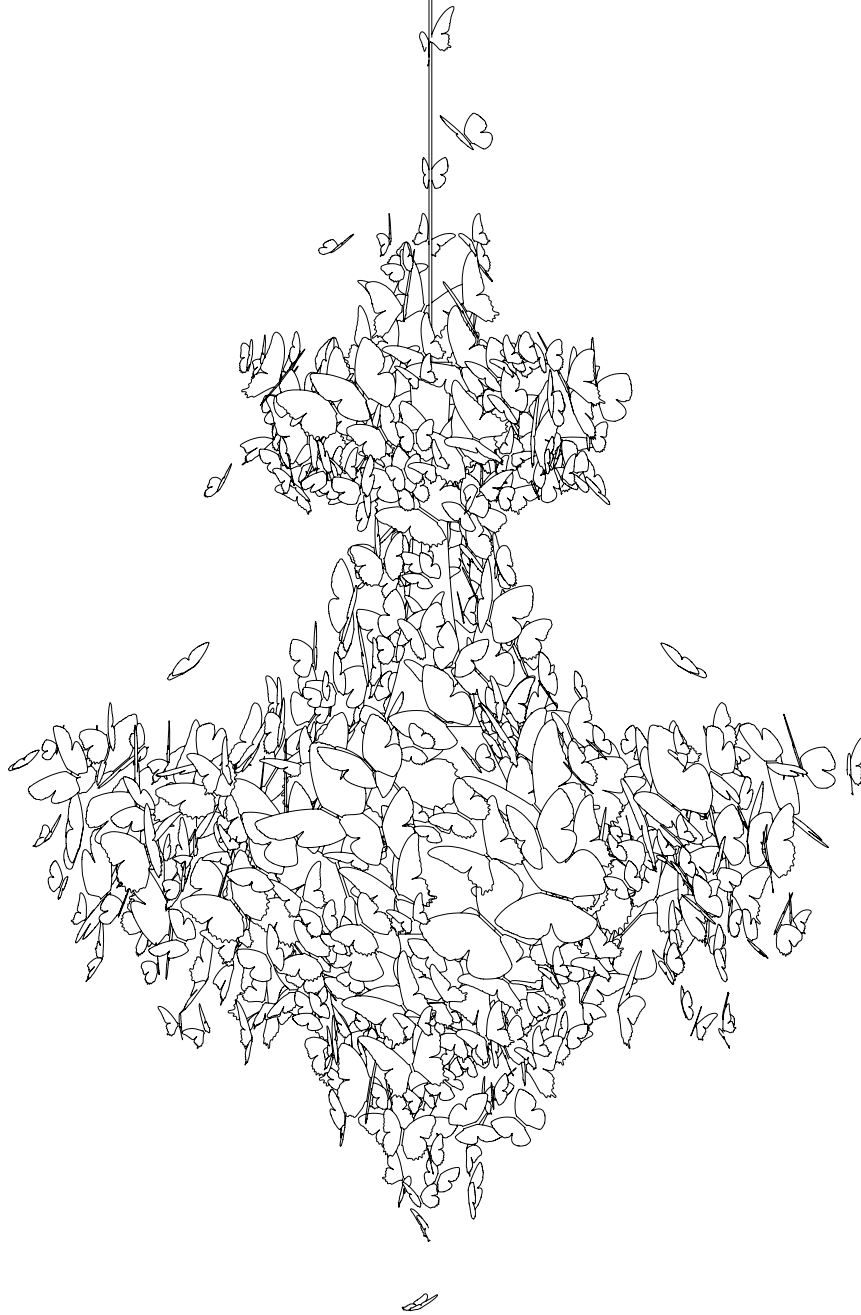




Eindverslag van de Bacheloropdracht
**Ontwerpondersteuning in het Kader van het
Solar Chandelier Project**

voor Demakersvan

Sebastian Kettler
Demakersvan
Universiteit Twente
Industrieel Ontwerpen
06-11-2009

Ontwerpondersteuning in het Kader van het Solar Chandelier Project

Naam student: Sebastian Kettler
Studentnummer: s0144568
Opleiding: Industrieel Ontwerpen
Datum bachelorexamen: 12-11-2009
Bedrijf: Demakersvan
Marconistraat 52
3029 AK Rotterdam

Examencommissie
Voorzitter: Arthur Eger
UT-begeleider: Wessel Wits
Bedrijfsbegeleider: Kay van Mourik

Voorwoord

Het ontwerpstudio *Demakersvan* uit Rotterdam heeft het project *Solar Chandelier* gestart. Daarbij gaat het om een kroonluchter die uit zonne-energie stroom opwekt en in licht omzet. Op deze manier werkt hij geheel autonoom.

Voor de realisatie van het ontwerp worden zonnecellen nieuw geïnterpreteerd. Zij worden uit de puur milieutechnische wereld naar de vormgevende ontwerpwereld gebracht. Door nieuwe vormen en toepassingen te gebruiken worden de zonnecellen letterlijk dichterbij de mensen gebracht. De dikke panelen die op daken van huizen van milieubewuste mensen geplaatst zijn, worden opengedoken en in een geheel nieuwe manier, in de vorm van vlinders, aan het interieur van huizen toegevoegd. Dit project zou kunnen helpen om een nieuw bewustzijn voor 'groene energie' te creëren en niet alleen de economische verantwoording benadrukken, maar ook qua vormgeving aantrekkelijk maken.

Voor ondersteuning op het technische gebied van het ontwerp hebben *Demakersvan* een drietal bacheloropdrachten aan de *Universiteit Twente* uitgeschreven. Een van deze opdrachten, de directe ontwerpondersteuning, is door mijzelf uitgevoerd. De resultaten van deze opdracht worden in dit verslag gepresenteerd.

Ik wil graag *Demakersvan* ervoor bedanken dat ik aan dit project mocht meewerken. Bijzonder wil ik Jeroen Verhoeven en Kay van Mourik van *Demakersvan* bedanken die mij door feedback en informatie tijdens de hele opdracht ondersteund hebben. Van de kant van de *Universiteit Twente* wil ik bijzonder Wessel Wits, voor zijn begeleiding en advies in technische vragen, en Angèle Reinders en Erik Hop voor hun ondersteuning bedanken. Bovendien wil ik ook graag Anniek Braham en Rik de Konink bedanken, die de andere twee bacheloropdrachten hebben uitgevoerd en wiens kennis en resultaten ik ook voor mijn opdracht mocht gebruiken.

Samenvatting

In dit verslag worden de resultaten van de bacheloropdracht *Ontwerpondersteuning* gepresenteerd die in het kader van het *Solar Chandelier* project, dat door *Demakersvan* geïnitieerd is, is uitgevoerd. De opdracht had als doel het vormgevende ontwerp, dat door *Demakersvan* was ontwikkeld, in een werkend product om te zetten. In het verloop van dit project zijn verschillende onderdelen van de kroonluchter op verschillende manieren uitgewerkt. Deze worden hieronder kort samengevat. Met de resultaten is het mogelijk om de *Solar Chandelier* te construeren en te produceren.

Ten eerste is een productiemethode voor het vervaardigen van een sandwichconstructie ontwikkeld, die de zonnecellen, die in vlindervorm zijn gesneden, zodanig ondersteund dat zij veilig in de kroonluchter geïntegreerd kunnen worden. Hiervoor is onderzoek naar technieken en methodes gedaan hoe zonnecellensandwiches in het algemeen geconstrueerd worden, en op welke manier deze op de *Solar Chandelier* toepasbaar zijn. Vervolgens is door proeven de meest geschikte techniek gekozen, en is in verdere tests onderzocht hoe de zonnecellen op elkaar aangesloten kunnen worden.

Daarnaast is naar een frameconstructie gekeken die het ruggengraat van de kroonluchter zou kunnen vormen. Aan deze constructie moeten alle vlinders worden opgehangen. Er zijn in *Solidworks* digitale modellen ontwikkeld en gedeeltelijk in echte modellen omgezet. De resultaten van tests en onderzoeken naar het materiaal en productiemethodes zijn in een advies voor de constructie van het frame samengevat.

Als het derde onderdeel van de opdracht is een voorstel voor de verbinding en ophanging van de vlinders aan de frameconstructie uitgewerkt. Ook hierbij zijn eerst digitale modellen gemaakt die vervolgens met rapidprototypingtechnieken vervaardigd en getest zijn.

De resultaten van het onderzoek naar de vlindersandwich en naar de verbinding zijn in een werkend prototype verenigd.

Abstract

This report presents the results of the bachelor assignment *Ontwerpondersteuning* [Engl.: 'Design assistance'] which was part of the *Solar Chandelier* project that was set up by *Demakersvan*. The goal of this assignment was to translate the artistic design, that was made by *Demakersvan*, into a working and producible product. Different parts of the chandelier are elaborated in different ways. The design processes of those will be abstracted shortly below. The results of the assignment enable *Demakersvan* to build and produce the chandelier.

For the integration of the solarcells, that are cut in the form of butterflies, into the chandelier, a sandwich construction is developed to strengthen and protect the cells. The construction is based on a research on sandwich construction techniques for solarcells in general. There is analyzed which methods and techniques can be applied in the design of the sandwich construction for the butterfly-solarcells. By testing, the most applicable technique is chosen. Thereafter a technique for connecting the different solarcells is developed.

Aside from the sandwich construction, there is worked on a frame construction that can carry all the butterflies, and can therefore be the backbone of the chandelier. Digital models of such a construction are made in *Solidworks* and are transformed partly into real models. The results of testing and researches on possible materials and production techniques are summed up in a recommendation for the construction of the frame.

The third part of the assignment was the design of a connection and mounting of the butterflies on the frame. This part is worked out in a draft-proposal. Therefor, also digital models are made in *Solidworks* which were produced by rapid prototyping techniques. The models are based on tests analyzed and improved.

The results of the researches on the butterfly sandwich construction and the connection and mounting are combined in a functional prototype.

Inhoudsopgave

<i>1 Introductie</i>	<i>Pagina</i>
1.1 Opdrachtoomschrijving	7
1.2 Aanmerking op de Opdrachtoomschrijving	7
1.3 Opdrachtgever <i>Demakersvan</i>	8
1.4 De Solar Chandelier	9
1.5 Opbouw van het Verslag	10
<i>2 Vlindersandwich</i>	
2.1 Probleemomschrijving	11
2.2 PvE Vlindersandwich	12
2.3 Onderzoek naar Constructie van de Vlindersandwich	13
2.4 Overzicht van de Globale Sandwich Structuur	20
2.5 Uitwerking Sandwich	21
2.6 Conclusies en Aanbevelingen	25
<i>3 Frameconstructie</i>	
3.1 Probleemomschrijving	28
3.2 PvE Frameconstructie	28
3.3 Concepten voor een Basisframe	29
3.4 Frameconstructie zonder Basisframe	31
3.5 Geleidend vs. Constructief Frame	34
3.6 Conclusies en Aanbevelingen	38
<i>4 Verbinding Vlinder – Frame</i>	
4.1 Verbinding Niet-werkende Vlinders – Frame	39
4.2 Verbinding Werkende Vlinders – Frame	40
4.3 Conclusies en Aanbevelingen	42
<i>5 Productiestappenplan voor de Vlindersandwich en de Verbinding</i>	43
<i>6 Algemene Conclusies en Aanbevelingen</i>	47
<i>7 Bronvermeldingen</i>	48
<i>8 Bijlagen (apart ingebonden)</i>	49

I Introductie

I.1 Opdrachtomschrijving

Deze opdracht maakt onderdeel uit van het project *Solar Chandelier* dat van de design studio *Demakersvan* in samenwerking met de *Universiteit Twente* wordt uitgevoerd. Het project bestaat uit het ontwikkelen en maken van een kroonluchter die met behulp van zonnecellen autonoom kan licht geven. Naast deze opdracht worden er nog twee andere bacheloropdrachten in het kader van dit project uitgevoerd. Deze zijn meer op onderzoek naar de werkwijze van de zonnecellen gericht.

De kroonluchter is door *Demakersvan* vormgegeven. De *Universiteit Twente* is gevraagd om de technische uitwerking te verzorgen en daarbij ook aandacht aan de productie te besteden. Deze bacheloropdracht richt zich vooral op ontwerp ondersteuning van het elektrotechnische gedeelte en de constructie van de kroonluchter. Dat houdt in dat het ontwerp dat door *Demakersvan* gemaakt is in een produceerbaar product wordt omgezet. Daarvoor moet er naar de te gebruiken zonnecellen en LED's, de bedrading en de overige componenten die nodig zijn om de kroonluchter te laten werken gekeken worden. Het resultaat van de opdracht is een ontwerpvoorstel hoe deze techniek in het ontwerp kan worden geïntegreerd. Van het ontwerp voor de zonnecellen zal een prototype worden gemaakt.

Voor de nodige kennis op het gebied der elektrotechniek zullen er experts aan de *Universiteit Twente* betrokken moeten worden.

Locatie voor de uitvoering van de opdracht is de *Universiteit Twente* terwijl het vormmodel in de studio van *Demakersvan* in Rotterdam staat zodat voor overleg een aantal reizen naar Rotterdam nodig zullen zijn. Bovendien zullen medewerkers van *Demakersvan* ook een aantal keren naar Enschede komen om de voortgang te bespreken.

I.2 Aanmerking op de Opdrachtomschrijving

Aangezien het project nog in een vrij experimentele fase van het ontwerpproces zat toen er aan de bacheloropdracht werd begonnen is de verdeling van de opgaven tijdens het uitvoeren van de opdracht een aantal keren verandert. Uiteindelijk is er zich in deze bacheloropdracht vooral met het ontwerp van de zonnecellen, het frame, de aansluiting van de zonnecellen bezig gehouden.

1.3 Opdrachtgever – Demakersvan

De opdrachtgever *Demakersvan* is een ontwerpstudio die in 2005 door Jeroen Verhoeven, Joep Verhoeven en Judith de Graauw is opgericht. De ontwerpstudio staat bekend om *hun* Dutch Design en is vooral met vormgeving bezig. *Demakersvan* hebben al op de gebieden van architectuur, meubels en productdesign gewerkt. Tot hun partners en klanten met wie zij al hebben samen gewerkt horen verschillende bedrijven, zoals bijvoorbeeld Hugo Boss, Swarovski en Nike [1]. Daarnaast maken een aantal van hun ontwerpen onderdeel uit van de collectie van beroemde musea zoals de MoMa in New York [2]. Ontwerpen voor musea zijn vooral exclusieve producten, dus hebben *Demakersvan* op dit gebied al ervaring opgedaan die zij voor het ontwerp van de *Solar Chandelier* kunnen gebruiken [3].

Voor ondersteuning op het gebied van techniek, vooral zonne-energietechnologie, hebben *Demakersvan* de *Universiteit Twente (UT)* gevraagd om aan het project *Solar Chandelier* mee te werken.

De UT is een ondernemende universiteit waar naast hoger onderwijs ook veel wetenschappelijk onderzoek in samenwerking met bedrijven wordt gedaan. Door haar expertise en faciliteiten is de Universiteit uitermate geschikt en voor bedrijven erg interessant om in samenwerking met bedrijven onderzoek te doen of projecten gezamenlijk uit te voeren. Bij de faculteit *Industrieel Ontwerpen* beschikt de UT bovendien over grote kennis op het gebied van zonnecellen zodat er de nodige expertise bestaat om een op vormgeving ontworpen product zoals de *Solar Chandelier* met de juiste technologie te voorzien [4].

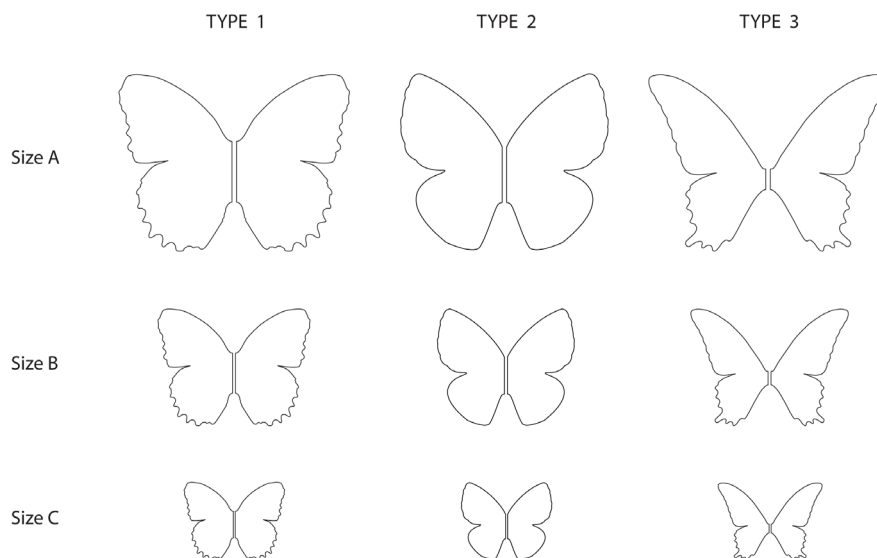
1.4 De Solar Chandelier

Om een duidelijker beeld van het gehele project en concept te verkrijgen volgt hieronder een korte introductie in het ontwerp van de *Solar Chandelier*.

De naam *Solar Chandelier* (NL: 'Zonnekroonluchter') geeft al een idee wat voor een product de *Solar Chandelier* is. De *Solar Chandelier* is een Kroonluchter die op zonne-energie werkt. De zonnecellen die de energie opwekken hoeven echter niet op het dak van het gebouw geplaatst worden waarin de kroonluchter komt te hangen, maar deze zijn in de kroonluchter geïntegreerd. Daardoor is de kroonluchter in staat om geheel autonoom te werken.

Demakersvan hebben ervoor gekozen om de zonnecellen de vorm van vlinders te geven. Deze zijn op zo'n manier geplaatst dat zij in een zwerm, die in een draaiende, naar boven gerichte beweging is gerangschikt, lijken te vliegen. Daarvoor dat de vlinders op hun positie blijven zitten zorgt een frameconstructie, waaraan de vlinders worden bevestigd.

In totaal bevat de kroonluchter 480 zonnecellen in de vorm van verschillende vlinders. De verschillende soorten en vormen zijn in *Figuur 1* te zien. Van de 480 vlinders zijn maar 103 werkend. Dat wil zeggen dat alleen deze 103 vlinders stroom opwekken. De andere vlinders hebben een te klein oppervlak om het technische vertoon die nodig is om de cellen werkend te maken zinvol te laten zijn. Zij hebben alleen een vormgevende functie.



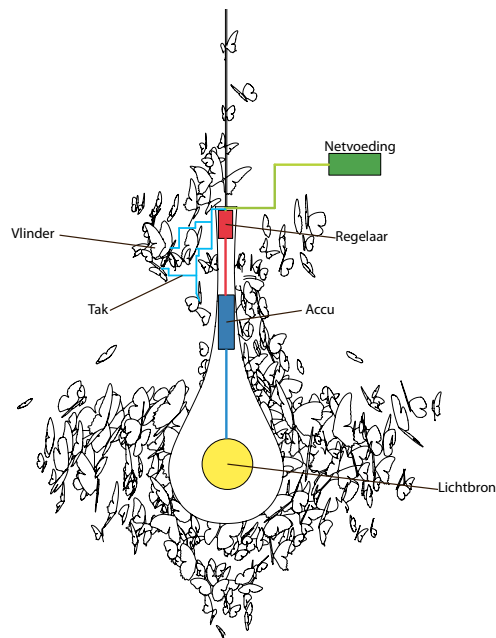
Figuur 1: Vlindertypes

In het midden van de zwerm en de frameconstructie zit een glazen bulb. In de bulb komen de lichtbronnen en de andere benodigde elektronische apparatuur, zoals bijvoorbeeld accu's, terecht. Als lichtbronnen worden LEDs gebruikt. Deze verbruiken maar weinig stroom en werken heel efficiënt, waardoor de accu's voor een langere tijd voldoende stroom kunnen leveren.

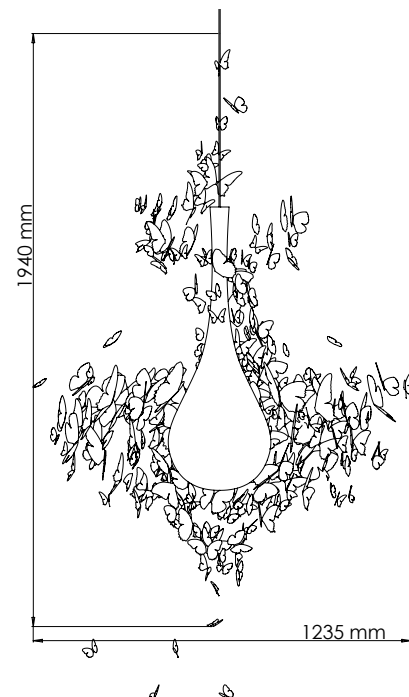
In *Figuur 2* is de opbouw van de kroonluchter schematisch weergegeven. Tijdens het ontwerpproces kwam naar voren dat de zonnecellen binnen gebouwen te weinig stroom opleveren om de kroonluchter voor een aanvaardbare tijdsduur te verlichten. Daarom is de kroonluchter ook aan netstroom aangesloten om de accu niet alleen via de zonnecellen op te laden.

De afmetingen (*Figuur 3*) en het totale gewicht van de kroonluchter zijn door *Demakersvan* bepaald. Voor de verdeling van het gewicht is een budget opgesteld, dat als oriëntatie tijdens het ontwerpproces dient (*Tabel 1*). De waardes in het budget zijn op schattingen gebaseerd.

Het gewicht van de glasbulb is nog niet definitief bekend, maar zal, volgens *Demakersvan*, tussen de 30 kg en 40 kg liggen.



Figuur 2: Schematische opbouw van de kroonluchter



Figuur 3: Afmetingen van de kroonluchter

Onderdeel	Gewicht gewenst (kg)	Gewicht maximaal (kg)
Glasbulp	30	40
Vlinders	3	3
Accu's	8	8
Verlichting	0,2	0,2
Ophanging	5	5
Bedrading	2	2
Frame	11,8	11,8
Totaal	60	70
Maximum	60	70

Tabel 1: Gewichtsbudget

1.5 Opbouw van het Verslag

In de volgende drie hoofdstukken zullen de ontwerpprocessen van de vlinders, het frame en de verbinding en ophanging van de vlinders aan het frame worden beschreven.

In het hoofdstuk *Vlindersandwich* wordt aandacht aan de constructie van een sandwichconstructie voor de vlinders besteedt, die de heel breekbare zonnecellen moet ondersteunen.

In het hoofdstuk *Frameconstructie* wordt het proces naar een aanbeveling voor het maken van een frame gepresenteerd.

In hoofdstuk *Verbinding Vlinder – Frame* wordt de uitwerking van het voorstel voor de verbinding en ophanging van de vlinders van het frame beschreven.

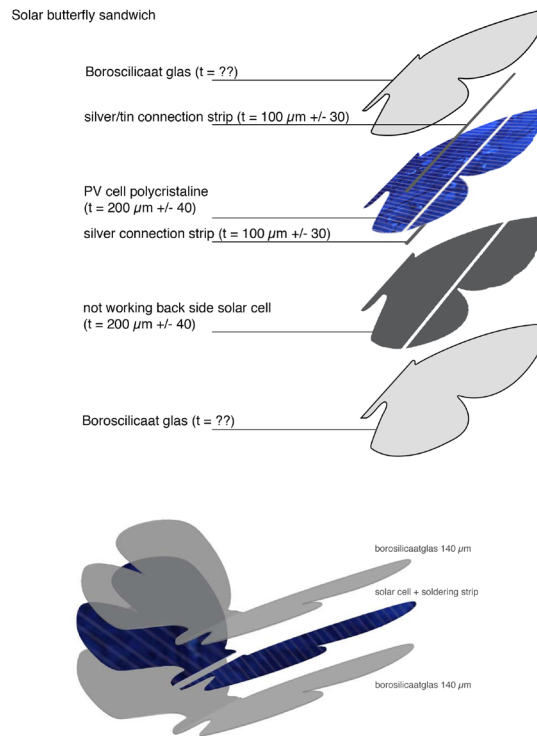
In hoofdstuk zes, *Productiestappenplan*, zijn de resultaten van het onderzoek naar de productie van de sandwichconstructie en de verbinding in een productiestappenplan samengevat.

In *Algemene Conclusies en Aanbevelingen* wordt op de complete opdracht teruggekeken, en in *Bijlagen* zijn gedetailleerdere uitwerkingen van sommige ontwerpstappen te vinden. Hiernaar wordt ook in het verslag verwezen.

2 Vlindersandwich

In dit hoofdstuk zal het ontwerpproces van de vlindersandwich omschreven worden.

De type zonnecellen waren al aan het begin van de opdracht door *Demakersvan* gekozen. De vormgeving is tevens door *Demakersvan* bepaald en er was al een voorstel voor de constructie van de sandwich gedaan (*Figuur 4*): De vlindersandwich moet aan de voor- en achterkant zonnecellen hebben, waarbij voor de achterkant dummycellen worden gebruikt, zonnecellen die niet werken, en de vlinderhelften moeten onder een hoek van 130° met elkaar worden verbonden.



Figuur 4: Voorstel voor een sandwichconstructie van Demakersvan

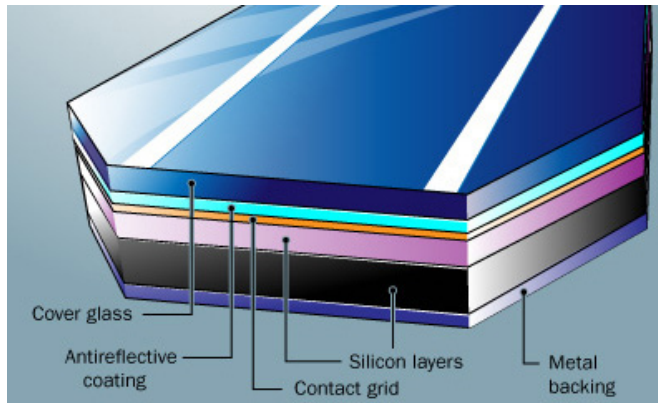
Bij het uitwerken van de sandwich ging het er vooral om hoe de sandwich het beste zou kunnen worden gemaakt. Er is aan het begin een literatuuronderzoek uitgevoerd om de nodige kennis op te doen om de problemen van de constructie van de vlindersandwich op te kunnen lossen.

Eerst zal in de probleemomschrijving een globaal beeld van de eisen worden geschetst, die aan de vlindersandwich worden gesteld.

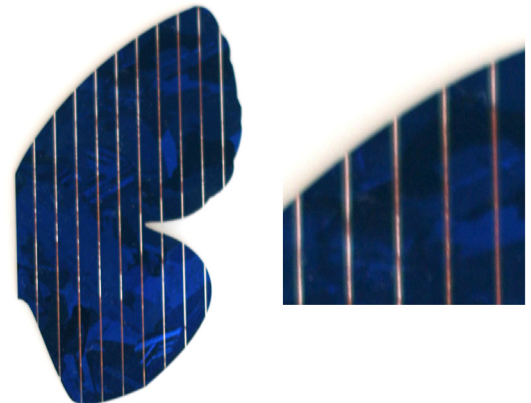
2.1 Probleemomschrijving

Het voornaamste probleem van de zonnecellen is hun breekbaarheid, deze is ongeveer vergelijkbaar met de breekbaarheid van heel dunne glasplaten. Het maar 0,2 mm dikke silicium kan nauwelijks buigkrachten opvangen en moet daarom ondersteund worden. Ook kleine microcracks kunnen de cel al zodanig beschadigen dat deze niet meer werkt. Om dit te voorkomen is een versterking nodig.

Naast de breekbaarheid is bescherming tegen invloeden van buiten voor essentieel belang voor de cellen. Bij "traditionele" panelen worden hiervoor dunne glasplaten gebruikt die op de zonnecellen worden gelijmd waardoor deze tegen vuil, water en weersinvloeden, zoals regen of hagel beschermd zijn (*Figuur 5*). Voor de kroonluchter, die zo ontworpen is dat hij buiten werkt, zijn weersinvloeden echter van minder belang omdat hij binnen gebouwen zal worden opgehangen. Echter is er ook binnen gebouwen luchtvochtigheid die het geleidingsrooster op de zonnecellen kan laten corroderen. Hierdoor werkt de stroomopwekking niet meer en bovendien verandert het uiterlijk van het geleidingsrooster (*Figuur 6*). Hiervoor moet een geschikte bescherming worden gevonden.



Figuur 5: Constructie van een traditioneel zonnepaneel [5]



Figuur 6: Gecorrodeerde zonnecel

Als derde punt is functionaliteit van de complete sandwich van belang. De elektrische energie die door de zonnecellen wordt opgewekt moet uiteindelijk naar de LEDs in de bulb in het midden van de kroonluchter worden geleid. Daarvoor zijn aansluitingen nodig die van de zonnecellen naar een centrale punt in de sandwich leiden waarop het circuit van de kroonluchter kan worden aangesloten.

Tijdens de constructie moet naast de drie bovengenoemde punten ook altijd met de produceerbaarheid rekening worden gehouden. In totaal zal elke kroonluchter 1920 vlinderhelften (vier helften per sandwich) van verschillende grootten en vormen bevatten. Omdat er maar een gelimiteerde hoeveelheid kroonluchters zal worden gemaakt, er wordt uitgegaan van ongeveer 20, is een geautomatiseerde serieproductie van de vlindersandwiches niet mogelijk.

Om een nauwkeuriger beeld van de vereisten van de vlindersandwich te verkrijgen is een programma van eisen (PvE) opgesteld.

