

Xcite solutions

Het ontwerp van elektroluminescente wegmarkering

OPENBAAR

Goffe-Jan Mellema

Mei 2016

Bachelor Eindopdracht
Industrieel Ontwerpen
Universiteit Twente

In opdracht van:
Parthian Technology

*Het ontwikkelen van een innovatieve
wegmarkering door middel van
elektroluminescentie*

Bachelor Eindopdracht Industrieel Ontwerpen
Universiteit Twente

AUTEUR

Goffe-Jan Mellema
S1210335

OPLEIDING

Industrieel Ontwerpen
Universiteit Twente

Examinator: G. Maarten Bonnema

Begeleider UT: Laurent Warnet

Begeleider Parthian Technology: Evert Jan Temmink

OPDRACHTGEVER

Parthian Technology B.V.
Zuidelijkhavenweg 40
7554 RR Hengelo

Datum bachelor tentamen: 23-06-2016

Datum publicatie: 09-05-2016

Oplage: 3

Aantal pagina's excl. bijlagen: 70

Aantal bijlagen: 14

Voorwoord

In dit verslag is het 3 maanden durende proces van de ontwikkeling van een elektroluminescente wegmarkering vastgelegd. Ik heb tijdens dit proces ontzettend veel geleerd over het reilen en zeilen bij Parthian Technology en Xcite, het toepassen van nieuwe technieken in producten, produceren van composieten, toevoegen van functionele pigmenten aan deze composieten en de wereld van wegmarkeringen.

Graag wil ik mijn begeleiders, Laurent Warnet en Evert Jan Temmink bedanken voor alle moeite, tijd en geduld. Daarnaast wil ik Rianne van der Pol en Ton Polman bedanken voor het wegwijs maken binnen de wereld van elektroluminescentie en de hulp bij het voltooien van deze opdracht. Verder wil ik alle collega's bij Parthian Technology bedanken voor het warme ontvangst, alle suggesties, kritiek en complimenten. In het bijzonder wil ik Wouter van Lanen bedanken voor de hulp bij het maken van de demonstrator.

Deze versie van het verslag beschrijft informatie waarvoor door de betrokken partijen akkoord is gegeven voor openbare publicatie. Het volledige verslag inclusief confidentiële informatie is beoordeeld door de betrokken personen en instanties en blijft in hun bezit.

Ik wens u veel leesplezier bij het lezen van dit verslag.

Samenvatting

Elektroluminescentie is een vorm van luminantie waarbij een material licht geeft doordat er een wisselstroom door heen gaat lopen. Parthian Technology heeft in een samenwerkingsverband met Anker Stuy verven onder de naam Xcite een ontwikkelingstraject gestart van een elektroluminescentie systeem.

Xcite is benaderd door bedrijf X om elektroluminescentie te verwerken in wegmarkering. Xcite wil zelf het elektroluminescentie systeem verder ontwikkelen en optimaliseren. Bedrijf X wil kunnen voldoen aan de vraag naar alternatieve openbare verlichting en daarnaast de concurrentie met andere wegenbouwers aangaan op het gebied van innovatieve wegbelijning. Daarom is het hoofdoel van deze bachelor eindopdracht om het elektroluminescentie systeem verder te ontwikkelen, maar vooral gereed te maken voor de toepassing in wegmarkering.

Het ontwikkelproces is begonnen met een analysefase. Hierin is het theoretisch kader onderzocht om meer inzicht te krijgen in de werking van elektroluminescentie en de voortgang van de ontwikkeling bij Xcite. Met dat onderzoek is vastgelegd dat de werking van elektroluminescentie een samenwerking is tussen vier actieve lagen waar een wisselstroom overheen wordt gezet. Om het hoofdoel te realiseren moest er een doorzichtige electrode laag ontwikkeld worden en moest voor iedere laag het materiaal en de werking vastgesteld worden. Verder is er in de analysefase een marktonderzoek gedaan om de concurrentie en mogelijkheden voor elektroluminescentie in kaart te brengen. Ten slotte is er een actoren analyse uitgevoerd. Met deze informatie is een plan van eisen en wensen vastgelegd met als belangrijkste eisen dat de markering zowel overdag als 's nachts te gebruiken moet zijn en vol continu geproduceerd en aangebracht moet kunnen worden.

Nadat duidelijk was waar de elektroluminescente wegmarkering aan moet voldoen zijn er verschillende testen uitgevoerd om de samenstelling van de vier lagen te optimaliseren. Nadat voor iedere laag het meest optimale materiaal en configuratie is geselecteerd is zijn de lagen geoptimaliseerd voor het gebruik in wegmarkering. Er is gekozen voor het gebruik van Materiaal A als front elektrode waarmee ook een schakelbare markering is ontwikkeld. Naast het elektroluminescente deel is er een top laag ontwikkeld die de elektroluminescente markering overdag laat functioneren als normale passieve markering. Voor alle lagen zijn de productie en applicatie processen in kaart gebracht met een kostenschatting en demonstrator als onderbouwing voor de haalbaarheid van de elektroluminescente markering.

Het resultaat van deze bachelor eindopdracht is een productvoorstel van de elektroluminescente wegmarkering die gepresenteerd is bij bedrijf X. Het voorstel is positief ontvangen bij bedrijf X. Xcite zal het voorstel verder gaan uitwerken tot een werkend product.

Summary

Electroluminescence is a way to let a material emit light by sending an alternate current through the material. Parthian Technology has started a partnership with Anker Stuy verven with the name Xcite to conduct research on the topic of electroluminescence. The goal for Xcite is to develop a stable electroluminescence system.

Company X has ordered Xcite to apply electroluminescence in a new type of luminescent roadmarker. Xcite wants to keep improving their electroluminescence system. The goal for company X is to keep up with demands for an alternative product to streetlights. Next to that, company X wants to keep up with the technology that other infrastructural companies develop. The goal for this bachelor thesis is to improve the current electroluminescent system developed by Xcite and find a way to implement it into a luminescent roadmarker.

The design proces started with the analysis phase. The theoretical framework was researched to get more insight in the physics behind electroluminescence and the research that was already conducted by Xcite. The results of that analysis gave the insight that electroluminescence is an interaction between four layers that are activated by an alternate current. The main goal of the assignment could be realised by researching all the four layers for the most optimal material and composition. A market research is conducted to map out the competition and the possibilities of an electroluminescent roadmarker. Next to that an actor analysis is conducted. With the information gained from the analysis phase the requirements and wishes were defined. The most important requirements contain the requirement for the use of the roadmarker during the day and night and the requirement for a continues production and application process of the roadmarker.

After the requirements and main goals were clear a lot of tests have been conducted to design and optimize the materials and composition of the electroluminescent layers. After selecting the most optimal materials and composition for each layer they have been detailed and optimized for the implementation in a luminescent roadmarker. Next to the development of the electroluminescence system a top layer has been developed that makes the electroluminescent roadmarker usable as a passive roadmarker. For every layer the production and application processes have been mapped out. A demonstrator and cost overview support the conclusion that the development of an affordable electroluminescent roadmarker is achievable.

The result of this bachelor assignment was a proposal for an electroluminescent roadmarker. This proposal was presented at company X and was received very positively. Xcite will take the proposal into further development.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	9
1.1. Opdrachtgever	9
1.2. Aanleiding opdracht	9
1.3. Opdrachtoomschrijving	9
1.4. Begrippen	9
1.5. Onderzoek	10
1.6. Inhoud van deze opdrachtreportage	10
2. Analysefase	11
2.1. Analyse elektroluminescentie	11
2.2. Markt analyse	16
2.3. Concurrentie en markt analyse	18
2.4. Conclusie	22
2.4. Stakeholder analyse	23
3. Programma van eisen en wensen	25
4. Ontwikkeling EL systeem	27
4.1. Onderzoek bovenste elektrode	27
4.2. Onderzoek dielektrische laag	31
4.3. EL pigment	31
4.4. Elektrische werking EL markering	33
4.5. Conclusie hoofdstuk 4.	35
5: Detaillering	36
5.1. Detaillering front electrode	36
5.2. Passieve markering	37
5.3. Elektrische aansluiting	42
5.4 Conclusie hoofdstuk 5	43
6: Productie en applicatie van EL-markering	44
6.1. Overzicht EL-systeem.	44
6.2. Productieproces EL lagen	44
6.3. Aanbrengen EL-markering op het wegdek	44
6.4. Elektrische aansluiting	45
6.5. Overzicht kosten 1 m ² (10m)EL belijning	46
6.6. Demonstrator	47
6.7. Conclusie hoofdstuk 6	47
7. Conclusie en aanbevelingen	49
7.1. Conclusie	49
7.3. Aanbevelingen	52

8. Reflectie.....	53
Referenties	54
Bijlagen.....	57

1. Inleiding

1.1. Opdrachtgever

Xcite solutions B.V. (Parthian Technology & Anker Stuy Verven)

De opdrachtgever is het bedrijf Parthian Technology BV in Hengelo wat gespecialiseerd is in composieten. Het bedrijf opende een vestiging in Enschede in 2011 en verhuisde al snel naar het High Tech Systems park van Thales in Hengelo. Parthian ondersteunt bedrijven in hun zoektocht naar innovatie op het gebied van composiet. Daarbij maken ze gebruik van hun kennis en hun testcentrum waar materiaalkundige proeven gedaan worden.

Parthian heeft het streven om in de komende jaren te groeien als markt ondersteunende partner voor producenten en toeleveranciers van thermohardende composieten. Tevens wil het bedrijf groeien als adviserende partij voor bedrijven die van standaard materialen overgaan op composieten [1]. Daarnaast wil Parthian groeien als partner voor producenten van windmolens.

Verder is Parthian Technology een samenwerkingsverband aangegaan met Anker Stuy onder de naam Xcite. Anker Stuy is gespecialiseerd in het ontwikkelen van verf en pigmentpasta's. In het eigen laboratorium zijn ze bezig met innovatieprojecten zoals de Ceramic Lightcoating en verf op bio-basis[2]. Xcite is als bedrijf bezig met het vinden van toepassingen voor functionele pigmenten in composieten. Parthian Technology is in samenwerking met Anker Stuy onder de naam Xcite bezig met het ontwikkelen van een elektroluminescentie- systeem wat als functionaliteit in de toekomst breed toepasbaar moet worden in allerlei producten.

Bedrijf X

De informatie rondom de opdrachtgever is confidentieel en zal wordt daarom niet worden weergegeven.

1.2. Aanleiding opdracht

Bedrijf X ziet mogelijkheden om het elektroluminescentie-systeem van Xcite te gebruiken voor oplichtende wegbelijning. Bedrijf X wil met dit project kunnen voldoen aan de vraag naar innoverende verlichtingsystemen en meeconcurreren met andere partijen op het gebied van wegbelijning[5]. Bedrijf X heeft Xcite de opdracht gegeven om elektroluminescentie te verwerken in wegmarkering en te onderzoeken of het haalbaar is om EL-markering op de markt te brengen.

1.3. Opdrachtschrijving

Het doel van de opdracht is om het elektroluminescentie systeem wat bij Xcite in ontwikkeling is verder te ontwikkelen en klaar te maken voor de toepassing in wegmarkering. Daarbij moet de haalbaarheid van het systeem in kaart gebracht worden.

1.4. Begrippen

Elektroluminescentie

Een vorm van luminescentie waarbij een materiaal licht uitzend ten gevolge van een stroom die er door heen gaat.

Elektroluminescentie-systeem

Het systeem van samenwerkende lagen wat Xcite ontwikkeld heeft om elektroluminescente pigmenten te verwerken in andere materialen en toepassingen.

EL-markering

De toevoeging van elektroluminescentie in wegmarkering.

Verlichting

Verlichting met armaturen op masten.

Passieve markering

Witte, reflecterende wegmarkering die voldoet aan alle vigerende eisen.

Mil

1/1000e van een inch

1.5. Onderzoek

Het uitgevoerde onderzoek is een casestudy. Er is onderzoek gedaan naar markeringsproducten in de markt, de werking van elektroluminescentie, de eisen en wensen van de producenten en gebruikers en de productieprocessen van wegmarkering. Na de analysefase is aan de hand van het plan van eisen onderzoek verricht naar de ontwikkeling van een elektroluminescentie systeem toegespitst op het gebruik in wegmarkering. Na de ontwikkelingsfase is het systeem gedetailleerd en geëvalueerd aan de hand van het programma van eisen en wensen. Ten slotte is er een demonstrator gemaakt om de ontwikkelde technologie te valideren en te visualiseren.

1.6. Inhoud van deze opdrachtreportage

Het eerste deel van deze reportage bestaat uit de analysefase. Hierin wordt uitgelegd welke analyses zijn uitgevoerd om de eisen en wensen in kaart te brengen. In deze analyse fase zit ook de analyse naar het principe van elektroluminescentie opgenomen. In het tweede deel wordt de ontwikkeling van het elektroluminescentie-systeem bij Xcite besproken. De testen die gedaan zijn zijn daar in leidend. In het derde deel wordt het ontwikkelde systeem gedetailleerd en geëvalueerd aan de hand van het programma van eisen. Er wordt tevens besproken hoe het elektroluminescentie systeem als wegbelijning geproduceerd en toegepast kan worden. Dit wordt geïllustreerd door middel van een demonstrator. De opdrachtreportage sluit af met een conclusie, aanbevelingen en een reflectie.

2. Analysefase

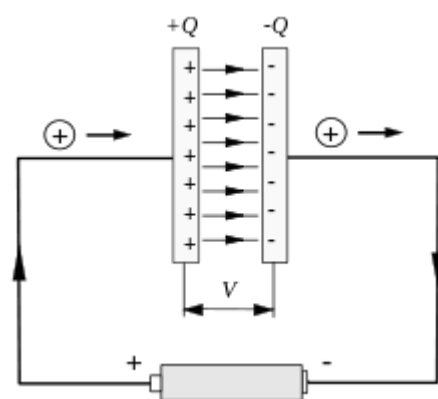
2.1. Analyse elektroluminescentie

Elektroluminescentie (EL) is een optisch en elektrisch fenomeen waarbij licht gegenereerd wordt door het sturen van een elektrische stroom door een laag fosfor. Dit effect is verwant aan thermochromisme waarin een materiaal licht uitzendt in reactie op warmte. EL maakt echter geen gebruik van warmte maar van elektriciteit. Dit principe wordt gebruikt in EL lampen, LEDS en OLEDS. In tegenstelling tot gewone lampen kunnen EL lampen gevormd worden tot hele dunne plaatjes of draden.

2.1.1. De werking van elektroluminescentie [6]

De werking van elektroluminescent materiaal is een zeer complex principe en is verschillend voor verschillende toepassingen van elektroluminescentie. De basis echter is voor alle toepassingen het zelfde.

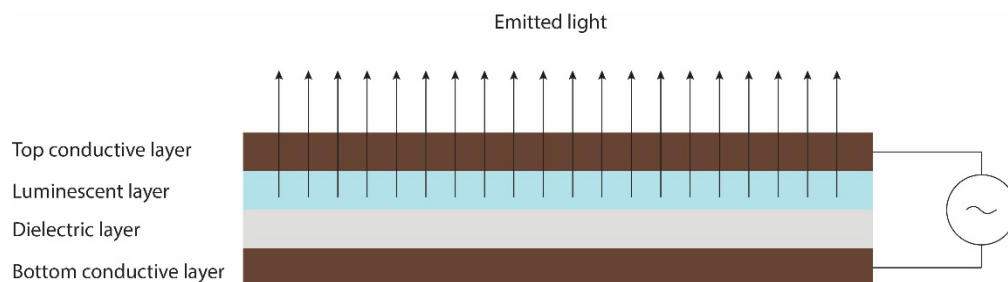
Een elektroluminescent materiaal wordt in een elektrisch circuit gezien als een condensator. Een condensator bestaat uit twee conductieve platen met een dielektrum er tussen. Dit dielektrum is vaak lucht en zorgt er voor dat er een hoge weerstand tussen de twee conductieve platen zit. De weerstand tussen de platen is bijna oneindig en dus zal er geen gelijkspanning van de ene plaat naar de andere plaat kunnen stromen. Als er een wisselspanning op de platen wordt gezet wordt er om en om lading opgebouwd op beide platen. Door de opbouw van lading aan beide kanten ontstaat er een elektrisch veld over de platen met een capaciteit. Deze capaciteit wordt groter naarmate de platen groter zijn of dichterbij elkaar komen. Een ideale condensator heeft dan ook een zo dun mogelijk dielektrum. Daarnaast is het materiaal van het dielektrum ook bepalend voor de grote van de capacitieve stroom die kan gaan lopen. De werking van een condensator is in afbeelding 1 weergegeven.



Figuur 1: Schematische voorstelling van een condensator [5]

Het produceren van licht [12],[13]

Om een elektroluminescent materiaal op te kunnen laten lichten wordt er naast de twee conductieve lagen gebruik gemaakt van een laag met diëlektrisch materiaal, in dit verslag materiaal B, en een laag met elektroluminescent pigment. De bovenste conductieve laag dient daarnaast transparant of in ieder geval doorzichtig te zijn, het moet namelijk licht door kunnen laten. De opbouw van het gehele pakket is zichtbaar in figuur 2.



Figuur 2: Schematische voorstelling van de laagopbouw van een elektroluminescent materiaal.

Een ideale condensator heeft een verlieshoek van $\cos \phi = 0$. Dit houdt in dat er geen energie verloren gaat en er geen verliezen in capacatieve stroom zijn in de condensator [8]. Als er lagen toegevoegd worden tussen de conductieve lagen ontstaat er een verlieshoek die groter is dan 0. Er wordt namelijk een weerstand toegevoegd. Dit is het geval bij het maken van een elektroluminescent materiaal. Een deel van de capacatieve stroom zal omgezet worden naar warmte energie en klein deel naar fotonen. Echter maken deze fotonen maar een klein deel uit van het licht wat te zien is. Het licht wat zichtbaar uitgezonden wordt door het elektroluminescente materiaal wordt vooral gecreëerd doordat de dielektrische laag met materiaal B tussen de conductieve lagen is geplaatst.

Materiaal B

Het gebruikte materiaal voor de dielektrische laag is confidentiëel. Deze informatie wordt daarom niet weergegeven.

2.1.2. Toepassingen elektroluminescentie.

Elektroluminescentie is een ideale techniek om oppervlakten licht te laten geven die heel dun of heel klein moeten zijn. De meest gebruikte vorm van elektroluminescentie is het gebruik van poeders (in bijvoorbeeld lampen) of het gebruik van dunne films, voor het gebruik van displays. Al in het begin van de jaren zestig werd elektroluminescentie gebruikt voor het maken van nachtlampjes en later ook voor het verlichten van het instrumentenpaneel in auto's. Omdat het gebruik van EL weinig energie kost is het ideaal voor het gebruik in producten die op een batterij werken. Zo geven bijvoorbeeld de wijzers in horloges en wekkers licht door het gebruik van elektroluminescentie. Recentelijk zijn er dunne folies ontwikkeld die rood, groen en blauw licht kunnen uitzenden en een lange levensduur hebben. Deze folies hebben de weg geopend naar bijvoorbeeld reclame uitingen die buigbaar zijn. Daarnaast zijn er ook elektroluminescente verven op de markt gebracht. Met deze verf kan ieder object waar een spanning op kan staan ook licht gevend gemaakt worden. Voorbeelden van fabrikanten van deze verf zijn Litcoat en Lumilor. In bijlage A is een overzicht te zien van verschillende toepassingen van elektroluminescent materiaal.

2.1.3. Vooronderzoek bij Xcite

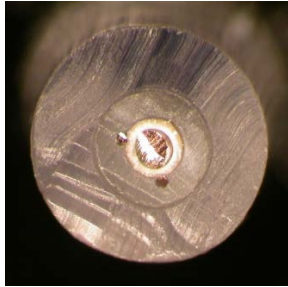
Sinds de oprichting van Xcite als samenwerking tussen Parthian en Ankerstuy verven wordt er onderzoek gedaan naar het ontwikkelen van een elektroluminescent verfsysteem. De reden hiervoor is dat Xcite ook elektroluminescente composieten wil maken. Sinds eind 2014 wordt er onderzoek gedaan naar een manier om dit te realiseren. Rianne van der Pol is tijdens haar bacheloropdracht begonnen met het onderzoek naar de werkende stoffen. Dit heeft ze later verdergezet. Hierdoor wordt een duidelijk beeld gegeven van de stand van zaken omtrent de EL techniek ten tijde van het begin van de bacheloropdracht. Er wordt hier alleen de opbouw en de inhoud van de verschillende lagen besproken omdat deze het hoofdonderwerp zijn geweest voor het onderzoek en tevens kenmerkend zijn voor de stand van de ontwikkelde EL techniek.

