

Holland Solar, PV-systemen, plat dak
LCA Achtergrondrapport

Opdrachtgever

Holland Solar

Contactpersoon

De heer J. Ensing

Kenmerk

R002_02_087692aa

Versie

02

Datum

2 november 2023

Auteur

ir. R.A. Kraaijenbrink

Inhoudsopgave

Bronnen	4
Normen.....	4
Literatuurlijst.....	4
Verklarende woordenlijst.....	5
1 Inleiding	6
1.1 Verantwoording	6
1.2 Doelstelling en doelgroep.....	6
1.3 Leeswijzer.....	7
1.4 Oordeel van de toetsers.....	7
2 Scope	8
2.1 Functionele beschrijving	8
2.2 Product- / Functionele eenheid.....	8
2.3 Productomschrijving.....	9
Referentieproduct.....	9
Samenstelling bouwproduct	11
Biogeen koolstofgehalte.....	11
Technische levensduur	11
2.4 Systeemgrenzen.....	11
2.5 Criteria voor het buiten beschouwing laten van input en output.....	14
Uitgesloten processen en stromen.....	14
3 Levenscyclusinventarisatie (LCI)	15
3.1 Dataverzameling	15
Specifieke gegevens.....	15
Generieke gegevens	16
3.2 Kwantitatieve omschrijving levenscyclusfasen.....	16
Productiefase (A1-3).....	16
Transportfase (A4)	18
Bouw- en installatiefase (A5).....	18
Gebruiksfase (B1-B5).....	19
Einde levensfase (C1-C4).....	19
Lasten en baten voorbij de systeemgrenzen (D).....	22
3.3 Allocatie.....	22
3.4 Datavalidatie	22
4 Levenscyclusanalyse	24

4.1	Berekening milieuprofiel.....	24
4.2	LCA-rekenresultaten en schaduwrijzen.....	24
4.3	Zwaartepuntanalyse.....	26
4.4	Gevoeligheidsanalyse.....	30

Bijlagen

Bijlage I	Life Cycle Inventory
Bijlage II	Life Cycle Impact Assessment
Bijlage III	Gevoeligheidsanalyse

Bronnen

Normen

<i>EN15804</i>	NEN-EN 15804:2012 + A2:2019 "Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen van producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten"
<i>ISO 14025</i>	ISO 14025:2010 "Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures"
<i>ISO 14040</i>	ISO 14040:2006 "Environmental management – Life cycle assessments – Principles and framework"
<i>ISO 14044</i>	ISO 14044:2006 "Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines"
<i>NMD Bepalingsmethode</i>	NMD Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Bouwwerken' versie 1.1, maart 2022.

Literatuurlijst

<i>Product Environmental Footprint Category Rules Guidance</i>	PEF Guidance <i>Version 6.3 – May 2018</i> . Annex C, v.2.1, 2020 – List of default values for A, R1, R2, R3 and QS/QP
<i>End-of-waste criteria for iron, steel and aluminium scrap</i>	Council Regulation (EU) No 333/2011 of 31 March 2011 establishing criteria determining when certain types of scrap metal cease to be waste under Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council
<i>Umicore, 2006</i>	Recycling of Electronic Scrap at Umicore. Precious Metals Refining. Dr. Christian Hagelüken. Conference Paper in Acta Metallurgica Slovaca - June 2006
<i>Umicore, 2007</i>	Metals Recovery from e-scrap in a global environment - Technical capabilities, challenges & experience gained. Dr. Christian Hagelüken, Umicore Precious Metals Refining. 6 th session of OEWG Basel Convention. Geneva 7 September, 2007.

Verklarende woordenlijst

<i>EPD</i>	<i>Environmental Product Declaration</i>
<i>EVA</i>	<i>Ethylene Vinyl Acetate</i>
<i>GWP</i>	<i>Global Warming Potential / Klimaatverandering</i>
<i>LAP3</i>	<i>Landelijk Afvalbeheerplan 3</i>
<i>LCA</i>	<i>Life Cycle Assessment / Levenscyclusanalyse</i>
<i>LCI</i>	<i>Life Cycle Inventory analysis / Levenscyclusinventarisatie</i>
<i>LCIA</i>	<i>Life cycle impact assessment / Levenscycluseffectbeoordeling</i>
<i>LHV</i>	<i>Low Heating Value / Lage Verbrandings Waarde)</i>
<i>NMD</i>	<i>Nationale Milieu Database</i>
<i>PET</i>	<i>Polyethylene terephthalate</i>
<i>POE</i>	<i>Polyolefin Elastomer</i>
<i>PV</i>	<i>Photovoltaic / Fotovoltaïsch</i>
<i>REACH</i>	<i>Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals</i>
<i>RSL</i>	<i>Reference Service Life / Referentie levensduur</i>
<i>WEEE</i>	<i>Waste of Electrical and Electronic Equipment / Afdankte elektrische en elektronische apparaten</i>

