

27-06-2018

Recycling van zonnepanelen

Vooronderzoek + onderzoek



Mitchel Mes

Colofon

Titel:

Recycling van zonnepanelen

Onderwerp:

De recycling van zonnepanelen

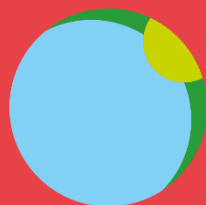
Auteur

Naam : Mitchel Mes
Opleiding : Bachelor agrotechniek en management
Adres : Billitonstraat 24
Woonplaats : Heemstede
Telefoon : 06-48878391
E-mail : Mitchelmes@gmail.com

Opdrachtgever (school)

Schoolnaam : Aeres hogeschool (Dronten)
Naam begeleider : Dhr. P. van Duinen
Adres : Drieslag 2
Woonplaats : 8251 JZ, Dronten
Telefoon : 088 020 6000
E-mail : P.van.duinen@aeres.nl

Datum : 24-04-2018



AERES
HOGESCHOOL

Voorwoord

Naar aanleiding van mijn afstudeerstage bij handel- en adviesbureau Wijsman kwam ik erachter hoeveel vragen er waren over de afbraak van zonnepanelen. Na verschillende dagen op de beurs gestaan te hebben, tijdens mijn stage, kwamen de volgende vragen meermaals voorbij:

- Zijn zonnepanelen in de toekomst niet het nieuwe asbest?
- Wat gebeurt er met de zonnepanelen als ze niets meer opwekken?

Dit soort vragen hebben mij aan het denken gezet. Hier zal dit werkstuk ook over gaan. Er is in Europa maar een bedrijf dat zich richt op, de recycling van zonnepanelen, PVcycle. Dit bedrijf kan 96% van de zonnepanelen recyclen. Dit houdt in dat het nog niet 100% kan. Hier zou ik graag een bijdrage aan willen leveren.

Veel leesplezier

Mitchel Mes

Inhoudsopgave

Colofon	1
Voorwoord	2
Management samenvatting	5
Summary	6
1. Inleiding.....	7
Tabel 1 Groei geïnstalleerde zonnepanelen wereldwijd.....	7
1.1 Zonnepanelen.....	7
Figuur 2 route elektron	7
Figuur 1 zonnecel fosfor en borium atomen.....	7
1.1.1 Soorten zonnepanelen	8
Figuur 3 links mono, rechts poly	8
1.1.2 Samenstelling zonnepanelen.....	9
<i>Figuur 4 percentage stoffen in zonnepanelen</i>	<i>11</i>
1.2 Recycling.....	12
<i>Figuur 5 circulaire proces.....</i>	<i>12</i>
1.3 Wet- en regelgeving	13
1.4 Relevantie.....	13
1.5 Knowledge gap	13
1.6 De hoofdvraag.....	14
1.6.1 De deelvragen.....	14
1.7 Leerdoelen.....	14
1.8 Onderzoek	15
2. Aanpak	16
2.1 Doelstelling.....	16
2.1.1 Soorten recycling.....	16
2.1.2 Het vervangingsmoment van een zonnepaneel.....	16
2.1.3 Recyclebare materialen van een zonnepaneel	16
2.1.4 Kosten voor het recyclen van een zonnepaneel	17
2.1.5 Milieueffecten voor het recyclen van een zonnepaneel.....	17
2.1.6 100% recycling van een zonnepaneel	17
2.2 Betrouwbaarheid en haalbaarheid kwalitatief onderzoek	17
2.3 Dataverwerking	18
2.3.1 Data-analyse	18
3. Planning.....	19
Tabel 2 Planning	19

4. Resultaten.....	20
4.1 Soorten recycling.....	20
Figuur 6 De ladder van Lansink	20
4.1.1 Recycling van een zonnepaneel	21
4.2 Het vervangingsmoment van een zonnepaneel.....	23
4.3 Recyclebare materialen van een zonnepaneel	24
Tabel 3 opbrengst recycling proces (Schlenker, 2010).....	24
4.3.1 Recycling per materiaal	25
Tabel 4 inhoud en prijzen zonnepaneel	26
4.4 Kosten voor het recyclen van een zonnepaneel	27
Figuur 7 vergelijking recycling processen (Schlenker, 2010).....	27
Tabel 5 inhoud en prijzen zonnepaneel	28
4.5 Milieueffecten voor het recyclen van een zonnepaneel.....	29
Figuur 8 vergelijking recyclingprocessen (Schlenker, 2010).....	29
4.6 100% recycling van een zonnepaneel	30
5. Discussie	31
6. Conclusie en aanbevelingen.....	33
Tabel 6 inhoud en prijzen zonnepaneel	34
Bijlage 1	36
Bijlage 2	37
Bijlage 3	39
Bijlage 4	40
Bijlage 5	41
Bijlage 6	41
Bijlage 7	43
Bibliografie	44

Management samenvatting

Men kiest steeds vaker voor zonnepanelen om zelf groene stroom op te wekken. Eind 2015 is er 18 miljoen ton zonnepanelen geïnstalleerd in heel Europa. (s.r.l., 2013) Deze 18 miljoen ton plus hetgeen wat al geïnstalleerd was en na 2015 nog geïnstalleerd is zal een keer aan het einde van de levensduur komen. Dit betekent dat alle zonnepanelen gerecycled dienen te worden. Maar op welke manier(en) kunnen zonnepanelen gerecycled worden en hoe zit het met de kosten en de milieueffecten? Is het ook mogelijk om een zonnepaneel voor 100% te recyclen?

Om antwoord te kunnen geven op deze vragen zijn er een aantal deelvragen opgesteld om zo een duidelijk beeld te kunnen creëren over de 100% recyclen van zonnepanelen.

In de eerste deelvraag wordt weergegeven welke soorten recycling er zijn. De soorten recycling kunnen in eerste instantie ingedeeld worden volgens “de ladder van Lansink”. Voor de recycling van zonnepanelen zijn verschillende recycle mogelijkheden: (Schlenker, 2010)

- Het shredder proces
- Het pilot systeem (2002-2005)
- Het geautomatiseerde systeem
- FRELP (s.r.l., 2013)

De tweede deelvraag is gericht op het vervangingsmoment van de zonnepanelen. Voordat een zonnepaneel gerecycled kan worden dient deze eerst aan het einde van de levensduur te zijn of is er schade opgetreden. Er bestaan drie soorten schaden:

- Incident schade
- Garantie schade
- Transport schade

Vervolgens is er in kaart gebracht op welke manieren, de verschillende bestanddelen van een zonnepaneel, gerecycled kunnen worden. De recycleprocessen verschillen tussen een thermisch- of mechanisch proces, een chemisch bad of elektrolyse. Ieder hoofdbestanddeel wordt op een andere manier uit het zonnepaneel gewonnen. De hoofdbestanddelen zijn glas, koper, zilver, silicium en aluminium.

De vierde stap is om uit te zoeken welke kosten er gemaakt worden om een recycleproces te kunnen laten werken. Dit brengt verschillende kosten met zich mee. De verwijderingskosten, de transportkosten, de kosten van het recycleproces en de kosten van het restant dat nog gestort dient te worden (stortkosten). De kosten van het gehele proces kunnen in mindering gebracht worden door de winning van nieuw rauw materiaal dat bijvoorbeeld opnieuw gebruikt kan worden voor een nieuw zonnepaneel of dat het verkocht kan worden.

De laatste stap is het bekijken van de milieueffecten die het recyclingproces met zich mee brengt. Niet alleen de productie van zonnepanelen zorgt voor een uitstoot maar ook de recycling. Het is lastig om een vast recycleproces te creëren om de milieueffecten te minimaliseren. Fabrikanten kiezen namelijk zelf hoe de opbouw is van het zonnepaneel. Hierdoor kan het recycleproces niet hetzelfde blijven en heeft ieder paneel van verschillende fabrikanten een andere behandeling nodig waarbij de milieueffecten bij het paneel van de ene fabrikant ernstiger is dan het paneel van de andere fabrikant.

Na deze stappen kan een antwoord op de hoofdvraag worden gegenereerd. Waardoor de conclusies en aanbevelingen gegeven kunnen worden.

Summary

People are increasingly choosing solar panels to generate green electricity themselves. At the end of 2015, 18 million tons of solar panels were installed throughout Europe. (s.r.l., 2013) These 18 million tons plus what was already installed and installed after 2015 will come to the end of its useful life. This means that all solar panels have to be recycled. But in what way (s) can solar panels be recycled and what about costs and environmental effects? Is it also possible to recycle a solar panel for 100%?

To answer these questions, several sub-questions were drawn up in order to create a clear picture of the 100% recycling of solar panels.

The first sub-question shows which types of recycling there are. The types of recycling can initially be classified according to "the Lansink ladder". There are various recycling options for recycling solar panels:

- The shredder proces
- The pilot system (2002-2005)
- The automated system
- FRELP (s.r.l., 2013)

The second sub-question is focused on the replacement moment of the solar panels. Before a solar panel can be recycled, it must first be at the end of its service life or damage has occurred. There are three types of damage:

- Incident damage
- Warranty damage
- Transportation damage

Subsequently, we charted the ways in which the various components of a solar panel can be recycled. The recycling processes differ between a thermal or mechanical process, a chemical bath or electrolysis. Every main component is extracted from the solar panel in a different way. The main components are glass, copper, silver, silicon and aluminum.

The fourth step is to find out what costs are incurred to allow a recycling process to work. This involves different costs. The disposal costs, the transport costs, the costs of the recycling process and the costs of the remaining to be paid (dumping costs). The costs of the entire process can be deducted by the extraction of new raw material that can, for example, be re-used for a new solar panel or that it can be sold.

The last step is to look at the environmental effects that the recycling process entails. Not only the production of solar panels produces emissions but also the recycling. It is difficult to create a fixed recycling process to minimize the environmental impact. Manufacturers themselves choose the construction of the solar panel. As a result, the recycling process cannot remain the same and each panel from different manufacturers needs a different treatment in which the environmental effects on the panel of one manufacturer are more severe than the panel of the other manufacturer.

After these steps, an answer to the main question can be generated. Which allows the conclusions and recommendations to be given.

1. Inleiding

Men kiest steeds vaker voor zonnepanelen als duurzame energiebron (Clahsen, 2017). Dit komt mede doordat er op het opwekken van groene stroom een subsidie rust.

De installaties van zonnepanelen wereldwijd is hieronder in een tabel uitgewerkt (Wilt, 2017).

Tabel 1 Groei geïnstalleerde zonnepanelen wereldwijd

	2015	2016	Groei t.o.v. 2015
Hoeveelheid in zonnepanelen	200.000.000	300.000.000	50%
Hoeveelheid in GW	50	75	50%

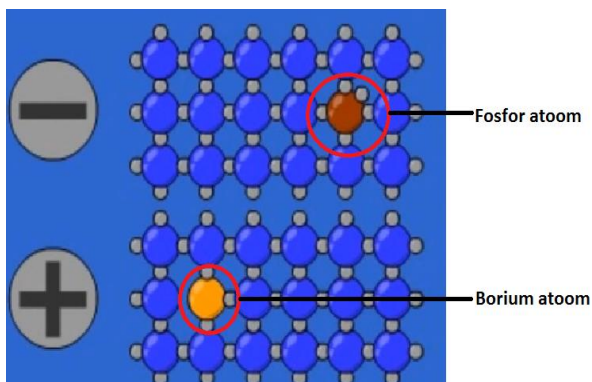
GW = Gigawatt (1 GW = 1000 Megawatt = 1.000.000 kilowatt)

Uit de tabel blijkt dat in het jaar 2016 50% meer zonnepanelen in gebruik zijn genomen ten opzichte van 2015. Dit houdt in dat er dus grote groei is in de productie en het gebruik van zonnepanelen wereldwijd. De andere kant van deze productie is dat de zonnepanelen ook een keer zullen moeten worden ingenomen en gerecycled. Het recyclen is nog niet voor 100% mogelijk maar voor 96%. (cycle, 2016) Is het mogelijk deze 4% nog aan te vullen om toch op de 100% uit te komen? In de volgende paragrafen wordt duidelijk hoe zonnepanelen in elkaar zitten en hoe het onderzoek zal worden ingevuld doormiddel van een hoofdvraag en verschillende deelvragen.

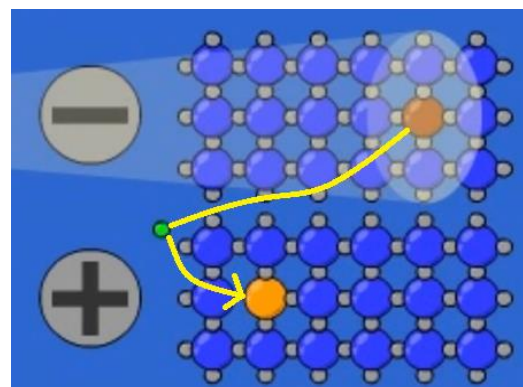
1.1 Zonnepanelen

(MJSolar, 2012) (Broek, 2010) (Spruijt, 2012) Zonnepanelen, ofwel photovoltaïsche (PV) panelen, bestaan uit meerdere zonnecellen. Zonnepanelen wekken stroom op door middel van zonlicht waardoor een magnetisch veld ontstaat in de zonnecellen, dit werkt als volgt:

Zonnecellen zijn opgebouwd uit siliciumkristallen. Een siliciumkristal bestaat uit 4 elektronen (in figuur 1 en 2 de blauwe bolletjes). Iedere elektron houdt een ander siliciumkristal vast. Fosfor en Borium atomen worden ook binnengebracht in de zonnecel. In een laag komen de fosfor atomen en in de andere laag de borium atomen. Hierdoor ontstaat er een negatieve en een positieve kant binnen de zonnecel. Een fosfor atoom heeft 5 elektronen waardoor er in de siliciumkristalstructuur een reserve-elektron (fosfor) zwak gebonden wordt. Door de zwak gebondenheid ontstaat er een negatieve laag. Wanneer zonlicht op de vijfde elektron valt raakt deze elektron los. In de andere laag wordt borium toegevoegd. Borium bestaat uit 3 elektronen. Doordat borium een elektron mist ten opzichte van de fosfor atomen ontstaat hier een gat die elektronen aantrekt, hierdoor ontstaat de positieve laag (figuur 2). Een zonnecel is de combinatie van deze positieve en negatieve laag. Wanneer zonlicht op de negatieve laag valt, komt de vijfde elektron los van het fosfor atoom. Dit vijfde elektron zal via een geleider naar het gat in de positieve laag gaan waardoor de stroom ontstaat (figuur 1). Door de meerdere lagen waaruit een zonnecel bestaat zal dit proces altijd orgaan.



