

Eindverslag Topsector Energiestudie  
TESN118036

**Optical & thermal bonding van VideowindoW  
modules met een dragende glasplaat**



29 April 2019

Een TSE Haalbaarheidsstudie van:

**VideowindoW B.V.**  
Henriette Ronnerstraat 24  
1073 KR Amsterdam

**Roba Engineering B.V.**  
Ambachtenstraat 48  
1191 JN Ouderkerk aan de Amstel

**Confidentiality clause**

*This document is confidential. The material in this project plan is for use by the committee of "de Subsidiemodule Topsector Energieprojecten of the Regeling nationale EZ-subsidies," RVO and its employees only and is provided solely for the purpose of information in relation to the application for the subsidy application. Neither the whole nor any part of this document may be disclosed to any third party without the prior written consent of VideowindoW B.V. The copyright of this document is vested in VideowindoW B.V., 2019.*

# Inhoud

<b>1. Projectgegevens</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Inleiding</b> .....	<b>3</b>
2.1 Achtergrond en aanleiding .....	3
2.2 Doelstelling .....	3
<b>3. Uitvoering</b> .....	<b>4</b>
3.1 Technische haalbaarheid .....	4
3.2 Economische haalbaarheid .....	5
<b>4. Resultaten</b> .....	<b>6</b>
4.1 Resultaten technische haalbaarheid .....	6
4.2 Resultaten economische haalbaarheid .....	10
<b>5. Conclusie</b> .....	<b>13</b>
5.1 Conclusie technische haalbaarheid .....	13
5.2 Conclusie economische haalbaarheid .....	14
5.3 Energiebesparing en CO <sub>2</sub> -reductie .....	14
5.4 Projectconclusie .....	14
<b>6. Communicatie</b> .....	<b>15</b>
<b>7. Financiën</b> .....	<b>15</b>
7.1 Exploitatieoverzicht Videowindow B.V. ....	15
7.2 Exploitatieoverzicht Roba Engineering .....	15
7.3 Financiering .....	16

## 1. Projectgegevens

Referentienummer:	TESN118036
Projecttitel:	Optical & thermal bonding van VideowindoW modules met een dragende glasplaat
Penvoerder:	VideowindoW B.V.
Samenwerkingspartner:	Roba Engineering B.V.
Contactpersoon:	Mark Oudenhoven
Begin- en einddatum project:	11 juli 2018 – 31 januari 2019

## 2. Inleiding

### 2.1 Achtergrond en aanleiding

In de gebouwde omgeving wordt logischerwijs veel gebruik gemaakt van (veel) glas. Het beschermt tegen de elementen, maar is tegelijkertijd transparant zodat het in de behoefte aan uitzicht en daglicht voorziet. Daglicht varieert echter met het verstrijken van de dag en is afhankelijk van het seizoen en heersende weertype. De controle hierover met zonwering is dan ook onlosmakelijk verbonden met het aanwezige glas. Reeds bestaande zonwering-oplossingen maken echter zonder uitzondering inbreuk op de transparantie van glas: conventionele, mechanische zonweringen zijn als het ware aan/uit oplossingen: óf er is daglicht óf het wordt (deels) verduisterd, waarbij de transparantie vaak echter helemaal verloren gaat.

VideowindoW beoogt de ontwikkeling van een nieuw type zonwering, waarbij deze noodgedwongen keuze niet meer gemaakt hoeft te worden. Deze nieuwe zonwering moet gaan bestaan uit transparante modules (tussen het glas) die -niet zichtbaar- in kleine onafhankelijk aan te sturen LCD-segmenten (14x14mm) zijn verdeeld, die ieder in 16 graduele stapjes tussen vrijwel transparant en niet-transparant kunnen worden ingesteld. Het zicht op de externe omgeving blijft hierbij mogelijk. Door de afzonderlijke aansturing per vakje (pixel) in 16 tinten grijs met 60Hz en door een synchrone, samenhangende en hoogfrequente aansturing van tienduizenden pixels, kan zo een beeldscherm in het glas ontstaan, dat naast 16 verschillende, hoogfrequent aanpassende gradaties verduistering zo tevens mediacontent kan afspelen.

Doordat warmte en licht worden geblokkeerd als de segmenten/pixels donker worden, kan in de ruimte energie worden bespaard op koeling (minder airco nodig) en verlichting (minder binnenverlichting nodig doordat er nog wel licht binnenkomt).

De afgelopen 1,5 jaar hebben de oprichters van VideowindoW hard gewerkt aan een Proof of Principle (PoP) van het kernproces: het synchroon, samenhangend en hoogfrequent kunnen aansturen van de 14x14mm pixels in 16 gradaties. Doordat de modules echter erg warm (tot zo'n 70°C) worden door IR-absorptie, is koeling nodig. Het PoP werkt met actieve, mechanische luchtkoeling, waarbij er ruimte tussen een glasplaat en de VideowindoW module is waar koele lucht doorheen wordt gevoerd. Tijdens de ontwikkeling en eerste pogingen tot pilot-commercialisatie is echter gebleken dat de modules met de huidige vorm van koeling een aantal tekortkomingen hebben, waardoor de eerste versie nooit verder dan een prototype is gekomen, door moeilijke technische schaalbaarheid (onvoldoende warmte-werend), teveel lawaai en restwarmte door luchtkoeling, en de noodzaak van een gesloten koelluchtsysteem. Een smallere airgap lijkt mogelijk, maar leidt tot grote uitdagingen in de constructie van het frame met modules.

### 2.2 Doelstelling

VideowindoW wilde daarom in dit TSE-project de technische en economische haalbaarheid onderzoeken van een tweede versie VideowindoW, waarbij het werkingsprincipe van de pixels gelijk blijft, maar dat van de koeling niet. Het bedrijf heeft zich voorgenomen om, in samenwerking met Roba Engineering, een nieuw VideowindoW te gaan ontwikkelen, waarbij de modules optisch en thermisch worden verbonden met dragende glasplaten, waardoor inactieve koeling via het glas plaats zou moeten kunnen vinden. Hierdoor zou het product energiezuiniger (geen actieve koeling), dunner en sterker, en dus goedkoper, moeten kunnen worden. Ook zouden de modules zo nooit bij het kritieke punt qua warmte (wanneer de warmtesensor ingrijpt) moeten komen. Op dit moment is er geen beproefde, industriële methode voorhanden, waarmee dit te ontwikkelen en te produceren is.

Het doel van deze haalbaarheidsstudie was dan ook om te onderzoeken of het technisch en economisch haalbaar is om een nieuwe Videowindow op basis van optische en thermische bonding van honderden modules aan glasplaten (incl. productieproces) te ontwikkelen. Voordat dit kan worden ontwikkeld en gebouwd, is de technische en economische haalbaarheid in dit project onderzocht.

### 3. Uitvoering

Het uiteindelijke beoogde product bestaat momenteel nog niet. Het zal een combinatie zijn van adaptieve zon- en warmtewerendheid en het weergeven van (dynamische) content. Hierdoor kan energie worden bespaard ten opzichte van videowalls en in vergelijking met huidige zonwerende systemen die ervoor zorgen dat er meer energie wordt verbruikt voor binnenverlichting (bij verduistering) of klimaatbeheersing (wanneer bij harde wind de zonsverduistering niet kan worden gebruikt).

Voordat de beoogde nieuwe Videowindow o.b.v. koeling door thermische verbinding met glas en het bijbehorende productieproces kunnen worden ontwikkeld, en de modules op grote schaal kunnen worden geïnstalleerd, was onderhavige haalbaarheidsstudie benodigd naar:

- De technische scope van zowel het product als het productieproces, met aandacht voor de benodigde hardware en software.
  - Product: optische én thermische verbinding tussen modules en dragende glasplaat, d.m.v. lijm.
  - Productieproces: nauwkeurig, gedoseerd, gelijkmatig en schaalbaar aanbrengen van (dikke) lijmlagen, modules, glas en overige componenten.
- Het nader onderbouwen en kwantificeren van het business model van het tweede versie Videowindow door deskstudie, diepgaande interviews bij verschillende stakeholders in de waardeketen en de evaluatie van quick & dirty prototype componenten bij potentiële klanten/pilots.