2.2 PvE Vlindersandwich

De vlindersandwich moet aan de volgende eisen voldoen:

Constructie

- De vlindersandwich mag niet makkelijk breken en moet versterkt worden
- De versterking moet twee halve vlinders onder een hoek van 130° met elkaar verbinden
- De constructie moet techniek (zoals diodes, stekkers, kabels, etc.) kunnen bevatten
- De vlindersandwich moet tegen corrosie worden beschermd
- De vlindersandwich moet makkelijk schoon te maken zijn
- De randen van de verschillende sandwichlagen moeten visueel doorlopend op elkaar aansluiten
- Een vlinder mag gemiddeld maximaal 6,25 gram wegen

Vormgeving

- De vlindersandwich moet netjes worden afgewerkt en een strak uiterlijk hebben

Productie

- De vlindersandwich moet met bestaande productietechnieken voor kleinschalige serieproducties gemaakt kunnen worden

2.3 Onderzoek naar de Constructie van de Vlindersandwich

Er is onderzoek naar de constructie- en productiemogelijkheden van de sandwich gedaan. Daarvoor zijn eerst twee algemene constructies voor de versterking (vanaf nu drager genoemd) bedacht. Vervolgens zijn verschillende bestaande technieken bekeken en geanalyseerd. Hieronder is een samenvatting van het onderzoek over de technieken te vinden. De uitgebreide versie is in *Bijlage 1.1* na te lezen.

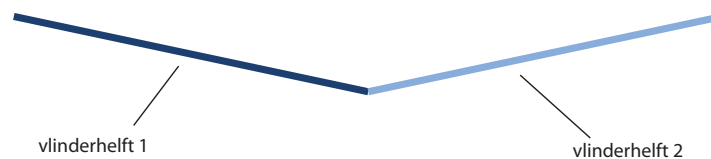
Constructie van de drager

Voor de constructie van de vlindersandwiches zijn voornamelijk twee mogelijkheden. De eerste, *One-piece* genoemd, bestaat uit één element, bijvoorbeeld een kunststofplaat. Dit element heeft de vorm van een complete vlinder. Echter zou door het toevoegen van een tussenstuk van hetzelfde materiaal, dus het verbreden van de vorm, het vouwen van het element en het integreren van elektronische componenten vergemakkelijkt kunnen worden. Zo is er één hele vlinder waar de zonnecellen en de elektrische componenten aan toegevoegd moeten worden, bijvoorbeeld met behulp van lijm (*Figuur 7*).

1) Twee vlinderhelften uit één stuk materiaal...



2) ...dat in de gewenste vorm wordt gebracht.



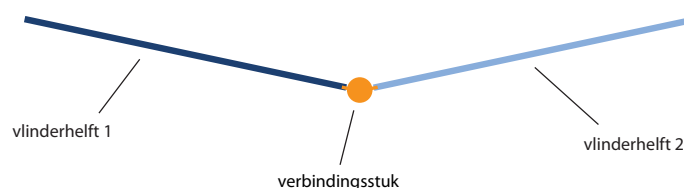
Figuur 7: One-piece constructie

De tweede methode, *Multiple-pieces* genoemd, bestaat uit minstens drie elementen. Twee verstevigings-elementen in de vorm van elk één vleugel en minstens een verbindingsstuk. De twee vleugelstukken/vlinderhelften kunnen onder een hoek aan het verbindingsstuk worden bevestigd waardoor een complete vlinder ontstaat (*Figuur 8*).

1) Twee aparte vlinderhelften en een verbindingsstuk...



2) ...worden tot een vlinder samengevoegd.



Figuur 8: Multiple-pieces constructie

Onafhankelijk van de productietechniek had de methode *One-piece* de voorkeur omdat er minder onderdelen voor nodig zijn.

Lamineertechnieken

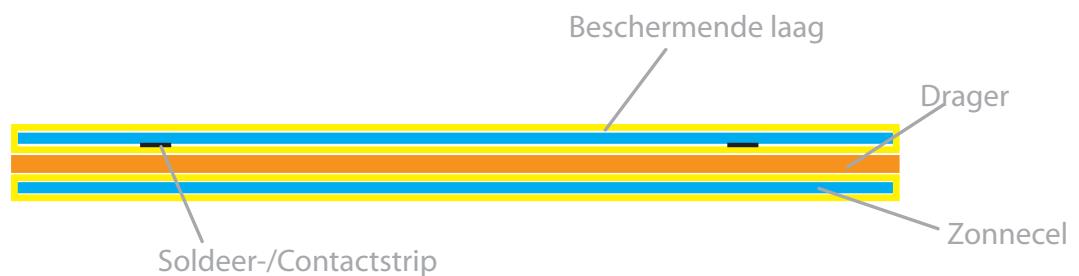
Als productietechnieken voor de sandwich is er na lamineertechnieken en technieken voor het maken van de drager gekeken. De meeste lamineertechnieken zijn al voor het beschermen en verstevigen van zonnecellen gebruikt, zoals bijvoorbeeld *Resin Transfer Molding (RTM)* of silicone. De technieken en materialen voor de drager zijn aan de hand van hun constructieve eigenschappen uitgekozen. Een overzicht van de onderzochte technieken staat in *Bijlage 1.1*.

Concepten voor het maken van de Vlindersandwich

Aan de hand van de bovengenoemde technieken zijn verschillende concepten voor de constructie van de vlindersandwich ontwikkeld. Na eerste proeven en een analyse van de voor- en nadelen van elk concept bleken twee concepten bijzonder geschikt. Het concept *Plaatsandwich Optie 2* en het concept Lamineren met *RTM*. Deze twee concepten zullen in het volgende kort worden toegelicht. Een uitgebreide omschrijving van de concepten is in *Bijlage 1.2* te vinden.

Plaatsandwich Optie 2

Tussen de zonnecellen wordt een dunne plaat (drager) van kunststof (PET) of glas gelijmd. De lijm heeft daarbij ook een vullende werking, om de ruimte die door de contactstrips tussen de zonnecellen op de voorkant en de drager ontstaat. Dit is belangrijk om de zonnecellen over de hele vlakke te ondersteunen zodat deze bij punt belasting niet breekt. Op de voorkant van de zonnecellen wordt een silicone film als beschermende laag opgebracht. Eventueel zou de silicone film ook als lijmverbinding tussen de drager en de zonnecellen kunnen fungeren (*Figuur 9*).



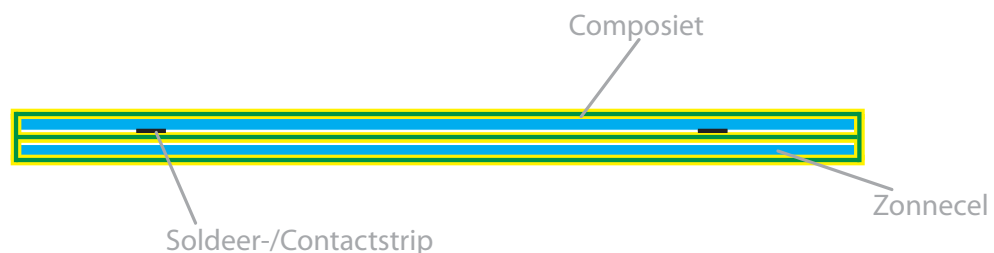
Figuur 9: Schematische weergave van Plaatsandwich Optie 2

De positieve eigenschappen van deze constructie is dat zij vrij eenvoudig is. Voor het maken van deze sandwich is maar één plaat nodig. Het uitzagen en buigen van de plaat voor de beschermende laag vraagt weinig tijd als deze met een laser kunnen worden uitgesneden. De beschermende laag uit silicone film kan met een kwast eenvoudig en snel worden opgebracht.

De negatieve eigenschappen van de beschermende laag uit silicone film is dat zij maar relatief weinig bescherming tegen krassen biedt.

Lamineren met RTM

Bij het lamineren met *RTM* wordt tussen – en om de zonnecellen heen glasvezelmat gelegd en met harsen geïmpregneerd. Daardoor ontstaat een stevige composiet tussen – en om de zonnecellen heen (*Figuur 10*).



Figuur 10: Schematische weergave van een sandwich dat met een RTM laminaat is gemaakt

De positieve eigenschappen van het *RTM* proces is dat de zonnecellen in één productiestap worden verstevigd en gelamineerd. De sandwich die met dit proces kan worden vervaardigd is stevig en glashelder. Bovendien is deze techniek al vaak voor het lamineren bij zonnecellen toegepast en levert goede resultaten op.

De negatieve eigenschappen van het *RTM* proces is dat ervoor een vrij ingewikkelde mal moet worden gemaakt, ongeveer vergelijkbaar met spuitgietmatrijzen. Bij negen verschillende soorten vlinders zouden voor elke vlinder een aparte mal moeten worden gemaakt waardoor de productiekosten heel hoog zouden zijn.

Een goedkopere en eenvoudiger mal zou voor het *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM)* kunnen worden gebruikt. Hierbij worden de harsen niet in de mal gespoten maar door een vacuüm in de mal gezogen. Echter is de kwaliteit van het composiet bij dit proces lager dan bij *RTM*.

Verdere Onderzoek

Vervolgens is er verder onderzoek na deze twee concepten gedaan.

Resin Transfer Moulding

Na een gesprek met dr. ir. Laurent Warnet, docent aan de *UT* bij de vakgroep *Ontwerp, Productie en Management (OPM)* en een expert voor het toepassen van composieten, bleek dat allebei de *RTM* processen voor de *Solar Chandelier* niet geschikt zijn. Dit heeft de volgende redenen:

RTM

- a) Het *RTM* proces vraagt om een complexe mal. Deze is ongeveer vergelijkbaar met een mal voor spuitgietprocessen. De ontwikkeling van dit soort mallen zal bij het *NLR (Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium)* uit worden gevoerd. Hiervoor zijn ongeveer 3 maanden voor de mallen van alle soorten vlinders nodig. Dit betekent dat de kosten voor het maken van de mallen vrij hoog liggen.
Daarnaast zullen een aantal tests moeten worden uitgevoerd om de vezelmatten voldoende te impregneren. Het impregneren zou problemen kunnen opleveren.
- b) Als het proces werkt zou een vlinder per 30 seconden kunnen worden gemaakt. Nadat de sandwich uit de mal komt moet deze na worden bewerkt. Omdat de vezelmatten niet op dezelfde maat als de zonnecellen kunnen worden gesneden moet de vorm uit de composiet product worden gesneden. Hiervoor kan een laser worden gebruikt. Echter moet deze rond 130° kunnen worden gekanteld zodat de snijproces nauwkeurig verloopt. Ook zou de vlinder gekanteld kunnen worden, waarbij deze dus drie keer opnieuw zou moeten worden ingespannen. Bij het snijden is het belangrijk dat alleen de glasvezelmat wordt gesneden en de zonnecel niet geraakt wordt. Deze zouden anders verbranden.

VARTM

- *VARTM* kan met een minder ingewikkelde mal worden gemaakt. Dit is voor prototypen en kleinschalige producties aantrekkelijk. Echter verloopt het proces hierdoor niet altijd succesvol. Door de lagere druk bestaat de kans dat de vezelmatten niet compleet geïmpregneerd worden. Hiervoor zouden tests moeten worden uitgevoerd. Meneer Warnet durfde geen eenduidige uitspraak over de praktische werking van het proces in het kader van dit project te doen.
- c) Daardoor dat er een vacuüm gecreëerd moet worden is het niet mogelijk om de Contactstrips al van tevoren in de sandwich te integreren. Of, de sandwich zou na het lamineren weer moeten worden opengesneden om de elektrische aansluitingen toe te voegen. Het complete proces vraagt ongeveer 30 minuten per vlinder.
- d) *VARTM* vraagt dezelfde nabewerking als *RTM*.

Een uitgebreid verslag van het gesprek dr. ir. Warnet is in *Bijlage 1.3* na te lezen.

Plaatsandwich

Naast het verdere onderzoek na het RTM proces is er het meest geschikte dragermateriaal voor de Plaatsandwichconstructie gezocht. Hieronder zijn de eisen aan de eigenschappen voor het materiaal opgesteld.

Het dragermateriaal is de basis van de plaatsandwich. Het zorgt voor de stevigheid van de sandwich en bepaalt daardoor dat het het dikste onderdeel van de sandwich is hoe massief de vlinders worden. Het materiaal heeft dus een belangrijke invloed op het uiterlijk van de complete vlinder. Om het meest geschikte materiaal te vinden zijn richtlijnen opgesteld die als oriëntatie dienen:

- De drager moet zo dun mogelijk zijn
- Het materiaal moet zo sterk mogelijk zijn
- Het materiaal moet zo licht mogelijk zijn
- Het materiaal moet lokaal vervormbaar zijn zodat een *One-piece* constructie gemaakt kan worden
- Het materiaal mag niet corroderen

Er is na verschillende metalen en kunststoffen gekeken. Deze zijn met elkaar vergeleken en er zijn proefjes uitgevoerd, om het meest geschikte materiaal te vinden [6].

	Aluminium	Magnesium	Titanium
Dichtheid (kg/m ³)	2500 - 2900	1740 - 1950	4400 - 4800
gem. Dichtheid (kg/m ³)	2700	1845	4600
Prijs (EUR/kg)	1,71 - 1,68	3,10 - 3,41	66 - 72,60
Young's Modulus (GPa)	68 - 82	42 - 47	90 - 120
gem. Young's Mod. (GPa)	75	44,5	105
gem. Dichtheid/ gem. Young's Mod.	36	41,46	43,81

Tabel 2: Eigenschappen van de light alloys

Metaal (Light Alloys)

De *light alloys*, aluminium, magnesium, titanium, voldoen allemaal uitstekend aan de bovengenoemde eisen en zijn daarom als mogelijk materialen gekozen.

Hieronder zijn de eigenschappen van de *light alloys*, die voor de bovengenoemde eisen van belang zijn, in een tabel vergeleken (Tabel 2).

Conclusie

Aluminium is het goedkoopste van de drie materialen en heeft bovendien ook de laagste verhouding van *dichtheid/Young's modulus*. Dat betekent dat een constructie van aluminium lichter is dan dezelfde constructie van magnesium of titanium bij dezelfde stijfheid.

Titanium heeft een hogere *Young's modulus* dan de twee andere materialen en is dus stijver. Dat betekent dat een drager van titanium dunner zou kunnen worden gemaakt dan een drager van aluminium of magnesium en toch dezelfde stijfheidwaarde heeft. Titanium is echter heel erg veel duurder dan de andere twee materialen.

Magnesium ligt qua prijs en *dichtheid/Young's modulus* tussen aluminium en titanium in. Er moet wel vermeld worden dat magnesium in heel dunnen platen licht brandbaar is.

Kunststof

Met behulp van het programma CES EduPack 2008 [6] en informatie van kunststofdistributeurs zijn vier mogelijke kunststoffen gekozen en nader bekeken. Polycarbonaat (PC), Polyethyleenterephthalaat (PET),

Polymethylmethacrylaat (PMMA) en *Polyvinylchloride (PVC)*. Als extra criterium is de transparantie van het materiaal meegenomen. Dit omdat bij het gebruik van een transparante drager de aandacht sterker op de zonnecellen gericht is, dat het meest essentieel onderdeel van de kroonluchter is.

Hieronder zijn tevens de eigenschappen van de verschillende kunststoffen, die voor de bovengenoemde eisen van belang zijn, in een tabel vergeleken (*Tabel 3*) [6].

	PC	PET-G	PMMA	PVC
Dichtheid (Kg/m ³)	1190 - 1210	1260 - 1280	1170 - 1200	1300 - 1490
Prijs (EUR/kg)	2,4 - 2,64	1,71 - 1,88	1,71 - 1,88	1,04 - 1,14
UV Bestendigheid	goed	goed	heel goed	heel goed
Transparantie	Optical quality	Optical quality	Optical quality	Transparent
Young's Modulus (Gpa)	2,32 - 2,44	2,01 - 2,11	2,24 - 3,24	2,48 - 3,31
Lasersnijden	ja	ja	ja	ja
Warm buigen	ja	ja	ja	ja
gem. Dichtheid/ gem. Young's Mod.	504,20	616,50	675,18	481,03

Tabel 3: Eigenschappen van de gekozen kunststoffen

Conclusie

Het valt meteen op de kunststoffen lichter zijn, maar ook een veel lagere stijfheid hebben dan de metalen. Er is dus ook veel meer materiaal voor een constructie nodig om dezelfde stijfheid te bereiken als die van dezelfde metalen constructie. De kunststof met de beste eigenschappen voor een drager is, door de beste stijfheidwaarde, *PMMA*.

Distributeurs

Naast de eigenschappen is er ook naar de verkrijgbaarheid van de materialen gekeken. Vink Kunststoffen en Eriks b.v., twee grote distributeurs in Nederland, hebben verschillende plaatdiktes in de aanbieding (*Bijlage 1.4*). Uit het aanbod blijkt dat juist *PET-G*, het minst stijve materiaal, in hele dunne platen verkrijgbaar is. *PMMA*, de stijfste kunststof, daarentegen is pas vanaf een plaatdikte van 1 mm verkrijgbaar. Dus zou een stijve drager van kunststof minstens 1 mm dik moeten zijn.

Proeven

Er zijn proeven uitgevoerd om er een beeld van te verkrijgen wat de getallen voor de praktijk betekenen. Een overzicht van alle proeven in *Bijlage 1.5* te vinden.

Als proefvlinder is de soort 3A gekozen. Deze vlinder is een grote vlinder met, in vergelijking met de ander twee soorten, het smalste tussenstuk. De afstand tussen de buitenste punten is het grootst van alle vlinders. Dit betekent dat de vorm vrij smal ten opzichte van de lengte is. Hierdoor wordt de buigstijfheid beïnvloed en is deze hier het laagst van alle vlinders.

Er zijn kunststof vlinders met vlinders van aluminium vergeleken. Voor de aluminiumvlinder is een Al/Mg3 legering gebruikt. Dit materiaal is bijzonder geschikt voor lasersnijden. Bovendien verlaagt het magnesium de dichtheid van het materiaal waardoor het lichter wordt. Voor de kunststofvlinder is *PET* gebruikt. Dit omdat het het makkelijkst te verkrijgen materiaal was. Ook is er de zwakste kunststof voor de proeven gebruikt, kan een proef met deze twee materialen wel een representatieve indicatie voor het gedrag van kunststof en metaal in deze vorm geven, omdat de Young's moduli van de metalen en kunststoffen met minstens een factor 10 van elkaar verschillen.

Het resultaat is eenduidig. *PET* is als drager materiaal niet geschikt (*Figuur 11*), aluminium wel (*Figuur 12*). De *PET* vlinder is niet stijf genoeg en de zonnecel die met silicone coating erop is gelijmd breekt al bij

lage belastingen in kleine stukjes. Aluminium kan deze belastingen wel aan en de zonnecel breekt niet. Er kan ook zonder verdere proeven de uitspraak worden gedaan dat geen van de mogelijke kunststoffen die belastingen vol houdt. Dit omdat de Young's modulus van PET wel het laagst van alle kunststoffen is, maar de moduli van de andere kunststoffen ten opzichte van de Young's modulus van aluminium maar nauwelijks verschillen.

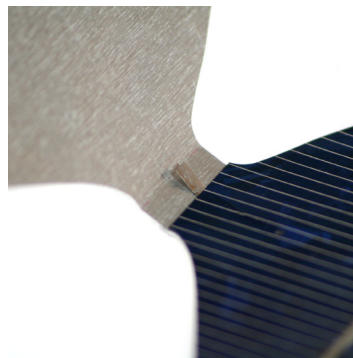
Bij de proeven kwam daarnaast ook naar voren dat het nodig is om een tussenstuk tussen de twee vleugels in de drager toe te voegen (Figuur 13) om de mechanische verbinding van de vlinder met het frame te verbinden een groter constructieoppervlak te bieden. De breedte van dit tussenstuk bedraagt 6 mm.



Figuur 11: Gebroken zonnecel op PET drager



Figuur 12: Zonnecel op aluminiumdrager



Figuur 13: Tussenstuk

Aluminium vs. Titanium

Op aanvraag van Demakersvan is er na deze proef nauwkeuriger na de stevigheid van aluminium vs. titanium gekeken. Volgens de waardes uit Tabel 2 kan aan de hand van de verhouding $\frac{\text{gem. Dichtheid}}{\text{gem. Young's Modulus}}$ de hypothese worden gesteld dat een titaniumplaat met een dunnere dikte dan die van een aluminiumplaat dezelfde stijfheid heeft. Er is berekend hoe dik een titaniumplaat is die dezelfde stijfheid al een 1 mm dikke aluminiumplaat heeft.

Het resultaat is dat een plaat van titanium met een dikte van 0,87 keer de dikte van een plaat van aluminium gemiddeld dezelfde stijfheid heeft. Voor de vlinders betekent dit dat een drager van titanium 0,87 mm dik zou kunnen zijn en even sterk is als de proefvlinder met een 1 mm dikke plaat van aluminium.

Het verschil in dikte is minimaal. Gezien het prijsverschil en het feit dat titanium in dit geval 1,5 keer zo zwaar is als aluminium is er aanbevolen om aluminium als dragermateriaal te gebruiken.

De berekening is in Bijlage 1.6 te vinden.

Conclusie RTM/VARTM vs. Plaatsandwich:

Met het RTM proces kan een heel strak resultaat worden bereikt. De constructie kan heel stevig worden gemaakt en de zonnecellen zijn voldoende beschermd.

De hoge ontwikkelingskosten en –tijd zijn echter een nadeel voor een kleinschalige productie als het er bij dit project het geval is.

VARTM biedt een goedkopere mogelijkheid om de sandwich sterk te maken met een strak resultaat.

De nadelen hierbij zijn hierbij echter dat de nabewerking net zo ingewikkeld is als bij RTM en bovendien nog de elektronische componenten in het sandwich moeten worden geïntegreerd. Dat betekent dat de sandwich die kant en klaar is weer open moet worden geboord om draden, dioden etc. erin te zetten.

Daarnaast is het moeilijk continu een even goed resultaat te bereiken, als deze techniek überhaupt voor de vlindersandwich toepasbaar is.

De plaatsandwich is een relatief goedkope oplossing en is bovendien relatief eenvoudig te maken. De constructie biedt voldoende stevigheid om de zonnecellen te ondersteunen. Een mal zou hier eventueel alleen voor de assemblage van de verschillende lagen nodig zijn. De verschillende lagen kunnen zo worden bewerkt en aangepast dat alle elektronische componenten er goed in passen.

Het grootste nadeel bij de plaatsandwich is de afwerking. Om de *One-piece* constructie toe te kunnen passen is een flexibele beschermende laag nodig. Daarom is hier een silicone coating het meest aantrekkelijk. Echter moet deze met een kwast met de hand worden opgebracht. Om het gewenste strakke resultaat te bereiken moeten er een aantal proeven worden uitgevoerd om de juiste techniek te vinden.

Aan de hand van de voor- en nadelen van de twee processen is er aanbevolen om de plaatsandwich als constructie te gebruiken. De RTM technieken zijn of te duur of te ingewikkeld om ermee de vlindersandwiches te kunnen maken. Het probleem met de afwerking van de plaatsandwich blijkt oplosbaar.

Silicone Coating

Door Demakersvan was al voor begin van deze opdracht contact met een distributeur van coatings opgenomen. Er was een coating gevonden die voor de bescherming van zonnecellen wordt gebruikt: DOW CORNING® I-2577 LOW VOC CONFORMAL COATING [7]. Hiervan zijn drie samples besteld waarmee proeven konden uit worden gevoerd.

Eigenschappen van de Coating

Hieronder zijn de voor de constructie en productie belangrijkste eigenschappen van de coating op een rij gezet:

- De coating is transparant
- De coating heeft bij kamertemperatuur een droogtijd van 1 uur, bij 60°C 2 minuten
- De coating heeft een elektronisch isolerende werking
- De temperatuurbereik van de coating is -65°C t/m 200°C
- De coating hecht aan metalen, keramiek en kunststof zonder voorbehandeling met een primer
- De coating is bestand tegen water, UV straling, oxidatie en slijtage
- De coating kan gerepareerd worden

Door de eigenschap dat de coating aan de bovengenoemde materialen hecht kan de coating ook als lijm tussen de verschillende sandwichlagen gebruikt worden. Bovendien vult de coating oneffenheden op, zodat geen luchtinsluitingen tussen de lagen ontstaat waardoor de stevigheid van de sandwich verzwakt zou kunnen worden. Dit is in proeven met een positief resultaat getest.

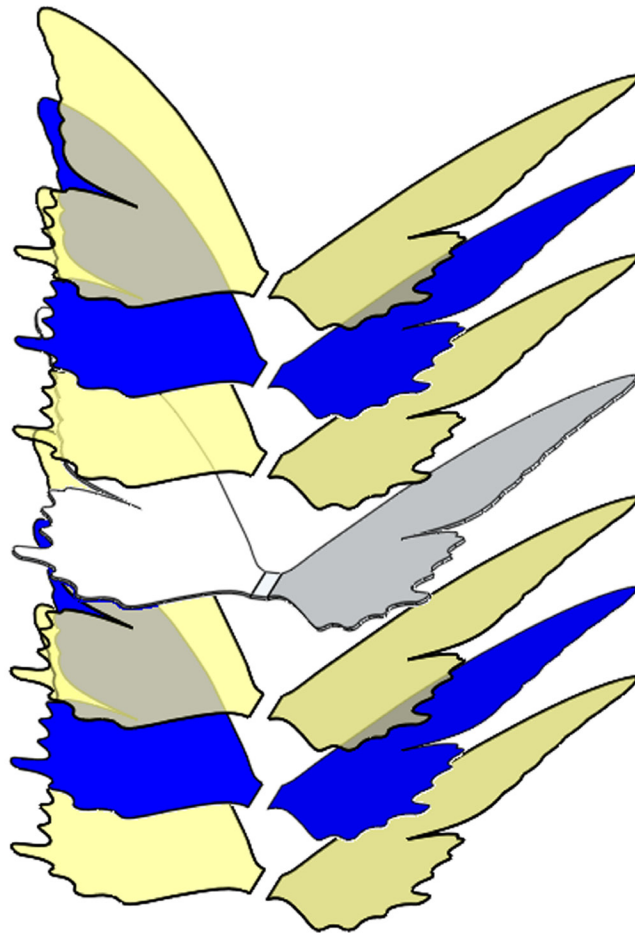
Conclusie

De coating kan én als beschermende laag tegen corrosie, stof en water én als lijmlaag tussen de verschillende lagen worden gebruikt. Dit is een voordeel bij de productie van de sandwiches omdat er maar een materiaal nodig is waardoor geen compatibiliteitsproblemen ontstaan.

2.4 Overzicht van de Globale Sandwich Structuur

De globale opbouw van de sandwich is op deze punt van het proces bepaald en zal hieronder kort worden weergegeven om een overzicht te creëren voordat de uitwerking van de vlinder zal worden besproken.

- De sandwich bestaat uit de volgende lagen (Figuur 14):
- Beschermingslaag: Silicone coating
- Werkende zonnecel
- Lijmlaag: Silicone coating
- Drager: 1mm aluminiumplaat
- Lijmlaag: Silicone coating
- Dummyzonnecel
- Beschermingslaag: Silicone coating



Figuur 14: Overzicht van de globale structuur van de sandwich

2.5 Uitwerking Sandwich

Dragermateriaal

Door Demakers van was gevraagd om uit te zoeken of de dikte van de sandwich verminderd zou kunnen worden. Daarom lag bij de uitwerking van het dragermateriaal het oogmerk op de minimalisatie van de dikte van het materiaal. Het doel was het om uit te zoeken hoe dun het aluminium mag zijn om nog voldoende stevigheid aan de complete sandwich geeft.

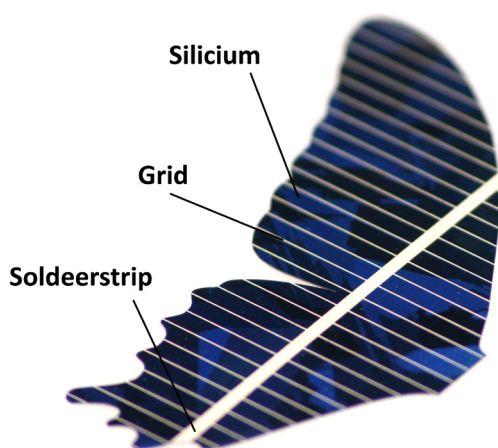
De eerste proeven met 1 mm dikke aluminiumplaat waren succesvol (zie *Pagina 18*). Er zijn daarna proeven met 0,8 mm dikke aluminiumplaat gedaan. Deze waarde is gekozen omdat vermindering van 20% van de oorspronkelijke dikte redelijk veel is en het resultaat een duidelijke indicatie zou geven of er nog naar 0,7 mm zou kunnen worden gegaan of juist naar 0,9 mm of terug naar 1 mm. Een geringere plaatdikte dan 0,7 mm leek na de eerste proeven niet realistisch.

Er zijn meerdere vlinders met een drager van 0,8 mm dikte gemaakt.

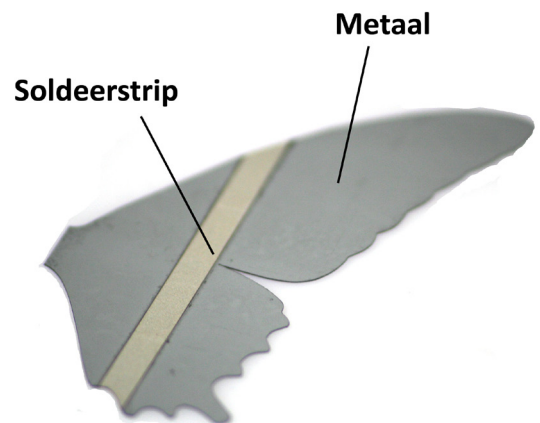
Hieruit blijkt dat deze dikte van de drager voldoende stevigheid aan de sandwich geeft, zodat de zonnecellen niet makkelijk breken. Echter is niet uit te sluiten, net zoals bij een drager van 1 mm AlMg3 dat er microbreuken in de zonnecellen ontstaan als de sandwich op buiging wordt belast. Er werden geen proeven met dunner materiaal dan 0,8 mm uitgevoerd. Er kan echter wel de hypothese worden opgesteld dat een drager van minder dan 0,8 mm de waarschijnlijkheid op microbreuken vergroot. Want, hoe dunner de drager van de sandwich wordt, hoe meer stevigheid de drager verliest en hoe meer stevigheid de zonnecellen aan de sandwich moeten geven.

