreedt. Uit de testen in het lab is niet gebleken dat er een vorm van verplaatsing optrad, maar daarbij werd handmatig gewalst, en zorgt de mal voor een begrenzing waar het asfalt heen kan. Door de verwachte problemen met verplaatsing wordt er geadviseerd om de sensor te verankeren aan de onderlaag. Met betrekking tot spanningen en scheurvorming in het asfalt, wordt er geadviseerd niet de met de verankering van de sensor de onderlaag te beschadigen.

2.6.4 Plan van Eisen

Met behulp van de informatie opgedaan over de verschillende effecten en invloeden op het asfalt en de sensor, is een Plan van Eisen opgesteld voor de plaatsingsmethodieken. Het PvE is te vinden in *BIJLAGE III-- PLAN VAN EISEN SENSOR EN PLAATSING*.

3 Deelvraag 2: Hoe kunnen de RFID sensoren praktisch geplaatst worden in de verscheidene asfaltlagen?

Met behulp van het literatuuronderzoek(Hoofdstuk 2) en het Plan van Eisen(Bijlage III) zijn drie plaatsingsmethodieken ontwikkeld. Deze plaatsingsmethoden worden in dit hoofdstuk beschreven, waarna de methodieken met behulp van testen met elkaar worden vergeleken. Uit de methoden zal met een gewogen Multi criteria-analyse de keuze worden gemaakt welke zal worden gebruikt voor de veldtesten. Voor afgevalen methodieken en argumentatie zie *BIJLAGE IV - AFGEVALLLEN PLAATSINGSMETHODIEKEN*.

3.1 Plaatsingsmethodieken

Uit de onderzoek en testfase zijn drie verschillende plaatsingsmethodieken mogelijk bevonden. Plaatsing met behulp van een moerbevestiging, plaatsing met gietasfaltbevestiging en plaatsing met behulp van bitumenband. De methodieken worden kort beschreven, waarbij aandachtspunten voor de testfase worden vermeld.

3.1.1 Plaatsingsmethodiek 1: Bevestiging met 3mm bouten

De eerst manier van sensorbevestiging is met behulp van stalen bouten. De sensor heeft twee punten waar de bouten de sensor bevestigen aan de onderlaag. Door de sensor vast te schroeven in de ondergelegen laag wordt getracht verplaatsing van de sensor door rolbeweging van de wals tegen te gaan. Eerst worden de gaten in de onderlaag geboord, waarna de sensor met behulp van moeren op de juiste hoogte kan worden vastgezet. De bouten hebben een diameter van drie millimeter. Figuur 12 is een voorbeeld van de bevestiging.



FIGUUR 12 - BOUTBEVESTIGING

Tijdens de testfase zal op de volgende punten moeten worden gelet:

- De sensor is onbeschermd voor de krachten in het asfalt. Kans op vervorming van het model is mogelijk.
- De asfaltdichtheid direct onder de sensor kan minder zijn, omdat het asfalt van boven wordt gestort en vervolgens de lege ruimte tussen het model en bouten moet opvullen.
- De boutlengte is beperkt, dit kan leiden tot omdrukken van bevestiging en model.

3.1.2 Plaatsingsmethodiek 2 Bevestiging in gietasfalt

De tweede mogelijkheid is plaatsing van de sensor met behulp van gietasfalt (Figuur 13). Gietasfalt is een waterdicht type asfalt dat wordt gebruikt voor vloerafwerking op bruggen, parkeerdaken en bedrijfsploeren. Daarnaast wordt gietasfalt gebruikt om gaten en scheuren in wegen te repareren. Gietasfalt wordt in vele verschillende varianten aangeleverd en de temperatuur van verwerking



FIGUUR 13 GIETASFALT IN MAL

is in de regel 220°C. Omdat de sensor is geconstrueerd op een maximale piektemperatuur van 170°C wordt het gietasfalt, gebruikt voor de sensor, verwerkt met een verlaagde temperatuur van 190°C. Een nog lagere temperatuur levert problemen met het gieten van het asfalt.

Door de sensor in het blok gietasfalt te plaatsen worden de krachten van de wals mogelijk opgenomen door het gietasfalt. Het gietasfalt is met behulp van verhitting vast te zetten op de onderlaag. Het blok gietasfalt smelt vast aan de onderlaag en is daardoor niet meer te verplaatsen. Het model kan vooraf op de juiste hoogte in het gietasfalt worden geplaatst, waardoor na het storten van het beton-asfalt het model op de juiste hoogte in het asfalt zit.

Bij de eerste onderlaag is door de fundering toepassing van gietasfalt doormiddel van kleven of verhitten niet mogelijk. Bij de onderlaag wordt een verhoogd blok gietasfalt gebruikt, zodat de gedeeltelijk in de onderlaag kan worden ingegraven zonder dat de hoogte van de sensor in de asfaltlaag veranderd.

Tijdens de test van de plaatsing met gietasfalt, moet worden gelet op de volgende punten:

- Door het gebruik van gietasfalt met een temperatuur van 190°C kan de sensor oververhit raken.
- Door de warmte van het normale asfalt, kan het gietasfalt vervorming vertonen. Deze vervorming kan zorgen voor verplaatsing van de sensor.
- De afkoelingscurve in het gietasfalt zal door de omhullende coating anders zijn dan de afkoelingscurve van het omliggende asfalt.

Om een temperatuur vertraging te voorkomen, zullen er twee verschillende soorten gietasfalt bevestigingen worden getest. De sensor omhuld in het gietasfalt en de sensor geplaatst op het gietasfalt, beide zichtbaar in Figuur 14. 1,3 en 5 zijn op het gietasfalt geplaatst en de andere zijn in het gietasfalt geplaatst. De omhulde sensor zal waarschijnlijk een vertraging merken in de gemeten temperatuur, maar heeft een betere bescherming. De andere variant zal de vertraging minder hebben, maar is gevoeliger voor de krachten in het asfalt.



FIGUUR 14 - TWEE SOORTEN GIETASFALT PLAATSING

3.1.3 Plaatsingsmethodiek 3 Bevestiging met bitumenband

De laatste plaatsingsmethodiek is verankering met behulp van bitumenband. Dit is een plakkerige substantie gebruikt om wegen met elkaar te verbinden. Een voorbeeld van hoe de sensor wordt geplaatst is zichtbaar in Figuur 15.

De manier van plaatsing is vergelijkbaar met de plaatsing van het gietasfalt, maar zonder de verhitting. De verbinding tussen de bitumenband en de aangebrachte kleeflaag moet voor genoeg sterkte zorgen, zodat verplaatsing niet voorkomt. Het voordeel hiervan zou een nog betere uitvoerbaarheid zijn, omdat verhitting niet nodig is.

Met deze plaatsingsmethodiek is geen laboratoriumtest uitgevoerd, wel is deze methodiek getest in het veld. Voor de veldtestresultaten zie Deelvraag 4. Tijdens deze test werd vooral rekening gehouden met de grote vervormbaarheid van het gebruikte materiaal.



FIGUUR 15 SENSOR
IN BITUMENBAND

3.2 Resultaten plaatsingsmethodieken in lab opstelling

In deze paragraaf worden de laboratoriumtesten van de plaatsingsmethodieken beschreven. Daarnaast zijn de resultaten beschreven en conclusies getrokken. De meest geschikte methodiek zal worden gebruikt voor de verdere praktijktesten. Om een goed vergelijk te maken is eerst een nulmeting uitgevoerd. Vervolgens zijn de boutbevestiging en de gietasfaltbevestiging getest. Omdat er sprake is van handmatige verdichting en het asfalt begrenst is door een mal, staan de laboratoriumtesten niet garant voor de verplaatsing die ontstaat door een wals overgang. Wel zal de invloed van de afkoeling van het asfalt, de invloed van de toegepaste druk en de hoge temperatuur vergelijkbaar zijn met de praktijk.

Voor de testen is geen gebruik gemaakt van echte sensoren. Dit in verband met de kosten van de sensoren. In plaats van gebruik van echte sensoren zijn plaatstaal modellen gemaakt, met gelijke afmetingen (Figuur 16).



3.2.1 Testopstelling 1 - Nulmeting

De nulmeting wordt gedaan met modelsensoren zonder bevestigingen. Eerst wordt een mal van 70 mm tot 35 mm gevuld met asfalt. Vervolgens worden er vier modelsensoren geplaatst. De mal wordt tot 70 mm aangevuld, waarna het asfalt handmatig wordt verdicht en een dag lang kan afkoelen. Uiteindelijk wordt het asfalt opengewerkt met behulp van zaagsneden, om te kijken naar de verplaatsing. Voor meer gegevens over de opstelling, de verschillende maten en beschrijving van het asfalmengsel zie *BIJLAGE VIII - TEST GEGEVENS PLAATSINGSTESTEN 1-3*.

3.2.1.1 Resultaten

In Bijlage V staan de waarnemingen beschreven van de verplaatsing van de sensoren bij de handmatige walstest. Uit de testen blijken de volgende waarnemingen:

- Er is geen sprake van grote verticale verplaatsing van de sensoren. De sensoren blijven in alle vier de gevallen in het midden van het asfalt en er is geen dermate grote stijging of dislocatie van de sensor in het asfalt.
- De sensoren zijn gekanteld, elke sensor is van zijn horizontale positie veranderd. De kanteling blijft klein, in geen van de gevallen is sprake van een omslag van sensor, of een compleet veranderde positionering.

- Rond de sensor is een algemeen goede verdichting, er is geen sprake van holtes rond het model.
- De sensormodellen zijn niet verbogen. Door de krachten van het handmatige walsen is geen verbuiging opgetreden in het staal. Ook is er geen sprake van indringing van aggregaat in de plaat. Bij verhoogde druk door puntlasten treed kanteling op en geen breuken.

Bij de verdichting met de gyrator zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- Bij de gyrator testen is geen verandering in verticale positie gemeten. De sensor zat na de test op de plaats van aanbrengen.
- Er is sprake van kanteling van de sensor. De plaat was meer gekanteld dan bij de handmatige verdichting, maar van een omslag was geen sprake.
- Het asfalt is rond de sensor goed verdicht. Het mengsel is homogeen verdicht en er heeft geen vorming van holtes plaatsgevonden.

3.2.1.2 Conclusie en discussie

In de test zijn bewegingen in het asfalt nauwelijks waargenomen. Bij de gyrator en bij de handmatige walstest is de sensor verplaatsing van dermate grote dat deze niet als problematisch wordt gezien. Wel is er sprake van een lichte kanteling van de sensoren. Deze kanteling ontstaat door de druk van een stuk aggregaat op de modellen. Doordat de modellen van hard plaatstaal zijn gemaakt, is breken en verbuigen niet goed mogelijk, waardoor de plaat kantelt. De echte sensoren zijn zwakker en in plaats van kanteling kan de sensor wel breken. Hier moet rekening mee worden gehouden in de testen met de echte sensoren. De verdichting bleek goed, waaruit problemen met verzwakking in het asfalt niet direct aantoonbaar zijn. Rond de sensor zijn geen holtes of verstoringen waargenomen.

Op basis van de resultaten gevonden in deze test, is verankering van de sensor niet nodig. Maar de handmatige test en gyrator test staan niet gelijk aan een wals overgang. De krachten en temperatuur in het asfalt zijn gelijk alleen is de verplaatsingsmeting niet goed vergelijkbaar. Het asfalt is in beide testen begrenst door een mal. Dit betekent dat het asfalt geen ruimte heeft voor grote verplaatsing.

In de praktijk is er wel ruimte voor uitdijing. Dan ontstaan er golven asfalt door de wals overgangen en de verplaatsing is in de praktijk veel groter. Dit blijkt uit observatie en gesprekken met de ACH laborant.

Horizontale verplaatsing is met de zaagsneden moeilijk te bepalen. De sensoren zitten op ongeveer dezelfde locatie, maar dit is met het oog waargenomen en niet meetbaar.

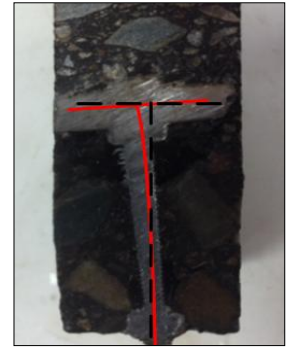
3.2.2 Testopstelling 2 - Moerbevestiging

Vier sensormodellen zijn vastgezet met behulp van moeren. De modellen worden verankerd in de onderliggende laag. Voor de test is gebruik gemaakt van een mal van 50 mm hoog. De sensoren zijn exact op 25 mm van de laag vastgezet, waarmee het middelpunt op 26,5 zit. Het asfalt wordt vervolgens gestort, en een dag later opengewerkt via zaagsneden. Vervolgens wordt geanalyseerd wat de verticale verplaatsing van de sensor is. Voor meer gegevens over de opstelling, de verschillende maten en beschrijving van het asfalmengsel zie *BIJLAGE VIII - TEST GEGEVENS PLAATSINGSTESTEN 1-3*

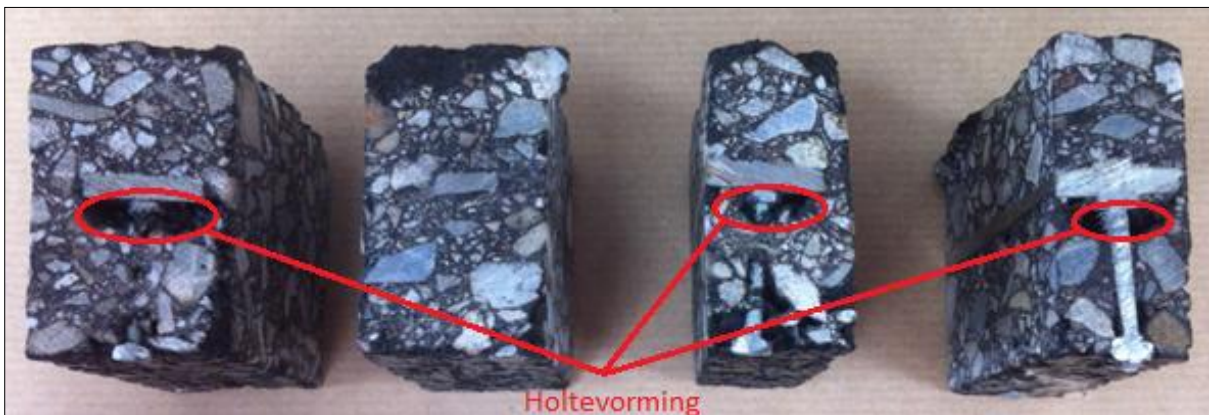
3.2.2.1 Resultaten

Uit de testen met de boutbevestiging zijn een aantal waarnemingen te maken:

- Ten eerste blijkt dat er sprake is van verbuiging van de 3mm bouten die de sensor op plaats houden. Bij de vier bevestigingen is er een verbuiging waarneembaar van de bout. Hierdoor is kanteling van de sensor niet voorkomen. Wel is de kanteling minder dan de kanteling van de losse sensoren. Figuur 17 is een vooraanzicht van de uitgezaagde sensor waarin de kanteling waarneembaar is.
- De vier modellen(Figuur 18) zijn op dezelfde locatie gebleven. De bevestiging aan de onderlaag heeft tijdens het walsen standgehouden, waardoor de positie horizontaal en verticaal niet is veranderd.



FIGUUR 17 - VERBUIGING BOUT



FIGUUR 18 - BOUTVERBINDING RESULTAAT

- Onder het model is sprake van een mindere verdichting van het asfalt. Er is sprake van holtevorming onder elk model. In Figuur 18 en figuur 19 zijn holtes en verstoring op meerdere locaties onder de sensor zichtbaar.
- Het model zelf is zoals te zien in figuur 19 niet verbogen. Ondanks de krachten op het asfalt is er geen vormverandering van de modellen waargenomen.

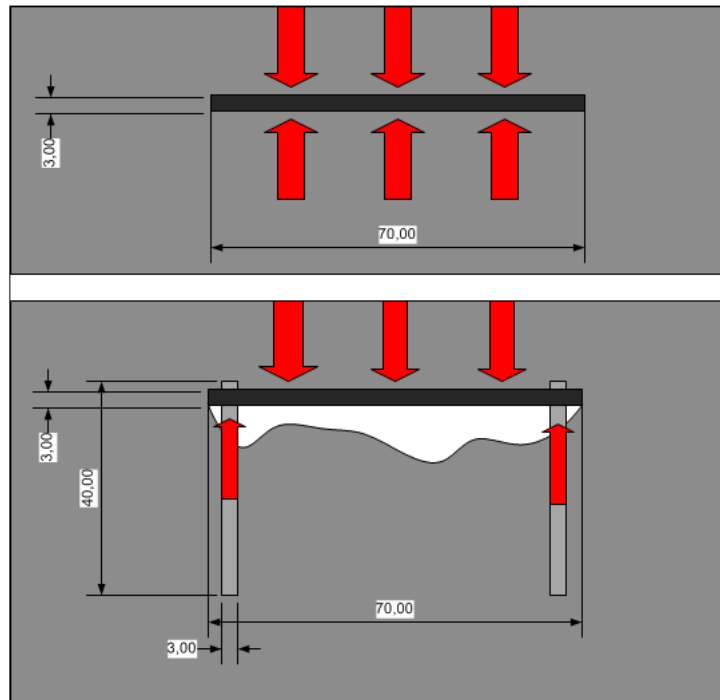


FIGUUR 19 BOUTVERBINDING ZIJAANZICHT

3.2.2.2 Conclusie en discussie

De bouten zijn in alle gevallen verbogen. Dit laat zien dat de bouten de krachten niet volledig tegengaan. Als in het veld blijkt dat de verplaatsingen en kantelingen in het asfalt veel groter zijn dan in het lab, kan het zijn dat de krachtopname van de bouten niet genoeg is en de bevestiging geen stand houdt. Voor een schematisering van de krachtenafdracht ziet Figuur 20.

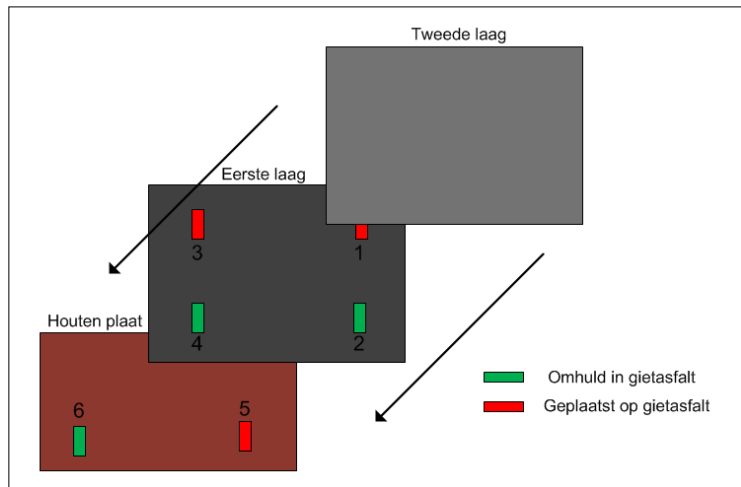
De verandering in verdichting onder de sensor is een probleem. De verdichting is vergelijkbaar met de verdichting in het veld, waardoor bij deze bevestiging holtes ontstaan onder de sensor. Deze holtes zorgen voor een verzwakking in het asfalt en een verminderde ondersteuning van de sensor. Dit betekent dat de echte sensor in het veld de krachten afdraagt via de twee bouten in plaats van een directe afdracht via het ondersteunende asfalt. Hierdoor ontstaat een moment in het midden van de sensor, wat voor doorbuiging zorgt. Het plaatstaalmodel is hier niet gevoelig voor, maar de epoxyhars sensor kan hierdoor breken.