Figuur 1 zonnecel fosfor en borium atomen



Figuur 2 route elektron

1.1.1 Soorten zonnepanelen

(zonnepanelen.net, sd) (Dieleman, 2010) Zonnepanelen kunnen worden onderverdeeld in twee soorten, de polykristallijn zonnepanelen en de monokristallijn zonnepanelen. Er is een klein verschil tussen deze twee soorten zonnepanelen.

Het grootste verschil is de kleur van de zonnepanelen (figuur 3). Het verschil in kleur kan verklaard worden door de manier van fabricage van het silicium. De manier van fabricage van silicium in een polykristallijn zonnepaneel is als volgt; Het silicium wordt gesmolten met een temperatuur van 1600 graden Celsius waarna het direct gekoeld wordt. Door de snelle koeling ontstaan er kristallen die door elkaar liggen, dit zorgt voor de blauwe kleur. Na de koeling worden er plakjes gesneden die toegepast kunnen worden voor zonnepanelen.

De manier van fabricage van silicium in een monokristallijn zonnepaneel is als volgt; de fabricage is van mono kristallijn zonnepanelen inherent aan de fabricage van polykristallijn zonnepanelen. Enkel de koeling van het silicium is anders. Bij monokristallijn zonnepanelen wordt het silicium namelijk gecontroleerd afgekoeld waardoor er geen nieuwe kristallen kunnen ontstaan en zo blijft de zwarte kleur in plaats van dat het blauw wordt.



Figuur 3 links mono, rechts poly

1.1.2 Samenstelling zonnepanelen

Zoals in de vorige sub-paragraaf beschreven, bestaan zonnepanelen uit meerdere soorten stoffen. Deze stoffen moeten gewonnen worden uit ertsen of moeten machinaal/handmatig samengesteld worden. Een zonnepaneel is opgebouwd uit de volgende stoffen:

- Silicium (Si) (Custor, Silicium het element, 2017)
 - Silicium is een vast metalloïde. Silicium is geschikt voor zonnepanelen door de foto-elektrische eigenschappen van de stof
 - Winning: Silicium wordt gewonnen door middel van verhitting. Siliciumdioxide wordt verhit tot 3000 graden Celsius, met aanwezigheid van koolstof, waardoor er silicium ontstaat. Volgen de reactieformule: $\text{SiO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Si} + 2\text{CO}$
 - Na de winning van het silicium moet het gezuiverd worden. Het zuiveringsproces is in drie trappen onder te verdelen.
 1. Siliciumdioxide wordt verhit tot 3000 graden Celsius, met aanwezigheid van koolstof, waardoor er zuiverder silicium ontstaat.
 2. “Het gezuiverde silicium wordt omgezet in trichloorsilaan (SiHCl_3) en gemengd met zoutzuur (HCl). Door destillatie worden verontreinigingen afgescheiden. Het trichloorsilaan wordt verhit tot verdamping en bij een goede temperatuurkeuze ontstaat zuiver silicium.”
 3. “Een staaf silicium wordt in een klein gebied van staaf boven het smeltpunt verhit (smeltpunt: 1410 graden Celsius). De verontreinigingen die beter in de vloeibare fase oplossen dan in de vaste fase, verzamelen zich in de vloeibare zone die verwijderd wordt en gerecycled. Resultaat is 99,99% zuiver silicium.”
- Borium (B) (Custor, Borium het element, 2017)
 - “Borium is een vast metalloïde en wordt toegepast in de medische sector. Borium wordt ook aan staal toegevoegd om de bewerkbaarheid en de mechanische eigenschappen te verbeteren.”
 - Winning: “Boor is gebonden aan andere elementen zoals in borax $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, boorzuur, tuxexie, colemaniet, enz. Er zijn krachtige reductoren nodig om borium te winnen zoals magnesium of aluminium.”
- Fosfor (P) (Custor, Fosfor het element, 2016)
 - Fosfor is een niet-metaal en is het bekendst in de kleuren wit en rood. Fosfor bindt makkelijk aan andere stoffen waardoor fosfor niet in ongebonden toestand in de natuur voorkomt.
 - Winning: Fosfor heeft fosfaat houdend gesteente, uit de open mijnbouw, als grondstof. “De eerste bewerking in land van winning bestaat uit het concentreren van het fosfaat. Het ruwe fosfaatgesteente heeft een laag fosfaatgehalte en dat wordt opgevoerd tot circa een 33%. Fosfaat wordt gewonnen uit apatiet een mineraal in afzettingsgesteenten. In Europa is apatiet in Finland winbaar en op het aan Finland grenzende Russische schiereiland Kola. Dit fosfaaterts is een mineraal dat rijk is aan calciumfosfaat. Van gefossileerde organismen, die zich hebben afgezet op de zeebodem. Na een aantal processen ontstaat fosfor, fosfor-oven gas, voornamelijk koolmonoxide en slak volgens de vergelijking:”
$$2 \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6 \text{SiO}_2 + 10 \text{C} \rightarrow 6 \text{CaSiO}_3 + 10 \text{CO} + \text{P}_4$$
Fosfaaterts + grind + cokes $\rightarrow$ slak + Kool monoxide + fosfor

- Aluminium (Steff, 2007)
 - Aluminium is een roestvrij, slijtvast en licht metaal. Aluminium wordt voor zonnepanelen gebruikt als lijst om het paneel heen.
 - Winning: Aluminium wordt geproduceerd doormiddel van de grondstof bauxiet. Door de raffinage van bauxiet ontstaat alumina. Alumina wordt elektrisch gereduceerd tot het aluminium metaal.
- Glas (Bartw, 2007)
 - Glas wordt gebruikt voor de afdekking van de zonnecellen van de zonnepanelen.
 - Glas wordt geproduceerd door een legering van meerdere stoffen.
 1. 70% SiO₂ (siliciumdioxide)
 2. 20% gerecyclede glasscherven
 3. Soda
 4. Dolomiet
 5. Calcium
 6. Magnesium
 7. Natriumsulfaat
 - De glasplaten voor op de zonnecellen worden geproduceerd in grote fabrieken waar de legering in ovens wordt verwarmd tot 1600 graden Celsius. Nadat de glasplaten in de oven zijn geweest komt het glas in een bad met tin. Hierdoor koelt het glas af tot ongeveer 70 graden Celsius. Tin zorgt ook dat het glas vlak wordt. Na het tin bad worden de glasplaten verder gekoeld in een koelgalerij waarna de glasplaten gewassen en gecontroleerd worden voor gebruik.
- EVA-lijmfolie (Schiebaan, 2015) (Kuiper, 2011)
 - Dit Folie komt onder de glasplaat en de zonnecellen om ervoor te zorgen dat alles als een geheel aan elkaar blijft zitten.
 - EVA staat voor Ethyleen Vinyl Acetaat
 - EVA is een zacht, flexibel, UV- en weersbestendig, isolerend licht van gewicht en slijtvast materiaal.
 - Een groot nadeel van EVA-folie is dat het materiaal niet recyclebaar is. Het product kan niet opnieuw vermalen worden tot granulaat om hergebruikt te worden.

Fig. 3: Composition of c-Si and thin-film modules (corresponding to the respective technology)

	c-Si (crystalline silicon cells)	a-Si (amorphous silicon cells)	CIS (copper indium diselenide cells)	CdTe (cadmium telluride cells)
<i>Proportion in %</i>				
Glass	74	90	85	95
Aluminium	10	10	12	< 0.01
Silicon	approx. 3	< 0.1		
Polymers	approx. 6.5	10	6	3.5
Zinc	0.12	< 0.1	0.12	0.01
Lead	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.01
Copper (cables)	0.6		0.85	1.0
Indium			0.02	
Selenium			0.03	
Tellurium				0.07
Cadmium				0.07
Silver	< 0.006			< 0.01

Source: Recycling of solar modules – potential and requirements of a future material flow / PV CYCLE study 2007

Figuur 4 percentage stoffen in zonnepanelen (maatschappij, sd)

In de tabel hierboven zijn de hoeveelheid stoffen in een zonnepaneel in percentage weergegeven. Het betreft voor dit onderzoek alleen de eerste kolom die oranje is uitgelijnd. Hieruit komt naar voren dat de zonnepanelen voor het grootste deel uit glas bestaan. (maatschappij, sd)

1.2 Recycling

Recycling is het opnieuw gebruiken van grondstoffen die voortkomen uit een product. Denk hierbij aan glas dat gerecycled wordt tot gekleurd glas. Of aardolie dat uit kunststof wordt gehaald om vervolgens de energie uit de aardolie op te wekken. (Goor J. v., 2015)

Recycling kan gewaardeerd worden in 2 termen:

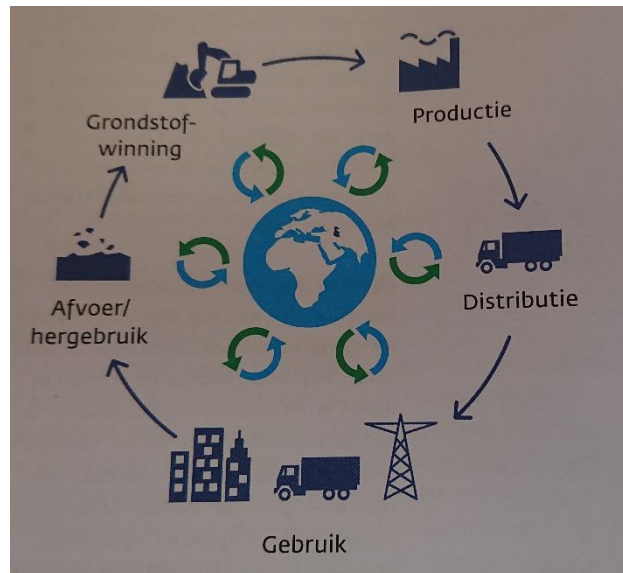
- Upcycling
- Downcycling

Upcycling is het, na recycling, verkrijgen van een hoogwaardiger en zuiverder product dan voor de recycling. (Goor J. v., 2015) (Dubbeldam, 2012)

Downcycling is het, na recycling, verkrijgen van een minderwaardig product dan voor de recycling. Een voorbeeld is de recycling van glas zoals hierboven weergegeven. (Goor J. v., 2015) (Nijhuis, 2009)

Circulaire economie, ook wel kringloopeconomie genoemd, is een vorm van recycling dat moet zorgen dat er geen oneindige grondstofvoorraden worden uitgeput. Het idee van de circulaire economie is om alle reststromen volledig in te zetten in nieuwe producten en bij de productie vooral hernieuwbare energiebronnen te gebruiken, bijvoorbeeld zon- en windenergie. Er zijn twee soorten kringlopen, een biotische kringloop en een abiotische kringloop. Een biotische kringloop houdt bijvoorbeeld het verbouwen van eten in maar ook menselijke lichamen en ontlasting. Een abiotische kringloop is een technische kringloop, bijvoorbeeld de kringloop van metalen en plastics. (Wijngaard, sd) (prof. dr. Jan Jonker, 2016)

Bij veel producten is het bekend wat de gevolgen zijn voor het proces van recycling. Door deze bekendheid van gevolgen kunnen producten aangepast worden om zo de schadelijkheid van recycling te reduceren of zelfs weg te nemen. Men kan bijvoorbeeld schadelijke materialen in een product vervangen door een nieuw soort materiaal, dit wordt ook wel substitutie genoemd. Het product kan ook zo veranderd worden dat er minder materialen gebruikt worden voor hetzelfde product, dit wordt ook wel dematerialisatie genoemd. Dan is er nog cradle to cradle (C2C). Cradle to cradle moet ervoor zorgen om de gehele materiële kringloop te sluiten. Dit wil zeggen dat alle materialen uit het product hergebruikt of gerecycled kunnen worden voor een nieuw product. Cradle to cradle betekent van wieg tot wieg. Dit wil zeggen dat een nieuw materiaal na de levensduur van een product opnieuw wordt gebruikt voor een nieuw product. Om kansen te vergroten, om materialen een nieuw leven in te brengen, is het belangrijk om een product zo te ontwerpen dat deze na gebruik makkelijk uit elkaar gehaald kan worden, dit wordt ook wel design for disassembly (DFD) genoemd. (Roorda, 2011) (Stroe-Biezen, 2014)



Figuur 5 circulaire proces (Jonker, 2015)

1.3 Wet- en regelgeving

Voor de afvalverwerking van elektronische apparatuur is in 2003 de WEEE-richtlijn opgericht. WEEE staat voor Waste Electrical and Electronic Equipment. In Nederland wordt deze richtlijn ook wel AEEA-richtlijn genoemd Afgedankte Elektrische en Elektronische Apparatuur. (Nederland, 2015) De Richtlijn is in 2008 en 2012 herzien dit heeft geleid tot een breder toepassingsgebied en in 2012 de toevoeging van fotovoltaïsche zonnepanelen in de richtlijn. (redactie, Nationale AEEA-regelgeving wordt van kracht, 2014)

Producenten en importeurs die handel verrichten in elektronische apparatuur in de EU worden verantwoordelijk gesteld om ook voor inzameling en verwerking van afgedankte producten te zorgen. (RVO, Afgedankte elektrischen en elektronische apparatuur, 2012) Producenten en importeurs dienen ieder jaar voor 1 mei de cijfers door te geven van de op de markt gebrachte apparatuur. Ook dienen de producenten en importeurs de innamestructuur, verwerkingsstructuur, financiering van de inzameling en verwerking geregeld te hebben voor 1 mei ieder jaar. (RVO, elekt(on)ische apparatuur - afval circulair, 2015)

Naast de WEEE-richtlijn is er een kwaliteitsstandaard opgericht voor de verwerking van e-waste, WEELABEX (Waste Electric and Electronic Equipment Label of Excellence). WEELABEX is een initiatief van onder andere Wecycle. Deze kwaliteitsstandaard zorgt voor uniforme regels voor inzameling opslag, transport, verwerking, recycling en hergebruik van e-waste. In Nederland zijn, sinds 1 juli 2015, de regels van WEELABEX verplicht gesteld voor e-waste producten. Dit houdt in dat alle bedrijven zich moeten certificeren voor het verwerken en recyclen van e-waste producten. (WEELABEX, sd)

1.4 Relevantie

Zonnepanelen zijn een zeer actueel onderwerp gebaseerd op de verkoopcijfers wereldwijd, zoals al eerder weergegeven in dit hoofdstuk. Zowel particulieren als ondernemers investeren in zonnepanelen om zo de energiekosten te verminderen of zelfs geheel kwijt te raken. De zonnepanelen die nu in Nederland op daken en weilanden liggen dienen na ongeveer 25 jaar verwijderd te worden om vervolgens gerecycled te worden. Dit proces is nog niet optimaal. Het bedrijf PV Cycle kan op dit moment 96% van het gehele paneel recyclen. Gezien de groei van de hoeveelheid zonnepanelen op daken en weilanden, dient er gestreefd te worden naar een 100% recycling.