Intermezzo zonnecel

Hieronder zal de werking en de onderdelen van een zonnecel kort worden toegelicht om de kennis samen te vatten die voor het begrip van het volgende stuk van het verslag, Integratie van de Elektronische Componenten, nodig is.



Figuur 15: Voorkant van een zonnecel



Figuur 16: Achterkant van een zonnecel

Voorkant van de zonnecel (minpool) (Figuur 15)

Silicium: Het silicium is het halfgeleidermateriaal. Hier wordt licht in elektrische energie omgezet.

Grid: Door behulp van het grid wordt de elektrische energie van het silicium naar de soldeerstrip geleid. Als een deel van het grid niet aan de soldeerstrip is aangesloten kan de energie die in dat deel waar dit grid ligt niet in de circuit worden gebracht. Dat deel is dus niet werkend.

Soldeerstrip: De soldeerstrip is de “hoofdgeleider” van de zonnecel. Met behulp van tapdraad die erop wordt gesoldeerd kunnen meerdere zonnecellen met elkaar worden verbonden en aan elkaar worden geschakeld. De soldeerstrip heeft zodanige eigenschappen dat soldeertin goed op hem hecht.

Tapdraad: De tapdraad bestaat uit een legering van onder andere zilver en tin. Als de draad met een soldeerbout verwarmd wordt smelt de tin en kan de draad direct gesoldeerd worden.

Achterkant van de zonnecel (pluspool) (Figuur 16)

Soldeerstrip: De soldeerstrip op de achterkant heeft dezelfde eigenschappen als de soldeerstrip op de voorkant. Alleen is de soldeerstrip op de achterkant ietsje breder.

Metaal: Het metaal is de basis van de zonnecel. Hierop wordt het silicium opgebracht. Het metaal geleidt stroom waardoor de hele achterkant van de zonnecel geleidend is.

Integratie van de Elektronische Componenten

Naast het dragermateriaal moest bij het uitwerken aandacht aan de integratie van de aansluitingen van de zonnecellen op de circuit in het frame besteed worden. De te integreren elektronische componenten zijn de volgende (deze zijn alleen voor de aangesloten vlinders nodig):

- 1 Verbindingsdraad van de onderkant van een zonnecelvleugel naar het tussenstuk
- 2 Verbindingsdraad van de bovenkant van een zonnecelvleugel naar het tussenstuk
- 3 Eén bypass diode per vlinder (deze zal, in zover mogelijk, in de mechanische verbinding tussen vlinder en frame worden verwerkt)

Intermezzo bypass diode

Een bypass diode zorgt ervoor dat in het geval dat een vlinder beschaduwd is en geen energie opwekt, de stroom langs deze vlinder wordt geleid en door de diode vloeit. Als er geen diode zou worden gebruikt worden de zonnecellen weerstanden en zij zouden de stroom uit de circuit trekken en zo voor een verlies van stroom zorgen.

Rik de Konink heeft hierna verder onderzoek gedaan. Voor meer informatie is zijn verslag te raadplegen.

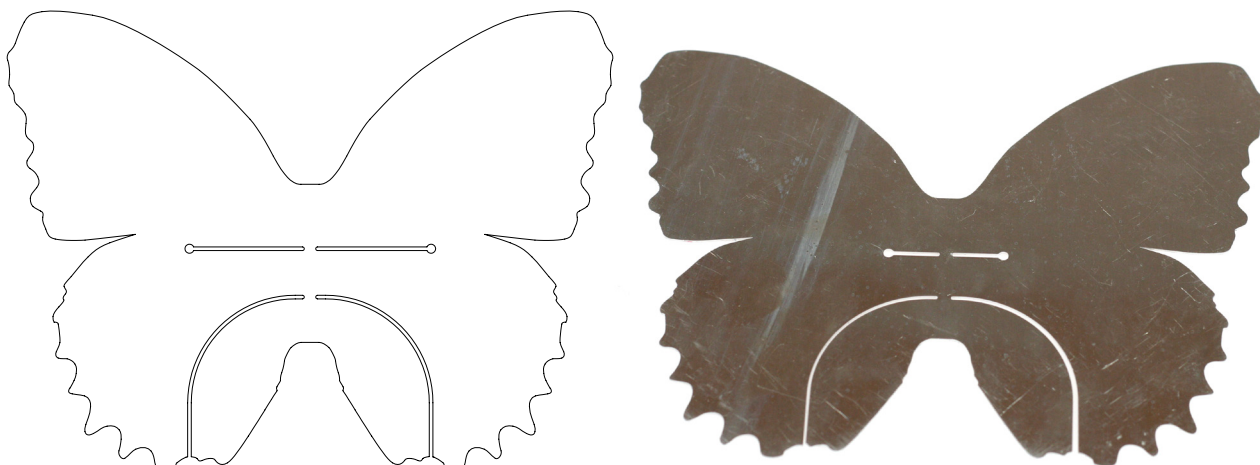
- 4 Connectoren van de draadjes op de vlinder naar de circuit van het frame (deze zal, in zover mogelijk, in de mechanische verbinding tussen vlinder en frame worden verwerkt)

Voor het integreren van alle componenten zijn verschillende oplossingen bedacht. Hieronder zal alleen het uiteindelijke ontwerp worden besproken. Alle concepten staan in *Bijlage 1.7*.

Probleemomschrijving

Het voornaamste probleem van de aansluitingen was om de stroom van beide zonnecellen per vleugel op een centraal punt te verzamelen. Daarbij moest het uiterlijk van de vlinder zo strak mogelijk worden gehouden.

Vanuit een logische oogpunt is het het meest verstandigst om de aansluitingen in het tussenstuk te verzamelen. Daarvoor moet er een geleider per pool per vlinderhelft naar het tussenstuk worden gelegd. Hierbij is belangrijk dat de polen van elkaar gescheiden blijven om kortsluiting te voorkomen.



Figuur 17: Technische tekening van een drager met sleuven (links) en een proefdrager met gesneden sleuven (rechts)

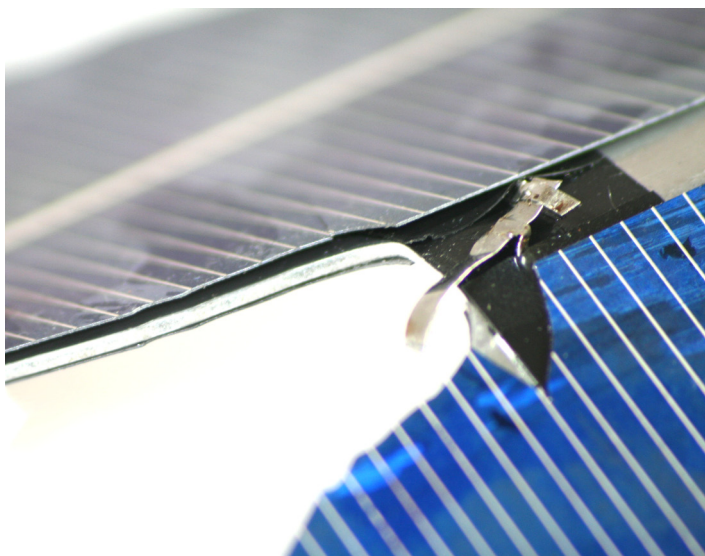
Oplossing

Voor de uiteindelijke oplossing wordt geïsoleerd draad gebruikt om de stroom van de soldeerstrip naar het tussenstuk te geleiden. In de drager worden sleuven gesneden (Figuur 17). Dit kan in samen met het uitsnijden van de vlinder uit de aluminiumplaat gebeuren. De sleuven beginnen op de plaats waar de soldeerstrips van de zonnecellen komen te liggen en eindigen bij het tussenstuk.

Zo kan, nadat de werkende zonnecellen op de voorkant van de drager zijn gelijmd, de geïsoleerde draden op de soldeerstrips van de zonnecel gesoldeerd worden en in de sleuven worden gelegd.

Daarna kunnen de dummycellen op de achterkant van de drager worden gelijmd. Op deze manier zijn de verbindingen zo goed mogelijk in de sandwich geïntegreerd en verstoren het uiterlijk van de vlinder niet.

Hierbij is belangrijk om te vermelden dat de draden die gebruikt worden even dik zijn als de drager. Als er draden worden gebruikt die dikker dan het dragermateriaal zijn, is er geen vlak ondergrond waarop de dummycellen kunnen gelijmd worden omdat de draadjes uit de drager steken. Hierdoor ontstaat er een tussenruimte die niet voldoende met lijm kan worden opgevuld. Als gevolg zijn de dummycellen niet op elke plek even goed ondersteund en kunnen bij puntbelasting makkelijk breken (Figuur 18).



Figuur 18: Vlindersandwich met dummycel die niet voldoende is ondersteund

In het verloop van het ontwerpproces is besloten om niet de bypass diode niet in de sandwich te integreren, maar deze aan de verbinding van de sandwiches en het frame toe te voegen. De connectoren voor het verbinden van de vlanders op het circuit in het frame is tevens in de mechanische verbinding van vlanders en frame geïntegreerd. Hierop wordt, in *hoofdstuk 4* ingegaan.

Voor achtergrondinformatie over de werking van de diode is het verslag van Rik de Konink te raadplegen.

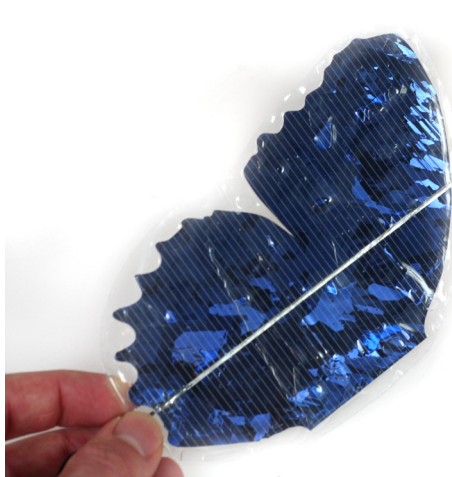
Silicone Coating

Na de eerste succesvolle proeven met de coating als beschermingslaag bleek dat de coating invloed op de kleur van de zonnecel heeft. De multikristallijnen zonnecellen weerkaatsen het licht door de verschillende kristallen in verschillende hoeken. Daardoor fonkelen de cellen in licht. Als de coating op de cellen wordt opgebracht ontstaat een even oppervlakte waardoor het licht maar op een manier, een hoek wordt gebroken. De verschillende kristallen zijn door de doorzichtige coating nog steeds te herkennen, maar deze vonkelen niet meer. Om voor dit niet gewenste effect een oplossing te vinden zijn verdere proeven uitgevoerd. Bij deze proeven is het middel *Dow Corning OS-20* [8] gebruikt. Het was *Demakers van* door *Mavom b.v.*, een distributeur van *Dow Corning* producten, aangeraden. Het middel is vergelijkbaar met terpentijn, maar is speciaal voor de coating bedoeld. Voor de proeven zijn mengsels met verschillende concentraties van coating en OS-20 op zonnecellen opgebracht.

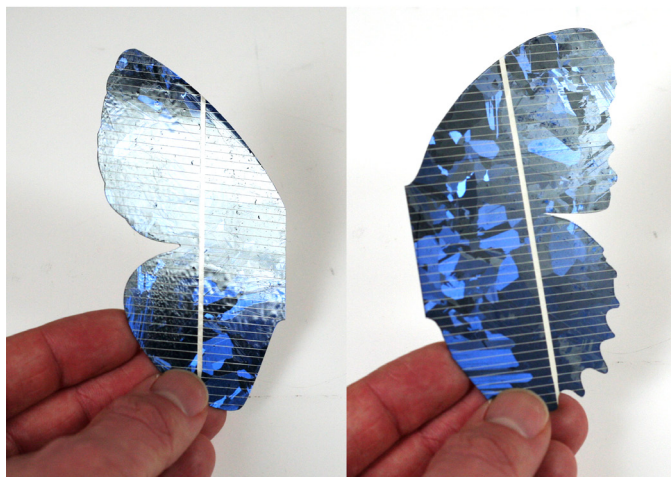
In het resultaat is te zien dat ook een sterk verdunde coating met een aandeel van maar 10% coating en 90% OS-20 een verkleuring veroorzaakt. Daarnaast zijn ook proeven met transparante lak en folies gedaan. Ook hier was het resultaat hetzelfde.

Er zijn ook proeven met folies [9,10] en transparante lak uitgevoerd om hiermee eventueel een alternatieve te vinden. Omdat voor het opbrengen van de folie een lamineermachine nodig is die niet beschikbaar was, zijn de folies in een gewone oven gebakken. Het resultaat was niet strak, maar eruit kon wel geconcludeerd worden dat ook de folie een negatieve invloed op het uiterlijk van de cellen heeft (*Figuur 19*). Voor de transparante was het resultaat hetzelfde.

Na alle uitgevoerde proeven kan er de hypothese worden gesteld dat dit effect altijd optreedt als er een



Figuur 19: Een met folie gelamineerde zonnecel



Figuur 20: Een zonnecel met pure coating (links) en een zonnecel met een verdunde coating (70% coating) (rechts)

laag op de cellen wordt opgebracht. Er is dus geen oplossing gevonden om de cellen te beschermen en tegelijkertijd het fonkelen te bewaren.

Uit de proeven met de mengsels coating en OS-20 bleek echter wel dat de verschillende concentraties OS-20 invloed op de glans van de coatinglaag hebben. Een ander eigenschap van de coatinglaag is namelijk dat zij vrij sterk glimt, bijna weerspiegelt. Er blijkt dat hoe meer OS-20 in een mengsel zit hoe dofder de laag wordt (*Figuur 20*).

Echter zorgt de OS-20 ook ervoor dat de coatinglaag dunner wordt en daardoor minder bestendig

tegen krassen. Hierin moet een afweging tussen het vormgevingsaspect en beschermingsaspect worden gemaakt.

Complete vlindersandwich

Hieronder is het prototype van de vlindersandwich te zien die met behulp van de resultaten van de uitwerking van de sandwich gemaakt is (Figuur 21). Het is een 2A type en daarmee de één na grootste vorm. Het gewicht van de sandwich is 56 gram. Dat betekent dat alleen de werkende vlinders ongeveer 5,15 kg zullen wegen, als er van ongeveer 50 gram per werkende vlinder wordt uitgegaan. Daarmee wordt het budget dat aan het begin van de opdracht was opgesteld (Tabel 1) overschreden.



Figuur 21: Prototype van de vlindersandwich

2.6 Conclusies en Aanbevelingen

In dit hoofdstuk is een voorstel voor de constructie van een vlindersandwich uitgewerkt dat in de kroonluchter geïntegreerd kan worden.

Als het resultaat met de eisen vergeleken wordt die aan het begin van het ontwerpproces werden opgesteld, kan samenvattend worden vastgesteld dat de constructie redelijk geslaagd is. Door het ontwerpen van een plaats sandwich met een aluminiumdrager is het mogelijk om de zonnecellen zodanig te ondersteunen dat zij niet al bij kleine belastingen breken. Door de drager met een laser uit te snijden is het mogelijk om de zonnecellen en de drager precies even groot te maken en de randen van de twee materialen visueel doorlopend op elkaar aan te laten sluiten. Bovendien kunnen met de aluminiumdrager en de *One-piece* constructie de twee vlindervleugels onder een hoek van 130° ten opzichte van elkaar worden gezet. Verder is het gelukt om de elektronica die voor de werking van de zonnecellen nodig is in de sandwich te integreren.

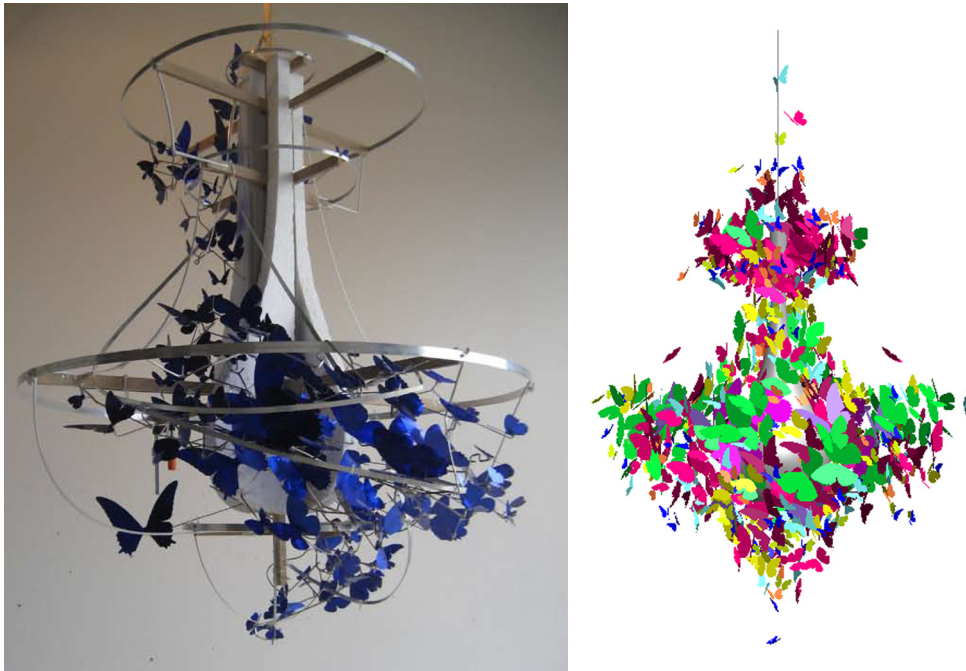
Met de silicone coating *DOW CORNING® I-2577 LOW VOC CONFORMAL COATING* is een methode gevonden en succesvol getest die de zonnecellen tegen corrosie beschermd, en daarnaast een oppervlakte creëert die met een doek makkelijk schoon te maken is.

Het gewicht van 6,25 gram gemiddeld is echter niet behaald. Het lijkt met deze relatief eenvoudige en goedkope constructie ook niet haalbaar te zijn. Om een lager gewicht te bereiken zou de sandwich uit composiet materialen op moeten worden gebouwd, zoals bijvoorbeeld *RTM*. Echter is dit, zoals boven beschreven voor dit project niet realistisch. Daarom is het aan te raden om het gewichtsbudget aan te passen en te proberen om bij andere onderdelen, die nog een bepaalde marge qua gewicht en constructie hebben, gewicht in te sparen.

Om de vlindersandwich strak af te werken is een zorgvuldige productie nodig. Die in *hoofdstuk 5* beschreven productiestappenplan zal hierbij helpen. Echter is voor de strakke afwerking ook geduld en oefening nodig. Die in de plan beschreven productie is met technieken voor kleinschalige serieproductie uit te voeren.

3 Frameconstructie

In het volgende hoofdstuk zal het ontwerpproces van de frameconstructie gepresenteerd worden. Demakersvan hadden al voor het begin van deze opdracht een model van de kroonluchter gemaakt (Figuur 22) en in een SolidWorks model gezet. In het model zijn de vlinders in drie strings in de vorm van helices om de bulb geplaatst (Figuur 23). De drie strings zijn elk op dezelfde manier opgebouwd. Echter was nog niet bepaald hoe de frameconstructie gemaakt zou moeten worden. Het uitwerken hiervan was in dit onderdeel van de opdracht gevraagd. Tijdens het ontwerpproces zijn veel verschillende oplossingen bedacht door naar vergelijkbare problemen te kijken, zoals het *Cocoon Mesh* (hierop wordt later ingegaan). Daarnaast zijn ook ontwerpmethododes toegepast om een andere kijk op problemen en mogelijke oplossingen te krijgen.



Figuur 22: Het reële model (links) en het Solidworksmodel (rechts) dat door Demakersvan gemaakt is



Figuur 23: De vlinders zijn in een string rond de bulb gepositioneerd

Eerst zal in een probleemomschrijving een globaal beeld van de eisen worden geschetst, die aan de vlindersandwich worden gesteld, om een overzicht van de problematiek van de frameconstructie te verkrijgen.

3.1 Probleemomschrijving

Het frame is het dragende element van de kroonluchter. Het moet de vlinders op hun posities houden, met elkaar verbinden en aan de ophanging van de kroonluchter bevestigen zodat de kroonluchter een stevig en stabiel geheel wordt. Bovendien moet de elektrische bedrading die de energie van de vlinders naar de lichtbron brengt in de frameconstructie geïntegreerd worden. Het frame is dus de ruggengraat van de kroonluchter.

Tegelijkertijd mag het frame niet te zeer opvallen. Het is niet de bedoeling dat de constructie de aandacht van de waarnemer trekt en de vlinders op de achtergrond raken. Daarom zijn de keuze van het materiaal en de vorm van het materiaal van groot belang. Echter moet ook aandacht aan de productie van het frame worden besteed. Hierbij geldt dat, als er in totaal van 20 kroonluchters uit wordt gegaan die geproduceerd zullen worden, de kroonluchters in enkel stuks productie gemaakt zullen worden. Bij de constructie is ook van belang dat het frame niet te zwaar wordt zodat de kroonluchter aan een plafond in een gewoon gebouw op kan worden gehangen.

Om de eisen die aan het frame gesteld worden overzichtelijk op een rijtje te zetten is een programma van eisen gemaakt.

3.2 PvE Frameconstructie

De frameconstructie moet aan de volgende eisen voldoen:

Constructie

- Het frame moet het totale gewicht van alle vlinders kunnen dragen
- Het frame moet alle vlinders stevig op hun posities houden
- Het frame moet stevig zijn opgehangen
- Het frame moet de bedrading die de energie van de vlinders naar de lichtbron transporteert bevatten
- Bij de energieoverdracht van de zonnecellen naar de accu toe mag zo min mogelijk energie verloren gaan
- Het frame mag niet te zwaar worden, maximaal 10 kg

Vormgeving

- Het frame mag niet te zeer opvallen
- Het frame moet strak en minimalistisch ontworpen zijn

Productie

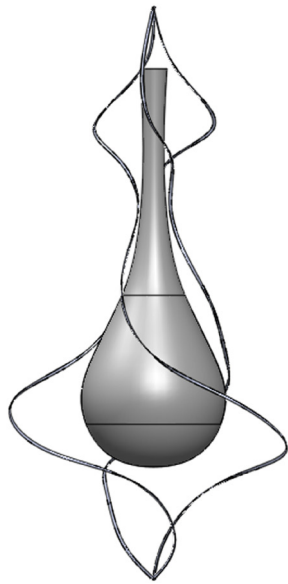
- Het frame moet met bestaande technieken voor enkel stuks gemaakt kunnen worden

3.3 Concepten voor een basisframe

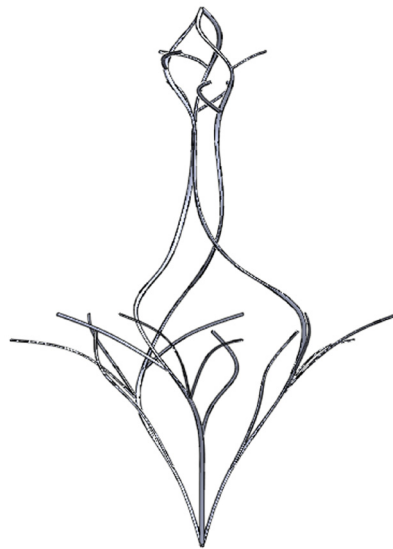
Om het frame met systematische constructie op te kunnen bouwen is bedacht om een basisframe te ontwerpen. Aan het basisframe worden zogenaamde 'takjes' bevestigd waaraan de vlinders op kunnen worden gehangen. Voor de basisframeconstructie zijn meerdere vormconcepten ontworpen. Deze zullen hieronder kort worden toegelicht.

Helixbasisframe

Op basis van het bovengenoemde model was één idee om het frame georiënteerd aan de strings op te bouwen. De basisconstructie van dit concept loopt dus in een helixvorm met de vlinders mee om de bulb heen (Figuur 24). Echter bleek na nader inzien dat de afstanden van de basis naar de aparte vlinders nogal vrij groot was waardoor de individuele ophanging van de vlinders relatief groot moest worden gemaakt. Daarom zijn er aan de basishelices grote 'takken' toegevoegd zodat de afstanden verkleind worden (Figuur 25).



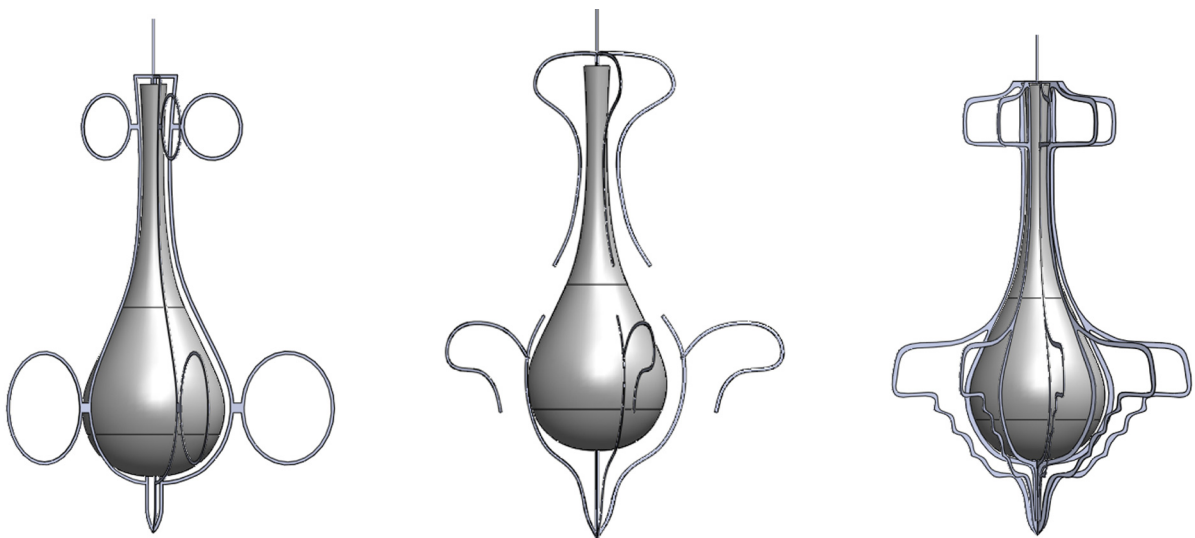
Figuur 24: Helixbasisframe



Figuur 25: Helixbasisframe met toegevoegde takken

Radiale Basisframe

Voor een basisframe die onafhankelijk van de strings maar radiaal is geconstrueerd zijn ook een aantal ontwerpen gemaakt (Figuur 26). Het voordeel van deze constructies is dat er meerdere bogen kunnen toegevoegd zodat de afstanden naar elke aparte vlinder zo klein mogelijk wordt gehouden, en daardoor de 'takjes' korter kunnen worden gemaakt. Bovendien zijn verschillende vormen mogelijk waarmee de vormgeving van de kroonluchter beïnvloed kan worden.



Figuur 26: Modellen van radiale basisframes

Ander Concept van Erik Hop

Door Erik Hop is nog een ander ontwerp gemaakt. Zijn concept is uit meerdere transparante, ronde platen opgebouwd. Tussen deze platen zijn dunne draadjes gespannen die tevens met de strings meelopen. Aan deze draadjes kunnen de vlinders worden opgehangen (Figuur 27).



Figuur 27: Ontwerp voor een basisframe van Erik Hop

'Takjes' - Verbindingsstukken tussen Vlinders en Basisframe

Naast de ontwerpen voor het basisframe is er ook naar de verbindingsstukken tussen vlinders en de basisframes, de 'takjes', gekeken. Hierbij zijn twee concepten vergeleken.

Het eerste, dat door Demakersvan was bedacht: op een 'takje' worden meerdere vlinders geplaatst. Het tweede: elke vlinder wordt met één apart 'takje' aan het basisframe opgehangen.

Concept 1

Als er op één 'takje' meerdere vlinders geplaatst worden is het voordeel dat er minder materiaal nodig is en in totaal minder 'takjes' op het basisframe moeten worden aangesloten (Figuur 28).

Concept 2

Het tweede concept biedt het voordeel dat elke vlinder heel eenvoudig onafhankelijk van alle andere vlinders verplaatst kan worden. Dit zou handig kunnen zijn om, nadat alle vlinders op het basisframe geplaatst zijn, enkele vlinders zo verplaatst kunnen worden dat het geheel geoptimaliseerd wordt. Hierdoor zouden eventuele gaten in het geheel die in het computermodel niet naar voren kwamen gesloten kunnen worden (Figuur 29).

Er is aanbevolen om voor het eerste model van de kroonluchter *Concept 2* toe te passen omdat de positie van de vlinders flexibeler is en eventueel nog aan kan worden gepast. Voor de productie van de kroonluchters is concept 1 aanbevolen omdat hier minder materiaal nodig is en het frame daardoor lichter en minder rommelig wordt.

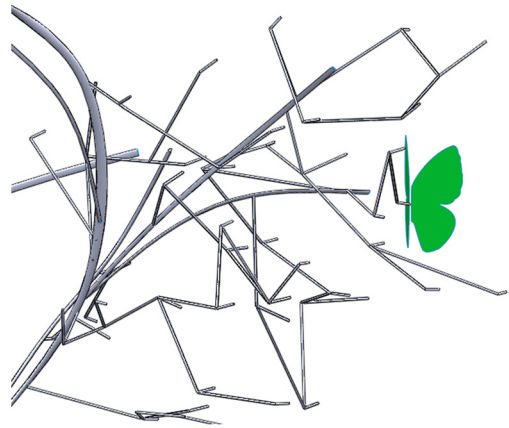
De uiteindelijke keuze over de verschillende concepten is na de presentatie van de bovengenoemde voor- en nadelen aan Demakersvan als opdrachtgever overgelaten.

Keuze van Demakersvan

Door Demakersvan is er voor een basisframe gekozen die met de vlinders meeloopt. Van de twee concepten van de verbindingsstukken tussen vlinders en basisframe is het *Concept 1*: meerdere vlinders op één tak gekozen.