FIGUUR 20 - KRACHTENAFDRACHT BOUTEN

3.2.3 Testopstelling 3

De eerste twee sensormodellen zijn op 50 mm uit de hoek van de mal geplaatst. Deze zijn vastgezet op een houten plaat met behulp van het verhitte gietasfalt. Vervolgens is hier het asfalt op gestort en handmatig verdicht. Op de eerst aangebrachte laag asfalt worden vier nieuwe gietasfalt blokken vastgezet, om de hechting aan asfalt te testen. Figuur 21 laat de plaatsing zien. Uiteindelijk zal het asfalt worden opengewerkt om te kijken naar de verplaatsing van de sensoren in onder en bovenlaag. Daarnaast wordt er gekeken naar de vervorming van het gietasfalt zelf. Figuur 21 -



FIGUUR 21 - PLAATSING GIETASFALT SENSOREN

PLAATSING gietasfalt sensoren is een overzicht van de sensorplaatsing. Voor meer gegevens over de opstelling, de verschillende maten en beschrijving van het asfalmengsel zie *BIJLAGE VIII - TEST GEGEVENS PLAATSINGSTESTEN 1-3*.

3.2.3.1 Resultaten

Uit de eerste plaatsing met gietasfalt op de houten plaat zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- De sensor is verticaal niet verplaatst. De sensor is op dezelfde locatie gebleven als bij de plaatsing. Figuur 22 geeft een zijaanzicht van de onderste twee bevestigingen.
- Aggregaat dringt op meerdere plekken binnen in het gietasfalt. In Figuur 22 zijn met rode cirkels de locaties aangewezen.



FIGUUR 22 - INDRING AGGREGAAT

- De sensor is niet gekanteld. Door het gieten van het asfalt was er sprake van een kanteling in de sensor, tijdens het walsen is deze kanteling niet doorgezet en is de hoek van de sensor met de horizon gelijk gebleven. Bij de sensor geplaatst op de gietasfalt laag is te zien dat de sensor horizontaal blijft. In Figuur 23 is het model te zien.



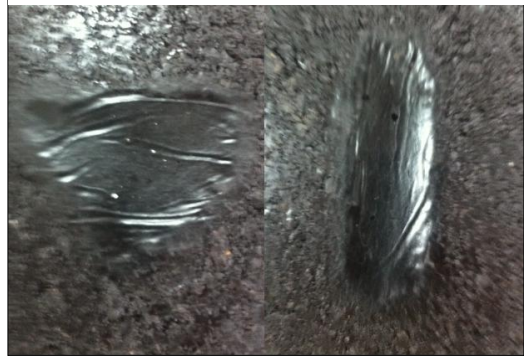
FIGUUR 23 - SENSOR OP GIETASFALT

- Het gietasfalt is versmolten met de asfaltlaag. Aan de randen van het gietasfalt is door de hoge temperatuur een versmelting ontstaan met het omliggende asfalt. Daarnaast is aan de onderkant vervorming ontstaan. In Figuur 24 lijkt een grote vervorming van het volledige blok te ontstaan, maar met een extra zaagsnede wordt duidelijk dat alleen het onderste gedeelte is vervormt. In het figuur zijn twee omlijnningen getrokken. De buitenste omlijnning laat zien tot waar het asfalt vervormt, de binnenste omlijnning laat de onvervormde kern zien. Figuur 24 beschrijft deze waarneming maar is het resultaat van de gietasfalt test met echte sensoren.



FIGUUR 24 - VERSMELTING GIETASFALT

- Door inkrimping van het gietasfalt raakt het gietasfalt niet meer de ondergrond aan. Dit zorgt voor een grote holte tussen de houten onderkant en het asfalt. In Figuur 25 is deze vervorming te zien door de zichtbare kuilen in het asfalt. Deze vervorming was niet duidelijk bloot te leggen in de eerste gietasfalt test. Figuur 25 is het resultaat van de gietasfalt test met echte sensoren.



FIGUUR 25 - VERVORMING GIETASFALT

Bij de tweede plaatsing van het gietasfalt op een asfaltlaag zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- Er treedt geen verplaatsing of kanteling van de sensor in het asfalt op. In Figuur 26 is een duidelijk kanteling in het gietasfalt zichtbaar. Maar dit komt door het vooraf plaatsen van de sensor in het gietasfalt en niet door de vervorming tijdens het verwerkingsproces.



FIGUUR 26 – DOORSNEDE TWEEDE PLAATSING

- De versmelting is goed met het omliggende asfalt, ditmaal is er ook versmelting met de onderliggende laag asfalt. Daardoor komt dezelfde holtevorming als tijdens de vorige test niet voor.
- De verdichting rond de sensoren is goed. Er zijn geen verstoringen of holtes zichtbaar (Figuur 26).

3.2.3.2 Conclusie en discussie

De testen met het gietasfalt hebben gunstige resultaten opgebracht. De sensoren zijn niet van locatie veranderd en kanteling komt minder voor dan bij de andere methodieken. Eerst was er een angst dat het gietasfalt niet goed zou aanhechten aan de onderlaag. Maar dit was alleen het geval bij de houten onderkant. De versmelting van het gietasfalt aan de onderlaag was goed.

Het gietasfalt versmelt met de omgeving, maar vervormt niet dermate dat de sensor van locatie veranderd. De versmelting van het gietasfalt is gunstig, omdat hierdoor een sterke verbinding ontstaat tussen het gietasfalt en het normale asfalt.

De indringing van het aggregaat in het gietasfalt is niet positief. Als een stuk aggregaat de sensor indrukt kan dit defecten als gevolg hebben. Bij de omhulde sensoren ontstaan hierdoor geen problemen, maar bij de hooggeplaatste sensoren wel.

De verdichting van het gietasfalt en het omliggende asfalt is in alle gevallen zeer goed gegaan. Alleen in Figuur 23 is links een lichte vervorming in het gietasfalt te zien, maar dit kan eventueel door het zagen zijn gebeurd.

3.2.4 Resultaten temperatuurmetingen

Tijdens de testen met de verschillende plaatsingsmethodieken zijn een aantal temperatuurmetingen gedaan. Deze metingen zijn uitgevoerd met een thermometer zonder datalog-functie. De temperatuurmetingen zijn te vinden in *BIJLAGE VIII – TEST GEGEVENS PLAATSINGSTESTEN 1-3*. Bij de 3e testopstelling is de bovenste laag gemeten met een thermokoppel en infraroodcamera. Conclusies over het gebruik van deze meetapparatuur zijn te vinden in Hoofdstuk 4.3.

3.2.5 Algemene Conclusie

Algemeen vallen de volgende conclusies te trekken:

Verplaatsing

De verplaatsing is bij al de testen nauwelijks voorgekomen. Verplaatsing was minimaal en niet groot genoeg om problemen te veroorzaken. Dit komt doordat het asfalt omringd is door een mal, niet door de bevestiging. Hierdoor is de test op verplaatsing door wals overgangen niet realistisch.

Verplaatsing door verschil in dichtheid is tegen verwachting niet voorgekomen. Geen van de modellen was omhoog gedreven. Maar de dichtheid van plaatstaal is hoger als de sensor, aan dit resultaat kan geen waarde worden gehangen.

Kanteling

In geen van de testen was sprake van grote kanteling van de sensor. Ook dit heeft gedeeltelijk te maken met de malbegrenzing. De sensoren in het gietasfalt zijn als enige totaal niet gekanteld. De nulmeting, de gyratormeting en de meting met de boutverbinding ondervonden wel kanteling. Het kantelen van de boutsensor kan worden tegengegaan met een dikkere boutsoort, maar dan moet de sensor structuur worden aangepast.

Verdichting

De verdichting in het asfalt was in de boutverbinding test verstoord. In de andere gevallen was er geen verschil in verdichting waargenomen. Het gietasfalt verdicht goed, wel is er sprake van indringing van aggregaat in het asfalt. De slechte verdichting bij de boutmethodiek is een probleem voor het asfalt en de sensor zelf. Het asfalt heeft teveel holle ruimtes en de sensor kan de krachten minder goed afdragen naar de omgeving.

Krachten op de sensor

Geen van de sensoren is verbogen. Wel hebben sensoren een puntlast verdragen van stukken aggregaat. De modellen geplaatst met gietasfalt vertoonden geen kanteling door een puntlast. De andere methodieken wel.

3.2.6 Aanbeveling

Nu wordt met inzicht in de verscheidene plaatsingsmethodieken een keuze gemaakt in welke plaatsingsmethodieken worden getest in het veld, met gebruik van de echte sensoren. Voor een goede selectieprocedure is gebruik gemaakt van een gewogen Multi criteria analyse. Hierin zijn de volgende punten meegenomen: Lokalisatie, Invloed op het asfalt, Invloed op de sensor, Uitvoerbaarheid, en Kosten. Het score overzicht staat in Tabel 2. In Bijlage VI staat een onderbouwing voor de verschillende criteria waarop wordt geselecteerd en de onderbouwing van de scores is te vinden in Bijlage VII.

TABEL 2 - SCORES MCA

Hoofdcriteria	Weging [%]	Ontwerpalternatieven	
		Plaatsing met moeren	Plaatsing met gietasfalt
Lokalisatie	15	8	9
Uitvoerbaarheid	15	6	6
Invloed op asfalt	20	4	8
Invloed op de sensor	25	5	6
Kosten	25	7	6
Totaal	100	5,9	6,85

Door een combinatie van goede bevestiging van het asfalt zonder kanteling, een makkelijke plaatsing en een minder negatieve invloed op de kosten wordt er gekozen om met de echte sensortesten gebruik te maken van de gietasfaltbevestiging.

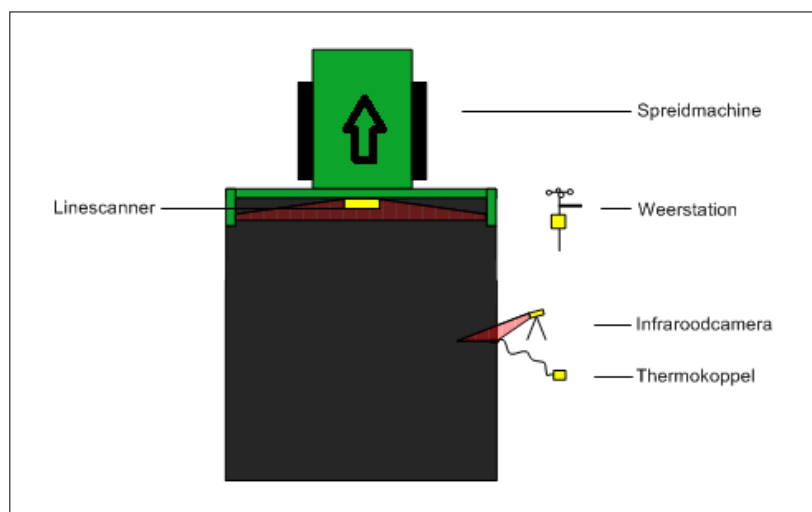
De gietasfaltbevestiging zal twee verschillende uitvoeringen krijgen: omhult en op top geplaatst. De eerste uitvoering voor een verhoogde kans op het overleven van de sensor, de tweede om een betere temperatuurmeting te leveren.

4 Deelvraag 3: Welke prestatie levert de RFID sensor in het asfalt ten opzichte van de gebruikelijke PQi methodiek?

In dit hoofdstuk wordt de nieuw gekozen methodiek getest in de praktijk. Uit de testervaringen zal een praktische opstelling van de RFID methodiek worden beschreven. In de testen worden de RFID sensoren vergeleken met de huidige PQi methodiek. Deze methodiek zal eerst worden beschreven. Uit de resultaten van de verschillende metingen kan worden opgemaakt of de RFID toepasbaar is in asfalt. Vervolgens wordt er met een vooruitblik op de toekomst beschreven of de RFID methodiek een verbetering is ten opzichte van de PQi methode.

4.1 Beschrijving huidige PQi methodiek

Het huidige framework opgezet door S.R. Miller is een grote stap geweest in de professionalisering van de asfaltindustrie. Op dit moment wordt de techniek toegepast door elf aannemers (Bijleveld F. R., 2015). De focus van de PQi methodiek ligt bij het volgen van de beweging van de gebruikte machines, het meten van de asfalt temperatuur en het meten van de dichtheid van het asfalt. De PQi methodiek maakt gebruik van een weerstation, infrarood camera's, line scanners, nucleaire verdichtingsmeters, thermokoppels en memo recorders (Miller, 2010). Het weerstation meet de omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid, drie belangrijke factoren van invloed op de koelingscurve. De infrarood camera wordt gericht op de asfaltlaag en soms verplaatst



FIGUUR 27 PQi OPSTELLING

voor verdere metingen. De line scanner hangt boven de spreidmachine en meet de warmte verdeling over het oppervlakte van het asfalt. De nucleaire verdichtingsmeting wordt geopereerd door een laborant. Voor deze meting moet men bevoegd zijn. Figuur 27 is een schematisering van de PQi opstelling.

De methodiek is opgedeeld in fases van voorbereiding, data meten en analyseren (Bijleveld F. R., 2015). Maar ook worden er fases besteed aan feedback geven aan het asfaltteam en het verbeteren van de meetprocedure. Een zeer goed uitgewerkt systeem om de asfaltindustrie te verbeteren. Het PQi systeem heeft echter wel een aantal problemen, waardoor toepassing een probleem is:

- Infraroodcamera's geven een beeld wat zeer afhankelijk is van de omgeving. Oppervlakte temperaturen kunnen wel 20°C verschillen met de temperatuur in het asfalt (Miller, 2010).
- Linescanner hebben kosten die oplopen tot over de €10.000. Hierdoor wordt toepassing op grote schaal een probleem.
- Voor nucleaire verdichtingsmetingen is een laborant benodigd, een extra persoon om in te huren.
- Thermokoppeldraden inbrengen is moeilijk en moet met de hand gebeuren.
- Voor het grote scala aan verschillende instrumenten zijn meer man nodig. Dit betekent dat voor een meting minstens twee man extra moeten worden ingeschakeld en daarnaast nog een laborant.

Door deze problemen wordt gezocht naar een optionele manier om gegevens in asfalt te verzamelen.

4.1.1 Gegevens

De PQi methodiek geeft uiteindelijk twee eigenschappen van het asfalt: De verdichting van het asfalt en de temperatuur. De verdichting gaat via de nucleaire verdichtingsmeter en geeft een momentopname van de verdichting van het stuk asfalt waar de meter op staat. De line scanner, thermokoppels en infrarood camera geven allemaal een indicatie van de temperatuur. De line scanner geeft de oppervlakte temperatuur over de breedte van de weg aan. De infraroodcamera geeft de temperatuur van een specifiek stuk asfalt aan en de thermokoppels meten de temperatuur in de binnenlaag. Daarnaast worden de bewegingen van de walsen en spreidmachine in kaart gebracht met GPS apparatuur.

In het onderzoek ligt de focus op temperatuur alleen. Daarom wordt de uiteindelijke aanbeveling alleen gedaan over de manier van temperatuurmetingen. RFID wordt niet getest op verdichtingsmetingen of de mogelijkheid tot GPS tracking.

4.2 Labtest 1 RFID zonder bevestiging in asfalt

De eerste test met de echte RFID sensoren is uitgevoerd om te testen of de sensor het asfalt in de lab opstelling overleeft zonder bevestiging en protectie. De sensor wordt in asfalt geplaatst, waarna vervolgens het asfalt handmatig wordt verdicht. Vervolgens wordt de sensor uitgelezen met het reader apparaat. Als de sensor werkt worden de temperatuur gegevens bijgehouden en vergeleken met de gegevens van een opgestelde infraroodcamera en een thermokoppel. De infraroodcamera en thermokoppels worden gebruikt als validatie van de sensoren. Er wordt niet gestreefd naar een exacte overeenkomst tussen RFID en thermokoppel, de temperatuur in asfalt is niet volledig homogeen verdeeld. Twee thermokoppel draden verbonden aan één datalogger, meten in veel gevallen ook niet dezelfde temperaturen, omdat dit niet veel voorkomt. Voor verdere test details en de opstelling zie *BIJLAGE IX – TEST GEGEVENS TEMPERATUUR TESTEN 1-5*.

4.2.1 Hypothese

Uitgaande van de omstandigheden waar de sensor voor gebouwd is, gaat de sensor het asfalt overleven. Uitlezen zal slecht gaan omdat het asfalt een dicht SMA soort is. Deze bevat veel bitumen, waardoor het signaal extra wordt verstoord. De sensor is gebouwd voor 125°C met een piek van 170°C. De piek is wat de sensor kan overleven, niet het leesbereik. Daarom zal de sensor pas na de 125°C leesbare resultaten vertonen. Verder wordt verwacht dat de infraroodcamera een lagere temperatuur aan geeft dan de thermokoppels. Voor het valideren van de sensoren wordt voornamelijk rekening gehouden met de thermokoppels.

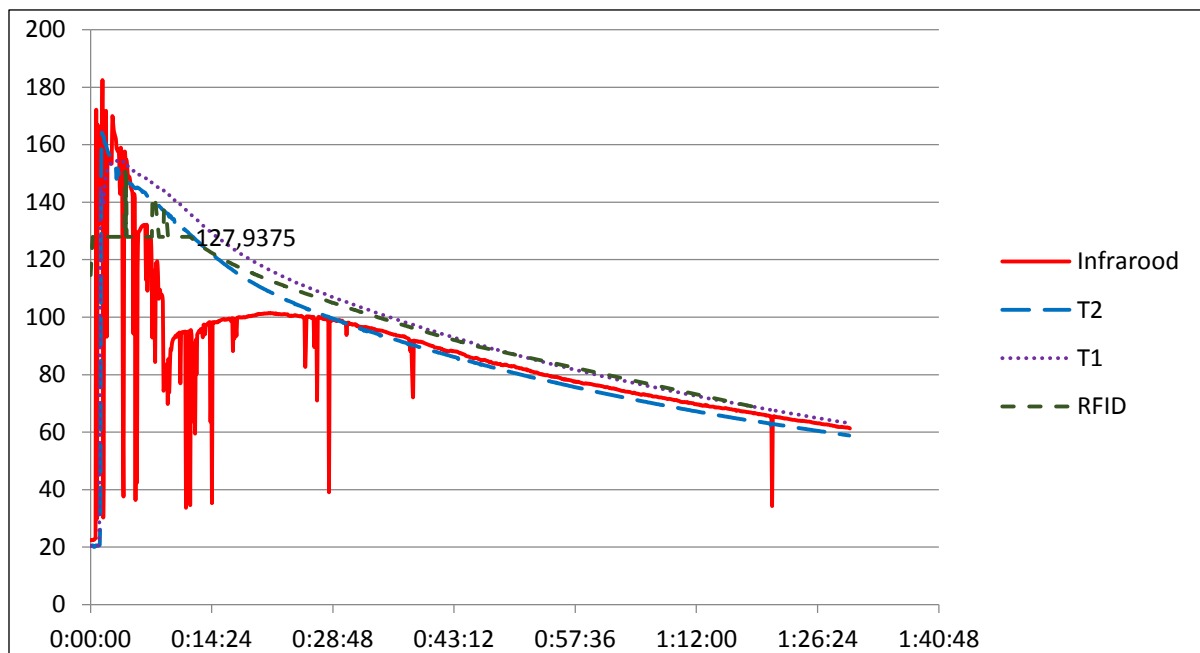
4.2.2 Resultaten

De volgende waarnemingen zijn tijdens de test verkregen:

- De sensor overleeft het walsen en is goed leesbaar in het asfalt. Op een afstand van circa 10 cm boven het asfalt leest de reader de gegevens van midden in het asfalt uit.
- Lezen gaat snel, er is geen tijd nodig om informatie op te halen. Bij de druk om een temperatuurmeting wordt de temperatuur direct verstuurd.
- Door het handmatig walsen, kan aan de start van de meting het aflezen van de sensor niet regelmatig gebeuren. De stalen rol is heet en beweegt continu over het asfalt. Hierdoor kan de sensor niet dicht bij het asfalt worden gehouden voor een meting.
- Het aflezen van de sensor is een moeizaam proces. Voor elk data punt moet handmatig een signaal worden verzonden. Dit betekent het indrukken van de verzend knop voor elk losse meetpunt.