#### 3.1 Technische haalbaarheid

Tijdens de uitvoering van het voorgenomen vervolgproject kunnen zich verschillende technische knelpunten voordoen. Primair dienen de honderden Videowindow-modules optisch en thermisch te worden verbonden aan een dragende glasplaat, op een manier dat dit technisch en economisch schaalbaar kan worden geproduceerd. Lamineren en het gebruik van silicone-gel zijn reeds niet succesvol gebleken of gassen uit, met fogging en moisturing van componenten tot gevolg. Er zal daarom moeten worden gewerkt met speciale lijm, wat een aantal knelpunten met zich meebrengt, die in dit haalbaarheidsproject zijn onderzocht, zoals:

- Het afstaan van de warmte aan de buitenlucht via de lijmlaag en glasplaat;
- kritische lijmaspecten, zoals viscositeit, peel factor, hechting en vergassing;
- de oriëntaties van de modules tijdens productie en tijdens gebruik, en de wijze van aanbrengen van de lijm in relatie tot deze aspecten, alsmede met de uitharding, vloeit, e.d.;
- de veel grotere laagdikte dan bij vergelijkbare processen in bijv. elektronica-producten, en aspecten zoals yellowing, flexibiliteit na uitharding, nauwkeurigheid;
- absolute nauwkeurigheid en continue feedback van geautomatiseerd proces voor de beoogde robot voor verlijming tijdens productie.

Dit werk is uitgevoerd in **WP1**: de functionele, technische en numerieke haalbaarheid van de werkingsprincipes (zowel hardware- als softwarematig) van de tweede versie Videowindow en de productie ervan. Ook wordt onderzocht of er samenwerkingen met andere partijen noodzakelijk zijn, en wordt gezocht naar mogelijke partners om de verdere R&D van het systeem mee te realiseren. Tevens zal er overleg met externe deskundigen plaatsvinden om de technische haalbaarheid verder te onderzoeken, bijvoorbeeld met producenten van lijm of glaspakketten. Er zijn hiertoe reeds eerste contacten gelegd. WP1 bevat ook de bouw van quick & dirty pilot prototype-componenten (zowel hardware als software) voor de technische en economische evaluatie met potentiële klanten.

- Voor de uitvoering van WP1 zullen desk research, literatuuronderzoek, interviews met experts/stakeholders en rudimentaire prototyping worden ingezet.
- De beoogde resultaten uit WP1 zijn quick & dirty prototype componenten van een verlijmd module (product) en de manier om dit te verlijmen (productieproces) en een rapport inzake de technische haalbaarheid.
- De activiteiten in dit werkpakket worden uitgevoerd door beide projectpartners.

### 3.2 Economische haalbaarheid

Deze studie naar de economische haalbaarheid heeft hoofdzakelijk tot doel gehad om te beoordelen of en in hoeverre het optisch en thermisch verbinden van Videowindow displays met glasdragers bij kan dragen aan het reeds bestaande business model. Hiermee wordt het business model bedoeld dat reeds is ontwikkeld ten tijde van de VFF-aanvraag op de eerste versie van Videowindow, welke uitgaat van drie mogelijke verdienmodellen (of een combinatie daarvan): 1) louter hardware verkoop, 2) verkoop tegen gereduceerde prijzen, mits de hardware daarna exclusief kan worden gebruikt door Videowindow middels bijvoorbeeld een lease, en 3) installatie van hardware op eigen kosten en exploitatie van de media in eigen beheer.

De studie heeft gebruik gemaakt van economische vakliteratuur, op internet beschikbare publicaties met betrekking tot de luchtvaartsector en de (Digital out of Home) advertentiemarkt, interviews met industry insiders in relevante sectoren en markten, alsmede potentiële klanten. Op grond van vooral de vele interviews wordt het laatstgenoemde verdienmodel uiteindelijk als het meest rendabel geacht, zeker wanneer op termijn door schaalvoordelen de kosten van productie aanzienlijk zijn verlaagd. De marges op inkomsten uit advertenties zijn veel groter dan die op inkomsten uit (éénmalige) verkoop van hardware. Een belangrijke randvoorwaarde is echter dat op de locaties waar Videowindow wordt geïnstalleerd, tevens concessies kunnen worden bedongen voor het exploiteren van de media of vruchtbaar kan worden samengewerkt met de reeds bestaande concessiehouders. Uit ons onderzoek is gebleken dat op veel middelgrote tot grote luchthavens deze concessies reeds volledig in handen zijn van wereldwijde spelers als JCDecaux en ClearChannel. Ofschoon deze concessionairs in toenemende mate bereid lijken te zijn om samen te werken met nieuwe innovatieve partners, is de verwachting dat in eerste instantie geen tot weinig ruimte bestaat in bestaande concessies om zelf media te exploiteren.

De strategie is er daarom op gericht om op korte termijn vooral in te zetten op de verkoop van hardware aan kleine en middelgrote luchthavens, welke bij voorkeur buiten de 'addressable market' van de traditionele concessionairs vallen. De hardware kan daar immers relatief gemakkelijk worden verkocht in combinatie met een contract om deze te voorzien van niet-commerciële content, welke eventueel kan worden gesponsord door partijen omwille van branding. Videowindow noemt dit ARTvertisement, een concept dat niet conflicteert met de veelal exclusieve concessies waarover concessionairs beschikken om reclame te vertonen. Door diverse experts op het gebied van DOOH en luchthavenconcessies wordt bevestigd dat met in eerste instantie kleinschalige toepassing van ARTvertisement mogelijk een 'Trojan horse' kan worden ontwikkeld, die in een later stadium tevens kan worden toegepast op luchthavens waar wel reeds uitgebreide concessies zijn vergeven. Hoe dan ook, op korte termijn zal dus eerst een groeiende installed base moeten worden gerealiseerd zonder inbreuk te maken op bestaande concessies en zullen de kosten van de vervaardiging en adaptatie van content (het geschikt maken zodat het met het unieke algoritme kan functioneren als zonwering) geleidelijk over een groeiend aantal Videowindow's kunnen worden verdeeld.

De ambitie is echter onverminderd om op middellange tot lange termijn een verdienmodel te realiseren door middel van het in eigendom houden van geplaatste Videowindow's en de media tevens geheel in eigen beheer te exploiteren. Dit is een kapitaalintensief model en het kan daarom wenselijk zijn om de samenwerking te zoeken met reeds gevestigde, grote en kapitaalkrachtige exploitanten. De reeds geïnstalleerde Videowindow's, de content library en de afspraken omtrent ARTvertisement vormen daarbij de assets die kunnen worden ingebracht.

Uiteindelijk leidt dit tot zonwering 'as a service', waarbij een recurring revenue wordt gerealiseerd door gebouwbeheerders periodiek te laten betalen voor het met meaningful content realiseren van de gewenste zonwering. Hiertoe moet kunnen worden aangetoond dat beschouwd over een langere periode, het aantrekkelijker is om te betalen voor het gebruik van Videowindow, dan voor het bezit. Wanneer Videowindow aantoonbaar leidt tot lagere energielasten, dan vormt dit een belangrijk bestanddeel in de value based pricing voor een dergelijke dienst. Optisch/thermische verbinding van de modules met glas draagt derhalve in belangrijke mate bij aan de economische haalbaarheid van Videowindow. Daarnaast is het van belang dat de componentkosten drastisch omlaag gaan. Met een expert op het gebied van liquid crystals zijn de mogelijkheden op dit gebied uitgebreid onderzocht en de verwachting is dat bij voldoende schaalgrootte de componentkosten van de modules met tenminste 65% kunnen worden teruggebracht.