1.5 Knowledge gap

Uit de verschillende onderwerpen die, in dit hoofdstuk, ter sprake gekomen zijn over zonnepanelen blijkt de kennis over het recyclen/hergebruik van een zonnepaneel nog niet volledig te zijn. Zo blijkt dat 96% van een zonnepaneel gerecycled of hergebruikt te kunnen worden en blijkt dat 4% van een zonnepaneel afval is. Er is weinig bekend welke materialen er wel of niet gerecycled kunnen worden, die zich in een zonnepaneel bevinden. Zo kan bijvoorbeeld de EVA-lijmfolie niet gerecycled worden. Het is niet bekend of EVA-lijmfolie het enige product is dat niet gerecycled kan worden. Hieruit blijkt dat het creëren van een nieuw zonnepaneel uit een versleten zonnepaneel niet geheel mogelijk is wat laat zien dat een zonnepaneel niet meewerkt aan een circulaire economie of cradle to cradle. Uit het onderzoek zal moeten blijken of dit in de toekomst wel mogelijk zal zijn.

1.6 De hoofdvraag

De Hoofdvraag voor het onderzoek

- In hoeverre is 100% recycling mogelijk voor een zonnepaneel?
 - Samenvattend de antwoorden van de deelvragen met als conclusie het antwoord op de hoofdvraag.

1.6.1 De deelvragen

Om de hoofdvraag goed en onderbouwd te kunnen beantwoorden zullen er deelvragen nodig zijn om meer informatie te werven over het onderwerp. Hieronder zijn de deelvragen weergegeven met daarbij de afbakening voor het antwoord op de vragen.

1. Welke soorten recycling zijn er?
 - Up- en downcycling
 - Circulaire – en lineaire economie
2. Welke factoren bepalen het vervangingsmoment van een zonnepaneel?
 - Uitwerking van alle factoren
3. Welke materialen zijn 100% recyclebaar van een zonnepaneel?
 - Uitwerking van alle materialen met recyclemethoden
 - Uitwerking over mogelijkheden voor niet-recyclebare materialen
4. Wat zijn de kosten voor het recyclen van een zonnepaneel?
 - Kosten voor het recycleproces van een zonnepaneel van afbraak tot de nieuwe grondstof.
 - Demontage en transport buiten beschouwing.
5. Welke milieueffecten heeft het recyclen van een zonnepaneel?
 - CO2-uitstoot
 - Afvalproducten
 - Gevolgen van de uitstoot en afvalproducten

1.7 Leerdoelen

Het schrijven van dit afstudeerwerkstuk zal een aantal leerdoelen van de auteur bevatten.

- Het verbeteren van de volgende competenties: duurzaam handelen, zelf sturen en onderzoeken.
- De auteur wil dat de sector gebruik zal maken van het antwoord van de hoofdvraag.
- De auteur wil meer duidelijkheid geven aan de mensen die in zonnepanelen willen investeren maar twijfelen omdat deze mensen denken dat zonnepanelen het nieuwe asbest zijn. ([Voorwoord](#))

1.8 Onderzoek

In dit afstudeerwerkstuk wordt gebruik gemaakt van verschillende onderzoeksmethoden. Hieronder een uitwerking over de onderzoeksmethoden en waarvoor er gebruik is gemaakt van de betreffende onderzoeksmethoden. (Scribbr, sd)

- Deskresearch
 - Bij deskresearch worden gegevens die al door anderen zijn verzameld gebruikt voor een literatuuronderzoek.
 - Dit type onderzoek is terug te vinden in het theoretische kader van dit verslag. Alle informatie over zonnepanelen, de recycling hiervan en de wet- en regelgeving hiervan zijn voortgekomen uit deskresearch.
 - PV-cycle is een bedrijf dat onderzoek doet naar de optimale recycling van zonnepanelen en beschikt dus over veel benodigde informatie voor dit verslag.
- Kwalitatief onderzoek
 - In een kwalitatief onderzoek wordt interpretatief te werk gegaan door middel van interviews.
 - Deze methode wordt gebruikt voor het beantwoorden van alle deelvragen om zo een antwoord te creëren voor de hoofdvraag.
- Exploratief onderzoek
 - Dit onderzoek zorgt ervoor dat het onderzoeksprobleem beter te begrijpen wordt. Hiervoor wordt naar belangrijke factoren en relaties gekeken over het onderwerp.
 - Een exploratief onderzoek wordt vaak uitgevoerd in combinatie met deskresearch of een klein kwalitatief onderzoek. In dit geval is het de combinatie van deskresearch en een kwalitatief onderzoek.
- Veldonderzoek/fieldresearch
 - In deze onderzoeksmethode wordt informatie verzamelt, geanalyseerd en geïnterpreteerd door middel van bijvoorbeeld interviews.
 - Deze onderzoeksmethode wordt gebruikt voor het beantwoorden van alle deelvragen door middel van interviews bij verschillende organisaties.

2. Aanpak

In deze paragraaf wordt, per vraag, aangegeven aan welke eisen de oplossing van het vraagstuk moet voldoen, hoe de vraagstukken afgebakend zullen worden en wat het verwachte antwoord zal zijn. Alle vragen zullen doormiddel van een kwalitatief onderzoek beantwoord worden. Het kwalitatieve onderzoek bestaat uit een semigestructureerd interview. Een semigestructureerd interview is een interview met vooraf opgestelde vragen. Tijdens het interview mag er wel afgeweken worden van de vragen om zo een diepgang in het onderwerp te verkrijgen. Hierdoor zal ook gedetailleerdere informatie voortkomen wat goed van toepassing kan zijn in het onderzoek. (Dingemanse, 2015) Na de interviews kan er overgegaan worden tot extra literatuuronderzoek.

2.1 Doelstelling

Voor een aantal deelvragen is de mogelijkheid tot beantwoording al mogelijk doormiddel van het theoretisch kader uit [hoofdstuk 1](#). Voor de overige deelvragen zal een beschrijving gegeven worden voor de beantwoording van de betreffende deelvragen.

2.1.1 Soorten recycling

De oplossing van dit vraagstuk maakt men ervan bewust welke soorten recycling er nodig zijn voor het afbreken van een zonnepaneel. Er zijn namelijk verschillende soorten recycling voor het afbreken van een zonnepaneel, bijvoorbeeld upcycling en downcycling. Deze deelvraag kan beantwoord worden doormiddel van het theoretisch kader uit [hoofdstuk 1.2](#) en [hoofdstuk 1.3](#).

2.1.2 Het vervangingsmoment van een zonnepaneel

De oplossing van dit vraagstuk maakt bezitters van zonnepanelen ervan bewust wanneer een zonnepaneel niet meer rendabel is en wanneer deze vervangen dient te worden. Doormiddel van een semigestructureerd interview bij verschillende bedrijven, PVcycle, ZRN, milieu centraal en TNO zal duidelijk worden welke factoren het vervangingsmoment bepalen. ([Bijlage 1](#))

2.1.3 Recyclebare materialen van een zonnepaneel

Met de oplossing van dit vraagstuk wordt duidelijk welke stoffen tot de 4% niet recyclebare materialen behoren waarna er onderzocht kan worden of er mogelijkheden zijn waarmee deze stoffen wel gerecycled kunnen worden. Uit hoofdstuk 1 is duidelijk geworden welke materialen zich in de zonnepanelen bevinden. Echter is het nog niet bekend hoe deze materialen gerecycled worden.

Zoals in [sub-paragraaf 1.1.1](#) beschreven, bestaan zonnepanelen uit meerdere soorten stoffen. Deze stoffen moeten gewonnen worden uit ertsen of moeten machinaal/handmatig samengesteld worden. Een zonnepaneel is opgebouwd uit de stoffen die uitgewerkt zijn in het theoretisch kader in [sub-paragraaf 1.1.2](#).

De verwachting van de oplossing is dat de lijmfolie, dat zich tussen alle lagen van een zonnepaneel bevindt, niet 100% gerecycled kan worden. Doormiddel van een kwalitatief onderzoek zal een antwoord gecreëerd worden op deze deelvraag. De oplossing zal voortkomen uit een semigestructureerd interview met PVcycle, ZRN, milieu centraal en TNO. ([Bijlage 1](#))

2.1.4 Kosten voor het recyclen van een zonnepaneel

De oplossing van dit vraagstuk zal men bewust maken over de kosten van de recycling van een zonnepaneel. “Kosten” is een breed begrip er zal bij deze onderzoeksvraag daarom alleen ingegaan worden op de kosten van het recyclen van de materialen van een zonnepaneel. Verdere afbakening van de deelvraag is terug te vinden in [sub-paragraaf 1.6.1](#) Dit vraagstuk zal beantwoord worden doormiddel van een kwalitatief interview bij PVcycle, ZRN, milieu centraal en TNO. ([Bijlage 1](#)) Een verwachte oplossing van de kosten, voor het recyclen van een zonnepaneel, zijn lastig in te schatten aangezien er meerdere materiaal soorten zijn waaruit een zonnepaneel bestaat.

2.1.5 Milieueffecten voor het recyclen van een zonnepaneel

Met de oplossing van dit vraagstuk zal men bewust gemaakt worden hoeveel CO₂-uitstoot er is bij de recycling van een zonnepaneel. Dit vraagstuk zal kwalitatief onderzocht worden doormiddel van een interview bij PVcycle, ZRN, milieu centraal en TNO. ([Bijlage 1](#)) Voor de afbakening zal vooral ingegaan worden op de overblijfselen na de recycling en de CO₂-uitstoot van het recycling proces. De verwachte oplossing van dit vraagstuk zal zijn dat een zonnepaneel minstens 6 jaar in gebruik zal moeten zijn voordat de CO₂-uitstoot geneutraliseerd zal zijn voor zowel de productie als het recycling proces. Deze verwachting is gebaseerd op de compensatie tijd van het productieproces van zonnepanelen. De uitstoot is na ongeveer 2 tot 3 jaar gecompenseerd. De verwachting is 6 jaar gezien als verdubbeling van het productieproces. (gaslicht, 2017)

2.1.6 100% recycling van een zonnepaneel

Met de oplossing van dit vraagstuk zal er bijgedragen worden aan het onderzoek naar de volledige recycling van zonnepanelen. Dit zal een vooruitgang zijn in het gebruik van de zonnepanelen en zal de drempel lager maken voor meerdere toekomstige gebruikers om te investeren in zonnepanelen. On 100% recycling wordt verstaan dat alle materialen van een zonnepaneel hergebruikt kunnen worden. De verwachte oplossing is dat een zonnepaneel nog niet voor 100% gerecycled kan worden maar een streven is dat het 99% zal worden na dit onderzoek.

2.2 Betrouwbaarheid en haalbaarheid kwalitatief onderzoek

Voor de verstrekking van informatie is het van belang dat de informatie ook betrouwbaar en haalbaar is. Aangezien de informatie bij verschillende bedrijven verkregen zal worden doormiddel van een kwalitatief onderzoek. De betrouwbaarheid zal door de hoeveelheid interviews en overeenkomende antwoorden betrouwbaarder worden. Er zullen voor het onderzoek meerdere interviews plaatsvinden bij de betreffende bedrijven: PVcycle, ZRN (Zonnepanelen Recycling Nederland), Milieu centraal en TNO. PVcycle en ZRN zijn bedrijven die gespecialiseerd zijn in het recyclen van zonnepanelen en het doen van onderzoek naar de mogelijkheden voor de recycling. TNO is een onderzoeksbureau dat zich onder andere richt op duurzame innovaties. Milieu centraal is een bedrijf dat zich inzet voor het bewust omgaan met het milieu.

De haalbaarheid om daadwerkelijk de interviews af te nemen bij de betreffende bedrijven is vrij zeker door eerder contact met een bedrijf in de zonnepanelen branche. De auteur van dit rapport kan via een afstudeerstage contact leggen met deze bedrijven waarmee er ook meer zekerheid wordt gecreëerd voor de aanvraag van een interview met deze bedrijven. Voor vergroting van de betrouwbaarheid zullen er per bedrijf 1 tot 2 interviews plaatsvinden met verschillende medewerkers.

2.3 Dataverwerking

Voor de beantwoording van de deelvragen en de hoofdvraag dient de data die verzameld is verwerkt te worden. Alle interviews die afgenomen worden zullen worden opgenomen. Deze opnames worden hierna teruggeluisterd en uitgewerkt tot een samenvatting van de interviews. Bij voltooiing van het onderzoek is het mogelijk om de opnames op te vragen bij de auteur van het onderzoek.

2.3.1 Data-analyse

De uiteindelijke werving van informatie is anders verlopen dan hierboven beschreven. De uiteindelijke data bestaat uit twee interviews met een expert op het gebied van zonnepanelen recycling en een expert op het gebied van handel het advies op het gebied van zonnepanelen. Daarnaast is er aanvullende literatuur verkregen van de interviews. De verkregen data zal vervolgens getranscribeerd worden vervolgens zullen de transcripten en de literatuur naast elkaar gelegd worden om dit te segmenteren op antwoorden die mogelijk belangrijk zijn voor de beantwoording van de deelvragen en de hoofdvraag. Nadat het segmenteren voltooid is zal de segmentatie gekwantificeerd worden, dit wil zeggen dat de overeenkomsten tussen de interviews en de literatuur geteld worden om zo antwoorden met de hoogste betrouwbaarheid te kunnen geven.