Opbouw lagen

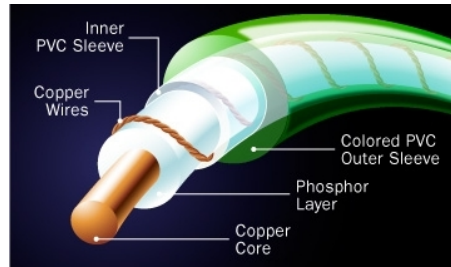
Rianne van der Pol is begonnen met het analyseren van bestaande EL producten zoals een EL wire [11]. Er werd duidelijk dat elektroluminescentie ontstaat door een samenwerking van vier lagen. Twee conductieve lagen, een diëlektrum en een luminescente laag. Een doorsnede van dit draad is onder de elektronenmicroscopie gelegd om te onderzoeken welke stoffen actief waren in de verschillende lagen. Dit is te zien in afbeelding 7.

De toplaag bestaat uit twee koperdraden die om het pakket van actieve lagen heen zijn gewikkeld. Het diëlektrum bestaat uit materiaal B en de luminescente laag bestaat uit materiaal E. In de kern van het draad zit een koperdraad die als onderste conductieve laag fungeert. In het geval van de EL wire zijn de lagen ingepakt in gekleurd PVC.

De opbouw van het draad en de materialen waaruit het bestaat zijn het startpunt geweest van een onderzoek naar het creëren van een elektroluminescent verfsysteem.



Figuur 7: afbeelding van EL wire [11].



Figuur 8: Schematische weergave van de EL wire [10].

Functionele pigmenten in de EL lagen

Na het onderzoek van Rianne is er bij Xcite een vervolgonderzoek gaan lopen naar de ontwikkeling van een EL verfsysteem. Om te ontdekken welke manieren van het verwerken van de EL verf in composiet het beste zouden werken zijn er verven van merk M besteld. Van deze verf is bewezen dat het werkt als EL verfsysteem. Omdat al snel bleek dat de verf alleen geschikt was voor zeefdrukken is besloten om de werkende bestandsdelen uit de verschillende verven te onderzoeken. De verven zijn aangeschaft met de bijbehorende receptuur. Daarnaast zijn er losse pigmenten besteld om te kijken wat voor werkende stoffen er in deze pigmenten zitten en deze te vergelijken met de werkende stoffen in de verf van merk M.

Bovenste conductieve laag

Uit de eerste onderzoeken bleek dat voor de toplaag die conductief en doorschijnend moet zijn, door merk M materiaal Z wordt gebruikt. En er is een los pigment aanwezig wat materiaal A is. Materiaal A is wel conductief maar heeft een donkerblauwe kleur en is vrij grof, de korrelgrote is groter dan de gewenste laagdikte waardoor de laag niet doorschijnend kan zijn. Naast materiaal A zijn er ook nog andere variaties voor de toplaag onderzocht maar deze hadden allemaal niet het gewenste resultaat. Er waren een aantal opties die nog onderzocht moesten worden waaronder: materiaal Z, materiaal D, materiaal I en materiaal C.

Elk van deze materialen hadden hun voor en nadelen. Materiaal D en materiaal I moeten op een bepaalde manier worden aangebracht waardoor ze niet in een verf te verwerken zijn. Materiaal C is relatief duur en ook bij materiaal Z is de prijs vrij hoog. Dit is te zien in tabel 1.

Materiaal	Prijs per gram (euro)
Materiaal C	808,-
Materiaal I	40,01
Materiaal Z	5,12
Materiaal A	4,8
Materiaal D	2,36,- *
Materiaal K	0,12

Tabel 1; prijzen van de verschillende materialen die geschikt zijn voor de bovenste conductieve laag. [14]-[20]

* Prijs berekend op basis van de inhoud van een sputter target van 3x0,125 inch.

Uiteindelijk is er toch gekozen om materiaal Z te bestellen en deze te verwerken in een Euroguardian verf van Anker Stuy. Er is voor materiaal Z gekozen omdat deze in een verf van Anker Stuy te verwerken zijn en een goede oppervlakte geleiding hebben. Er zijn testen gedaan met het aanbrengen van de verf en als beste resultaat is gebleken dat de verf gerakeld wordt op het oppervlakte. Dit betekent dat er een vaste dunne laag aangebracht wordt. De laag bleek conductief maar vrijwel niet lichtdoorlatend[11]. Om de verf lichtdoorlatend te krijgen is besloten om een test uit te voeren waarbij de verf gespoten wordt.

Luminescente laag:

De tweede laag is de laag waarin de luminescente pigmenten zich bevinden. Om te onderzoeken welke stoffen er een actieve werking in hebben is er een SEM analyse gedaan door van der Pol[11]. In de verf bleken zinksulfide en aluminiumoxide een interactie met elkaar te hebben. Daarnaast is er een onderzoek gedaan naar de combinatie van osmiumoxide en strontiumoxide. Deze combinatie bleek uiteindelijk niet te werken. De conclusie uit dit onderzoek is dat de zinksulfide gebaseerde verf wel werkt. Via Anker Stuy zijn er daarom elektroluminescente pigmenten besteld gebaseerd op zinksulfide.

Diëlektrum:

De derde laag is de dielektrische laag. Van deze laag werd door het onderzoeken van de verf van merk M met een SEM/EDX duidelijk dat het actieve pigment materiaal B betrof. Ook in de literatuur is gebleken dat deze stof de beste dielektrische stof is om te gebruiken in combinatie met elektroluminescentie. De precieze werking van materiaal B was nog niet duidelijk evenals de invloed van laagdiktes.

Onderste conductieve laag:

Uit de onderzoeken van Xcite is gebleken dat de geleidbaarheid van de onderste electrode heel erg belangrijk is. In het onderzoek van van der Pol wordt door haar geconcludeerd dat voor deze laag het beste plaatjes van materiaal K gebruikt kunnen worden[11]. Het is mogelijk om hetzelfde materiaal te gebruiken als in laag 1 maar als dit materiaal een te hoge oppervlakteweerstand heeft door de wens voor transparantie dan wordt er aangeraden om een goed geleidend materiaal als materiaal K te gebruiken.

Aanbrengmethode

De verschillende lagen zijn opgebouwd uit bovengenoemde pigmenten verwerkt in Eurogardian verf. Voor de onderste conductieve laag zijn flakes van materiaal K verwerkt in dezelfde verf. Er zijn testen gedaan met aanbrengmethodes rakelen en spuiten. De conclusies van deze testen waren de volgende:

- De ondergrond voor het aanbrengen van de verf moet vlak zijn om een goede verf laag te krijgen.
- Het rakelen van materiaal K is lastig.
- Het spuiten van de conductieve verf van merk M geeft een klonterig resultaat.
- Op de toplaag na kunnen alle lagen het best aangebracht worden met een rakel.
- De samenwerking tussen de lagen is nog niet stabiel.
- Er is een hoog voltage nodig (600V) om de lagen te laten werken. Geeft wisselend resultaat.

Conclusie

Met de bevindingen van de bovenstaande onderzoeken is een demomodel gemaakt van het elektroluminescente verfsysteem. Daarvoor werden de volgende lagen en pigmenten gebruikt. Deze opbouw van lagen en gebruik van pigmenten is het meest up to date bij de start van de bachelor opdracht. Van der Pol beveelt aan testen met materiaal Z in Eurogardian uit te voeren zodat deze doorzichtig en conductief wordt.

	Laag 1	Laag 2	Laag 3	Laag 4
Functie	Conductief en transparant	Luminescent	Diëlektrisch	Conductief
Pigment	Merk M	Materiaal D	Materiaal B	Materiaal K
Aanbreng methode	Spuiten	Rakelen	Rakelen	Rakelen
Laagdikte	N.n.b.	N.n.b.	N.n.b.	N.n.b.
In verf te verwerken?	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabel 2; Overzicht van de gebruikte EL-lagen en hun functie bij de start van dit onderzoek.

Voor de bovenste conductieve laag is gebruik gemaakt van de conductieve verf van merk M. Voor het eigen product moet hier een vervangende verf voor gemaakt worden met materiaal Z.

2.2. Markt analyse

In deze paragraaf worden productensegmenten die vergelijkbaar zijn met EL-markering onder de loep genomen. Deze segmenten worden besproken en de producten die in die segmenten vallen worden aangeduid als concurrentie van EL markering. Door vast te stellen in welke productsegmenten de EL markering gaat vallen wordt er ook duidelijk welke bestaande wet en regelgeving van toepassing gaat zijn op de EL markering. Dit is nodig voor het opstellen van het plan van eisen en wensen.

Bedrijf X wil de EL wegbelijning gebruiken als aanvulling op, dan wel vervanging van, de huidige witte wegmakering. De EL markering moet overdag zichtbaar zijn als normale witte belijning en 's nachts zichtbaar zijn als verlichte wegbelijning. Aan de hand van deze eis wordt de EL markering in twee markten actief, namelijk: de markt van verlichtende markering en de markt van wegbelijning. Hoewel deze markten soms overlap met elkaar hebben worden ze hieronder apart beschreven.

2.2.1 Verlichtende markeringen

In de markt van verlichtende markering wordt onderscheid gemaakt op basis van de functie van de markering. Deze productsegmenten worden hieronder uiteengezet waarna er geconcludeerd kan worden in welk segment de EL markering zal gaan vallen.

Dynamische rijstrook markering (DRM)

DRM wordt gedefinieerd door de Nederlandse Stichting voor verlichtingskunde als: *“wegmarkering die naar keuze in- en uitgeschakeld kan worden waarbij de verkeerskundige functie verandert, bijvoorbeeld van een onderbroken naar een doorgetrokken lijn”* [21]. Het doel van DRM is er voor zorgen dat het verkeer bij onder meer invoegen op de juiste wijze invoegt op de hoofdrijbaan. Bij het veranderen van de rijstrook indeling ziet de weggebruiker de markering veranderen. Deze markering werkt dag en nacht en vervangt de passieve markering omdat het altijd binnen het bereik van de koplampen licht. [22]



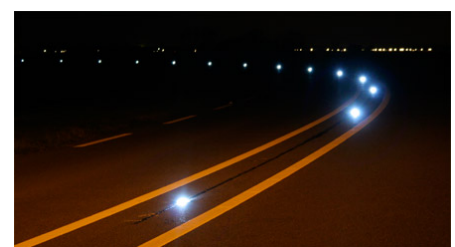
Figuur 9: Dynamische rijstrook markering [23].

Actieve markering

Actieve markering wordt door de Nederlandse stichting voor verlichtingskunde gedefinieerd als:

In het wegdek aangebrachte lichtelementen die voor de weggebruiker bij duisternis het verloop van de weg zichtbaar maken, ook buiten het bereik van de koplampen [21].

Het doel van actieve wegmakering is om weggebruikers, onder andere op plaatsen waar een verkeersonveilige situatie kan ontstaan door een slecht zicht, het verloop van de weg te laten zien. De toepassing van actieve markering gaat altijd samen met de toepassing van passieve markering. In bijlage B staat een uitgebreide uitleg van actieve markering.



Figuur 10: Actieve markering [24].

Actieve geleiding (reflectorpalen)

Het gebruik van rode of witte LED lampjes op reflectorpalen wordt gezien als een goed alternatief voor actieve wegmarkering. Het doel van actieve geleiding is hetzelfde als dat van actieve wegmarkering namelijk het verloop van de weg laten zien in verkeerssituaties met slecht zicht op het verloop van de weg. Een verschil met actieve wegmarkering is dat de paaltjes naast de weg worden geplaatst en niet in de weg waardoor ze niet afhankelijk zijn van de staat van het asfalt. Actieve geleiding gaat net als actieve wegmarkering altijd samen met de toepassing van passieve markering [21].



Figuur 11: Actieve geleiding [26]

Attentie verlichting

Attentie verlichting heeft volgens de Nederlandse stichting voor verlichtingskunde als doel naderende weggebruikers te attenderen op een specifieke verkeerssituatie. Het gaat er niet om te tonen wat de situatie is waarin de weggebruiker zich zal bevinden maar om voor de weggebruiker zichtbaar te maken dat hij een situatie nadert waarin hij goed op moet letten. De attentie verlichting wordt in veel steden in de vorm van LED lichten in de weg gebruikt om automobilisten te attenderen op de aanwezigheid van gedetecteerde voetgangers. Dit gebeurt zowel met statische als met knipperende lichten [21].

2.2.2 Plaatsing EL markering binnen de markt van verlichte markeringen

De wens van bedrijf B om een type EL markering te ontwikkelen die overdag als passieve markering fungeert en 's nachts zorg draagt voor de geleiding van het verkeer maakt dat het voor de hand ligt dat dit type markering in de categorie DRM valt. Echter is dit niet zo. DRM vervangt de passieve markering volledig. Dit betekent dat in een normale situatie de lampjes niet zichtbaar zijn en de passieve wegmarkering het verkeer geleid. Pas als de situatie verandert door een hoge verkeersdrukte wordt de DRM ingeschakeld en zijn de lampjes zichtbaar. De wens van bedrijf X is juist dat dezelfde passieve markering die overdag zichtbaar is 's avonds een actieve EL markering wordt. Hierbij verandert de verkeerssituatie niet. De reflectieve functie van de passieve markering zal daarbij 's avonds de actieve EL markering ondersteunen. Dit is niet het geval bij DRM omdat de actieve markering daar de passieve markering overruled. Daarom past de EL markering niet in de categorie DRM en wel in de categorie actieve markering.

2.3. Concurrentie en markt analyse

Omdat de EL markering tegelijk een actieve markering zal worden als een passieve markering zal het gaan concurreren op beide markten. Het is van belang om de verschillende producten die op deze markten aanwezig zijn in kaart te brengen om zo de marktpotentie van het product te vinden. Tevens is het een goede manier om te bekijken welke oplossingen er al aanwezig zijn zodat er een uniek product ontwikkeld kan worden.

2.3.1 Actieve markering

Producten (concurrentie met EL markering)

De producteigenschappen van actieve markering zijn opgedeeld in een aantal categorieën:

- Verlichtingstechniek
- Energietoevoer
- In- en uitschakelen
- Aanbrengprocessen

Verlichtingstechniek:

Er wordt vooral gebruik gemaakt van LED lampjes. De reden hiervoor is de lange levensduur van LED lampen en de hoge lichtopbrengst. De LED's hebben tevens een hoog rendement en zijn tot 70% minder energie kwijt dan gewone straat verlichting [26].

Energietoevoer:

Op basis van de energietoevoer zijn er twee verschillende typen actieve wegmarkering te onderscheiden:

Units met decentrale energievoorziening (solar road studs)

Dit zijn LED armaturen die zorgen voor hun eigen energietoevoer door middel van een zonnepaneeltje en oplaadbare batterij. Overdag wordt de unit opgeladen en 's avonds brandt hij op eigen kracht. De armaturen worden individueel aangebracht in of op het wegdek en worden ook individueel ingeschakeld. Het nadeel hiervan is dat bij schemering nog niet alle units zijn ingeschakeld en een vertekend beeld kan ontstaan.

Units met centrale energievoorziening (hard wired road studs)

Dit zijn LED armaturen die van buitenaf gevoed worden door middel van een kabel (hard wire). Dit kan door middel van een voedingskabel die aangesloten is op een centrale energiebron of door middel van een inductiekabel die door het opwekken van een elektromagnetisch veld in de inductiekabel de unit van stroom voorziet.

Hard wired road studs kunnen nog onderverdeeld worden op de manier van aanbrengen. Ze zijn te onderscheiden in hard wired in the road en hard wired on the road. De naam geeft het al aan, de ene variant wordt in het wegdek geplaatst en de andere variant op het wegdek.

In en uitschakelen van actieve markering.

Het in en uitschakelen van de actieve markering is afhankelijk van de energietoevoer. De solar road studs zijn individuele armaturen die ook individueel in en uit geschakeld worden op basis van hun eigen lichtsensor.

Hard wired road studs zijn individuele armaturen die doorgelust zijn door middel van bedrading in het asfalt. De armaturen zijn aangesloten op één lichtsensor en zullen dus tegelijk in en uitgeschakeld worden.

Aanbrengprocessen actieve markering

Zoals eerder toegelicht word actieve markering altijd gezamenlijk met passieve markering aangebracht. De eerste stap in het aanbrengproces van de markering is het aanbrengen van passieve markering. Daarna wordt het volgende stappenplan uitgevoerd:

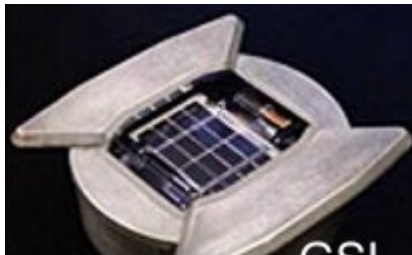
1. Boren van montage gaten in asfalt
2. Monteren van armatuur

Voor solar road studs is dit het gehele montage proces.

Voor hard wired road studs worden naast het boren van gaten ook sleuven in en langs het asfalt geboord/ gefreesd om de bekabeling naar de road studs te leiden. Dit moet aan beide zijden van de weg gebeuren omdat de armaturen daar ook geplaatst gaan worden.

Voor “in the road studs” worden daarnaast nog grote gaten in het asfalt geboord om de armaturen in te plaatsen.

Overzicht actieve markering producten



Figuur 12: Solar road stud

Solar road stud

- Individuele armaturen
- Energietoevoer via zonnecel en batterij
- Individueel in en uitschakelen
- In en op de weg aan te brengen



Figuur 13: Hard wired in the road stud

Hard wired in the road stud

- Individuele armaturen
- Energietoevoer via bekabeling in de weg
- In serie aan en uit schakelen
- In de weg aan te brengen



Figuur 14: Hard wired on the road stud

Hard wired on the road stud

- Individuele armaturen
- Energietoevoer via bekabeling in de weg
- In serie aan en uit schakelen
- Op de weg aan te brengen
-

2.3.2 Passieve markering (witte wegmarkering)

Omdat de EL markering ook gebruik maakt van passieve markering is het ook actief op deze markt. Het is daarom ook belangrijk om de markt van passieve markering in kaart te brengen door middel van het analyseren van de producten. Aangezien de EL markering sowieso een unieke plek heeft op de passieve markeringsmarkt is het vooral interessant om te kijken naar de productieprocessen en aanbrengmethodes van de passieve markering. Dit kan inzichten geven in de wenselijke productieprocessen voor de EL markering.

Wat is passieve markering

De term passieve markering wordt gebruikt voor de aanduiding van witte, reflecterende wegmarkering. Deze wegmarkering is terug te vinden op alle soorten wegen en fietspaden.

Er zijn vijf grote groepen van markeringsproducten:

- Wegenverven
- Thermoplasten
- Koudplasten
- Voorgevormde materialen
- wegdekreflectoren (besproken in de marktanalyse)

De markeringsproducten worden gecombineerd met glasparels, die ingemengd worden of naderhand op de markering gestrooid worden. Mengparels zorgen er voor dat na het wegslijten van de nastrooi parels de retroreflectie van de lijn goed blijft op de lange termijn. Daarnaast zorgen mengparels ook voor een verhoogde mechanische sterkte van de markering. Dit is vooral te merken bij markeringen die uit een dunne laag bestaan.

Welke producten zijn er?

Hieronder worden de vijf soorten passieve markeringsproducten kort beschreven. Een uitgebreide uiteenzetting over de aanbrengmethodes is te vinden in bijlage C.

Wegenverven

Wegenverven zijn vloeibare producten die heel fijn verdeeld zijn in een oplosmiddel. Dit kan zowel op chemische als op water basis zijn. In dat laatste geval spreekt men ook wel van watergedragen verven. Nadat het oplosmiddel is verdampt vormt de wegenverf een dunne laag op het aangebrachte oppervlak. Dit markeringsproduct is geschikt voor wegen met een lage verkeersintensiteit omwille van de lage levensduur van ongeveer een jaar.

Thermoplasten

Thermoplasten zijn markeringsproducten zonder oplosmiddel. Ze worden in blok-, korrel-, of poedervorm geleverd en worden verwarmd tot het smeltpunt en daarna in gesmolten toestand op het wegdek aangebracht. Tijdens het afkoelen hecht de markering zich aan het weg oppervlak. Thermoplastische markeringsproducten hebben een lange levensduur en zijn speciaal op zwaar gebruik afgestemd [27].

Voorgevormde thermoplasten

Naast thermoplasten in blok-, korrel-, of poedervorm bestaan er ook voorgevormde thermoplasten. Deze thermoplasten worden in de fabriek voorgevormd en later met een gasbrander op het wegdek aangebracht (gesmolten). Deze techniek wordt veel gebruikt voor het aanbrengen van speciale markeringen zoals figuren en symbolen maar kan ook gebruikt worden voor belijning.

Gelijmde voorgevormde producten

Deze markeringsproducten bevatten een plakstrook en worden op het wegdek vastgedrukt. Bij sommige producten moet eerst een primer aangebracht worden om een goede hechting met het wegdek oppervlak te garanderen. In tegenstelling tot de voorgevormde thermoplasten worden gelijmde voorgevormde producten niet met een gasbrander aangebracht. Binnen de gelijmde voorgevormde producten wordt een onderscheid gemaakt tussen koud gelijmde voorgevormde producten (overlays) en ingeperste voorgevormde producten (inlays). De laatste soort wordt op het moment dat het asfalt nog warm is in het asfalt geperst en zo in het wegdek gedrukt.