Samenvattend kan worden gesteld dat de marktpotentie van Videowindow sterk zal toenemen indien grootschalig geautomatiseerde productie van thermisch en optisch verbonden modules met het buitenglas mogelijk is. In combinatie met sterk verlaagde componentkosten is het hiermee mogelijk een minder kapitaalintensieve zonwering te produceren, die op kosten van Videowindow in gebouwen kan worden geplaatst en een periodieke inkomstenstroom op abonnementsbasis genereert met als belangrijke factor de besparing in de energielasten voor de afnemer. Aanvullend daarop blijft de hardware in bezit van Videowindow en kan daarmee de media tevens door Videowindow worden geëxploiteerd, al dan niet in samenwerking met bestaande concessionairs.

De commerciële waarde van dit model voor potentiële afnemers is onderzocht door een scenario analyse waarbij onder wisselende veronderstellingen ten aanzien van initiële investeringslasten in de hardware, de termijn waarover deze worden afgeschreven, de te behalen advertentie-inkomsten, onderhoudskosten, telkens de rentabiliteit over de gehele periode is berekend ('IRR'). Hieruit bleek dat zelfs onder de meest behoudende aannames reeds IRR's van 15% mogelijk zijn.

Dit onderdeel is uitgevoerd in **WP2**: het verder onderzoeken en evalueren van de economische haalbaarheid van het concept, ofwel de evaluatie van het business model. WP2 loopt volledig parallel aan WP1. Veel aandacht gaat uit naar de onderbouwing en kwantificatie van de meerwaarde van de beoogde innovatie en de communicatie daarvan naar potentiële afnemers. Deze meerwaarde wordt momenteel gedefinieerd in termen van o.a. meer functionaliteiten, warmtewerendheid en flexibiliteit in het product, en schaalbaarheid van productie. Ook wordt in dit werkpakket gezocht naar geschikte partners (indien nodig) om de verdere implementatie en opschaling van de business case mee te realiseren.

- Voor de uitvoering van WP2 zullen desk research, interviews met experts, stakeholders en mogelijke klanten/partners (haalbaarheidsstudie) worden ingezet. Hierbij worden tevens de prototype-componenten gebruikt.
- De beoogde resultaten uit WP2 worden verwerkt in een rapport economische haalbaarheid, waar een geëvalueerd business model een onderdeel van is.
- De activiteiten in WP2 worden uitgevoerd door beide projectpartners.

## 4. Resultaten

### 4.1 Resultaten technische haalbaarheid

In navolging op de toelichting in H3 onder *technische haalbaarheid*, is hieronder een antwoord gegeven op de technische haalbaarheidsvragen uit de aanvraag:

*Hoe kan een schaalbaar, nauwkeurig en geautomatiseerd productieproces o.b.v. robots worden ontwikkeld, dat met zeer hoge precisie lijm kan aanbrengen en modules kan plaatsen?*

Toenadering werd gezocht met leveranciers van adhesives voor optical bonding aan OEM display fabrikanten. Via hun kanalen komen we in contact met gebruikers van de adhesives om te onderzoeken met welke robots er wordt gewerkt, welke fabrikanten een rol spelen in dit segment. Na enkele gesprekken en mailconversaties met verschillende fabrikanten wordt een afspraak gemaakt bij PVA-Europe in Helmond. PVA heeft een XYZ-robot die zeer precies optical bonding kan uitvoeren voor individuele schermen (iPads, iPhones en monitoren). Het voor ons doel vereiste samengestelde modulair opgebouwde display is echter niet te realiseren met PVA-robots. PVA kent ook geen concurrenten die zoiets wel kunnen realiseren. We mochten twee dagen meekijken met het proces voor 122mm x 244mm x 4mm optical bonding middels een U-Fill- en Dogbone methode. Zie verder de volgende haalbaarheidsvragen.

*Hoe moeten hierbij de genoemde U-vormen exact, zonder luchtbellen worden gevormd, in twee oriëntaties, zonder een continuproces te onderbreken?*

*Hoe kunnen we de hoeveelheid lijm in de rand en tussen de ruiten voor het afvullen controleren op hoeveelheid, hoe kunnen we bepalen dat er voldoende lijm is toegevoerd?*

*Hoe dient om te worden gegaan met de vereiste 4mm of meer lijmdikte? Wat voor mogelijkheden zijn er in zowel de samenstelling van de lijm als de manier van aanbrengen?*

Onderzoek en meekijken bij PVA heeft veel inzichten gegeven in de mogelijkheden om te werken met een DAM-rand (U-Fill) en deze opvullen, en andere methode (dogbone of fishbone methode, waarbij de lijm in een van deze vormen wordt aangebracht en daarna onder druk van de tweede glasplaat/module uitvloeit. Uiteindelijk is gebleken dat de U-vorm die later wordt opgevuld technisch en economisch niet haalbaar of interessant is, dit is hieronder verder toegelicht.

## DAM-rand en Opvullen

- Het stapelen van de dam-rand (aanbrengen, uitharden (onder UV), tweede laag aanbrengen en uitharden) blijkt technisch niet haalbaar. De rand moet dus in één keer worden gelegd en worden uitgehard.
- De Dam-methode kon echter, zelfs met de speciaal meegeleverde hoge viscositeit lijm AD494, de dikte van de rand niet behouden voordat het uitvloeide. Voor die dikte moest de XY-beweging trager worden waardoor het begin al hoogte verloor t.o.v. het laatste deel. Materiaal met een nog hogere viscositeit kan mogelijk een oplossing zijn, maar dit moet speciaal worden ontwikkeld door Delo waarmee de economische haalbaarheid naar alle waarschijnlijkheid in het geding komt.
- De maximaal bereikte dikte is 1250  $\mu\text{m}$ , de minimale werkbare dikte is 450  $\mu\text{m}$ .
- Het opvullen van slechts een 244mm x 122mm glasplaat duurt > 15 minuten en moet constant worden gemonitord. Het is een balans tussen capillaire krachten en 'volpompen'.
- Te snel volpompen kan ook tot insluiting van luchtbelletjes leiden. Deze belletjes bewegen langzaam omhoog maar dit vertraagt het proces enorm (2 tot 3 keer) voordat er kan worden uitgehard. Dit kan met trillingen worden versneld.
- Een aandachtspunt is tevens de behoefte aan twee lijmsorten, één voor de dam en een andere (met een lagere viscositeit) als filler; dit maakt het minder kostenefficiënt.
- De lijmsorten moeten ook een eigen pompsysteem en slangen hebben om vervuiling te voorkomen.
- Het plaatsen van de vulnaald is handwerk, onder de 450 $\mu\text{m}$  zal er een speciale naald ontwikkeld moeten worden.
- Het afvullen is een inschatting op het oog. Als er teveel adhesive in wordt gepompt zal het overlopen hetgeen veel rommel geeft. Te weinig adhesive zal weer een gap tot gevolg hebben. Het is voldoende afgevuld als er een rechte bovenlijn ontstaat die nog net binnen de glasplaat is. Om het uit te harden zal de glasplaat gedurende minimaal 40 seconden aan UV licht worden blootgesteld. Dat gebeurt in de PVA-opstelling liggend dus de capillaire krachten moeten voorkomen dat de adhesive uitloopt voordat deze gehard/gestold is.

## DOGBONE

Middels de dogbone methode zijn in eerste instantie reeds veelbelovendere resultaten bereikt bij tests bij PVA. Er is hierna verder onderzoek gedaan naar deze methode als alternatief voor de DAM-rand en opvullen. Hierbij wordt de viscositeit mede bepaald door de temperatuur, de omgevingstemperatuur moet derhalve constant zijn voor een herhaalbaar resultaat. De snelheid van de X-Y beweging bepaalt de hoeveelheid lijm. Op de lijm-cylinder staat een constante druk, om dus controle te hebben op de hoeveelheid lijm is een nauwkeurige weegschaal of een duur doseerventiel onontbeerlijk. Op de dogbone wordt het bovenglas geplaatst. Om het eerste contactpunt te kunnen bepalen wordt op de onderkant van de bovenplaat een druppel in het midden aangebracht. Vanuit het controle-punt duwt de lijm zich in alle richtingen weg van het 'midden'. Zo wordt insluiting van lucht voorkomen.