3. Planning

Voor zowel de voortgang van het vooronderzoek als de voortgang van het eindverslag is er een planning opgesteld. In tabel 2 is te zien dat eind maart begin april een concept van het vooronderzoek ingeleverd zal worden om zo ruim op tijd te zijn voor eventuele aanpassingen die nodig zijn voor het volledige vooronderzoek. Voor het eindverslag is ook een soortgelijke planning opgesteld waarin ook een concept eindverslag ingeleverd zal worden met dezelfde rede als het vooronderzoek. Het concept eindverslag zal in week 20 ingeleverd worden. Op deze manier is er een grotere kans van slagen van het volledige verslag.

Deadlines:

25 april inleveren vooronderzoek

1 juni inleveren eindverslag

Legenda:

Deadlines zijn met een rode arcering aangeduid.

Werken aan betreffende activiteit is groen aangeduid

Tabel 2 Planning

	Concept vooronderzoek	Vooronderzoek	Concept eindverslag	Eindverslag
Week 9 19-2 t/m 25-2				
Week 10 26-2 t/m 4-3				
Week 11 5-3 t/m 11-3				
Week 12 12-3 t/m 18-3				
Week 13 19-3 t/m 25-3				
Week 14 26-3 t/m 1-4	Inleveren concept			
Week 15 2-4 t/m 8-4				
Week 16 9-4 t/m 15-4				
Week 17 16-4 t/m 22-4				
Week 18 23-4 t/m 29-4	Deadline vooronderzoek	25 april		
Week 19 30-4 t/m 6-5				
Week 20 7-5 t/m 13-5			Inleveren concept	
Week 21 14-5 t/m 20-5				
Week 22 21-5 t/m 27-5				
Week 23 28-5 t/m 3-6			Deadline eindverslag	1 juni

4. Resultaten

In dit hoofdstuk zullen naar aanleiding van de afgenomen interviews en de verkregen literatuur de antwoorden op de deelvragen en hoofdvraag nader toegelicht worden. De verkregen informatie voor het beantwoorden van de deelvragen en de hoofdvraag kunnen afwijken van hetgeen dat in het vooronderzoek beschreven staat. Een aantal bedrijven waar een interview afgenomen zou gaan worden wensten hierbij niet mee te werken of hadden te weinig kennis over het betreffende onderwerp. In het onderzoek zal verder duidelijk gemaakt worden welke bedrijven er uiteindelijk zijn geïnterviewd en welke bronnen via de geïnterviewde zijn verkregen.

4.1 Soorten recycling

De, in deze paragraaf, beschreven informatie is afkomstig van het interview met ZRN ([Bijlage 2](#)) en extra bronnen die niet in het vooronderzoek gebruikt zijn.

(UR, 2013) Afval is een probleem binnen de samenleving, het is dus belangrijk dat het afval zoveel mogelijk op een goede manier verwerkt wordt. Voor de goede, milieuvriendelijke verwerking van afval is “De ladder van Lansink” in het leven geroepen. De ladder bestaat uit 6 treden en wordt gelezen van onder (slechtste afvalverwerking) naar boven (beste afvalverwerking) (figuur 6). Het is dus van groot belang dat al het afval gerecycled, hergebruikt of voorkomen wordt. Recycling is ook een goede afvalverwerking maar heeft twee kanten. Upcycling en downcycling, zoals ook weergegeven is in het vooronderzoek. Downcycling is het recyclen van een product met als uitkomst dat het product, dat hieruit gevormd wordt, minderwaardig is aan het oorspronkelijke product. Upcycling is het recyclen van een product met als uitkomst dat het product, dat hieruit gevormd wordt, meer waardig is aan het oorspronkelijke product. Recycling heeft dus een positieve en een negatieve kant vandaar dat recycling ook op punt C is geplaatst in de ladder van Lansink. Punt B in de ladder van Lansink is hergebruik. Onder hergebruik kan bijvoorbeeld het “Cradle to Cradle” Principe gezien worden, zoals ook behandeld in het vooronderzoek.

LADDERVAN LANSINK - DE AFVALHIËRARCHIE



Figuur 6 De ladder van Lansink

4.1.1 Recycling van een zonnepaneel

Een zonnepaneel bevat meerdere materialen na de levensduur, zoals te zien in figuur 4 van het vooronderzoek.

(Schlenker, 2010) Er zijn verschillende soorten recycling:

- Het shredder proces
- Het pilot systeem (2002-2005)
- Het geautomatiseerde systeem
- FRELP (s.r.l., 2013)

Het shredder proces

(Jehee, 2018) Het verwerken van een zonnepaneel doormiddel van de shredder is in Nederland de meest gebruikte vorm van verwerking voor een zonnepaneel. Het proces van de shredder is als volgt:

- De aluminium rand, het koper en de stekkers van het zonnepaneel worden verwijderd.
- Het zonnepaneel wordt gewalst
- Het glas wordt van het zonnepaneel afgeschraapt
- Het overige gaat door de shredder
- Restant na de shredder komt in een chemisch bad om verschillende metalen los te maken van het restant.
- De rest gaat de schroothoop op.

Na het bad blijft er een restant over van het EVA-lijmfolie, silicium en het kleine overige restant glas en metalen. Dit restant komt op de schroothoop omdat alle materialen in het restant vast zitten aan het EVA-lijmfolie en dat is niet recyclebaar.

Het pilot systeem van PVCycle

(Schlenker, 2010) Het pilot systeem van PVCycle, ofwel "Freiberg pilot system", is tussen 2002 en 2005 getest op kleine schaal. Deze testen hebben laten zien dat het silicium ook gescheiden kan worden van de andere materialen. Wat er voor zorgt dat er in toekomst minder silicium gemijnt hoeft te worden. "Het Freiberg pilot system" heeft het volgende proces, het systeem scheidt het proces in 2 stappen: eerst een thermische stap waarbij het plastic wordt verwijderd met het glas en het frame waarna dit gerecycled wordt. Met de tweede stap worden zowel gebroken als hele zonnecellen hersteld. De wafels (bedrading) worden verwijderd van de zonnecellen doormiddel van een ets proces.

Het pilot systeem heeft nog steeds verschillende hoeveelheden energie en rauwe materialen nodig. Het scheidingsproces en de lage doorvoer zorgen voor hoge kosten

Het geautomatiseerde systeem van PVCycle

(Schlenker, 2010) Het verbeterde Freiberg pilot system in combinatie met een oud Belgisch systeem, genaamd Chevetogne, leid tot een betere opbrengst ten opzichte van het pilot systeem aangezien het geheel geautomatiseerd te werk gaat met een hoge doorvoer mogelijkheid.

De energie geoptimaliseerde systemen en de verminderde milieu-uitstoot van het thermische- en het scheidingsproces zal leiden tot een vermindering van uitstoot van een derde. Ook dit proces is nog erg duur voor de kleine schaal aan afval dat heden aanwezig is.

Het FRELP proces

(s.r.l., 2013)FRELP staat voor Full Recovery End of Life Photovoltaic. En is een proces dat is voortgekomen uit onderzoek door SASIL, SSV en PVCycle.

Het FRELP proces is opgebouwd uit vier fases.

Fase1: Het alluminium en de stekkers worden weggenomen van het zonnepanelen. Vervolgens volgt er een thermische en mechanische behandeling om het paneel van het glas te ontdoen.

Fase 2: verbranding van hetgeen dat overblijft om metalen te winnen.

Fase 3: Mechanische behandeling om verschillende metalen te winnen. Thermische oxidatie behandeling voor grondmetalen. Zuur behandeling om geoxideerde metalen op te lossen. Filtreren.

Fase 4: electrolyse om koper en zilver te winnen uit het paneel. Vervolgens neutraliseren van het zuur uit fase 3 met een toevoeging van calcium nitraat kan dit materiaal gebruikt worden in de landbouw.

In [bijlage 4](#) en [bijlage 6](#) is het proces visueel weergegeven.

4.2 Het vervangingsmoment van een zonnepaneel

(Jehee, 2018) Het vervangingsmoment van een zonnepaneel wordt onderverdeeld in drie soorten schade:

- Incident schade
- Garantie schade
- Transport schade

Het grootste aandeel van de zonnepanelen dat aan vervanging toe is, komt door incident schade. Stromschade of installatiefouten worden gezien als Incident schade. In Juni 2016 was er bijvoorbeeld een grote storm in Brabant met hagelstenen van 5 centimeter of groter. Dit heeft ervoor gezorgd dat veel zonnepanelen, ramen en dakpannen zijn gesneuveld. (Zerrouk, 2016)

Een andere factor is dat zonnepanelen aan vervanging toe zijn door garantieschade. Iedere fabrikant verkoopt haar panelen met een opbrengstgarantie. Een opbrengstgarantie is een garantie die garandeert dat zonnepanelen bijvoorbeeld na 25 jaar nog 80% aan stroom opbrengen. Wanneer de zonnepanelen onder deze 80% opwekken binnen 25 jaar, is dit garantieschade. (redactie, Opbrengstgarantie zonnepanelen helpt installateurs bij verkoop, 2015)

De laatste soort schade is transport schade. Transport schade is, wat de naam al zegt, schade die het zonnepaneel oploopt tijdens het transport.

(Jehee, 2018) (Wijsman, 2018) Naast de verschillende soorten schade is er ook een economisch vervangingsmoment. Hierbij is de techniek van de zonnepanelen nog in orde maar door bestaande subsidies in Europa kunnen minder renderende zonnepanelen vernieuwd worden. Dit is renderend door de hogere opbrengst, van de nieuwe zonnepanelen, waardoor er meer subsidie verkregen kan worden. De subsidie wordt namelijk uitbetaald aan de hand van de opbrengst van de zonnepaneleninstallatie.

Een ander vervangingsmoment kan komen door het vervangingsmoment van het dak waar de zonnepanelen op liggen. Als het dak vervangen dient te worden moeten de zonnepanelen verwijderd worden. Het verwijderen en opnieuw installeren is niet bevorderlijk voor een zonnepaneel en dit kan leiden tot verminderde prestaties of zelfs kapotte zonnepanelen.

4.3 Recyclebare materialen van een zonnepaneel

(Schlenker, 2010) Zoals in figuur 4 uit het vooronderzoek weergegeven blijkt dat 74% van een zonnepaneel glas is, 10% aluminium. De metalen zink, lood, koper en zilver vormen ongeveer 1%. Ongeveer 6,5% polymeren in de vorm van thermoplasten en 3% silicium. Uit een pilot van PVcycle met een oud Belgisch systeem blijkt dat bijna 96% van een zonnepaneel gerecycled kan worden. Hieronder in tabel 3 zijn de opbrengsten weergegeven.

Tabel 3 opbrengst recycling proces (Schlenker, 2010)

Process parameter	Pilot system	Automated system	
Material input requirements	unbroken PV modules	broken and unbroken modules	
Material separation	manual separation	automatic separation	
Process applicability	crystalline modules	all module types	
Capacity	200 t p.a.	20,000 t p.a.	
Results			
	"Chevetogne" generator yield [%]	Yield [%]	Purity [%]
Glass	96	94.3*	99.99975
Si cells and broken cells	84.6	72.8*	41% > 99.995 59% > 99.9999
Films	-	Energy recovery 100%	
Copper	77.78	100	100
Frames	100	100	100
Connection sockets		electronic scrap 100%	
Recycling rate	84.57	95.7**	
* The heavy prior damage of modules (breakage of glass and cells) decreases the yield in comparison to the "Chevetogne" generator			
** Poor mix fraction 4.3% (broken glass and broken cells)			

T.p.a. = Ton per acre (Ton per are)

Uit de opbrengsten blijkt, dat de opbrengst van het geautomatiseerde systeem 95,7% van het gehele zonnepaneel kan recyclen. Ook wordt weergegeven dat de overige 4,3% een mengsel is van gebroken glas en cellen. Als het mengsel van 4,3% wordt beredeneerd vanuit het interview met ZRN ([bijlage 2](#)) (Jehee, 2018) komt dit doordat het gebroken glas en cellen vastzitten aan de lijm die zich tussen de lagen bevindt. De lijm is namelijk niet recyclebaar. (Wijsman, 2018)

4.3.1 Recycling per materiaal

Een zonnepaneel bestaat uit meerdere materialen in deze sub paragraaf wordt weergegeven hoe de hoofdbestanddelen van een zonnepaneel worden hergebruikt. Een zonnepaneel heeft de volgende hoofdbestanddelen (Schlenker, 2010):

- Glas
- Verschillende metalen
 - o Koper
 - o Zilver
 - o Aluminium
- Silicium

In paragraaf 4.2 zijn de verschillende recycling processen uitgewerkt. Voor het beantwoorden van deze deelvraag zal uitgegaan worden van het FRELP-proces en het automatische proces van PVCycle.

Glas

In beide processen wordt het glas verwijderd doormiddel van een thermisch proces. Hierbij smelt het glas en kan dit hergebruikt worden. (Jehee, 2018) (s.r.l., 2013) Een groot nadeel is dat het glas van matige kwaliteit wordt waardoor de recycling van dit glas onder de term “downcycling” valt. Het gerecyclede glas brengt op financieel gebied wel wat op voor het proces.

Een zonnepaneel (20 kilogram) bestaat voor 74% uit glas (14,8 kilogram).

Aluminium

Het aluminium frame wordt, voor het recycling proces, weggenomen van het paneel en apart gelegd voor recycling. (s.r.l., 2013) Het aluminium wordt ook, net als glas, gesmolten en hergebruikt. Ook aluminium zal na recycling een minderwaardig product worden en valt dus ook onder “downcycling”. Het gerecyclede aluminium brengt op financieel gebied wel wat op voor het proces.

Een zonnepaneel (20 kilogram) bestaat voor 10% uit aluminium (1 kilogram). Aluminium heeft een waarde van €0,50 per kilogram, bij verkoop. (htt)

Silicium, zilver en koper

Silicium wordt bij beide recyclingprocessen in een chemisch bad gedaan waardoor alle metalen (zilver en koper), die zich nog aan het silicium bevinden, losweken. Hierna is er een elektrolyse proces om het zilver en koper te scheiden van het silicium (s.r.l., 2013). Hierdoor ontstaat puur silicium dat gesmolten kan worden in staven. Deze staven kunnen vervolgens gebruikt worden voor polykristallijne zonnecellen. Of het wordt een ander soort product. Het silicium neemt in kwaliteit niet af maar het wordt ook niet minder- of meerwaardig.