1 Inleiding

In opdracht van Holland Solar in Utrecht, contactpersoon de heer Jasper Ensing, heeft LBP|SIGHT een levenscyclus analyse (LCA) uitgevoerd naar de productie-, installatie-, gebruiks- en afvalverwerkingsfase van PV-systemen voor montage op platte daken.

1.1 Verantwoording

De LCA is uitgevoerd conform de eisen en richtlijnen uit de NMD-Bepalingsmethode Bouwwerken (versie 1.1, maart 2022) en het NMD toetsprotocol (versie 1.0, november 2020 + Amendement 1, februari 2021). De Bepalingsmethode is gebaseerd op de ISO 14040 - ISO14044 en de NEN-EN 15804:2012 + A2 (2019) ¹. De basisprofielen en de productkaarten voldoen aanvullend ook aan de eisen uit de NEN-EN-ISO 14025:2010 voor EPD.

De LCA is uitgevoerd in samenwerking tussen LBP|SIGHT, Holland Solar, zijn leden en toeleveranciers in de periode van februari 2023 tot en met juli 2023. De LCA-uitvoerder is ir. René Kraaijenbrink.

1.2 Doelstelling en doelgroep

In deze studie is het gemiddelde milieuprofiel van een representatief PV-systeem vastgesteld. Het doel van de studie is het laten opnemen van deze milieuprofielen als categorie 2 data (niet-merkgebonden en getoetst) in de Nationale Milieudatabase (NMD) onder '*Centrale elektrotechnische voorzieningen; energie, opwekking* (elementcode 61.1).

Het milieuprofiel zal vanuit de invoermodule worden aangeleverd aan de NMD op basis van het door NMD voorgeschreven format. Met behulp van een productkaart kunnen gebruikers van MPG en MKI rekensoftware de profielen in een bouwwerkberekening toepassen.

Het LCA-dossier dat in het kader van deze studie is opgesteld is extern getoetst. Hiermee is onderbouwd dat deze studie voldoet aan de methodische eisen zoals deze in de voorgaande paragraaf zijn benoemd.

Aanvullend kunnen de resultaten van de LCA-studie door de opdrachtgever gebruikt worden om een EPD op te stellen waarmee de milieuprestaties van het product extern gecommuniceerd kunnen worden (business-to-business).

De doelgroepen voor de resultaten van deze studie zijn als volgt.

¹ Alleen de weging van milieueffectscores (zie hoofdstuk 3.6) valt buiten de ISO14044.