De laatste fase is cruciaal want hier moet alle lijm zich egaal hebben verdeeld over de glasplaten. Als de hoeken niet worden bereikt moet de dogbone qua vorm of hoeveelheid lijm worden aangepast. De vorm van de Dogbone en de hoeveelheid lijm icm de gewenste dikte bepalen dus of en waar lekkage/overflow plaatsvindt. Het schoonmaken vergt veel tijd en oplosmiddel/alcohol. Als de applicatie succesvol is kan middels UV licht worden uitgehard in 40 seconden. Daarna blijft de lijm stroperig maar vloeit niet verder uit.

*Hoe dient om te worden gegaan met de vereiste 4mm of meer lijmdikte? Wat voor mogelijkheden zijn er in zowel de samenstelling van de lijm als de manier van aanbrengen?*

Beoogde testen voor de Dogbone waren > 125  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 1mm, 2mm en 4 mm. Ook de Dogbone had uitvloeituitdagingen op die beoogde diktes. Het koelen van de Delo photobond adhesive had een positief effect op de viscositeit (hoger want kouder) maar dat was geen herhaalbare/gecontroleerde exercitie.

De Dam-methode haalt diktes van 2500 $\mu\text{m}$  (opgave van Delo) maar dat is niet dik genoeg voor de vereiste 4000  $\mu\text{m}$  hoogte. De Dogbone werkt voorspelbaar onder 1000  $\mu\text{m}$  en werkt goed onder 500  $\mu\text{m}$ .

De dikte van 4mm / 4000  $\mu\text{m}$  is niet gelukt. We weten nu dus dat we een basis glasplaat moeten laten maken met een getrapte opbouw. Dat kan ook een gelamineerde extra glasplaat zijn op een grotere basis.

*Zijn er in hoogte variërende glasdragers samen te stellen waardoor er een verhoogd plateau ontstaat voor de bovenste modules? Wat zijn de effecten op de lijmlaag, en hoe worden de brekingsindex en refractie beïnvloed?*

Technisch blijkt dit mogelijk voor glasveredelaars, maar het leidt tot hoge kosten door veel NRE. Er zijn tijdens het haalbaarheidsonderzoek 2 tests uitgevoerd op dit onderdeel:

- **Kleine plaat:** gelaagd opgebouwd glas met een opbouw van 3mm; 3mm bleek een lastige dikte dus onderplaat en opbouw worden 4mm dik. Liggend lamineren met de HOAF-methode middels een rubber vacuüm-zak en een temperatuur van 105°C in een oven voor enkele uren.
  - o De HOAF-methode is een alternatief voor de autoclaaf die staand wordt uitgevoerd. De getrapte opbouw vereist echter dat de bovenste kleinere plaat gefixeerd wordt t.o.v. de onderplaat. Liggend is dat (eenvoudiger) te realiseren.
- **Grote plaat:** na het succesvol fabriceren van de kleine plaat willen we ook een thermisch gehard gelaagde opbouw proberen. (Deze bestelling was arbeidsintensief daar we een andere leverancier moesten benaderen. Niemand is geïnteresseerd in lage aantallen en de HOAF-lamineer methode is niet overal geliefd.) Ook de grote plaat is gelukt, maar de thermische harding resulteert in een optische maar bovenal ook fysieke 'wobble'. Het glas is niet vlak als gevolg van het hardingsproces.
  - o Het hoogteverschil is dusdanig dat we hierop niet kunnen testen met onze optical bonding van 450 $\mu\text{m}$ .
  - o Voor de volgende test zoeken we glasveredelaars die chemisch kunnen harden. Het zoeken en vinden en uitzetten van een dergelijke opdracht past helaas niet meer in deze testperiode en valt tevens buiten budget. We weten inmiddels dat er niet in Nederland chemisch gehard kan worden op het formaat dat we uiteindelijk nodig hebben.
  - o Thans staan de samengestelde glasplaten met optical- en thermal bonded modules uit te gassen aan de lucht (90 dagen) waarna ze in een dubbelglas-pakket worden verpakt. Dan onderzoeken we de reflectie en refractie van het geheel, alsmede de afdracht van warmte aan het buitenglas via convectie.

*Wat zijn de effecten van bijvoorbeeld krimp, gasvorming, yellowing bij de dikkere lijmlagen? Hoe moet hiermee in productie en in het product worden omgegaan?*

Al de samengestelde glasplaten (verschillende dikte DAM en dogbones) zijn getest op vergeling (UV Yellowing) en zichtbare uitgassing. Alle samples hebben vol in de zon gelegen van september 2018 tot maart 2019: voor het oog geen zichtbare vergeling. Ook de dikkere lijmlagen vertonen geen zichtbare verkleuring ten opzichte van de dunneren lijmlagen. Conclusies:

- Zonder pre-cured DAM is er sprake van veel spill aan de zijkanten (450 $\mu\text{m}$ )
- Effect van de polarisatoren op het UV-curen is niet waarneembaar. UV-curing komt ook vanaf de onderkant dus de lijm krijgt de volle dosis UV.
- 450 $\mu\text{m}$  Dam + Dogbone: bovenste glas los/met de hand op de dam gelegd en de dogbone op capillaire krachten laten uitvullen. Luchtbellen langs de dam.
- Posing 2 Handmatig aanbrengen: 450 $\mu\text{m}$  Dam + Dogbone: bovenste glas los/met de hand op de dam gelegd en de dogbone op capillaire krachten laten uitvullen. Grote luchtbellen langs de dam
- 450 $\mu\text{m}$  Dam quick UV Cured <10 sec: tweede glasplaat op 450 $\mu\text{m}$  geplaatst en verder uitgehard. (+ 30 seconden = totaal 40 sec). Daarna opgevuld in  $\pm$  30 minuten. Grote luchtbel 'gevangen' onderin. Misschien dat de Polarizer de capillaire kracht beïnvloedt?

Volgende stappen in dit onderdeel zijn bijvoorbeeld:

- Yellowing/vergelting testen met een spectroscope bij WUR, TNO, TUV
- Vergassing van de lijm en de neergeslagen condens moeten we ook met professionele apparatuur zichtbaar proberen te maken. Wellicht verdeelt de nevel zich zo egaal dat deze voor het oog niet waarneembaar is. Dit gaan we verder testen met vochtabsorberende korrels, die doorgaans in de spacer van de spouw verwerkt zijn, in een samengesteld (dubbel) raam.

*Na de lijm-testen bij PVA hebben we een eigen ontwikkeld geautomatiseerd productieproces getest (quick & dirty prototyping), dat met zeer hoge precisie lijm kan aanbrengen en modules kan plaatsen*



Learnings van de PVA methode (U-fill en Dogbone) vormen het uitgangspunt voor de eigen opstelling. De U-Fill lijkt niet geautomatiseerd te kunnen worden dus we concentreren ons op de Dogbone. Na overleg met Delo wordt ook een mogelijke een Fishbone overwogen.

Eerst bouwen en programmeren we de 6-assige robotarm zodat een pick-&-place optie voor gestackte modules mogelijk wordt. We definiëren een werkoppervlak van 1m<sup>2</sup> voor de arm. De grote basisplaat zal dus, in een volgende test, zelf bewegen in XY coördinaten en onder het werkgebied van de arm door bewegen. Een dergelijke opstelling lijkt op basis van bestaande XY-tafels te realiseren en vormt voor nu niet de uitdaging die we willen testen.

Naast de robotarm vormt de dispenser van de lijm een cruciaal onderdeel. We bouwen rondom de cartridge van Delo (Semco) zelf de drukregelaar en assembleren de basis ventielen. De Semco Cartridge past in Axis retainer. We bestellen de losse retainer en prop en bouwen de drukregelaar zelf. De lage viscositeit vangen we op met een reducer in het koppelstuk. Een PVA ventiel wordt gebruikt voor Dogbone op de basisplaat en touchpoint voor onder de bovenplaat. De Mitutoyo hoogtesensoren zijn geplaatst op de geprepareerde extreem gladde bovenplaat. Hierin zijn tevens de vier vacuüm zuigvoetjes uitgefreesd.