Een zonnepaneel (20 kilogram) bestaat voor 1% uit verschillende metalen (0.2 kilogram) en voor 3% uit silicium (0.6 kilogram)

De gemiddelde prijs per kilogram, bij verkoop, voor de verschillende metalen is €1,25 per kilogram. (htt)

Tabel 4 inhoud en prijzen zonnepaneel

	Percentage in zonnepaneel (%)	Kilogram in zonnepaneel (kg)	Prijs per kilogram (€)
Glas	74	14,8	Niet bekend
Aluminium	10	1	0,50
Silicium	3	0,6	Niet bekend
Verschillende metalen	1	0,2	1,25

Het restant dat overblijft na recycling dient gestort te worden. Het storten neemt de volgende kosten met zich mee, 19,50 per kubieke meter afval (meerlanden, sd). Uitgaande van 4% te storten afval na recycling komt neer op 0,8 kilogram per zonnepaneel. Uitgaande van een soortelijk gewicht van 1000 kg/m³. Komt dit neer op 1,6 eurocent per zonnepaneel ($1000\text{kg}/0,8\text{kg} = 1250$. $19,50/1250 = 0.0156$ euro). De kosten voor het storten zijn gebaseerd op particulier gebruik. Alle kosten die te maken hebben met de verwijdering, transport en het recyclingproces zijn niet meegenomen doordat deze kosten niet worden vrijgegeven door de bedrijven die deze diensten uitvoeren. Het gehele FRELP- proces ([Bijlage 4](#)) en het gehele PVCycle proces ([bijlage 5](#)) zijn terug te vinden in de bijlagen.

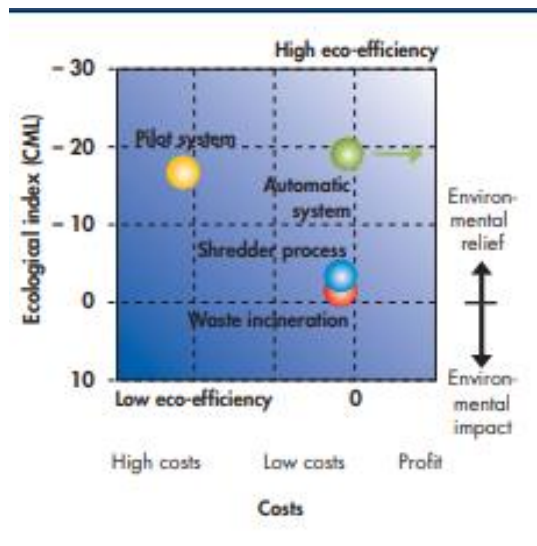
4.4 Kosten voor het recyclen van een zonnepaneel

De verschillende soorten recycling processen kosten geld. Maar na de kosten kan er ook geld verdiend worden door bijvoorbeeld de verkoop of het hergebruik van rauw materiaal. Er zijn een aantal kosten waar rekening mee gehouden dient te worden. (Jehee, 2018) (s.r.l., 2013) Het recyclingbedrijf van zowel FRELP als dat van ZRN bevindt zich in Duitsland. Dit zorgt voor kosten voor de inzameling van de zonnepanelen en vervolgens het transport naar het recyclingbedrijf. Ook zijn bepaalde soorten recycling economisch niet haalbaar, bijvoorbeeld het recyclen van silicium is een proces dat veel kosten met zich meebrengt (Jehee, 2018). De hoogte van de kosten die genoemd worden zijn niet bekend gemaakt door de bedrijven.

Een andere reden voor de hoge kosten van de recycling hebben te maken met de hoeveelheid afgeschreven zonnepanelen. Hoe minder afval hoe minder nieuwe producten er gecreëerd kunnen worden. In 2008 is er 3800 ton zonnepanelen afval ingezameld in Europa volgens (Schlenker, 2010). Eind 2015 is er 8 miljoen ton zonnepanelen geïnstalleerd in de EU, volgens (s.r.l., 2013). De verwachting is dat in 2030 130.000 ton aan zonnepanelen afval is (Schlenker, 2010) waardoor de recycling ook de mogelijkheid zal krijgen om winst te maken in plaats van alleen maar kosten.

Om kosten te verminderen zijn er mogelijkheden door bijvoorbeeld in te spelen op de vraag naar rauw materiaal. Als rauw materiaal uit een product gehaald wordt en hergebruikt of verkocht kan worden dan vermindert dit de kosten. "Recycling vermindert de productie van primaire producten en is dus milieu- en kosten efficiënt" (Schlenker, 2010). De kostenefficiëntie van recycling hangt ook af van het soort recycling, is het upcycling dan kan hiermee een meerwaardig product verkocht worden. Is het downcycling dan zal dit meer kosten met zich meebrengen.

In het figuur hieronder zijn de verschillende soorten recycling weergegeven. Het shredder proces, het pilot systeem en het geautomatiseerde systeem. Hierbij komt op het gebied van kosten en milieu, het geautomatiseerde systeem het beste uit de test en is bij dit proces zelfs de mogelijkheid nog aanwezig om te verdienen op het recycling proces. (Schlenker, 2010)



Figuur 7 vergelijking recycling processen (Schlenker, 2010)

Tabel 5 inhoud en prijzen zonnepaneel

	Percentage in zonnepaneel (%)	Kilogram in zonnepaneel (kg)	Prijs per kilogram (€)
Glas	74	14,8	Niet bekend
Aluminium	10	1	0,50
Silicium	3	0,6	Niet bekend
Verschillende metalen	1	0,2	1,25

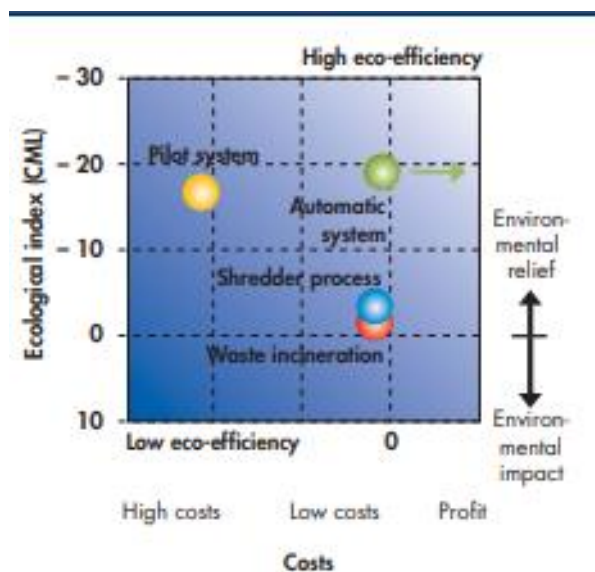
Het restant dat overblijft na recycling dient gestort te worden. Het storten neemt de volgende kosten met zich mee, 19,50 per kubieke meter afval (meerlanden, sd). Uitgaande van 4% te storten afval na recycling komt neer op 0,8 kilogram per zonnepaneel. Uitgaande van een soortelijk gewicht van 1000 kg/m³. Komt dit neer op 1,6 eurocent per zonnepaneel ($1000\text{kg}/0,8\text{kg} = 1250$. $19,50/1250 = 0.0156$ euro). De kosten voor het storten zijn gebaseerd op particulier gebruik. Alle kosten die te maken hebben met de verwijdering, transport en het recyclingproces zijn niet meegenomen doordat deze kosten niet worden vrijgegeven door de bedrijven die deze diensten uitvoeren.

4.5 Milieueffecten voor het recyclen van een zonnepaneel

Niet alleen de productie van zonnepanelen zorgt voor een uitstoot maar ook de recycling. Het is lastig om een vast recycleproces te creëren om de milieueffecten te minimaliseren. Fabrikanten kiezen namelijk zelf hoe de opbouw is van het zonnepaneel (Jehee, 2018) (Schlenker, 2010). Hierdoor kan het recycleproces niet hetzelfde blijven en heeft ieder paneel van verschillende fabrikanten een andere behandeling nodig waarbij de milieueffecten bij het paneel van de ene fabrikant ernstiger is dan het paneel van de andere fabrikant. Als alle zonnepanelen hetzelfde zouden zijn dan kan het recycleproces hierop aangepast worden en ervoor zorgen dat de milieueffecten zo minimaal mogelijk zijn. Als het technologisch mogelijk is om alle lagen te scheiden dan moet er samengewerkt worden tussen de fabrikanten en de recyclebedrijven om zo zowel de kosten als de milieueffecten te minimaliseren.

Ecologisch efficiënte recycling verschilt ernstig door verschillende soorten recycling zoals eerder in het onderzoek genoemd.

Wel is er een recycleproces dat het best uitkomt op het gebied van het milieu en kosten. Dit is het geautomatiseerde systeem, zoals hieronder in figuur 8 te zien. In het figuur is te zien dat het geautomatiseerde systeem een milieubeschermende factor heeft in plaats van een milieu impact. Ook heeft het systeem een hoge ecologische efficiëntie en is er zelfs de mogelijkheid om winst te maken doormiddel van de creatie van rauw materiaal, dit is weergegeven in de figuur doormiddel van een pijl naast de groene bol van het geautomatiseerde systeem. Rauw materiaal hoeft namelijk ook niet meer gemijnd en gefabriceerd te worden als het materiaal uit oude producten gehaald kan worden.



...Figuur 8 vergelijking recyclingprocessen (Schlenker, 2010)

4.6 100% recycling van een zonnepaneel

Recycling voor 100% is een breed begrip. Zoals in paragraaf 4.1 beschreven, zijn er verschillende soorten recycling mogelijk. Het ene soort recycling heeft lage kosten en hoge milieueffecten en het andere soort recycling is het tegenovergestelde. Recycling kan voor een meerwaardig of minderwaardig product zorgen, up of downcycling.

Een zonnepaneel kan voor 96% gerecycled worden door de FRELPMethode en het geautomatiseerde systeem van PVCycle, wel brengen de betreffende processen veel kosten met zich mee bij een lage hoeveelheid afval. (Schlenker, 2010) (s.r.l., 2013)

De 96% recycling van een zonnepaneel zorgt voor een aantal nieuwe producten. Zo wordt het glas van het zonnepaneel omgezet tot nieuw glas, van matige kwaliteit. Het aluminium kan ook gerecycled worden maar ook het aluminium wordt een matige kwaliteit product. Dan blijven er nog drie hoofdbestanddelen van het zonnepaneel over. Silicium, koper en zilver. Deze drie bestanddelen kunnen omgezet worden in rauw materiaal. Dat wil zeggen dat de materialen opnieuw gebruikt kunnen worden als voor de recycling. Dit is een vorm van recycling dat tussen up- en downcycling in valt. De drie materialen worden niet minderwaardig maar ook niet meerwaardig.

De betreffende recycleprocessen zijn weergegeven in [bijlage 5](#) en [bijlage 6](#).

5. Discussie

Doelstelling van recycling van zonnepanelen is om te komen tot het hergebruik van de materialen die zich het zonnepaneel bevinden. Hiervoor zijn tot heden 4 processen ontwikkeld, namelijk

- Het shredderproces
 - o Aluminium, koper van het zonnepaneel verwijderen
 - o Walsen
 - o Glasschrapen
 - o Shredder
 - o Restant komt in chemisch bad
 - o Restant gaat naar de schroothoop
- Het pilotsysteem
 - o Plastic en glas verwijderen doormiddel van thermisch proces.
 - o Herstel van gebroken en hele zonnecellen doormiddel van het etsproces
- Het geautomatiseerde systeem
 - o Is gelijk aan het pilotsysteem echter geautomatiseerd en met hogere opbrengst.
- Het FRELP-systeem
 - o Bestaat uit vier fases
 1. Verwijdering glas doormiddel van thermische en mechanische behandeling.
 2. Verbranding voor winning van metalen.
 3. Mechanische behandeling voor winning van verschillende metalen.
 4. Elektrolyse proces voor winning koper en zilver.

Voordat een van de recyclingprocessen en werking treedt is het belangrijk om te weten wat het vervangingsmoment van een zonnepaneel is. Het vervangingsmoment van een zonnepaneel wordt onderverdeelt in drie soorten schade:

- Incident schade
- Garantie schade
- Transport schade

De recycling van een zonnepaneel gebeurt per materiaal. Een zonnepaneel heeft de volgende hoofdbestanddelen (Schlenker, 2010) en worden op de volgende manieren gerecycled:

- Glas
 - o Recycling door thermisch proces. Glas wordt van matige kwaliteit
- Verschillende metalen
 - o Koper
 1. Recycling door elektrolyse na chemisch bad. Rauw koper als resultaat.
 - o Zilver
 1. Recycling door elektrolyse na chemisch bad. Rauw zilver als resultaat.
 - o Aluminium
 1. Recycling door thermisch proces. Kwaliteit neemt hierdoor af.
- Silicium
 - o Recycling door elektrolyse na chemisch bad. Puur silicium als resultaat.

Voor de vermindering van kosten van het recyclingproces is het belangrijk om rauw materiaal te winnen. Rauw materiaal kan namelijk hergebruikt of verkocht worden. Rauw materiaal helpt ook bij het verminderen van de milieueffecten van recycling en productie. Het rauwe materiaal kan namelijk hergebruikt worden voor een nieuw zonnepaneel waardoor er geen nieuw materiaal gemijnd hoeft te worden.

Het uitwerken van het onderzoek is niet vanzelf gegaan. Het onderwerp doet bij men veel vragen op waardoor het mijn interesse ook wekte. Na het vooronderzoek kwam het onderzoek. Voor het onderzoek was het de bedoeling om 4 bedrijven te vinden die mij zouden kunnen helpen met de werving van informatie. Uiteindelijk, na benadering van 10 recyclingbedrijven, was er een bedrijf in staat om mij een interview te laten afnemen. Dit was bij ZRN, zonnepanelen recycling Nederland. Dit

bedrijf heeft mij van goede bruikbare informatie kunnen voorzien. De andere negen bedrijven waren allemaal niet in staat om een interview af te geven. Vrijwel alle benaderde bedrijven kwamen uit de recyclingbranche. Toch waren de bedrijven bang dat ze geen antwoorden zouden kunnen geven op de vragen die ik geformuleerd heb in [bijlage 1](#).