Koudplasten

Dit zijn wegmarkeringsproducten die uit een meercomponenten systeem bestaan. Component A bevat een vloeistof die lijkt op wegverf. Deze wordt vermengd met een harder (component B). Door een polymerisatie reactie tussen de beide componenten hardt de markering uit.

Bijzondere markeringen

Naast de vijf standaard passievemarkeringsproducten zijn er ook nog bijzondere markeringsproducten. Dit zijn passieve markeringsproducten die naast het geleiden van het verkeer door middel van retroreflectie nog een andere functie hebben. Dit zijn drie markeringsproducten:

Geprofileerde markeringen

Geprofileerde markeringen zijn markeringen met een profiel dat haaks op de weg staat. Dit profiel bestaat uit haaks op de weg aangebrachte strepen. Door de snelheid van de overrijdende voertuigen heeft dit een akkoestisch effect.

Dot-markering

Dot markering wordt aangebracht door middel van het druppelen van thermoplast op het wegdek oppervlak. Door de ruimte tussen de markeringsdruppels is deze markering ideaal voor het afvoeren van water. Daarnaast heeft het reliëf een akkoestisch effect bij het overrijden van voertuigen.

Luminescerende markering (Anker Stuy verven)

Luminescerende markering is een markeringsproduct dat door middel van UV straling overdag opgeladen wordt en 's avonds zorgt voor verlichte wegmarkering. Deze markering is speciaal ontworpen door Anker Stuy Verven en wordt gebruikt in gebieden waar er geen openbare verlichting geplaatst is. De luminescente pigmenten zijn vermengd met een wegverf of thermoplastisch markeringsproduct [28].

2.4. Conclusie

De markten en verwante systemen/ concurrerende producten zijn nu aan de orde gekomen. Er is duidelijk geworden dat de EL markering in de categorie van actieve markering valt. Voor deze soort markering zijn al richtlijnen en wetgeving opgesteld die gebruikt kunnen worden voor in het PVE. Daarnaast is gekeken naar de mogelijke manier van het aanbrengen van passieve wegmarkering. De kennis van deze aanbrengprocessen kan goed worden gebruikt in het ontwerpproces van de EL markering.

Bedreigingen

Actieve markering systemen

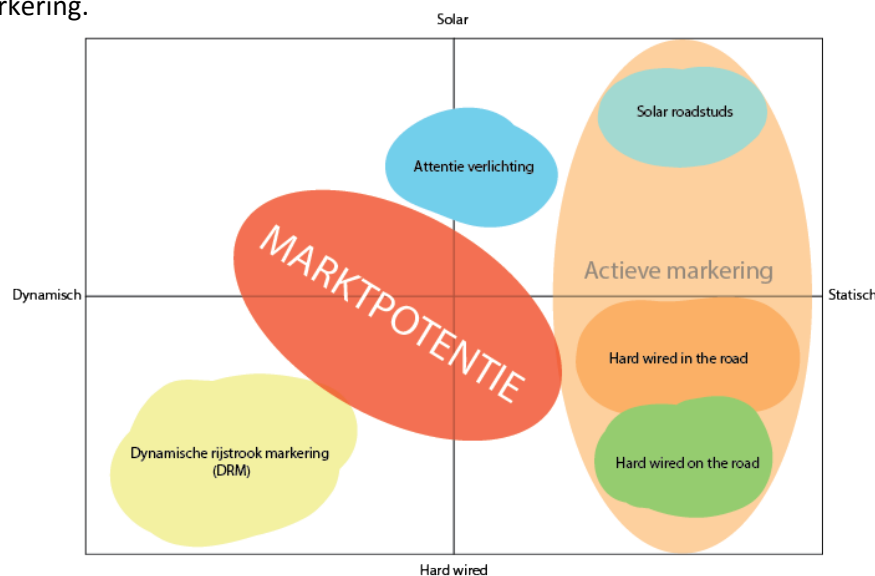
Het gebruik van LED-lampjes is op dit moment standaard in actieve markeringen. LED is tot 70% zuiniger dan de huidige verlichting. Dit is een eis waar de EL markering mee moet gaan concurreren. Daarnaast is het plaatsen en repareren van actieve markeringen vrij gemakkelijk, de lichtopbrengst hoog en de toepasbaarheid breed. Dit zijn erg belangrijke factoren om ook mee te nemen bij het ontwerpen van de EL markering.

Passieve markering

De productieprocessen van passieve markering hebben met elkaar gemeen dat ze allen een continue aanlevering van materiaal kunnen verwerken en flexibel zijn in het aanbrengen van markering met verschillende dimensies.

Kansen

De luminescente markeringsverf van Anker Stuy komt in de buurt maar kan niet actief geregeld worden. In de markt van verlichtende markeringen is te zien in figuur 15 dat in het vak waar een dynamisch systeem op zonne-energie zou passen nog veel ruimte over is. Dit biedt kansen voor de EL markering.



Figuur 15; Overzicht van de markt van verlichtende markering.

Langs de hoofdbaan wordt geen actieve markering gebruikt omdat de kleine LED armaturen zonder passieve geleiding het verkeer niet goed genoeg geleiden en dus niet de verlichting volledig kunnen vervangen. Een markeringsproduct wat deze twee markeringsfuncties samen neemt heeft dus potentie op beide markten.

2.4. Stakeholder analyse

Bij het ontwikkelen van de EL-markering moet er rekening gehouden worden met de stakeholders en hun belangen. In deze analyse worden de stakeholders die reeds door Xcite waren geïnventariseerd geëvalueerd en hun belangen worden in kaart gebracht. De eisen en wensen die voort vloeien uit deze analyse worden toegevoegd in het programma van eisen en wensen. De informatie die in deze analyse naar voren wordt gebracht is afkomstig uit documentatie en gesprekken met de stakeholders. Deze gesprekken staan in bijlage D.

2.4.1 Inventarisatie stakeholders

Binnen Xcite was aan het begin van de opdracht al een ruwe inventarisatie van de stakeholders gemaakt. Dit was gedaan aan de hand van gesprekken met bedrijf X. De geïnventariseerde stakeholders zijn bekeken en aan de hand van de economische levensfasen van een product geëvalueerd. Er is besloten dat de reeds geïnventariseerde stakeholders voldoende breed waren. De belangen van de stakeholders waren nog niet in kaart gebracht. De belangen zijn aan de hand van gesprekken met bedrijf X en de communicatie gedurende de drie maanden met Xcite en bedrijf X opgesteld.

Evalueren stakeholders aan de hand van levensfasen van het product.

In het boek productontwerpen (Eger et al, 2010) worden zes economische levensfasen van een product aangegeven. Deze levensfasen zijn:

1. Productontwikkeling – De ontwikkelingsfase van het product
2. Introductie – Het moment van in de markt zetten van het product
3. Break even – Het moment waar de kosten tegen de baten opwegen
4. Volwassenheid – Het product is een vaste waarde in de markt en uitontwikkeld
5. Verzadiging – Het grootste gedeelte van de consumenten hebben het product al aangeschaft.
6. Afbouw – De consument is niet meer meer geïnteresseerd in het product, er zijn nieuwere producten.

Voor iedere levensfase worden de belanghebbenden opgesteld:

Levensfase	Belanghebbende
1. Productontwikkeling	Parthian Technology & Anker Stuy (Xcite), bedrijf X
2. Introductie	Applicator, automobilist, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
3. Break even	bedrijf X, Xcite
4. Volwassenheid	Automobilist, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu
5. Verzadiging	Automobilist, Rijkswaterstaat
6. Afbouw	Applicator, Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu,

Tabel 2; Productlevensfasen en hun belanghebbenden.

Stakeholders

De stakeholders worden in twee groepen gecategoriseerd: primaire en secundaire stakeholders. In hoofdstuk 3 worden de eisen en wensen van de stakeholders gebundeld in het programma van eisen en wensen. De belangen per stakeholder staan weergegeven in bijlage E.

Primaire stakeholders

Primaire stakeholders zijn de stakeholders die de grootste belang bij de EL markering hebben, het in de hoofdzaak gebruiken. Secundaire stakeholders zijn alle anderen. Het spreekt voor zich dat de eisen en wensen van de primaire stakeholders zwaarder wegen dan die van de secundaire stakeholders. Vaak is een van de primaire stakeholders ook de persoon of bedrijf dat de beslissing tot aankoop van het product doet.

De primaire stakeholders van EL markering zijn:

- De automobilist (eindgebruiker)
- Applicator/remover

Secundaire stakeholders

- Xcite (materiaal producent)
- Bedrijf X
- Regelgevende instanties
- Wegbeheerder (Rijkswaterstaat)

Het is belangrijk om te vermelden dat voor de EL markering de eindgebruiker niet de keuze maakt voor het wel of niet aanschaffen van het product. In het geval van EL markering zijn Rijkswaterstaat en het Ministerie van Infrastructuur en Mileu diegene die de beslissing maakt om EL-markering aan te schaffen dan wel legaal te gebruiken. De eisen van deze stakeholders zijn daarom wel primaire eisen terwijl de stakeholders secundair zijn.

3. Programma van eisen en wensen

In dit hoofdstuk worden de eisen en wensen die volgen uit de analysefase samengevoegd. Dit is een gereduceerd plan van eisen waarbij de overlappende eisen van stakeholders bij elkaar zijn gevoegd. Dit plan van eisen beschrijven alle eisen en wensen die betrekking hebben op het gehele economische leven van de EL-markering. In bijlage F is het gehele plan van eisen en wensen toegevoegd. Het plan van eisen en wensen beschreven in bijlage F is opgedeeld in 12 categorieën. Omdat het plan eisen te groot is om in zijn geheel hier in te voegen wordt er een samenvatting gegeven van de categorieën.

Visibility

Deze categorie beschrijft de eisen die gesteld worden aan de EL-markering op het gebied van zichtbaarheid. Belangrijke eisen in deze categorie zijn de eisen over minimale en maximale luminantie van de EL-markering. De EL-markering moet bij snelheden tussen 40 en 100 km/h zichtbaar zijn op afstanden variërend van 37 tot 140 meter. Daarbij mag de EL-markering de automobilist niet afleiden. Hier moet rekening mee gehouden worden bij het selecteren van de kleur van het licht.

Durability

De EL-markering moet een bepaalde levensduur hebben. Daarvoor zijn er eisen opgesteld voor de verschillende materialen van de EL-markering. De gehele EL-markering moet minimaal 7 jaar mee gaan.

Reliability

Deze categorie beschrijft de eisen die gesteld worden aan de betrouwbaarheid van de EL-markering. In deze categorie vallen eisen die de weerbaarheid van de EL-markering tegen invloeden van buitenaf beschrijven.

Attachment to road

De eisen in die in deze categorie vallen beschrijven de eisen rondom het aanbrengen van de EL-markering op het wegdek. Een eis is bijvoorbeeld dat het plaatsen van de markering de overige weggebruikers niet in gevaar mag brengen.

Maintenance and repairs

De belangrijkste eisen in deze categorie zijn de eisen die beschrijven dat de EL-markering niet vaker onderhoud nodig mag hebben dan gewone markering. Bij het plegen van onderhoud moeten de delen die onlosmakelijk zijn verbonden met het asfalt er uit gefreesd kunnen worden zonder dat het asfalt verontreinigd wordt.

Electricity

Deze categorie in het plan van eisen beschrijft de eisen rondom de elektrische signalen die nodig zijn bij het tot stand laten komen van elektroluminescentie. En belangrijke eis is dat het maximale vermogen dat de EL-markering mag vragen 300 W per m² is.

EL layers materials

In deze categorie vallen de eisen die gesteld worden aan de materialen waaruit de actieve lagen in de EL-markering bestaan. Er wordt bijvoorbeeld beschreven dat de EL-lagen zo dun mogelijk moeten zijn om een EL-systeem te kunnen ontwikkelen met een laag vermogen. Een belangrijke eis in deze categorie is de eis dat de bovenste conductieve laag ook transparant moet zijn.

Safety, security and environmental health

Deze categorie beschrijft de eisen die gesteld worden aan de EL-markering op het gebied van veiligheid en milieuvriendelijkheid. De eisen beschrijven zowel de veiligheid tijdens het plaatsen en repareren van de EL-markering als tijdens de werking er van.

Production

De eisen in deze categorie zijn toegespitst op zo laag mogelijke productiekosten en een continue productiewijze van de EL-markering.

Activation

Het systeem dient te worden geactiveerd op het moment dat het gebuiken van de openbare weg niet meer veilig is zonder kunstmatig licht. De manier van het activeren van de EL-markering dient te gebeuren zonder dat de automobilist er hinder van ondervindt.

DRM compatible

Deze categorie heeft maar één wens die beschrijft dat het wenselijk is dat de EL-markering ook toegepast kan worden als dynamische rijstrook markering (DRM).

4. Ontwikkeling EL systeem

In hoofdstuk 2 is het principe van elektroluminescentie beschreven en is geconcludeerd dat elektroluminescentie ontstaat uit de samenwerking van vier lagen in combinatie met een energiebron. Aan de hand van de analysefase en het programma van eisen is het theoretische kader vastgesteld. In dit hoofdstuk wordt het onderzoek besproken dat gedaan is naar het vinden van een optimale samenstelling van de vier EL lagen voor de toepassing van EL in een wegmarkering. Aan de hand van de eisen uit hoofdstuk 3 is er per laag onderzoek gedaan naar geschikte materialen en de samenstelling er van. Een wens vanuit Xcite is dat de vier lagen opgebouwd zijn uit pigmenten die verwerkt zijn in hetzelfde verfsysteem. In het vooronderzoek van Rianne van der Pol is de samenstelling van de verf al uitgezocht. Deze samenstelling vormt de basis van dit onderzoek.

4.1. Onderzoek bovenste elektrode

4.1.1. Eisen en wensen voor bovenste elektrode

Uit hoofdstuk 3 volgt:

- E1:** De laag moet transparant zijn.
- E2:** De laag moet een oppervlakteweerstand hebben van minder dan 10 kOhm per m²
- E3:** De laag moet in een continu productieproces gemaakt kunnen worden.
- E4:** Het opbrengen van de laag moet zo min mogelijk foutgevoelig zijn.
- E5:** De prijs van het totaal aan materialen mag niet boven de 160 euro per m² uitkomen.
- W1:** De lagen moeten gemaakt zijn in hetzelfde verfsysteem.

4.1.2. Onderzoek en testen

Uit het vooronderzoek bleek dat het beste materiaal voor de transparante conductieve laag de verf van merk M was. Voor het ontwikkelen van een eigen materiaal in een verfsysteem worden een aantal suggesties gedaan. De suggesties voor materialen voor de top conductieve laag zijn: materiaal I, materiaal K en materiaal Z. Naast deze materialen zou er ook onderzoek gedaan worden naar materiaal P. Maar door het uiblijven van de levering van dit polymeer heeft de test niet plaatsgevonden.

Test flakes van materiaal Z in watergedragen WB clear verf

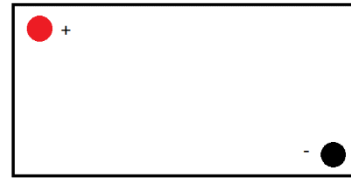
Deze test moet bewijzen of flakes van materiaal Z gemengd in een verf kunnen dienen als front electrode. In het vooronderzoek is gebleken dat een gerakelde laag van materiaal Z niet transparant genoeg was om voldoende licht door te laten [11]. Daarom wordt er in deze test gekozen voor een watergedragen verf: WB clear. Deze verf wordt aangelengd met water om hem spuitbaar te maken. Deze test is een onderdeel van een test naar een geschikte laagdikte voor de dielektrische laag. De complete testprocedure is beschreven in bijlage G1.

Het aanbrengen van de verf gebeurt met een spuitpistool en een druk van 2 bar. Over het gehele oppervlak van het plexiglas wordt een laag verf met materiaal Z gespoten. Dit is twee keer gedaan om er voor te zorgen dat de laagdikte goed genoeg was. Na 45 minuten drogen in de open lucht en gedroogd in een oven op 50 graden Celsius is de verf droog.

De conductiviteit van de laag wordt gemeten aan de hand van de oppervlakteweerstand. Dit wordt gedaan door op de beide punten van de laag met materiaal Z een connector van een multimeter te plaatsen. Dit is afgebeeld in figuur 16. De laagdikte wordt gemeten aan de hand van een laagdikte meter.

Gemeten weerstand	OVL
Laagdikte	confidentieel
Gemeten weerstand	OVL
zonder contact met laag	

Tabel 4; Meetresultaten van de laag



Figuur 16; meten van oppervlakte weerstand.

De resultaten van de meting laten zien dat er geen sprake is van geleiding. De multimeter geeft OVL aan. De reden voor het falen van de geleiding kan zijn door een te dunne laag verf. Om dit te checken is de test herhaald met een tweede laag over de eerste laag heen. De twee lagen verf zijn te zien in figuur 17. De meetresultaten zijn te zien in tabel 5.

Figuur 17; verschil tussen de lagen. Afbeelding is verwijderd omdat deze confidentiele informatie bevat.

De tweede meting laat zien dat ook bij een dubbele laag de laag niet geleidend is. De verwachte oorzaak hiervan is dat bij het spuiten de deeltjes van materiaal Z niet op het plexiglas komen te liggen en elkaar overlappen maar eigenlijk rechtop komen te staan en zo klontjes vormen. Om hier zeker van te zijn is de plexiglasplaat onder de microscoop gelegd met als vergelijkingsmateriaal de gerakelde laag. In figuur 18 en 19 is te zien dat de deeltjes die door middel van spuiten aangebracht zijn inderdaad eilandjes vormen en niet mooi aansluiten zoals dat bij het rakelen wel gebeurt.

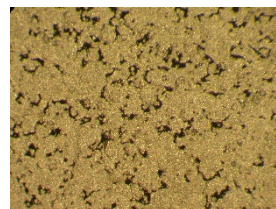
Gemeten weerstand	OVL
Laagdikte	confidentieel
Gemeten weerstand	OVL
zonder contact met laag	

Tabel 5; Meetresultaten van de dubbele laag materiaal Z.

De meetresultaten geven aan dat het spuiten van materiaal Z niet een geleidende laag oplevert. Door extra materiaal toe te voegen wordt de laag wellicht nog geleidend maar dat gaat ten koste van de transparantie. Naast de geleidbaarheid en de transparantie blijkt materiaal Z als zeer slecht voor het milieu te zijn.



Figuur 18; Gespoten deeltjes



Figuur 19; Gerakelde deeltjes

Test front elektrode met materiaal K

De informatie uit deze test is confidentieel en is daarom niet weergegeven in dit verslag.

Onderzoek naar materiaal I

In het vooronderzoek is geconcludeerd dat materiaal I een veelgebruikt materiaal is in combinatie met elektroluminescentie. Echter blijkt het een relatief duur materiaal te zijn; 40 euro per gram [15]. Daarnaast moet materiaal I opgebracht worden door middel van sputteren of opdampen [30]. Doordat de opdamp techniek niet aanwezig is bij Xcite en de prijs per gram relatief hoog is, is er besloten om materiaal I niet aan te schaffen.

In de literatuur is gezocht naar de oppervlakte weerstand van materiaal I. Dit is verschillend per materiaal van het substraat waar het materiaal opgesputterd/opgedampt is. Voor het kalibreren van oppervlakteweerstandsmeters zijn er standaarden te verkrijgen van de oppervlakteweerstand van materiaal I. De oppervlakteweerstand van materiaal I op een glas substraat met dimensies van 9cm² en 0,7mm dik bedraagt tussen 15 en 90 ohm per cm² [31].

Deze waarden tonen aan dat, zoals verwacht, materiaal I een zeer goed geleidend materiaal is. Door de transparantie van materiaal I is het ook erg geschikt voor het maken van EL panelen. De nadelen van materiaal I zijn de hoge prijs per gram, het productieproces en het niet kunnen verwerken van materiaal I in een verf.

Test Toplaag met materiaal P

Na onderzoek naar alternatieve materialen die conductief en transparant zijn blijkt een transparant, conductief materiaal ook een goede optie te zijn [32]. Bredol en Schulze Dieckhoff (2010) gebruiken ook een conductief materiaal. Zij maken gebruik van materiaal P [6]. Dit is een conductief materiaal dat wellicht verwerkt kan worden in Eurogardian van Anker Stuy. De prijs van materiaal P is 0,758 euro per gram [33]. Dit is in verhouding vrij goedkoop. Het materiaal is besteld bij bedrijf H. Maar niet op tijd geleverd. Hierdoor zijn er nog geen testen met dit materiaal gedaan.