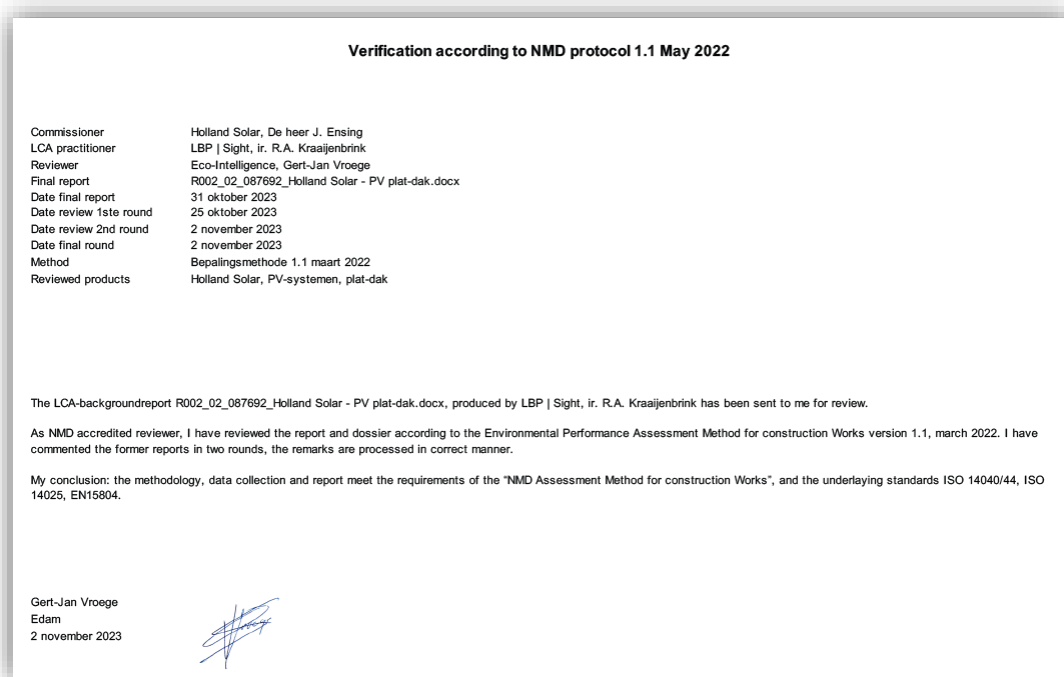
- Holland Solar als opdrachtgever van deze LCA-studie en leverancier van de ophangsystemen.
- Gebruikers van de Nationale Milieudatabase van MPG/MKI-berekeningen.
- Holland Solar, zijn leden en toeleveranciers en hun klanten.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de scope van de studie nader toegelicht en is de procesboom opgenomen met toelichting. In hoofdstuk 3 is de verantwoording van de data-inventarisatie gegeven en tot slot worden de LCA-resultaten gepresenteerd en besproken in hoofdstuk 4.

1.4 Oordeel van de toetser

Deze LCA-studie en rapportage is op 2-11-2023 getoetst door Gert-Jan Vroege, werkzaam bij Eco-Intelligence., met als conclusie;



De briefrapportage van deze toetsing is als losse gewaarmerkte bijlage bijgevoegd bij deze rapportage.

2 Scope

2.1 Functionele beschrijving

De PV-systemen vallen onder elementcode '61.1 Centrale elektrotechnische voorzieningen; energie, opwekking'. De functionele beschrijving (v.11, 2022) voor toepassing in de Nationale Milieudatabase, is als volgt:

Code	61.1 Centrale elektrotechnische voorzieningen; energie, opwekking
Omschrijving	Verzameling van centrale elektrotechnische energievoorzieningen, vanaf de aansluiting op het openbare distributienet tot en met de hoofdschakel- en verdeelinrichtingen.
Functie	Centrale elektrotechnische energievoorziening voor opwekken van elektrische energie.
Functionele eenheid	Centrale elektrotechnische energievoorziening worden gemeten in stuks.
Opbouw	Het geheel van centrale elektronische voorzieningen bestaande uit: #Centrale noodstroomvoorzieningen zoals noodstroomaggregaten, nobreak units en noodverlichtingsunits #Gecombineerde eigen elektrische energieopwekking zoals PV panelen #Bekabeling en omvormers #Bouwkundige voorzieningen
Constructie	Centrale noodstroomvoorzieningen Bouwkundige voorzieningen Gecombineerde eigen elektrische energieopwekkingen
Uitrusting	Bekabeling Omvormers
Afwerking	n..v.t.
Schilderwerk	n..v.t.
Uitgezonderd	Voorzieningen voor openbare distributienetten en standaard spanningsvoorzieningen.
Prestaties	- Capaciteit - Brandveiligheid bekabeling

Deze LCA wordt, in overeenstemming met de eisen van de functionele beschrijving, binnen elementcode 61.1 in de Nationale Milieudatabase gedeclareerd als een **totaalproduct**. Dit omdat alle verplichte onderdelen van het complete bouwwerkelement meegenomen ofwel gedekt zijn vanuit de functionaliteit van het gedeclareerde systeem.

2.2 Product- / Functionele eenheid

De functionele eenheid in deze LCA studie is:

1 (stuk) Zonne-PV systeem (mono-silicium) met een geïnstalleerd vermogen van 3,2 kWp (15,2 m²) gemonteerd op een plat dak, door leden van Holland Solar geleverd, met een technische levensduur van 25 jaar.

In dit rapport zal in het kader van de leesbaarheid naar deze functionele eenheden verwezen worden met behulp van de naamgeving zoals benoemd in de volgende paragraaf.