Uiteindelijk had ZRN mij een onderzoek toegestuurd, zoals beloofd, over het FRELP-systeem. Dit systeem heeft mij een goed beeld gegeven in wat de mogelijkheden zijn met zonnepanelen aan het einde van de levensduur. Met alleen een interview en een onderzoek zou ik het niet redden om een onderzoek te schrijven. Hiervoor ben ik verder gaan zoeken in verschillende artikelen. Na enige tijd vond ik een rapport met daarin andere recyclingprocessen, Het Freiberg pilot systeem en het geautomatiseerde systeem. Dit rapport heeft ervoor gezorgd dat ik een vergelijking kon maken tussen verschillende recyclingprocessen. Toch wilde ik nog wat extra informatie vanuit de branche. Hiervoor heb ik mijn afstudeerstagebegeleider S. Wijsman gevraagd om een interview af te nemen. Hiermee had ik voldoende informatie om te zorgen dat de informatie betrouwbaar is.

6. Conclusie en aanbevelingen

Men kiest steeds vaker voor zonnepanelen om zelf groene stroom op te wekken. Eind 2015 is er 18 miljoen ton zonnepanelen geïnstalleerd in heel Europa. (s.r.l., 2013) Deze 18 miljoen ton plus hetgeen wat al geïnstalleerd was en na 2015 nog geïnstalleerd is zal een keer aan het einde van de levensduur komen. Dit betekent dat alle zonnepanelen gerecycled dienen te worden. Maar op welke manier(en) kunnen zonnepanelen gerecycled worden en hoe zit het met de kosten en de milieueffecten?

Voor het beantwoorden van de hoofdvraag, in hoeverre is 100% recycling mogelijk voor een zonnepaneel, moet er eerst duidelijkheid komen voor de verschillende factoren binnen het begrip recycling. Dit is gedaan doormiddel van deelvragen.

1. Welke soorten recycling zijn er?
2. Welke factoren bepalen het vervangingsmoment van een zonnepaneel?
3. Welke materialen zijn 100% recyclebaar van een zonnepaneel?
4. Wat zijn de kosten voor het recyclen van een zonnepaneel?
5. Welke milieueffecten heeft het recyclen van een zonnepaneel?

Conclusie deelvraag 1

Recycling is opgedeeld in meerdere lagen, van slechtste verwerking van afval naar goede verwerking van afval. Deze verdeling is weergegeven in "de ladder van Lansink" (figuur 6). Als er over recycling gesproken wordt kan dit ook opgedeeld worden in twee soorten eindproducten na recycling. Een gedowncycled of geupcycled product. Downcycling is het recyclen van een product met als uitkomst dat het product, dat hieruit gevormd wordt, minderwaardig is aan het oorspronkelijke product. Upcycling is het recyclen van een product met als uitkomst dat het product, dat hieruit gevormd wordt, meer waardig is aan het oorspronkelijke product. Naast de verschillende soorten recycling zijn er ook verschillende recyclingprocessen voor zonnepanelen. De verschillende processen zijn nodig om erachter te komen welk proces het beste is voor de recycling van zonnepanelen op het gebied van, nieuw eindproduct, milieueffecten, kosten etc. Het betreft de volgende processen:

- Het shredderproces
- Het pilot systeem
- Het geautomatiseerde systeem
- FRELP-proces

Conclusie deelvraag 2

Voordat een zonnepaneel gerecycled kan worden is het belangrijk om te weten wanneer een zonnepaneel aan vervanging toe is. Dit vervangingsmoment bestaat naast het einde van de levensduur nog uit drie soorten schaden namelijk;

- Incident schade
- Garantie schade
- Transport schade

Het grootste aandeel van de zonnepanelen dat aan vervanging toe is, komt door incidentschade.

Naast de soorten schaden is er ook een economisch vervangingsmoment. Hierbij is de techniek van de zonnepanelen nog in orde maar door bestaande subsidies in Europa kunnen minder renderende zonnepanelen vernieuwd worden. Dit is renderend door de hogere opbrengst, van de nieuwe zonnepanelen, waardoor er meer subsidie verkregen kan worden.

Conclusie deelvraag 3

Een zonnepaneel bestaat uit meerdere materialen dit zijn: glas, koper, zilver, aluminium en silicium. Dit zijn de hoofdbestanddelen van een zonnepaneel ieder bestanddeel dient gerecycled te worden om eventueel 100% recycling te kunnen waarborgen. Glas en aluminium kunnen gerecycled worden maar in een vorm van downcycling. Silicium, koper en zilver kunnen doormiddel van een chemisch

bad en elektrolyse teruggewonnen worden. Na het elektrolyse proces ontstaat er rauw materiaal. Dit materiaal kan dus volledig hergebruikt worden.

Conclusie deelvraag 4

De kosten voor een recyclingproces, zoals FRELP of het geautomatiseerde systeem, zijn hoog. Deze kosten worden lager zodra het aanbod van afval (zonnepanelen aan het eind van hun levensduur) hoger wordt. Door een groter aanbod van afval kunnen er meer materialen uit de zonnepanelen hergebruikt of verkocht worden waardoor er een opbrengst wordt gegenereerd die de kosten voor een groot deel kunnen wegstrepen of zelfs geheel wegnemen. "Recycling vermindert de productie van primaire producten en is dus milieu- en kosten efficiënt" (Schlenker, 2010). Uit figuur 7 blijkt dan ook dat het geautomatiseerde systeem op het gebied van kosten en milieu het beste uit de test komt. In de toekomst is zelfs de mogelijkheid, na verbeteringen, aanwezig om winst te genereren. Globaal is er een kostentabel gegenereerd om een beeld te krijgen van de kosten.

Tabel 6 inhoud en prijzen zonnepaneel

	Percentage in zonnepaneel (%)	Kilogram in zonnepaneel (kg)	Prijs per kilogram (€)
Glas	74	14,8	Niet bekend
Aluminium	10	1	0,50
Silicium	3	0,6	Niet bekend
Verschillende metalen	1	0,2	1,25

Het restant dat overblijft na recycling dient gestort te worden. Het storten neemt de volgende kosten met zich mee, 19,50 per kubieke meter afval (meerlanden, sd). Uitgaande van 4% te storten afval na recycling komt neer op 0,8 kilogram per zonnepaneel. Uitgaande van een soortelijk gewicht van 1000 kg/m³. Komt dit neer op 1,6 eurocent per zonnepaneel ($1000\text{kg}/0,8\text{kg} = 1250$. $19,50/1250 = 0.0156$ euro). De kosten voor het storten zijn gebaseerd op particulier gebruik. Alle kosten die te maken hebben met de verwijdering, transport en het recyclingproces zijn niet meegenomen doordat deze kosten niet worden vrijgegeven door de bedrijven die deze diensten uitvoeren.

Conclusie deelvraag 5

Niet alleen de productie van een zonnepaneel zorgt voor uitstoot, een recyclingproces oefent ook weerstand op het milieu uit. Doordat fabrikanten zelf hun materialen en opbouw voor een zonnepaneel bepalen is het lastig tot niet mogelijk om een recycleproces zo te creëren dat het milieueffect minimaal is. Wel is het geautomatiseerde systeem op het gebied van kosten en milieu het best. Het systeem zorgt namelijk niet voor een milieu impact maar voor een ruime milieubeschermdende factor. Het geautomatiseerde systeem heeft een hoge ecologische efficiëntie en is er zelfs de mogelijkheid om winst te maken doormiddel van de creatie van rauw materiaal. Rauw materiaal hoeft namelijk ook niet meer gemijnd en gefabriceerd te worden als het materiaal uit oude producten gehaald kan worden.

Conclusie en aanbevelingen hoofdvraag

Voor een 100% recycling is meer nodig dan een proces dat hiervoor kan zorgen. Het beste is namelijk dat alle materialen uit de zonnepanelen geupcycled worden hierdoor kan het materiaal nog langer meegaan omdat de kwaliteit beter wordt. Op dit moment is dat nog niet mogelijk Een aanbeveling op dit gebied is dat fabrikanten van zonnepanelen en recyclebedrijven samen moeten gaan werken om zo kennis te delen en afspraken te maken over de materialen die in een zonnepaneel gemonteerd worden. Op deze manier kom je snel bij de mogelijkheid om de zonnepanelen voor een volledige 100% te recyclen.

Heden is het mogelijk om een zonnepaneel voor 96% te recyclen. Een andere aanbeveling is om te innoveren over het restproduct, de overige 4%, dat overblijft na de recycling van de zonnepanelen. Misschien is er een manier om dit product her te gebruiken in andere sectoren.

Bijlage 1

Semigestructureerd interview, PVcycle, ZRN, Milieu centraal en TNO.

- Welke factoren bepalen het vervangingsmoment van een zonnepaneel?
- Welke soorten recycling worden toegepast?
- Waaronder waardeert PVcycle, ZRN, Milieu centraal of TNO het recycling proces?
 - o Upcycling (meerwaardig product creëren)
 - o Downcycling (minderwaardig product creëren)
- Hoe worden de volgende stoffen gerecycled en waar worden deze vervolgens voor gebruikt?
Zijn al deze stoffen 100% recyclebaar?
 - o Silicium
 - o Borium
 - o Fosfor
 - o Aluminium
 - o Glas
 - o EVA-lijmfolie
- 96% van een zonnepaneel kan nu gerecycled worden. Welke 4% kan niet gerecycled worden?
- Hoe hoog zijn de kosten voor de recycling van een zonnepaneel?

Bijlage 2

(Jehee, 2018)

Interview ZRN

- **Welke factoren bepalen het vervangingsmoment van een zonnepaneel?**
 - o Nog bijna geen vervanging.
 - o Transport schade garantie schade en incident schade
 - o Incident schade is stormschade of installatiefouten of hagelbui in Brabant 2016
 - o Europa → economisch vervangingsmoment techniek is prima maar door de bestaande vergunningen kunnen oude minder opbrengende panelen vervangen worden voor nieuwe panelen. Dit is renderend door de hogere opbrengst van de nieuwe panelen waardoor meer subsidie.
 - o Vervangingsmoment kan door het dak komen. Halverwege de levensduur kan het dak aan vervanging toe zijn waardoor bij sommige ook meteen de panelen vernieuwd worden. Daarom is het beste om de panelen op een nieuw dak neer te leggen.
 - o Over een jaar of 6, 7 zal je waarschijnlijk de oudere panelen terugkrijgen.
 - o Verwerking is gereguleerd en niet ieder bedrijf mag niet zomaar elektrische apparatuur innemen. Illegale verwerking is goedkoper dan legale verwerking.
 - o Koper, aluminium en glas brengt wat op. De rest niet op dit moment
 - o Glas wordt matige kwaliteit
 - o Alles wat overblijft wordt in een chemisch bad gedaan om zo de rest van de metalen eruit te filteren.
- **De lijm is niet recyclebaar klopt dat?**
 - o Lijm is niet recyclebaar omdat de panelen weersbestendig dienen te zijn. Verwachting is dat de fabrikanten zich daar op dit moment niet op richten om een recyclebare vorm van lijm te gebruiken
 - o China india etc. bepalen wat er gemaakt wordt omdat zij de goedkoopste prijs per kilowatt willen.
 - o
- **Welke soorten recycling worden toegepast?**
 - o Schredder
 - o Walsen
 - o Glasschrapen
 - o Koper en aluminium wordt voor het recycle proces verwijderd voor recycling.
 - o Een chemisch bad voor alles wat over blijft.
 - o "Vrelp" kan 100% recyclen maar dit kan nog niet gebruikt worden door meer kosten dan opbrengsten.
 - o Te weinig afval.
 - o Bij grote hoeveelheden afval wordt Vrelp pas interessant
 - o Pilot is geweest door hogeschool arnhem nijmegen
- **Waaronder waardeert PVcycle, ZRN, Milieu centraal of TNO het recycling proces?**
 - o Upcycling (meerwaardig product creëren)
 - o Downcycling (minderwaardig product creëren)
 - o Zonnepanelen is geen circulair product.
- **Hoe worden de volgende stoffen gerecycled en waar worden deze vervolgens voor gebruikt? Zijn al deze stoffen 100% recyclebaar?**
 - o Silicium
 - 1. Nee want dit zit vast aan het EVA lijmfolie
 - o Borium
 - o Fosfor

- Aluminium
- Glas
- EVA-lijmfolie
- **96% van een zonnepaneel kan nu gerecycled worden. Welke 4% kan niet gerecycled worden?**
 - Grootste gewicht is glas en dat is recyclebaar. Door de lijm blijven daar verschillende onderdelen aan vast plakken. Alles wat hieraan na het gehele proces vast blijft zitten is afval.
 - Silicium is economisch gezien niet recyclebaar
 -
- **Hoe hoog zijn de kosten voor de recycling van een zonnepaneel?**
 - Transportkosten zijn te hoog om het proces financieel haalbaar te maken.
 - Er zit een recyclingbedrijf in Duitsland en geen enkele in Nederland. ZRN is er mee bezig om een aansluiting met elkaar te verkrijgen om zo het afval daarheen te brengen. Hierbij komen wederom de transportkosten weer kijken.
 - Kosten varieert maar wordt niet bekend door concurrentie
 - Te weinig afval dus weinig kennis over het onderwerp
 - Recycling dient volgens de weelabex norm voldaan te worden

Er kan gesteld worden dat een zonnepaneel om economische redenen niet 100% recyclebaar is.