PVA spuitmonden/ naalden passen het beste op de PVA ventielen, dus is hier toch voor de dure optie gekozen. Na consult met PVA-USA en PVA Europe besloten om meerdere lengtes en diktes te bestellen: dikte/doorvoer is belangrijk in combinatie met de druk van de cilinder.

*Welke lijmcombinatie kan voldoen aan de complexe eisen op bijvoorbeeld viscositeit, peel factor, hechting, sterkte en vergassing?*

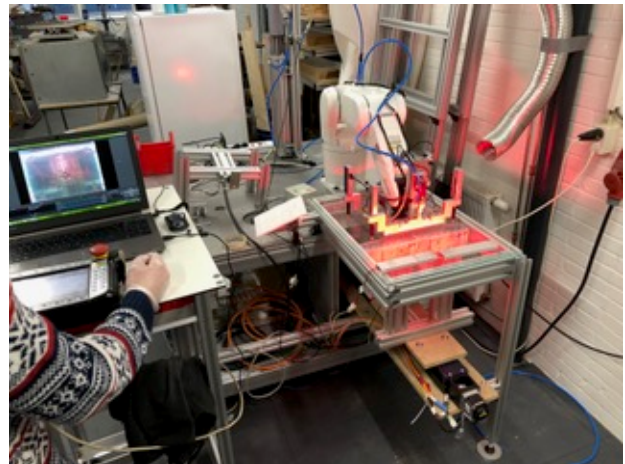
*Wat voor methoden zijn er die ongewenste effecten zoals verkleuring en luchtbelvorming tegen te gaan? (Hoe) zijn die te integreren in het proces?*

Na overleg met lijmleverancier Delo hebben we besloten om alle Optical Bonding tests te doen met DELO Photobond Optical Curing OC4022. Primaire doel is volledige uitvulling van de lijm op 250µm onder de module (glasplaat van gelijke afmeting voor begin van de test) zonder uitloop. Belangrijke factoren:

- Vorm van de Fishbone (Dogbone).
- Hoeveelheid lijm/ druk van de cilinder/ dikte van de naald.
- Viscositeit van de lijm.
- Omgevingstemperatuur.
- Snelheid waarmee de vorm wordt gelegd i.v.m. vormverlies/uitlopen (viscositeit).
- Egaliteit van de basis glasplaat.
- Egaliteit van de modules.
- Waterpas van het werkvlak.
- Andere fysische aspecten zoals capillaire krachten.

Na overleg met Delo a.d.h.v. foto's en filmpjes wordt besloten om een aantal aanpassingen door te voeren:

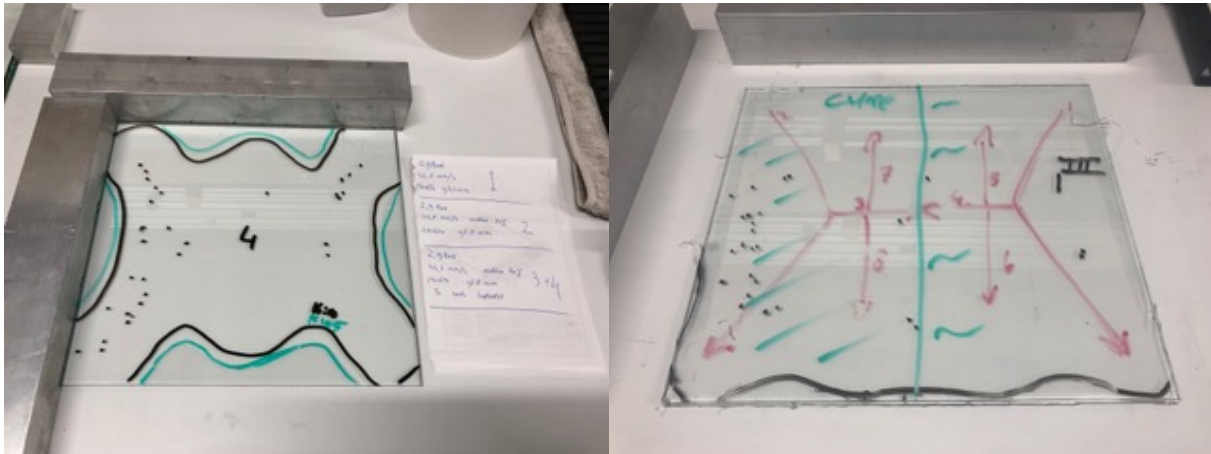
- Naald staat te hoog > moet veel dichter op het onderglas om luchtballen te voorkomen.
- Druk omhoog beweging is te traag.
- Ook bij verplaatsen van de naald moet de naald weer onder het oppervlak van de lijm worden geplaatst.
- Volgorde van de Fishbone graten moet aangepast worden door vormverlies van de bone door de te trage dispensie. > Ook onderzoeken of we een andere naald kunnen gebruiken.
- Ook de temperatuur van de adhesive moet constant zijn > gecontroleerde werkruimte.



*Testopstelling zoals gebouwd voor tests in dit haalbaarheidsonderzoek*

Als onderdeel van de technische haalbaarheid op dit aspect zijn vele tests uitgevoerd in 5 fases (1) dogbone, 2) fishbone, 3) inc. UV-uitdaging), om te onderzoeken of met een dogbone of fishbone optimale bonding kan worden gerealiseerd. De oorzaak van de ongelijke verdeling (rechtsboven is altijd eerder uitgevuld dan de onderkant) kan komen door de minuscule afwijking in het waterpas

niveau van de tafel. Het gaat om 30µm hoogteverschil over 50cm glasplaat. Fase 4): verbetering en opnieuw waterpas maken, en 5) Op advies van PVA dogbone + getrapte glasplaat.



Afbeeldingen: een tweetal voorbeelden van de uitvloeit van de lijm (groene en zwarte lijnen) na plaatsing lijm in een fishbone of dogbone (rood), en gevormde luchtbellen (zwart).

- Een uitgebreid verslag van de tests in de genoemde 5 fases is -indien gewenst- beschikbaar, net als aanvullend beeldmateriaal van andere tests bij PVA, of m.b.t. yellowing. Gezien de grote hoeveelheid beeldmateriaal en toelichting is dit niet in zijn geheel opgenomen in dit eindverslag.

*Zal een dikke lijmlaag nog afdoende warmtewerend zijn om het uiteindelijke paneel koel genoeg te houden voor optimale media en zonwering functionaliteiten?*

Een eerdere uitkomst van het haalbaarheidsonderzoek was reeds dat een dikke lijmlaag technisch niet haalbaar is, en dat daarom een dragende glasplaat met getrapte opbouw zal worden gebruikt. Daarmee wordt de warmtewerendheid niet significant beïnvloed door de lijmlaag (deze is immers niet dik), waarmee deze haalbaarheidsvraag achteraf niet relevant bleek.

*Wat zijn de mogelijkheden om de lijm te kunnen verwijderen en kapotte modules te kunnen vervangen na het proces van optical bonding (after care)?*

Het schoonmaken van de glasplaten na UV-curing is moeilijk. Het is een kauwgom-achtig materiaal dat zich wel laat schrapen maar het is moeilijk helemaal te verwijderen. Oplosmiddelen zoals alcohol kunnen het verdunnen. Ook na UV-curing blijft het elastisch en 'vochtig'. Vervolgtesten moeten aantonen welk effect dat heeft op condens/ uitgassing in een gesloten raam.

*Hoe kan een nauwkeurige feedbackloop worden ontwikkeld die het proces aanstuurt en monitort?*

Eerder is beschreven dat er tasters zijn ingezet in het testen met de quick & dirty gebouwde opstelling; 3 van deze tasters worden gebruikt om te bepalen of de dragende glasplaat geheel waterpas ligt (of onder wat voor hoek), 1 taster wordt gebruikt om te bepalen hoe hoog de stapel (stack) modules is die opgepakt moeten worden en op de glasplaat gelijmd moeten worden. Op basis van deze data weet de robot waar de stack is (en hoe hoog die is), en waar de glasplaat zich bevindt en onder welk vlak, waarmee een nauwkeurige feedbackloop tijdens het proces kan worden ontwikkeld.