2.3 Productomschrijving

Holland Solar is sinds 1983 dé branchevereniging voor alle bedrijven die actief zijn in de Nederlandse Zonne-energiesector. Holland Solar richt zich op de bevordering en ondersteuning van de zonne-energiesector in Nederland. De vereniging vertegenwoordigt bedrijven en professionals die betrokken zijn bij de ontwikkeling, installatie en exploitatie van zonne-energiesystemen. Holland Solar speelt een belangrijke rol bij het bevorderen van duurzame energiebronnen en het stimuleren van de groei van de zonne-energiesector in Nederland door middel van belangenbehartiging, beleidsbeïnvloeding, kennisdeling en netwerkmogelijkheden.

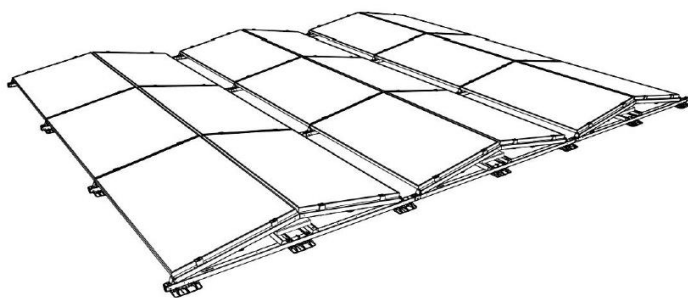
Referentieproduct

Het is belangrijk op te merken dat in de context van deze LCA, de leden van de Holland Solar in veel gevallen niet zelf de producent zijn, en de systemen op basis van een veelvoud aan handelsproducten zijn samen te stellen. Om deze reden is het niet mogelijk om een (productie volume) gewogen gemiddelde samen te stellen op basis van o.a. jaarcijfers. Om deze reden is er voor gekozen om in overeenstemming met de NMD bepalingmethode (Representativiteit van de overige gegevens) een productsysteem als referentie te hanteren die een 'typerend' beeld geeft van de actuele Nederlandse situatie. De Bepalingmethode stelt dat onder 'typerend' wordt verstaan dat de gegevens een bepaalde, veelvoorkomende situatie beschrijft.

Een representatief Zonne PV-systeem bestaat uit de volgende hoofdcomponenten:

- PV-panels: Hiermee wordt zonlicht omgezet in gelijkstroom. De panels zijn in diverse afmetingen verkrijgbaar. Op dit moment zijn de panels verkrijgbaar, afhankelijk van het type en de toepassing, met een vermogen van 375Wp tot 550 Wp per stuk (1,83 – 2,58 m²/stuk). Als referentie in deze studie worden 8 panels van 400Wp gehanteerd. Hiermee komt het totaal op 3,2 Wp geïnstalleerd vermogen, met een totaal paneeloppervlakte van 15,2 m².
 - o Het gemiddelde PV-paneel heeft:
 - Oppervlakte: 1,902 m²/stuk
 - Massa: 21,7 kg/stuk / 11,4 kg/m²
 - Opbrengst: 400 Wp/stuk / 210,3 Wp/m²
 - o De productkaart behorend bij het PV-systeem wordt schaalbaar binnen een bereik van 1600 Wp en 10.000 Wp.
- Omvormers: In de omvormer wordt o.a. de gelijkstroom omgezet naar wisselstroom en in overeenstemming met de benodigde netspanning en frequentie. De omvormers zijn in fabrikant specifieke gevallen uitgerust met "power optimizer". Dit is echter niet voor iedere fabrikant het geval.

- De geïnstalleerde zonnepanelen hebben ten opzichte van de omvormer een gemiddelde overcapaciteit van 7%. Ofwel; een 3000 W omvormer is toereikend voor 3200 Wp geïnstalleerd vermogen aan zonnepanelen.
- Bekabeling en omvormers: Via de kabels wordt de opgewekte gelijkstroom getransporteerd naar de omvormer. Vanuit de omvormer gaat wisselspanning via bedrading door naar de koppelkast die het geheel koppelt met het elektriciteitsnetwerk (via de meterkast). Ook het aardedraad waarmee de zonnepanelen en de montageframes zijn geaard maakt onderdeel uit van de uitrusting van een PV-systeem.
 - De koppelkast en de bedrading die is meegenomen in de studie zijn toereikend voor het maximaal geïnstalleerde vermogen van 10.000 Wp per systeem. Dit onderdeel van het milieuprofiel is niet schaalbaar opgesteld.
- Montageframe: Hiermee worden de zonnepanelen op het dak gemonteerd. In het geval van de plat daksystemen zijn deze ook uitgerust met ballast (betontegels) wat opwaaing moet voorkomen. Bij schuin daksystemen zijn de montageframes fysiek aan het dak gekoppeld waardoor ballast niet nodig is. Omdat de hoeveelheid ballast per locatie en opstelling verschilt is er voor gekozen de ballast niet mee te nemen in de scope van deze LCA.
 - De montageframes schalen recht evenredig mee met het oppervlakte (en dus vermogen) aan zonnepanelen. Ofwel; 1 m² montageframes is toereikend voor 210,3 Wp aan geïnstalleerd vermogen zonnepanelen.