Auteur:
Mitchel Mes

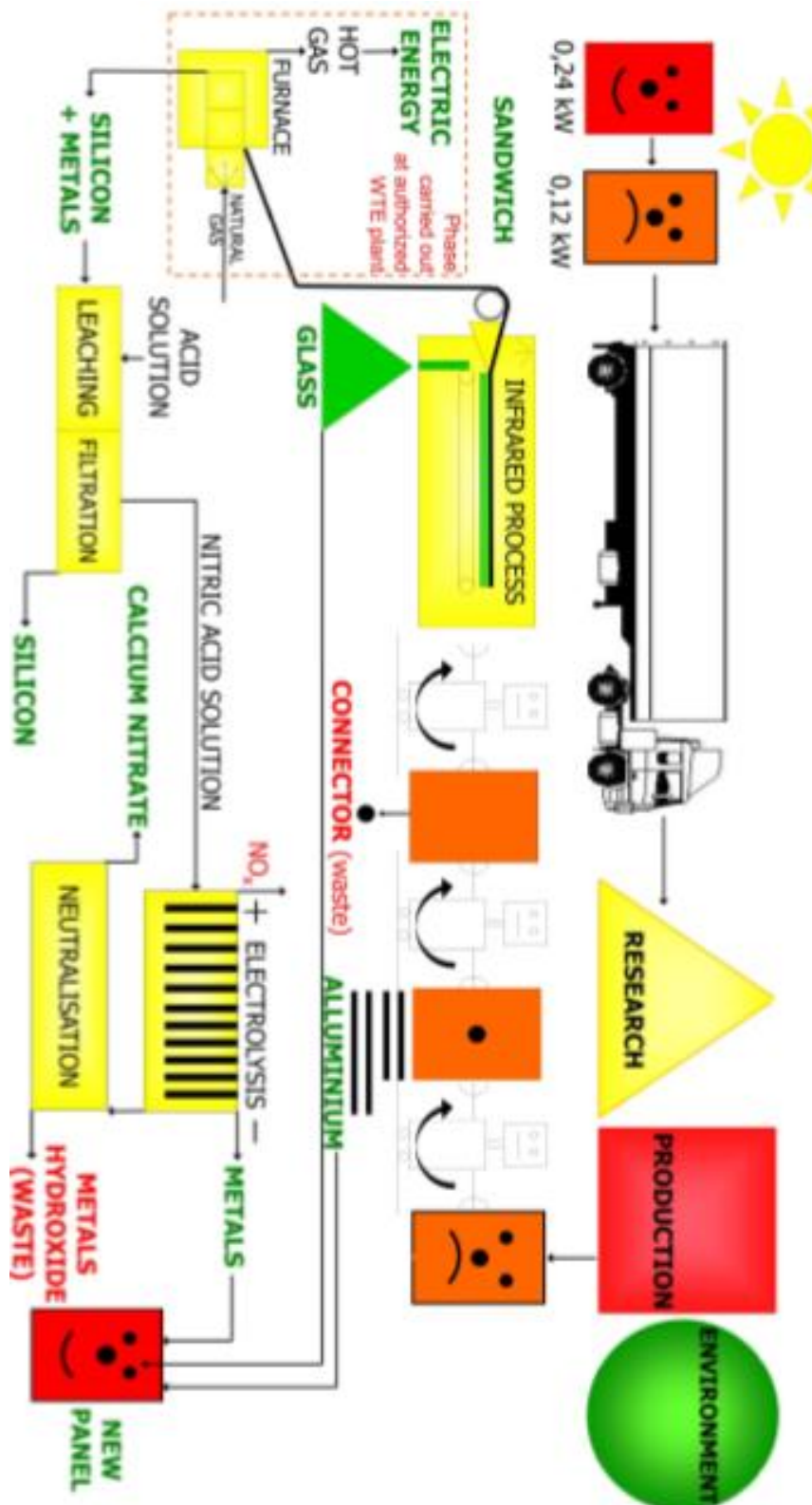
Bijlage 3

Bijlage van de codering van de interviews en artikelen. De bijlage kan opgevraagd worden als volledig document, zodat het beter leesbaar is, bij de auteur.

Word/onderwerp ZNN	Word/onderwerp BNE	Word/onderwerp FRELP	Word/onderwerp Wijsman
mogelijk geen verwangning	waag naar raw materiaal stijgt	eiend 2015 was er 8 miljoen ton gefrassaleerd aan zonnepanelen	vervangning bij defect: Nieuw paneel is meer opbrengst
transportmaade	Recycling maakt economisch nut voor raw materiaal	5 materialen zijn 32% van een zonnepaneel	meer opbrengst panelen gefrassaleerd door #vangaardos waardoor meer stroom nodig is
incidentische	Eerste recycling in dutsland	fase 2: contact zoeken met ander bedrijf voor recycling van de lag	inlevering defecte panelen bij de groothandel
garantieperiode	vanaf 2015 zal het alval sterk stijgen	35% van het glas herstellen	zonnepanelen dienen gerecycleerd te worden. Maar worden nu gedowncycled
economisch vervangingsmoment	recycling zorg voor wering rawe materialen uit alval	proces capaciteit van 1000kg/uur	lim en kit is niet recyclebaar.
koper, aluminium en glas brengt wat op	recycling rate van boven de 95% is mogelijk	chemisch bad voor dat metalen en de silicium scheidt	die panelen defect in 13 jaar tijd
Glas wordt matige kw alleit	door grote waag en groei zonnepanelen, in toekomst meer alval	elektrolyse om koper en zilver te winnen	
lim is niet recyclebaar	recycling vermindert de milieupact		
fabrikanten bepalen de opbouw van de panelen	2008: 3600 ton alval van zonnepanelen		
shredder	verwachting is 2030: 130.000 ton alval van zonnepanelen		
chemisch bad	PV bedrijven hebben getaaldom puur materiaal uit het zonnepaneel te halen		
FFELP Plan 100% recyclen	downcycling door deze PV bedrijven		
te hoge kosten voor recycling	downcycling hangt af van het soort recycling		
te weinig alval	als het technologisch mogelijk was om alle lagen te scheiden dan moet er samengeteelt worden om de kosten te kunnen betalen		
grote hoeveelheden alval is nodig	ecologisch efficiënte recycling verschilt ernstig door verschillende soorten recycling		
zonnepanelen is downcycling	shredders		
zonnepaneels geen circuitair product	Glas, aluminium en koper wordt matige kw alleit		
silicium is niet 100% recyclebaar	Recycling vermindert de productie van primaire producten en is dus milieu en kosten efficiënt		
grootte gewicht is glas en dat is recyclebaar	gebroken zonnecellen worden schoongemaakt wordt puur silicium		
silicium is economisch gezien niet recyclebaar	Puur silicium wordt gesmolten en opnieuw gebruikt voor nieuwe zonnecellen		
transportkosten zijn te hoog	Dit zorg voor een vermindering van het miljoen van silicium		
recyclinggedrijf in dutsland	zonnepanelen van verschillende fabrikanten hebben verschillende opbouw en		
kosten variëren maar wordt niet bekend door concurrent	de recycling processen zijn bedoelt voor upcycling		
Recycling moet via WELABEX naam			
Legenda			
Kosten economisch geteleerd			
recycling van materiaal geteleerd			
alval hoeveelheid geteleerd			
up- of downcycling			
milieu ecologisch geteleerd			

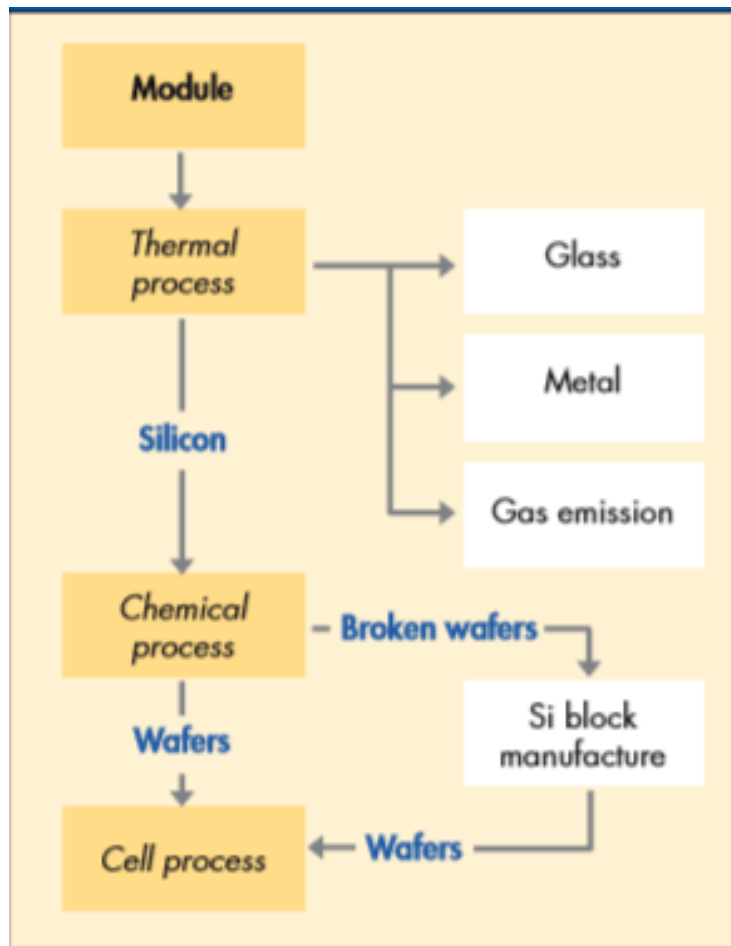
Bijlage 4

FREL P-proces (s.r.l., 2013)



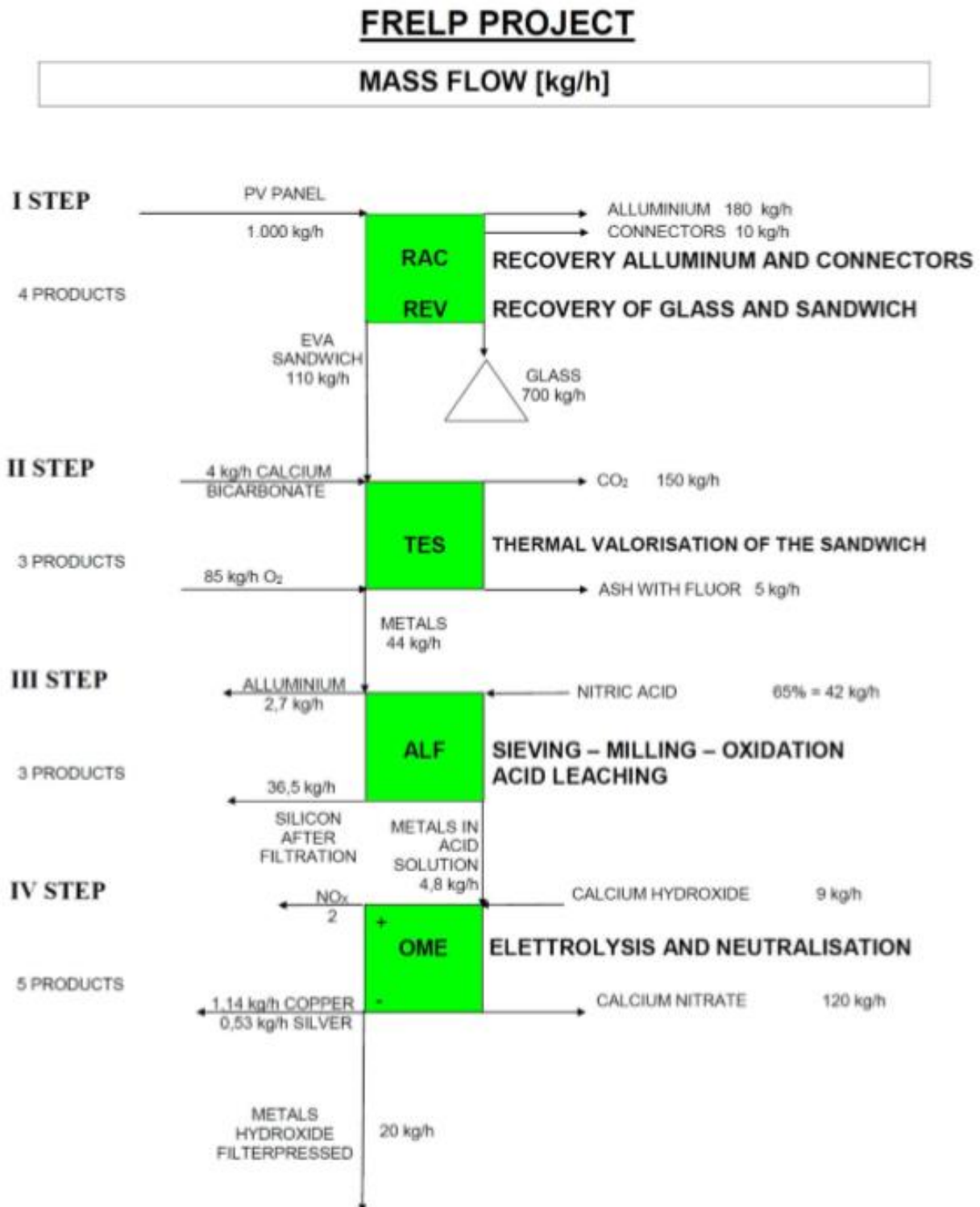
Bijlage 5

PVCycle-proces (Schlenker, 2010)



Bijlage 6

FRELP-proces Mass flow (s.r.l., 2013)



Bijlage 7

(Wijsman, 2018)

Interview Sander Wijsman (Agrarisch handel- en adviesbureau Wijsman)

- Welke factoren bepalen het vervangingsmoment van een zonnepaneel?

De belangrijkste factoren op dit moment voor het vervangen van een zonnepaneel is dat deze defect is en dat deze vervangen wordt voor een paneel met meer opbrengst. De opbrengst van 1 paneel is de afgelopen jaren sterk gestegen. Klanten willen meer opbrengst van hun dak en daardoor worden deze panelen vervangen.

De huidige panelen die nu worden geïnstalleerd zullen dezelfde ondergaan over een aantal jaar. Zeker nu we #vangaslos willen en we steeds meer elektra gaan gebruiken binnen huishoudens en ondernemingen.

- Welke soorten recycling worden toegepast?

De groothandel waar wij onze panelen inkopen is aangesloten bij de stichting Zonne-Recycling Nederland (ZRN). De stichting wil zorgdragen voor een milieuvriendelijke recycling van zonnepanelen en werkt hiermee nauw samen met diverse afvalwerker.

Wij hebben als bedrijf nog maar 2 kapotte panelen gehad en deze hebben wij ingeleverd bij de groothandel. Wat die ermee doet hebben wij ons niet in verdiept en naar gevraagd.

De zonnepanelen vallen onder de AEEA (afgedankte elektrische en elektronische apparatuur) wetgeving.

- Waaronder waardeert PVcycle, ZRN, Milieu centraal of TNO het recycling proces?

- o Upcycling (meerwaardig product creëren)
- o Downcycling (minderwaardig product creëren)

Het goed kunnen recyclen is stap 1, maar de manier van recyclen is stap 2. Persoonlijk zou ik meer voorstander zijn van upcycling. Dan wordt het ook interessant als zonnepanelen eigenaar om wellicht sneller de stap te maken naar nieuwe zonnepanelen met hoger vermogen. Je weet dan dat de 'oude' zonnepanelen een goed nieuw thuis krijgen.