#### 4.2 Resultaten economische haalbaarheid

In navolging op de toelichting in H3 onder *economische haalbaarheid*, is hieronder een antwoord gegeven op de economische haalbaarheidsvragen uit de aanvraag:

*Wat zijn huidige of toekomstige mogelijk concurrerende producten?*

Mogelijk concurrerende producten zijn in het algemeen conventionele (mechanische) oplossingen voor zonwering en in het bijzonder conventioneel tintable glass. De eerste categorie wordt wereldwijd gedomineerd door Hunter Douglas (blinds, luxaflex, lamellen). De twee grootste bedrijven in tintable glass zijn Sage (onderdeel van Saint Gobain) en View. Daarnaast is een aantal kleinere spelers actief met zogenoemde SPD. Tenslotte is Merck recent in dit segment actief geworden met de acquisitie van Peer+. Ofschoon een productielijn in Veldhoven inmiddels is voltooid, is het product nog niet beschikbaar. Alle genoemde oplossingen in tintable glass kenmerken zich door een lange

aanpassingstijd (seconden tot minuten) en het feit dat grote oppervlakken in geheel worden getint. Dit in tegenstelling tot Videowindow waarbij kleine oppervlakken (pixels) 60 keer per seconde worden getint.

*En wat zijn door hen gehanteerde verdienmodellen en marges?*

Het door de bovengenoemde bedrijven gehanteerde verdienmodel kan eenvoudig worden beschreven als éénmalige verkoop van hardware, met in individuele gevallen ten hoogste een bescheiden recurring revenue uit onderhoudscontracten. De marges worden geschat op tussen de 5% en 10%.

*Hoe verhoudt een verdienmodel zonder inkomsten uit commerciële content zich tot concurrenten, en tot een model inclusief dergelijke inkomsten?*

Indien Videowindow uitsluitend als zonwering wordt beschouwd, zal een vergelijking met de concurrenten hoofdzakelijk zijn gebaseerd op prijs. Zelfs wanneer schaalvoordelen in de productie van de elektronische componenten worden verdisconteerd, ligt het niet in de lijn der verwachting dat er louter op de aanschafprijs van hardware al kan worden geconcurrereerd met conventionele, low tech oplossingen. TCO-schattingen ("total cost of ownership") van Videowindow versus bestaande alternatieven laten zich op langere termijn echter gunstig vergelijken. Doordat Videowindow langer gebruik maakt van daglicht kan op de kosten van binnenverlichting worden bespaard. Daarnaast is Videowindow onderhoudsarm en gaat het veel langer mee, zeker in vergelijking met bijvoorbeeld aan de buitenkant van het raam bevestigde mechanische zonwering (zoals op Schiphol het geval is). Indien bovendien Videowindow optisch en thermisch kan worden verbonden aan de binnenkant van de buitenste glasplaat, zal bovendien naar verwachting een 20% tot 30% besparing kunnen worden gerealiseerd op de kosten van de beheersing van het binnenklimaat. Rekening houdend met deze comparatieve voordelen en uitgaande van door schaalvergroting dalende componentkosten is op een termijn van 10 jaar een veel lagere TCO mogelijk met Videowindow dan met bestaande zonweringsoplossingen.

Ook is een scenarioanalyse gedaan naar een verdienmodel waarin sprake is van het vertonen van commerciële content op de Videowindow. Gebleken is dat zelfs bij uiterst behoedzame aannames ten aanzien van de te hanteren wekelijkse tarieven voor adverteerders, er reeds sprake is van een internal rate of return van 15%, waarbij net als bij bovenstaande TCO berekeningen is uitgegaan van een economische levensduur van 10 jaar. De gehanteerde tarieven voor advertising zijn verkregen door studie naar vigerende tarieven in de Digital out of Home markt en tevens voorgelegd aan professionals uit de mediasector. Deze scenario-analyses ondersteunen de strategie om op langere termijn, mits uiteraard door schaalvoordelen de kosten met een factor 2 tot 3 kunnen worden verlaagd, te streven naar installatie van Videowindow voor eigen kosten en daarmee de exploitatie volledig in eigen beheer te houden.

*Hoe verhoudt het beschreven concept zich tot deze concurrenten?*

Geen van de bekende concurrenten kan gelijktijdig zonwering realiseren en daaraan beleving of een terugverdiencomponent toevoegen. Tintable glas duurt typisch seconden tot minuten om zich aan te passen aan het zonlicht en er bestaat daarmee in onze optiek geen enkel gevaar op een met Videowindow vergelijkbaar product.

*Hoe is de rivaliteit in de industrie, wat is bijvoorbeeld het risico op nieuwe betreders op de markt?*

Door de technologische voorsprong achten wij het risico op korte tot middellange termijn beperkt. Als risico zien we de mogelijkheid dat grote display manufacturers (Samsung, LG) zich op de markt begeven. Deze bedrijven zien zich in hun traditionele markt van large screen TV's geconfronteerd met verzadiging en zouden hun productiecapaciteit mogelijk kunnen aanwenden voor een met Videowindow vergelijkbaar nieuw product. Wij achten het om die reden dan ook van belang om snel bekendheid te verwerven als een bedrijf dat zonwering realiseert door bewegende content te vertonen en daarin een voorsprong op te bouwen. De hardware is uiteindelijk van ondergeschikt belang en het toetreden op de markt door een partij met veel productiecapaciteit kan alleen maar leiden tot lagere kosten en meer acceptatie van Videowindow. Uiteindelijk is het het algoritme en de kennis om content als zonwering te laten fungeren, die uniek, gepatenteerd en daarmee het meest rendabel is. Dit is ook de uitkomst van strategische analyses door marktkenner in zowel de hardware als de media, alsmede de strategy consultants die we hebben gesproken.

Momenteel zijn er geen bedrijven in de (glas)industrie die meerdere modules optisch/thermisch kunnen verbinden aan één dragende glasplaat. Er zijn echter wel bedrijven die dergelijke technologie

zouden willen inzetten – na doorontwikkeling is dit dan ook een aanvullend competitive advantage van VideowindoW.

*Hoeveel invloed hebben architecten (zowel in nieuwbouw als bestaande gebouwen) op de plaatsing van VideowindoW met of zonder commerciële content? Hoe moeten ze eventueel in het proces worden betrokken?*

Architecten hebben een grote invloed op het eventueel toepassen van VideowindoW in een gebouw, waarbij zij naar verwachting sneller zullen zijn gecharmeerd van toepassingen waarbij de content in dienst staat van of een verlengde is van de textuur en het ontwerp van het gebouw, dan toepassingen waarbij commerciële content wordt vertoond. Verder is uit gesprekken met architecten gebleken dat zij vooral een marktpotentie zien onder kapitaalkrachtige projectontwikkelaars die tegen elke prijs het meeste innovatieve ontwerp ambiëren, waarbij duurzaamheid een belangrijke drijfveer vormt. Diverse architecten hebben aangegeven VideowindoW in hun ontwerpen en tenders naar potentiële klanten te kunnen meenemen, mits sprake is van duidelijke specificaties, prijsstelling, te verwachten voordelen in de sfeer van energiebesparing, zonbelasting en de form factor kan worden aangepast naar het basis ontwerp van het gebouw. Wij zien architecten als een essentieel onderdeel in de 'lead generation' en een bredere bekendheid van VideowindoW.