Tijdens de test zijn de gegevens uit de sensor afgelezen. Daarnaast is er temperatuur gemeten met een infrarood camera en een thermokoppel met twee uitgangen. De resultaten zijn in Figuur 28 gezet.

Uit de testen zijn de onderstaande temperatuurgegevens gehaald.



FIGUUR 28 – TEMPERATUURCURVE LABTEST 1 ECHTE SENSOREN

Infrarood is gericht op het exacte midden van de asfaltplaat. Thermokoppels T2 en T1 liggen beiden op circa 3 cm van de RFID sensor. Uit de temperatuurgegevens zijn de volgende resultaten gekomen:

- De RFID sensor geeft zoals verwacht slechte meetgegevens aan het begin van de test. Pas na ongeveer 13 minuten bij een temperatuur van bij 127°C begint de afkoelingscurve. Daarvoor wordt de peakt temperatuur niet goed gemeten.
- De RFID sensor en de Thermokoppel draden T1 en T2 geven een vergelijkbare afkoelingscurve. De grafieken zijn alleen niet volledig vergelijkbaar, door problemen met de synchronisatie van de temperatuur gegevens. De RFID sensor is later begonnen met meten.
- De infraroodcamera geeft zeer wisselende informatie met te hoge peakt temperaturen. De extreme waarden zijn uit de grafiek gehaald, maar temperatuurpieken van 1300°C zijn bereikt. Uiteindelijk wordt na 28 minuten een vergelijkbare curve gevolgd.
- Door het handmatig walsen was er beweging en verstoring voor de infraroodcamera. Hierdoor zijn verscheidene keren lichaamstemperaturen of vochttemperaturen van het walsproces verkregen. Deze zijn zichtbaar als uitschieterende datapunten van rond 40°C.
- Ondanks dat thermokoppels en RFID sensoren een vergelijkbare afkoelingscurve vertonen zijn er continue temperatuurverschillen van rond de 5°C.
- De RFID sensor volgt eerst de temperatuurprogressie van Thermokoppel T2 en vervolgens de progressie van T1.

4.2.3 Conclusie

De sensor overleeft de druk tijdens het handmatige walsen. Bij handmatig walsen komt een gelijke druk per mm^2 als bij een wals overgang, druk tijdens de praktijktest moet geen probleem zijn voor de sensor. Het lezen van de sensor werkt goed en metingen verschillen weinig met de bruikbare temperatuurmeting. Het begin van de meting met RFID lijkt onnauwkeurig, maar dit kan twee redenen hebben: Of de sensor is wel nauwkeurig, maar door de het koelen van de rol met water en

het intensieve walsen aan het begin ontstaat een fluctuatie in de metingen; Of de sensor leest boven de 125°C geen goede waardes af omdat de sensor daar niet voor gebouwd is. Meer over de nauwkeurigheid van de RFID sensor is niet te zeggen, door onnauwkeurigheid in het vergelijken van de temperatuurgegevens. Door problemen met tijdstellingen in de apparaten komen de startpunten niet overeen. Daarnaast verschillen asfalt temperatuurmetingen altijd, dus het verschil tussen sensor en thermokoppel is niet per definitie een onnauwkeurigheid. Dat verschil bestaat tussen de thermokoppel draden ook. In later onderzoek wordt hier meer over gezegd.

Het meten van het asfalt moet met andere software worden gedaan voor een minder intensieve manier van meten. De infraroodcamera geeft bij labtesten onnauwkeurige resultaten en moet in het veld worden getest als er minder verstoring van de infrarood lezing is. De camera wordt in de volgende testen ook toegepast, eventueel dat de volgende labtest betere resultaten toont.

Het belangrijkste is dat de sensor de test overleefd en leesbaar is. Dit betekent dat met een juiste plaatsingsmethodiek de sensor kan worden gebruikt voor een vervolgende praktijktest.

4.3 Labtest 2 met temperatuur

De tweede labtest met de RFID sensoren wordt uitgevoerd om te meten of de gietasfalt plaatsingsmethodiek geschikt is voor de sensor. Als de sensor in het gietasfalt leesbaar is, dan kunnen de praktijktesten worden uitgevoerd.

In totaal worden twee sensoren tijdens de test geplaatst. één sensor wordt in het gietasfalt geplaatst en één sensor wordt op het gietasfalt geplaatst. Mochten de sensoren de praktijktest zonder omhulsel niet overleven kan er worden gekeken naar toepassing van de eerste gietasfaltvariant. Om de metingen van gietasfalt te vergelijken worden vier thermokoppeldraden toegepast, twee in de blokken gietasfalt en twee in het normale asfalt. Daarnaast wordt weer gebruik gemaakt van de infraroodcamera. Voor meer informatie over de test en de opstelling zie *BIJLAGE IX – TEST GEGEVENS TEMPERATUUR TESTEN 1-5*.

4.3.1 Hypothese

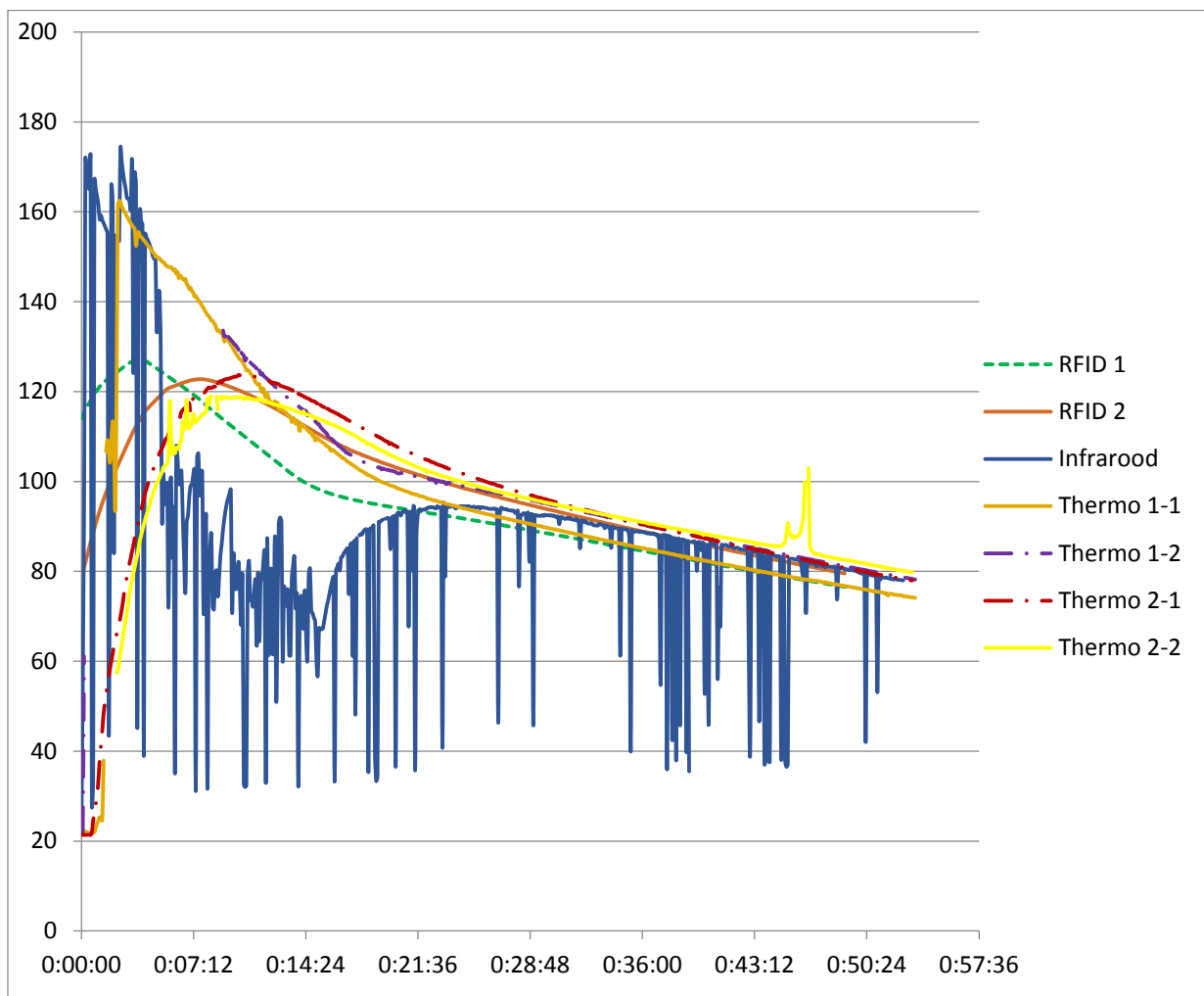
Verwacht wordt dat beide sensoren het asfalt overleven. Leesbaarheid zal drastisch worden verminderd bij de omhulde sensor variant. Gietasfalt is een zeer dichte substantie met een hoog bitumen gehalte. Hierdoor wordt veel signaalverstoring verwacht. Als de omhulde sensor nog leesbaar is, zal er een temperatuurtag verschijnen, zoals eerder beschreven in het literatuuronderzoek. Doordat het gietasfalt rond de sensor moet opwarmen zal de sensor een lagere begintemperatuur geven en langer warmte vasthouden.

4.3.2 Resultaten

Tijdens de test zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- Het verhitte gietasfalt plakt sterk vast aan de ondergrond. Na plaatsing is de sensor alleen met toepassing van kracht van de plaat te scheiden.
- Goede plaatsing van sensoren in gietasfalt is lastig handmatig uit te voeren. De temperatuur loopt op tot 190°C en het gietasfalt reageert als een vloeistof. Hierdoor is verbranding bij aanbrengen van sensor in gietasfalt een gevaar.
- De sensoren overleven de combinatie van de eerste plaatsing in gietasfalt van 190°C en na afkoeling het opnieuw plaatsen van de sensoren in het asfalt van 175°C.
- Beide sensoren overleven het verwerkingsproces.

Uit de testen zijn de onderstaande temperatuurgegevens gehaald.



FIGUUR 29 – TEMPERATUURCURVE TEST 2

Thermo 1-1 en 1-2 zijn in het gietasfalt geplaatst. 2-1 en 2-2 liggen in het normale asfalt. De RFID's zitten in het gietasfalt. RFID 1 zit op het gietasfalt RFID 2 zit in het gietasfalt. Uit de metingen zijn de volgende resultaten verkregen(Figuur 29):

- De infraroodcamera geeft een zeer wispelturige meting. Asfalttemperaturen lopen van 20 naar 170°C in enkele seconden.
- De dataloggers geven pieken van 0 tot 1300°C. Deze enkele fouten zijn verwijderd uit de grafiek, maar dit was nog niet voorgekomen.
- De RFID chips lopen gelijk op met de andere meetapparatuur, de nauwkeurigheid lijkt goed.
- De chips en dataloggers geplaatst in het gietasfalt moeten eerst opwarmen. De metingen buiten het gietasfalt beginnen op 175°C en blijven na ingehaald te zijn door de in gietasfalt temperatuur gemiddeld 5 graden lager.
- De RFID chip op het gietasfalt moet eerst opwarmen maar vervolgd vervolgens een vergelijkbare trend met de in normaal asfalt geplaatste thermokoppel 1-1. Dit in tegenstelling tot de in asfalt geplaatste sensor. Deze heeft veel afwijking in de metingen door het langer opwarmen en trager afkoelen.
- De RFID sensoren geven een duidelijk beeld van het temperatuurverloop. Temperatuur boven de 125°C wordt nauwelijks bereikt, doordat het gietasfalt eerst moet opwarmen. Daardoor is de curve vloeiend, zonder afwijkende metingen.

4.3.3 Conclusie

De metingen van de RFID methodiek komt overeen met de metingen van de PQi methodiek. Alleen is er een vertraging meetbaar in de warmte van het gietasfalt. Het gietasfalt moet eerst opwarmen zodat de sensor de actuele temperatuur niet meet. Daarnaast koelt het gietasfalt minder snel af, waardoor de temperatuur hoger wordt geregistreerd dan het geval is. Dit is in de veldtest niet gewenst. De dataloggers registreerden tijdens deze meting veel pieken van 1300°C. De onnauwkeurigheid kan eventueel veroorzaakt worden door een draadbreek.

In de labtest blijken beide sensoren de verwerking te overleven. Alleen heeft de omhulde gietasfalt toepassing een grote temperatuurvertraging, daarom wordt toepassing afgeraden. Maar de veldtesten kennen eventueel zwaardere omstandigheden. Aangezien de omhulde sensor een grotere overlevingskans heeft, zal deze ook worden gebruikt om de eerste metingen in het veld te doen. In het geval dat in het veld de beschermde sensor alleen overleeft, moet er een omrekenfactor voor de temperatuurvertraging worden opgesteld. Als de onbeschermde sensor ook de eerste veldtesten overleeft, wordt van de omhulde variant afgezien.

4.4 Veldtest 1

De eerste veldtest heeft als doel de twee gietasfalt plaatsingsmethodieken te testen en data te verkrijgen om meetgegevens van de oude methodiek en nieuwe methodiek te vergelijken. In de test zijn vier RFID chips getest. Twee chips verankerd met gietasfalt en twee chips verankerd met behulp van bitumenband. Deze manier van plaatsing is niet getest en lijkt veelbelovend door de gemakkelijke toepasbaarheid op de kleeflaag. Daarnaast wordt gemeten of de sensor met alleen plaatsing van gietasfalt op de kleeflaag ook zorgt voor genoeg verankering. Twee sensoren worden dus verzekerd met bitumenband één sensor wordt vastgedrukt op de kleeflaag en de overblijvende sensor wordt vast gesmolten aan de onderlaag met een brander. De hoogtes van de gietasfaltblokken zijn vastgelegd en uit de test moet blijken of de temperaturen overeenkomen met de data gemeten met de PQi methodiek. Voor meer informatie en de opstelling zie *BIJLAGE IX – TEST GEGEVENS TEMPERATUUR TESTEN 1-5*.

4.4.1 Hypothese

De volgende hypothese zijn opgesteld voor de resultaten van de test.

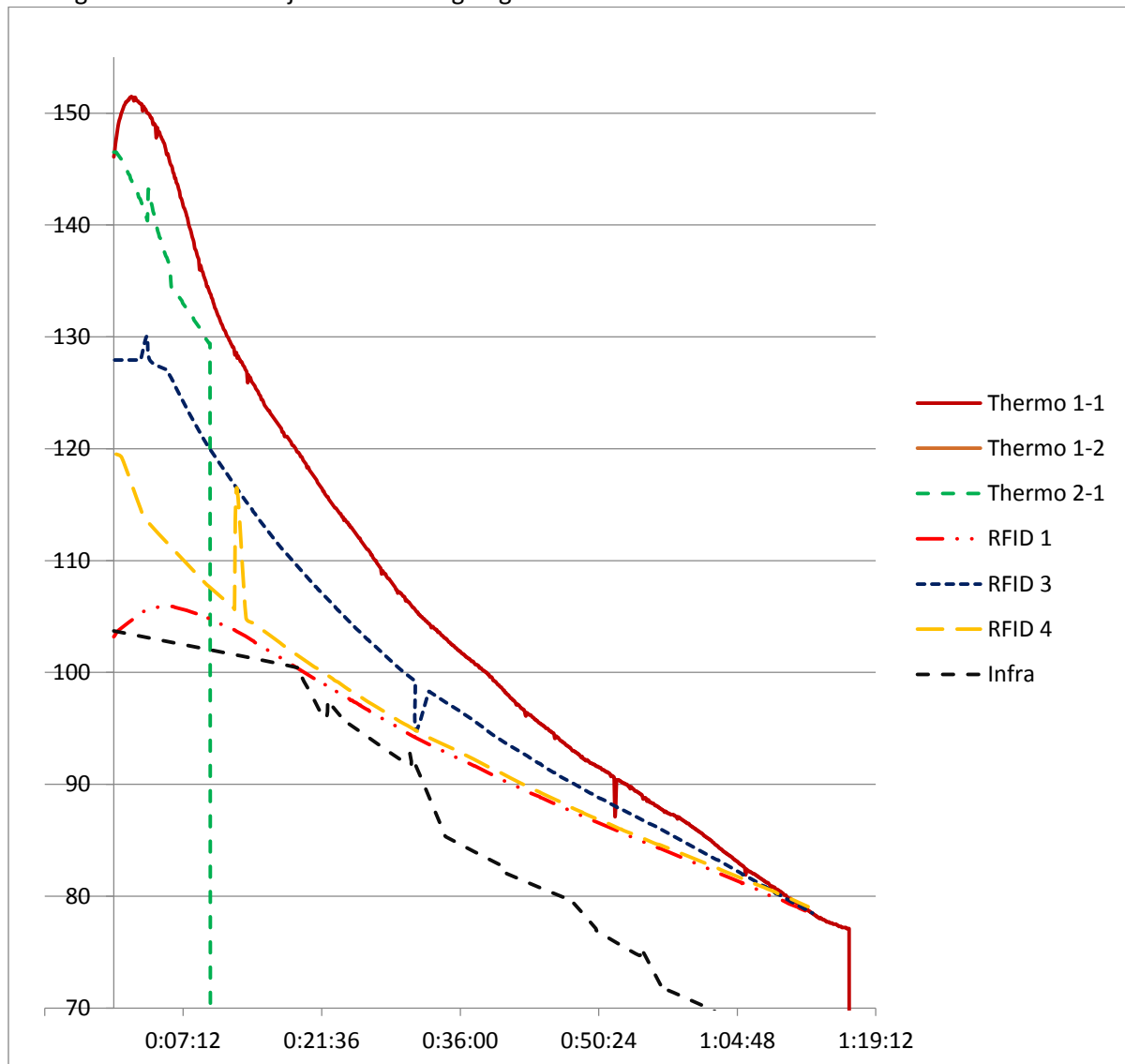
- Verwacht wordt dat de bitumenband methodiek goed blijft zitten, maar lagere temperaturen aangeeft, omdat de sensor lager in de asfaltlaag is gepositioneerd.
- De sensor omhuld in gietasfalt zal de test overleven, maar net als bij de tweede labtest een afwijkende temperatuur geven. Dit omdat het omhullende gietasfalt eerst moet opwarmen en vervolgens langzamer afkoelt door de grotere hoeveelheid massa.
- De sensor op het gietasfalt kan de test eventueel niet overleven, maar bij overleven zal deze de meest nauwkeurige temperatuur aangeven door de locatie exact in het midden van de laag en het gebrek aan omhullend gietasfalt.

4.4.2 Resultaten

Tijdens de test zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- Geen sensor is tijdens het proces verplaatst. Blijkbaar is de kleeflaag sterk genoeg om het gietasfalt te verankeren.
- Voor het terugvinden moet duidelijk een streep worden getrokken langs de kant. Op het moment dat de asfaltspreidmachine voorbij is, is de locatie niet meer duidelijk.
- De infraroodcamera stond op de locatie van de sensoren gericht. Omdat voor het lezen de reader boven de sensor moet worden gehouden, werd de infraroodmeting verstoord.
- Alle sensoren functioneren tijdens en na het verdichten.
- Aflezen van de sensor is niet mogelijk tijdens een wals overgang. De reader komt dan in het walsgebied en kans verwonding is te groot.
- Wals medewerkers hebben de neiging uit voorzorg om de sensoren te manoeuvreren. Er is op gewezen dit niet te doen, omdat de sensoren het volledige verwerkingsproces moeten verdragen.
- Eén van de thermokoppeldraden werd door de drierol wals door gesneden, vervolgens was het draad onbruikbaar.