- Hoe worden de volgende stoffen gerecycled en waar worden deze vervolgens voor gebruikt? Zijn al deze stoffen 100% recyclebaar?

- o Silicium
- o Borium
- o Fosfor
- o Aluminium
- o Glas
- o EVA-lijmfolie

De meeste van de materialen zijn circulair oftewel zijn materialen die hergebruikt kunnen worden. Het scheiden van de materialen binnen een zonnepanelen is de grootste uitdaging.

- 96% van een zonnepaneel kan nu gerecycled worden. Welke 4% kan niet gerecycled worden?
Voor zover ik weet kan je de lijmen en katten die gebruikt worden niet recyclen.
- Hoe hoog zijn de kosten voor de recycling van een zonnepaneel?

Bibliografie

- (sd). Opgehaald van <https://metaalhandel-ketting.nl/>
- Bartw. (2007, 02 10). *glas (doorzichtig materiaal)*. Opgehaald van wetenschap infonu: <https://wetenschap.infonu.nl/techniek/2188-glas-doorzichtig-materiaal.html>
- Broek, W. v. (2010). Zonnepanelen: zo werkt het en zo kan het. *Veehouderij*, 15-16.
- Clahsen, A. (2017, oktober 4). *Groei zonnepanelen voor het eerst hoger dan toename bij andere energiebronnen*. Opgehaald van financieel dagblad: <https://fd.nl/economie-politiek/1221178/groei-zonnepanelen-voor-het-eerst-hoger-dan-toename-bij-andere-energiebronnen>
- Custor. (2016, 11 04). *Fosfor het element*. Opgehaald van wetenschap infonu: <https://wetenschap.infonu.nl/scheikunde/116244-fosfor-het-element.html>
- Custor. (2017, 02 06). *Borium het element*. Opgehaald van wetenschap infonu: <https://wetenschap.infonu.nl/scheikunde/118154-borium-het-element.html>
- Custor. (2017, 02 11). *Silicium het element*. Opgehaald van Wetenschap infonu: <https://wetenschap.infonu.nl/scheikunde/117112-silicium-het-element.html>
- cycle, P. (2016, februari 18). *breakthrough in PV module recycling*. Opgehaald van Pv cycle: <http://www.pvcycle.org/press/breakthrough-in-pv-module-recycling/>
- Dieleman, P. (2010). energie halen uit de zon. *landbouw&techniek*, 26-27.
- Dingemanse, K. (2015, september 8). *soorten interviews*. Opgehaald van scribbr: <https://www.scribbr.nl/onderzoeksmethoden/soorten-interviews/>
- Dubbeldam, R. (2012, juni). 215429. Opgehaald van edepot wur: <http://edepot.wur.nl/215429>
- gaslicht. (2017, mei 17). *stroom opwekken met zonnepanelen*. Opgehaald van gaslicht: <https://www.gaslicht.com/energiebesparing/stroom-opwekken-met-zonnepanelen>
- Goor, J. v. (2015, 03 16). *recycling - BNO*. Opgehaald van BNO: <http://www.bno.nl/artikelen/recycling>
- Goor, J. v. (2015, 03 16). *upcycling - BNO*. Opgehaald van BNO: <http://www.bno.nl/artikelen/upcycling>
- Jehee, J. (2018, mei 15). ZRN. (M. Mes, Interviewer)
- Jonker, J. (2015). Nieuwe business modellen. In J. Jonker, *Nieuwe business modellen* (p. 176). Stichting OCF 2.0 en Academic Service.
- Kuiper, j. B. (2011). *EVA (Ethyleen Vinyl Acetaat) - Technotheek*. Opgehaald van Technotheek universiteit Twente: Technotheek universiteit Twente
- maatschappij, D. g. (sd). *PV zonnepanelen recycling en reconditionering*. Opgehaald van de groene energie maatschappij: <http://www.dgem.nl/nl/zonne-energie/recycling-en-reconditionering>
- meerlanden. (sd). *meerlanden*. Opgehaald van meerlanden: <https://www.noordwijkerhout.nl/inwoners/afval/product-details/product/milieustraat/>

- MJSolar (Regisseur). (2012). *Hoe werkt een zonnepaneel?* [Film].
- Nederland, W. (2015). *De WEEE wetgeving in één minuut*. Opgehaald van en.WEEE:
<http://www.en.weee.nl/nl/kennisbank/weee-wetgeving>
- Nijhuis, L. J. (2009, april). *edepot wur*. Opgehaald van praktijkonderzoek 06042009:
<http://edepot.wur.nl/108906>
- prof. dr. Jan Jonker, D. H. (2016, december). *407266*. Opgehaald van edepot wur:
<http://edepot.wur.nl/407266>
- redactie. (2014, februari 14). *Nationale AEEA-regelgeving wordt van kracht*. Opgehaald van PVCycle:
http://www.pvcycle.org/wp-content/uploads/2014/02/Nationale-AEEA-regelgeving-wordt-van-kracht-grote-veranderingen-op-komst-voor-de-fotovoltaïsche-industrie_NLD.pdf
- redactie. (2015, 11 30). *Opbrengstgarantie zonnepanelen helpt installateurs bij verkoop*. Opgehaald van energiebusiness: http://www.energiebusiness.nl/2015/11/30/opbrengstgarantie-zonnepanelen-helpt-installateurs-bij-verkoop/?doing_wp_cron=1527682337.6394989490509033203125
- Roorda, D. N. (2011). oplossingsrichtingen. In D. N. Roorda, *duurzame ontwikkeling* (p. 315). Groningen/Houten: Noordhoff Uitgevers bv.
- RVO. (2012). *Afgedankte elektrische en elektronische apparatuur*. Opgehaald van RVO:
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/tools/wet-en-regelgeving/eu-wetgeving/specifieke-producteisen/elektronische-apparatuur>
- RVO. (2015, februari 2). *elekt(on)ische apparatuur - afval circulair*. Opgehaald van RVO:
[https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/afvalregelgeving/landingspagina/elektr\(on\)ische/](https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/afvalregelgeving/landingspagina/elektr(on)ische/)
- s.r.l., S. (2013). *FRELP - Layman's report*. Italië en België: Sasil, SSV, PVCycle.
- Schiebaan, L. (2015, 5 25). *hoe worden zonnepanelen gemaakt*. Opgehaald van fritts:
<https://fritts.nl/hoe-worden-zonnepanelen-gemaakt/>
- Schlenker. (2010, februari). *recycling photovoltaic modules*. Opgehaald van bine:
http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Englische_Infos/projekt_0210_engl_internetx.pdf
- Scribbr. (sd). *Overzicht van onderzoeksmethoden en dataverzamelmethode*. Opgehaald van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/category/onderzoeksmethoden/>
- Spruijt, J. (2012). *Zonneweide energierijk*. Wageningen: ACRRES - WUR.
- Steff. (2007, 10 18). *aluminium (bauxiet)*. Opgehaald van wetenschap infonu:
<https://wetenschap.infonu.nl/techniek/9786-aluminium-bauxiet.html>
- Stroe-Biezen, S. v. (2014, januari). *345869*. Opgehaald van edepot wur: <http://edepot.wur.nl/345869>
- UR, W. (2013). *Afvalbeleid & uitvoering Wageningen UR*. Wageningen: Wageningen UR.
- WEEELABEX. (sd). *NVMP - WEEELABEX*. Opgehaald van NVMP: <https://www.nvmp.nl/weeelabex/>
- Wijngaard, I. M. (sd). *CIRCULAIRE ECONOMIE & OMGEVING: 'VERDUURZAMING RICHTING GEVEN EN VERSNELLEN'* - TNO. Opgehaald van TNO:

https://www.tno.nl/nl/aandachtsgebieden/circulaire-economie-omgeving/?gclid=CjwKCAjwiPbWBRBtEiwAJakcpFAB74o8jmq2KMvh0AUoUjZlEj_9A2ZFORWb9j6f72NciCFc7hrjqhoCXwcQAvD_BwE

Wijsman, S. (2018, mei 28). interview recycling zonnepanelen. (M. Mes, Interviewer)

Wilt, P. v. (2017, 1 20). *In 2016 300 miljoen zonnepanelen geïnstalleerd*. Opgehaald van Consumentenbond: <https://www.consumentenbond.nl/zonnepanelen/in-2016-300-miljoen-zonnepanelen-geïnstalleerd>

Zerrouk, Y. (2016, juni 23). *Veel schade in zuidoost brabant vanwege hagel en onweer - omroep brabant*. Opgehaald van Omroep Brabant: <http://www.omroepbrabant.nl/?news/251070502/Veel+schade+in+Zuidoost-Brabant+vanwege+hagel+en+onweer.aspx>

zonnepanelen.net. (sd). *mono of poly zonnepanelen*. Opgehaald van zonnepanelen : <https://www.zonnepanelen.net/verschil-mono-en-poly-zonnepanelen/>

Checklist Schriftelijk Rapporteren

Naam: Mitchel Mes
Datum: 27-6-2018

Klas: ..

Titel verslag/rapport: Afbraak van zonnepanelen

Nadat **jij** je verslag/rapport hebt gecontroleerd met behulp van deze checklist, voeg je deze toe als bijlage. Zonder de ingevulde checklist vindt er geen beoordeling plaats. De assessor controleert met deze checklist je rapport/verslag.

De beoordelingscriteria die met een * zijn aangegeven, zijn de zogenaamde '*killing points*'. Indien de assessor meer dan vijf '*killing points*' heeft aangekruist, dien je het rapport/verslag op alle onvoldoende onderdelen te verbeteren. Voor de herbeoordeling moet je ook de oude versie inleveren. In het afstudeerwerkstuk zijn geen '*killing points*' toegestaan! **AANVINKEN WAT NIET IN ORDE IS!**

1. Het taalgebruik:

- ☐ Bevat niet meer dan drie grammaticale, spel- en typefouten per duizend woorden*
Bij meer dan drie fouten per duizend woorden is het rapport/verslag afgekeurd!
- ☐ Heeft een adequate interpunctie*
- ☐ Is afgestemd op de gekozen doelgroep (juiste stijl)*
- ☐ Laat een zakelijke en actieve schrijfstijl zien*
- ☐ Bevat geen persoonlijke voornaamwoorden*

2. Het rapport/verslag:

- ☐ Is ingebonden (hard copy)*
- ☐ Is vrij van plagiaat* (zie onderwijsexamenregeling)

3. De omslag:

- ☐ Bevat de titel
- ☐ Vermeldt de auteur(s)

4. De titelpagina/het titelblad:

- ☐ Heeft een specifieke titel*
- ☐ Vermeldt de auteur(s)*
- ☐ Vermeldt de plaats en de datum*
- ☐ Vermeldt de opdrachtgever(s)*

5. Het voorwoord:

- ☐ Bevat de persoonlijke aanleiding tot het schrijven van het rapport/verslag
- ☐ Bevat persoonlijke bedankjes (persoonlijke voornaamwoorden toegestaan)

6. De inhoudsopgave:

- ☐ Vermeldt alle genummerde onderdelen van het rapport/verslag*
- ☐ Vermeldt de samenvatting en de bijlage(n)
- ☐ Is overzichtelijk
- ☐ Heeft een correcte paginaverwijzing

7. De samenvatting:

- ☐ Is een verkorte versie van het gehele rapport/verslag
- ☐ Bevat conclusies
- ☐ Bevat geen persoonlijke mening
- ☐ Is gestructureerd
- ☐ Is zakelijk geschreven
- ☐ Staat direct na de inhoudsopgave

8. De inleiding (toelichting op intranet):

- ☐ Is hoofdstuk 1*
- ☐ Beschrijft het grotere kader en aanleiding
- ☐ Beschrijft inhoudelijke achtergrondinformatie*
- ☐ Formuleert het probleem/de onderzoeksvraag*
- ☐ Vermeldt het doel*
- ☐ Bevat een leeswijzer voor het rapport/verslag*

9. Materiaal en methode:

- ☐ Beschrijft de gevolgde onderzoeksmethode
- ☐ Past bij de onderzoeksvraag/vragen*
- ☐ Beschrijft de variabelen/eenheden
- ☐ Beschrijft de methode van data-analyse

10. De (opmaak van de) kern:

- ☐ Bestaat uit genummerde hoofdstukken en (sub)paragrafen (maximaal drie niveaus)*
- ☐ Deze zijn verschillend in opmaak*
- ☐ De hoofdstukken en (sub)paragrafen hebben een passende titel
- ☐ Een hoofdstuk beslaat ten minste één pagina
- ☐ Een nieuw hoofdstuk begint op een nieuwe pagina
- ☐ De zinnen lopen door (geen 'enter' binnen een alinea gebruiken)
- ☐ De figuren zijn (door)genummerd en hebben een passende titel (onder de figuur)*
- ☐ De tabellen zijn (door) genummerd en hebben een passende titel (boven de tabel)*
- ☐ Tabellen en figuren zijn zelfstandig te begrijpen
- ☐ In de tekst zijn er verwijzingen naar figuren en/of tabellen*
- ☐ De tekst bevat verwijzing naar de desbetreffende bijlage(n)
- ☐ De tekst is ook zonder verwijzingen te begrijpen
- ☐ De pagina's zijn genummerd*

11. De discussie:

- ☐ Bevat een vergelijking met relevante literatuur
- ☐ Geeft de valide argumentatie weer
- ☐ Evalueert de gebruikte onderzoeksmethode
- ☐ Bevat een kritische reflectie op de eigen bevindingen (zie toelichting op intranet)

12. De conclusies en aanbevelingen:

- ☐ De conclusies zijn gebaseerd op relevante feiten
- ☐ De aanbevelingen zijn gebaseerd op relevante feiten
- ☐ Bevatten geen nieuwe informatie*

13. De bronvermelding:

- ☐ In de tekst is conform de geldende APA-normen* (zie intranet Mediatheek)

14. De literatuurlijst:

- ☐ Is opgesteld conform de geldende APA-normen* (zie intranet Mediatheek)

15. De bijlagen:

- ☐ Zijn genummerd
 - ☐ Zijn voorzien van een passende titel
 - ☐ Bevatten geen eigen analyse
-