Figuur 2.1

Zonne-PV systeem gemonteerd op een platdak

Samenstelling bouwproduct

1 stuk PV systeem, 3,2 kWp, plat-dak montage

Onderdeel	Materiaal	kg per 1 stuk PV-systeem geïnstalleerd	%
Constructie	PV-panelen, 3,2 kWp	173,5	84,8%
Constructie	Montage systeem, plat-dak	5,0	2,5%
Uitrusting	Omvormer (string), 3kW	16,9	8,3%
Uitrusting	Bekabeling en koppelkast	9,2	4,5%
Totaal:		204,7	100,0%

Biogeen koolstofgehalte

1 stuk PV systeem, 3,2 kWp, plat-dak montage

Materiaal	kg C per 1 m ²	kg CO ₂ per 1 m ²
Biogeen koolstof gehalte in product	0	0
Biogeen koolstof gehalte in verpakking	22,8	83,7

1 kg biogeen koolstof is overeenkomstig 44/12 kg CO₂

Technische levensduur

De technische levensduur voor het PV-systeem als geheel is 25 jaar. Voor de losse componenten van het systeem is de RSL als volgt:

- PV-panelen: 25 jaar
 - o Gebaseerd op vermogensgarantie en ervaring van fabrikanten.
- Omvormer (String): 15 jaar
 - o Gebaseerd garantie van de fabrikant en de ervaring dat gedurende de RSL van het gehele systeem de omvormer één keer vervangen dient te worden.
- Bekabeling en koppelkast: 25 jaar
 - o Gebaseerd op dat deze componenten van het systeem niet los worden vervangen
- Montageframe: 25 jaar
 - o Gebaseerd op dat deze componenten van het systeem niet los worden vervangen