Verwachtingen

Ates e.a. (2010) stellen dat een elektroluminescente toepassing met materiaal P een snelle reactietijd hebben, gemakkelijk te verwerken zijn, grote oppervlaktes kunnen bestrijken en werken op lage voltages [32]. De verwachting is dan ook dat materiaal P een zeer goede geleider is. De website sigma Aldrich laat zien dat materiaal P hoofdzakelijk opgelost in water wordt geleverd. Het product heeft een donkerblauwe kleur en is daarmee dus niet transparant. Het kan waarschijnlijk wel in de WB clear van Anker Stuy worden verwerkt aangezien dit een verf op waterbasis is. Mocht het ook te verwerken zijn in Eurogardian van Anker Stuy dan kan er een volledig vloeibaar EL-systeem, met chemische hechting tussen de lagen, geproduceerd worden. Het voordeel hier van is dat aan ieder oppervlak, ongeacht de vorm, een elektroluminescente functie toegevoegd kan worden.

Het nadeel van een volledig vloeibaar systeem is dat het zeer fout gevoelig is. Uit de analysefase is gebleken dat de homogeniteit en de dikte van de lagen erg veel invloed hebben op de prestaties van het EL product. De kans van slagen is dus erg afhankelijk van de kennis en vakmanschap van de persoon die de lagen aanbrengt.

4.1.3 Selectie van mogelijke materialen

De selectie van het beste materiaal aan de hand van de gestelde eisen gebeurt aan de hand van weegfactoren zoals dat in het boek productontwerpen (Eger e.a. 2010) wordt voorgesteld. Voor de weegfactoren wordt een range van 1-3 gebruikt en voor de scores een range van 0-5.

Eis	Weegfactor	Materiaal Z		Materiaal K		Materiaal I		Materiaal P	
		Beoordeling	Score	Beoordeling	Score	Beoordeling	Score	Beoordeling	Score
E1	3	0	0	4	12	5	15	4	12
E2	3	0	0	5	15	5	15	5	15
E3	2	4	8	5	10	3	6	4	8
E4	3	1	3	4	12	4	12	2	6
E5	2	2	4	4	8	0	0	5	10
W1	1	4	4	0	0	0	0	4	4
	Totaal		19		57		48		55

Tabel 6: Selectietabel

In tabel 6 is te zien dat materiaal K en materiaal P beide erg hoog scoren. Dit was ook te verwachten. Materiaal P valt net iets lager uit wat vooral te wijten is aan de foutgevoeligheid van het aanbrengen van een vloeibaar EL-systeem. Het meest geschikte materiaal voor de bovenste conductieve laag is op dit moment materiaal K.

Het gebruik van materiaal K gaat tegen de wens in van Xcite om een EL-systeem te ontwikkelen wat volledig bestaat uit vloeibare lagen. Materiaal K heeft namelijk een vast materiaal als drager nodig. Uit de analysefase is gebleken dat het aanbrengen van de EL-lagen veel invloed heeft op de prestaties van het EL-systeem. Daarnaast is gebleken dat de bestaande technieken voor de applicatie van wegmarkering bestaan uit een vloeibare techniek of een vaste (tape) techniek.

Voor het gebruik van elektroluminescentie in wegmarkering wordt er gekozen voor een niet vloeibare front elektrode om zo de foutgevoeligheid van het aanbrengen van de EL-markering te verkleinen. Dit betekent dat de techniek niet vloeibaar aangebracht kan worden op het asfalt en de EL techniek als een prefab product toegevoegd moet worden aan de passieve markering. Technieken hier voor zijn al beschikbaar voor bijvoorbeeld wegdektape.

4.2. Onderzoek dielektrische laag

De informatie uit deze test is confidentieel en kan daarom niet worden weergegeven in dit verslag.

4.3. EL pigment

In de analyse en het vooronderzoek is vastgesteld dat de luminescente pigmenten op basis van zinksulfide goed werken. In het vooronderzoek is echter nog geen rekening gehouden met de eisen en wensen voor de toepassing van het EL-systeem in wegmarkering. Er zijn verschillende soorten EL-pigment verkrijgbaar die allen een specifieke eigenschap hebben. De leverancier van EL-pigmenten bij Xcite is bedrijf L. Zij maken onder andere onderscheid in kleur, levensduur en luminantie (Bijlage H). Voor het gebruik van EL-pigment in wegmarkering zijn een aantal eisen opgesteld die bepalend zijn voor de keuze van het soort pigment. Deze eisen zijn leidend voor de keuze van het soort EL-pigment.

4.3.1. Eisen en wensen aan EL pigment

E1: De halftime van het EL-pigment moet minimaal 2600 uur zijn.

E2: De kleur van de EL-wegmarkering mag de bestuurder niet afleiden.

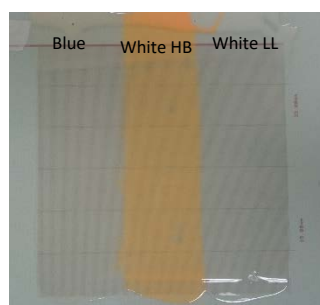
E3: De kleur (bij daglicht) moet gelijk zijn aan de kleur van de aanwezige passieve markering.

W1: Er mag geschakeld kunnen worden tussen kleuren.

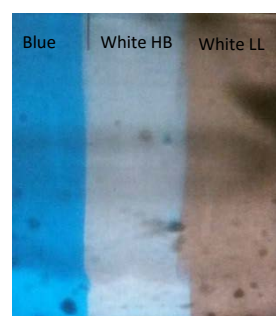
4.3.2. Onderzoek en test

De levensduur en luminantie zijn een gegeven in de datasheet van de verschillende pigmenten. Om aan de eisen van de EL- wegmarkering te voldoen op het gebied van levensduur en luminantie kan er een keuze gemaakt worden uit de pigmenten van bedrijf L. Waar nog geen onderzoek naar is gedaan is de kleur van het pigment. In de eisen komt voor dat er gezocht wordt naar een kleur die de bestuurder niet afleidt, gelijk moet zijn aan de passieve markering en een half time van minimaal 2600 uur heeft.

Uit de EL-pigmenten van bedrijf L zijn op basis van die drie eisen drie EL-pigmenten besteld om ze te vergelijken op lichtopbrengst, kleur van de droge stof en kleur van de actieve stof. Dit zijn de volgende pigmenten: White Long Life, White High Bright, Glacier Glow Blue. Met deze drie pigmenten is getest. De volledige test staat beschreven in bijlage G4.



Figuur 23; Niet geactiveerde pigmenten.



Figuur 24; Geactiveerde pigmenten.

In de testresultaten is duidelijk te zien dat het White High Bright pigment een oranje droge stof heeft en een witte kleur als het pigment geactiveerd is. Dit is de kleur die bedrijf X graag wil zien als kleur voor de EL-markering. Deze kleur komt ook overeen met de eis dat de actieve markering dezelfde kleur zou moeten hebben als de passieve markering. Het grote nadeel er van is dat overdag de oranje kleur heel fel is en niet meer op de passieve markering lijkt.

Het White Long Life pigment is wel wittig van kleur in niet-geactiveerde staat. Echter bij het testen met verschillende voltages en frequenties veranderd de witte kleur naar een koperachtige kleur. Gerhard Ruf, vertegenwoordiger van bedrijf L, verklaard dat dit is te wijten aan de rode fosfor die gebruikt wordt in het pigment (persoonlijke communicatie via telefoon 10-12-2015).

Het meest stabiele pigment is de Glacier Glow Blue. Bij verschillende voltages en frequenties is deze kleur helder blauw. De kleur van de droge stof is wit. In een verf wordt de verf transparant. Dit past dus goed bij de passieve wegmarkering.

Kleuren in het verkeer

In de richtlijn actieve markering wordt aangegeven dat de kleur van de wegmarkering de automobilist niet mag afleiden van zijn rijtaak [21]. Daarom worden kleuren die al een functie hebben in het verkeer afgeraden om te gebruiken. Blauw wordt bijvoorbeeld afgeraden omdat het een kleur is die gebruikt wordt als attentieverlichting op voertuigen van hulpdiensten. Automobilisten zouden hierdoor gealarmeerd worden bij het zien van de markering. Actieve markering heeft nadrukkelijk een geleidende functie en niet een aantenderende functie. Kleuren als Rood en groen worden daarom ook afgeraden.

Als we naar het spectrum kijken is het blauw/ groene licht het beste om in het donker te zien. In het daglicht licht de piek voor de lichtgevoeligheid bij 550 nm. In het donker schuift dit naar 507 nm, richting de golflengtes van blauw licht. Dit licht heeft een korte golflengte en is in het donker beter te zien door de kegeltjes [34-35]. Voor een betere zichtbaarheid in het donker is een kleur die in het spectrum dichtbij blauw ligt dus het meest ideaal.

4.3.3. Conclusie voor EL pigment

De kleur van de EL-markering moet voldoen aan de eisen van de wet. Ergonomisch gezien is het beter om een blauwe kleur te nemen voor extra zichtbaarheid in de nacht. Blauw is echter een kleur die gebruikt wordt voor attentieverlichting en kan dus niet gebruikt worden als geleiding. Bij het kiezen van het meest geschikte pigment komen we dan uit bij het High Bright en de Long Life witte pigment. De oranje kleur van het droge High Bright pigment maakt dat dit pigment niet geschikt voor de verwerking in EL-markering. De oranje kleur zal in de wegmarkering overheersen en afleiden. Daarnaast is de half life van het pigment 1500 uur.

Het White Long Life pigment is wit van kleur in de droge stof maar heeft een koperachtige kleur bij activatie. De halftime van het pigment is 2500 uur waar minimaal 2600 uur geeist wordt. Dit ligt wel in de lijn met de eisen.

Er is op dit moment nog geen EL-pigment verkrijgbaar dat een witte kleur heeft bij activatie en een witte droge stof en tegelijk een half life heeft van 2600 uur. Om zo dicht mogelijk bij de eisen te blijven wordt er gekozen voor het White Long Life pigment. Alleen op actieve kleur komt dit pigment tekort.

4.4. Elektrische werking EL markering

Zoals in de analysefase is aangegeven is wordt het EL-systeem geactiveerd door een elektrisch veld wat over de bovenste en onderste electrode komt te staan. In de analysefase is aangegeven hoe dit elektrische veld invloed heeft op de werking van elektroluminescentie. Om inzicht te krijgen in de te verwachten prestatie van elektroluminescentie in markering is het belangrijk om een uitspraak te kunnen doen over het vermogen wat geleverd dient te worden en de verliezen in voltage. Ton Polman heeft op verzoek berekeningen gemaakt aan de hand van een aangeschaft EL-plaatje[36]. De berekeningen zijn te vinden in bijlage I.

4.4.1. Eisen en wensen Elektrische werking

E1: De maximale vereiste spanning voor de markering betreft 110Vac

E2: Het uitgezonden licht moet een frequentie hebben die hoger ligt dan 100Hz

E3: De lengte van het elektronische signaal moet minimaal 100m zijn.

E4: Het vermogen dat de EL-markering mag vragen is maximaal 300Watt per m²

4.4.2. Onderzoek

Omdat de ontwikkeling van de EL-techniek bij Xcite nog niet heeft geresulteerd in een uniform productieproces van EL-plaatjes wordt er voor het onderzoek naar het vermogen gebruik gemaakt van een bestaand EL-folie geleverd door Sparkfun[36].

Elektrisch gedrag EL-markering over 100m

Om het vermogen te kunnen schatten van de EL markering wordt het vermogen van het EL-plaatje eerst berekend. In de data-sheet van Sparkfun staat dat het plaatje een elektrischvermogen heeft van 6,8 mW/cm². Dit is berekend bij 400Hz en 110 Volt. Bij het narekenen werd echter een elektrisch vermogen van 8mW voor 100 cm² bij 60Vac gevonden. Daar is mee verder gerekend.

Om te weten hoeveel van dit vermogen verloren gaat over een afstand van 100 meter wordt het blindvermogen berekend. Dit is een maat voor de verliezen die de bron lijdt in de inwendige weerstand.

De capacatieve stroom die gaat lopen is 5mA rms. Er wordt dan 0,3 VoltAmpère aan reactief vermogen in het folie gestopt. Als dit doorgerekend wordt voor een strook van 100m lengte en 10cm breedte wordt het elektrisch vermogen 8Watt en het reactief vermogen¹ 300VoltAmpère.

Uit deze berekening kunnen we concluderen dat bij het gebruik van één aansluitpunt er een gradient ontstaat over de lengte van de EL strook door ohmse verliezen. Ton Polman raadt daarom aan om een symetrische voedingsaansluiting te gebruiken. Het liefst een die in het midden van de strook loopt.

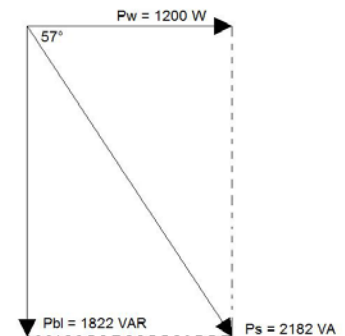
Als deze voedingsaansluiting gemaakt is uit een spoor van 5mm breed en 10 micron dik heeft het over 24 meter 5Vac verlies. Dit houdt in dat er per 48 (= 2*24) meter een aansluiting op een voedingskabel dient te zijn als het verlies in voltage beperkt dient te blijven tot 5Vac.

¹ https://nl.wikipedia.org/wiki/Elektrisch_vermogen

Diëlektrische verliezen

Bij het rekenen aan vermogen met wisselspanning wordt er altijd gebruik gemaakt van Voltampère (VA) in plaats van Watt om onzekerheden die bij wisselspanning uit te drukken. Het vermogen is namelijk afhankelijk van het type apparaat dat op het circuit wordt aangesloten. In dit geval het EL paneel. Bij wisselspanning komt de VA vermenigvuldigt met de arbeidsfactor² ($\cos \phi$) overeen met de watt. De VA wordt vooral gebruikt om aan te geven hoeveel vermogen een apparaat uit het elektriciteitsnet opneemt. In het geval van een EL plaatje zijn dit de diëlektrische verliezen.

De $\cos \phi$ is de maat voor de verlieshoek van het apparaat. Een ideale condensator heeft een verlieshoek van $\cos \phi = 0$. Dit houdt in dat er geen dissipatie (= verlies van energie) optreedt en er geen verliezen in capacatieve stroom zijn in de condensator. De $\cos \phi$ is de hoek tussen de vectoren van het werkelijke vermogen en het schijnvermogen van het apparaat. Hoe groter de $\cos \phi$ hoe groter het blindvermogen en dus het verlies. Dit is geïllustreerd in figuur 25.



Figuur 25; Schijnbaarvermogen (P_s) uitgezet tegen het werkelijk vermogen (P_w) en het blind vermogen (P_{bl}). De hoek is de $\cos \phi$ in graden. [37]

4.4.3. Conclusie

Uit de gesprekken met Ton Polman en zijn berekeningen kan er geconcludeerd worden dat elektroluminescentie ook te gebruiken is als verlichting over een lange afstand. Waar goed rekening mee gehouden moet worden is dat er een fors vermogensverlies over de lengte ontstaat. Dit dient gecompenseerd te worden door het toevoegen van een voedingspoor/kabel over de gehele lengte van de markering. Als dit voedingspoor een dun spoortje betreft dient deze per 24 meter opnieuw aangesloten te worden op het stroomnet. Als er akkoord gegaan wordt met 20 Vac verlies kan er om de 100m aangesloten worden.

² <https://nl.wikipedia.org/wiki/Arbeidsfactor>

4.5. Conclusie hoofdstuk 4.

Het doel van dit hoofdstuk was om de meest ideale set materialen in kaart te brengen voor het gebruik van elektroluminescentie in wegmarkering. Voor iedere laag zijn een aantal materialen in kaart gebracht en waar mogelijk getest, dan wel via literatuur beoordeeld. Helaas kon voor de front elektrode het materiaal P niet getest worden waardoor er op basis van literatuur beoordeeld moest worden. Voor de front elektrode is gekozen voor materiaal K. Voor de dielektrische laag was het materiaal al bekend en is de meest ideale samenstelling tussen laagdikte en vulpercentage gevonden. De keuze voor elektroluminescente pigmenten bleek lastig te zijn. Het White Long Life pigment van bedrijf L bleek het beste aan de eisen te voldoen.

Met de materialen die gekozen zijn in dit hoofdstuk is bewezen dat het mogelijk is om elektroluminescentie te gebruiken in wegmarkering en daarbij te voldoen aan de gestelde eisen. Daarbij moet wel gezegd worden dat de uitvoering van de materialen nog beter (op elkaar) afgestemd kan worden. Dit moet echter in een vervolgonderzoek vastgesteld worden en valt buiten het kader van deze opdracht.

5: Detaillering

In dit hoofdstuk worden de lagen van het EL-systeem verder gedetailleerd. De front elektrode is nog niet geoptimaliseerd voor het gebruik in combinatie met elektroluminescentie. De testen en resultaten zijn confidentieel en kunnen daarom niet worden weergegeven. In plaats daarvan zal er een beschrijving van de werkwijze worden weergegeven. Hetzelfde geldt voor de aanpassing van het EL-systeem naar een passieve markering door middel van het ontwikkelen van een reflectieve laag. Ten slotte wordt de manier van aansluiten van de EL-makereing op het elektriciteitsnet besproken.

5.1. Detaillering front electrode

De front electrode heeft een tweetal problemen. De eerste is dat er een drager materiaal gebruikt moet worden om materiaal K te laten functioneren als front electrode. De drager blokeert het uitgezonden licht en zal verwijderd moeten worden. Het tweede probleem is dat materiaal K op zichzelf nog niet transparant genoeg is om optimaal te functioneren als front electrode.

5.1.1. Verwijderen drager materiaal

Om het drager materiaal te kunnen verwijderen moet er een manier gevonden worden om materiaal K direct op de dielektrische en luminescente lagen te zetten. Bedrijf Y is leverancier van materiaal K. Bij dit bedrijf is een productieproces gevonden waarmee materiaal K zonder drager op de andere lagen te zetten. Met dit productieproces zijn testen uitgevoerd om materiaal K te laten hechten op de lagen aan Eurogardian. Materiaal K bleek niet goed te hechten aan de Eurogardian lagen. De reden hiervoor is de gladheid van de Eurogardian.

Om dit op te lossen kan het productieproces aangepast worden of het materiaal waar materiaal K aan gehecht moet worden. Naast een test met Eurogardian is er daarom ook een test gedaan waarbij materiaal K direct op composiet aangebracht. Materiaal K bleek ook niet goed te hechten aan de composiet epoxy. Daarom zijn er een aantal stappen toegevoegd die de epoxy opruwen. Dit had het gewenste effect waardoor materiaal K aan de epoxy hechte.

Om te testen of dit productieproces ook werkt zijn de Eurogardian test samples waar materiaal K wel aan hechtte getest op hun werking. Het resultaat was een werkend EL-plaatje waarmee bewezen is dat het verwijderen van het drager materiaal mogelijk is zonder de EL-werking te beschadigen.

5.1.2. Transparantie materiaal K

De transparantie van materiaal K is nog niet goed genoeg om te functioneren als front elektrode. Om tot een werkbaar resultaat te komen zijn er verschillende samples gemaakt met allen een andere uitvoering van materiaal K. Op deze samples zijn de rest van de lagen van het EL-systeem toegepast. De samples zijn aangesloten aan de test opstelling en beoordeeld op luminantie en homogeniteit van het oplichtende oppervlak. Door de samples met elkaar te vergelijken is er een conclusie getrokken over welke versie van materiaal K het beste toepasbaar is in de EL-markering.

Na het vinden van de meest ideale materialen en het detailleren van materiaal K als front elektrode is het mogelijk om het EL-systeem schakelbaar te maken. Dit wordt gedaan door de front elektrode op te delen in verschillende vlakken en deze om en om aan te sluiten. Hiervoor zijn een aantal ontwerpen gemaakt die aan de eisen voldoen van bedrijf X.

Concluderend kan er gezegd worden dat materiaal K nu geschikt is voor het gebruik als front electrode voor de EL-markering. De markering kan zowel ondoorbroken als doorbroken aangebracht worden.

5.2. Passieve markering

Een belangrijke eis vanuit de overheid is dat de wegmarkering zo veel mogelijk op passieve wegmarkering lijkt. Aangezien bedrijf X en Xcite graag de wegmarkering volledig willen vervangen voor EL-markering dient de EL-markering dus ook de functie van de passieve markering uit te voeren. Een belangrijk onderdeel van de passieve markering is de witte kleur en de reflectie van het licht van de komplampen. Beide zorgen er respectievelijk overdag en 's nachts voor dat de markering duidelijk zichtbaar is. Omdat de EL-markering gebruik maakt van een lagen systeem dat licht produceert wat overdag niet zichtbaar is zal er een witte, reflectieve laag toegevoegd moeten worden. Deze laag kan echter niet bestaan uit huidige markeringsmaterialen omdat die niet licht doorlatend zijn. De reflecterende toplaag zal tevens de laag zijn die het EL-systeem beschermt tegen invloeden van buitenaf.

5.2.1 Onderzoek reflecterende toplaag

Het onderzoek naar de reflecterende toplaag is beperkt tot het ontwikkelen van een witte, transparante laag omdat deze combinatie nog niet bestaat. Het doel van de testen is om een laag te creëren die zowel wit als licht doorlatend is. Om dit doel te bereiken is een test gedaan met kleine glasbolletjes en witte pasta. De glas bolletjes zijn afkomstig van 3m en de witte pasta is ontwikkeld door Anker Stuy.