*Welke marktsegmenten (in Nederland en daarbuiten) zijn het meest relevant? In welk(e) segment(en) kan de innovatie het beste worden gelanceerd?*

Onder meer met behulp van een strategische marktverkenning in samenwerking met Roland Berger Strategy Consultants is een zogenaamde 'beachhead market' vastgesteld. Uitgaande van de middellange en lange termijn strategie, is de focus in eerste instantie gericht op kleine luchthavens waar bij voorkeur nog geen sprake is van exclusieve concessies zodat de kans aanwezig is dat de commerciële kant zelf kan worden uitgebaat. Als 'beachhead market' wordt de Benelux gezien.

In een later stadium kunnen ook andere marktsegmenten worden benaderd, zoals publieke ruimtes in het algemeen, stationsgebouwen, bibliotheken, zorginstellingen, waarbij de het vertonen van commerciële content als minder of in het geheel niet opportuun wordt geacht, maar door sterk verlaagde kostprijzen de concurrentie op prijs met mechanische zonwering kan worden aangegaan op grond van de betere prestaties ten aanzien van duurzaamheid en energiebesparing.

*Hoe kunnen ze het beste worden bereikt? En hoe kunnen (internationale) klanten worden bereikt? Hoe kan de meerwaarde het best worden gecommuniceerd?*

Voor het benaderen en ontsluiten van de markt van luchthavens zijn we een samenwerking aangegaan met Pegasus Aviation Advisors. Dit zijn professionals met senior management ervaring en een lange staat van dienst in de luchtvaartsector, die middels hun netwerk direct ingang hebben op het niveau van directie en bestuur van luchthavens. Daarnaast wordt samengewerkt met Deerns Consulting Engineers, een wereldwijd toonaangevend bedrijf in de technische installatie en consultancy voor luchthavens. Naast gecertificeerde testresultaten die de potentiële besparing in energie aantonen, kan de meerwaarde het beste worden gecommuniceerd met de gegevens uit een bestaande testopstelling waarop tevens commerciële content wordt vertoond. Ten aanzien hiervan kunnen metrics worden verzameld als stopping power die in de mediasector onontbeerlijk zijn om de publiciteitswaarde van een medium te onderbouwen. Tenslotte kan met alle verzamelde input een rentabiliteitsberekening voor de klant worden gemaakt.

*Hoe groot is de marktvraag naar het beoogde product?*

Op basis van de studie van Roland Berger naar het potentieel in het Digital out of Home segment van de advertentiemarkt, wordt de wereldwijde opportunity voor VideowindoW binnen de groep van vijftig grootste luchthavens alleen al geschat op €338 miljoen. Dit betreft jaarlijkse additionele inkomsten uit advertenties die worden gegenereerd door toepassing van VideowindoW op gates waar sprake is van een zonbelasting en dus behoefte is aan zonwering. Zoals eerder reeds opgemerkt, zal VideowindoW aanvankelijk de kleinere tot middelgrote luchthavens benaderen, maar op grond van het verwachte rendement op een investering in VideowindoW, het duurzame karakter en de beleving die het de passagiers biedt, verwachten wij in elk marktsegment een grote vraag. Uit alle recente publicaties blijkt bovendien een enorme behoefte onder luchthavens om zich van elkaar te onderscheiden door het alsmaar bieden van meer beleving (experience). De 'sense of place' wordt steeds belangrijker en op grond hiervan is ook een grote vraag naar innovatieve producten als VideowindoW.

*Wat zijn de kosten voor het ontwikkelen van het beoogde product, en van de overige investeringen in bijvoorbeeld marketing en communicatie? Wat voor samenwerkingen kunnen interessant zijn voor vermarkting of verdere ontwikkeling, en in hoeverre is dit noodzakelijk?*

Deze worden nog steeds geschat op de bedragen welke zijn vermeld in de aanvraag. Het hierin genoemde bedrag van €250.000 voor verdere R&D aan product en productieproces en €300.000 voor de ontwikkeling en bouw van het productieproces en opstartkosten, voorzien in een volledig geautomatiseerde productielijn waarmee raamdelen bestaande uit tientallen modules kunnen worden geproduceerd. Uitgaande van een minimaal twee keer hogere snelheid dan de snelheid waarmee de robot in de test de lijm aanbracht, heeft de beoogde productielijn een capaciteit van 6 van dergelijke raamdelen per etmaal. De voornaamste componenten van deze productielijn zijn uiteraard een zes-assige robot, een XY tafel en randapparatuur voor de handling van de glasplaten en de modules. Naast de bestaande samenwerking tussen VideowindoW en ROBA wordt tevens voortgaande betrokkenheid van DELO voorzien. Aanvullend hierop wordt gezocht naar een innovatieve partner op het gebied van glas, zoals bijvoorbeeld Glas Ockels of Scheuten Glas. Op het gebied van marketing en communicatie zijn reeds verkennende gesprekken gevoerd met een adviesbureau (BigM). Op langere termijn wordt mogelijk gezocht naar strategische samenwerking met concessionairs en mediabureaus aan de content kant, grote glasfabrikanten zoals Saint Gobain en AGC, 's werelds grootste supplier van liquid crystals Merck en tenslotte wellicht zelfs display manufacturers zoals Samsung, LG en BOE (China).

*Is certificering noodzakelijk of vanuit bijvoorbeeld klantenperspectief wenselijk?*

VideowindoW zal worden toegepast in drukbezochte publieke ruimtes en om die reden dan ook aan de hoogste internationale standaarden op het gebied van veiligheid, duurzaamheid en kwaliteit moeten voldoen. Dit is zonder uitzondering het geval in welke markt dan ook waar VideowindoW het opportuun acht te opereren. Verkennend onderzoek en uitvraag onder keuringsinstituten leert dat een in Duitsland afgegeven CE certificaat vrijwel wereldwijd dekkend is.

## 5. Conclusie

### 5.1 Conclusie technische haalbaarheid

Het lijkt technisch mogelijk om met een uiterst nauwkeurig pick-and-place robot een procesmatige optical bonding te realiseren voor grote oppervlakken. Daar dit een voorwaarde is voor onze propositie een bemoedigend resultaat. Er zijn echter nog een aantal uitdagingen waarvoor we oplossingsrichtingen hebben die we graag willen testen in een vervolgonderzoek. Daarnaast willen we enkele resultaten laten toetsen door onderzoeksinstituten.

Learnings en next steps zijn derhalve:

- Onderzoeken combinatie van een uitgeharde dam met een Dogbone-methode zodat de spill letterlijk ingedamd kan worden.
  - o Ook de hoogte van de dam kan de druk op de randen wegnemen.
  - o Door een dam kan de capillaire kracht langer vrij spel krijgen zodat we eventueel kunnen wachten tot er volledige uitvulling heeft plaatsgevonden zonder dat het aan een kant leegloopt.
  - o Tussenhardening/ UV-curen in 10 seconden kan de spil ook helpen voorkomen gedurende het uithardingsproces.
  - o Meerder UV curing lampen kunnen het uithardingsproces versnellen. Zeker bij grotere oppervlakken een vereiste.
- Basisglas moet ook extreem egaal zijn
- Gehard gelaagd glas moet chemisch gehard worden daar thermische harding oneffenheden geeft.
- Teneinde controle te hebben op de hoeveelheid gedispenseerde lijm is een nauwkeurig doseerventiel onontbeerlijk
- Yellowing/vergeling Delo lijm onder invloed van UV / daglicht testen met een spectroscop bij WUR, TNO, TUV.
- Vergassing van de lijm en de neergeslagen condens moeten we ook met professionele apparatuur zichtbaar proberen te maken. Wellicht verdeelt de nevel zich zo egaal dat deze voor het oog niet waarneembaar is.
- Vergassing testen met vochtabsorberende korrels, die doorgaans in de spacer van de spouw verwerkt zijn, in een samengesteld (dubbel) raam.