De volgende resultaten zijn uit de metingen gekomen:



FIGUUR 30 RESULTATEN VELDTTEST 1

De volgende waarnemingen worden gedaan:

- Thermo 1-1 geeft een volledige temperatuurmeting, en stopt rond 1:10:00 met metingen.
- Thermo 1-2 is onmiddellijk gebroken en heeft geen informatie verzonden.
- Thermo 2-1 breekt na circa 10 minuten af en verzend geen informatie meer.
- Thermo 2-2 geeft een vergelijkbare meting met Thermo 1-1.
- RFID 1, 2 en 3 geven allemaal een zeer lage temperatuur in het asfalt aan. RFID 1 is in het gietasfalt geplaatst en moet eerst opwarmen. 2 en 3 zijn met bitumenband vastgezet, waardoor ze lager in de laag zijn geplaatst. De temperatuur is daar duidelijk lager.
- RFID 3 is de sensor op het gietasfalt geplaatst. Deze meet een hogere temperatuur dan de ander RFID sensoren, maar met een grote afwijking van de thermokoppels.
- De infrarood sensor heeft niet automatisch gelogd. Hierdoor zijn de gegevens onbetrouwbaar. Ook de latere meetpunten komen niet in de buurt van de andere metingen.

4.4.3 Conclusie

De bitumenband methodiek blijkt te werken, maar de sensor zit erg laag, waardoor de temperatuurmeting sterk afwijkt. Voor het meten van kerntemperaturen is dit niet bruikbaar. De in gietasfalt geplaatste sensor geeft een erg afwijkende temperatuur, terwijl de op gietasfalt geplaatste sensor niet kapot is en minder afwijkt van de thermokoppeldraden. Omdat zonder gietasfalt bescherming de sensor overleefd wordt afgezien van verdere testen met de omhulde sensor. De bitumenband oplossing blijkt een goede verankering, maar is te laag in het asfalt gezet. Bitumenband kan worden verhoogd, maar het is een zeer kneedbaar materiaal. Door de hoge plasticiteit neemt bij toename van hoogte de vervorming sterk toe. De infraroodcamera heeft de data niet met een vaste interval opgeslagen en de temperatuur wijkt sterk af van de normale waarden. Van de vier thermokoppel draden heeft 50% de verwerking overleefd.

Voor verdere testen wordt gebruik gemaakt van de gietasfalt bevestiging met sensor aan de bovenkant. Getest moet worden of de sensor vergelijkbare data kan leveren als de PQi methodiek. Daarnaast wordt een bevestiging van gietasfalt in de onderlaag getest en wordt een verdere test uitgevoerd over het gebruik van de kleeftlaag in plaats van verhitting.

4.5 Veldtest 2

In de tweede veldtest is onderzocht of het gietasfalt ook toepasbaar is in de onderlaag. Met verhoogde mallen zijn hogere stukken gietasfalt gemaakt. Hierdoor kan het gietasfalt gedeeltelijk worden ingegraven in de onderlaag, zonder dat de sensor uit het midden van de asfaltlaag verplaatst. Het ingraven zorgt voor verankering, de extra verhoging voor de juiste positie. Twee sensoren zijn op deze manier geplaatst. Daarnaast is een PQi meting uitgevoerd, voor vergelijking van temperaturen.

4.5.1 Hypothese

De gietasfalt sensoren zullen een lichte daling in de laag ondervinden, door de zachte onderlaag. De sensoren overleven het verwerkingsproces en zullen vergelijkbare data leveren met de PQi methodiek. De sensoren zijn in beide gevallen op het gietasfalt geplaatst. In de vorige test leverde dit nauwkeurige metingen.

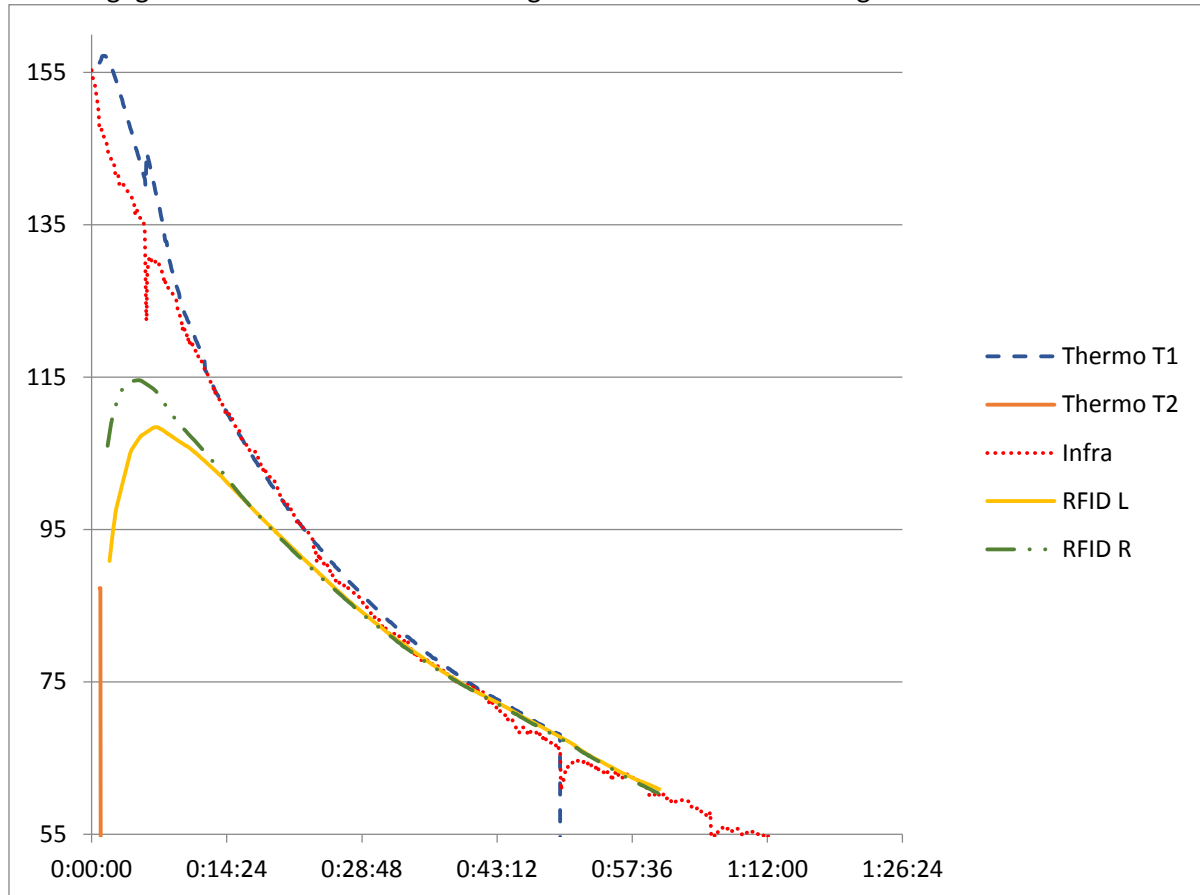
4.5.2 Resultaten

Tijdens de tweede veldtest zijn de volgende waarnemingen gedaan.

- De infraroodcamera is op afstand van de RFID opstelling geplaatst. Hierdoor ontstaat geen verstoring van de infraroodlezing tijdens het aflezen van de RFID sensoren.
- Thermokoppeldraden worden tijdens de normale PQi meting niet in het midden van het asfalt geplaatst met behulp van een dieptemeting, maar op gevoel.

- Tijdens het verwerkingsproces zijn beide thermokoppeldraden kapot gegaan. Aggregaat wat tijdens verdichting langselkaar schuurt, zorgt voor breuken in de thermokoppeldraden.
- De plaatsing van de sensor gaat slecht. In de onderlaag zitten grote stukken puin, waardoor graven moeilijk gaat. Na plaatsing is de sensor niet goed te verankeren.
- Tijdens de eerste overgang van de spreidmachine is zichtbaar dat beide sensoren verzakken in het puin en omslaan.

De meetgegevens van de PQi en RFID metingen staan in onderstaand Figuur 31



FIGUUR 31 RESULTATEN VELDTTEST 2

De volgende waarnemingen worden beschreven aan de hand van de meetgegevens:

- De infraroodcamera geeft aan het begin van de meting een fluctuerende afkoelingscurve, maar vanaf afwijkingen zoals de eerste testen is geen sprake. De infraroodcamera geeft een goed beeld van de temperatuur.
- Thermokoppeldraad T2 is na de overgang van de asfaltspreidmachine direct kapot. T1 houdt het vol tot 50 minuten, daarna is ook T1 gebroken.
- De RFID chips hebben allebei een duidelijke vertraging in temperatuur en liggen tot de 40 minuten onder de metingen van de thermokoppel en infrarood camera. Dit is het gevolg van het omklappen van de gietasfalt blokken. De sensoren liggen onderin de laag en meten de lagere grondtemperatuur. De vertraging kan voortkomen uit de vertraagde opwarming gietasfaltverbinding, dat is door het omvallen van de sensoren niet vast te stellen.

4.5.3 Conclusie

Zoals te zien in deze test, is bij juiste opstelling van de infraroodcamera een vloeiende afkoelingscurve het resultaat van de metingen. De wispelturige metingen zijn gedeeltelijk te voorkomen en tijdens deze test wijkt de temperatuur maximaal 10°C af. De thermokoppels blijken weer een onzekere factor. De metingen zijn goed, maar de kans op overleven is laag.

Het vastzetten van de sensoren met gietasfalt in de ondergrond werkt niet. De sensoren blijven op dezelfde locatie, maar worden omgedrukt. Hierdoor ontstaat een verschil in temperatuur tussen sensoren en thermokoppels. De temperatuur blijft over het begin van het traject teveel verschillen. Op het moment dat de temperatuur van het asfalt circa 75°C bedraagt, komen de verschillende metingen bij elkaar en is de RFID sensor betrouwbaar.

4.6 Veldtest 3

In de derde veldtest is onderzocht of de kleeflaag op asfalt genoeg is om de gietasfaltbevestiging te verankeren. Als de kleeflaagmethode werkt is er een makkelijkere manier om de sensoren te plaatsen. In totaal zijn er twee sensoren op de kleeflaag aangebracht. Bij aanbrengen van de sensoren is gewacht op het laatst mogelijke moment. Anders heeft de kleeflaag een te hoog vloeistofgehalte en is het plakeffect weg. Tijdens de test zijn er twee thermokoppel draden en een infraroodcamera gebruikt.

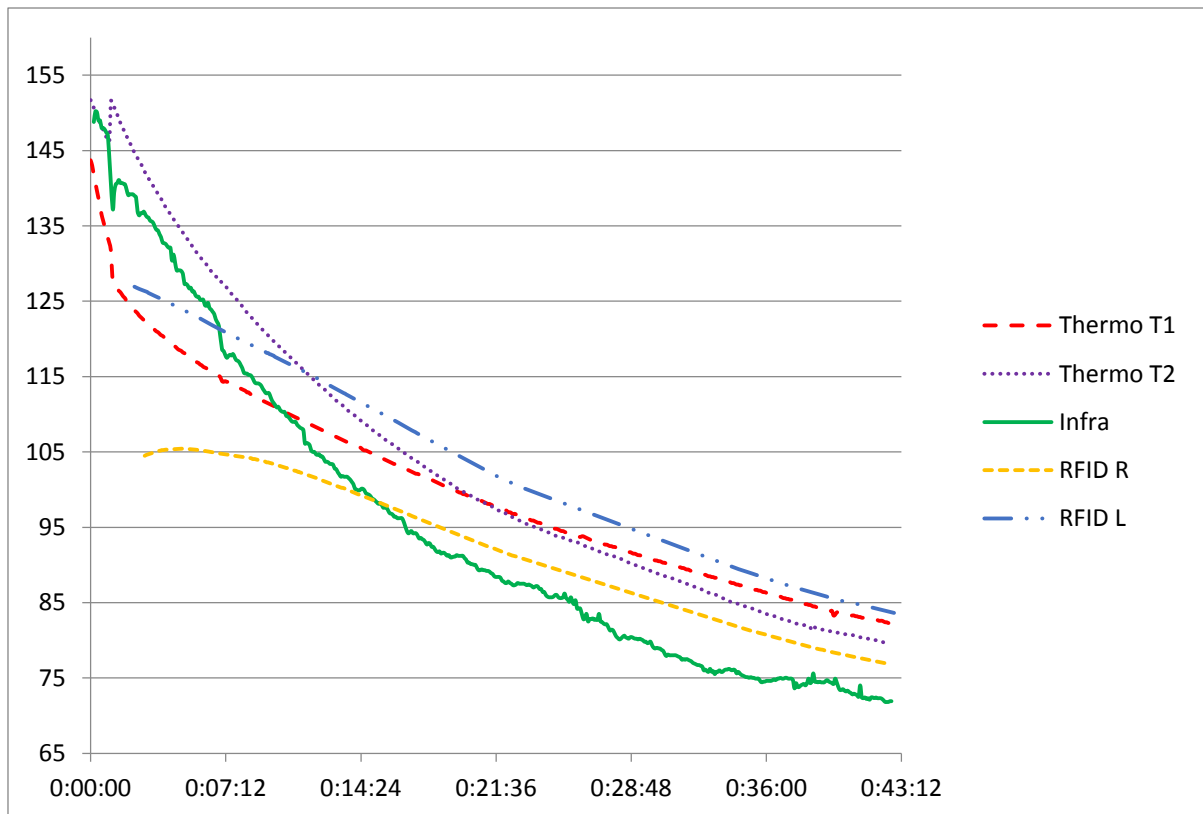
4.6.1 Hypothese

Tijdens de eerste veldtest was de kleeflaag genoeg om de sensor vast te zetten. Verwacht wordt dat dit bij deze test ook het geval zal zijn. Als de kleeflaag de sensoren op de juiste plaats houdt zullen de metingen sterk overeenkomen met de PQi methodiek. Als de kleeflaag niet sterk genoeg is zullen de metingen van de RFID sensoren lager uitvallen dan de PQi meting.

4.6.2 Resultaten

- Bij plaatsing van het gietasfalt is mindere sterkte in de kleeflaag waargenomen. De sensoren zitten minder stevig vast. Dit kan te maken hebben met de staat van de kleeflaag.
- De sensoren zijn direct verschoven na de spreidmachine. De locatie is met minstens 20cm veranderd, zie figuur...
- Beide sensoren zijn gevonden en goed leesbaar.
-

De meetgegevens zijn in een grafiek uitgezet, zie Figuur 32.



FIGUUR 32 RESULTATEN VELDTEST 3

Uit de meetgegevens zijn de volgende resultaten gekomen:

- Thermo T1 en T2 geven een duidelijke curve. De temperatuur neemt geleidelijk minder af, waardoor een exponentiele grafiek ontstaat.
- De RFID sensoren geven beide een meer lineair resultaat. RFID L is waarschijnlijk rechtop blijven staan en meet de warmte midden in de laag. RFID R is omgevallen en geeft een lagere temperatuur van de ondergrond aan.
- De infraroodcamera geeft een vergelijkbare curve als de thermokoppels. Alleen de temperatuur van het oppervlak is lager dan het midden van de laag.

4.6.3 Conclusie

Dit is de eerste test waarbij een RFID sensor hogere temperaturen aangeeft dan de Thermokoppels. Maar dit is te verklaren. De RFID sensor is onverplaatsbaar en zal exact in het midden zijn geplaatst, dit wordt namelijk vooraf uitgemeten. Thermokoppel draden worden op zicht in het midden van het asfalt geplaatst. Daardoor kan de thermokoppel dichter bij de oppervlakte zijn geplaatst dan de RFID sensor.

De kleeflaag is niet genoeg om de sensoren te verankeren. De kleeflaag is te afhankelijk van temperatuur en wind. De temperatuur en wind beïnvloeden het moment waarop de kleeflaag omslaat en kleeft. Als dit niet is gebeurd werkt de bevestiging niet.

4.7 Veldtest 4

Uit al de veldtesten is een duidelijk verschil geweest tussen de temperatuur gemeten door de RFID sensor en de PQi methodiek. Dit was in de meeste gevallen ontstaan door de plaatsingsmethodiek en het omslaan van de sensoren in het asfalt. De gietasfalt methodiek waarbij de sensor wordt vast gesmolten op de onderlaag blijkt wel effectief. Hierbij ontstaat maar een kleine temperatuurlag en de sensor verplaatst niet. Daarom worden in deze test twee sensoren geplaatst met behulp van het gesmolten gietasfalt. De metingen van deze sensoren worden vergeleken met een Infraroodmeting en de thermokoppels. OP basis van deze meting kan worden bepaald of de nauwkeurigheid groot genoeg is voor grove asfaltmetingen.

4.7.1 Hypothese

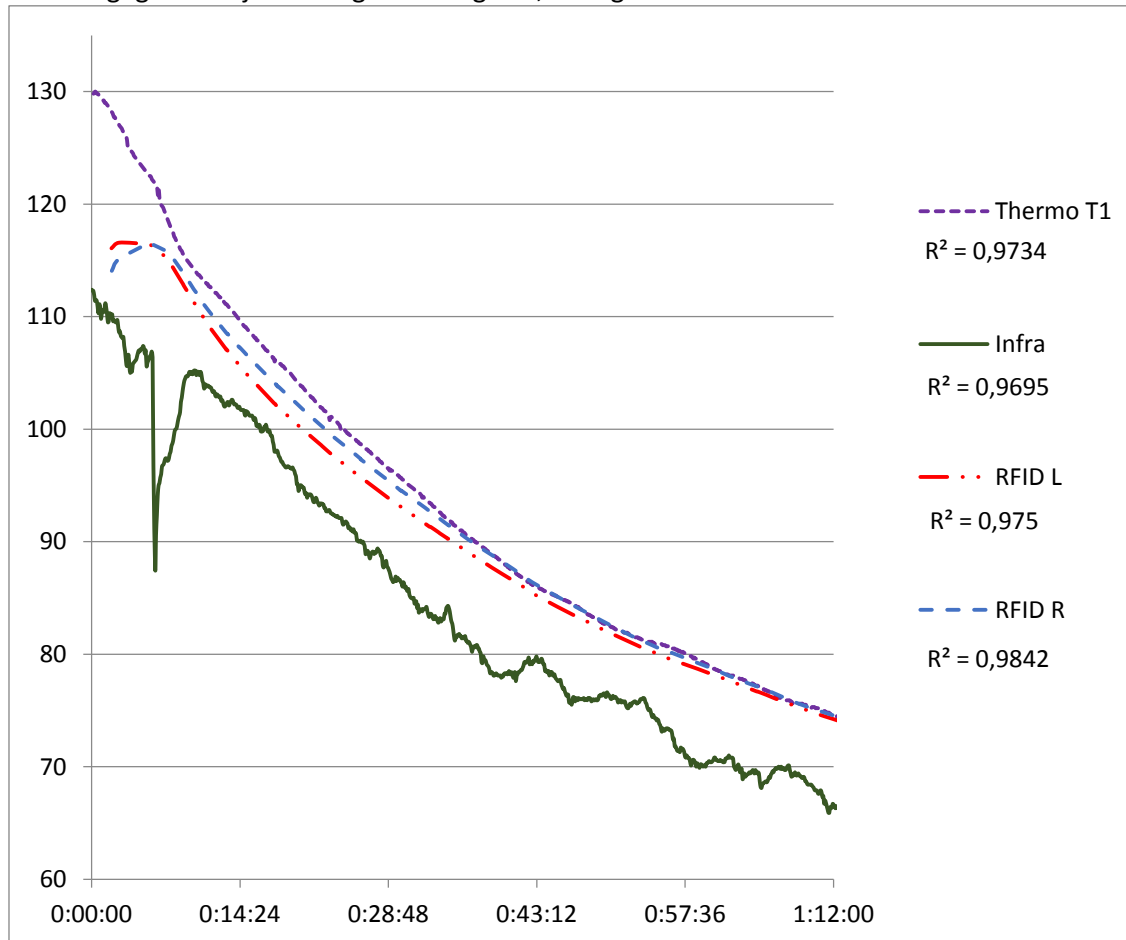
Uit de test met de RFID sensoren geplaatst op gietasfalt zal blijken dat de nauwkeurigheid genoeg is voor asfaltmetingen. De sensoren zullen net als de vorige testen het asfalt overleven en dankzij de gesmolten verankering niet verplaatsen. Er zal een minimale temperatuurlag zijn, omdat de sensor moet opwarmen.