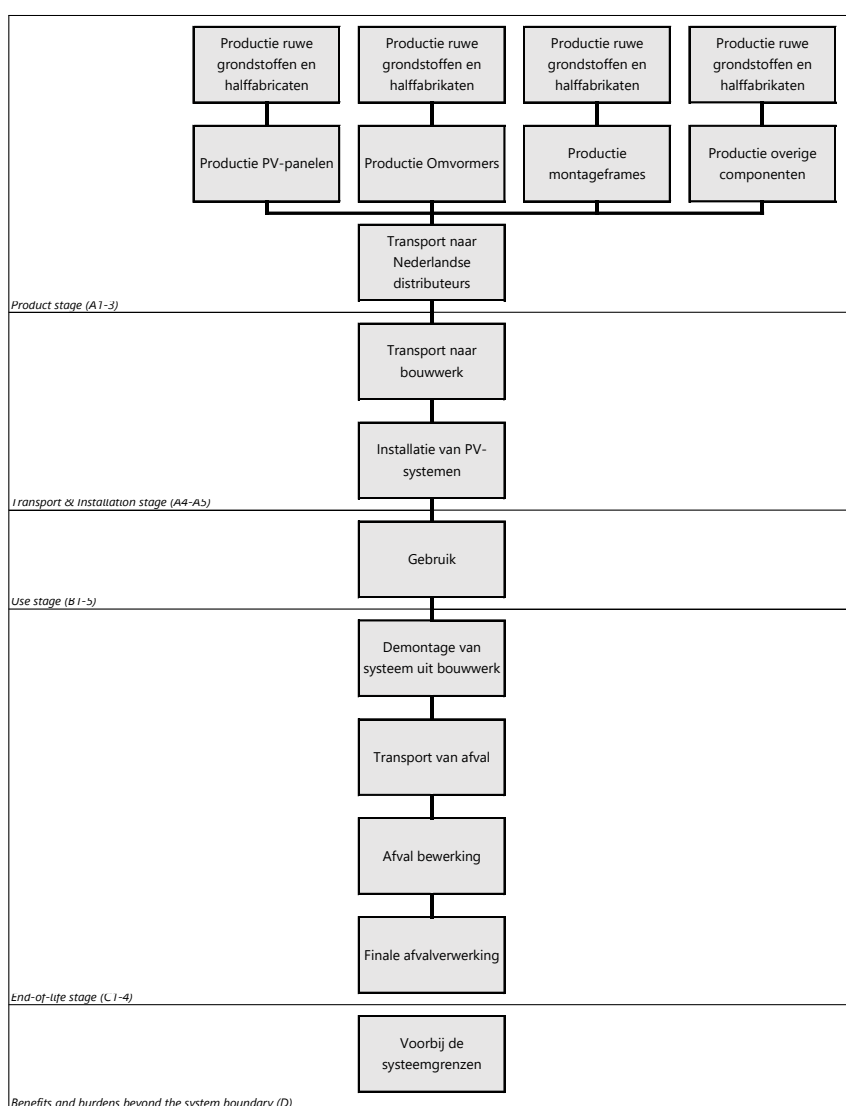
2.4 Systemgrenzen

De processen die binnen de LCA worden bekeken zijn afgebakend met zogenaamde systeemgrenzen. De systeemgrenzen bepalen welke fasen en processen van de levenscyclus worden meegenomen in de LCA. In figuur 2.2, volgend uit de *EN15804+A2* en de *NMD-Bepalingsmethode*, staat vastgelegd welke informatie er per levenscyclusfase beschouwd moet worden. In deze LCA is de milieu-impact meegenomen, voor de productiefase (module A1-3), de bouwfase (module A4-5), de gebruiksfase (B1-5), de sloop en verwerkingsfase (module C2 -4) en de lasten en baten voorbij de systeemgrenzen (module D). Operationeel energie- en waterverbruik tijdens de gebruiksfase op bouwwerkniveau (B6 en B7) is niet gedeclareerd.

A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Winning van grondstoffen	Transport	Productie	Transport	Bouw- en installatieproces / aanleg	Gebruik	Onderhoud	Reparaties	Vervangingen	Verbouwingen	Operationeel energie verbruik	Operationeel water verbruik	Sloop	Transport	Afvalverwerking	Finale afvalverwerking	Mogelijkheden voor hergebruik, terugwinning en recycling
☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐	☐	☒	☒	☒	☒	☒

Figuur 2.2

Levenscyclusfasen EPD (☒: Module gedeclareerd / ☐: Module niet gedeclareerd).



Figuur 2.3.

Procesboom

In het voorgaande figuur is de procesboom met de systeemgrenzen opgenomen. Deze toont de belangrijkste aspecten die zijn opgenomen in de specifieke levenscyclusfase (per module). De navolgende tabel geeft een beknopte beschrijving van de processen die in dit LCA-onderzoek zijn opgenomen in overeenstemming met de procesboom. Vanwege de complexiteit van het product (en de samenstelling ervan) zijn de hoeveelheden niet in de procesboom weergegeven. De uitgangspunten bij deze processen worden in de betreffende paragrafen van hoofdstuk 3 (Levenscyclusinventarisatie) nader beschreven. De hoeveelheden van de ingaande en uitgaande stromen zijn in de relevante bijlage I opgenomen.