Figuur 28: Meerdere vlinders op een takje



Figuur 29: Eén vlinder per tak

3.4 Frameconstructie zonder basisframe

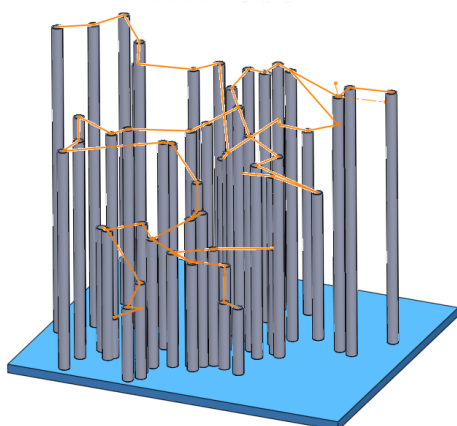
Na de presentatie van de bovengenoemde concepten is van *Demakersvan* gevraagd om een concept voor een frame helemaal zonder basisframe te ontwerpen. In plaats van het basisframe zouden alleen verbindingen tussen de vlinders voor de stevigheid van het frame zorgen. Voor de verbindingen zou van de gekozen verbindingstukken tussen vlinders en frame uit worden gegaan.

Op deze aanvraag is verdergegaan en is eerst een computermodel gemaakt om een beeld van de constructie te verkrijgen. Bij dit model is er weer uitgegaan van de drie strings. Daarna werd op basis van dit computermodel een lasmal (Figuur 30) gebouwd waarmee een deel van het frame gemaakt kon worden. Er is een mock-up van 2 mm staaldraad gemaakt om de stevigheid van zo'n soort frame te testen.

Het resultaat zijn twee takken. Eentje is met rond staafmateriaal gemaakt, de andere met staafmateriaal met een rechthoekig profiel (Figuur 31).

Bij het solderen viel op dat rond staafmateriaal makkelijker en sneller te solderen is dan rechthoekig staafmateriaal. Het rechthoekige materiaal moest heel nauwkeurig geknipt geschuurd worden zodat de uiteinden van de verschillende stukken netjes op elkaar aansluiten.

De soldeerverbindingen kunnen met een beetje oefening heel netjes worden gemaakt. De stevigheid van deze verbindingen is echter niet overal even goed.



Figuur 30: Ontwerp voor een lasmal



Figuur 31: Takken met een rond- (boven) en een rechthoekig profiel (onder)

Conclusie Rond- vs. Rechthoekig staafmateriaal op basis van de soldeerbaarheid

Rond materiaal is makkelijker en netter te solderen dan recht materiaal. Het zal waarschijnlijk wel mogelijk zijn om takken van recht materiaal te bewerken (schuren, vijlen) en netjes aan elkaar te solderen/lassen. Echter zou dit relatief veel tijd eisen.

Dus is er een duidelijke aanbeveling om ronde draad te gebruiken als het hele frame gelast/gesoldeerd wordt.

Afhankelijk van het te gebruiken materiaal zouden de draden ook aan elkaar gelast kunnen worden waardoor stevigere verbindingen zouden ontstaan.

Het volledige proces van de uitwerking van dit model is in *Bijlage 2.1* te vinden.

Buigen van het stafmateriaal

Bij een vergadering is het resultaat aan *Demakersvan* gepresenteerd. Gebaseerd op de bovengenoemde aanbeveling hebben zij ervoor gekozen om rond draadmateriaal te gebruiken. Echter is er door *Demakersvan* ook gevraagd om uit te zoeken of er de mogelijkheid bestaat om delen van het frame te buigen en deze dan pas aan elkaar te lassen/solderen. Het voordeel van het buigen van de draad is dat er geen, of minder, las- of soldeerverbindingen ontstaan waardoor de constructie er strakker uit ziet en een meer vloeiende vorm krijgt. Bovendien wordt de kans op een las- of soldeerverbinding van slechte kwaliteit door een geringer aantal vermindert.

Er is geprobeerd om een deel van het frame in Solidworks met buigingen te construeren. Dit bleek echter heel moeilijk te zijn omdat voor elke buiging een nieuw coördinatenstelsel gemaakt moet worden om een driedimensionale buiging gecontroleerd uit te voeren. Bovendien heeft dit proces heel veel tijd nodig, vooral als er aan het aantal buigingen gedacht wordt, dat veel groter is dan het aantal vlinders. Toch is er geprobeerd om het stukje draad dat in Solidworks is geconstrueerd in stalen draad om te zetten door deze met de hand te buigen. Uit deze proef kan geconcludeerd worden dat hiervoor een meethulp nodig is waarin de draad voor elke buiging opnieuw in kan worden gespannen en zo dus voor elke buiging dus een nieuw assenstelsel ontstaat. Om een computermodel met driedimensionale buigingen in een echt product om te zetten is het buigen 'uit de losse pols' niet toepasbaar.

Een mogelijke oplossing om de draden in de gewenste vorm te buigen zou het machinale buigen zijn. Hiervoor is door *Demakersvan* contact met een bedrijf opgenomen die RVS draad met machines buigt.

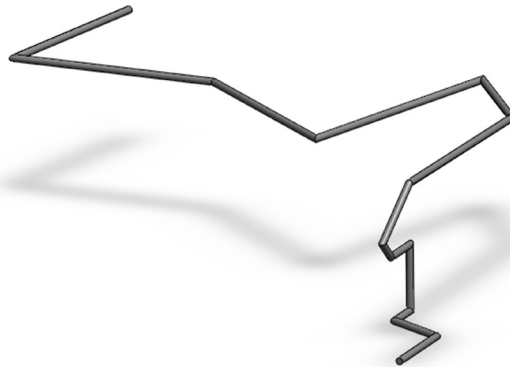
Er is ook naar oplossingen gekeken hoe de draad met de hand gecontroleerd gebogen zou kunnen worden. Daarvoor is draad stapsgewijs gebogen.

De eerste, en eenvoudigste manier van het buigen van draad is het buigen in één vlak. Hiervoor kan bijvoorbeeld de gewenste vorm van de draad met een lijn op papier worden getekend. Vervolgens wordt de draad op het papier gelegd en langs de getekende lijn gebogen (*Figuur 32*).



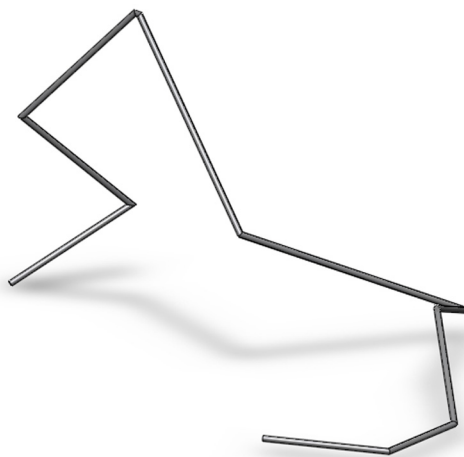
Figuur 32: De eenvoudigste manier om draad te buigen. Links: de vorm in een vlak, rechts: de gebogen draad

Deze vrij simpele methode heeft voor de constructie van het frame voor de kroonluchter het nadeel dat meerdere vlinders in één vlak moeten liggen om hun met elkaar te verbinden. Dit is echter niet het geval. Dat wederom betekent dat er maar korte stukjes van draad die in één vlak wordt gebogen gebruikt kan worden om bijvoorbeeld twee of drie vlinders die dicht bij elkaar in hetzelfde vlak zitten met elkaar te verbinden. De vele korte stukjes zouden dan aan elkaar moeten worden gelast waardoor het voordeel van een gebogen frame voor een groot deel verloren gaat. In het computermodel zou elk stukje als aparte tekening aan het gehele model worden toegevoegd en daarna als technische tekening worden uitgeprint. Op de print met de schaal 1:1 zou de draad kunnen worden gebogen, zoals hierboven beschreven.



Figuur 33: Mogelijk resultaat van de boven beschreven methode

De daarop volgende, iets ingewikkelder manier om draad te buigen is om draad in het geheel in meerdere vlakken te buigen. Echter mag de draad per buiging maar in één vlak worden gebogen. Een mogelijk resultaat is in *Figuur 33* te zien. Om deze proces gecontroleerd uit te kunnen voeren is wel een meethulp nodig. Bovendien vereist een frame die op deze manier wordt geconstrueerd dat elke buiging in het computermodel op basis van het vlak dat door de vorige buiging is ontstaan op te meten (*Bijlage 2.2*). Het voordeel van deze techniek ten opzichte van de eerder genoemde is dat er minder laswerk nodig is, omdat er meer vlinders aan een draad kunnen worden opgehangen.



Figuur 34: Draad waarbij per buiging in twee vlakken wordt gebogen

De meest ingewikkelde manier om draad te buigen die de meeste tijd eist houdt in om draad in meerdere vlakken te buigen waarbij een buiging in twee vlakken wordt gebogen (*Figuur 34*). Voor deze methode is een geavanceerder meethulp nodig dan bij de hierboven genoemde methode, en is bovendien het construeren van het computermodel ingewikkelder. Er moet namelijk voor elke buiging twee metingen worden gedaan, voor elke buiging per vlak eentje (*Bijlage 2.2*). Het voordeel van deze methode is dat het frame door de vrijere buiging een dynamischere structuur krijgt.

Voor alle buigingstechnieken geldt dat voor de assemblage van het frame de eerder genoemde lasmal gebruikt zou kunnen worden. De aparte gebogen draadstukken zouden in de lasmal met elkaar worden verbonden. Omdat er vrij weinig lasverbindingen voor het hele frame nodig zullen zijn kan hieraan veel aandacht worden besteed zodat elke lasverbinding netjes eruit komt te zien.

Welke van de genoemde methoden door *Demakers van* gekozen wordt hangt van hun eisen aan de vormgeving en de arbeidsuren en de kosten daarvan af. Samenvattend kan worden gezegd dat de ingewikkelder buigprocessen meer constructietijd eisen, maar een lagere assemblage tijd dan de eenvoudige buigmethode vragen en een strakker resultaat opleveren.

Echter moet er ook mee rekening worden gehouden dat het met de hand omzetten van een vrij ingewikkeld en complex computermodel altijd afwijkingen ter gevolge zal hebben. Om een nauwkeurige vertaling te bereiken zouden de draden automatisch gebogen moeten worden.

3.5 Geleidend Frame vs. Constructief Frame

Voor de integratie van de circuit in het frame bestaan twee mogelijkheden. Ten eerste kunnen koperen draden als geleider worden gebruikt, zoals het in de elektrotechniek gebruikelijk is. De tweede mogelijkheid is om het frame geleidend te maken. Een voorbeeld van een zulke constructie zijn de lampen van Jan Pauwels [11] (*Figuur 35*) waarbij de mechanische constructie tegelijkertijd ook de geleider is.



Figuur 35: Lamp van Jan Pauwels

Constructief Frame

Er zijn voor deze twee mogelijke oplossingen concepten bedacht. Bij het eerste ontwerp heeft het frame een puur constructief functie. Dat betekent dat de frameconstructie alleen ervoor bedoeld is om de vlinders op de goede positie te houden en onder elkaar te verbinden. Als elektrische geleiders worden dunne koperen draden gebruikt. Hiermee worden de werkende vlinders op de energietechnisch meest efficiënte manier onder elkaar verbonden.

Geleidend Frame

Het tweede concept is een gedeeltelijk geleidend frameconstructie. Hierbij bestaat het gehele frame uit twee 'subframes'. Een frame dat, net als bij het bovengenoemde concept, alleen een constructieve functie heeft. Dit frame wordt voor de niet werkende vlinders opgebouwd. Vervolgens wordt er een tweede frame in de constructieve frame opgehangen. Dit frame verbindt de werkende vlinders onder elkaar. Maar naast de constructieve functie heeft dit frame ook de functie om de opgewekte elektrische energie van de vlinders naar de accu in de bulb te transporteren. Deze constructie minimaliseert de elektrische weerstand in het systeem omdat het geleidend frame zo direct mogelijk kan worden opgebouwd. Uiteraard moet bij deze constructie erop gelet worden dat het geleidende frame van het constructieve frame wordt geïsoleerd. Anders zou namelijk het constructieve deel ook geleidend worden waardoor een onnodig hoge weerstand in het systeem zou worden gecreëerd. Voor dit concept is bovendien het materiaal waaruit het frame wordt gemaakt van belang omdat dit een zo laag mogelijke weerstand moet hebben.

Materiaal

Voor het materiaal zijn vooral de dichtheid, dus het gewicht, corrosiebestendigheid en de stijfheid van belang. Daarom zijn er als mogelijke materialen RVS en aluminium gekozen [6].

Voor het geleidend frame moet er bovendien met de soortelijke weerstand van het materiaal rekening worden gehouden. In Tabel 4 zijn alle waardes samengevat.

	RVS	Aluminium
Dichtheid (kg/m)	7600 - 8100	2500 - 2900
Dichtheid gem. (kg/m)	7850	2700
Prijs (EUR/kg)	4,98 - 5,48	1,17 - 1,29
Young's modulus (GPa)	189 - 210	68 - 82
Young's modulus gem. (Gpa)	200	75
Dichtheid gem./Young's mod. gem.	39,25	36
Soortelijke weerstand ($\mu\Omega\text{cm}$)	9,3	2,5

Tabel 4: RVS en aluminium

Stijfheid – gewicht

Het frame moet zo stijf mogelijk zijn, maar tegelijkertijd ook zo licht mogelijk. De stijfheid van het frame kan door de constructie worden beïnvloed, daarom lijkt in eerste instantie het lichtere materiaal aantrekkelijker. Echter mag de constructie niet zo veel extra materiaal eisen dat het voordeel van het lichter materiaal nihil is. De materiaalkeuze qua de verhouding stijfheid - gewicht hangt dus vooral van de constructie van het frame af.

Soortelijke weerstand

Als referentie voor de soortelijke weerstand is de waarde van koper ($1,678 \mu\Omega\text{cm}$) [12], als meest gebruikt geleidermateriaal, genomen. Hieruit blijkt dat aluminium een 1,49 keer hogere weerstand heeft, RVS een 5,54 keer hogere. De weerstand van aluminium is dus 3,7 keer lager dan die van RVS.

Er wordt aanbevolen om van aluminium als framemateriaal uit te gaan. Dit omdat het lichter is en een lagere weerstand dan RVS heeft. Echter hangt de keuze sterk van de constructie van het frame af. Of aluminium als materiaal geschikt is zou in een proef uit worden gezocht.

Een mogelijkheid voor het geleidende frame zou ook zijn om het constructieve subframe van RVS en daarmee stijver te maken, en voor het geleidende subframe aluminium te gebruiken.

Het is echter op dit moment, waar de constructie van het frame nog niet bekend is, niet mogelijk om hierover een definitieve uitspraak te doen.

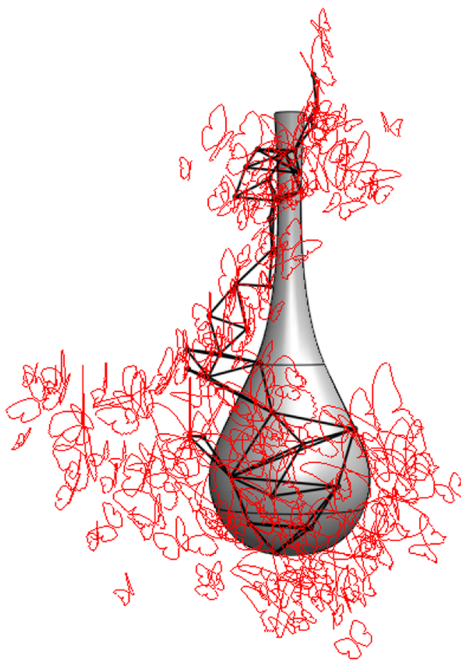
Aanmerkingen:

- 1) Omdat de kroonluchter ook op netstroom wordt aangesloten is de hogere weerstand technisch niet van belang.
- 2) Voor de productie is het van belang te vermelden dat aluminium alleen voor hoge kosten automatisch gebogen kan worden. Dit is door Demakers van zelf uitgezocht.

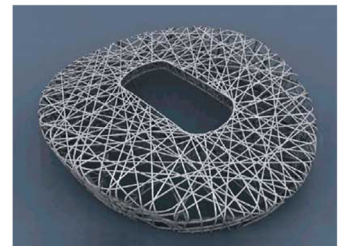
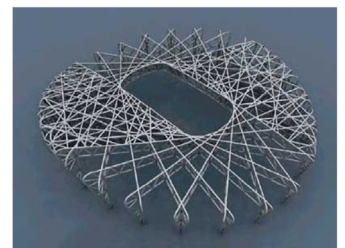
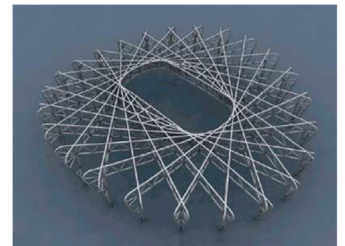
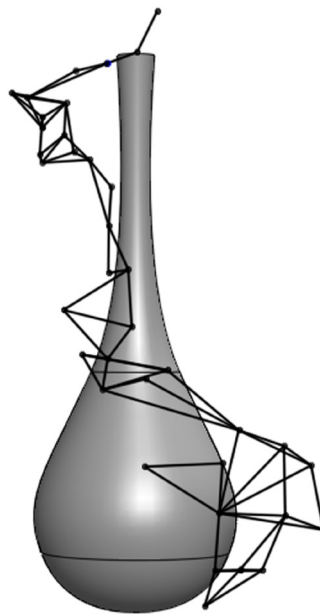
Constructie van de twee frames

Constructief frame

Om een sterk frame te kunnen bouwen is het de bedoeling om het frame een sterk 'ruggengraat' te geven. Dit wordt tevens van de framedraden gemaakt en verbindt enkele vlinders met elkaar. Echter moet ervoor gezorgd worden dat de constructie hiervan een driehoekconstructie is. Dat wil zeggen dat alle draadstukken onder elkaar versterkt worden door extra draden erin te lassen (Figuur 36). Hierdoor ontstaan driehoeken die aan het frame een hoge stijfheid geven. Als het ruggengraat volledig gemaakt is kunnen de overige draden worden toegevoegd om de andere vlinders eraan op te hangen. Het doel is om het ruggengraat zo onopvallend mogelijk in het geheel te integreren. Een voorbeeld van dit idee is het Olympische stadion in Beijing (Figuur 37).



Figuur 36: Ruggengraat van het frame



Figuur 37: Constructie van het Olympisch stadion in Beijing [13]

Geleidend frame

Voor het geleidend frame is een speciale opbouw van het frame vereist. De framedraden mogen niet doorlopen, maar moeten voor elke vlinder worden doorgeknipt en met een isolerende verbinding weer met elkaar verbonden. Dit is nodig om de pluspool van de eerste vlinder met de minpool van de volgende vlinder te verbinden. Anders zou kortsluiting ontstaan en het geleidende frame niet werken. Echter is het ook hier mogelijk om de framedraden als geheel te laten buigen. Daarna moeten zij op de juiste plekken worden doorgeknipt.

Aanmerking: Omdat er bij het invoegen van de verbinding de draden om een klein stukje (afhankelijk van de constructie van de verbinding ca. 3 mm) verlengt wordt, moet ermee al tijdens de constructie van het frame in Solidworks worden rekening worden gehouden.

Op deze verbinding wordt in het vierde hoofdstuk verder ingegaan.

Constructieve verbinding

De constructieve verbinding is ervoor nodig om het geleidende frame in het constructieve frame op te hangen. Hiervoor moet de verbinding de verschillende stukken van elkaar isoleren en stevig met elkaar

verbinden.

Er is een constructieve verbinding ontworpen en vervolgens met een 3D-printer gemaakt. Bij deze verbinding is het mogelijk om eerst het constructieve en het geleidende frame op te bouwen en daarna de frames met behulp van de verbinding en schroeven met elkaar te verbinden (Figuur 38). Het is belangrijk om tijdens het ontwerpen van de frames in het computermodel met de verbindingen rekening te houden zodat de verbinding makkelijk te integreren is. De verbinding zou echter wel nog verschoven kunnen worden om de positie eventueel om enkele millimeters aan te passen. Bovendien biedt het vroege integreren van de verbinding in de frameconstructie het voordeel dat er maar één soort verbinding nodig is waarop het frame wordt aangepast. Als ervoor gekozen wordt om de verbinding



Figuur 38: Constructieve verbinding

pas te ontwerpen nadat het frame helemaal ontworpen is zouden eventueel meerdere verschillende verbindingen moeten worden gemaakt.

Integratie van koperen draden in het constructieve frame

Bij het puur constructieve frame maar ook bij het geleidende frame moeten koperen draden als geleiders in het frame worden geïntegreerd. Voor het constructieve frame nemen de koperen draden de gehele geleiderfunctie over. In het geleidende frame zijn de draden nodig om de stroom van de aparte geleidende takken naar de bulb te geleiden.

De manier hoe de draden aan de constructie worden toegevoegd, bijvoorbeeld langs de frameconstructie naar de bulb geleiden, of als een soort cocon (Figuur 39) dwars door de constructie heen te hangen, is vooral een vormgevingsaspect. Omdat er aan het einde van de opdracht de constructie van het frame nog niet bekend was, en de precieze opbouw van de circuit pas na afloop van de opdracht als resultaat

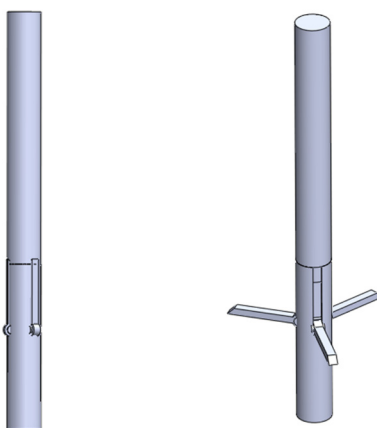


Figuur 39: Cocoon Mesh [14]

van alle bacheloropdrachten ontworpen zal worden, is het niet mogelijk om een gefundeerd uitspraak over de integratie van de koperen draden te doen.

Ophanging van de frame

Voor de ophanging van de complete kroonluchter is een ontwerp gemaakt (*Figuur 40*), uitleg erover is in *Bijlage 2.3* te vinden. Hieraan zou het frame en de bulb aan opgehangen kunnen worden. De meest optimale oplossing zou zijn als het frame door zijn constructie een stevig geheel vormt en allen aan deze ophanging hoeft worden te bevestigd, zonder op de bulb te steunen. Hierdoor zouden namelijk extra krachten op de bulb komen te staan die een stevigere, dus zwaardere constructie van de bulb vereisen. Met behulp van een constructief frame met een sterk ruggengraat, zoals hierboven beschreven, zouden momenten die op de ophanging werken als er aan de onderkant van het frame een zijwaartse kracht komt te staan, kunnen worden gecompenseerd.



Figuur 40: Ontwerp voor een ophanging van de kroonluchter

3.6 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn aanpakken en technieken beschreven waarmee een frame voor de kroonluchter geconstrueerd kan worden.

Het resultaat wordt met de eisen die voor de frameconstructie zijn opgesteld vergeleken. Aangezien er in het kader van deze opdracht vanwege tijdgebrek niet mogelijk was om een complete frame te construeren, kan het behalen van de eisen niet met feiten worden gecontroleerd. Echter kan wel worden vastgesteld dat in de voorstellen die zijn uitgewerkt met alle eisen rekening is gehouden.

Er is na materiaal gekeken waarbij de stijfheid, het gewicht en de soortelijke weerstand van verschillende materialen is vergeleken. Voor de geleiding van de stroom die door de vlindersandwiches wordt opgewekt zijn verschillende concepten bedacht en geanalyseerd. Daarnaast zijn mogelijke productiemethodes ontworpen. Op basis daarvan zijn aanbevelingen gedaan.

De resultaten zullen echter pas met een reëel model kunnen worden getest, beoordeeld en aangepast. De eigenschappen van het frame hangen namelijk zeer van de constructie ervan af. Deze bepaald hoe sterk en licht het wordt en hoe het er uiteindelijk uit gaat zien.

Aangezien de vlindersandwiches zwaarder zijn dan verwacht is het aan te bevelen om bij het frame zo veel mogelijk te besparen gewicht als mogelijk. Daarom zou het eventueel ook interessant zijn om titanium als mogelijk stafmateriaal nader te bekijken, hoewel de soortelijke weerstand heel hoog ligt en het materiaal relatief duur is. Om deze reden leek titanium tijdens het ontwerpproces niet interessant.

4 Verbinding Vlinders – Frame

In dit hoofdstuk zal het ontwerpproces van de verbindingen die de vlinders en het frame met elkaar verbindt besproken worden. Het ontwerp van de verbindingen was het laatste onderdeel van de opdracht omdat pas in de loop van deze opdracht duidelijk werd wat er voor soorten verbindingen moesten komen. Om de uiteindelijk beste verbinding te vinden is veel met modellen en prototypes geprobeerd en getest.

4.1 Verbinding Niet-werkende Vlinders – Frame

De verbinding voor de niet-werkende vlinders is relatief simpel. Zij moet ervoor zorgen dat de vlinders stevig op hun positie blijven zitten.

Een uitgebreide omschrijving van de aspecten waarmee tijdens het ontwerpproces rekening moest worden gehouden is in een probleemomschrijving gezet.

Probleemomschrijving

De verbinding van de niet-werkende vlinders en het frame is puur mechanisch. De verbinding moet ervoor zorgen dat de vlinders goed vastzitten en niet zomaar van het frame kunnen vallen.

Daarbij is belangrijk dat de verbinding zodanig ontworpen wordt dat zij eenvoudig aan de vlinders en het frame toe kan worden gevoegd. Voor de productie is, na afspraak met *Demakersvan*, ervan uitgegaan dat de verbinding met spuitgieten geproduceerd kan worden.

Daarnaast moet de verbinding qua vormgeving in het frame en bij de vlinders passen.

Alle eisen zijn in een PvE samengevat.

PvE

Constructie

- De verbinding moet constructief sterk zijn en alle niet werkende vlinder types kunnen dragen
- De verbinding moet makkelijk in de constructie geïntegreerd kunnen worden
- Spuitgieten is als productiemethode mogelijk

Vormgeving

- De verbinding moet qua vormgeving bij de vlinders passen en mag niet te massief en overheersend worden

Concepten

Voor deze verbinding zijn een aantal ideeën bedacht. Er zullen twee ideeën hieronder kort worden toegelicht.

Statische verbinding

Bij een statische verbinding worden de vlinders aan het frame gelast of gesoldeerd. Hiervoor moet voor elke vlinder een apart klein takje aan het frame worden toegevoegd. Daarnaast moet aan de onderkant van het tussenstuk van de vlinder een klein buisje met een gaatje worden gesoldeerd of gelast. Vervolgens wordt de vlinder op het takje geschoven en met een schroefje vastgezet (*Figuur 41*). Met deze verbinding is het mogelijk om de vlinder rond het takje te roteren en in de gewenste hoek te zetten.

Flexibele verbinding

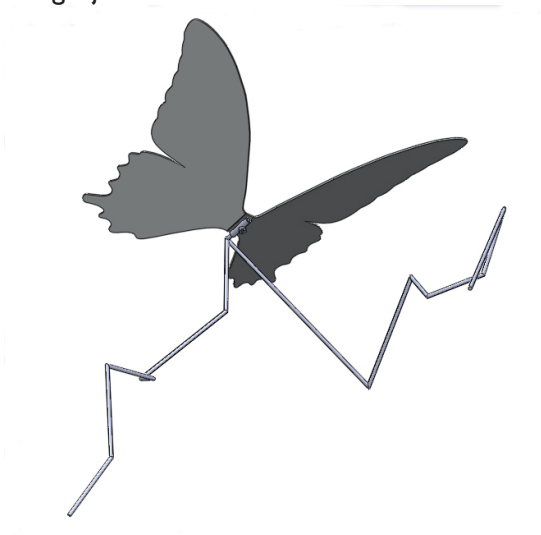
Voor het idee van een flexibele verbinding wordt het concept van de verbinding gebruikt waarmee bij het geleidende frame de geleidende takken in het constructieve frame worden opgehangen. Hiervoor

moet aan de onderkant van het tussenstuk van de vlinder een takje worden gesoldeerd of gelast. De vlinder kan dan met de verbinding aan het frame worden geklemd (Figuur 38).

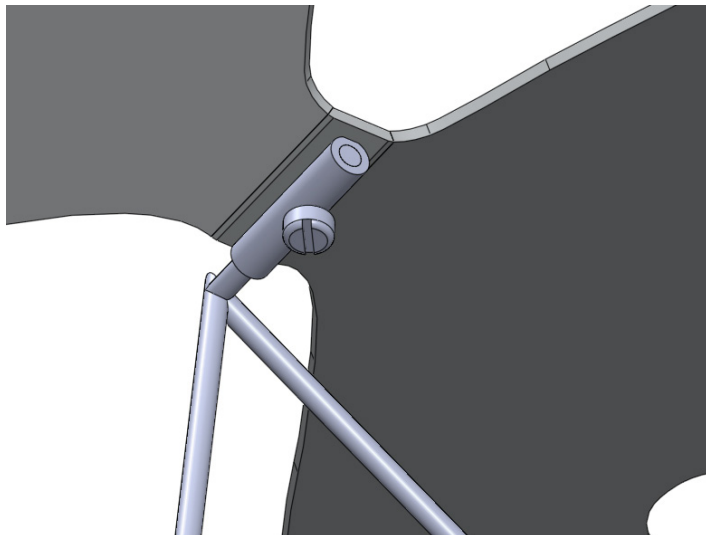
Het voordeel van deze verbinding ten opzichte van de statische verbinding is dat de vlinder, nadat hij in het frame is opgehangen, kan worden verschoven of gedraaid. Hierdoor kan de hele wolk nadat alle vlinders zijn toegevoegd nog worden aangepast en eventuele 'gaten' in het geheel worden gesloten.