4.7.2 Resultaten

Tijdens de uitvoering zijn de volgende waarnemingen gedaan:

- De sensoren met warmte vastzetten werkt goed. De sensoren zitten stevig bevestigd op de onderlaag.
- Door de hitte van de brander is RFID R licht verkleurd.
- De sensoren zijn onveranderd van locatie. De reader leest de sensoren exact boven de gemarkeerde locatie uit.
- Thermokoppel T2 is onmiddellijk vernietigd, verdere metingen zijn niet meegenomen in Figuur 33.

De meetgegevens zijn in een grafiek uitgezet, zie Figuur 33



FIGUUR 33 RESULTATEN VELDTTEST 4

- De RFID metingen zitten zeer dicht in de buurt van de thermokoppel metingen.
- Aan het begin van de meting is een verschil te meten van 8°C. Vervolgens blijven de metingen een verschil behouden van maximaal 3°C.
- Infrarood geeft een rafelige meting die gemiddeld minstens 10°C lager is dan de andere temperatuurmetingen.
- De RFID sensoren hebben aan het begin een kort moment nodig voor opwarming.

4.7.3 Conclusie

De RFID sensoren vastzetten met gesmolten gietasfalt is van de geteste plaatsingsmethodieken de meest secure methode om de sensor te bevestigen. De temperatuur van de RFID methodiek en PQi methodiek verschillen rond de 2°C van elkaar. Dit is in asfalt geen probleem. De temperatuurskaders waarin wordt gewerkt zitten van 170°C tot 120°C, 120°C tot 90°C en 90°C naar 60°C. Deze kaders zijn breed en schattingen van het asfaltgedrag. Een nauwkeurigheid van +/- 2°C is hierbij geen probleem.

Weer is één van de thermokoppeldraden kapot gegaan. Dit is een groot nadeel van het gebruik van de dataloggers. De infraroodcamera geeft gemiddeld een temperatuur van 10°C te laag aan. Het overbruggen van 10°C kan zoals te zien in de grafiek een tijd in beslag nemen van 20 minuten. Tussen 90°C en 80°C kan gewalst worden. Als de meting 20 minuten te vroeg aangeeft dat de temperatuur te laag is voor het walsen, is er veel minder tijd beschikbaar voor het verdichten van het asfalt. Infrarood is daardoor een mindere meetmethode.

4.8 Eindconclusie asfalttesten

Uiteindelijk zijn de volgende testen gedaan, met kort de bevindingen:

Conclusies gebruik RFID	Testnummer waarin conclusie wordt ondersteund.
1. De sensor overleeft de temperaturen tijdens het asfaltverwerkingsproces. Daarnaast overleeft de sensor temperaturen in gietasfalt tot 190°C	Lab: 1, 2 ; Veld: 1,2,3,4
2. De sensor is zeer goed leesbaar in een laag van 4cm dicht beton asfalt. Daarnaast is de sensor leesbaar in een laag van minstens 9cm.	Lab: 1,2 ; Veld: 1,2,3,4. 9 cm wordt behaald in test 3.
3. Verticale verplaatsing door uitzetting en inkrimping in asfalt komt niet voor.	Plaatsing: 1,2,3 ; Lab: 1,2 Veld: 1,2,3,4
4. Aflezen van de sensor is een moeizaam handmatig proces.	Lab: 1,2; Veld: 1,2,3,4
5. RFID werkt niet boven 125°C	Lab: 1,2; Veld:1,2
6. De sensoren overleven de druk tijdens het verwerkingsproces zonder bescherming.	Lab: 1,2; Veld:1,2,3,4
7. Mits de plaatsing van RFID juist is, wordt de temperatuur nauwkeurig weergegeven.	Veld: 4
8. Bij onjuiste plaatsing van RFID worden temperaturen verkeerd weergegeven.	Lab: 2; Veld: 1,2,3

Conclusies plaatsing RFID	Testnummer waarin conclusie wordt ondersteund.
1. Verankering van de sensor is benodigd. Verplaatsing ontstaat in veldtesten.	Veld: 1,2,3,4
2. Gietasfalt smelten werkt.	Plaatsing: 3, Lab: 2, Veld: 1, 4
3. Gietasfalt kleven werkt niet.	Veld: 3
4. Bitumenband geeft te lage temperaturen.	Veld: 1
5. Gietasfalt in onderlaag werkt niet.	Veld: 2
6. De omhulde gietasfalt verbinding is niet benodigd en veroorzaakt een temperatuurvertraging	Lab: 2; Veld: 1
7. Gietasfalt levert geen waarneembare reductie van sensor leesbaarheid.	Lab: 2; Veld: 1,2,3,4

Conclusies gebruik PQi	Testnummer waarin conclusie wordt ondersteund.
1. Thermokoppels geven een nauwkeurige afkoelingscurve	Plaatsing: 1,2,3; Lab: 1,2 Veld: 1,2,3,4
2. Interval metingen met eenmalig aandrukken zijn zeer makkelijk in gebruik.	Plaatsing: 1,2,3; Lab: 1,2 Veld: 1,2,3,4
3. Mits juiste plaatsing van Infraroodcamera's is verstoring in de meting minimaal.	Veld: 2,3,4
4. Infrarood meet door omgevingsinvloeden een afwijkende temperatuur van de asfaltkerntemperatuur.	Plaatsing: 1,2,3; Lab: 1,2 Veld: 1,4
5. Thermokoppeldraden zijn kwetsbaar en breken.	Veld: 1,2,3,4
6. Plaatsing thermokoppeldraden is moeilijk.	Plaatsing: 1,2,3; Lab: 1,2 Veld: 1,2,3,4
7. Thermokoppeldraden geven onverklaarbare pieken tot 1300°C	Plaatsing: 2, Lab: 2

4.9 Aanbeveling

Voor temperatuurmetingen in asfalt wordt de volgende aanbeveling gedaan:

RFID sensoren zijn in huidige staat nog niet toepasbaar in asfalt. De sensoren zijn sterk, nauwkeurig en goed plaatsbaar. Maar het gebruik is nog geen verbetering van de PQi methodiek. De PQi methodiek had als grootste nadeel het werk wat benodigd is voor een goede meting. Met de huidige RFID methodiek neemt de hoeveelheid werk toe. De RFID sensoren meten wat de thermokoppels meten, alleen geven ze geen gegevens boven de 125°C. Daarom zijn de thermokoppels niet vervangbaar. RFID is nog geen verbeterde manier om asfalt metingen uit te voeren tijdens het verwerkingsproces. De gietasfalt plaatsingsmethodiek is wel een aanbeveling voor plaatsing van objecten in asfalt. Bij toekomstige toepassing van andere objecten in asfalt is gebruik van gietasfalt een aanbeveling.

De volgende aanbevelingen worden gedaan over de PQi methodiek:

- De infraroodcamera is overbodig. Metingen zijn zeer fluctuerend, walsmachines rijden voorlans wat verstoring veroorzaakt en de temperatuur is door invloeden vanuit de omgeving niet representatief voor de in asfalt temperatuur.
- Thermokoppel draden moeten nauwkeurig worden aangelegd en niet met enkel gebruik van zicht worden geplaatst. Daarnaast moeten meerdere draden worden aangelegd in verband met hoog risico op draadbreek.
- Er moet een gemakkelijk hulpmiddel worden gevonden voor exacte starttijden van metingen, zodat werk met minder personen kan worden uitgevoerd.

RFID is nog niet aan te bevelen als verbeterde methodiek, maar heeft wel zeer veel potentie. De techniek wordt steeds beter en er nog ruimte voor verbetering. De volgende punten worden aangedragen en moeten verder worden onderzocht:

- Als de RFID sensor van grotere afstand kan worden afgelezen in combinatie met een ander software pakket waarbij interval meting mogelijk is, dan is de RFID sensor een verbetering ten opzichte van de thermokoppels. RFID breekt niet en meet nauwkeurig het asfalt. Daarnaast is aanbrengen met behulp van verhitting een simpel proces, waarna vervolgens direct en tijdens het plaatsen van het asfalt de temperatuur kan worden gemeten. Thermokoppels moeten eerst worden ingegraven, breken vaak en meten alleen tijdens het proces.
- SAW RFID technologie belooft hogere temperatuurmetingen en leesafstanden van 15 meter. Onderzocht moet worden of deze chips beter toepasbaar zijn voor asfaltemetingen. Plaatsing met gietasfalt in combinatie met deze sensoren zou een optionele meetmethodiek zijn.
- RFID sensoren voor druk en vochtmetingen kunnen met behulp van de gietasfaltmethodiek worden toegepast. Onderzoek naar andere parametermetingen in asfalt moet worden gedaan.
- De invloed van gietasfalt op de omgeving moet onderzocht worden.
- Er moet verder onderzoek plaatsvinden over het gebruik van active RFID voor langdurige meetprocessen.
- Bij vergroting van de leesafstand van passive RFID sensoren, is data ophalen vanuit voertuigen mogelijk. Onderzocht moet worden naar het langdurige asfalt monitoren met behulp van de PQi methodiek. Dagelijks rijden zeer veel bedrijfswagens over de wegen van Nederland. Als elk voertuig data kan ophalen, betekent dat een dagelijkse stroom van asfaltgegevens vanuit heel Nederland.
- RFID Readers kunnen worden vergroot. Aanbeveelt wordt een vervolgonderzoek naar de vergroting van RFID readers, voor een groter oppervlak waarbinnen data wordt uitgelezen.

5 Deelvraag 4: Omzetting van temperatuur en dichtheid in hoeveelheid verbruikte energie.

De RFID sensoren zullen uiteindelijk voor een hoop verschillende doeleinden gebruikt kunnen worden. Om een eerste toepassing van de RFID sensoren te laten zien. Wordt in dit hoofdstuk beschreven hoe met de temperatuur en de druk als extra meetgegeven, de toegepaste energie in kaart kan worden gebracht.

Eerst wordt er gekeken naar de belangrijke parameters in het proces die van invloed zijn op de temperatuur. Vervolgens wordt er met behulp van de parameters een oplossing gepresenteerd. Voor de energie omzetting wordt gebruik gemaakt van data opgehaald met de PQi methodiek.

5.1 Parameters

In het onderzoek zijn een aantal parameters van belang: De temperatuur van het asfalt, de soort wals, de dichtheid van het asfalt en het type asfalt.

5.1.1 Asfalt temperatuur

De energie benodigd om het asfalt te verdichten is afhankelijk van de temperatuur in asfalt. Asfalt heeft net als normale materialen drie te onderscheiden fases: Een elastische fase, viskeuze en een plastische fase. Elke fase ontstaat bij een bepaalde temperatuur en stoffeigenschappen. Tijdens de elastische fase is het asfalt vervormbaar, maar vormt het terug. Tijdens de viskeuze fase gedraagt het asfalt zich als een stroperige vloeistof. Tijdens de plastische fase is de vervorming van het asfalt permanent. Bijleveld(2010) ziet in zijn onderzoek asfalt als een visco-elastische stof. Dit zijn stoffen die vast lijken door een hoge stroperigheid, maar toch viskeus zijn.

5.1.2 Wals type

De verandering in verdichting en de daarbij benodigde energie is afhankelijk van het type wals. In de asfaltsector is een groot scala aan verschillende walsen. Elke wals heeft andere gewichten, maar ook een andere grootte. Een wals met een gewicht van 21 ton, kan door zijn grote oppervlakte een lagere druk op het asfalt leveren dan een 12 ton wals met een in verhouding veel kleiner oppervlak. Om verhoudingsgewijs de oppervlakte druk per wals uit te drukken, wordt gebruik gemaakt van de walsfactor. De walsfactor is een formule waarin roldiameter, rolbreedte en gewicht worden omgezet in een verhoudingsgetal.

5.1.3 Vergelijking totale toegepaste temperatuur

De energie toegepast in het asfalt is een optelsom van het energie verbruikt voor het maken en opwarmen van het asfalt, het aanleveren van het asfalt en het verwerken van het asfalt. Met de temperatuur en dichtheid gegevens wordt gekeken naar de energie van het opwarmen en naar de verwerkingsenergie. De verwerkingsenergie wordt groter naarmate het aantal wals overgangen toeneemt. De volgende formule is op te stellen:

$$E = Q + W$$

E = De totale verbruikte energie in Joule

Q= Energie verbruikt voor warmte in Joule

W = De toegepaste arbeid in Joule

5.2 Asfalttemperatuur

De energie toegepast om het asfalt op de juiste verwerkingstemperatuur te krijgen, gedefinieerd als Q , is afhankelijk van een aantal parameters. Om de temperatuur te verhogen is de soortelijke warmte van het asfalt en het volume van belang. Met behulp van de soortelijke warmte kan er worden bepaald hoeveel energie er benodigd is om het asfalt op een bepaalde temperatuur te krijgen. De soortelijke warmte is afhankelijk van de dichtheid van het asfalt.

De energie die wordt gebruikt voor de verwarming is de initiële energie die vooraf is toegepast. Hierdoor moeten de gebruikte gegevens worden gemeten op tijdstip $T = 0$. De dichtheid, volume en temperatuur van het asfalt moeten aan het begin worden gemeten. Vervolgens kan direct de initiële energie worden berekend.

Uiteindelijk moet met behulp van de gegevens over de gebruikte HMA, de temperatuur en de start dichtheid een inschatting over de geleverde energie worden opgesteld. Hiervoor is een simpele vergelijking op te stellen:

$$Q = mc\Delta T$$

Q = Toegevoegde warme in Joule

M = Massa van de substantie in Kg

C = Soortelijke warmte in $J \cdot Kg^{-1} \cdot K^{-1}$

ΔT = Temperatuurverandering in $^{\circ}C$

$$Q = D * V * C * (T1 - T0)$$

De massa is bekend, samen met de temperatuurverandering (temperatuur asfalt verwerkingstemperatuur – temperatuur asfalt loods). Als de soortelijke warmte van het asfalt empirisch is bepaald kan worden vastgesteld hoeveel energie in het asfalt is verwerkt om het op temperatuur te krijgen.

5.3 Asfaltdichtheid

Voor de toegepaste arbeid, gedefinieerd als W , zijn de volgende parameters van belang: De kracht benodigd om de wals te bewegen, de afstand waarover de wals wordt bewogen en het aantal wals overgangen. Omdat dit per wals verschilt, moeten deze apart worden berekend.

$$W = F * a * O$$

W = De toegepaste verwerkingsenergie in Joule

F = De benodigde kracht voor beweging in Kn

a = De afstand waarover de kracht wordt uitgeoefend.

O = Het aantal geregistreerde wals overgangen

$$W = a * ((F1 * O1) + (F2 * O2) + (Fn * On))$$

De kracht F moet worden omgeschreven naar de walsfactor. Vanuit de drukmetingen is vast te stellen met welke walsfactor op het asfalt is gedrukt. Vervolgens wordt hieruit het type wals duidelijk, waarna kan worden berekend welke energie is toegepast om het asfalt te verwerken.

$$E = (D0 * V0 * C * (T1 - T0)) + (F1 * a * O1) + (F2 * a * O2) + (Fn * a * On)$$

E = Totale toegepaste energie in J
D0 = Dichtheid asfalt op tijdstip 0 in Kg/m³
V0 = Volume asfalt op tijdstip 0 in m³
*C = Soortelijke warmte in J*Kg⁻¹*K⁻¹*
T1 = Aanlever temperatuur vanaf centrale
T0 = Aanlever temperatuur asfalt ingrediënten
Fn = Kracht benodigd wals n
a = De afstand waarover de kracht wordt uitgeoefend.
On = Het aantal geregistreerde wals overgangen wals n

Variabelen: De aanlever temperatuur en het aantal wals overgangen per wals. De rest is afhankelijk van het asfalt en het werk.

T0 wordt uitgelezen in de fabriek, T1 wordt uitgelezen met de RFID chip. Met behulp van de RFID drukmetingen wordt bijgehouden welke wals over het asfalt rijdt, en het energieverbruik wat daarbij gepaard gaat.

5.4 Discussie

De simpele manier om energieverbruik van asfalt te bepalen wordt alleen toegepast omdat het aantal factoren wat verdichting beïnvloedt zeer groot is. Dit kan een toepassing van RFID zijn. Maar energieverbruik per m² kan beter worden uitgerekend door de energiekosten in de fabriek op te tellen met het brandstofverbruik van de walsen. Wel kan met de walsfactor worden bepaald hoeveel kracht op het asfalt heeft gedrukt. Dit kan in verband worden gebracht met de verdichtingskurve.

(Bijleveld, Miller, de Bondt, & Dorée, 2015) laat in recent onderzoek zien dat het langzaam mogelijk wordt de invloeden van temperatuur op de verdichting te meten. Als het asfalt via deze weg steeds inzichtelijker wordt, kan met de RFID precies in kaart worden gebracht hoeveel arbeid in het proces moet worden gebruikt. Dit betekent dat er kan worden gekeken op welke manier deze benodigde arbeid het meest efficiënt kan worden geleverd.

Dit was maar een enkele toepassing van de RFID in asfalt. Voor het toekomstbeeld van RFID ziet Bijlage – XII.

6 Conclusies

De duurzaamheid in de asfaltsector moet vergroot worden, om dit te realiseren moet een manier van energieverbruik metingen in asfalt worden gevonden. In deze Bachelor Eindopdracht is onderzoek gedaan naar RFID technologie, als mogelijke oplossing voor het in kaart brengen van energieverbruik in asfalt. Dit energieverbruik wordt in kaart gebracht aan de hand van temperatuur en dichtheidsmetingen. Omdat dit onderzoek maar acht weken duurt, is de focus gelegd op temperatuur als belangrijkste parameter. De volgende hoofdvraag is beantwoord:

Hoofdvraag: “Wat is de toepasbaarheid van RFID sensoren, in vergelijking met de huidige methodiek, om het verloop van gebruikte energie en temperatuur in asfalt, tijdens en na het asfaltverwerkingsproces te meten?”.

Deelvraag 1: Welke invloeden heeft het asfaltverwerkingsproces op de RFID sensoren?

De eerste deelvraag legt aan de hand van literatuur het asfaltverwerkingsproces uit. Dit is een intensief proces waarin zwaar materieel en hoge temperaturen worden gebruikt, om resultaat te verkrijgen. Er zijn meerdere factoren in het proces te benoemen die de sensoren beïnvloeden.

- Een hoge temperatuur van rond de 175°C wat de sensor moet kunnen verdragen.
- een hoge druk geleverd door het walsen, waardoor breuken in de sensor kunnen ontstaan. Deze druk kan verder oplopen, door het verkeerd rangschikken van aggregaat waardoor puntlasten op de sensor ontstaan.

Naast kans op breken zijn er invloeden die betrekking hebben op de locatie van de sensor.