Eisen en wensen reflectielaag

- E1:** De laag moet water afstotend zijn
- E2:** De laag moet een retroreflectiviteit hebben van minder dan 20 cd.
- E3:** De laag moet een oppervlakteruwheid hebben van klasse 2 SRT die groter is dan 55.
- E4:** De kleur van de passieve markering moet wit zijn.
- E5:** De reflectielaag moet translucient zijn.

Testen

De glas bolletjes en witte pasta worden in een flexibele variant van de Leading Edge verf van Anker Stuy gemengd. Dit transparante verfsysteem is ontwikkeld om de rand (leading edge) van windmolenwieken te beschermen en heeft daardoor een uitstekende hechting en is goed bestand tegen invloeden van buitenaf.

3M K20 glass bubbles

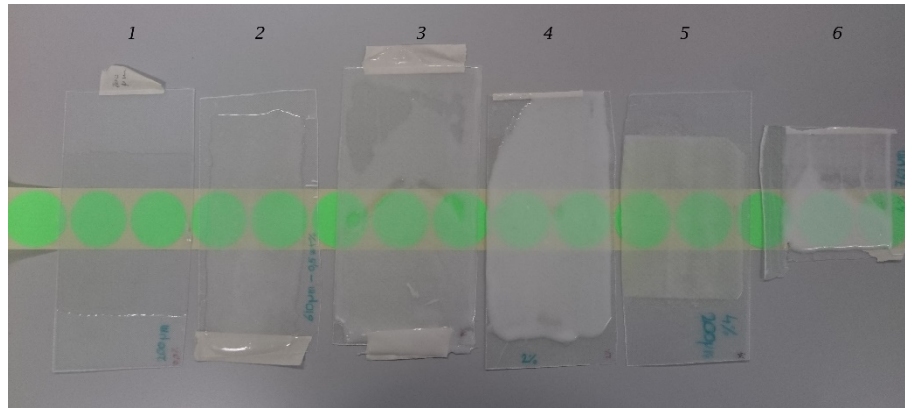
De glasbolletjes zijn door 3M ontwikkeld om producten te versterken en de thermische eigenschappen te verbeteren. Omdat de glasbolletjes erg klein zijn hebben ze een wit uiterlijk als ze dicht op elkaar zitten. Het voordeel daarbij is dat ze het uitgezonden licht van het EL-systeem verstrooien en het inkomende licht van automobilisten reflecteren. Er is een test uitgevoerd waarbij vier verschillende verhoudingen van glasbolletjes in leading edge verf zijn getest op witheid en transparantie.

Tabel 11; Deze tabel is verwijderd omdat deze confidentiële informatie bevat.

Tabel 12; Deze tabel is verwijderd omdat deze confidentiële informatie bevat.

Witheid

De witheid is getest door ieder sample op een strook groene stickers te leggen. Doordat deze allemaal dezelfde kleur hebben is het verschil met de samples goed te zien. Het resultaat is te zien in figuur 43.



Figuur 43; Verschil in witheid van de zes samples

Wat duidelijk te zien is, is dat sample nummer 4 en nummer 6 het meest wit van kleur zijn.

Transparantie

Om de mate van transparantie van de samples te vergelijken zijn de samples op een werkend EL-plaatje gelegd. De grens tussen de sample en het EL-plaatje is afgedekt met een stuk zwarte tape om duidelijk het effect van de sample te kunnen zien.

Sample 1 is buiten beschouwing gelaten omdat er zo weinig glas bolletjes in zitten dat ze bijna niet zichtbaar zijn. In figuur 44 is een overzicht te zien van alle resultaten.

Figuur 44; Deze afbeelding is weggelaten i.v.m. confidentiële informatie.

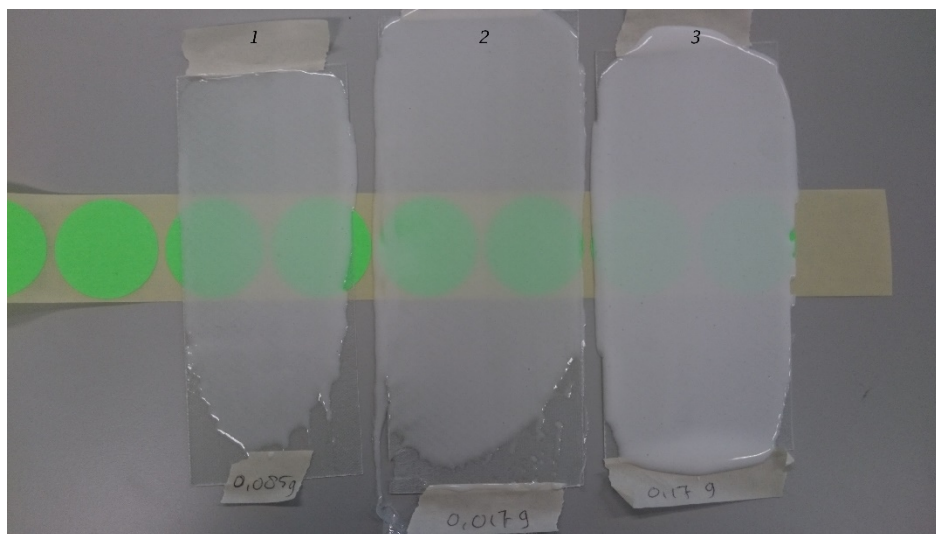
De resultaten laten zien dat het licht van de EI plaat zoals verwacht wordt verstrooid. Sample 2 is het meest transparant en sample 6 het minst transparant. Sample 3 heeft bijna dezelfde transparantie als sample 2 maar is qua witheid een stuk zichtbaarder. Sample 4 en 5 blokkeren zichtbaar veel uitgezonden licht maar hebben een mooie witte kleur. Het verschil in witheid en transparantie tussen sample 5 en 6 laat zien dat bij een dikke laag verf het percentage glas bolletjes naar beneden afgesteld moet worden om transparantie te behouden. Als we kijken naar de verhouding tussen transparantie en witheid heeft sample 3 de beste verhoudingen.

Witte pasta

Sample 3 heeft in verhouding de beste hoeveelheid glasbubbels om transparant te zijn maar is nog niet wit genoeg. Daarom wordt er een test gedaan met het toevoegen van witte kleurpasta. Deze pasta is door Anker Stuy ontwikkeld en bedoeld voor het kleuren van witte wegmarkering. Voor de test worden drie samples gereedgemaakt met glasbubbels en verschillende percentages witte kleurpasta.

Witheid

Net als bij de glasbolletjes zijn de drie samples op een lijn met groene stickers gelegd om de samples te vergelijken op de witte kleur. De resultaten zijn te zien in figuur 45.



Figuur 45; Verschil in witheid van de drie samples

De resultaten laten zien dat de witheid van de samples is toegenomen in vergelijking met sample 3 uit de vorige test. Het is duidelijk dat sample 3 in deze test de meest witte kleur heeft. Sample 1 en 2 verschillen vrijwel niet van elkaar terwijl sample 2 twee keer zoveel kleurpasta heeft.

Transparantie

De test met de groene stickers geeft al enig inzicht in de mate van transparantie van de samples. Maar ook voor deze samples wordt de transparantie vergeleken door het afdekken van een EL-plaatje met de samples. In figuur 46 is een overzicht van de resultaten te zien.

Figuur 46; Overzicht van de resultaten van de transparantie test. Deze afbeelding is weggelaten i.v.m. confidentiële informatie.

De resultaten laten zien dat de toevoeging van witte kleurpasta er voor zorgt dat er meer licht geblokkeerd wordt. Sample 3 blokkeert het meeste licht en sample 1 het minste. Als we dit sample vergelijken met sample 3 zonder witte kleurpasta valt op dat de witte kleurpasta de laag een stuk minder transparant maakt.



Figuur 47; X% glas bolletjes



Figuur 48; X%glas + X% kleurpasta

Concluderend kan er vast worden gesteld dat voor het fabriceren van een transparante witte toplaag het beste X% gewichtspercentage glasbolletjes gebruikt kan worden. Om de lijn witter te maken dient er maximaal X% gewichtspercentage aan witte kleurpasta toegevoegd te worden anders blokkeert de toplaag te veel licht.

5.2.3. Nastrooiparels voor retroreflectie

Om een goede retroreflectiviteit te hebben zal er gebruik gemaakt worden van nastrooiparels. Deze parels kunnen worden geleverd door Anker Stuy Verven. Deze nastrooiparels voldoen al aan de gestelde eisen vanuit de overheid en kunnen dus toegevoegd worden aan de reflecterende laag. Deze nastrooiparels zijn in de test niet meegenomen omdat alleen ze de resultaten van de beide testen zouden beïnvloeden.

5.2.3. Conclusies

Het is mogelijk om een toplaag te creëren die zowel wit als transparant is. Daarvoor zijn glasbolletjes van 3M een goede manier om de laag transparant te houden en toch een witte kleur te geven. Het toevoegen van witte kleurpasta zorgt voor een beter zichtbare lijn maar blokkeert wel een deel van het uitgezonden licht. De ideale verhouding tussen de glasbolletjes en de witte pasta is X/X in gewichtspercentages van het totale gewicht van de verf. Door de glasbolletjes en witte verf te mengen in Leading Edge verf van Anker Stuy is het EL-systeem goed beschermd tegen invloeden van buitenaf.

Door het gebrek aan tijd zijn er geen lichtmetingen gedaan. Dit was een goede aanvulling geweest op de resultaten van de transparantie. Om dezelfde reden is er geen test gedaan voor de ruwheid van het oppervlak. Over het halen van deze eis is daarom op dit moment nog niks te zeggen.

5.3. Elektrische aansluiting

De EL-markering zal aangesloten moeten worden aan het stroomnetwerk dat langs de wegen ligt. Omdat er voor die specifieke toepassing nog geen bestaande connector is wordt er gekeken naar de bestaande connectoren die gebruikt worden voor EL-paneeltjes. De bestaande connectoren zullen getoetst worden aan de hand van eisen en wensen aangegeven door medewerkers van Xcite, bedrijf Y en markeringsbedrijf Z. De verschillende connectoren zullen aangegeven worden in een schema.

5.3.1. Eisen en wensen aan elektrische aansluiting

De belangrijkste eis voor de connector van de EL-markering is dat de lijn ook aangesloten moet kunnen worden nadat de EL-markering is aangebracht. De reden hiervoor is dat bij reparaties de lijn gedeeltelijk vervangen zal moeten worden en opnieuw aangesloten moet worden. Daarnaast dient de aansluiting van robuuste aard te zijn.

E1: De connectie moet ook na het aanbrengen van de EL lijn te maken zijn.

E2: De aansluiting moet robuust zijn.

5.3.2. Overzicht bestaande manieren van aansluiten

In het schema in bijlage K zijn de bestaande manieren van aansluiten opgedeeld in vier verschillende categorieën. Per categorie zijn de meest voorkomende aansluit technieken weergegeven. De categorieën zijn: klemmen, prikken&buigen en additief verbinden.

Beoordeling

De beoordeling van de elektrische aansluiting geschied aan de hand van weegfactoren en een punten toekenning. E1 heeft als weegfactor 3 meegekregen omdat de mogelijkheid voor reparaties van groot belang is voor de levensvatbaarheid van de EL-markering. E2 heeft als weegfactor 1 meegekregen omdat de connector samen met de EL-lagen tijdens het aanbrengen nog geseald kan worden.

Eis	Weegfactor	Klemmen		Prikken & buigen		Additief verbinden	
		Beoordeling	Score	Beoordeling	Score	Beoordeling	Score
E1	3	1	3	4	12	2	6
E2	1	4	4	3	3	2	2
	Totaal		7		15		8

Tabel 13: Beoordeling bestaande connectoren.

5.3.3. Conclusie voor aansluiting

Voor het aansluiten van de EL lagen is het van belang voor de applicator van de wegbelijning dat de connectie ook gemaakt kan worden als de lijn al aangebracht is. Dit betekent dat de lijn van onderen niet meer te bereiken is. Een klem verbinding zal dus na het aanbrengen van de markering niet meer mogelijk zijn om aan te brengen. Prikken is daar uitermate geschikt voor gezien de elektrode door het gehele EL systeem heen prikt. Hierbij moet opgemerkt worden dat er alleen contact gemaakt mag worden met één van de elektroden tegelijk. Additief verbinden is hier in mindere mate ook geschikt voor. Als we de manieren van aansluiten vergelijken op robuustheid zien we dat klemmen het hoogst scoort. Een klem verbinding geeft naast de feitelijke verbinding ook stevigheid mee aan de EL-markering. De totaal score wijst uit dat de aansluiting voor de EL-markering in de richting van een prik techniek gezocht moet worden.

5.4 Conclusie hoofdstuk 5

In dit hoofdstuk is de EL-markering gedetailleerder uitgewerkt. Materiaal K voor de front elektrode is aangepast naar een laag die op het oog vrijwel onzichtbaar is en tegelijkertijd een homogeen oplichtend oppervlak creëert. Naast de detaillering van dit materiaal zijn er ook nieuwe onderdelen waaruit de EL-markering bestaat beschreven. Zo is er een extra toplaag aan het EL-systeem toegevoegd om overdag de markering te kunnen laten functioneren als passieve markering. Ten slotte is er richting gegeven aan het type connector waarmee de EL markering aan het hoofdnet aangesloten kan worden.

6: Productie en applicatie van EL-markering

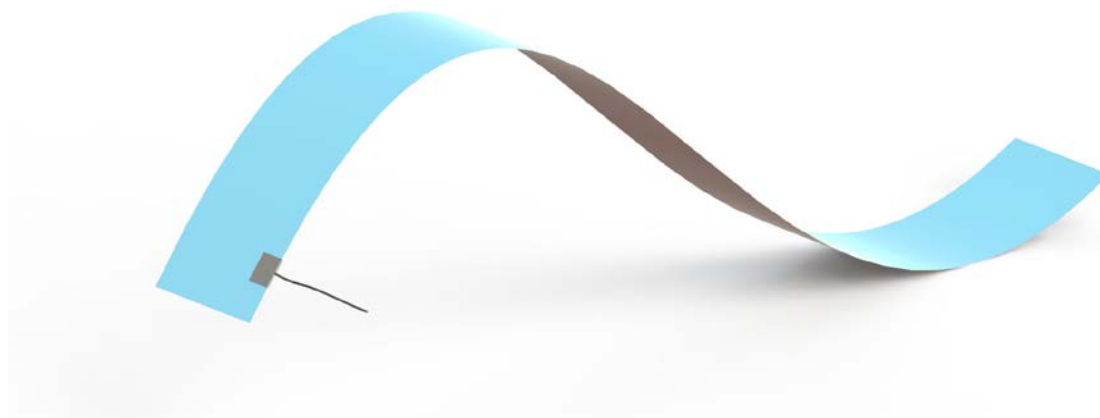
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de onderzoeken in hoofdstuk vier en vijf bij elkaar gevoegd voor de toepassing als wegbelijning. Er wordt eerst gekeken naar de resulterende opbouw van het EL- systeem. Daarna wordt er een proces beschreven hoe de belijning geproduceerd kan worden. Dit is gebaseerd op de informatie die verstrekt is door kennis binnen Parthian Technology en kennis die is opgedaan door de samenwerking met bedrijf Y. Hierna wordt een proces beschreven waarmee de belijning aangebracht zou kunnen worden op het wegdek. Hiervoor wordt kennis gebruikt uit de analyse fase en van interviews met een applicator van bedrijf X. Er wordt ook gekeken naar de elektrische aansluiting in de weg. Ten slotte wordt er een versimpeld overzicht gegeven van de kosten van 1m² belijning. Deze wordt uitgezet tegen de kosten wat 1m² belijning + actiefemarkering nu kost. Het hoofdstuk sluit af met de visualisatie van het product. Omdat het totale EL-systeem, de productie- en applicatieprocessen confidentieel zijn worden deze onderdelen van het hoofdstuk niet weergegeven.

6.1. Overzicht EL-systeem.

6.2. Productieproces EL lagen

Resultaat

Het resultaat is een rol met folie die bestaat uit de vier lagen van het EL-systeem. Deze folie is in twee breedte maten te verkrijgen: 10cm en 20 cm. Dit zijn de gangbare maten voor wegmarkering. Om de 100m lengte zit er een vaste elektrische aansluiting aan de folie vastgeklemd. Het eindproduct is te zien in figuur 55. De afbeelding laat 1 meter folie zien.



Figuur 55; Het eindproduct: een flexibele prefab EL-sheet met aansluiting.

6.3. Aanbrengen EL-markering op het wegdek

Het totale lagensysteem van de EL-markering zal bestaan uit vijf lagen die na elkaar aangebracht worden. Deze lagen zijn allemaal met bestaande technieken aan te brengen. In bijlage C zijn alle markeringstechnieken weergegeven.

1. Primer

De oud-eigenaar van markeringsbedrijf Z geeft aan dat er op het net gelegde asfalt een primer aangebracht moeten worden (Markeringsbedrijf Z, persoonlijke communicatie 09-03-2016) Deze primer is nodig om er voor te zorgen dat de lijn goed hecht aan het oppervlak van het asfalt. Dit is een stap die bij normale wegbelijning ook gebeurt. De primer wordt aangebracht door middel van het vernevelen van de primer op het wegdek.

2. Filler

Omdat er in het asfalt veel holtes zitten moeten deze opgevuld worden om zo luchtzakken te voorkomen. Het zorgt er voor dat de lijn die aangebracht wordt egaal op het asfalt aangebracht kan worden. Een bestaande filler gebruikt kan worden om te voorkomen dat er nieuwe apparatuur nodig is voor het aanbrengen van de filler. De filler wordt aangebracht door middel van een gietsysteem.

3. EL laag (met eventuele extra functionele laag)

Dit is de actieve laag in de EL-wegmarkering. De EL-laag is een prefab laag die op rol wordt aangeleverd en zoals wegdektape op het wegdek geperst of gewalst wordt. Er moet bij het aanbrengen van deze laag goed rekening gehouden worden met de aansluiting op de stroomvoorziening. Als het wegdek erg koud is zal het voorverwarmd moeten worden met een gasbrander om goede hechting te verzekeren.

4. Top laag

Deze laag dekt alle lagen af en zorgt tegelijk voor het inpakken van de elektrische aansluiting en het beschermen van de markering tegen invloeden van buitenaf. In de laag zullen glasparels verwerkt worden die er voor zorgen dat de lijn wit oogt voor de weggebruiker. Na het aanbrengen van de laag worden er nastroopparels over de lijn gestrooid voor de extra reflectie. Deze laag wordt aangebracht door middel van een gietsysteem.

In figuur 56 is de opbouw van de EL-markering te zien. In deze afbeelding is de optionele extra laag met glow pigment als aparte laag weergegeven.

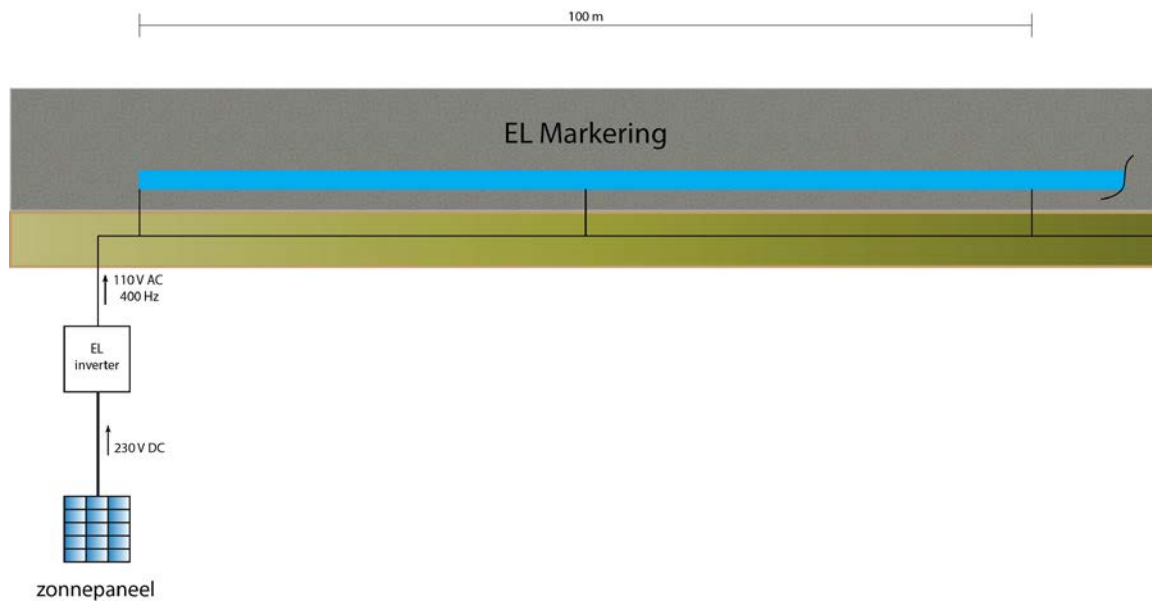
6.4. Elektrische aansluiting

Voor het aansluiten van de EL laag worden er sleuven in het wegdek gefreesd. Deze sleuven maken plaats in het wegdek voor de elektrische aansluiting die al op de EL-lagen is vastgemaakt. In de sleuven word de bekabeling van de EL-markering naar de hoofdleiding naast de weg verwerkt.