## 5.2 Conclusie economische haalbaarheid

De innovatie lijkt economisch zeer rendabel: doordat geen van de bekende concurrenten gelijktijdig zonwering kan realiseren en daaraan beleving of een terugverdiencomponent kan toevoegen. Rekening houdend met deze comparatieve voordelen en uitgaande van door schaalvergroting dalende componentkosten is op een termijn van 10 jaar een veel lagere TCO mogelijk met Videowindow dan met bestaande zonweringsoplossingen. De rivaliteit in de industrie is relatief laag, maar grote spelers zoals Samsung kunnen mogelijk een dreiging zijn. Wij achten het om die reden dan ook van belang om snel bekendheid te verwerven als een bedrijf dat zonwering realiseert door bewegende content te vertonen en daarin een voorsprong op te bouwen. Er is reeds een beachhead market strategie en segment uitgedacht en geïdentificeerd, waarbij partners zoals Pegasus Aviation Advisers een belangrijke rol kunnen spelen. De potentiële markt is met €338 miljoen omvang voor de vijftig grootste luchthavens alleen al zeer groot.

## 5.3 Energiebesparing en CO<sub>2</sub>-reductie

Er bestaan bedrijven die reeds een vorm van dynamische zonwering aanbieden (Sage, View) en die een 20-30% energiebesparing claimen. Deze besparing bestaat louter uit een besparing op het energieverbruik voor de klimaatbeheersing. De electrochromatische zonwering die deze bedrijven aanbieden, betreft grote oppervlakken glas die gedurende seconden tot minuten worden aangepast in transparantie.

Videowindow daarentegen past zich 60 keer per seconden aan het invallende buitenlicht aan. Daarmee bespaart het tevens op de kosten voor de binnenverlichting, doordat het langer en optimaal gebruik gemaakt van het buitenlicht. Dit in tegenstelling tot bestaande electrochromatische zonwering. Nu de haalbaarheidsstudie tevens heeft aangetoond dat een optische en thermische verbinding van de Videowindow modules aan het buitenglas in principe mogelijk is, kan Videowindow net als electrochromatische zonwering tevens op het energieverbruik voor klimaatbeheersing besparen.

In totaliteit denken we dat met de besparing op klimaatbeheersing en binnenverlichting ten opzichte van de in de meeste situaties toegepaste mechanische zonwering ("luxaflex") een besparing op de energie van ten minste 30% kan worden gerealiseerd.

Doordat het energieverbruik en daarmee de potentiële besparing afhangen van vele verschillende factoren (referentiesituatie, weersomstandigheden, gebouwoppervlak, -plafondhoogte, -functie, etc.), kan in deze fase nog niet exact worden aangegeven hoeveel energie en daarmee CO<sub>2</sub> wordt bespaard. Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) heeft in het verleden voor verschillende gebouwtypen de elektriciteit-intensiteit in kWh/m<sup>2</sup> bepaald. Hiermee zijn zeer basale, gemiddelde gegevens beschikbaar. Deze zijn er echter niet voor luchthavens. Er wordt daarom gerekend met de gegevens voor kantoren: we gaan uit van 6kWh/m<sup>2</sup> voor verlichting (10% van totale elektriciteitsverbruik van 60kWh) en 12kWh/m<sup>2</sup> klimaatbeheersing (20% van 60kWh).<sup>1</sup>

Momenteel is er reeds contact met Rotterdam The Hague Airport over een vervolgproject: deze luchthaven heeft ca. 14.000m<sup>2</sup> terminal oppervlak,<sup>2</sup> waarmee het energieverbruik voor verlichting en klimaatbeheersing volgens bovenstaande aannames op 252MWh komt. Een besparing van 30% kan hier dus 75,6MWh energiebesparing opleveren. Er van uit gaande dat deze energie grijs wordt opgewekt (uitstoot 0,649 kg CO<sub>2</sub>/kWh<sup>3</sup>), levert dit een reductie van ca. 49 ton CO<sub>2</sub> op.

Toepassing op 10 kleinere luchthavens zou daarmee al 490 ton CO<sub>2</sub> reductie opleveren, en verdere opschaling naar meer (grote) luchthavens en andere gebouwen zou dit nog verder vergroten.

## 5.4 Projectconclusie

Op basis van de resultaten uit dit project, lijkt een vervolg dan ook zeker haalbaar: zowel op technisch vlak lijken er mogelijkheden om de gewenste optical en thermal bonding te realiseren, waarmee een economisch interessant product ontstaat wat goed past in de markt. Het vervolg zal een R&D-project zijn waarin Videowindow en Roba samenwerken aan het verder onderzoeken en ontwikkelen van beoogde oplossingsrichtingen voor technisch knelpunten in de ontwikkeling. Mogelijk zal in een later stadium tevens met partijen in de glasindustrie, of partners als Delo worden samengewerkt.

<sup>1</sup> <https://www.energievastgoed.nl/2017/02/14/benchmark-energieverbruik-gebouwen/>

<sup>2</sup> <http://www.commissiemer.nl/docs/mer/p28/p2885/2885-002notrw.pdf>

<sup>3</sup> <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijsst-emissiefactoren/>

VideowindoW en Roba Engineering zullen op zeer korte termijn met de vervolgwerkzaamheden starten.

## 6. Communicatie

Zijn er duidelijk aanwijsbare successen van het project, anders dan de behaalde projectresultaten?  
Ja/nee

Zijn er publicaties verschenen over het project en/of hebben de media aandacht besteed aan het project?  
Ja/nee

Zou u mee willen werken aan publicaties of bijeenkomsten van RVO.nl en/of de topsectoren?  
Ja/nee

Geeft u toestemming aan RVO om informatie over de successen van het project te publiceren op [www.rvo.nl/volginnovatie](http://www.rvo.nl/volginnovatie)?  
Ja/nee

## 7. Financiën

In onderstaand exploitatieoverzicht zijn de gerealiseerde projectkosten van het Topsector Energiestudie project opgesomd.

### 7.1 Exploitatieoverzicht Videowindow B.V.

In onderstaand exploitatieoverzicht zijn de gerealiseerde projectkosten van de haalbaarheidsstudie genoemd voor VideowindoW, omdat deze deelnemer >25k aan subsidie ontvangt. De subsidiabele kosten zijn berekend volgens de 'Vaste uurtarief systematiek' met het algemeen geaccepteerde integrale uurtarief van €60 (inclusief overhead). Er zijn geen grote afwijkingen ten opzichte van de aanvankelijke begroting; er zijn wel minder materiaalkosten voor tests en quick & dirty prototyping gerealiseerd, en er zijn geen kosten derden gemaakt. Externe kennis van derden kon kosteloos worden ingewonnen en bijv. de lijm is kosteloos door Delo ter beschikking gesteld. Er zijn verder iets meer uren gemaakt dan begroot. De totale kosten vallen voor VideowindoW daardoor wat lager uit dan begroot. Op het subsidiebedrag heeft dit echter geen invloed.

<b>Exploitatieoverzicht VideowindoW B.V.</b> (excl. BTW)		
<b>Loonkosten</b>		
- WP1	508 uur á €60/uur	€ 30.480
- WP2	284 uur á €60/uur	€ 17.040
<b>Subtotaal</b>		<b>€ 47.520</b>
<b>Materiaalkosten tests/prototyping</b>		<b>€ 3.962</b>
<b>Kosten voor inhuur van derden</b>		<b>€ 0</b>
<b>Subtotaal</b>		<b>€ 3.962</b>
<b>Totaal</b>		<b>€ 51.482</b>

### 7.2 Exploitatieoverzicht Roba Engineering

Door Roba Engineering is minder dan 25k aan subsidie aangevraagd, dit bedrag is derhalve bij beschikking reeds vastgesteld. Er wordt daarom voor deze partner geen verzoek tot vaststelling ingediend. Er zijn voldoende uren (ca. 400) en kosten (> €8.000) gerealiseerd om deze subsidie te verantwoorden. Op navraag kan uiteraard inzicht worden gegeven in de gerealiseerde uren en kosten in de projectadministratie.

### **7.3 Financiering**

Op basis van het exploitatieoverzicht van VideowindoW vraagt deze projectpartner om een subsidievaststelling van de TSE van €32.000, op basis van de totale gerealiseerde projectkosten van €51.482. De subsidie van Roba Engineering is bij beschikking reeds vastgesteld op €18.000.