- Als de sensor gebruikt moet worden om asfalttemperaturen te meten, moet de sensor terug te vinden zijn. De sensor gebruikt in dit onderzoek heeft een klein leesbereik, waardoor het lokaliseren van de sensor belangrijk is. De manier waarop asfalt wordt aangelegd is met behulp van een trekkende beweging over het asfalt, waarbij grote hopen asfalt over de ondergrond worden voortgeduwd, als het smeren van een boterham. Bij dit voortduwen van het asfalt kan de sensor worden meegetrokken, waardoor de sensor uit positie kan geraken.
- Nog een factor die verplaatsing tot gevolg kan hebben is het lichtere gewicht van de sensor ten opzichte van het omliggende asfalt, waardoor drijven van de sensor kan ontstaan. Daarnaast moet de kerntemperatuur van het asfalt gemeten worden, waardoor de sensor in het midden van de asfaltlaag wordt geplaatst. Hierbij moet de sensor leesbaar blijven. De invloeden van het asfalt op de sensor werken ook vice versa. Het drijven en verplaatsen heeft meestal verandering in dichtheid tot gevolg. Daarnaast is een verhoogde kans op scheurvorming aanwezig.

De RFID techniek die met al de bovenstaande invloeden kan omgaan is de SAW RFID sensoren. Meerdere sensoren zijn beschreven met voor en nadelen, maar de beste techniek is SAW door het goede leesbereik, het gebrek aan batterij en de resistentie tegen hitte. In het onderzoek is gebruik gemaakt van UHF Passive sensoren, een goede tweede in de lijst.

Om het asfalt zoveel mogelijk te ontzien, wordt de sensor op maximaal 40 cm van de kant geplaatst. Op deze manier wordt de weg op veel gebruikte stukken niet extra belast en is er geen risico voor verplettering van de sensor tijdens plaatsing. Daarnaast is een vaste maat van de kant gemakkelijk terug te vinden.

Deelvraag 2: Hoe kunnen de RFID sensoren praktisch geplaatst worden in asfaltlagen?

Om de sensor in het midden van het asfalt te plaatsen zonder verschuiving van de sensor, zijn drie verschillende technieken bedacht: Plaatsing met bouten, plaatsing met gietasfalt en plaatsing met bitumenband. Uit deze technieken is plaatsing met gietasfalt gekozen voor veldtesten. Gietasfalt was beter door het niet verschuiven van de sensor, gemakkelijke plaatsing en minimale invloed op het asfalt. Gietasfalt is een dicht soort asfalt wat met 220°C wordt gegoten en wordt gebruikt voor reparaties en afwerking in de wegenbouw. De sensor kan vooraf op blokken gietasfalt worden geproduceerd en later worden verhit en vast gesmolten op asfalt onderlagen.

Deelvraag 3: Welke voordelen biedt de RFID sensor in het asfalt ten opzichte van de gebruikelijke temperatuurmetingen?

De RFID sensoren zijn samen met een methodiek die tegenwoordig gebruikt wordt getest, om te onderzoeken of RFID sensoren geschikt zijn voor asfaltemetingen. Daarnaast is gekeken naar eventuele voordelen van de RFID sensoren. De RFID methodiek maakt gebruik van de sensor en een reader om gegevens te verkrijgen. De huidige methodiek, PQi methodiek genoemd, geeft temperaturen aan de hand van infrarood camera's en thermokoppels.

Uiteindelijk zijn de volgende resultaten verkregen:

- De RFID sensor werkt in het asfalt en is goed leesbaar. Wel is er een probleem met het lezen van temperaturen van boven de 125°C.
- De overlevingskans van RFID sensoren is zeer groot, wat een voordeel is ten opzichte van de vaak brekende thermokoppels.
- De infraroodmetingen zijn minder nauwkeurig dan RFID metingen, oppervlakte temperatuur is een onbetrouwbare indicatie van de kerntemperatuur.
- De RFID sensor is nog onwennig in gebruik, de leesafstand moet drastisch verhoogd worden.

De RFID technologie heeft potentie om toegepast te worden in asfalt. Alleen moet de sensor hogere temperaturen kunnen verdragen en een groter leesbereik hebben. Er zijn sensoren op de markt die deze eigenschappen al beloven, dus onderzoek met betere chips moet dit kunnen uitwijzen.

Deelvraag 4: Hoe kunnen de gegevens gemeten in asfalt worden omgezet in verbruikte energie?

De gegevens die uiteindelijk verkregen moeten worden met behulp van RFID en PQi zijn temperatuur en dichtheid. In het laatste hoofdstuk is onderzocht deze parameters kunnen worden omgezet naar energieverbruik. Eerst is vastgesteld dat er twee soorten energie in het asfalt worden gestopt: Warmte en arbeid.

- Warmte is afhankelijk van de warmte capaciteit van het asfalt, oftewel de energie om asfalt een graad in warmte te laten toenemen. Warmte capaciteit per mengsel is empirisch te bepalen, waardoor de energie gebruikt om het asfalt op temperatuur te krijgen vastgesteld kan worden.
- Toegepaste arbeid is afhankelijk van de kracht en de afstand waarover deze kracht is uitgevoerd. Dit is afhankelijk van de wals. Vanuit de dichtheid is het moeilijk te bepalen hoeveel kracht er is toegepast, dit omdat er zeer veel factoren invloed hebben op asfaltverdichting. Daarom wordt aan de hand van de toegenomen druk bepaald wat voor wals over het asfalt is gereden. Dit kan met behulp van de walsfactor. Aan de hand van de wals die over het asfalt is gereden, kan vastgesteld worden hoeveel kracht hiervoor nodig was en daarmee de verbruikte energie.

7 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan voor gebruik van RFID in asfalt:

- Gebruik voor asfaltmetingen een Passive SAW RFID chip, met een temperatuurbereik van minstens 175°C en een leesbereik van minsten twee meter.
- Plaats de sensor voor een goede temperatuurmeting in het midden van de asfaltlaag en op maximaal 40cm van de rand van de asfaltweg.
- Veranker de sensor om verplaatsing te voorkomen. Voor het verankeren moet gebruik worden gemaakt van gietasfalt waar de sensor op vast is gesmolten. Het gietasfalt zelf kan vervolgens verhit worden voor het vast smelten aan de ondergelegen asfaltlaag.
- Regel software voor de RFID reader waarmee met intervallen van 5 seconden de temperatuur in de asfaltlaag kan worden bepaalt.
- Bereken de verbruikte energie voor het verhitten van het asfalt doormiddel van de warmtecapaciteit van het asfalt.
- Bereken de verbruikte energie tijdens het proces aan de hand de kracht benodigd om de walsen over het asfalt te verplaatsen en het aantal gemeten wals overgangen.

De volgende aanbevelingen worden gedaan voor vervolgonderzoek met RFID in asfalt:

- Test SAW RFID om te onderzoeken of een groter leesbereik mogelijk is.
- Test SAW RFID op temperatuurmetingen en overleven in asfalt. SAW RFID is de best mogelijke optie voor RFID gebruik.
- Test of RFID leesbaar is vanaf een voertuig en welke maximale snelheid daarmee bereikt kan worden.
- Onderzoek de invloeden van de blokken gietasfalt in het normale asfalt. Onderzoek op scheurvorming en veranderingen in dichtheid.
- Onderzoek of er een mogelijkheid is om aan de hand van dichtheid en mengseleigenschappen te bepalen is welke exacte kracht op het asfalt heeft gewerkt.
- Onderzoek de mogelijkheid voor gebruik van active RFID, voor langdurig asfaltonderzoek. Plaatsing kan door middel van gietasfalt.
- Zoek verder naar het gebruik van de SAW RFID chips met een hoger temperatuurbereik voor nauwkeurige metingen in asfalt.
- Verder onderzoek moet worden gedaan naar de verankering van RFID sensoren aan de onderste funderingslaag. Gietasfalt is hiervoor geen oplossing, maar de boutbevestiging kan een uitkomst zijn.
- Gekeken moet worden naar langdurig monitoren van asfalt met behulp van actieve RFID door aanleggen van energienetwerken in asfalt.
- Onderzoek moet worden gedaan naar het voorzien van bedrijfswagens met RFID apparatuur, om passieve sensoren dagelijks uit te lezen en zo een stroom aan asfaltgegevens over tijd te genereren.
- In de komende vervolgmaanden moet bij de sensoren langs worden gegaan, om te onderzoeken of de sensoren blijven functioneren in het asfalt. Voor de locaties van de sensoren zie *BIJLAGE – XI*.

8 Literatuurlijst

- ASPARi. (2015, April 13). *Home: ASPARi*. Opgehaald van ASPARi Web site: <http://aspari.nl/>
- BAM. (2015, April 20). *Bedrijfsprofiel*. Opgehaald van BAM : <http://www.bam.nl/over-bam/bedrijfsprofiel>
- BAM. (2015, April). Organigram BAM Infra Nederland bv. Utrecht: BAM.
- Bijleveld, F. R. (2010, Februari). *Afaltwegenbouw, op weg naar professionalisering*. Enschede, Nederland: Universiteit Twente.
- Bijleveld, F. R. (2010, Februari). *Asfaltwegenbouw, op weg naar professionalisering*. Enschede, Nederland: Universiteit Twente.
- Bijleveld, F. R. (2015, January 21). *Professionalising the asphalt: Aligning information technologies, operators' knowledge and laboratory practices*. Enschede, Twente, Nederland: University of Twente.
- Bijleveld, F. R., Miller, S. R., de Bondt, A. H., & Dorée, A. G. (2015, March 12). *Aligning laboratory and field compaction practices for asphalt – the influence of compaction temperature on mechanical properties*. *International Journal of Pavement Engineering*.
- Birdsell, E. D., Park, J.-W., & Allen, M. G. (2004). *Wireless Ceramic Sensors Operating in High Temperature Environments*. *40th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit*. Fort Lauderdale: ARC Aerospace research central.
- CROW. (2010, Augustus 20). *Asfalt in weg- en waterbouw*. Den Haag, Nederland: CROW.
- Dressen, D. (z.d.). *Considerations for RFID selection*. *Atmel applications journal*, 45 - 47.
- EVO. (2015, Maart 8). *Afmetingen vrachtwagens en combinaties EU*. Opgehaald van EVO: <http://www.evo.nl/site/eu-richtlijnen-maximale-afmetingen-vrachtwagens>
- F.R. Bijleveld, S. M. (2015, March 12). *Aligning laboratory and field compaction practices for asphalt – the influence of compaction temperature on mechanical properties*. *International Journal of Pavement Engineering*.
- Hartmann, C. S., & Claiborne, L. T. (2007). *Fundamental Limitations on Reading Range of Passive IC-Based RFID and SAW-Based RFID*. *IEEE International Conference on RFID* (pp. 41 - 48). Grapevine: IEEE.
- JOSEPH VÖGELE AG. (2014, Januari). *VÖGELE Inbouwgids*. Ludwigshafen, Duitsland: JOSEPH VÖGELE AG.
- Jovix. (2015, 05 15). *Active RFID vs Passive RFID*. Opgehaald van Jovix RFID solution company: <http://atlasrfid.com/jovix-education/auto-id-basics/active-rfid-vs-passive-rfid/>
- Kaare, K. K., Koppel, O., & Kuhi, K. (2012, 4 18). *Wireless sensing in road structures using passive RFID tags*. *Estonian Journal of Engineering*, pp. 314-323.

- Körbe, K., Kuhi, K., & Koppel, O. (2012). Measuring temperature and water content in road structures with sensor equipped RFID tags. *8th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING"*, (pp. 315- 320). Tallinn.
- Lynch, J. P., & Loh, K. J. (2006, Maart). Summary Review of Wireless Sensors and Sensor Networks for Structural Health Monitoring. *The Shock and Vibration Digest*, 38(2), pp. 91 - 128.
doi:10.1177/0583102406061499
- Miller, S. R. (2010). *Hot Mix Asphalt Construction: Towards a more professional approach*. Enschede: University of Twente.
- Ong, J. B., Zhanping, Y., Mills-Beale, J., Tan, E. L., Pereles, B. D., & Ong, K. G. (2008, December). A Wireless, Passive Embedded Sensor for Real-Time Monitoring of Water Content in Civil Engineering Materials. *Sensors Journal*, 8(12), 2053 - 2058. doi:10.1109/JSEN.2008.2007681
- Pfeiffer, G. H. (2010). *Using Radio-Frequency Identification Technology to measure asphalt cooling*. College Park: University of Maryland.
- RFSAW. (2015, March 13). Opgehaald van RFSAW.com:
<http://www.rfsaw.com/Documents/Paper%20-%20The%20Global%20SAW%20Tag%20-%20a%20New%20Technical%20Approach%20to%20RFID.pdf>
- Rijkswaterstaat. (2015, March 4). *Economisch Meest Voordelige Inschrijving*. Opgehaald van Rijkswaterstaat:
http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen_met_rws/inkoopbeleid/aanbesteden/emv/i/
- Rijkswaterstaat Adviesdienst Verkeer en Vervoer. (2007). *Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen*. Rotterdam: Rijkswaterstaat.
- Saleem, H., Zamin Ali Khan, M., & Afzal, S. (2012, November). Review of Various Aspects of Radio Frequency IDentification (RFID) Technology. *IOSR Journal of Computer Engineering (IOSRJCE)*, 8(1), p. 6. Opgeroepen op April 28, 2015, van www.iosrjournals.org
- Scherocman, J. A., Kennedy, T. W., Tahmoressi, M., & Holmgreen, R. (1988). *Inspectors' Guide: Mat Problems*. Austin: University of Texas at Austin.
- Schneider, M. (2003, April 24). *Radio Frequency Identification (RFID) Technology and its Applications in the Commercial Construction Industry*. Lexington: University of Kentucky.
- Schwartz, C., Khan, J. S., Pfeiffer, G. H., & Mustafa, E. (2014). *Radio Frequency Identification Applications in Pavements*. University of Maryland , Department of Civil and Environmental Engineering. College Park: National Technical Information Service.
- Siden, J., Xuezhong, Z., Unander, T., Koptuyg, A., & Nilsson, H. E. (2007). Remote Moisture Sensing utilizing Ordinary RFID Tags. (pp. 308 - 311). Atlanta: IEEE.
- Smith, R. (2004). *RFID: A Brief Technology Analysis*. Opgehaald van CTOnet:
<http://rdiego.diatel.upm.es/>

Tentacle Technologies. (2015, March 4). *Surface Acoustic Wave Radio Frequency Identification*.
Opgehaald van Tentacletech: <http://tentacletech.com/rfid/>

9 Bijlage

BIJLAGE I - OVERWOGEN SENSOREN

Temperature				
Sensor	Type	Wave	Max measuring temperature	Peak temperature
TELID 412-HT – RFID high temperature sensor transponder	Passive	UHF	125	170
TELID 211.01 RFID	Passive	HF	125	140
Carinthian tech research slot sensor	Passive	Uses GHz, so not readable.	400	At least 400
Carinthian tech research monopole sensor	Passive	Uses GHz, so not readable.	400	At least 400
WTT -201	Semi active(battery)	UHF 868MHz	80	80
WTT – 202A	Semi active(battery)	UHF 868MHz	200	
PHASE IV wireless temperature sensor	Passive	UHF 902 – 928 MHz	105	At least 105
MARKTECHNICAL RTD pt 100 Class A	Semi active(battery)	UHF 868 – 916 MHz	400	At least 400

Zoals te zien is geen van deze sensoren een SAW RFID chip. Dit komt doordat er veel wordt gesproken over SAW RFID chips, maar het daadwerkelijke aanbieden van de chip niet veel voorkomt. De SAW RFID is nog onbereikbaar, daarom is de focus gelegd op UHF sensoren.

BIJLAGE II-- APPARATUUR SPECIFICATIES.

RFID methodiek

Sensor type

Telid® 412 RFID Temperature Transponder

RFID Technology: RFID system TELID® 400 based on ISO 18000-6C

Chip Type: different long distance UHF sensor solution

Operating Frequency: 860 – 960 MHz

Communication Rate: up link 128 kbps, down link 640 kbps

Communication Distance: 0 ... 50 cm depending on reader antenna and environmental condition

Temperature Sensor: semiconductor sensor

Working Temperature: -40°C +65°C

Resolution: 0.5 K Accuracy: +/- 0.5 K at -10°C ... +20°C +/- 1.0 K at -40°C ... +65°C

Thermal Time Constant: approximately 1 min mounted on object

Battery: no battery

Working Temperature: -20°C ... +125°C, Piek temperatuur van 170°C

Dimensions: 70 x 18 mm², thickness max. 4 mm

Packaging: epoxy glass fiber enforced (black)



Reader type

Casio IT800 met IT800-BML UHF/HF Modul

RFID System: UHF/HF lid®3000/4000 based on ISO standards

Chip Solutions: UHF: EPC C1 G2, ISO 18000-6c

Alien Higgs 3/4, Impinj Monza 3/4/5, NXP UCODE, Temperature Sensor EM4325

HF: I-CODE®, Tag-it®, my-D®, lid®M, EM chip types, lid®G, Mifare ultralight

LEGIC®prime, LEGIC®advant

Basics: far field / near field operation, read write, low power

standard command set of lid® driver engine

RFID Air Interfaces: UHF: 868 MHz RFID, ISO 18000-6c

HF: 13.56 MHz RFID, ISO 18000-3, ISO 15693, ISO 14443

Operating Distance: depending on transponder type and metal environment,

HF: approx. 0 ... 4 cm

UHF: approx. 0 ... 2 m

Reader Antenna: patch antenna UHF, coil HF

Power Supply: internal from IT-800

Power Consumption: typ. 80 Ma (idle mode)

typ. 350 Ma (active mode)

Software Interface : lid® driver engine (Windows Mobile 6.5)



Operation Temperature: -5°C ... +45°C

Type: 47.94.802.01

RFID Antenna: MP2525 (UHF circular polarization) , W5046 (HF inductive)

RFID Communication Rate: Transmit: 40 (UHF), 26 ... 106 (HF) kbps

Receive: 40-640 (UHF), 26 ... 106 (HF) kbps

PQI Methodiek

Infrarood camera

Voltcraft® IR1000-50CAM

IR: -50 to 1000°C/ -58 to 1832°F
K-Type: -50.0 to 1370°C/-58 to 2498°F
Air: 0 to 50°C/30 to 122°F
Humidity: 0 to 100% RH

Meetinstellingen:

High: 199,6°C
Low: 0,0°C
Time: 5 seconden interval
Emissivity: $\varepsilon = 0,94$



Thermokoppel

Voltcraft K202 Data logger/thermometer

Temperatuur: -200 to +1370°C/ -328°F to 2498°F
Meetmedium: Draadvoelers tot 200°C
Meetinstelling: •Time: 5 seconden interval



BIJLAGE III-- PLAN VAN EISEN SENSOR EN PLAATSING

Sensor

Randvoorwaarden:

- De sensor moet bestand zijn tegen temperaturen tot de 175 °C.
- De sensor moet bestand zijn tegen de druk in asfalt
- De sensor moet zo min mogelijk negatieve invloed hebben op de sterkte van het asfalt.

Eisen:

- De sensor moet onder 50 cm asfalt leesbaar zijn.

Wensen:

- De sensor gebruikt geen bedrading.
- De sensor moet makkelijk traceerbaar zijn.
- De sensor moet de data kunnen opslaan.

Plaatsingsmethodiek

Randvoorwaarden:

- De sensor moet verticaal in het midden van de asfaltlaag geplaatst worden.
- De plaatsing moet zo min mogelijk negatieve invloed hebben op de sterkte van het asfalt.
- De sensor moet her vindbaar zijn.
- De invloeden van de plaatsing van de sensor mogen niet in tegenspraak zijn met eisen aan asfalt geformuleerd in de NEN-EN 13081 serie Europese Normen.