Voor beide verbindingen geldt dat ermee tijdens de constructie van het frame rekening moet worden gehouden hoe de verbindingen geplaatst zullen worden. Qua productiekosten is de statische verbinding voordeliger, echter moet hierbij bij het integreren in het frame bijzonder veel aandacht worden besteedt omdat het takje definitief wordt vastgezet.

Als de productiekosten een minder belangrijke rol spelen wordt aanbevolen om de flexibele verbinding te gebruiken. Deze biedt namelijk meer vormvrijheid en maakt een snellere en makkelijkere assemblage mogelijk.



Figuur 41: Statische verbinding



4.2 Verbinding Werkende Vlinders – Frame

De verbinding voor de werkende vlinders is complexer dan de verbinding voor de niet-werkende vlinders. Naast de constructieve functie moet zij ook de elektrotechnische aansluitingen van de vlinders op het circuit in het frame bevatten.

In een probleemomschrijving zijn de belangrijkste aspecten van het ontwerpen van deze verbinding samengevat.

Probleemomschrijving

De verbinding moet meerder functies uitvoeren. Ten eerste moet de verbinding de einden van de twee draadstukken die aan de vlinder komen te zitten van elkaar isoleren. Tegelijkertijd moet de verbinding er wederom ook voor zorgen dat de twee draadstukken via de verbinding en de vlinders weer met elkaar worden verbonden. Bovendien moet de verbinding constructieve eigenschappen hebben en voldoende sterkte aan het geleidende frame geven zodat het niet in elkaar stort.

Naast de functionele eigenschappen is ook de vormgeving van de verbinding van belang. De verbinding moet in verhouding met de vlinders qua grootte passen. De verbinding mag dus niet te groot worden en het geheel verstoren.

Aan het begin van het ontwerpproces is er in afspraak met Demakers van spuitgieten als productieproces uit gegaan en is de verbinding op basis hiervan ontworpen.

PvE

Constructie

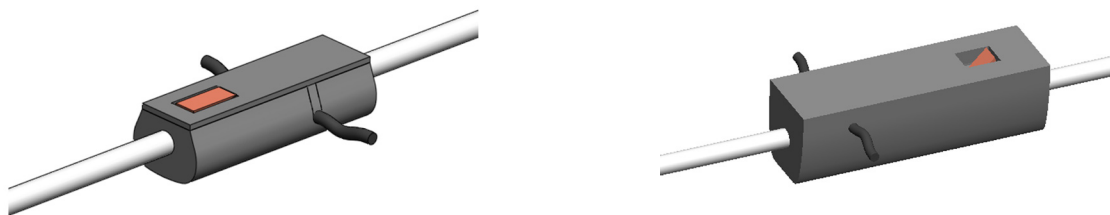
- De verbinding moet de twee uiteinden van het framestafmateriaal stevig verbinden en een sterke constructie vormen
- De plus- en de minpool moeten van elkaar geïsoleerd zijn
- De verbinding moet de plus- en minpolen van de twee zonnecellen met elkaar verbinden zodat er maar één plus- en minpoolaansluiting per vlinder is die op het frame moet worden aangesloten
- Spuitgieten is als productiemethode mogelijk
- De vlinders moeten makkelijk in de constructie geïntegreerd en vervangen kunnen worden

Vormgeving

- De verbinding moet qua vormgeving bij de vlinders passen en mag niet te massief en overheersend worden

Concept

Het ontwerpproces van de verbinding was stapsgewijs en er zijn meerder ontwerploops doorlopen. De stappen ontwerp en constructie, prototyping en test zijn meerdere keren doorlopen. Hieronder zal alleen het uiteindelijke concept in zijn geheel worden besproken. Een uitgebreide omschrijving van de twee eerdere ontwerpen (*Figuur 42*) zijn in *Bijlage 3* te vinden.



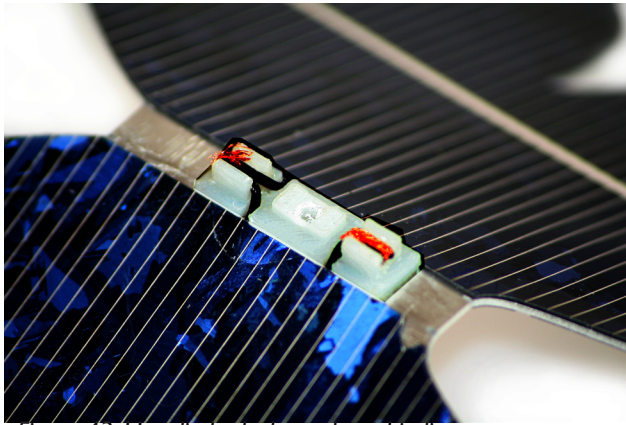
Figuur 42: De eerste twee ontwerpen voor de verbinding

Op basis van deze twee eerdere concepten is een verbinding ontworpen die eenvoudig in de productieprocessen van de vlinders en het frame, en de assemblage ervan te integreren is. De verbinding bestaat uit twee delen: een vlinderdeel en een framedeel.

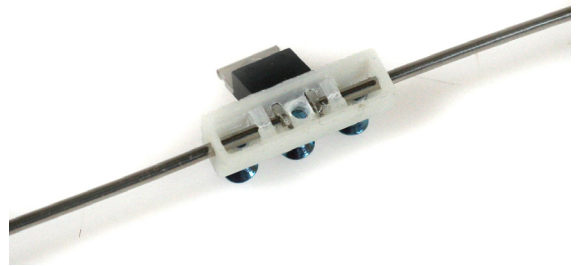
Het vlinderdeel wordt op de achterkant van het tussenstuk van de vlinder gelijmd. Daardoor blijft de bovenkant van de vlinder onveranderd strak. De functie van dit deel is het verzamelen van de contacten van de draadjes die door de drager van de vlinder lopen (*Figuur 43*). Op deze manier zijn alle aansluitingen van de vlinder die voor de verbinding van belang zijn op de vlinder voorbereid om met het frame verbonden te worden.

Het framedeel wordt in de frameconstructie verwerkt. Het verbindt twee draaduiteinden die met schroeven vast worden geklemd (*Figuur 44*). Omdat schroeven gebruikt worden kan een vlinder, nadat alle vlinders zijn opgehangen, nog gedraaid worden om bijvoorbeeld meer licht op te vangen.

Om de twee delen te verbinden wordt een derde schroef gebruikt. Hierdoor en door de opbouw van de twee delen kan een kapotte vlinder eenvoudig worden vervangen zonder dat het gehele frame uit elkaar moet worden gehaald (*Figuur 45*).



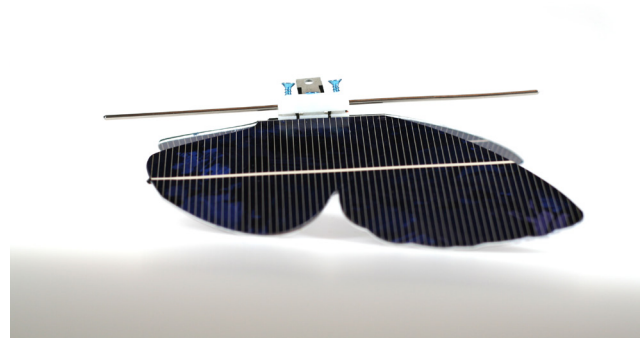
Figuur 43: Het vlinderdeel van de verbinding



Figuur 44: Het framedeel van de verbinding



Figuur 45: De twee delen in samenwerking



4.3 Conclusies en Aanbevelingen

Hierboven zijn voorstellen voor constructie van verbindingen en ophangingen voor de vlindersandwiches gepresenteerd, waarmee deze aan het frame kunnen worden opgehangen.

Vergeleken met de eisen die aan de verbindingen gesteld werden, bieden de voorstellen goede oplossingen voor de constructie van de verbindingen.

Voor de verbinding voor de niet-werkende vlinders zijn twee voorstellen uitgewerkt. De statische verbinding is eenvoudiger en goedkoper te maken, maar heeft nadelen in de assemblage. De flexibele verbinding heeft deze nadelen niet, maar vraagt daarvoor om een duurder productieproces. Beide verbindingen zijn in staat om het gewicht van de vlinders te dragen en stevig aan het frame te bevestigen. De vormgeving van de verbindingen is echter nog van de frameconstructie afhankelijk.

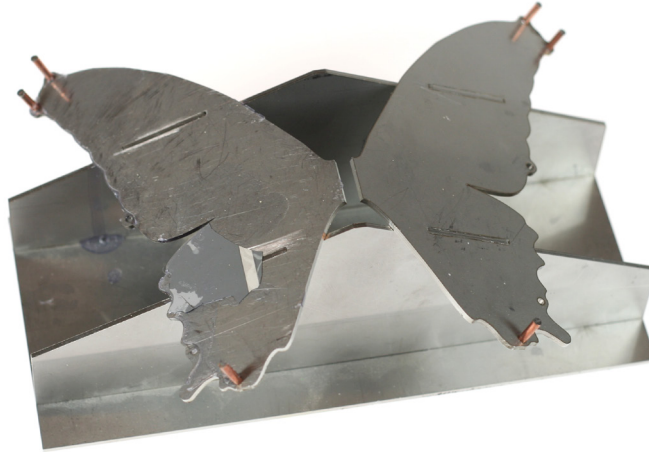
De verbinding voor de werkende vlinders heeft meer vereisten. Ook hiervoor is een oplossing gevonden, want de verbinding bevat alle functies die gevraagd zijn. Zowel de constructieve als de elektrotechnische functie zijn geïntegreerd en in een prototype (hoofdstuk 5) succesvol getest. De verbinding is zodanig ontworpen dat zij met spuitgieten geproduceerd kan worden. Met geringe aanpassingen zou de verbinding echter ook met verspaantechnieken gemaakt kunnen worden.

Qua vormgeving is geprobeerd om de verbinding op het lichaam van een vlinder te laten lijken waardoor het uiterlijk van de gehele kroonluchter niet verstoord zal worden. Maar hierbij lag nog bijzondere aandacht op het functionele aspect, zodat de vorm nog realistischer vormgegeven zou kunnen worden. Aangezien van deze verbinding alleen een prototype is gemaakt, moeten de afmetingen in het digitale model op bijvoorbeeld de schroeven die voor de uiteindelijke productie worden gebruikt aan worden gepast.

5 Productiestappenplan

Op basis van de resultaten van verschillende onderzoeken en tests tijdens het ontwerpproces van de vlindersandwich en de verbinding is een productiestappenplan hiervoor geschreven.

Voor het vervaardigen van de vlindersandwich is een mal gemaakt, om de sandwich strak en netjes af te werken (Figuur 46). Echter was het gebruik ervan niet succesvol. Verdere informatie hierover en conclusies en aanbevelingen zijn in Bijlage 4 te vinden.



Figuur 46: Mal voor de productie van vlindersandwiches

Voor elke stap in het plan worden, zonodig, aanbevelingen gedaan.

1) Uitsnijden van de zonnecellen en productie van de verbinding

De zonnecellen worden met laser-waterstraalsnijder uitgesneden. De verbinding moet worden gemaakt.

2) Uitsnijden/uitstansen van de drager

De drager wordt uit een aluminiumplaat of met een laser gesneden, of eruit gestanst. De productietechniek is afhankelijk van de hoeveelheid dragers die gemaakt moeten worden. Een uiteindelijke keuze zal in de kader van deze opdracht niet gemaakt worden omdat de nodige informatie hiervoor nog niet beschikbaar is.

Aanbeveling

Het is belangrijk dat de digitale bestanden voor de zonnecellen en de dragers overeenstemmen. Het is aan te raden om eerst proefmodellen van de producenten te laten maken en deze met elkaar te vergelijken.

3) Buigen van de drager

De drager moet zodanig gebogen worden dat de vleugels onder een hoek van 130° staan en ertussen een tussenstuk met een breedte van 6 mm ontstaat.

Aanbeveling

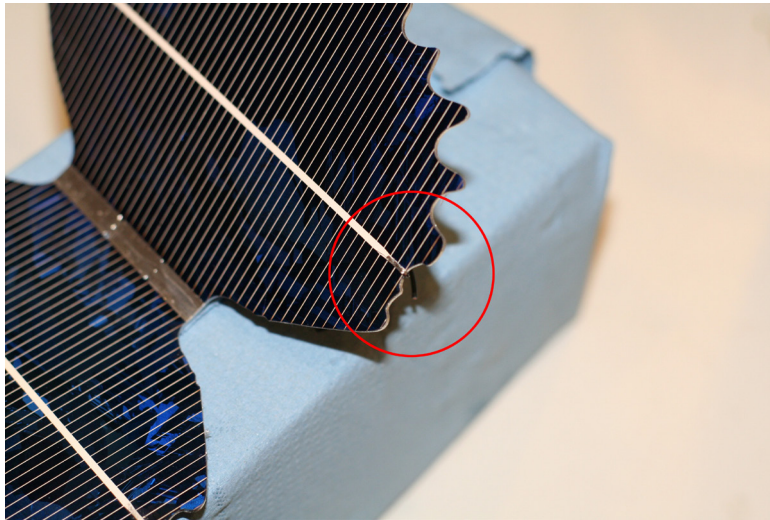
Het is aan te raden om de buigingen met een standaard buigmachine te maken omdat zo de vleugels de juiste grootte hebben en de zonnecellen netjes op de randen aansluiten en bovendien alle vlinders exact gebogen zijn. Omdat alle vlinders gebogen moeten worden is een standaardisatie zinvol.

4) Testen van de zonnecellen

Voordat de zonnecellen op de drager worden gelijmd is het verstandig om de cellen te testen om geen defecte vlinders te produceren.

5) Solderen van de geïsoleerde draadjes op de soldeerstrip op de voorkant van de werkende zonnecellen

De geïsoleerde draden die de stroom van de voorkant van de zonnecel naar het tussenstuk worden op de soldeerstrip gesoldeerd. Hier moet veel aandacht aan worden besteed zodat de verbinding sterk genoeg wordt (Figuur 47).



Figuur 47: Solderen van de geïsoleerde draden op de voorkant van de zonnecellen

6) Solderen van de tapdraad op de zonnecellen (is voor de werking niet per se nodig, heeft wel invloed op het uiterlijk van de zonnecel)

De tapdraad kan op de zonnecellen worden gesoldeerd. Dit is echter niet per se nodig omdat de soldeerstrip vanzelf geleidend is. De tapdraad heeft dus alleen een optische functie.

Aanbeveling

Voor meer informatie is het verslag van Rik de Konink te raadplegen.

7) Oplijmen van één werkende zonnecel op de voorkant van de drager

Eén van de werkende zonnecellen wordt op de voorkant van de drager gelijmd. Het is belangrijk dat er eerst maar eentje op de drager wordt gelijmd en de lijm droogt zodat deze niet kan verschuiven. Omdat het oplosmiddel in de silicone coating niet kan verdampen is de droogtijd extra lang. Echter verschilt de droogtijd van de coating van de hoeveelheid die ervoor gebruikt wordt.

Er mag maar weinig coating worden gebruikt, net voldoende, zodat op de hele oppervlakte coating ligt. Als er te veel coating wordt gebruikt loopt er coating over de rand heen en wordt de sleuf in de drager gevuld. Het wordt aangeraden om de lijmverbinding minstens 2 uur te laten drogen. De droogtijd is ook van de vlintertype en de grootte afhankelijk.

8) Oplijmen van de andere werkende zonnecel op de voorkant van de drager

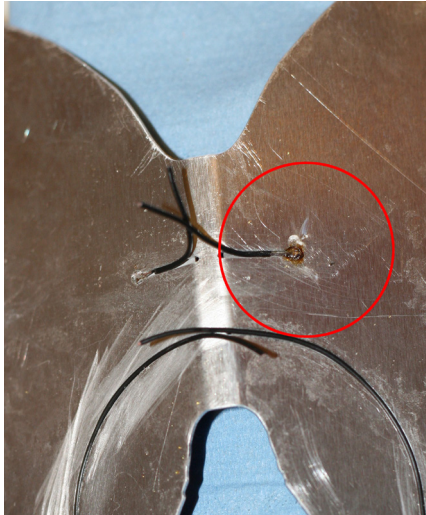
Nadat de eerste lijmverbinding gedroogd is kan de tweede zonnecel worden verlijmd. Het proces is hetzelfde.

9) Solderen van de geïsoleerde draad op de soldeerstrip op de achterkant van de werkende zonnecellen

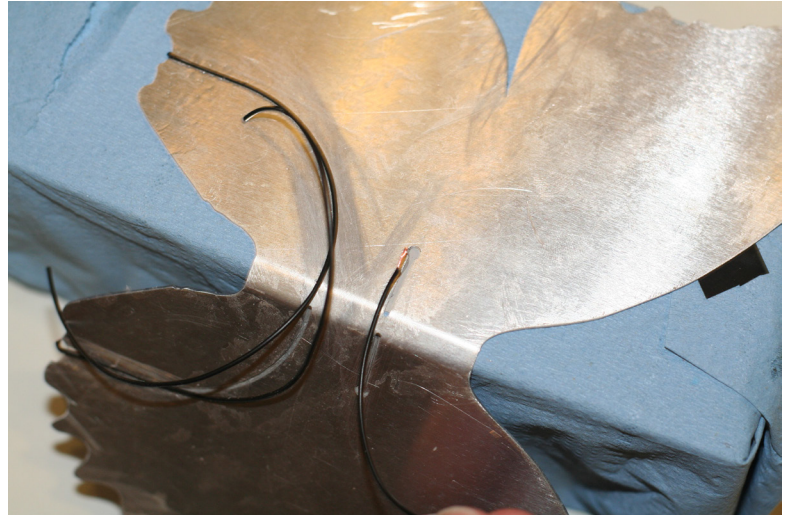
De geïsoleerde draden die de stroom van de contact op de achterkant van de cel naar het tussenstuk geleiden worden op de soldeerstrip op de achterkant van de cel gesoldeerd. Ook hier moet veel aandacht aan worden besteed zodat de verbinding sterk genoeg wordt (Figuur 48).

10) De geïsoleerde draden in de sleuven in de drager leggen (het is zinvol om de draden met secundelijm te fixeren zodat deze in de sleuven blijven liggen)

De geïsoleerde draden worden in de sleuven in de drager gelegd. Om de draden te fixeren is het aan te raden om deze met secundelijm te fixeren (Figuur 49).



Figuur 48: Solderen van de geïsoleerde draden op de achterkant van de zonnecellen



Figuur 49: De geïsoleerde draden worden in de sleuven gelegd

11) Oplijmen van één dummycel op de achterkant van de drager

De dummycellen worden op de achterkant van de drager gelijmd. Bij het opbrengen van de coating moet, net zoals bij de cellen op de voorkant, erop gelet worden dat er niet te veel coating wordt gebruikt en over de rand loopt. De sleuven met de draden moeten echter wel worden opgevuld. De droogtijd is dezelfde als bij de andere cellen.

12) Oplijmen van de andere dummycel op de achterkant van de drager

De andere dummycel wordt opgelijmd.

13) Aanbrengen van de silicone coating op de zonnecellen

Nadat alle cellen op de drager zijn gelijmd moeten zij gecoat worden. Ook hier is aan te raden om elke vleugel apart te coaten zodat de coating niet verloopt en de oppervlakte daardoor minder strak wordt. De droogtijd van de coating is bij deze applicatie korter dan bij de lijmverbindingen en bovendien afhankelijk van de hoeveelheid OS-20 die in de coating wordt gebruikt. Hoe meer OS-20 wordt gebruikt, hoe korter de droogtijd.

14) Oplijmen van de verbinding op de drager

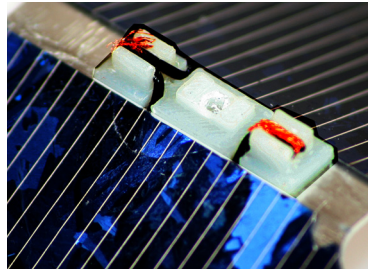
Op de achterkant van het tussenstuk op de drager moet het vlinderdeel van de verbinding worden gelijmd.

Aanbeveling

Voor het prototype, waarbij de verbinding van ABS kunststof is, is secundelijm gebruikt. Voor de uiteindelijke productie moet de lijmsoort op het materiaal van de verbinding en de aluminiumdrager worden afgestemd.

15) Draden in het vlinderdeel van de verbinding leggen

De draden uit de sandwich moeten op de juiste lengte worden afgeknipt en in het vlinderdeel van de verbinding worden gelegd (Figuur 50).



Figuur 50

16) Framedeel in het frame schroeven

Het framedeel van de verbinding moet in het frame worden geschroefd. Aan elke kant moeten de uiteinden van het stafmateriaal met een schroef worden gefixeerd.

17) Vlinder op het frame schroeven

Als laatste stap moeten het vlinder- en het framedeel op elkaar worden geschroefd.

Nu zit de vlindersandwich in het frame.

6 Algemene Conclusies en Aanbevelingen

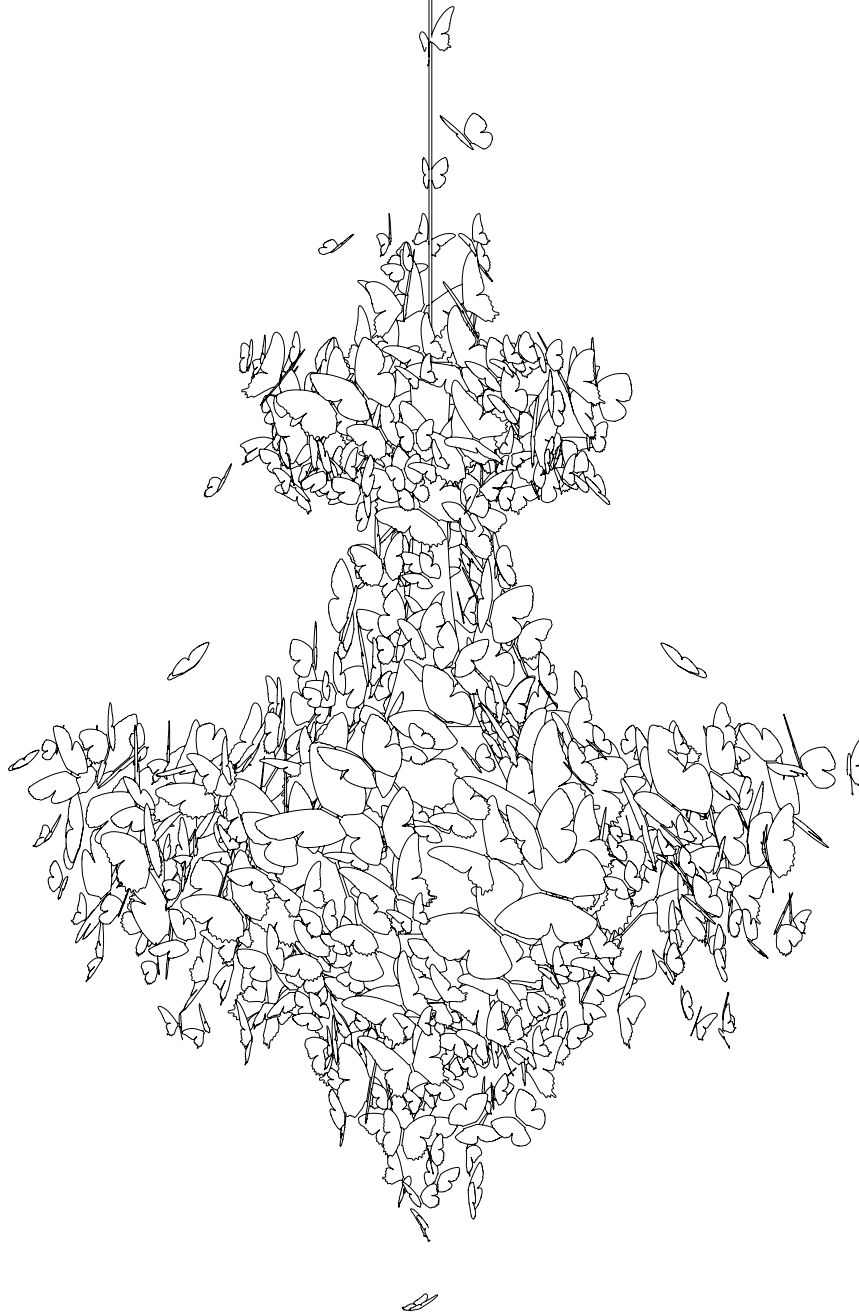
Samenvattend kan worden gesteld dat de uitvoering van de opdracht succesvol was en nuttige resultaten voor de vervaardiging van de kroonluchter heeft opgeleverd. Het vormgevend ontwerp van *Demakers* van is onderdelen opgedeeld, waarvoor aparte voorstellen zijn uitgewerkt.

Er is een vlindersandwich ontworpen dat het probleem van de makkelijk breekbare zonnecellen voor een groot deel heeft opgelost. Het is gelukt om de vlinders werkend te maken zodat de zonnecellen stroom opwekken en de kroonluchter autonoom laten werken. Bij het gewicht van de constructie moest een compromis worden ingegaan tussen een hoger gewicht en hoge productiekosten waardoor de sandwiches zwaarder zijn geworden dan gewenst was.

Met enkele voorstellen voor de frameconstructie is een basis gelegd waarop het frame uiteindelijk geconstrueerd kan worden. Echter is het niet gelukt om de frameconstructie nog binnen deze opdracht uit te voeren, wat wenselijk was geweest. Hiervoor ontbrak de tijd.

Met het ontwerp van voorstellen voor de verbindingen en ophangingen van de vlinders aan het frame is de opbouw van de kroonluchter, wat de stroomopwekking betreft, compleet. Zowel voor de niet-werkende als de werkende vlinders zijn verbindingen ontworpen waarmee deze aan het frame kunnen worden toegevoegd.

Als uiteindelijk resultaat van het ontwerp van de vlindersandwich en de verbinding is een productiestappenplan opgesteld, en aan de hand daarvan een prototype gemaakt.



BIJLAGEN

Eindverslag van de Bacheloropdracht
**Ontwerpondersteuning in het Kader van het
Solar Chandelier Project**
voor Demakersvan

Sebastian Kettler
Demakersvan
Universiteit Twente
Industrieel Ontwerpen
06-11-2009

8 Bijlagen

Inhoudsopgave

<u>I Vlindersandwich</u>	Pagina
I.1 Onderzoek naar de Constructie van de Vlindersandwich	51
I.2 Concepten voor het maken van de Vlindersandwich	53
I.3 Verslag van het Gesprek met dr. ir. Laurent Warnet	57
I.4 Distributeurs van Kunststoffen: Vink Kunststoffen, Eriks B.V.	59
I.5 Uitgevoerde Proeven	60
I.6 Berekening van de Stijfheid van Aluminium vs. Titanium	65
I.7 Integreren van de Elektrische Componenten	67
 2 Frameconstructie	
2.1 Model van een Gedeelte uit het Frame	70
2.2 Buigen van Draad	74
2.3 Ophanging van de Kroonluchter	76
 3 Verbinding Vlinders – Frame	77
 4 Mal voor het Productieproces van de Vlindersandwich	81
 5 Bronvermeldingen	83

I Vlindersandwich

1.1 Onderzoek naar de Constructie van de Vlindersandwich

Er is na technieken gekeken die voor het maken van de vlindersandwich gebruikt zouden kunnen worden. Hieronder zullen de verschillende technieken kort worden toegelicht.

Lamineren met folies

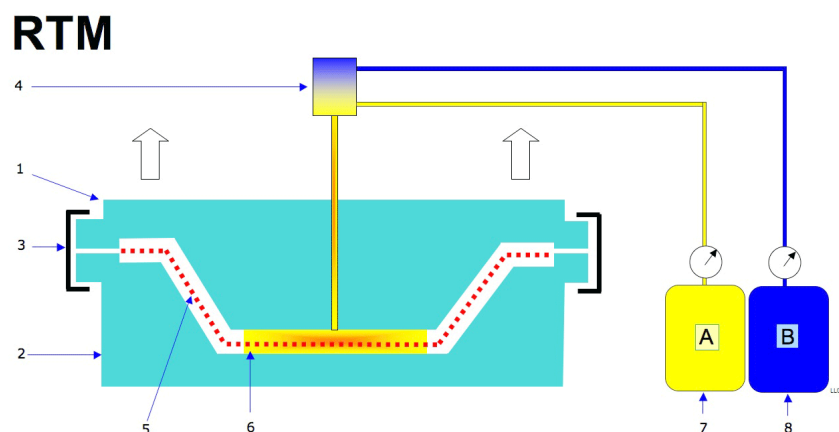
Bij het lamineren met folies wordt er tussen een beschermende, transparante plaat (bv. van glas of PC) een de zonnecel een folie gelegd. Met behulp van een lamineermachine (Figuur 51) wordt de sandwich verwarmd en tot één geheel verbonden. Als gewenst kan ook aan de achterkant als afsluitende laag een folie worden gelamineerd. [1,2]



Figuur 51: Lamineermachine

Voor de folies worden verschillende materialen gebruikt. Voor de tussenlaag tussen de beschermende plaat en de zonnecel wordt vaak ethylene vinyl acetate (EVA) gebruikt; voor de achterkant meestal Tedlar. [1]

Lamineren met composieten



Figuur 52: RTM proces (1) Bovenvorm (2) Ondervorm (3) Gereedschapklem (4) Mengkop (5) Weefselmat (6) Vloeistofvloe en: moldflow (7) Hars (8) Harder (www.wikipedia.nl)

Resin Transfer Moulding (RTM) (Glasvezel + Epoxy-/Polyesterhars)

Voor het toepassen van glasvezel is het aan te raden dat de Resin Transfer Moulding techniek gebruikt wordt. Hiermee is het mogelijk om een zeer glad oppervlak te creëren. Bij het Resin Transfer Moulding (RTM) (Figuur 52) wordt in een mal die met een spuitgietmal te vergelijken is, een glasvezelmat gelegd. Aan de mal zijn twee verschillende potten hars en harder aangesloten. Deze worden onder druk in de mal gepompt. Er wordt hars uit de potten in de mal gepompt, Hier polymeriseren de twee componenten tot een vaste met glasvezel versterkte kunststofvorm.