Figuur 56; overzicht van de opbouw van de EL-markering. Deze afbeelding is verwijderd om dat deze confidentiële informatie bevat.

Aansturen van de EL-markering

Op het hoofdnet van Nederland staat een spanning van 230 Volt DC. De EL markering heeft een voltage nodig van 110 Volt AC. Er moet dus tussen de EL-markering en de hoofdaansluiting een omvormer geplaatst worden die het signaal omzet naar een geschikt signaal voor de EL-markering. Dit is te zien in figuur 57.



Figuur 57; Schematische afbeelding van de aansluiting van 100 meter EL-markering.

Uitvoeren van reparaties

Bij het uitvoeren van reparaties aan de EL lagen is het onmogelijk om de EL lagen uit de markering te halen. Daarom moet het kapotte stuk uit de lijn gefreesd worden. Dit kapotte stuk wordt vervangen voor een nieuw stuk markering. Dit nieuwe stuk wordt aangesloten door gebruik te maken van een connector met een prik en buig systeem. Om te voorkomen dat door de prikconnector de front en back electrode kortsluiting met elkaar maken is er in de front electrode een uitsparing gemaakt voor de connector van de back electrode en vice versa.

Figuur 58; aangepaste connectoren die een connectie mogelijk maakt om de EL-markering van bovenaf aan te sluiten. Deze afbeelding is verwijderd om dat deze confidentiële informatie bevat.

6.5. Overzicht kosten 1 m² (10m)EL belijning

De berekeningen van de kosten van het EL-systeem zijn te vinden in bijlage L. De kosten voor de primer en de filler zijn niet bekend evenals de kosten van de toplaag met witte kleurpasta en glasbolletjes. Omdat deze lagen in essentie dezelfde materiaalopbouw hebben als de thermoplast wegmarkering worden de kosten voor deze lagen tezamen geschat op 40 euro per m².

Het overzicht van de kosten komt er als volgt uit te zien:

Laag	Kosten per m ²
Primer en filler	€20,-
EL-systeem	€ 125,39
Reflectieve toplaag	€20,-
Totaal zonder glow	€ 165,39
Glow (optionele laag)	€ 65,49
Totaal incl. Glow	€ 230,88

Tabel 15; Kostenoverzicht EL-markering

De kosten van de thermoplast wegmarkering liggen tussen 30 en 40 euro per m². Bedrijf X heeft als eis gegeven dat de kosten van de EL-wegmarkering maximaal 4 keer de prijs van thermoplast zijn. Dit komt uit op een bedrag van maximaal €160. De kosten van de EL-markering overschreiden deze eis net.

Om de kosten van de EL-markering goed in perspectief te zetten moet er ook gekeken worden naar de prijs van 10 meter actieve wegmarkering. De EL-markering gaat immers de concurrentie aan met passieve markering gecombineerd met actieve markering.

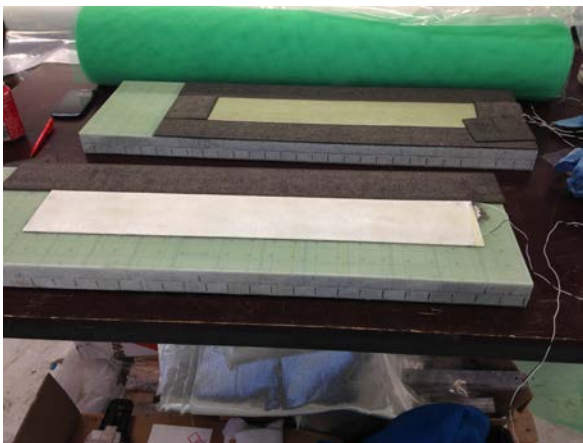
Er mee rekening houdende dat de prijs per roadstud gemiddeld €15,68 is [44] en per 2 meter een roadstud in de weg wordt gemonteerd komt de prijs voor 1m² thermoplast gecombineerd met actieve wegmarkering op $€40 + 5 \times €15,68 = €118,4$.

Als we in de eis van bedrijf X deze prijs verwerken komt de maximale prijs voor de EL-markering op: $€160 + €78,4 = €238,4$

De kosten van de EL-markering zonder glow pigment liggen nu wel binnen de eis. Echter moet er nog rekening gehouden worden met de productiekosten en de montagekosten die nu niet mee zijn genomen.

6.6. Demonstrator

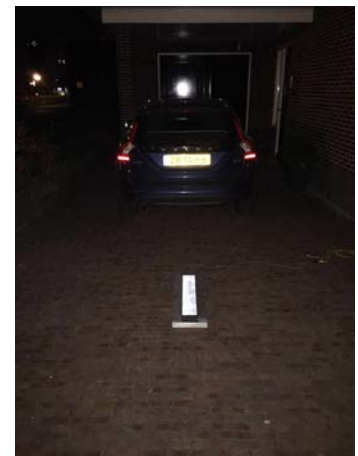
Met de technieken en materialen die vastgesteld zijn in dit verslag is een demonstrator gebouwd. Deze demonstrator gaat fungeren als show model voor de EL-techniek die door Xcite geleverd kan worden. De demonstrator bestaat uit een EL-sheet die gemonteerd is op een plaat van composiet. De EL-sheet is afgewerkt met de witte reflecterende laag die in hoofdstuk 5 is beschreven. De demonstrator is afgewerkt met zwart dakleer dat het gevoel van asfalt geeft. In figuur 59-61 is de opbouw en het functioneren van de demonstrator zichtbaar. Een uitgebreide beschrijving van de demonstrator is beschreven in bijlage N.



Figuur 59; Opbouw van de demonstrator



Figuur 60; EL-markering bij nacht



Figuur 61; Passieve functie van EL-markering

6.7. Conclusie hoofdstuk 6

De ontwikkelde techniek voor de EL-markering is produceerbaar met huidige technieken. Ook het aanbrengen van de EL-markering op de weg is te realiseren met huidige

technieken. De kosten van de EL-markering overschreiden echter de geëiste maximale kosten enigszins. Als de kosten uitgezet worden tegen de kosten van thermoplastische wegmarkering gecombineerd met actieve markering lijken de kosten binnen de gestelde marge te vallen. Op dit moment is meer dan een ruwe schatting echter niet mogelijk. In een vervolgonderzoek moeten de materialen en de productieprocessen verder uitgewerkt worden om de productiekosten, montage- en onderhoudskosten ook in kaart te kunnen brengen.

7. Conclusie en aanbevelingen

7.1. Conclusie

Het doel van deze Bachelor Eindopdracht is: “het verder ontwikkelen van elektroluminescentie voor de toepassing in wegmarkering en daarbij de haalbaarheid van dit product te onderzoeken”. Het resultaat is een productvoorstel voor elektroluminescente wegmarkering.

Eerst wordt er een korte samenvatting gegeven van de resultaten van verschillende analyses en testen. Daarna zal het productvoorstel getoetst worden aan de hand van het programma van eisen, voor zover dat nu mogelijk is. Ten slotte zal er gekeken worden of het voorstel voor elektroluminescente wegmarkering haalbaar is om verder uit te werken.

7.1.1 Samenvatting resultaten

De opdracht was om het reeds ontwikkelde elektroluminescentie systeem verder te ontwikkelen voor de toepassing in wegmarkering en de haalbaarheid van dit product te onderzoeken. Daarvoor zijn een aantal zaken onderzocht en getest; de positie van EL-markering in de markt, de stakeholders, geschikte materialen per EL-laag en de productie- en applicatieprocessen van de EL-markering.

Positie in de markt

Er is duidelijk geworden dat de EL markering in de categorie van actieve- en passieve markering valt. In de eerste markt moet de EL-markering concurreren met de huidige LED-technologie. Doordat de EL-markering zowel actief als passief het verkeer geleid zit het in een unieke plek in de markt waar nog geen concurrerende producten aanwezig zijn.

Stakeholders

De meest invloedrijke stakeholders voor EL-markering is Rijkswaterstaat en het ministerie van infrastructuur en Milieu.

Materialen

Het selecteren en uitwerken van geschikte materialen voor EL-markering is gelukt. In tabel 16 staan de lagen beschreven.

Detallering

Om de EL-techniek te kunnen toepassen in wegmarkering is er een front elektrode ontworpen die een maximale lichtdoorlaatbaarheid heeft en tegelijk onzichtbaar is. Deze front elektrode is aangepast om de EL-markering te gebruiken als DRM systeem. Daarnaast is er een toplaag ontwikkeld die fungeert als passieve markering. Hiervoor is een verf ontwikkeld die zowel wit, lichtdoorlatend en reflectief is. Ten slotte is er een voorstel gedaan voor de elektronische aansluiting van de EL-markering.

7.1.2. Evaluatie aan de hand van het programma van eisen

In bijlage M staat het overzicht van alle eisen en wensen met aangegeven of de eisen gehaald zijn, nog niet gehaald zijn en of er nog verder onderzoek nodig is. In het overzicht is te zien dat het overgrote deel van de eisen en wensen gehaald zijn of bijna gehaald zijn.

De belangrijkste eis die waar geen duidelijkheid over is, is de eis dat de levensduur van de EL-markering minimaal 7 jaar moet zijn. De half time van het EL-pigment is echter “maar” 2600 uur. Dat betekent niet dat de EL-markering niet meer werkt maar de lichtopbrengst is gehalveerd. Hoeveel effect dit heeft op de zichtbaarheid van de markering moet onderzocht worden in een vervolg onderzoek.

De eis dat het elektrische signaal 100 meter ver moet dragen is niet voldoende gehaald. Bij het gebruik van materiaal K als front elektrode zal er een gradient over de EL-markering komen. Om deze gradient te voorkomen dient er om de 48 meter een aansluiting op het stroomnet gemaakt moeten worden.

De kosten van de EL-markering vallen net niet binnen de geëiste marges. Als de kosten uitgezet worden tegen de kosten van thermoplastische wegmarkering gecombineerd met actieve markering lijken de kosten binnen de gestelde marge te vallen. Op dit moment is meer dan een ruwe schatting echter niet mogelijk gezien de kosten van de productie en assemblage processen nog niet uitespecificieerd zijn.

Een deel van de eisen is nog niet getest. Dit zijn vooral de eisen die betrekking hebben op de EL-markering in combinatie met weggebruikers of de omgeving. Hiervoor zullen praktijktesten uitgevoerd moeten worden.

Tabel 16; De resultaten van het materiaal onderzoek. Deze tabel is verwijderd omdat deze confidentiële informatie bevat.

7.1.3 Haalbaarheid

Het resultaat van deze bacheloropdracht beschrijft een ontwikkelde techniek voor het toepassen van elektroluminescentie in wegmarkering. Van de materialen die geselecteerd zijn is bewezen dat ze voldoen aan het merendeel van de gestelde eisen van de stakeholders. De eisen die nog niet gehaald zijn bieden ruimte voor verbetering door middel van vervolg onderzoek of kunnen alleen door middel van praktijktesten getest worden.

Aan de hand van een eerste kostenberekening is te zien dat de EL-markering in de buurt komt van de gewenste marges. De berekeningen zijn gebaseerd op de inkoop van kleine hoeveelheden en huidige applicatietechnieken. De kosten zullen in de toekomst dalen door de inkoop van bulk hoeveelheden en de hoeveelheid grondstoffen die nodig is zal waarschijnlijk dalen doordat het verlies van materiaal bij een volledig machinaal gestuurde productie af zal nemen.

Concluderend kan er gesteld worden dat de ontwikkelde techniek van de EL-markering produceerbaar is en aan te brengen met bestaande technieken. In combinatie met de marktpositie en de verwachte dalende kosten is de EL-markering haalbaar om tot een volledig product uitgewerkt te worden.

7.1.4. Presentatie

Op vrijdag 22 april heb ik het productvoorstel gepresenteerd bij bedrijf X. Na een korte uitleg van het ontwikkelingsproces en de kosten en baten volgde een demonstratie van de EL-markering waarna er tijd was voor vragen. Het productvoorstel werd erg positief ontvangen en er is al gesproken over een vervolgtraject voor de EL-markering.

7.3. Aanbevelingen

Er zijn nog een aantal zaken waar dieper onderzoek naar gedaan zou moeten worden. Dit zijn vooral zaken die de detaillering van de gebruikte materialen beschrijft. De aanbevelingen bevatten confidentiële informatie. Om die reden zijn ze weg gelaten uit deze versie van het verslag.

8. Reflectie

Ten eerste moet ik zeggen dat ik ontzettend veel geleerd heb van deze opdracht. Als industrieel ontwerper was ik nog nooit in aanraking gekomen met elektroluminescentie en diep in gegaan op de natuurkundige principes er achter. Het heeft mij veel inspanning gekost om de stof mij zo goed mogelijk eigen te maken om later te gebruiken als uitgangspunt voor de ontwikkeling van de wegmarkering. Deze opdracht was daarom ook een uitdaging en op dat gebied heb ik erg veel geleerd.

Al voor het begin van mijn opdracht wist ik dat plannen niet mijn sterkste punt is. Tijdens het uitvoeren van de opdracht ben ik hier een aantal keren tegenaan gelopen en is gebleken dat ik dingen soms te positief inschat. Mijn planning heb ik daarom een paar keer moeten aanpassen. Daarnaast heb ik geleerd dat ik aan het begin van iets nieuws graag het proces en resultaat helemaal door denk zodat fouten miniem blijven. Hier ben ik mijzelf een paar keer goed tegengekomen en heb ik geleerd dat succes niet na één poging komt maar ik meer moet vertrouwen op mijn doorzettingsvermogen.

Bij Parthian Technology heb ik ruim drie maanden gewerkt aan mijn bureau op het kantoor, waar ik het enorm naar mijn zin heb gehad. Het was erg gezellig maar tegelijkertijd heerst er ook een zeer productieve werksfeer. Door de kleine omvang van het bedrijf en open sfeer heb ik naast mijn opdracht ook veel geleerd over het contact met klanten en bedrijfsvoering.

Ik ben heel erg blij dat het resultaat van mijn Bachelor Eindopdracht positief is ontvangen bij Parthian Technology en bedrijf X en dat ik binnen Parthian Technology aan het project verder mag blijven werken. Al met al heb ik een hele mooie tijd bij Parthian Technology gehad en kijk ik met een positief gevoel terug op mijn Bachelor Eindopdracht.

Referenties

Alle referenties die zouden kunnen leiden naar confidentiële informatie zijn weggelaten.

- [1] <http://www.parthian.nl/wp-content/uploads/2014/12/magazineSpreads2.pdf>
- [2] <http://www.ankerstuy.nl/en/about-us/>
- [3]
- [4]
- [5] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Condensator#/media/File:Kapacitans.svg>
- [6]
- [7] College chemical engineering University of Twente. Verkregen via Rianne van der Pol.
- [8] Gesprek met Ton Polman op 18-2-2016
- [9] [https://nl.wikipedia.org/wiki/Polarisatie_\(elektriciteit\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Polarisatie_(elektriciteit))
- [10] <http://science.howstuffworks.com/electroluminescent-wire2.htm>
- [11] Van der Pol, R., *Het maken van functioneel composite en het ontwerpen van een demonstrator voor functioneel composiet*, Universiteit Twente, 2015
- [12] <http://www.talkingelectronics.com/projects/Electroluminescence/LitELine02.html> verkregen op 30-01-16
- [13] <http://www.edisontechcenter.org/electroluminescent.html> verkregen op 30-01-16
- [14] Prijs materiaal Z verkregen op 09-03-2016 via:
- [15] Prijs materiaal I op 09-03-2016 via:
- [16] Prijs materiaal C verkregen op 09-03-2016 via:
- [17] Dichtheid materiaal D verkregen op 09-03-2016 via:
Prijs materiaal D verkregen op 09-03-2016 via:
- [18]

- [19] Prijs materiaal A verkregen op 09-03-2016 via:
- [20] Prijs materiaal K verkregen op 10-03-2016 via:
- [21] Richtlijn voor actieve markering, commissie openbare verlichting, Ede, februari 2014.
- [22] https://nl.wikipedia.org/wiki/Dynamische_wegmarkering
- [23] Afbeelding verkregen op 07-01-2016 via:
http://www.intertrafficsystems.nl/intertraffic_systems/Dynamische_Rijstrook_Markering.html
- [24] Afbeelding verkregen op 07-01-2016 via:
<http://www.platformlichthinder.nl/images/actieve-markering.jpg>
- [25] Afbeelding verkregen op 07-01-2016 via:
<http://www.solar-constructions.com/wordpress/solar-wegmarkering/>
- [26] Driegen, E. Van Liere, P. Overkamp, D., *Overijssel, LED-proeftuin*. Verkregen op 07-01-2016 via <http://www.verkeerskunde.nl/integrale-artikelen/overijssel-led-proeftuin.19247.lynkx>
- [27] Informatie over thermoplast, verkregen op 08-01-2016 via:
<http://www.zelfmarkeren.nl/easy-mark-wegmarkeringen.html>
- [28] Informatie over luminiserende markering, verkregen op 08-01-2016 via:
<http://www.ankerstuy.nl/infra/>
- [29] Eger, A.O., Bonnema, G.M., Lutters, E., van der Voort, M.C., *Productontwerpen*, Boom Lemma uitgevers, Den-Haag, 2010
- [30] materiaal I product datasheet verkregen op 08-03-2016 via:
- [31] Oppervlakte weerstand van materiaal I verkregen op 10-03-2016 via:
- [32]
- [33] Prijs materiaal P verkregen op 10-03-2016 via:

- [34] Informatie over het zichtbare spectrum verkregen op 10-03-2016 via:
https://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_sensitivity#cite_note-2
- [35] Informatie over nachtzichtbaarheid verkregen op 10-03-2016
<http://www.visualexpert.com/Resources/nightvision.html>
- [36] Aangeschaft elektroluminescent plaatje verkregen via Sparkfun.com
<https://www.sparkfun.com/products/10799>
- [37] Figuur cos phi compensatie verkregen op 10-03-2016 via:
https://nl.wikipedia.org/wiki/Cos_%CF%86-compensatie
- [38]
- [39]
- [40]
- [41]
- [42]
- [43]
- [44] Prijs LED-roadstud verkregen op 22-03-2016 via:
<http://www.aliexpress.com/w/wholesale-solar-road-marker.html>

Alle figuren die niet genoemd zijn, zijn gemaakt door de auteur.

Bijlagen.

Bijlage A: Toepassingen van elektroluminescentie

Bijlage B: Actieve markering

Bijlage C: aanbrengmethodes passieve markering

Bijlage D: Uitgebreid overzicht stakeholders

Bijlage E: Gesprekken met stakeholders

Bijlage G: Testreports

Bijlage F: programma van eisen en wensen

Bijlage H: Datasheet bedrijf L

Bijlage I: Gesprek en berekeningen Ton Polman

Bijlage J: Maattekeningen front electrode

Bijlage K: Schema EL-aansluitingen

Bijlage L: Kostenberekening 1m² EL-belijning

Bijlage M: Evaluatie aan de hand van het plan van eisen.

Bijlage N: Demonstrator

Bijlage B: Actieve markering

Achtergrond actieve markering

Actieve wegmarkering vervult meer dan één functie en wordt daarom in verschillende situaties en omgevingen toegepast. Hoofdzakelijk wordt actieve markering toegepast op het moment dat de huidige markering niet op een voldoende verkeersveilige manier in de geleiding van het verkeer kan voorzien. In deze situaties kan het een toevoeging zijn op de huidige verlichting. Dit zijn bijvoorbeeld wegvakken met slecht zicht of abrupte wijzigingen in het wegvervolg zoals scherpe bochten. Als de verlichting in deze wegvakken echter geen andere functie heeft dan de geleiding van het verkeer kan actieve wegmarkering zelfs als vervanging dienen van de huidige verlichting[1].

Naast het functioneren als extra verkeersgeleiding wordt actieve wegmarkering ook toegepast om lichthinder te verminderen of te voorkomen. In natuurgebieden waar de flora en de fauna erg afhankelijk is van de cyclus van dag en nacht kan actieve markering wel worden toegepast waar straatlantaarns verboden zijn. Actieve markering is namelijk gericht op de automobilist waardoor de beperkte lichtopbrengst een nihil effect heeft op de flora en fauna[2].

Locaties toepassing actieve markering

Typen wegen:

Alle soorten wegen en fietspaden. De fietspaden worden in dit rapport buiten beschouwing gelaten .

Buiten de bebouwde kom

De wegen buiten de bebouwde kom zijn de grootste toepassingsgebieden voor actieve wegmarkering. De functie van verlichting van het wegdek is in deze gebieden vooral het verloop van de weg tonen. In veel van deze gebieden volstaat alleen actieve markering ook. De wegen kennen een grote verscheidenheid aan verkeersintensiteit waar de actieve markering op aangepast moet worden.