Eisen:

- De sensor moet machinaal kunnen worden geplaatst.
- De plaatsing moet geen extra arbeid betekenen voor werknemers.
- De sensor moet voor de aanleg van de asfaltlaag geplaatst worden.
- De asfaltwegenbouw moet zo min mogelijk worden aangepast voor de sensor.
- De sensor moet worden verankerd voor stabiele lokalisatie.
- De sensor moet uit het wielspoor worden geplaatst.

Wensen:

- De sensor moet naast de wegbelijning worden aangebracht
- De sensor moet uit het midden van de weg worden geplaatst.

BIJLAGE IV - AFGEVALLEN PLAATSINGSMETHODIEKEN

Behalve de drie geteste plaatsingsmethodieken, zijn er meer methodieken bedacht. Deze methodieken zijn uiteindelijk niet getest. In deze bijlage een korte opsomming van de methodieken en uitleg waarom de testen niet zijn uitgevoerd.

De volgende plaatsingsmethodiek hebben het niet gehaald: Achteraf indrukken, Vaststellen met behulp van asfaltwapening en begraving in het asfalt.

Achteraf plaatsen

De eerste mogelijke bedachte manier van sensorplaatsing was het achteraf indrukken van de sensor. Het asfalt zal via de spreidmachine worden geplaatst, waarna de sensor vanaf de machine in het asfalt geslagen zou worden. Deze methodiek leek haalbaar en simpel. Maar uiteindelijk zijn de testen niet gedaan om de volgende redenen:

- Na de spreidmachine is het asfalt 80 tot 90% verdicht. Asfalt is gemaakt van hard materiaal. In feite is het niet anders dan stenen met een bindmiddel. Als de sensor na de verdichting wordt geplaatst, is er een enorme kracht nodig om de sensor op de juiste plaats in het asfalt te drukken. Deze kracht kan niet systematisch in het lab van Asfaltcentrale Hengelo worden uitgevoerd.
- De kracht is een extra beproeving voor de sensor. De sensor is gemaakt om een temperatuur van 175 °C te overleven, daarnaast moet de sensor de krachten in het asfalt van verwerking en verkeer kunnen verdragen. Met de kracht benodigd om de sensor in asfalt te drukken, is de kans op overleven zeer laag. Door de sensor te vernietigen of verzwakken door een extra verhoogde druk toe te passen, wordt de bruikbaarheid in asfalt lager. Met een beperkt aantal sensoren, moet vernietiging door plaatsing worden voorkomen.
- Als na de verdichting de sensor in het asfalt wordt gedrukt, blijft er een gat over in de asfaltaag. Nu is dit bij een onderlaag niet een groot probleem. Hier zijn meer onzuiverheden in het asfalt, die later worden hersteld. Maar een deklaag wordt zo homogeen mogelijk aangelegd. De sensor is bedoeld voor veelvuldige plaatsing. Als bij elke plaatsing sprake is van verzwakt asfalt en een dichtgestopte scheur in de deklaag, is dit een methodiek die niet gebruikt kan worden.
- Bij de meting van de onderlaag is indrukken van de sensor niet mogelijk. Bij de onderliggende zandlaag is met kracht de sensor niet op plaats te krijgen.

Plaatsing met asfaltwapening

Een optionele methodiek is plaatsing via asfaltwapening. Asfaltwapening wordt toegepast om vermoeiing in asfalt te voorkomen. Het zou de krachten in het asfalt gelijkmatig verdelen en zo scheurvorming in asfalt tegengaan. Er zijn meerdere soorten, van kunststof grids die in het asfalt worden gelegd, tot composieten van met doek, die op de kleeftlaag van het asfalt worden aangebracht. Om de volgende redenen is deze methodiek niet getest:

- Er bestaan veel verspreide meningen over de toepassingen van asfaltwapening. Asfaltwapening wordt vaker niet toegepast omdat het effect van asfaltwapening ook met minder kosten kan worden bereikt bij toepassing van meer asfalt.
- De sensor is lastig te bevestigen aan asfaltwapening. De wapening is van kunststof gemaakt, met dunne verbindingen. Een krachtige verankering bestand tegen het verwerkingsproces is met beperkte middelen niet realiseerbaar.
- Als de sensor later wordt toegepast voor controle van asfalt, zal bij aanleg van asfaltwegen altijd gebruik worden gemaakt van asfaltwapening.
- Asfaltwapening wordt aangebracht op de kleeflaag van de onderliggende asfaltlaag. Daardoor is toepassing voor metingen in de onderste laag niet mogelijk.
- Alleen kunststof wapening is een mogelijkheid, vanwege mogelijke signaalverstoring door metalen wapening.

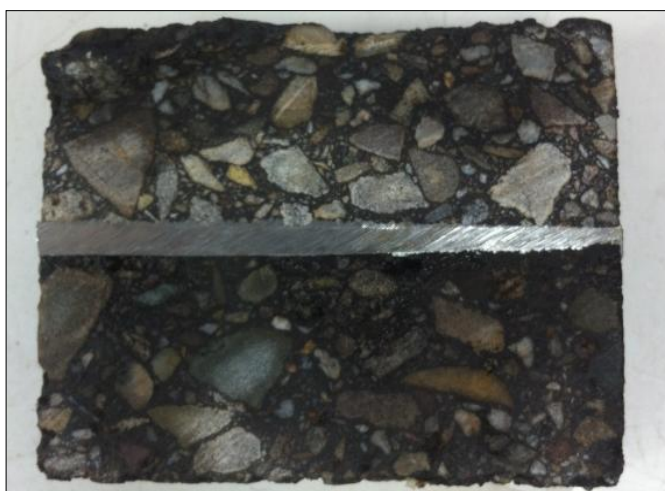
Plaatsing door begraving van asfalt.

Bij deze methodiek wordt na de verdichting een hap asfalt uit de weg gehaald. Vervolgens wordt de sensor geplaatst, het asfalt wordt teruggeplaatst en verder verdicht. Deze methodiek wordt niet toegepast om de volgende redenen:

- Er is weer sprake van achteraf plaatsen. De asfaltlaag wordt verzwakt en vervolgens hersteld. Deze aanpassingen in asfalt kunnen gevolgen hebben op de sterkte. Dit is helemaal een probleem in de deklaag, die een verhoogde last heeft van scheurvorming.
- Nadat de sensor geplaatst is en het verdichtproces verder gaat, is de sensor niet verankerd. Door de walsen ontstaan verplaatsingen in het asfalt, die dislocatie van de sensoren als gevolg hebben. Lokalisering is een groot probleem bij sensorplaatsing.

BIJLAGE V - WAARNEMINGEN VERPLAATSING SENSOREN

In deze bijlage zijn een aantal foto's van de labtesten geplaatst. Dit zijn de waarnemingen tijdens de moertesten. Zoals te zien in elk figuur treedt er holtevorming op rond de sensor.



BIJLAGE VI - ONDERBOUWING CRITERIA MCA

De plaatsingsmethodieken zijn getoetst aan de hand van een Multi criteria analyse. In deze MCA zijn een vijftal hoofdcriteria opgenomen. Aan elk van deze criteria is een weging toegekend, waarbij de weging afhankelijk is van de mate van importantie. Hieronder zal een uitleg volgen van de waarde toekenning van de criteria:

- **Lokalisatie (15%):**

De lokalisatie van de sensor is belangrijk voor het proces. De sensor mag afwijken van het exacte midden. De temperatuur binnen asfalt verschilt namelijk per centimeter, en het exacte midden hoeft niet altijd het aller warmst te zijn. Maar de sensor moet niet teveel afwijken van het midden en achteraf moet de sensor vindbaar zijn. De reader heeft maar een beperkte leesafstand dus meer dan een centimeter mag de sensor niet verplaatsen.

- **Uitvoerbaarheid (15%):**

Als de sensortechniek op grote schaal moet worden toegepast, moet de sensor gemakkelijk toe te passen zijn op het asfalt. Hoe moeilijker het proces van aanbrengen, des te meer innovatie er nodig is om de sensor machinaal toe te passen. Een lagere uitvoerbaarheid mag, maar is niet gewenst.

- **Invloed op asfalt (20%):**

Verzwakking van asfalt door de sensor is niet wenselijk. De plaatsing mag niet zorgen voor grote negatieve invloeden op het asfalt. Op de bouwplaats wordt er vaak ruw omgegaan met het asfalt, en worden er veel kleine beschadigingen aangepast. Daarom krijgt deze weging niet de hoogste score.

- **Invloed op de sensor(25%):**

De sensor staat bloot aan veel invloeden die het uitlezen moeilijker maken. Daarnaast zorgen de krachten voor eventuele vernietiging van de sensor. Dit is een zeer belangrijk aspect aan de sensor, omdat elke extra invloed door de plaatsing nog meer problemen oplevert. De sensor moet beschermt worden, goed uitleesbaar zijn en de juiste temperatuur aangeven.

- **Kosten (25%):**

Als dit concept in grote mate gaat worden toegepast moeten de kosten laag blijven. Ontwerpen moeten gesteund en gefinancierd worden. Extra kosten zorgen voor een verminderde haalbaarheid.

BIJLAGE VII - TOELICHTING SCORE MCA PLAATSINGSMETHODIEKEN

De toetsing van de plaatsingsmethodieken voor de sensor is gebeurd aan de hand van een Multi criteria analyse. De scores zijn hieronder nogmaals te zien:

TABEL 3: SCORES VAN DE VERSCHILLENDE ALTERNATIEVEN IN DE MCA

Hoofdcriteria	Weging [%]	Ontwerpalternatieven	
		Plaatsing met moeren	Plaatsing met gietasfalt
Lokalisatie	15	8	9
Uitvoerbaarheid	15	6	6
Invloed op asfalt	20	4	8
Invloed op de sensor	25	5	6
Kosten	25	7	6
Totaal	100	5,9	6,85

De onderbouwing van de scores per alternatief volgt hieronder per criterium:

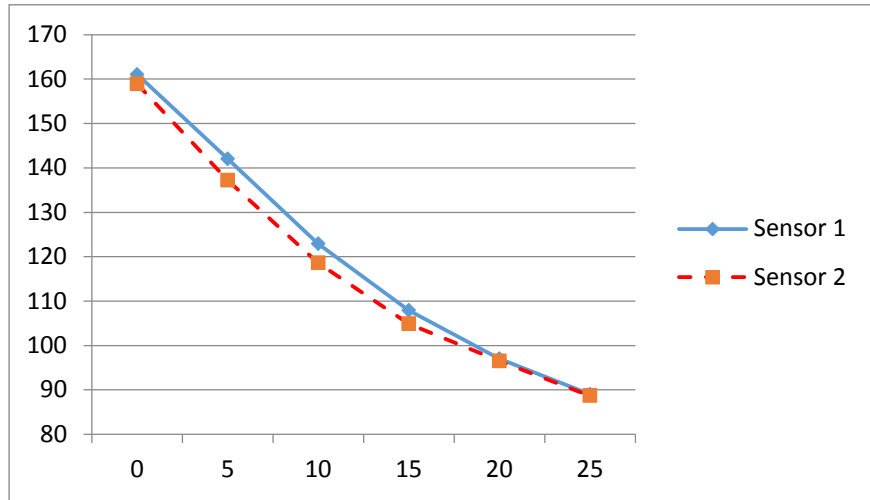
- **Lokalisatie (15%):**
 - **Moerbevestiging:**
Dit alternatief scoort goed op dit criterium. Er is geen sprake van verplaatsing van de sensor. Horizontaal en verticaal blijft de sensor vaststaan. Er is wel sprake van een lichte kanteling. **8**
 - **Gietasfalt bevestiging:**
De gietasfalt bevestiging heeft een zeer hoge score op dit criterium. De sensor blijft op exact gelijke locatie, er treedt geen verplaatsing of kanteling van de sensor op. **9**
- **Uitvoerbaarheid (15%):**
 - **Moerbevestiging:**
De sensor moet worden vastgeboord aan de onderliggende laag. Dit is bij elke laag mogelijk, maar is een intensief proces wat vanaf een bewegende spreidmachine niet goed te realiseren is. **6**
 - **Gietasfalt bevestiging:**
De sensor kan licht verhit worden en vervolgens op het asfalt worden geplakt. Dit is een simpele handeling dat bewegend kan worden uitgevoerd. Wel is deze manier van bevestiging niet geschikt voor de onderlaag. Daar moet het gietasfalt worden ingegraven wat een moeilijker proces is. **6**
- **Invloed op asfalt (20%):**
 - **Moerbevestiging:**
De moerbevestiging zorgt voor boorgaten in de onderliggende laag en holtes in het asfalt onder de sensor. Daarnaast is er sprake van extra materiaal in het asfalt. **4**
 - **Gietasfalt bevestiging:**
Het gietasfalt versmelt met het omliggende asfalt, en laat geen ander materiaal dan asfalt achter. **8**

- **Invloed op de sensor(25%):**
 - **Moerbevestiging:**
Het metaal van de moerbevestiging zorgt voor een lichte verstoring van het UHF signaal. Door de holtevorming onder de sensor is er een slechte krachtafdracht van de sensor op het onderliggende asfalt. **5**
 - **Gietasfalt bevestiging:**
Het gietasfalt heeft een hoge dichtheid en daarmee invloed op de leesbaarheid van de sensor. Gietasfalt zorgt voor een goede ondersteuning van de sensor, maar ook een vertraging in de opwarming. **6**

- **Kosten (25%):**
 - **Moerbevestiging:**
Door gebruik te maken van draadstaal blijven de kosten voor moerbevestiging zeer laag. **7**
 - **Gietasfalt bevestiging:**
Door het hoge bitumengehalte van gietasfalt is dit asfalt een dure substantie. Daarnaast moet het gietasfalt worden verhit, dit zorgt voor extra kosten door een verhoogd energieverbruik. **6**

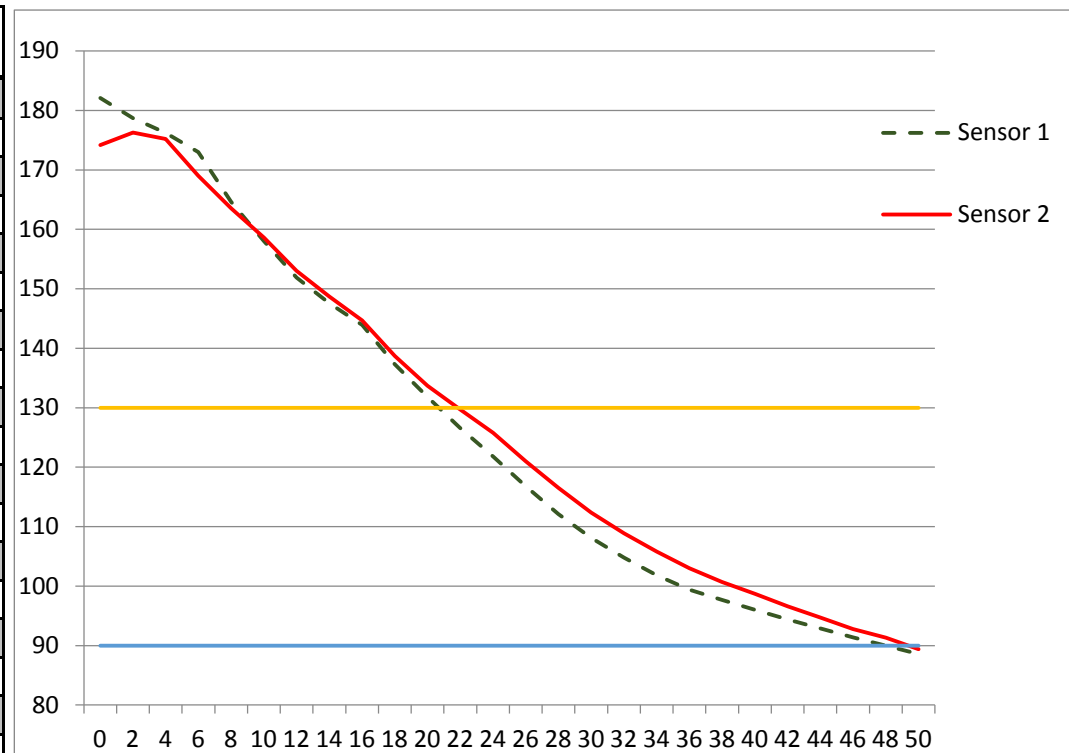
BIJLAGE VIII - TEST GEGEVENS PLAATSINGSTESTEN 1-3

Test 1 lokalisatie sensoren zonder bevestiging					Datum				
Asfaltgegevens				Test 1	27-5-2015				
Asfalmengsel	AC 22 Base OL-B 60%			Test 4	27-5-2015				
Oven temperatuur(C°)	175								
Handmatig wals gewicht(g)	6100	Test methodiek							
Dikte laag (mm)	70	De nulmeting wordt gedaan met dummy sensoren zonder bevestigingen. Eerst wordt een mal van 70mm tot 35mm gevuld met asfalt. Vervolgens worden er 4 sensoren geplaatst. De mal wordt tot de 70mm aangevuld, waarna het asfalt een handmatig wordt verdicht en een dag lang mag afkoelen. Dan wordt het asfalt opengewerkt met behulp van zaagsneden om te kijken naar de verplaatsing.							
Plaatsing sensoren (mm)	35								
Omgeving temperatuur (C°)	18,8								
Aantal sensoren (dummy)	4								
lokalisatie Gyrator									
Asfalmengsel	AC 11 surf DL-B Mor								
Oven temperatuur(C°)	175								
Circulaties	6100								
Dikte laag (mm)	120								
Plaatsing sensoren (mm)	60								
Aantal sensoren (dummy)	1								
Maximum dichtheid(kg/m3)	2306,3								
Gewicht monster	4862,2								

Test 2 lokalisatie sensoren met moer bevestiging						Datum:		27-5-2015							
Asfaltgegevens						Testmethodiek									
Asfaltmengsel		AC 11 surf DL-B Mor				De sensoren(dummy) zijn vastgezet met behulp van moeren. De sensor wordt vastgezet aan de onderliggende laag. De sensoren zijn exact op 25mm van de laag vastgezet, waarmee het middelpunt op 26,5 zit. Het asfalt wordt vervolgens gestort, en een dag later opengewerkt via zaagsneden. Vervolgens wordt geanalyseerd wat de verticale en horizontale verplaatsing van de sensor is.									
Oven temperatuur(C°)		175													
Handmatig wals gewicht(g)		6100													
Dikte laag (mm)		50													
Plaatsing sensoren (mm)		26,5													
Omgeving temperatuur (C°)		20,4													
Aantal sensoren (dummy)		4													
				Temperatuur											
Tijd(min)		Sensor 1													
0		161		158,9											
5		142		137,2											
10		122,9		118,6											
15		107,9		104,9											
20		97		96,5											
25		89		88,7											

Test 3 lokalisatie sensoren met gietasfalt bevestiging op hout						Datum				
					Test 3	28-5-2015				
Asfaltgegevens					Test methodiek					
Asfalmengsel	AC 11 surf DL-B Mor				De eerste twee sensoren(dummy) zijn op 50mm uit de hoek van de mal geplaatst. Deze zijn vastgezet op een houten plaat met behulp van het verhitte gietasfalt. Vervolgens is hier het asfalt op gestort en handmatig verdicht. Uiteindelijk zal het asfalt worden opengewerkt om te kijken naar de verplaatsing van de sensor en de verandering van het gietasfalt.					
Handmatig wals gewicht(g)	6100									
Dikte laag (mm)	50									
Plaatsing sensoren (mm)										
Sensor 5	17,6									
Sensor 6	15,5									
Hoogte sensor (mm)										
Sensor 5	20,6									
Sensor 6	36,6									
Omgeving temperatuur (C°)	20,1									
Aantal sensoren (dummy)	2									

Gegevens gietasfalt test	Temperatuur		
Tijd(min)	Sensor 1	Sensor 2	
0	182,1	174,2	
2	178,7	176,3	
4	176,2	175,2	
6	173	169	
8	164,6	163,5	
10	158	158,6	
12	151,9	153	
14	147,6	148,7	
16	143,9	144,7	
18	137,3	138,7	
20	131,8	133,7	
22	126,6	129,7	
24	121,8	125,8	
26	116,8	121	
28	112,1	116,5	
30	108,1	112,4	
32	104,8	108,9	
34	101,8	105,8	
36	99,4	103	
38	97,7	100,7	
40	96	98,7	
42	94,4	96,6	
44	92,9	94,7	
46	91,4	92,8	
48	90	91,3	
50	88,6	89,4	



BIJLAGE IX – TEST GEGEVENS TEMPERATUUR TESTEN 1-5

Test 1

Test informatie	
Testtype	RFID sensor los in asfalt
Mengsel type	SMA-NL-11B-Gemodificeerd Grauwakker
Gebruikte thermokoppel	Nummer 4
Plaatsing Meters	T1 rechts, T2 links

De eerste test had één RFID sensor in het midden van de asfaltplaat. Daarnaast werd er gebruik gemaakt van twee thermokoppeldraden en een infraroodcamera.