Een variatie hierop is de *Vacuum Assisted RTM (VARTM)*. Bij dit proces worden de hars en de harder niet in de mal gepompt, maar door een vacuüm, dat in de mal gecreëerd wordt, in de mal gezogen. Ten opzichte van *RTM* kan de mal bij *VARTM* eenvoudiger worden gemaakt. Bijvoorbeeld van een metalen plaat waarop de zonnecel en glasvezel worden gelegd. Daarover heen wordt een folie gelegd die met tape op de plaat wordt geplakt zodat het geheel luchtdicht is. Vervolgens moeten de vacuümpomp en de hars en harder erop aan worden gesloten.

Met behulp van deze technieken zouden de zonnecellen in de kunststofvorm worden geïntegreerd en gelamineerd. [3]

Paverpol + textiel of glasvezel

Paverpol is een textielharder die vooral van kunstenaars voor het maken van sculpturen wordt gebruikt. Daarvoor moet het textiel met paverpol worden ingesmeerd en in de gewenste vorm worden gebracht. Daarna moet het drogen. Paverpol hecht niet op synthetische materialen maar kan alleen met natuurlijke textielen (b.v. katoen) gebruikt worden. Deze techniek zou ervoor gebruikt kunnen worden om een versteviging voor de zonnecellen te maken. [4]

Een proef met Paverpol als dragermateriaal is in *Bijlage 1.5* te vinden.

Siliconebad

Bij het gebruik van een siliconebad worden de zonnecellen met vloeibaar silicone (bv. *Dow Sylgard 184*) op een beschermende, transparante plaat gelijmd, b.v. glas of kunststof. Daarbij wordt druk op de zonnecellen uitgeoefend zodat zo min mogelijk luchtblaasjes in de siliconelaag blijven zitten. Daarna moeten zonnecellen in een afgesloten ruimte drogen (bij 25°C = ca. 10h). De siliconebad sluit de zonnecellen in en beschermt deze tegen vocht. [5,6]

Siliconefilm

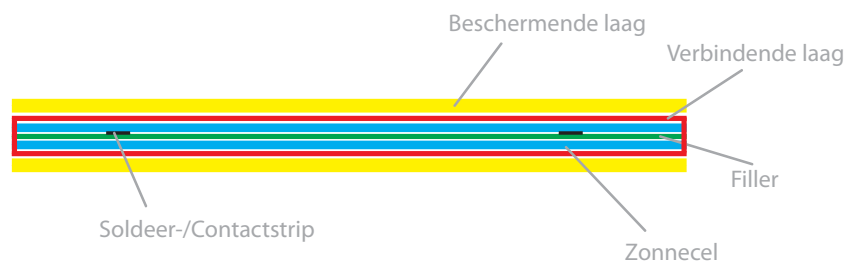
De siliconefilm (bv. *Dow Corning I-2577 Low VOC*) kan met een kwast heel dun worden opgebracht. Daardoor is de kans dat er luchtblaasjes ontstaan vrij laag. Nadat de film is opgebracht moet hij aan de lucht drogen. De siliconefilm beschermt de zonnecellen tegen corrosie maar biedt geen extra versteviging. [6]

Kunststofgieten

Bij het kunststofgieten wordt een afgesloten mal door behulp van de zwaartekracht met vloeibaar kunststof gevuld. Als de zonnecellen in de mal worden geplaatst zou de kunststof om de zonnecellen heen vloeien en deze insluiten. Op deze manier worden de cellen verstevigd en tegelijkertijd een tegen vocht beschermd.

1.2 Concepten voor het maken van de Vlindersandwich

Plaatsandwich



Figuur 53: Plaatsandwich Optie 1

Een plaatsandwich zou op verschillende manieren kunnen worden gemaakt.

Optie 1: Tussen de zonnecellen wordt een *Filler* (Tedlar of PET) gelegd om de ruimte die door de *Contactstrips* ontstaat te vullen en de zonnecel voldoende te ondersteunen (Figuur 13). Om de zonnecellen heen moet een laminering worden gelegd. Dit zou een folie of een siliconebad kunnen zijn. De laminering moet ook de taak van de *Verbindende laag* overnemen die ervoor zorgt dat de *Beschermende laag* op de sandwich blijft hechten. De *Beschermende laag* zou een dunne doorzichtige kunststofplaat (PC) of een dunne glasplaat kunnen zijn (Figuur 53).

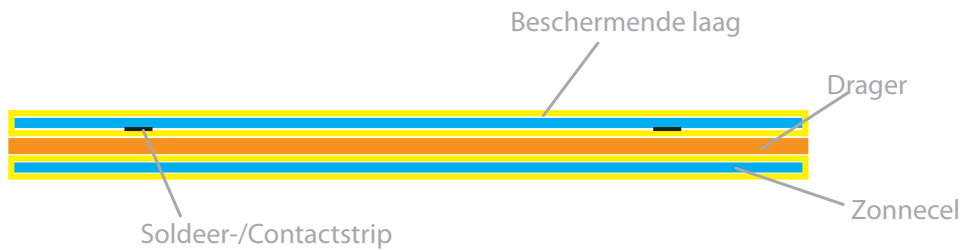
Positieve eigenschappen:

- De *Beschermende laag* uit vast materiaal geeft de sandwich extra stevigheid en beschermt de *Zonnecellen* tegen krassen.
- Het uitzagen en buigen van de platen voor de *Beschermende laag* vraagt weinig tijd als deze met een laser kunnen worden uitgesneden of uit kunnen worden gestanst.
- Het lamineringsproces met een siliconebad is vrij eenvoudig toepasbaar en vraagt geen extra gereedschap [5].
- Met dit proces zou de *One-piece* methode kunnen worden toegepast.

Negatieve eigenschappen:

- Voor het lamineringsproces met folie is een lamineringsmachine nodig. Als voor dit soort laminering wordt gekozen moeten de vlinders of in de *Multiple-pieces* methode in elkaar worden gezet of er moet een nieuwe lamineringsmachine worden ontwikkeld die de vlinderhelften met elkaar onder een hoek kan verbinden. Bovendien zou het lamineren met folie van elektronische componenten problemen kunnen veroorzaken omdat deze niet vlak zijn.
- Bij het lamineringsproces met een siliconebad bestaat er de kans dat luchtblaasjes in de siliconelaag ontstaan en deze de effectiviteit van de zonnecellen verminderen [5].
- Door het gebruik van twee platen aan de voor- en achterkant van de sandwich wordt de vlinder relatief dik en zwaar.

Optie 2: Tussen de zonnecellen wordt een dunne plaat (*Drager*) van kunststof (PET) of glas gelijmd. De lijm neemt daarbij ook de vullende werking van de *Filler* van *Optie 1* over. Op de voorkant van de zonnecellen wordt een silicone film als *Beschermende laag* opgebracht. Eventueel zou de silicone film ook als lijmverbinding tussen de *Drager* en de *Zonnecellen* kunnen fungeren. (Figuur 54)



Figuur 54: Plaats sandwich Optie 2

Positieve eigenschappen:

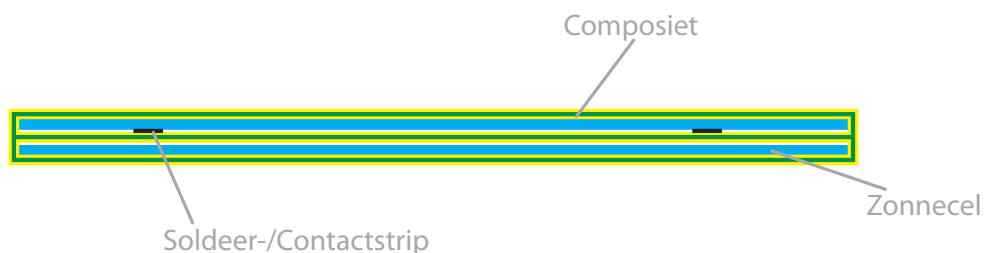
- Voor het maken van deze sandwich is maar één plaat nodig.
- Het uitzagen en buigen van de plaat voor de *Beschermende laag* vraagt weinig tijd als deze met een laser kunnen worden uitgesneden of uit kunnen worden gestanst.
- De *Beschermende laag* uit silicone film kan eenvoudig en snel worden opgebracht.
- De sandwich is dunner dan de sandwich van *Optie 1*.
- Bij het gebruik van een kunststofplaat is de One-piece methode toepasbaar.

Negatieve eigenschappen:

- De *Beschermende laag* uit silicone film biedt maar weinig bescherming tegen krassen.

Lamineren met RTM

Bij het lamineren met *RTM* wordt tussen – en om de *Zonnecellen* heen glasvezel gelegd. Door de harsen die in de glasvezel wordt gezogen ontstaat een stevige *Composiet* tussen – en om de *Zonnecellen* heen. (Figuur 55)



Figuur 55: Schematische weergave van een sandwich dat met een RTM laminaat is gemaakt

Positieve eigenschappen:

- De sandwich is stevig en glashelder.
- Van deze techniek is bekend dat zij vaak voor het lamineren bij zonnecellen wordt toegepast en goede resultaten oplevert.

Negatieve eigenschappen:

- Voor het *RTM* proces moet een vrij ingewikkelde mal worden gemaakt. Deze moet luchtdicht zijn en moet één of meer aansluitingen voor de toevoer van de harsen bevatten. Bovendien is de kwaliteit van de mal belangrijk voor de oppervlaktekwaliteit van de sandwich.

Aanmerking

Voor proefmodellen kan VARTM met een eenvoudigere mal worden gebruikt. Deze biedt echter geen garantie op een succesvolle laminering en het lamineren hiermee vraagt veel tijd.

Lamineren met Paverpol (glasvezel en textiel)

Aanmerking: Voor dit laminaat moet waarschijnlijk niet geweven glasvezelvlies worden gebruikt omdat de structuur van een geweven glasvezelmat bij het uitknippen van een vlindervorm verstoord wordt.

Voor het lamineren met Paverpol zijn er twee mogelijke toepassingen.

Plaatsandwich Optie 2: Een met Paverpol gehard stuk textiel of glasvezel wordt als drager gebruikt en verder verwerkt als bij *Plaatsandwich Optie 2* van de plaatsandwich (Figuur 54).

Positieve eigenschappen:

- Het lamineren van textiel of glasvezel vraagt weinig tijd.
- Het materiaal is dunner dan bij een plaatsandwich.

Glasvezel: In plaats van textiel wordt glasvezel als structuur gebruikt. Daarbij ontstaat een sandwich als in Figuur 4. In tegenstelling tot de RTM wordt hierbij geen druk toegepast.

Positieve eigenschappen:

- Voor het lamineren met deze techniek is geen ingewikkelde mal nodig.

Negatieve eigenschappen:

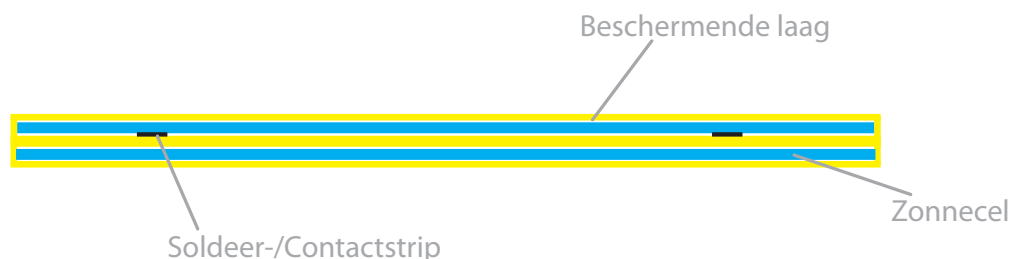
- Omdat geen druk toegepast wordt zal de oppervlaktekwaliteit van de sandwich minder zijn dan bij een sandwich dat met het RTM proces is gemaakt.

Aanmerking:

In plaats van Paverpol zou hierbij ook een hars (bv. epoxyhars) kunnen worden gebruikt.

Toepassen van het kunststofgieten

Bij het kunststofgieten wordt een *Beschermende laag* tussen – en om de *Zonnecellen* heen gevormd. De kunststof sluit de zonnecellen in (Figuur 56)



Figuur 56: Sandwichconstructie dat met kunststofgieten kan worden gemaakt

Positieve eigenschappen:

- Bij deze techniek ontstaat een stevige Beschermende laag die de zonnecellen compleet insluit.
- Er is geen weefsel nodig.

Negatieve eigenschappen:

- Voor dit proces is een ingewikkelde mal voor een goede oppervlaktekwaliteit nodig.
- Er bestaat de kans dat luchtblaasjes in de Beschermende laag ontstaan en de effectiviteit van de Zonnecellen daardoor verminderd wordt.

1.3 Verslag van het Gesprek met dr. Ir. Laurent Warnet

Interview met menner Laurent Warnet, docent aan de *Universiteit Twente* van de vakgroep *Ontwerp, Productie en Management (OPM)*. Meneer Warnet is in de vakgroep een expert voor het toepassen van composieten. Hij is voor advies voor het toepassen van *RTM* in het productieproces van de *Solar Chandelier* gevraagd. Hieronder is het resultaat van het gesprek samengevat.

Resin Transfer Moulding (RTM)

Bij het Resin Transfer Moulding wordt een vezelmat die in een mal ligt met kunsthars geïmpregneerd. De hars wordt met een druk van ongeveer 6 bar in de mal geperst waardoor de lucht door kleine uitlaten uit de mal wordt gedrukt. Verwarmingselementen zorgen ervoor dat de hars snel uithaard.

Bij de toepassing van deze techniek bij het maken van de vlindersandwich zijn er een aantal problemen waarmee rekening moet worden gehouden.

RTM is voor de lucht- en ruimtevaart ontwikkeld en wordt dus voornamelijk op dit gebied als productietechniek gebruikt. De complexiteit van de mal is ongeveer met de mallen te vergelijken die voor spuitgietsproessen worden gebruikt. Daarom zijn er maar weinig bedrijven in Nederland die met de techniek bekend zijn. Bovendien vraagt de ontwikkeling veel tijd. Het *NLR (Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium)* zou voor het maken van de mallen van alle vlinders ongeveer 3 maanden nodig hebben. Dit betekent dat de kosten van de mallen vrij hoog zijn.

De vlinder zou uit drie lagen vezelmateriaal en twee lagen zonnecellen worden opgebouwd (*Figuur 55*). Het gevaar hierbij is dat de hars de snelste/makkelijkste weg zoekt. Dat betekent dat de hars vooral langs de wanden van de mal zou vloeien en niet tussen de zonnecellen in. Daardoor zou de vezel laag tussen de zonnecellen niet geïmpregneerd worden en dus geen stevigheid en geen isolerende functie krijgen.

Het is niet mogelijk om de vorm van de vlinders tevoren al uit een glasvezel mat te knippen. De vezelmat steekt dus over de randen van de mal uit zodat een nabewerking nodig is. Als glasvezels worden gebruikt kan de gewenste vorm met een laser worden uitgesneden. Echter kunnen koolstofvezels niet met laser worden gesneden. Hiervoor is een waterstraalsnijder nodig (glasvezel kan hiermee ook worden gesneden). Aangezien de vleugels van de vlinder onder een hoek 130° met elkaar verbonden moeten worden is een waterstraal-/lasersnijder nodig die de snijkop kan kantelen. Een andere optie is om de vlinder te kantelen. Hiervoor zou deze echter drie keer in moeten worden gespannen. Naast het kantelen van de snijkop moet ook met de geïntegreerde zonnecellen tijdens het snijproces rekening worden gehouden. De zonnecellen in vleugelvorm moeten namelijk in de mal tussen de glasvezels worden gelegd. Dus moet de gewenste vorm precies langs de contour van de zonnecellen uit de te grote vezelmat worden gesneden. Dit vereist een heel nauwkeurige positionering van de vezelmat en de laser omdat de laserstraal de zonnecel niet mag raken waardoor deze zou gaan verbranden.

De voordelen van dit productieproces is dat de vlinders in een productiestap heel snel (ca. 30 seconden per vlinder) verstevigd en met een beschermende laag worden voorzien. Bovendien is het mogelijk om de elektronische component samen met de zonnecellen te laminieren. Daardoor dat veel verschillende vezels als versterkingsmateriaal kunnen worden gekozen kan de stevigheid en de kosten van het materiaal vrij gekozen worden.

Conclusie:

Aangezien de lange ontwikkelingstijd en de hoge ontwikkelingskosten is *RTM* vooral voor high-tech toepassingen of massaproductie aan te raden. Voor het *Solar Chandelier* project betekent dit dat de productiekosten vrij hoog zijn of dat er veel kroonluchters moeten geproduceerd worden zodat de investeringskosten over een groot aantal verkochte producten verdeeld kunnen worden.

Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding (VARTM)

Bij VARTM wordt hetzelfde principe toegepast als bij het gewone RTM. Het verschil is dat bij VARTM de hars met behulp van vacuüm in de mal wordt gezogen en niet door een gewone pomp erin wordt gedrukt. Hierdoor is VARTM voor kleine producties of prototypen geschikt omdat de mal voor het vacuüm proces minder ingewikkeld te maken is dan voor RTM.

Maar ook bij VARTM zijn er een aantal problemen waarmee rekening moet worden gehouden.

Een eenvoudige mal bestaat uit een metalen plaat, een folie en tape. Bovendien moet de mal twee aansluitingen bevatten. Eentje voor de vacuümpomp en eentje die met de pot hars en harder verbonden is. Hierdoor zal tijdens het proces de hars in de mal vloeien. Het nadeel van zo een eenvoudige mal is dat het proces niet altijd succesvol verloopt. Er bestaat de kans dat de vezel mat in de mal niet helemaal met hars wordt door trokken en zo niet overal stevigheid krijgt. Dit is te verklaren door de druk van het vacuüm die niet zo sterk is als die van de RTM-pompen. Daardoor duurt het proces ook langer dan bij RTM. Het maken van een vlinder duurt ongeveer een half uur. Uit dezelfde reden is het ook niet duidelijk of, net zoals bij RTM, drie lagen vezels met hars geïmpregneerd zouden kunnen worden.

De vacuüm mal heeft ten opzichte van de RTM-mal nog een ander nadeel. Draden voor de aansluitingen van de zonnecellen met het frame kunnen niet in de mal geïntegreerd worden omdat er geen openingen mogen zijn zodat het vacuüm überhaupt gecreëerd kan worden. Daarom zou de vlinder eerst zonder aansluitingen gemaakt moeten worden en later kleine gaatjes voor de aansluitingen in de composiet worden gesneden om de draadjes toe te voegen.

Het nabewerkingproces is hetzelfde als bij RTM. Hier is ook een laser nodig die gekanteld kan worden en precies langs de contouren van de zonnecellen moet snijden. Of, het werkstuk moet drie keer worden ingespannen.

De voordelen van VARTM zijn dat de mal voor een kleine productie en prototypes sneller en makkelijker te maken is dan voor RTM. Ook met dit proces wordt de vlinder in één stap verstevigd en tegen corrosie beschermd. Bovendien zijn ook hierbij verschillende vezels te gebruiken waardoor de gewenste stevigheid bereikt kan worden.

Conclusie:

Voor het maken van een prototype is VARTM absoluut geschikt. Echter is het proces te traag om alle vlinders voor een hele kroonluchter te maken. Dus zou VARTM alleen nuttig zijn als ervoor gekozen wordt om de vlinders voor de kroonluchters met RTM te produceren.

I.4 Distributeurs van Kunststoffen: Vink Kunststoffen, Eriks b.v.

Er is naar materialen gekeken die als drager van een vlindersandwich geschikt zouden kunnen zijn. Met behulp van het programma *CES EduPack 2008* en informatie van kunststofproducenten zijn drie mogelijke kunststoffen gekozen en nader bekeken. *Polycarbonaat (PC)*, *Poliethyleenterephthalaat (PET)* en *Polimethylmethacrylaat (PMMA)*.

Distributeurs

Vink Kunststoffen [7]

Dikte (mm)	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	1,5
PET-G	x	x	x	x	x	x	x
PET-G UV helder							
PET-G UV opaal							
Lexan Type 9030 (PC)					x	x	x
Lexan Type Excell-D (PC) UV-beschermd							
PMMA 100-10000						x	x
PMMA XT 200-10000							x

Tabel 5: Vink Kunststoffen

Eriks b.v. [8]

Dikte (mm)	1	2	2,5	3
RX PETG	x	x		x
RX PC	x	x		x
RX PMMA		x	x	x

Tabel 6: Eriks b.v.

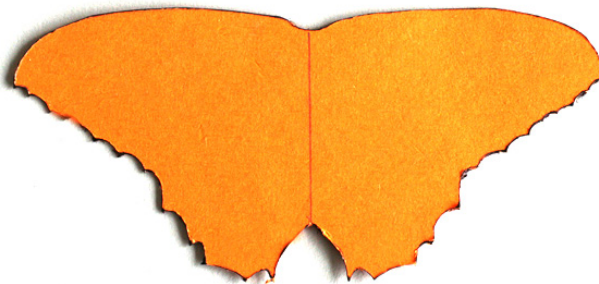
1.5 Uitgevoerde proeven

Om de mogelijke technieken voor de toepassing in dit project te testen zijn een aantal proeven uitgevoerd.

Dragermateriaal

Als mal voor de tests is een vlinder gekozen die aan het begin van het project als vierde type was gedacht, maar later door *Demakersvan* uit de selectie werd genomen. Door het gebruik van deze vlinder voor de tests zouden er geen reeds geproduceerde vlinders verspild worden die later wel voor de kroonluchter nodig zouden zijn. De gebruikte vlinder is de middelste uitvoering qua grootte. Er worden twee uitvoeringen getest.

Knipmal 1 – Eén buiglijn: Twee vlinderhelften raken elkaar met hun rechte kanten. De buiglijn is de raaklijn van de twee rechte kanten (*Figuur 57*).



Figuur 57: Knipmal 1 - één buiglijn

Knipmal 2 – Twee buiglijnen: De rechte kanten van twee vlinderhelften liggen met een afstand van 6 mm parallel naast elkaar. Er tussen zit extra materiaal. De buiglijnen zijn de raaklijnen van de vlinderhelften met het extra stukje materiaal (*Figuur 58*).



Figuur 58: Knipmal 2 - twee buiglijnen

Hypothese:

De Hypothese is dat de vlindervorm van knipmal 2 door het extra stukje materiaal beter geschikt is om de electronica componenten die per vlinder nodig zijn, zoals diodes, wiring elements/draad, stekker, te integreren.

Transparante kunststofplaat als dragermateriaal

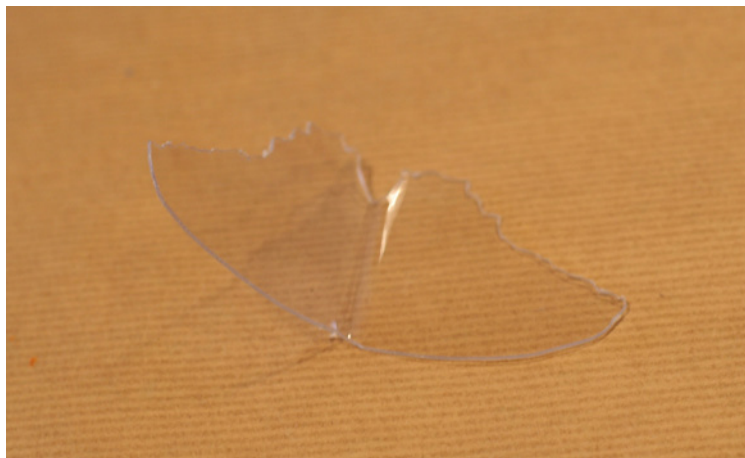
Materiaal: Vivak (PET)
Producent: Bayer Sheet Europe [9]
Dikte: mm

Stappenplan:

- 1 Uitzagen van de vlindervorm uit de kunststofplaat met een decoupeerzaag
- 2 Verwarmen van de buiglijn met een warmbuigapparaat
- 3 De vlindervorm in de gewenste hoek buigen

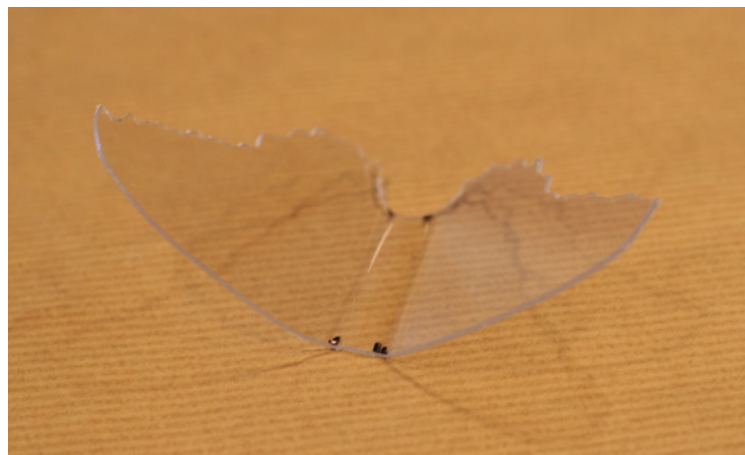
Uitvoering:

Knipmal 1



Figuur 59: Drager op basis van knipmal 1

Knipmal 2



Figuur 60: Drager op basis van knipmal 2

Resultaat:

De dragers zijn licht en stevig en kunnen zonder schade van een grote hoogte vallen. Het plaatmateriaal was eenvoudig en snel te verwarmen en te buigen. De randen van de dragers zijn niet netjes afgewerkt en komen met de afmetingen van de zonnecel niet overeen.

Conclusie:

Het materiaal Vivak (PET) is als drager geschikt. Voor de productie is een decoupeerzaag niet handig omdat de scherpe punten in de vlindervorm daarmee niet netjes uit kunnen worden gezaagd. Bovendien vergt het uitzagen vrij veel tijd.

Composiet Textiel met Paverpol

Materiaal: wit katoen, Paverpol

Producenten: textiel: onbekend (gekocht bij Giga Stoffen te Enschede)
Paverpol: Josefine Hobbyproducts [4]

Stappenplan:

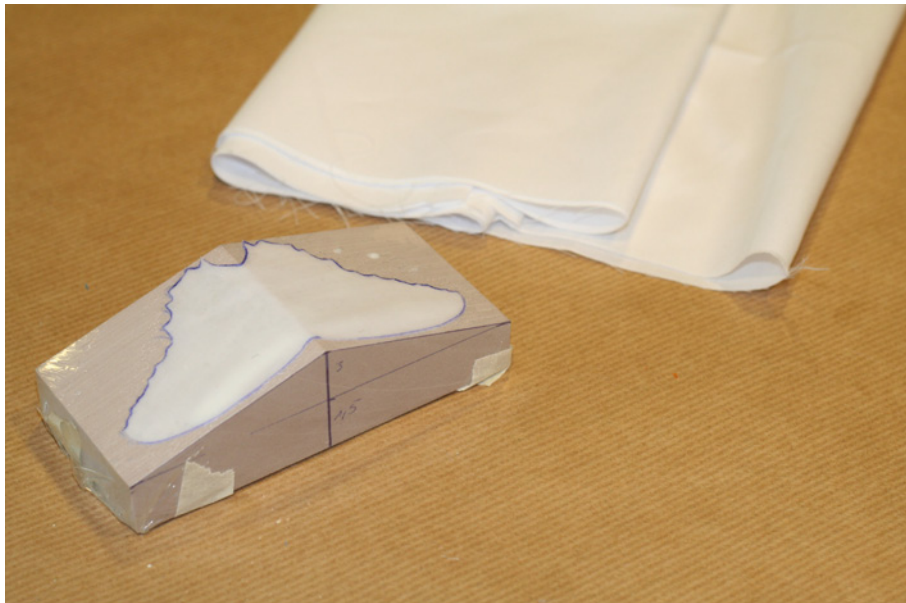
- 1 Uitknippen van de vlindervorm uit katoen
- 2 De katoenen vlinder op de vouwmal leggen
- 3 Katoen met Paverpol insmeren
- 4 De katoenen vlinder laten drogen

Vouwmal:

- 1 De gewenste hoek tussen de twee vlinderhelften uit een blok cybertool zagen
- 2 Krimpfolie over de mal trekken

Uitvoering:

Knipmal I



Figuur 6 I: Mal met vlinder van katoen en Paverpol

Resultaat:

De katoen was niet helemaal met Paverpol doorweekt. Daarom heeft de vorm geen stevigheid. Maar ook op die plekken waar de katoen wel helemaal was doorweekt was, was het materiaal niet stevig

Conclusie:

Met Paverpol doorweekt katoen is als drager niet geschikt.

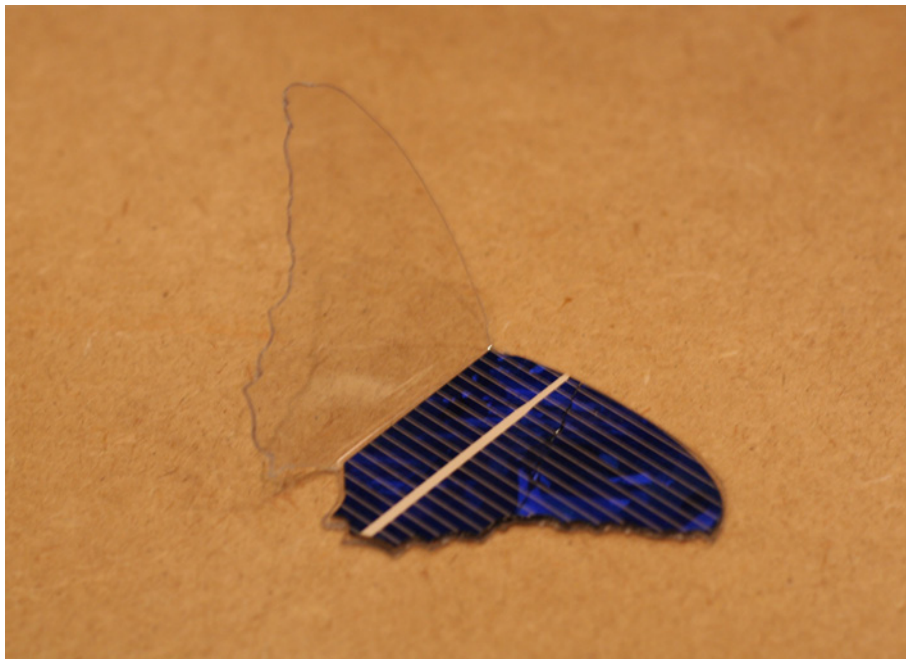
Lijmverbindingen

Materiaal: Silicone coating
 1 stk. Drager van transparent PET met een buiglijn
 1 stk. Vlinderhelft van zonnecel

Stappenplan:

- 1 Silicone coating op de drager (knipmal 1) opbrengen
- 2 Zonnecel op de drager drukken
- 3 Silicone coating laten drogen

Uitvoering:



Figuur 62: Drager met een opgelijmde zonnecel

Resultaat:

De silicone coating verbindt de zonnecel en de kunststoffen drager stevig!