Op autosnelwegen wordt actieve markering toegepast op locaties waar de verkeersintensiteit net onder de grens is waar voor verlichting wordt gekozen of zoals eerder genoemd in natuurgebieden. Op de hoofdrijbaan is het niet waarschijnlijk dat er actieve markering toegepast wordt vanwege de gehanteerde boogstralen. Een boogstraal is de straal die de as van de weg beschrijft. Bij autosnelwegen zijn deze vaak zo groot dat het niet noodzakelijk is om deze overzichtelijker te maken. Op in en uitritten wordt wel gebruik gemaakt van actieve markering.

Binnen de bebouwde kom

Binnen de bebouwde kom wordt er niet veel gebruik gemaakt van actieve markering omdat bij snelheden van 30 km/h de reikwijdte van de koplampen genoeg tijd geeft om te anticiperen op de aankomende verkeerssituatie. Daarnaast wordt er vooral gekozen voor verlichting omwille van de diversiteit in het soort weggebruikers. Plaatsen waar actieve markering wel toegepast kan worden zijn wegen die alleen voor autoverkeer toegankelijk zijn of parken [1].

Bijlage C: aanbrengmethodes passieve markering

De verschillende markeringsproducten worden op verschillende wijzen aangebracht met specifieke machines. Hieronder worden per markeringsproduct beschreven op welke manier de markeringsproducten aangebracht dienen te worden. Het is niet de bedoeling om alle machines uitvoerig te bespreken. Er wordt toegespitst op de basis principes aangezien die ongeacht de evolutie van de machines ongeveer gelijk blijven.

Aanbrengmethode wegenverven

Wegenverv wordt aangebracht door middel van het vernevelen van de verf op het wegdek oppervlak. De systemen waarmee dit gebeurt worden op hun beurt weer onderverdeeld in pneumatische systemen en airless systemen.

Pneumatische systemen

Pneumatische systemen zijn spuitsystemen waarbij de verf onder lage druk naar de spuitkop wordt verplaatst waarna het met extra perslucht de verf verneveld op het wegdek oppervlak wordt gespoten.

Airless

Airless systemen zijn systemen waarbij de verf onder hoge druk naar de spuitkop wordt verplaatst en er geen extra perslucht nodig is om de verf te vernevelen op het wegdek oppervlak.



Figuur 1: Aanbrengen wegenverv [3]

Aanbrengmethode thermoplast

Thermoplast poeder, blokken of korrels moeten eerst verwarmd worden voordat ze aangebracht kunnen worden op het wegdek. De ideale aanbrengingstemperatuur ligt tussen de 150 en 220 graden Celcius, afhankelijk van de harsen die er in zitten. Thermoplasten kunnen via een spuitsysteem of via een gietsysteem op het wegdek oppervlak worden aangebracht. De thermoplast kan alleen aangebracht worden bij een temperatuur van het wegdek van tenminste 8 graden celcius.

Spuitsysteem

Dit zijn thermoplasten met een lage viscositeit die met een verfpistool op het wegdek worden gespoten onder een hoge temperatuur. De werking van het spuitsysteem is hetzelfde als de werking van het pneumatische systeem. De breedte van de aangebrachte streep wordt bepaald door de druk van het pistool en de spuithoogte. De laagdikte is afhankelijk van de druk op het pistool en de snelheid waarmee het pistool voorbeweegt.



Figuur 2; Thermoplast spuiten [4]

Gietsystemen

Het thermoplastische materiaal wordt gesmolten in een ketel en door middel van een extruder in een gietvorm gegoten via waar het op het wegdek oppervlak wordt aangebracht. De gietvorm bestaat uit een bak die door de machine over het wegdek wordt gesleept. De breedte van de streep wordt bepaald door de gietvorm. Voor iedere andere breedte moet er een andere gietvorm gebruikt worden.



Figuur 3; Thermoplast gieten [5]

Aanbrengmethode voorgevormde thermoplast (overlay)

Dit zijn niet-verspuitbare thermoplasten die bij de fabrikant al in de goede vorm en kleur zijn gegoten. Het aanbrengen van de overlay gebeurt handmatig op dezelfde manier als de spuitbare thermoplasten op een geautomatiseerde manier.

Het wegdek wordt voorverwarmd met een gasbrander om het water te verdampen. Wordt dit niet gedaan dan kan zich een water film onder de overlay vormen waardoor de hechting niet goed is. Na het voorverwarmen wordt de overlay op het wegdek oppervlak aangebracht en gelijkmatig verhit totdat het kookt. Hierbij moet uitgekeken worden voor oververhitting. Daarna koelt de overlay af waardoor er een hechting plaatsvindt met het wegdekoppervlak.



Figuur 4: Thermoplast overlay [6]

Aanbrengmethode gelijkde voorgevormde producten

Bij het aanbrengen van gelijkde voorgevormde producten wordt er onderscheidt gemaakt tussen twee systemen:

- Voorgevormde markering dat op het wegdek wordt gelijkmd (overlays)
- Voorgevormde markering dat in de weg wordt geperst (inlays)

Overlays

Het wegdek wordt voorbehandeld door middel van het bestrijken van lijm. De overlay wordt daarna handmatig of halfgeautomatiseerd als een rol tape op het wegdek oppervlak aangebracht. Daarna wordt er met een wals over de overlay heen gereden zodat de markering goed aan het wegdek oppervlak hecht. Wanneer de tape over een scheur of een brugvoeg heen gelegd dient te worden moet de tape 2,5 cm vanaf de scheur of voeg ingesneden worden om flexibiliteit van de scheur of voeg te garanderen.



Figuur 5: aanbrengen overlay [7]

Inlays

Vlak na het verwerken en walsen van het asfalt wordt de inlay aangebracht door middel van walsen. Dit gebeurt in een tot drie werkgangen afhankelijk van het resultaat. Het asfalt heeft dan een warmte van ongeveer 70 graden Celsius. Er wordt gewalst tot de tape voor 50% in het asfalt verzonken ligt. Het nadeel van deze werkwijze is dat het leggen van de markering afhankelijk is van de legging van het asfalt.



Figuur 6: aanbrengen inlay [8]

Bij bestaande wegen wordt er een sleuf in het asfalt gefreesd waarna deze sleuf ingewreven wordt met lijm en de tape in de sleuf wordt gelegd. Daarna wordt de tape aangedrukt middels een handwals.

Aanbrengmethode koudplast

Vlak voor het aanbrengen van de koudplasten wordt een verhardingsmiddel met de koudplast vermengd. Dit gebeurt in een vloeistof-vloeistofprocédé. In een vloeistof- vast procédé wordt het verhardingsmiddel als coating op de nastrooiparels aangebracht. Dit houdt in dat component B zowel vast als vloeibaar kan zijn. Koudplasten harden uit door een polymerisatie reactie tussen de beide componenten.



Figuur 7: aanbrengen koudplast [9]

Referenties

- [1] Richtlijn voor actieve markering, commissie openbare verlichting, Ede, februari 2014.
- [2] Driegen, E. Van Liere, P. Overkamp, D., *Overijssel, LED-proeftuin*. Verkregen op 07-01-2016 via <http://www.verkeerskunde.nl/integrale-artikelen/overijssel-led-proeftuin.19247.lynkx>
- Figuren
- [3] Figuur 1, het aanbrengen van wegverf, verkregen via:
Handleiding voor de uitvoering van wegmarkeringen, opzoekingscentrum voor de wegebouw (OCW), werkgroep CEG 1, Brussel, 2007
- [4] Figuur 2, het spuiten van thermoplast, verkregen op 07-01-2016 via:
http://trafiroad.be/product_images/0001-c24ec1e2-4f14317a-4209-639a1a20.jpg
- [5] Figuur 3, het gieten van thermoplast, verkregen op 07-01-2016 via:
<http://www.kps-cad.nl/images/streppen-nieuwe-sloffen-viamark-025.jpg>
- [6] Figuur 4, het aanbrengen van een thermoplast overlay, verkregen op 07-01-2016 via:
<http://www.viavandalen.nl/p/wegmarkering/3/thermoplast/11>
- [7] Figuur 5, het aanbrengen van een overlay, verkregen op 07-01-2016, via:
http://site.trafiroad.be/product_images/0001-c24ec1e2-4f143cd3-0d16-b094d894.jpg
- [8] Figuur 6, het aanbrengen van een inlay, verkregen via:
Handleiding voor de uitvoering van wegmarkeringen, opzoekingscentrum voor de wegebouw (OCW), werkgroep CEG 1, Brussel, 2007
- [9] Figuur 7, het aanbrengen van koudplast, verkregen op 07-01-2016, via:
http://www.nederlands-wegenmarkeer.nl/images/stories/triflex_foto_047.jpg

Bijlage D: Uitgebreid overzicht stakeholders

Automobilist (primair)

Wie?

Automobilisten die gebruik maken van EL-markering voor begeleiding van de rijroute.

Belangen met betrekking tot EL-markering

De automobilist wil tijdens het rijden over een weg goed kunnen anticiperen op de verkeerssituatie die voor hem ligt. Daarbij is het van belang dat ongeacht de omstandigheden van de weg de wegmarkering zichtbaar is. Op dit moment is in extreme weeromstandigheden de combinatie van reguliere verlichting en wegmarkering slecht zichtbaar en in buitengebieden ontbreken deze soms helemaal. Dit kan voor desoriëntatie bij de automobilist zorgen en dus voor een gevaarlijke situatie op de weg. De automobilist heeft in dit soort situaties groot belang bij verlichte markering die hem begeleidt maar de situatie niet verslechtert. De verlichtende markering moet dus niet verblindend, afleidend of glad zijn. Lichtintensiteit, kleur en oppervlakte ruwheid spelen dus een belangrijke rol. Ook de lichtintensiteit tussen verschillende markeringsdelen mag niet afleiden. Gezien de variërende omstandigheden per automobilist moet de EL-markering op verschillende afstanden bij verschillende snelheden goed zichtbaar zijn.

Applicator (primair)

Wie?

Personen die in een markeringsteam werken en de EL-markering aanbrengen, onderhouden en verwijderen.

Belangen met betrekking tot de EL-markering

Voor de applicator van de EL-markering is het belangrijk dat de manier van aanbrengen op een gelijke manier gebeurt als de andere markeringsproducten. Dit zorgt er voor dat er geen extra scholing nodig is en de applicator met vertrouwde gereedschappen en aanbrengmethodes kan werken. Voor het onderhouden van de belijning is het gemakkelijk voor de applicator om dezelfde gereedschappen te kunnen gebruiken als voor het aanleggen van de belijning. Omdat er vaak kilometers belijning in een keer aangelegd worden dient een continue toevoer van materiaal beschikbaar te zijn zodat er in één keer doorgewerkt kan worden.

De applicator heeft er belang bij dat bij het aansluiten van de EL-markering hij niet onder stroom kan komen te staan. De belijning en de bedrading moet dus goed geïsoleerd worden. Dit is ook voor het onderhoud van belang.

Xcite – materiaal producent (secundair)

Wie?

Xcite is het bedrijf ontstaan uit de samenwerking tussen Anker Stuy Verven en Parthian Technology B.V. Xcite produceert de materialen waaruit de EL-belijning bestaat.

Belangen met betrekking tot de EL-markering

Xcite richt zich voornamelijk op functionele composieten en het ontwikkelen van verfsystemen met speciale pigmenten erin verwerkt. Voor Xcite is het doorontwikkelen van de elektroluminescentie techniek een mogelijkheid om hun positie in de markt voor functionele composieten verder te versterken. De EL-markering is voor Xcite een mooi project om hun kennis en kunde in te laten zien. Er is veel vraag naar duurzame producten en alternatieven voor bijvoorbeeld reclame uitingen, gevel panelen etc. Uiteindelijk zal Xcite een licentie verstrekken aan bedrijf X om gebruik te mogen maken van de ontwikkelde techniek.

Bedrijf X (secundair)

Wie?

Confidentieel

Belangen met betrekking tot de EL-markering

Bedrijf X heeft belang bij nieuwe innovaties in de markt van wegmarkering. Vanuit de overheid wordt de nadruk op duurzaamheid en milieuvriendelijkheid gelegd. Door het ontwikkelen van markeringen die aan deze eisen kunnen voldoen kan bedrijf X zich onderscheiden van andere aannemers. Daarnaast heeft bedrijf X gezien dat Heijmans met de ontwikkeling van de weg van de toekomst bezig is. Door te investeren in EL-markering blijven ze innovatief en kunnen ze hun opdrachtgevers een nieuwe technologie aanbieden die energiezuinig is en het gebruik van de weg verbeterd.

Rijkswaterstaat - wegbeheerder (secundair)

Wie?

Rijkswaterstaat is de uitvoeringsorganisatie van het ministerie van infrastructuur en milieu.

Belangen met betrekking tot de EL-markering

Er is vraag vanuit Rijkswaterstaat naar een systeem waar verlichtende belijning mee gemaakt kan worden. Met deze belijning is het verkeer actief te geleiden naar de goede rijbanen. Provincies zijn op zoek naar een oplossing voor het probleem van licht vervuiling en ze willen de buitengebieden beter kunnen verlichten zonder er verlichting te plaatsen met complete armaturen die veel energie nodig hebben. Rijkswaterstaat heeft belang bij een wegmarkering die al deze functies kan vervullen. Bij het werken aan de wegmarkering moet de rijbaan worden afgesloten wat zorgt voor verkeersoverlast. Rijkswaterstaat is dus gebaat bij een makering die snel aangebracht, gerepareerd en verwijderd kan worden. Bij het uitvoeren van een van deze handelingen heeft Rijkswaterstaat de wens dat het asfalt niet verwijderd hoeft te worden of ernstig beschadigd wordt. Met het oog op milieu en verkeersoverlast wil Rijkswaterstaat graag een belijning met een lange duurzaamheid opgebouwd uit materialen die bij het aanleggen op de weg milieu vriendelijk zijn [1].

Ministerie van infrastructuur en milieu – regelgevende instanties (secundair)

Wie?

Het ministerie van infrastructuur en milieu (IenM)

Belangen met betrekking tot de EL-markering

Het ministerie van infrastructuur en milieu is de wet- en regelgevende macht in Nederland als het om infrastructuur en milieu gaat. Het ministerie bepaald aan welke wetten en regelgeving Rijkswaterstaat zich moet houden bij het aanleggen van nieuwe wegen en markering. Het ministerie streeft naar een vlotte doorstroming in een goede ingerichte, schone en veilige omgeving. Het heeft dus indirect ook belang bij markeringsproducten die bijdragen aan dit streven. Om dit streven te bereiken heeft het ministerie onder andere aangeschreven op het gebruik van de Aanbeveling Actieve Markering die uitgegeven is door de Nederlandse Stichting voor Verkeerskunde (NSVV). Hierin staan de richtlijnen voor het ontwerpen van en met actieve markering. Daarnaast zijn voor de aanleg van autosnelwegen, N-wegen en openbare verlichting ook richtlijnen geschreven[2].

Referenties

[1] Informatie over wegbeheerder Rijkswater staat, verkregen op 08-01-2016, via www.rijkswaterstaat.nl/over-ons

[2] Informatie over het ministerie van infrastructuur en milieu, verkregen op 08-01-2016, via

Bijlage E: gesprekken met stakeholders

Gedurende de drie maanden dat ik rondliep bij Xcite in Hengelo en bij verschillende meetings heb gezeten heb ik gesprekken gevoerd met Evert Jan Temmink, Martijn Willemsen, Emile Stuy en Armand Stuy van Xcite. Personen van bedrijf X en een persoon van markeringsbedrijf Z. Bij deze gesprekken is geen vragenlijst afgelopen omdat de werksfeer bij Xcite zo is dat er continue overleg plaatsvindt tussen de medewerkers. Daarnaast zijn de gesprekken met externe partners vaak in een meeting vorm gehouden of telefonisch geweest. In plaats van een vragenlijst op te stellen is er daarom gekozen voor een vrij gesprek waarbij er rekening is gehouden met de onderwerpen waarover informatie nodig was. Deze techniek wordt beschreven in het boek productontwerpen van Eger et al (2010). De onderwerpen zijn door mij per gesprek bijgehouden en afgevinkt. De onderwerpen die per stakeholder aan bod zijn gekomen voor de uitvoering van de stakeholderanalyse zijn hieronder opgesomd.

Xcite

- Opbouw van het bedrijf Xcite
- Expertise van Xcite
- Rol van Parthian en Anker Stuy Verven in Xcite
- Belangen van het bedrijf in elektroluminescentie
- Belangen van het bedrijf in EL-markering
- Businessmodel voor de EL-markering

Bedrijf X

- Expertise van bedrijf X
- Stand van de techniek van elektroluminescentie bij Xcite (d.m.v. presentatie gegeven door mij)
- Belangen van bedrijf X in EL-markering
- Ontwikkelings en testtraject van nieuwe wegmarkeringen
- Partners van bedrijf X
- Aanleggen van wegmarkeringen

Bij het bezoek aan markeringsbedrijf Z is er deels gebruik gemaakt van een vragenlijst. Deze vragenlijst is via mail opgestuurd naar de eigenaar zodat hij zich voor kon bereiden op de onderwerpen. De vragenlijst is hieronder weergegeven.

Interview met de eigenaar van markeringsbedrijf Z

Locatie: X

Datum: 09-03-2016

Algemeen.

1. Hoeveel km belijning wordt er gemiddeld in 1 projectdag aangelegd?

Gemiddeld wordt er met een snelheid van 2 km per uur gemarkeerd. Dit is afhankelijk van het soort materiaal. Het liefst heb je een machine die niet hoeft te stoppen.

2. Wat zijn de kosten van wegbelijning?

De kosten voor 1m² thermoplast liggen tussen €30 en €40.

3. Wat is het grootste probleem waar de applicator tegen aan loopt?

Het grootste probleem is het gebrek aan tijd. Vaak is er maar 3 uur de tijd om een nieuwe weg te markeren. Het is dus van belang dat er continu gemarkeerd kan worden.

Materiaal.

1. Heeft de ondergrond (weer) invloed op de te gebruiken materialen? Zo ja, hoe wordt daar mee om gegaan?

Ja de ondergrond en het weer hebben invloed. Niet zozeer op de gebruikte materialen maar op het aanbrengproces. Als er gemarkeerd wordt moet er altijd een primer op de weg aangebracht worden om een goede hechting te garanderen.

Op een vochtig wegdek kan er niet gemarkeerd worden omdat de verf niet hecht. Er kan watergedragen wegenverf worden gebruikt maar die heeft een uithardingstijd van 20 uur. Dit houdt in dat de weg een dag afgesloten moet worden. Dat is geen optie.

Bij het aanbrengen van tape moet het wegdek 24 uur voor en na het aanbrengen droog zijn. Of het wegdek moet gedroogd worden met een heater.

2. Welke typen materiaal worden gebruikt?

Thermoplast dat gegoten of gespoten wordt.

3. Wat maakt de keuze voor het materiaal?

Lange stukken rechtdoor wordt thermoplast gebruikt

Voor figuren of moeilijke markeringen wordt vaak prefab belijning gebruikt

Inlay methode wordt alleen gebruikt voor korte stukjes.

Voor tijdelijke markering wordt vaak tape gebruikt

Voor markeringen met ribbels wordt agglomeraat of dot-markering gebruikt.

4. Wat zijn de voor en nadelen van prefab materialen?

De voordelen van prefab zijn de snelle reparaties. Het nadeel is dat het arbeidsintensief is.

5. Is het mogelijk om met prefab materialen de bocht om te gaan?

Het is alleen mogelijk om flauwe bochten te maken. Of er moeten inkepingen in het materiaal gemaakt worden.

6. Welk materiaal heeft de voorkeur bij de applicator en waarom?

Thermoplast heeft nu de voorkeur omdat het gemakkelijk op te slaan en te vervoeren is. De gietmethode wordt het meest gebruikt. De spuitmethode is duurzamer omdat er minder materiaal wordt gebruikt. Met 450L verf kan een lijn van 600m lang en 10cm breed gelegd worden.

Agglomeraat is alweer op zijn terugweg. Het spul levert te veel restmateriaal en is niet duurzaam.

Ik heb slechte ervaring met koudplast. Dit wordt heel snel vuil en vies nadat het opgebracht is.

Aanbrengmethodes.

1. Wat is de algemene procedure voor het aanbrengen van wegmarkering?

Algemene procedure voor het aanbrengen van markering:

1. Voormarkeren – *innovatie in GPS gestuurde machines. Door data-points te gebruiken hoeft er niet meer voorgemarkeerd te worden.*
2. Primer aanbrengen
3. Half uurtje wachten voor het drogen van de primer
4. Aanbrengen van de wegmarkering
5. Nastrooien met glasparels

2. Wat zou hier aan verbeterd/ veranderd kunnen worden?

De droogtijd van de markering bepaald hoe snel er gemarkeerd kan worden. Ook het klimaat en de ondergrond heeft veel invloed. Als je een markeringsproduct kan bedenken wat op waterbasis is en een droogtijd heeft van een half uur heb je goud in handen.