Test 2

Test informatie	
Testtype	Twee RFID sensoren in gietasfalt (In en op)
Mengsel type	SMA-NL-11B-Gemodificeerd Grauwakker
Gebruikte thermokoppel	Nummer 4 en Nummer 2
Plaatsing Meters	T1 rechts, T2 links

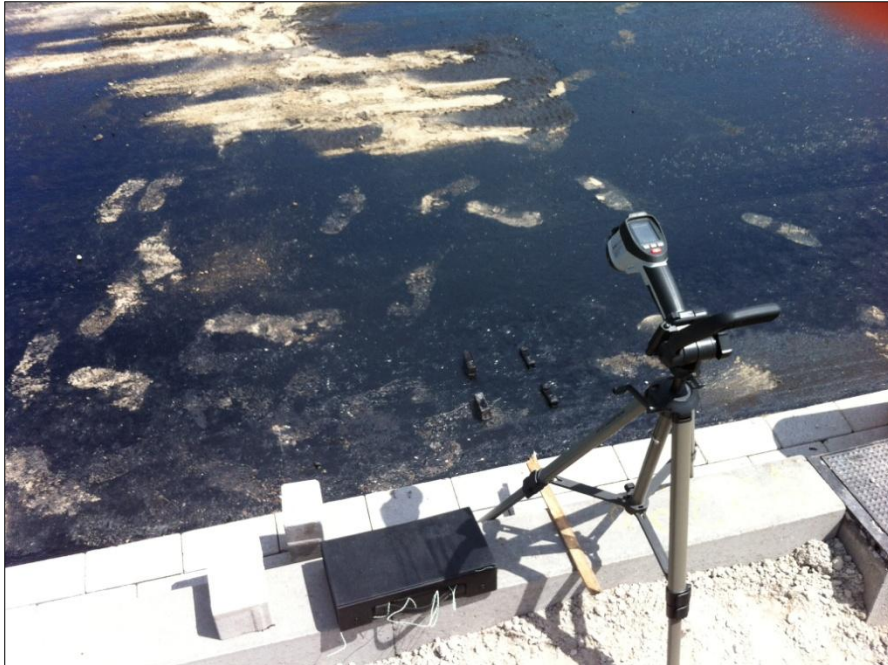
De tweede test had twee RFID sensoren, validatie gebeurde met vier thermokoppeldraden en een infraroodcamera.

Test 3,4 en 5

Asfaltgegevens			
	Test 3	Test 4	Test 5
Asfaltmengsel	BASE 022	BASE 022	BASE 022
Dikte laag	80mm	60mm	60mm
Plaatsing	40mm	30mm	30mm
sensoren	1e onderlaag	2e onderlaag	2e onderlaag
Laagtype	Ingegraven	Gietasfalt op	Gietasfalt verhit
Bevestiging	gietasfalt	kleeflaag	
Spreidmachine	VÖGELE SUPER	VÖGELE SUPER	VÖGELE SUPER
	1800-2	1800-2	1800-2
Walstypes	Tandemwals	Tandemwals	Tandemwals
	Drierol	Drierol	Drierol
	Bandenwals	Bandenwals	Bandenwals

Tijdens de asfalttesten is eerst gebruik gemaakt van een opstelling met de infraroodcamera direct gericht op de locatie van de sensoren (Figuur 34). Dit bleek veel verstoring te geven. Daarom is er over gestapt met de laatste drie veldtesten naar de opstelling aangegeven in Figuur 35. In deze opstelling is de infraroodcamera verder verwijderd van de sensoren.

PQi opstellingen



FIGUUR 34 EERSTE OPSTELLING VELDTEST



FIGUUR 35 VERBETERDE OPSTELLING VELDTEST

BIJLAGE X - HANDLEIDING GEBRUIK RFID IN ASFALT

Dit is een korte handleiding voor het gebruik van RFID sensoren in asfalt. De handleiding is geschreven voor gebruik van een Telid® 412 temperatuursensor en een Casio IT-800 met UHF-HF Module. Lees voor gebruik van de apparatuur de volledige handleiding.

Vooraf

De volgende onderdelen zijn benodigd om de RFID sensoren te gebruiken.

- Telid® 412 temperatuursensor
- Casio IT-800 met UHF-HF Module
- MicroSD kaart
- Asphalt TAG software of een beter softwarepakket.

Zorg ervoor dat de Casio IT-800 opgeladen is. Plaats de MicroSD kaart achter de batterij in het apparaat, hiervoor moet de batterij verwijderd worden. Haal de batterij niet meer dan 10 minuten uit het apparaat, anders kan door energietekort data in het systeem verloren gaan. In de MicroSD kaart moet je een map aanmaken met de naam: "ASPHALT-TAG". Oftewel de exacte naam van de software die je wilt gebruiken. Anders herkent de software de SD kaart niet. Ook bij gebruik van andere software is dit aan te raden. De map kan aangemaakt worden door naar de file explorer te gaan. Vervolgens door lang in de map te drukken komen opties naar voren, één van die opties is een nieuwe map aanmaken. Gebruik voor het besturen van het systeem de stylus(bijgeleverde pen), dit werkt vele male beter dan met de hand. Daarnaast is het handig om tijd en datum goed in te stellen. Dit is makkelijk bij het terugvinden van data.



FIGUUR 37 CASIO IT-800 MET UHF/HF MODULE



FIGUUR 36 TELID®412 TEMPERATUURSENSOR

Tijdens de asfalttesten

Hier wordt kort uitgelegd hoe de sensor moet worden gebruikt in geval van testen in asfalt.

Plaatsing bij handmatig walsen

Bij handmatig walsen wordt er gebruik gemaakt van een mal waarin het asfalt wordt gestort. Vervolgens wordt met een stalen rol naar de juiste dichtheid gestreefd. Zorg bij het walsen voor een altijd vochtige rol, zodat het asfalt niet aan de rol vastplakt.

1. Vul eerst de mal tot de helft van de hoogte met het onverdichte asfalt.
2. Plaats de sensor op dit asfalt met het zwarte vierkant naar boven. **Pas op! Vers gestort asfalt kan meer dan 175°C zijn.**
3. Vul nu de mal aan met asfalt totdat de top is bereikt. Door de begrenzing van de mal zal de sensor tijdens het handmatig walsen niet verplaatsen.
4. Nu kan met de RFID Reader de sensor worden uitgelezen. Hiervoor kan de ASPHALT-TAG software worden gebruikt. Hierbij moet handmatig worden aangegeven dat de temperatuur moet worden gemeten. Per datapunt betekend dat één keer drukken. Er is software die met intervallen kan werken(RFID iID Driver Engine). Deze moet dan wel eerst aangeschaft worden.
5. De RFID Reader leest maar vanaf een afstand van circa 10cm. Daarom moet de reader boven het asfalt worden gehouden. Bij het handmatig walsen moet continue de stalen rol over het asfalt worden gehaald. Tijdens dit walsen is het lezen van de sensor lastig, doordat de reader in de weg van het walsen zit.
6. Meet zolang als benodigd. Beëindig vervolgens de meting en zet de reader uit.

Plaatsing bij machinaal walsen

Bij machinaal walsen wordt gebruik gemaakt van een asfaltspreidmachine voor de aanleg van het asfalt en bestuurbare walsen voor het verdichten. Dit zorgt voor grotere vervorming in het asfalt en daarmee verplaatsingen in het asfalt. Daarom moet de sensor in dit geval worden verankerd aan de bodem. Dit verankeren van de sensor kan worden gedaan met gietasfalt. Met kleine mallen met breedte en lengte gelijk aan de sensor kan de sensor in gietasfalt worden gegoten. Dit gietasfalt kan opnieuw verhit worden waardoor de substantie op de onderlaag kan worden vastgeplakt. Deze techniek werkt alleen bij vaste ondergronden en niet bij zand of stof.

Uitleg sensorgebruik in gietasfalt.

1. Maak een mal(bakje) met een breedte van 3cm een lengte van 80 cm. De hoogte van de mal is afhankelijk van de hoogte waarop de sensor geplaatst moet worden. Zorg ervoor dat de mal zeer goed is ingevet of van speciaal karton is. Als het gietasfalt vastplakt is het niet los te krijgen. Daarom wordt karton met een anti kleef laag aangeraden(bakpapier).
2. Leg de sensor horizontaal met het zwarte vierkant naar beneden in de mal. Vul de mal met gietasfalt tot de gewenste hoogte en laat het afkoelen.
3. Trek de mal van het volledig afgekoelde gietasfalt af. Draai het blok om. Nu heb je een blok gietasfalt met bovenop een RFID sensor die naar boven is georiënteerd.



FIGUUR 38 GIETASFALTMAL

Gebruik sensor op de bouwplaats.

1. Plaats het blok gietasfalt op een onderliggende asfaltlaag. Testen bij een onderlaag is niet mogelijk.
2. Plaatsing moet gebeuren binnen 40cm van de rand. Anders kan de spreidmachine over de sensor rijden en daarmee vernietigen.
3. Verhit de onderkant van het blok gietasfalt met een brander(dus niet de kant van de sensor!). Als de onderkant van het gietasfalt begint te smelten is het genoeg.
4. Druk het blok onmiddellijk op de gewenste locatie. De gesmolten onderkant hecht aan de onderlaag.
5. De sensoren zijn nu geplaatst. Zorg ervoor dat de sensor goed teruggevonden kan worden. Met krijt kan aan de zijkant van de weg een indicatie van de sensor worden gegeven. Nadat de spreidmachine over de sensor is gereden is het anders lastig de sensor terug te vinden.
6. De sensor kan na de overgang van de spreidmachine worden uitgelezen. De sensor is maar leesbaar op 10cm dus houd de reader dicht boven het asfalt. **Pas op! Walsen rijden over het asfalt, arm met reader op tijd binnenboord.**

Gebruik van data

Na de meting zijn de volgende opmerkingen toegevoegd, over hoe met data moet worden omgegaan:

- Elk datapunt wordt opgeslagen in één meting. Als het programma ASPHALT-TAG wordt beëindigd en weer opgestart word de volgende data opgeslagen als nieuwe meting. Daarom moet tijdens de meting de software niet worden afgesloten.
- Uiteindelijk kan de data in Excel vorm worden afgelezen. Het is makkelijk de MicroSD kaart direct in de computer te plaatsen. Dit bespaart het installeren van IT-800 programma's.
- De data wordt aangeleverd in een vreemde vorm. Door problemen met omzetting van komma's en punten kloppen de grootheden van de getallen niet altijd. Veel getallen zijn een factor 10.000 te groot. In Excel zijn technieken beschikbaar om dit op te lossen. Anders kan met een eigen gemaakt IF statement het probleem worden opgelost.

BIJLAGE XI – LOCATIES GEPLAATSTE RFID SENSOREN

Op meerdere vier plaatsen in Nederland zijn RFID sensoren aangebracht. Drie van deze plaatsen zijn gelokaliseerd in Apeldoorn. De laatste plaatsing is gelokaliseerd in Elst. Er zijn beschrijvingen toegevoegd voor de locatie. Twee locaties zijn uitgemeten met GPS, waardoor de exacte plaats goed te vinden is. De andere twee locaties worden alleen beschreven met tekst en beeldmateriaal. Uiteindelijk ben ik ook te contacten voor het vinden van de exacte locaties.

Locatie 1

Plaats: Apeldoorn

RD Coördinaten

X: 196962.944

Y: 469614.102

Z: 9.155NAP

Graden, minuten en seconden

N 52 12 46.9, E 6 0 4.3

Locatie 2

Plaats: Apeldoorn

RD Coördinaten

X: 196886.386

Y: 469489.446

Z: 9.61NAP

Graden, minuten en seconden

N 52 12 42.9, E 6 0 0.2

Locatie 3

Plaats: Apeldoorn

Beschrijving locatie: Aan de weg waar de andere twee sensoren in Apeldoorn zijn geplaatst, ligt de derde sensor ook. Vanaf de kruising Laan van Osseveld en de Zutphensestraat richting het spoor. Aan het einde, net voor de spoorwegovergang, is de gele paal met bord in figuur 40 gedeeltelijk te zien. Op locatie van de witte strepen zijn de sensoren geplaatst.

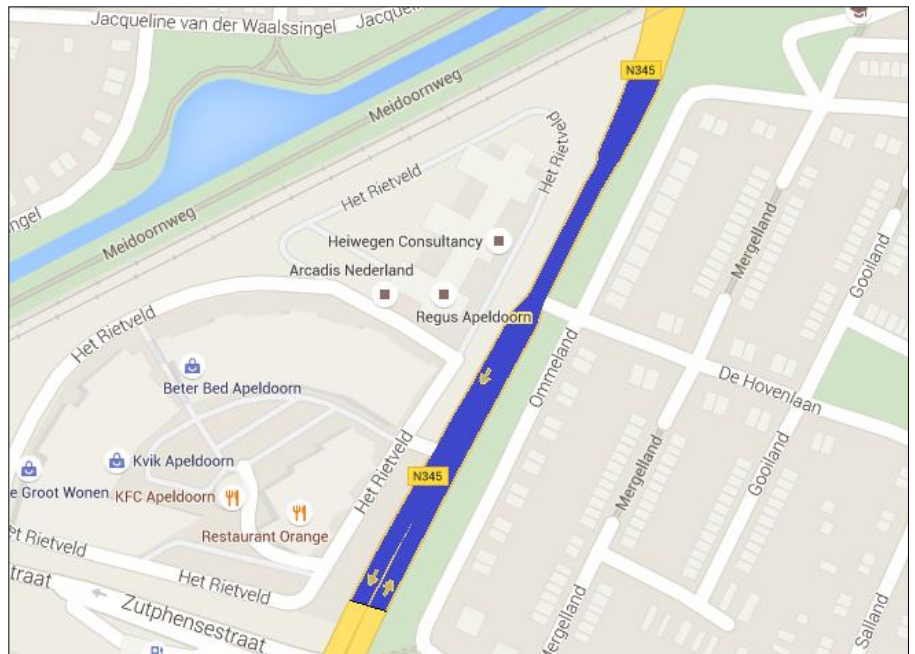
Geschatte RD Coördinaten

X: 197035

Y: 469750

Graden, minuten en seconden

N 52 12 51.3, E 6 0 8.2



FIGUUR 39 LOCATIE WEG APELDOORN



FIGUUR 40 - LOCATIE SENSOREN APELDOORN

Locatie 4

Plaats: Elst

Beschrijving locatie: In de buurt van de onderstaande aangegeven locatie. In de buurt van station Elst. Ligt de Energieweg. Aan deze energieweg ligt een zijvertakking. Een nieuwe asfaltweg. Aan het einde van deze vertakking. Waar de weg een bocht naar links maakt. De sensor ligt op 30cm afstand van de derde put vanaf de kromming. In Figuur 42 is rechtsonder de put te zien.

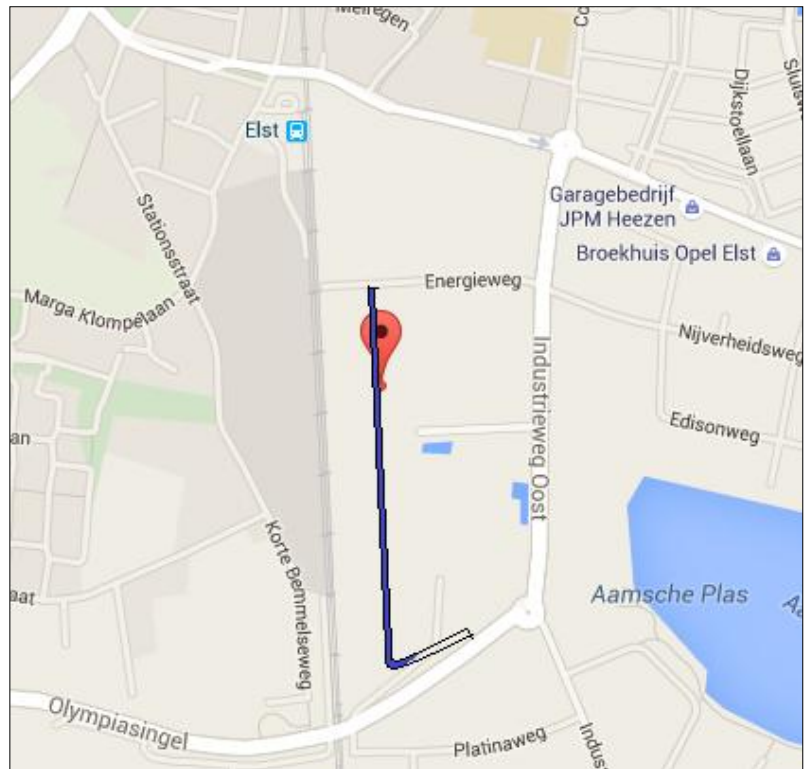
Geschatte RD Coördinaten

X: 187304

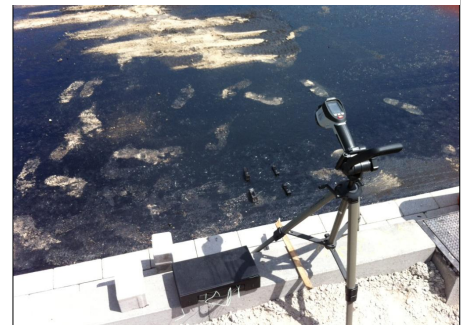
Y: 436204

Geschatte Graden, minuten en seconden

N 51 54 48.2, E 5 51 24.2



FIGUUR 41 LOCATIE WEG ELST



FIGUUR 42 - LOCATIE SENSOREN ELST

BIJLAGE XII – TOEKOMSTVISIE RFID

In dit onderzoek is kort aandacht besteedt aan het berekenen van energieverbruik met behulp van RFID. Maar dit is enkel één van de vele toepassingen van RFID. Uiteindelijk zou RFID eventueel voor de volgende doeleinden worden gebruikt:

- Kwaliteitscontrole; Met behulp van verdichtingsmetingen en vochtigheidsmetingen kan gekeken worden over de jaren, hoe de verdichting veranderd en waar in de wegen problemen ontstaan.
- Waarschuwen ijsvorming; Met de sensoren kan gekeken worden naar de temperatuur en het vochtgehalte, waarmee kan worden voorspeld waar ijsvorming op zal treden. Dit kan ook gebruikt worden voor voorspellingen over gladheid.
- Energieverbruik in verwerking; RFID kan eventueel in staat zijn de benodigde arbeid in asfalt te bepalen. Waarmee het asfaltproces volledig zou kunnen worden verbeterd.
- Bijhouden van verkeersintensiteiten: Met de druksensoren kan bijgehouden worden hoeveel verkeer over de wegen rijdt.

Algemeen kan RFID het platform worden voor metingen in de verkeer en bouwsector.