Conclusie:

De silicone coating zou ook als lijm voor het verbinden van de zonnecellen en de kunststoffen dragers gebruikt kunnen worden.

Tests met grote vlinders pet vs. aluminium

Nadat de tests met dragers van PET voor kleine vlinders succesvol was, is er een proef met een drager van PET voor een grote vlinder (3A) gedaan. Deze vlinder is een grote vlinder met, in vergelijking met de ander twee soorten, het smalste tussenstuk. De afstand tussen de buitenste punten is het grootst van alle vlinders. Dit betekent dat de vorm vrij smal ten opzichte van de lengte is. Hierdoor wordt de buigstijfheid beïnvloed en is deze hier het laagst van alle vlinders. Voor dezelfde vlinder is ook een drager van aluminium gemaakt. Deze zijn met elkaar vergeleken.

Materiaal: Vivak PET, 1mm

Aluminium: AlMg3, 1mm

Uitvoering:

Het proces is hetzelfde als bij Proef 1. Alleen zijn deze dragers met een laser uitgesneden om een strakker resultaat te verkrijgen.

Vervolgens is de buigstijfheid van de twee dragers getest door te proberen om de dragers, waarop één zonnecel met de coating was gelijmd, met de hand te buigen.

Resultaat:

Lasersnijden

De aluminiumdrager heeft een strakke rand en heeft precies de vorm als het Solidworksmodel. De PET-drager is minder strak. De laser heeft het materiaal te sterk verwarmd waardoor het licht gesmolten is een de contouren niet zo nauwkeurig zijn als in het Solidworksmodel.

Constructie

De resultaten van de buigtest zijn in *Figuur 63* te zien. Hieruit blijkt dat een 1mm dikke PET plaat als drager voor deze vlinder niet geschikt is omdat het te weinig stijfheid aan de sandwich geeft. Het aluminium is biedt echter wel voldoende stijfheid.



Figuur 63 Gebroken zonnecel op de PET drager (links) en een zonnecel op de aluminiumdrager (rechts)

Conclusie:

Concluderend kan worden vastgesteld dat kunststofplaatmateriaal als drager voor de One-piece methode niet geschikt is, maar aluminium wel.

1.6 Berekening van de Stijfheid van Aluminium vs. Titanium

Om een uitspraak over de keuze tussen aluminium en titanium als dragermateriaal te kunnen doen is er berekend hoeveel dunner een titaniumdrager zou kunnen zijn zodat hij dezelfde stijfheid heeft als een 1 mm dikke aluminiumdrager.

De Young's Modulus van AlMg3 dat voor de dragers gebruikt werd bedraagt 70 MPa, de dichtheid is 2650 kg/m^3 [10]

De Young's Modulus van Titanium is maximaal 105 MPa, de dichtheid bedraagt 4600 kg/m^3 , [10] als er van het gemiddelde geval uit wordt gegaan. (CES EduPack)

Samengevat:

$$E_{AlMg3} = 70 \text{ MPa}$$

$$\rho_{AlMg3} = 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$t_{AlMg3} = 1 \text{ mm}$$

$$E_{Ti} = 105 \text{ MPa}$$

$$\rho_{Ti} = 4600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$t_{Ti} = ?$$

Voor het berekenen van het verschil wordt het formule voor de buigstijfheid van een plaat gebruikt:

$$EI = E \cdot \frac{t^3}{12(1 - \nu^2)}$$

Waarbij $12(1 - \nu^2)$ de oppervlaktetraagheidsmoment beschrijft die onafhankelijk is van dikte t . Daarom kan $12(1 - \nu^2)$ verwaarloosd worden, zodat geldt:

$$EI \div E \cdot t^3$$

Om de stijfheden van de twee materialen te kunnen vergelijken worden de formules aan elkaar gelijk gesteld:

$$E_{Ti} \cdot t_{Ti}^3 = E_{AlMg3} \cdot t_{AlMg3}^3$$

Met ingevulde waardes geldt:

$$105 \text{ MPa} \cdot t_{Ti}^3 = 70 \text{ MPa} \cdot 1 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 105 \cdot t_{Ti}^3 = 70 \cdot 1 \text{ mm}$$

$$\Leftrightarrow t_{Ti}^3 = \frac{70}{105} \text{ mm}$$

$$\Leftrightarrow t_{Ti} = \sqrt[3]{\frac{70}{105}} \text{ mm}$$

$$\Leftrightarrow t_{Ti} = 0,87 \text{ mm}$$

De verhouding van de stijfheid van titanium tot AlMg3 bedraagt dus gemiddeld 0,87:1.

Aan de hand van deze verhouding kan ook het gewicht van de twee platen met behulp van $\rho \cdot t$ worden vergeleken:

$$\rho_{Ti} \cdot t_{Ti} = 4600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00087 \text{ m} = 4,002 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_{AlMg3} \cdot t_{AlMg3} = 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,001 \text{ m} = 2,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Conclusie

Hieruit blijkt dat een titaniumplaat die 0,87 keer zo dun is als een plaat van AlMg3, ongeveer 1,5 keer zo zwaar is als de AlMg3 plaat.

Aangezien het verschil het minimale verschil in dikte en het grote verschil in het gewicht wordt er sterk aanbevolen om AlMg3 als dragermateriaal te gebruiken.

1.7 Integreren van de Elektrische Componenten

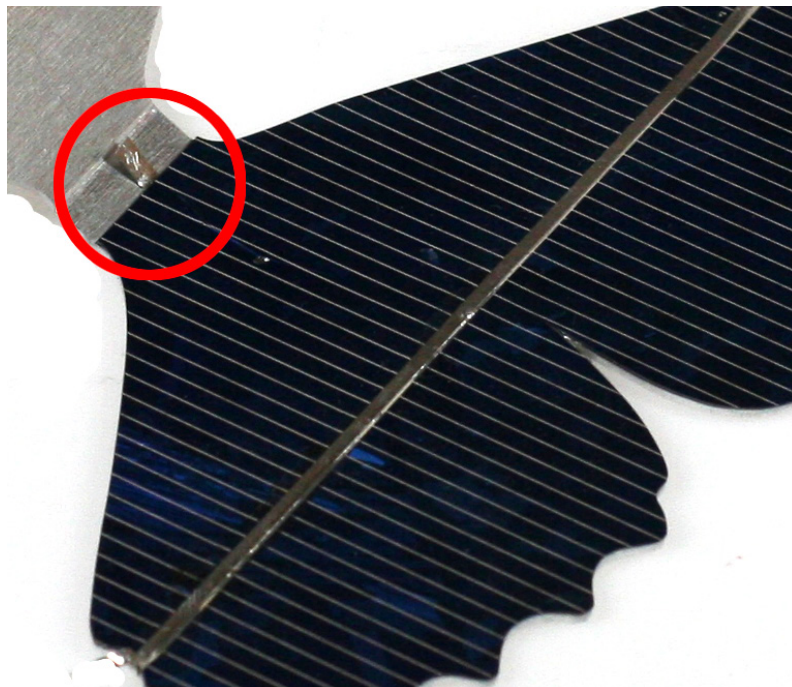
Om de zonnecellen aan elkaar te verbinden en aan de circuit in het frame aan te sluiten zijn een aantal elektrische componenten nodig. De te integreren elektronische componenten zijn de volgende (deze zijn alleen voor de aangesloten vlinders nodig):

- 1 Verbindingsdraad van de onderkant van een zonnecelvleugel naar het tussenstuk
- 2 Verbindingsdraad van de bovenkant van een zonnecelvleugel naar het tussenstuk
- 3 Eén by-pass diode per vlinder (deze zal, in zover mogelijk, in de verbinding tussen vlinder en frame worden verwerkt)
- 4 Connectoren van de draden op de vlinder naar de circuit van het frame (deze zal, in zover mogelijk, in de verbinding tussen vlinder en frame worden verwerkt)

Voor het vinden van de juiste techniek om de elektronische componenten in de sandwich te integreren zijn een aantal ideeën in proeven getest. Het ontwerpproces zal hieronder kort worden besproken.

Idee 1 voor de verbindingsdraad van de achterkant van een zonnecel naar het tussenstuk

De verbindingsdraad van de achterkant van een zonnecelvleugel naar het tussenstukje bestaat uit de tapdraad die op de zonnecellen gesoldeerd moet worden om de gridlijnen op de zonnecel met elkaar te verbinden. Deze draad zal tussen de zonnecelvlinderhelft en de drager verlopen (Figuur 64).



Figuur 64: De tapdraad verloopt tussen de drager en de zonnecel

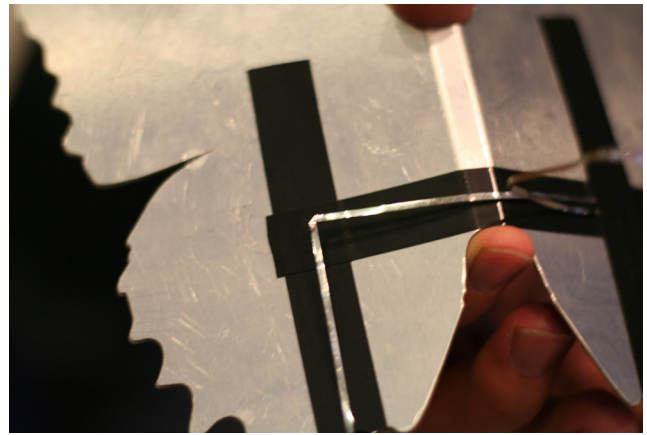
Om het uiterlijk zo netjes mogelijk te houden was besloten om de verbindingsdraad van de voorkant van de zonnecelvleugel naar het middenstukje niet over de voorkant van de zonnecelvleugel te laten lopen (Figuur 65). (Dit was echter de eenvoudigste oplossing geweest.) Daarom zijn er meerdere oplossingen bedacht om het draadje tussen de zonnecelvleugel en de drager te leggen. Omdat de achterkant de tegenovergestelde pool is moet de draad van de soldeerstrip op de voorkant goed geïsoleerd zijn zodat er geen kortsluiting kan ontstaan.

Idee 1 voor de verbindingsdraad van de voorkant van een zonnecel naar het tussenstuk: Isolatie tape

De eenvoudigste oplossing leek met isolatie tape te behalen zijn. Er werd een stuk tape op de drager geplakt. Daarna werd de tapdraad erop gelegd en tevens met isolatietape vastgeplakt. Zo is de draad voldoende geïsoleerd. (Figuur 66)



Figuur 65: De tapdraad is over de zonnecel heen gesoldeerd



Figuur 66: Idee 1 voor een geleiding van de voorkant van de cel

Het probleem dat hierdoor ontstaat is echter dat er tussen de zonnecel en de drager relatief grote afstand ontstaat. De lijm kan niet de gehele ruimte opvullen, zodat er luchtinsluitingen ontstaan. Hierdoor wordt de zonnecel niet voldoende ondersteund en kan heel makkelijk breken (Figuur 18).

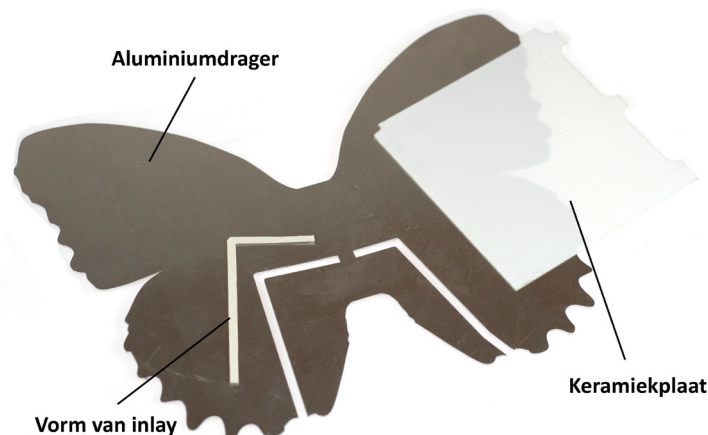
Deze constructie is dus te dik om een stevige sandwich te maken. Daarom moest naar een dunnere constructie worden gezocht.

Idee 2 voor de verbindingsdraad van de achterkant van een zonnecel naar het tussenstuk

Omdat uit het onderzoek van Rik de Konink bleek dat het het verstandigst zou zijn om de vleugels parallel te schakelen zouden de achterkanten van de zonnecellen via de aluminiumdrager verbonden kunnen worden. Hiervoor zou echter bij het opbrengen van de lijm erop gelet moeten worden dat niet overal lijm komt zodat de zonnecellen met het aluminium contact kunnen maken.

Idee 2 voor de verbindingsdraad van de voorkant van een zonnecel naar het tussenstuk: Inlay in de Drager

Om de constructie dunner te kunnen maken moest de tapdraad in een andere laag geïntegreerd worden. Dus is er bedacht om een sleuf in de drager te vrezen waarin een isolerende inlay wordt gelegd. De inlay werd twee keer zo breed gemaakt (3 mm) dan de tapdraad (1,5 mm). Zo zou de kans dat de tapdraad de drager aan de rand van de inlay raakt zo klein mogelijk worden gehouden. Bovendien was het de bedoeling om de inlay dunner te maken dan de drager dik was. Daarom is er 0,5 mm dikke keramiekplaat als inlay gekozen. Deze kan met een laser worden gesneden zodat deze nauwkeurig in de sleuf valt. Omdat de inlay dunner is kan de tapdraad met silicone coating op de drager worden gelijmd. Daarna zou de sleuf bij het verlijmen van de tweede zonnecelvleugel op worden gevuld. Op deze manier wordt er geen extra laag tussen de drager en de zonnecelvleugel gecreëerd maar volledig in de dragerlaag geplaatst (Figuur 67).



Figuur 67: Keramiekinlay in de drager

Deze techniek heeft echter het nadeel dat er een extra soort materiaal bij komt, en de inlay bovendien extra productiestappen vraagt door b.v. het lasersnijden. Daarom is er na een oplossing gekeken die een vergelijkbare oplossing biedt met een eenvoudigere constructie.

Idee 3 voor de verbindingsdraad van de achterkant van een zonnecel naar het tussenstuk

Om ook de achterkanten van de zonnecellen makkelijker op de circuit aan te kunnen sluiten is besloten om ook voor deze verbinding een geïsoleerde draad te gebruiken. Daarvoor worden twee extra sleuven in de drager gesneden die van het tussenstuk tot aan de soldeerstrip op de achterkant van de zonnecel lopen. De draden kunnen dus op de soldeerstrip worden gesoldeerd en door de sleuf naar het tussenstuk worden geleid waar zij aan de verbinding worden aangesloten.

Idee 3 voor de verbindingsdraad van de voorkant van een zonnecel naar het tussenstuk: Geïsoleerde Draad ipv. Tapdraad

Ook in verband met het aansluiten van de geleidingen op de circuit in het frame is er naar de mogelijkheid gekeken om geïsoleerde draad in de sleuf in de drager te leggen. Daardoor zou ook de inlay niet meer nodig zijn. Bovendien zou dit het voordeel hebben dat de sleuf wat smaller kan worden gemaakt waardoor de stijfheid van de drager minder verzwakt wordt dan bij de brede inlay.

Van deze constructie is een model gemaakt. Deze bleek heel goed te werken. Hierbij moet nog worden aangemerkt dat het belangrijk is dat de draad maximaal even dik als het dragermateriaal mag zijn. Anders zou hetzelfde probleem als bij het isolatietape ontstaan, namelijk dat er een te grote afstand tussen de drager en de zonnecel ontstaat waardoor de zonnecel niet voldoende wordt ondersteund.

Uiteindelijke Conclusie

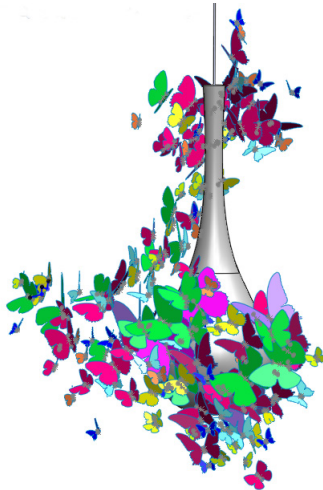
Aan de hand van het model wordt aanbevolen om voor de geleiders van de zonnecellen naar het tussenstuk van de dragers geïsoleerde dragers te gebruiken. Voor productieproces van de vlinders is er voor elke drager een apart Solidworksbestand gemaakt waarin de sleuven geïntegreerd zijn.

2 Frameconstructie

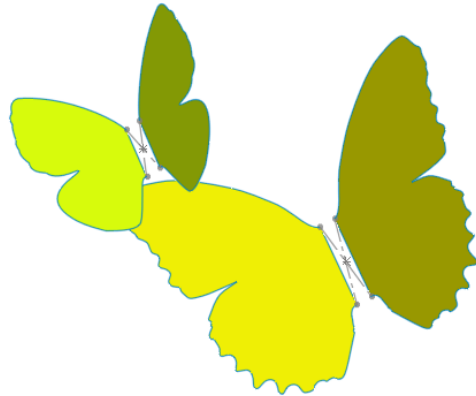
2.1 Model van een Gedeelte uit het Frame

Constructie van een gedeelte van het frame in Solidworks

De constructie van het frame is op één string gebaseerd (Figuur 68). De positie van elke vlinder is geometrisch bepaald om het frame nauwkeurig op te kunnen bouwen. De positie is ook de ophangpunt (Figuren 69 en 70).

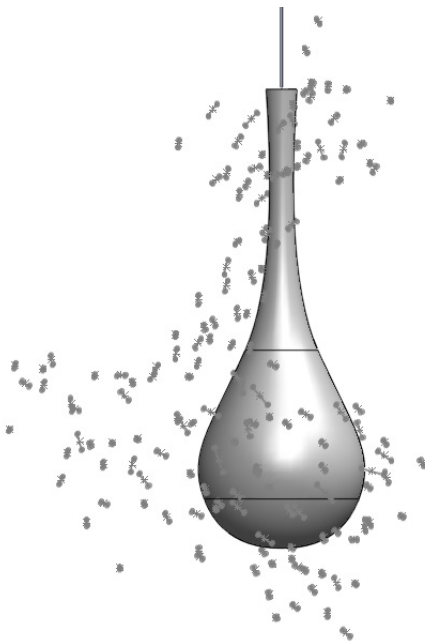


Figuur 68: Vlinderstring

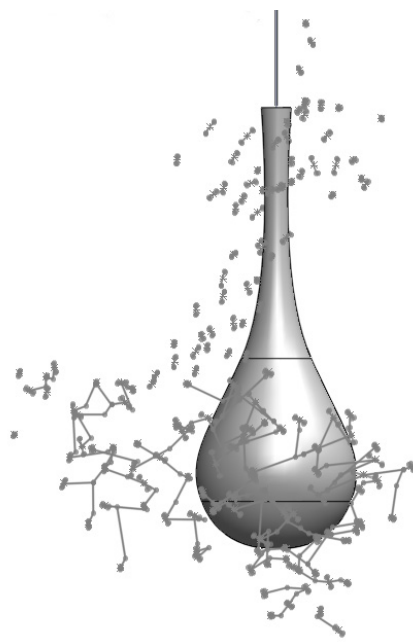


Figuur 69: Ophangpunten

Daarna zijn de ophangpunten met elkaar verbonden om een takkenstructuur te creëren. Daarbij is erop gelet dat geen vlinders door takken worden gesneden/gekruist (Figuur 71).

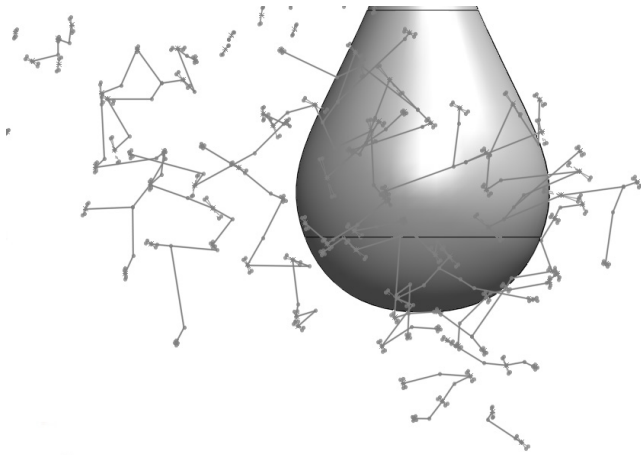


Figuur 70: Alle ophangpunten



Figuur 71: Ophangpunten verbonden met takkenstructuur

Er is maar een klein stuk uitgewerkt omdat eerst met modellen moest worden gekeken of dit soort constructie geschikt was (Figuur 72). Voor de modellen zijn een aantal takken uit de constructie gekozen die een complex geheel met elkaar vormen en daarom goed voorbeeld voor het hele frame geven (Figuur 73).



Figuur 72: Uitgewerkt gedeelte van het frame

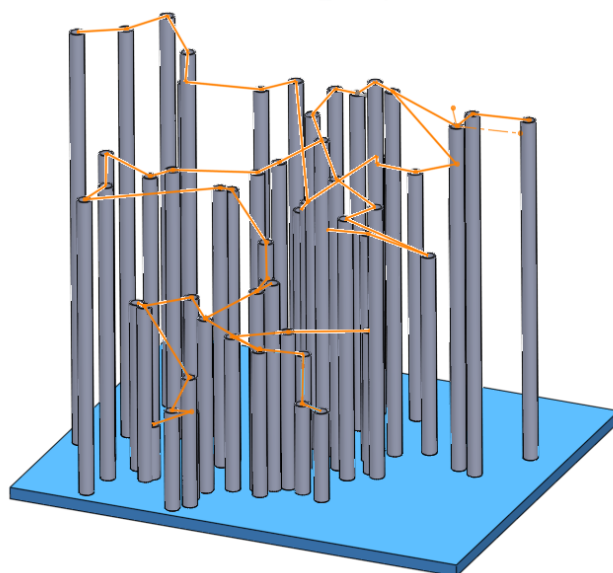


Figuur 73 Uitgekozen takken voor de lasmal

Constructie van een lasmal/soldeermal voor dit bovengenoemde gedeelte

Voor de gekozen takken is een lasmal gemaakt. Het idee van de lasmal is dat buizen als orientatiepunten worden gebruikt om een draadconstructie in ware grootte te kunnen bouwen. Er zijn buizen gebruikt omdat twee draden die bij elkaar komen in het midden van de buis aan elkaar kunnen worden gesoldeerd zonder dat de buis/orientatiepunt ook eraan vast wordt gesoldeerd.

Daarvoor zijn alle connectiepunten tussen twee draadstukken op een vlak geprojecteerd en de coördinaten van elke connectiepunt bepaald. De afstand van het vlak naar de connectiepunten is gemeten. De afstand is in buislengtes vertaald. Hieronder is het resultaat te zien (Figuur 74).



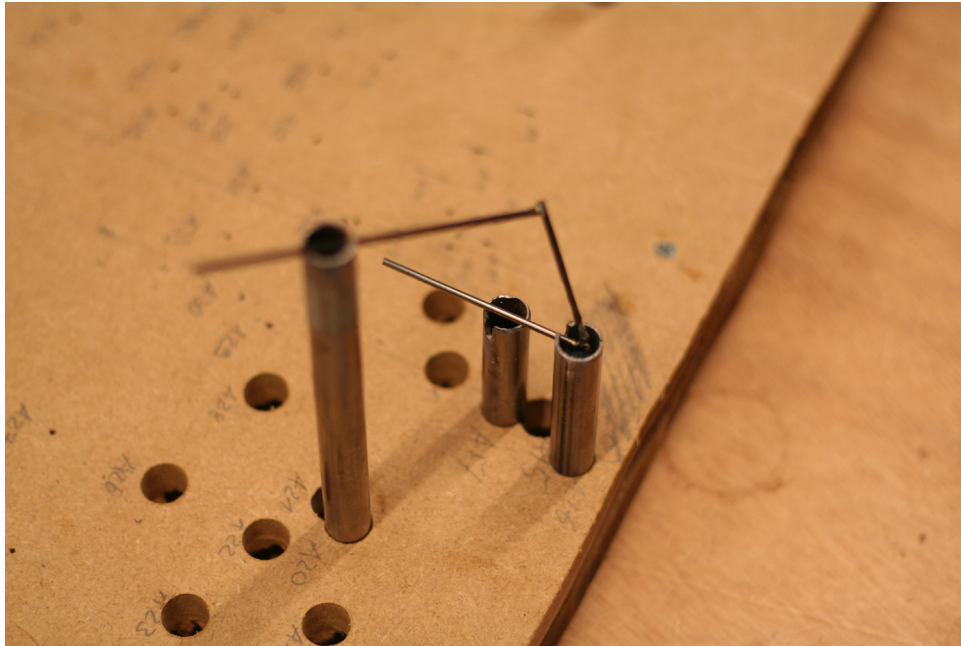
Figuur 74: Solidworksmodel van de lasmal

Maken van de lasmal/soldeermal

Als plaat onderconstructie zijn twee 18mm MDF-platen gebruikt die met “spacers” er tussen in op elkaar zijn gelijmd. Daardoor worden de buizen ondersteund zodat deze niet makkelijk om gaan vallen en de orientatiepunten vastliggen. Voor de buizen is 12mm staalbuis gebruikt.

Maken van het bovengenoemde gedeelte

De draden zijn, zoals boven beschreven, aan elkaar gesoldeerd (Figuur 75).



Figuur 75: Reëel model van de lasmal

Resultaat

Het was vrij lastig om de draden in de goede positie te brengen. De buizen bieden niet voldoende ondersteuning aan de draden.

Aanpassing 1 van de lasmal/soldeermal

Aan de hand van de conclusies van het resultaat is de mal aangepast. In plaats van buizen zijn draden gebruikt (Figuur 76). De uiteinden zijn met elkaar verbonden zodat een tak ontstaat (Figuur 77).



Figuur 76: In plaats van buizen zijn draden gebruikt



Figuur 77: De gesoldeerde tak

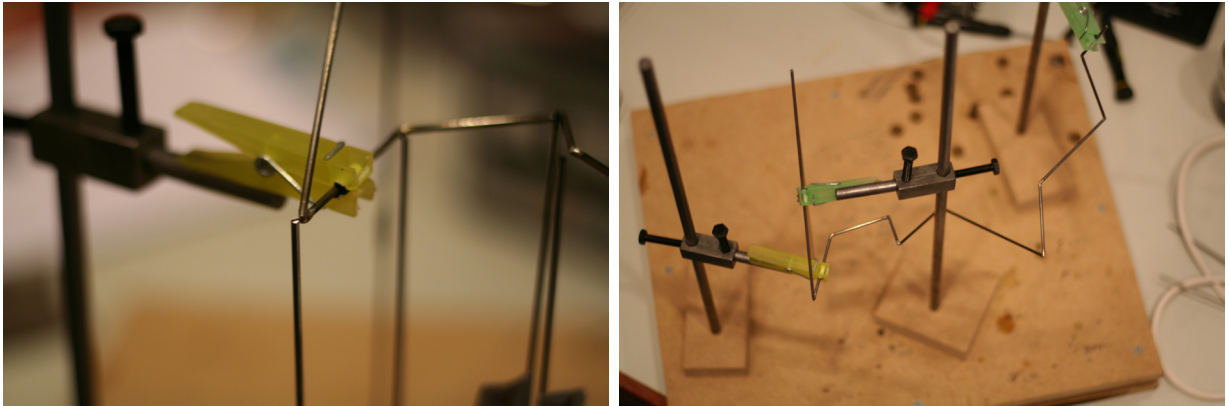
Resultaat

Elke connectiepunt bestaat uit 3 draden hoewel er maar 2 nodig zijn. De draad die als oriëntatie dient wordt afgeknipt. Echter wordt hierdoor de vormgeving verstoord

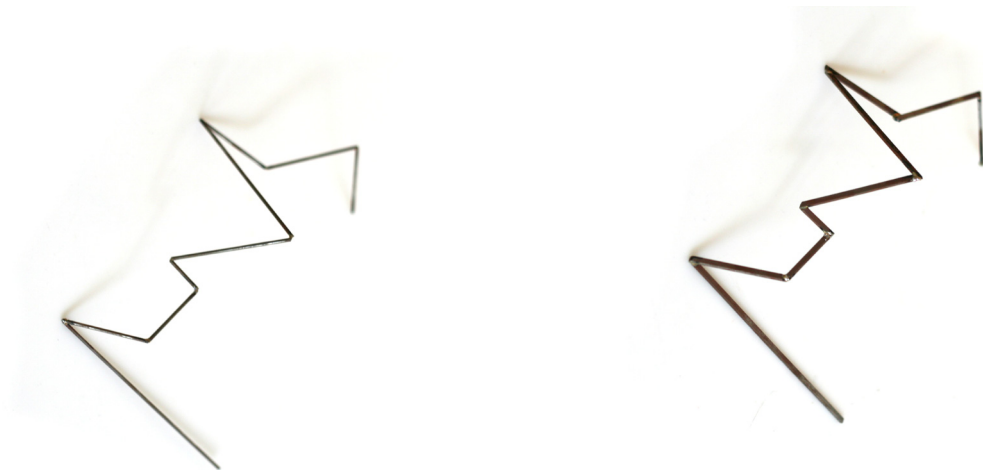
Aanpassing 2 van de lasmal/soldeermal

Bij de volgende proef zijn weer draden als oriëntatie gebruikt, echter zijn de uiteinden niet meegesoldeerd. Er zijn houders van wasknijpers gemaakt om de draden op de goede positie te houden (Figuur 78).