3. Welke apparatuur gebruikt u het meest?

Voor kleine stukken markering wordt een handmarkeerder gebruikt. Dit zijn karretjes met een bak waar thermoplast in zit. Er rijdt een ketelwagen mee met de voorraad thermoplast.

4. Hoe worden reparaties uitgevoerd? En hoeveel tijd mogen deze kosten?

Er wordt over de oude/ kapotte markering heen gemarkeerd of de markering wordt eerst met een waterstraal onder hoge druk weggespoten.

5. Wat is de minimale tijd waarin één meter asfalt voorzien kan zijn van markering?

Er wordt gemarkeerd met een snelheid van 1 tot 2 km per uur. In een weekend wordt er ongeveer 20 km belijning aangelegd.

Belangrijke informatie

- Leverancier van wegenproducten is Veluvine
- Er moet een watergootje aangebracht worden van minimaal 2cm en maximaal 5 cm breed.
- Heijmans legt markering aan met een watergootje in de markering. Dit zijn doorgetrokken strepen met kleine verlagingen.
- Oplosmiddel mag niet gebruikt worden in de wegenverf.
- De dikte van de wegbelijning is maximaal 3 mm.

Bijlage F: programma van eisen en wensen

Plan van eisen en wensen

	Requirement	Specifications	Shall/Should/May	Remarks
Visibility	Minimum brightness in all directions of travel	1 cd	shall	
	Maximum brightness (not blinding)	5 cd	should	
	Maximum deviation of brightness between two light elements in the same active system	1.5 cd	may	
	Frequency of emitted light	>100Hz	should	
	The horizontal angle of radiation needs to be just so that the user can see the light element from any position on the road.	Depends on distance from user to element	shall	
	The vertical angle of radiation needs to be just so that the light element is visible between a height of 2,5m (truckdriver) and 1,25 m (car driver) above the road. At all the distances stated at requirement 12.		shall	
	The colour has to be the same as the passive marking colour	White	should	
	Tunable colors	Blue, green, white, maybe red	may	
	Retroreflectiveness (not blinding)	<20 cd	shall	
	sight distance at 100, 80, 60, 40 (km/h)	140m, 105m, 55m, 37m	shall	
Durability	The colour may not distract the driver from his driving	No red, green or blue	shall	
	Build in reflectors	Need to meet the NEN-EN 1463-1, reflectionclass 3	shall	Does not apply to glasspearls
	Time until EL- marking will be at its halftime	7 years to halftime	shall	
	Hours to halftime of EL pigment	>2600h	should	
	Hours to breakdown of EL pigment	>5200h	should	
	Breakdown voltage of dielectrum	>500V	shall	
	Hours to breakdown of dielectrum	>3000h	should	
Reliability	Lifetime of the light element including every part and accesories needs to be equal to the remaining lifetime of the asphalt it is put into.	Min 7 years, max 20 years	should	Dependend on lifetime of EL pigment
	No release from the road certain time	12 yr	should	
	Easy to produce	Produce with a continues output	shall	
	Temperature	All electrical parts, casing and sealing should be usable between a environmental temperature of -30 degrees and + 80 degrees Celcius	shall	
	Water resistant		shall	
	Erosion resistant		should	
	Dust resistant		shall	
	The EL marking should have a rough surface	Class 2: SRT > 55	shall	
	Resistant against forces of acceleration of a snowplow		should	
	Resistant against forces of braking of a snowplow		should	
	sneeuw/pekel (m.n. sneeuwschuivers-borstels)		shall	
	Resistant against forces of high weight of a snowplow	<50000kg	should	
	Kiwa certified materials	KIWA certification	may	
Attachment to road	The casing and optional cable should be protected against dust and moist		should	
	Applying the EL-marking should be done in a continues workflow	Within 10 min per light element	should	
	Road preparation is allowed		may	
	Fast application	1000 m/h	should	
	Placing the light element should not cause early write-off of the asphalt		should	
	The light element should, with the help of special tools, be easy to change. Including the repair of optional wiring and aiming and adjusting the lightelement	Max. 10 min per light element	shall	
Maintenance & repairs	Maintenance should not be needed more often then regular active marking.		should	
	A light element or parts of it, should not be removable within 10 minutes without the use of special tools	< 10 min	shall	
	The EL- marking has to be partial replacable		shall	
	All parts that are unreleasebale stuk to the asphalt have to be able to be milled out		shall	
	Special release method for replacement		may	
Electricity	The EL-marking should be operated at a maximum Voltage	110VAC	should	
	Specific frequency of the AC signal	> 400Hz	should	
	Length per signal	> 100m	should	
	Fast connection to electric circuit	"Plug and play" connection	shall	
	Power that is needed to operate EL-marking	Max. 300W per square	shall	
EL layers materials	The EL layers should be as thin as possible to achieve a low power EL system	Total of layers < 3 mm	shall	
	Applying the layers should not be sensitive to errors		should	
	The EL layers should be made of the optimal materials to achieve a low power EL system		shall	
	EL layers should be made with compatible paint layers		should	
	Bottom conductive layer should have low resistance	< 1 0 Kohm per square meter	should	
	Top conductive layer should have a low resistance	< 10 kohm per square meter	shall	
El-marking dimensions	Top conductive layer has to be transparant		shall	
	Max width of EL-marking	20 cm	shall	
	Min width of EL-marking	10 cm	shall	
	Max length of EL-marking	infinite	shall	
	Min lenght of EL-marking	1m	should	
	Max height of EL-marking	3 mm	shall	
Safety, security & environmental health	Max angle of tangent corners of EL-marking (in direction of travel)	140 degrees	should	
	The EL-marking shall not be combustible/ flammable		shall	
	Damage or interruption of the light element should not endanger the traffic		should	
	A light system with cables attached to it should have a form of security that signals a large power cut		shall	
	Systems that detect the presence of traffic should be equiped with a security measure that secures the technical functioning as well as the probability of the absence of traffic.		shall	
	The EL-marking should be made of certiffite materials		shall	
Production	All parts that are unreleasebale stuck to the asphalt have to be able to be milled out without contaminating the asphalt		shall	
	Low production costs	3- 4 keer thermoplast	should	Total price thermopast is 30-40 euro/m2
	Low material costs	3- 4 keer thermoplast	should	
	Low assembly costs	3- 4 keer thermoplast	should	
	Non-stop production should be possible		should	
Activation	Long storage time	> 1 year	should	
	A system of lights should be activated when the environmental daylight is too low to drive safely	<10 lux	shall	Individual powered elements turn on when daylight <20 lux
	Activation should be done without the driver noticing.		should	It has to seem that the system is always turned on
DRM compatible	The EL-marking may be suitable as a DRM system		may	

Bijlage G: Test-reports

Deze bijlage is confidentieel.

Bijlage H: Datasheet bedrijf L

Deze bijlage is confidentieel.

Bijlage I: Gesprek en berekeningen Ton Polman

Datum: 18-02-2016

Aanwezig: Ton Polman (bedrijf Y) en Goffe-Jan Mellema

Onderwerp: Dielektrische verliezen in een condensator.

Verlieshoek

Een ideale condensator heeft een verlieshoek van $\cos \phi = 0$. Dit houdt in dat er geen dissipatie (= verlies van energie) optreedt en er geen verliezen in capacitieve stroom zijn in de condensator.

Als er lagen toegevoegd worden tussen de condensator platen ontstaat er sowieso een verlieshoek die groter is dan $\cos \phi = 0$. Er wordt dan capacitieve stroom omgezet in warmte energie en fotonen. Dit is het licht wat we zien. Echter is dit maar een heel klein beetje van de het licht wat we zien.

Het licht wat we zien wordt vooral veroorzaakt door de wisselspanning die de dipolen in het BaTiO₃ om laten slaan. Hierdoor ontstaat er een wrijvingsenergie die voor een deel omgezet wordt in warmte en ook voor een deel de elektronen in het luminescente materiaal aanslaan en zo omgezet wordt in lichtenergie.

Invloed voltage op hoeveelheid luminantie.

Het voltage heeft invloed op de hoeveelheid capacitieve stroom dat gaat lopen tussen de condensator platen. Doordat het voltage omhoog wordt geschroefd worden de condensator platen meer geladen. Er ontstaat een hogere veldsterkte waardoor de gepolariseerde moleculen meer energie nodig hebben om om te slaan (er wordt door de polen harder aan ze getrokken). Hierdoor ontstaat er meer wrijvingsenergie en dus worden er meer elektronen in het luminescente materiaal aangeslagen.

Invloed frequentie op hoeveelheid luminantie.

De frequentie van het AC signaal heeft invloed op de snelheid waarmee de dipolen omgeklapt worden. Bij een hogere frequentie wisselt de spanning sneller van pool waardoor de dipolen ook sneller omgeklapt worden. Bij een hogere frequentie komt dus vaker per seconde wrijvingsenergie vrij van de dipolen. Dit zorgt er voor dat er per seconde ook meer elektronen aangeslagen worden in het luminescente materiaal met als gevolg dat er meer licht uitgezonden wordt en het EL laminaat feller schijnt.

Doorslaan

Als het dielektricum de doorgestuurde lading niet meer aan kan krijgt het een breakdown. Dit kan gepaard gaan met een verbranding waardoor er een gat in het dielektricum gebrand wordt. Door de verbranding wordt dit gaatje gevuld met koolstof wat de twee conductieve platen direct met elkaar verbindt met kortsluiting tot gevolg.

Luchtinsluitingen

Bij het aanbrengen van de verf kan er tussen de lagen of in een van de lagen verf een luchtinsluiting komen te zitten. In deze insluitingen zit ook zuurstof. Bij een hoge veldsterkte is er een kans dat het zuurstof omgezet wordt in ozon (O₃). Ozon is zeer agressief en bijt door alle lagen heen waardoor er ook kortsluiting kan ontstaan in het EL laminaat.

Berekeningen.

Folie van 10x10cm bemeten met een RCL meter van Hameg

Frequentie [Hz]	C [nF]	Rp [k]
100	34	669
400	32	237
500	32	192
600	32	161
700	32	133
800	32	120
900	32	105
1000	32	92
10.000	29	0.066

➔ Deze folie is voor 400Hz met 60V geschikt.

Bij 60 Vac hebben we een elektrisch vermogen van $60/1.4 \cdot 2 / 237 = \sim 8\text{mW}$ nodig. De vraag is nog wat het rendement hiervan is. Hoeveel van de dielectrische verliezen worden daadwerkelijk in licht omgezet?

De capacitive stroom die er gaat lopen is $60 \cdot (2\pi \cdot 400 \cdot 32 \cdot 10^{-9}) = 5\text{mA rms}$

We stoppen dan $60\text{V} \cdot 5\text{mA} = 0.3\text{VA}$ aan reactief vermogen in de folie.

Wat gaat een lange strook doen?

Vermogen.

Als we deze waarde nu eens extrapoleren naar een strook van 100m lengte en 10cm breedte: $1000 \cdot 10 = 100.000\text{ cm}^2 \rightarrow$ de folie die we bemeten hebben was 100cm^2 , dus alles wordt een factor 1000 meer.

Elektrisch vermogen: 8W; reactief vermogen 300VA.

Wat je zo ziet is dat de capacitive stroom aan het begin van de strook wel heel hoog wordt: 5Arms. Dit betekent een forse gradient over de strook door ohmse verliezen indien we deze erg lang maken (daarom maar even 100m aangehouden). Voorkeur zou een symmetrische voedingsaansluiting zijn (ongeveer in het midden van de strook).

Spanning

Als we een spoorbreedte van 5mm aanhouden en een dikte van 10um wat mag dan de lengte zijn indien we het spanningsverlies willen beperken tot 5Vac.

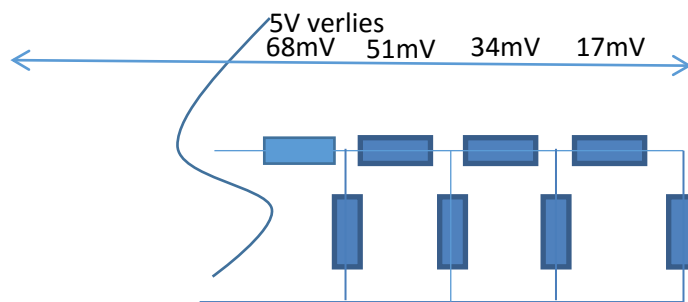
Oppervlakte $A = 10\text{E}-6\text{ m} \cdot 5\text{E}-3\text{ m} = 50\text{E}-9\text{ m}^2$

Soortelijke weerstand materiaal K $1.68\text{E}-8\text{ Ohm/m}$

De weerstand van het spoor per meter: $R = L \cdot \rho / A = 1.68\text{E}-8 / 50\text{E}-9 = \mathbf{0.34\text{ Ohm}}$

De capacitive stroom per meter **50mA**

Pas bij 24 meter zitten we op 5V verlies. Dit betekent dat 24 meter links en 24 meter rechts van de aansluiting een verlies van 5V optreedt.



Bijlage J: Maattekeningen front elektrode

Deze bijlage is confidentieel.

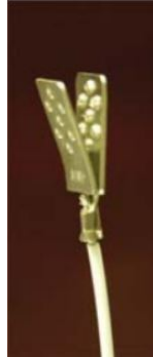
Bijlage K: Schema EL-aansluitingen

Type
aansluiting
Klemmen

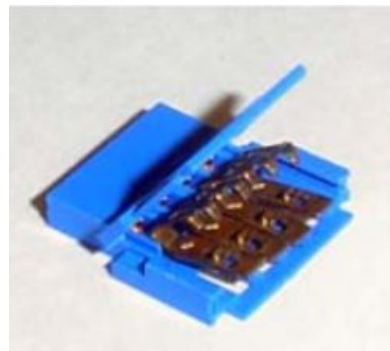
ETCO klem



TYCO klem



FCI connector



Prikken &
buigen

Crimpflex



AMP
connector



Grommet

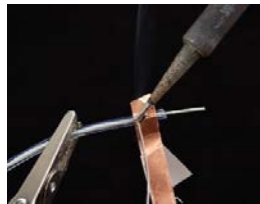


Aditief
verbinden

Lijm verbinding



Solderen



Bijlage L: Kostenberekening 1m² EL-belijning

Deze bijlage is confidentiëel.

Bijlage M: Evaluatie aan de hand van het plan van eisen.

Evaluatie aan de hand van plan van eisen en wensen

	Requirement	Specifications	Shall/Should/May	Validation
Visibility	Minimum brightness in all directions of travel	1 cd	shall	
	Maximum brightness (not blinding)	5 cd	should	
	Maximum deviation of brightness between two light elements in the same active system	1.5 cd	may	5V verschil per 24m.
	Frequency of emitted light	>100Hz	should	
	The horizontal angle of radiation needs to be just so that the user can see the light element from any position on the road.	Depends on distance from user to element	shall	Moet een praktijktest uitwijzen
	The vertical angle of radiation needs to be just so that the light element is visible between a height of 2,5m (truckdriver) and 1,25 m (car driver) above the road. At all the distances stated at requirement 12.		shall	Moet een praktijktest uitwijzen
	The colour has to be the same as the passive marking colour	White	should	
	Tunable colors	Blue, green, white, maybe red	may	
	Retroreflectiveness (not blinding)	<20 cd	shall	
	sight distance at 100, 80, 60, 40 (km/h)	140m, 105m, 55m, 37m	shall	Moet een praktijktest uitwijzen
Durability	The colour may not distract the driver from his driving	No red, green or blue	shall	
	Build in reflectors	Need to meet the NEN-EN 1463-1, reflection class 3	shall	Geldt niet voor glaspixels
	Time until EL-marking will breakdown	7 years to breakdown	shall	Moet een praktijktest uitwijzen
	Hours to halftime of EL pigment	>2600h	should	
	Hours to breakdown of EL pigment	>5200h	should	EL-pigment gaat niet kapot
	Breakdown voltage of dielectricum	>500V	shall	
	Hours to breakdown of dielectricum	>3000h	should	Moet nog getest worden
Reliability	Lifetime of the light element including every part and accessories needs to be equal to the remaining lifetime of the asphalt it is put into.	Min 7 years, max 20 years	should	Half-time EL is 2600 uur
	No release from the road certain time	12 yr	should	Vervolg onderzoek naar lijmlaag
	Easy to produce	Produce with a continuous output	shall	
	Temperature	All electrical parts, casing and sealing should be usable between an environmental temperature of -30 degrees and +80 degrees Celsius	shall	EL-pigment tot 200 graden C. Barium tot 100 graden C.
	Water resistant		shall	Moet nog getest worden
	Erosion resistant		should	Moet nog getest worden
	Dust resistant		shall	Moet nog getest worden
	The EL marking should have a rough surface	Class 2: SRT > 55	shall	Moet nog getest worden
	Resistant against forces of acceleration of a snowplow		should	Moet een praktijktest uitwijzen
	Resistant against forces of braking of a snowplow		should	Moet een praktijktest uitwijzen
	sneeuw/pekkel (m.n. sneeuwschuivers-borstels)		shall	Moet een praktijktest uitwijzen
	Resistant against forces of high weight of a snowplow	<50000kg	should	Moet een praktijktest uitwijzen
	Kiwa certified materials	KIWA certification	may	
	The casing and optional cable should be protected against dust and moist		should	Er wordt geen casing gebruikt
Attachment to road	Applying the EL-marking should be done in a continuous workflow	Within 10 min per light element	should	
	Road preparation is allowed		may	Primer en filler worden aangebracht
	Fast application	1000 m/h	should	Moet een praktijktest uitwijzen
	Placing the light element should not cause early write-off of the asphalt		should	EL-markering is gesealed
	Placing the light element should not bother or endanger the traffic when it is run over.		should	EL-markering is gesealed
	The light element should, with the help of special tools, be easy to change. Including the repair of optional wiring and aiming and adjusting the lightelement	Max. 10 min per light element	shall	Er moet gefreesd worden
Maintenance & repairs	Maintenance should not be needed more often than regular active marking		should	Moet een praktijktest uitwijzen
	A light element or parts of it, should not be removable within 10 minutes without the use of special tools	< 10 min	shall	EL-markering is gesealed.
	The EL-marking has to be partial replaceable		shall	
	All parts that are unreleasable stuck to the asphalt have to be able to be milled out		shall	
Electricity	Special release method for replacement		may	Er moet gefreesd worden
	The EL-marking should be operated at a maximum Voltage	110VAC	should	
	Specific frequency of the AC signal	> 400Hz	should	
	Length per signal	> 100m	should	Lengte van signaal is 24 meter
	Fast connection to electric circuit	"Plug and play" connection	shall	
EL layers materials	Power that is needed to operate EL-marking	Max. 300W per square	shall	
	The EL layers should be as thin as possible to achieve a low power EL system	Total of layers < 3 mm	shall	
	Applying the layers should not be sensitive to errors		should	Er wordt gebruik gemaakt van prefab tape
	The EL layers should be made of the optimal materials to achieve a low power EL system		shall	Moet een praktijktest uitwijzen
El-marking dimensions	EL layers should be made with compatible paint layers		should	
	Bottom conductive layer should have low resistance	< 10 Kohm per square meter	should	Niet haalbaar voor markering
	Top conductive layer should have a low resistance	< 10 kohm per square meter	should	
	Top conductive layer has to be transparent		shall	
	Max width of EL-marking	20 cm	shall	
	Min width of EL-marking	10 cm	shall	
	Max length of EL-marking	infinite	shall	
Safety, security & environmental health	Min length of EL-marking	1m	should	
	Max height of EL-marking	3 mm	shall	
	Max angle of tangent corners of EL-marking (in direction of travel)	140 degrees	should	Moet een praktijktest uitwijzen
	The EL-marking shall not be combustible/ flammable		shall	Moet een praktijktest uitwijzen
	Damage or interruption of the light element should not endanger the traffic		should	Moet een praktijktest uitwijzen
	A light system with cables attached to it should have a form of security that signals a large power cut		shall	Vervolg onderzoek naar systeem
	Systems that detect the presence of traffic should be equipped with a security measure that secures the technical functioning as well as the probability of the absence of traffic.		shall	Vervolg onderzoek naar systeem
Production	The EL-marking should be made of certifie materials		shall	
	All parts that are unreleasable stuck to the asphalt have to be able to be milled out without contaminating the asphalt		shall	
	Low production costs	3- 4 keer thermoplast	should	Vervolg onderzoek naar productie
	Low material costs	3- 4 keer thermoplast	should	Tijdens productie wordt geassembleerd
	Low assembly costs	3- 4 keer thermoplast	should	
Activation	Non-stop production should be possible		should	
	Long storage time	> 1 year	should	EL-pigment = half jaar
	A system of lights should be activated when the environmental daylight is too low to drive safely	<10 lux	shall	Vervolg onderzoek naar systeem
DRM compatible	Activation should be done without the driver noticing.		should	Vervolg onderzoek naar systeem
	The EL-marking may be suitable as a DRM system		may	

Bijlage N: Demonstrator

Deze bijlage is confidentieel.