Met deze mal zijn twee proeven gedaan. Eentje met rond draadmateriaal en een andere met draad met een rechthoekig profiel die door Demakersvan was aangeleverd (Figuur 79).



Figuur 78: Wasknijpers zijn als houders gebruikt



Figuur 79: Een tak van rond draad (links) en een tak van rechthoekig draad (rechts)

Resultaat

De verbindingen zien er netjes uit, echter zijn niet alle verbindingen even goed gelukt en daarom niet even stevig. Hier moet extra aandacht aan worden besteed.

Het ronde draadstaal is makkelijker en sneller te solderen omdat de uiteinden van de stukken rechthoekig draadstaal niet direct op elkaar aansluiten en dus bewerkt (gevijld, geschuurd) moeten worden.

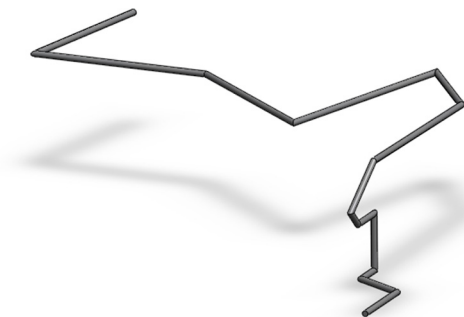
2.2 Buigen van Draad

Er is gekeken hoe draad op verschillende manieren gebogen kan worden en wat daarbij van belang is. Aan de hand daarvan wordt de problematiek van complexe buigingen duidelijk en hoezo voor complexe buigingen een meethulp nodig is. De resultaten kunnen helpen om een meethulp te ontwikkelen. Op grond van tijdgebrek is het niet gelukt om een meethulp voor het buigen van draadmateriaal te ontwerpen.

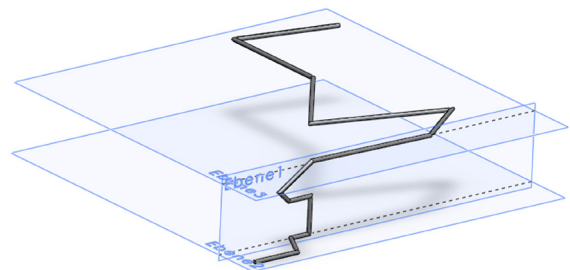
In één vlak per buiging buigen

Als de draad maar in één vlak per buiging wordt gebogen is de vorm van de draad vrij statisch (Figuur 80). Het heeft echter het voordeel dat de meethulp minder ingewikkeld hoeft te zijn, omdat er maar één metingen per buiging hoeft worden uitgevoerd.

Voor de constructie van dit soort draadconstructies is het belangrijk om aan het begin een assenstelsel vast te leggen met twee haaks op elkaar liggenden vlakken. In deze vlakken zullen de buigingen geconstrueerd worden. Het is ook mogelijk om in vlakken te buigen die parallel van deze twee vlakken liggen. Een voorbeeld van zo'n constructie is in Figuur 81 te zien.



Figuur 80: Resultaat van in één vlak per buiging gebogen draad

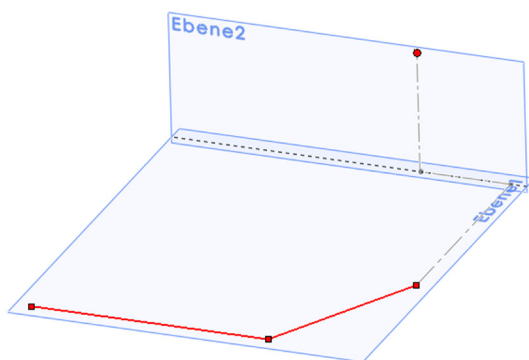


Figuur 81: Opzet van de constructie uit drie vlakken die parallel of haaks op elkaar staan

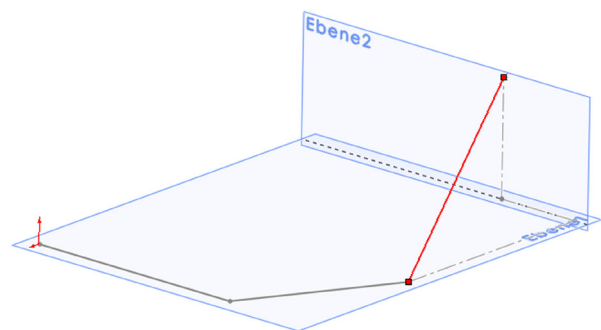
In onafhankelijke vlakken buigen

Als de draad per buiging 'vrij' wordt gebogen, dus twee willekeurige punten door de draad met elkaar verbonden worden, en deze buiging niet hetzelfde vlak als de vorige buiging wordt uitgevoerd, wordt de draad theoretisch twee keer in twee vlakken gebogen. Om dit te verduidelijken is een voorbeeld gemaakt.

In Figuur 82 is de opzet van het voorbeeld te zien. Het uiteinde van de rode lijn, die al een keer gebogen is, en de rode punt moeten verbonden worden. Het resultaat van de buiging is in Figuur 83 afgebeeld.

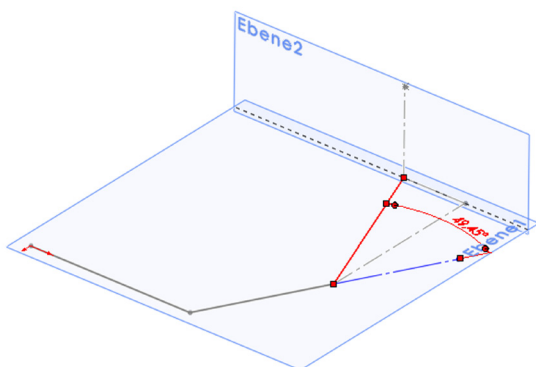


Figuur 82: Opzet van het voorbeeld

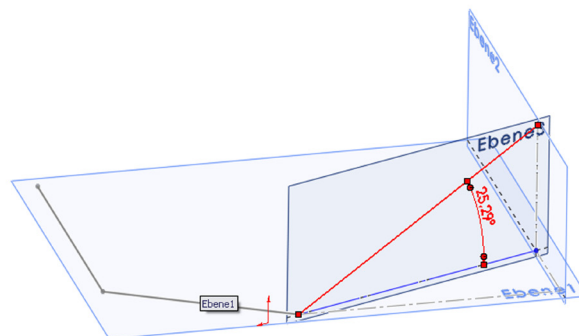


Figuur 83: Resultaat van het voorbeeld

In *Figuur 84* en *85* worden de stappen beschreven die nodig zijn om het resultaat te bereiken. Eerst moet de hoek van de buiging in het vlak worden opgemeten waarin de eerste buiging (die van de rode lijn in *Figuur 82*) is uitgevoerd (*Figuur 84*). Deze meting moet bij de constructie van de draad en bij het buigen van de draad zelf worden gedaan. Daarna moet de hoek van de tweede buiging in het nieuwe vlak (*Ebene 3* in *Figuur 85*) worden gemeten. Ook deze meting moet bij de constructie en de buiging worden uitgevoerd.



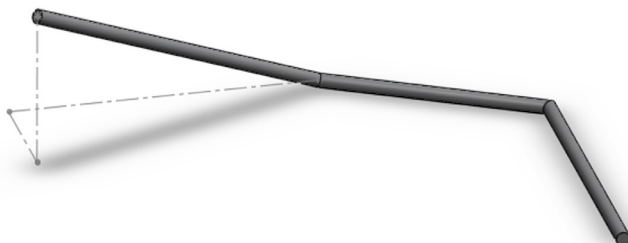
Figuur 84: Meten van de hoek in het vlak van de eerste buiging



Figuur 85: Tweede buiging

In *Figuur 86* is nog een keer het resultaat te zien en de drie richtingen waarin het eindpunt van het beginpunt van het stuk draad verschilt, een soort richtingsvector dus. Het vlak dat als referentie voor de buiging werkt (in dit voorbeeld is dat *Ebene 1*) moet bij elke buiging opnieuw worden vastgelegd en de twee metingen moeten voor elke buiging opnieuw worden uitgevoerd. Dat vraagt relatief veel tijd.

Een mogelijk resultaat voor een langer stuk draad is in *Figuur 87* te zien.



Figuur 86: Het resultaat met de verschillen in richting



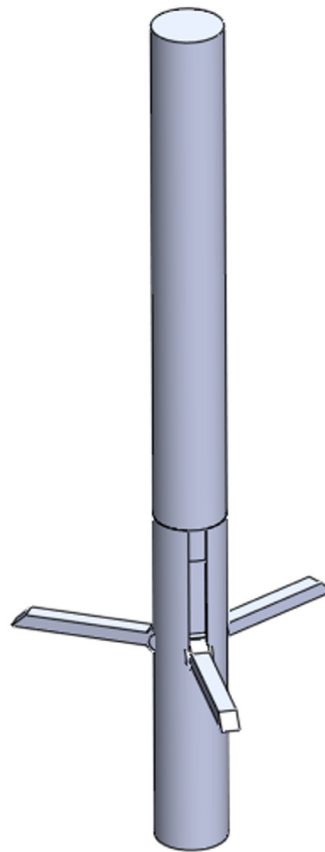
Figuur 87: Voorbeeld voor een langer stuk draad

2.3 Ophanging voor de Kroonluchter

De ophanging die voor kroonluchter bedacht is, werkt met het principe van een anker. De ophanging wordt in gesloten toestand (*Figuur 88*) in de bulb geplaatst. Wanneer er aan het bovenste uiteinde van de ophanging getrokken wordt, klappen de haken uit (*Figuur 89*). Omdat de nek van de bulb te smal is, kunnen de haken op de bulb en dragen hem op deze manier.



Figuur 88: Geslotene ophanging



Figuur 89: Geopende ophanging

3 Verbinding Vlinders – Frame

Hieronder zal het ontwerpproces van de verbinding tussen de werkende vlinders en het frame worden beschreven. De verbinding is aan de hand van de volgende eisen ontworpen.

PvE

Constructie

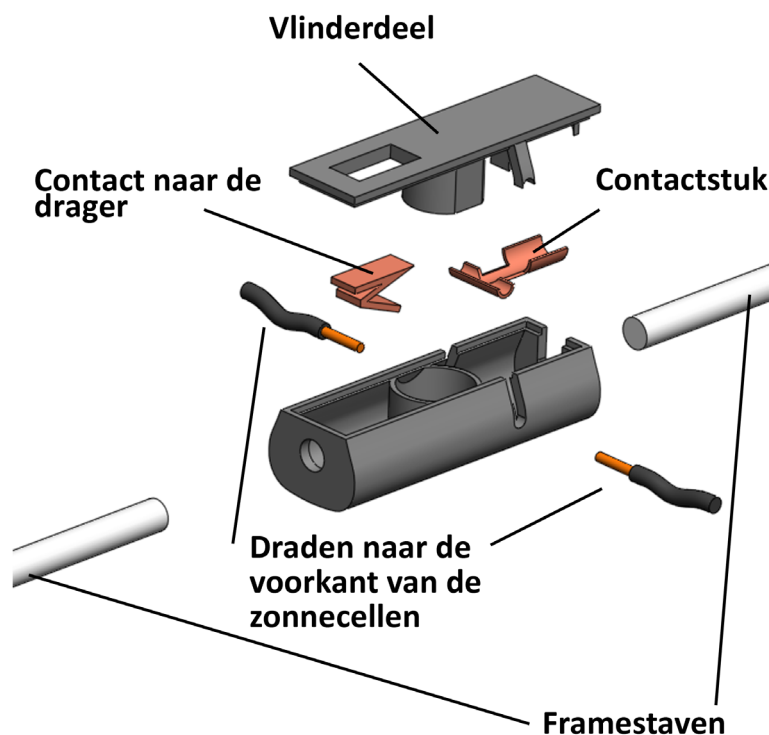
- De verbinding moet de twee uiteinden van het framestaafmateriaal stevig verbinden en een sterke constructie vormen
- De plus- en de minpool moeten van elkaar geïsoleerd zijn
- De verbinding moet de plus- en minpolen van de twee zonnecellen met elkaar verbinden zodat er maar één plus- en minpoolaansluiting per vlinder is die op het frame moet worden aangesloten
- Spuitgieten is als productiemethode mogelijk
- De vlinders moeten makkelijk in de constructie geïntegreerd en vervangen kunnen worden

Vormgeving

- De verbinding moet qua vormgeving bij de vlinders passen en mag niet te massief en overheersend worden

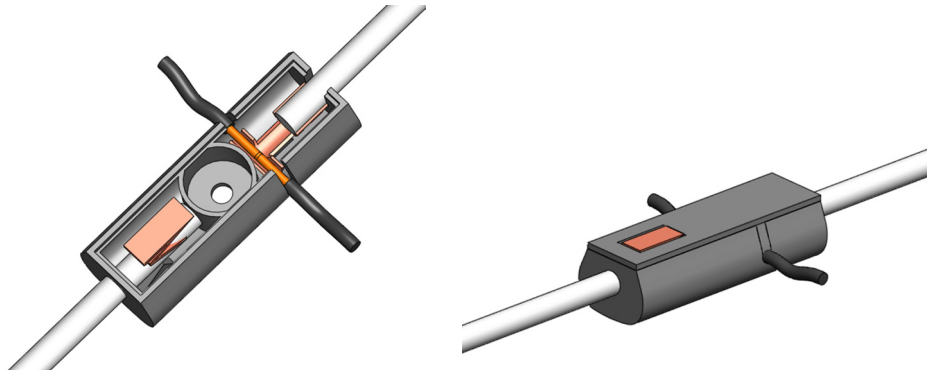
Het eerste ontwerp

Het eerste ontwerp (Figuur 90 en 91) bestaat uit twee delen. Een vlinderdeel en een framedeel. Hierdoor is een eenvoudige montage van de verbinding mogelijk. Het vlinderdeel kan op de drager van de vlinder gelijmd worden en het framedeel op de uiteinden van het framestaafmateriaal geschoven worden. Verder is dit concept op het idee gebaseerd om de drager als plus-/mincontact te gebruiken. Daarvoor is er een verend, koperen contact in de verbinding geplaatst die en op het ene uiteinde van het staafmateriaal drukt en op de drager. De andere contact wordt tevens via een koperen tussenstuk tot stand gebracht. Aan het brede uitsteeksel wordt het framestaafmateriaal gesoldeerd, aan de andere tegenover elkaar liggende kleine uitsteeksel wordt de geïsoleerde draad gesoldeerd. De twee hoofdonderdelen worden met behulp van een schroef met elkaar verbonden.



Figuur 90: Onderdelen van het eerste ontwerp

Qua vormgeving is geprobeerd om ongeveer de vorm van het lichaam van een vlinder na te bootsen, echter lag de aandacht vooral op het functionele aspect.



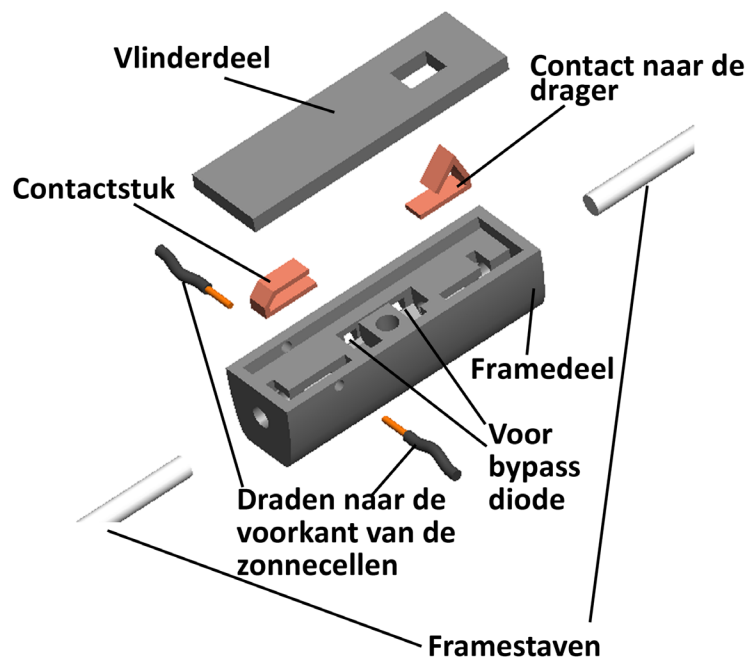
Figuur 91: Links: opbouw van de verbinding, rechts: verbinding gesloten

Conclusie nadat de verbinding met een 3d printer gemaakt en getest was

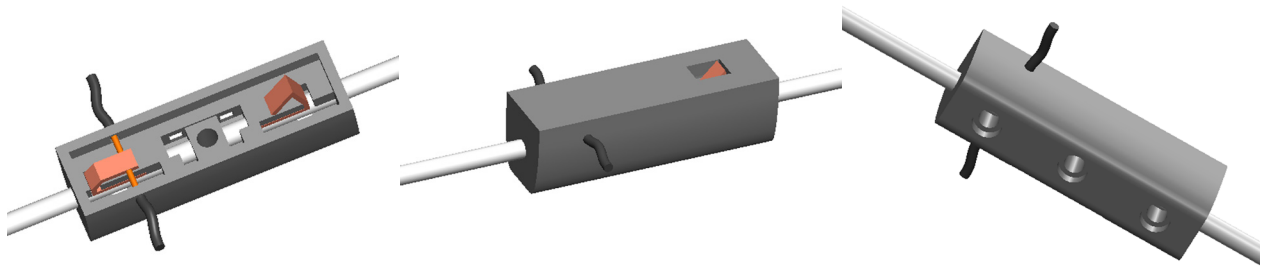
Uit het model bleek dat de constructie technisch werkte maar te klein was om de koperen onderdelen makkelijk in de kunststoffen vorm te kunnen plaatsen en aan te sluiten. Dit ontwerp was dus te omstandig voor de productie.

Het tweede ontwerp

In het tweede ontwerp (Figuur 92 en 93) is geprobeerd om de assemblage van de verschillende onderdelen te vereenvoudigen. Het vlinderdeel is nu een simpele plaat zonder uitsteeksels. Het framedeel is ietsje complexer gemaakt waardoor de positie van de koperen contactstukken beter bepaald en ondersteund wordt en deze makkelijker in het framedeel kunnen worden gezet. De soldeerverbinding van het ene uiteinde van het framestaafmateriaal met het koperen tussenstuk is door een klemcontact vervangen die bij het sluiten van de verbinding het uiteinde en de twee geïsoleerde draden op elkaar klemt en op deze manier contact maakt. Het andere, verende contact is licht aangepast om in het nieuw ontworpen framedeel te passen. Bovendien is een by-pass diode aan het ontwerp toegevoegd. Het vlinder- en framedeel worden net zoals in het eerste ontwerp met een schroef aan elkaar verbonden. Daarnaast zijn ook schroefgaten toegevoegd om de framestaven met schroeven te klemmen.



Figuur 92: Onderdelen van het tweede ontwerp



Figuur 93: Links: opbouw van het tweede ontwerp, midden: verbinding gesloten, rechts: onderaanzicht

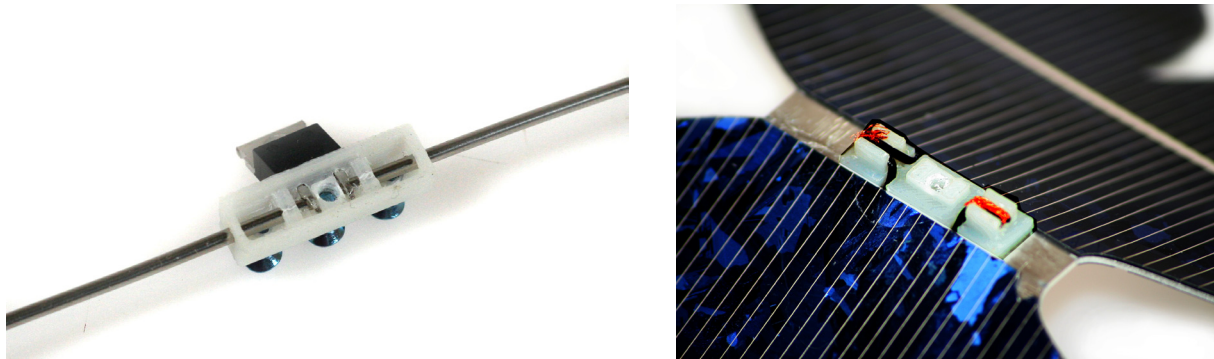
Conclusie nadat de verbinding met een 3d printer gemaakt en getest was

Bij het assembleren van dit model was het plaatsen van de koperen contactstukken makkelijker dan bij het eerste ontwerp, echter was het nog steeds relatief ingewikkeld om de verbinding in elkaar te zetten. Bovendien was de constructie van het framedeel zeer complex geworden waardoor de productie hiervan heel ingewikkeld zou worden.

Het derde en uiteindelijke ontwerp

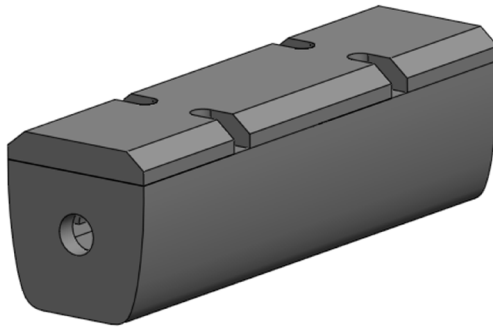
De basis van het uiteindelijke ontwerp is hetzelfde als bij de eerste twee, het bestaat uit een vlinderdeel en een framedeel. Echter zijn de koperen contactstukken helemaal weg gelaten. Bovendien is het verende contact tussen het ene uiteinde van het framestaafmateriaal met de vlinderdrager door geïsoleerde draden vervangen. Deze worden direct op de uiteinden van het staafmateriaal geklemd. Naast de schroef die het vlinder- en het framedeel met elkaar verbindt, zijn twee extra schroeven toegevoegd om de uiteinden te klemmen zodat deze stevig vast zitten en niet uit de verbinding kunnen schuiven of kunnen roteren. De by-pass diode is van het vorige ontwerp overgenomen (Figuur 94).

Conclusie nadat de verbinding met een 3d printer gemaakt en getest was



Figuur 94: Het framedeel (links) en het vlinderdeel (rechts) van de uiteindelijke verbinding

Het assembleren van deze verbinding is veel gemakkelijker dan bij de eerste twee ontwerpen. Na de eerste test is de verbinding op een vlinder gezet. Daarbij bleek dat het vlinderdeel nog licht aangepast moest worden zodat het soepeler tussen de zonnecellen op de achterkant van de vlinder past. Dit is in een aangepast model overgenomen (Figuur 95).



Figuur 95: Aangepast Solidworksmodel met afgeschuinde hoeken

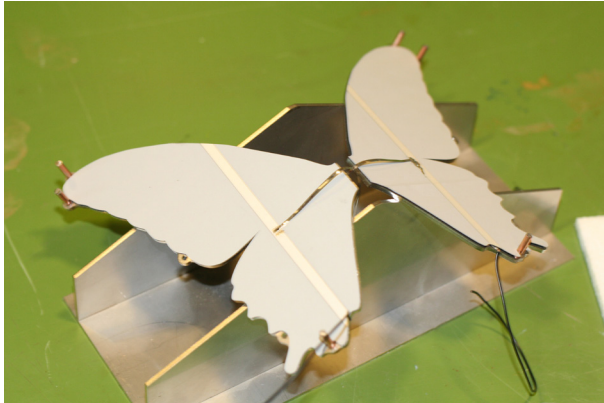
Opmerking

Voor het maken van de modellen zijn relatief grote schroeven gebruikt omdat deze het makkelijkst en snelst verkrijgbaar waren. Voor de productie van het uiteindelijke product zouden kleinere schroeven gebruikt moeten worden om een strakker uiterlijk te creëren. Remform [11] zou een mogelijke leverancier voor de juiste schroeven kunnen zijn. Bovendien zou het ontwerp op het uiteindelijke productieproces en de uiteindelijke materiaalkeuze aangepast en geoptimaliseerd moeten worden.

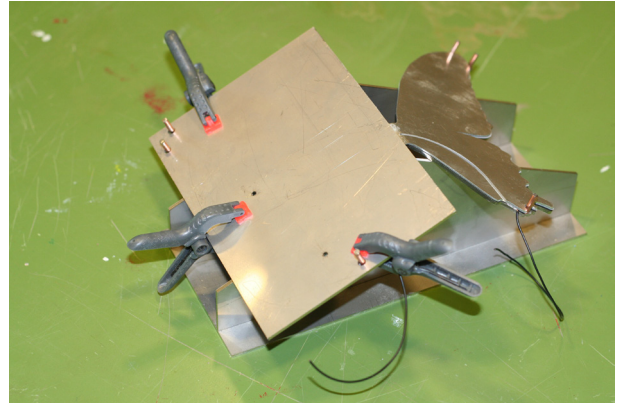
4 Mal voor het Productieproces van de Vlindersandwich

Voor het maken van de vlindersandwiches is een mal gebouwd die ervoor moest zorgen dat alle lagen in de sandwich netjes op elkaar liggen en niet ergens een laag uitsteekt. De mal is van RVS zodat de mal makkelijk schoon te maken is en niet roest. Coating die tussen de lagen uitloopt en op de mal terecht komt kan vrij eenvoudig weer worden verwijderd, zonder dat de mal beschadigd wordt.

De vorm is opgebouwd uit een ondersteunend gedeelte waarop de zonnecellen en de drager worden gelegd. Dit gedeelte heeft precies de vorm van de vlinder (Figuur 96). Dat betekent dat elke vlindertype een eigen mal nodig heeft. Op zes punten zijn aan de rand staven aan de mal toegevoegd. Deze zorgen ervoor dat de lagen netjes worden uitgelijnd.



Figuur 96: De zonnecellen passen precies op de mal



Figuur 97: De persplaat wordt met klemmen op de mal gedrukt

Het tweede deel is de persplaat. De plaat heeft niet de vorm van de vlinder, maar wel op de juiste punten gaten zodat zij over de staven heen kan worden geschoven en op de sandwich komt te liggen. Met behulp van klemmen wordt de sandwich geperst. De persplaat zorgt ervoor dat de druk niet tot te hoge punt belastingen leidt en de zonnecellen breken, maar dat de krachten over de hele vleugel verdeeld wordt (Figuur 97).



Figuur 98: De mal en de sandwich na de mislukte proef

Probleem

Bij het gebruik van de mal kwam een probleem naar voren. Bij het persen werd coating tussen de lagen uitgedrukt en vloeiende tussen de zonnecel op de bovenkant van de sandwich en de mal. De coating droogde en lijmde de zonnecel op de mal vast. Daardoor kon de sandwich niet zonder beschadigingen van de mal af worden gehaald (Figuur 98).

Conclusie

Het is in principe aan te raden om een mal voor de productie van de sandwiches te gebruiken omdat het uitlijnen van de verschillende lagen makkelijker en sneller werkt. Echter is deze mal niet geschikt. Een mal die goed werkt moet zo ontworpen zijn dat de coating die tussen de lagen uitvloeit niet tussen de zonnecellen en de mal terecht kan komen.

5 Bronvermelding

- 1) *Technical feasibility study on polycarbonate solar panels*, M.M. Hackmann et. al., Elsevier, 2004
- 2) *Bridgestone Corporation, producent van Evasafe*, www.bridgestone.co.jp/english/diversified/evosafe/film-02.html
- 3) *Wacker Chemie AG, producent van silicone- en polymeer-chemie*, www.wacker.com
- 4) *Paverpol, producent van textiel harder*, www.paverpol.com
- 5) *Vacuum-free, cost-effective, developing-country-material-avaible solar cell encapsulation*, F. Dross et. al., Elsevier, 2006
- 6) *Dow Corning*, www.dowcorning.com
- 7) *Vink Kunststoffen, producent van kunststoffen*, www.vinkkunststoffen.nl
- 8) *Eriks b.v., producent van o.a. kunststoffen*, www.eriks.nl
- 9) *Bayer Sheet Europe*, www.bayersheeteurope.com
- 10) www.matbase.com/material/non-ferrous-metals/wrought-aluminium/almg3-5754a/propertie
- 11) *Remform*, www.dejond.com/Downloads/draadvorm/remform.pdf

7 Bronvermelding

- 1) www.pitchengine.com; 20-05-2009
- 2) Museum of Modern Art, www.moma.org; 20-05-2009
- 3) Demakersvan, www.demakersvan.com; 20-05-2009
- 4) Universiteit Twente, www.utwente.nl; 20-05-2009
- 5) www.howstuffworks.com; 15-06-2009
- 6) CES EduPack 2008, software/database voor eigenschappen van materialen
- 7) Dow Corning, www.dowcorning.com/applications/search/default.aspx?R=1031EN&bhcp=1; 05-11-2009
- 8) Dow Corning www.dowcorning.com/applications/search/default.aspx?R=659EN; 05-11-2009
- 9) Saint Gobain, www.fffna.saint-gobain.com/Media/Documents/S00000000000000001036/plINortonETFE.pdf; 05-11-2009
- 10) Saint Gobain, www.foams.saint-gobain.com/uploadedFiles/SGfoams/Documents/SolarApplicationBrochure2009.pdf; 05-11-2009
- 11) Jan Pauwels atelier, www.random.be; 05-11-2009
- 12) Lapp Group, www.lappbenelux.com, 05-11-2009
- 13) STRUCTURE, www.structuremag.org/article.aspx?articleID=754; 05-11-2009
- 14)Materia, www.materia.nl; 05-11-2009