Module	Aspecten meegenomen in de module	Omschrijving van processen
Product stage (A1-3)	Productie ruwe grondstoffen en halffabricaten	De producenten van de diverse componenten van de PV-systemen kopen de ruwe grondstoffen en halffabricaten in bij 'upstream' ketenpartners. Specifieke gegevens zijn hiervan niet beschikbaar.
	Productie PV-panelen	De productie van PV-panelen met de ingekochte materialen en grondstoffen.
	Productie Omvormers	De productie van omvormers met de ingekochte materialen en grondstoffen.
	Productie montageframes	De productie van PV-panelen met de ingekochte materialen en grondstoffen.
	Productie overige componenten	De productie van de overige componenten met de ingekochte materialen en grondstoffen.
	Transport naar Nederlandse distributeurs	De Nederlandse distributeurs en handelaren
Transport & Installation stage (A4-A5)	Transport naar bouwwerk	De PV-systemen worden per vrachtwagen van de distributeur naar de bouwplaats getransporteerd eventueel via een lokale installateur.
	Installatie van PV-systemen	De PV-systemen worden op de bouwlocatie gemonteerd met handgereedschappen. Er vinden geen productieprocessen plaats van enige omvang. Vrijkomende verpakkingsmaterialen en eventueel productieafval wordt in overeenstemming met de relevante afval scenario's verwerkt.
Use stage (B1-5)	Gebruiksfase	De PV-systemen vereisen geen additioneel onderhoud of vervangingen. Ook is er geen sprake van gebruiksfase emissies.
End-of-life stage (C1-4)	Demontage van de PV-systemen	De PV-systemen worden aan het einde van de bouwwerklevensduur op de bouwlocatie gedemonteerd met handgereedschappen.
	Transport van vrijkomende materialen	De vrijkomende materialen worden getransporteerd naar de relevante verwerkingslocaties in overeenstemming met de relevante einde levensduur scenario's
	Afvalbewerking	Verdere bewerking van de vrijkomende materialen ten behoeve van recycling, hergebruik of energierecuperatie (in een AVI) vindt plaats in overeenstemming met de relevante einde levensduur scenario's
	Finale afvalverwerking	Finale afvalverwerking van de vrijkomende materialen ten behoeve in de vorm van stort of verbranding vindt plaats in overeenstemming met de relevante einde levensduur scenario's
Benefits and burdens beyond the system boundary (D)	Lasten en baten voorbij de systeemgrenzen	Lasten en baten voorbij de systeemgrenzen worden op basis van netto stromen meegenomen. Dit volgt op het gebruik van secundair materiaal en het leveren van componenten voor hergebruik, materialen voor recycling, materialen voor energierecuperatie en/of geëxporteerde energie.

2.5 Criteria voor het buiten beschouwing laten van input en output

In overeenstemming met de *EN 15804* en de aanvulling vanuit de *NMD-Bepalingsmethode* zijn de volgende procedures gehanteerd.

- Alle input- en outputstromen van een proces waarvan specifieke informatie beschikbaar was is meegenomen in de berekening.
- Wanneer onvoldoende gegevens beschikbaar zijn is de criteria voor het buiten beschouwing laten een maximum van 1% voor (niet-)hernieuwbare primaire energieconsumptie en 1% van de totale massa-input van het proces. Voorwaarde hierbij is dat het buiten beschouwing laten van deze stromen niet meer dan 5% bedraagt in één van de milieueffecten per module.
- Het totaal van buiten beschouwing gelaten inputstromen is maximaal 5% van het energiegebruik en massa.

Uitgesloten processen en stromen

In deze LCA zijn er binnen de systeemgrenzen op basis van de bovenstaande criteria de volgende input- of outputstroom buiten beschouwing gelaten:

In overeenstemming met de *EN 15804* zijn de volgende processen niet meegenomen binnen de systeemgrenzen van de LCA en niet meegenomen in de berekeningen:

- Overheadprocessen zoals kantoorafdelingen, personeeltransport, enz.
- Productie, onderhoud en afdanking van kapitaalgoederen zoals gebouwen, machines, enz.
- Kleinschalig verpakkingsmateriaal zoals:
 - o *Verpakkingsmateriaal van de kabels en de koppelkast*

Van de bovenstaande processen is ook niet te verwachten dat deze significant bijdragen in het milieuprofiel van de ophangsystemen.

3 Levenscyclusinventarisatie (LCI)

3.1 Dataverzameling

Voor het berekenen van de levenscyclusanalyse zijn overeenkomstig de eisen, gesteld in *ISO 14044* en de *EN 15804* gegevens verzameld van de verschillende productieprocessen die binnen de systeemgrenzen van deze LCA-studie vallen. Hierbij is in de uitwerking aandacht besteed aan de *precisie, compleetheid, representativiteit, consistentie* en *reproduceerbaarheid* van de gegevens.

In de huidige paragraaf is beschreven welke methodes zijn gehanteerd voor de *precisie* van de gegevens. In paragraaf 3.4 is de datakwaliteit van de verzamelde gegevens beoordeeld met betrekking tot de overige aspecten.

Specifieke gegevens

Specifieke gegevens zijn uitgevraagd voor de relevante onderdelen van het PV-systeem. Het gaat binnen de context van deze LCA specifiek om gegevens van producenten van:

- Zonnepanelen
- Omvormers
- Montagesystemen

In de navolgende tabel is weergegeven welke gegevens zijn verzameld en hoe de informatie in deze LCA is toegepast. Ook is in de kolom "Specifieke gegevens aangeleerd" opgenomen welk referentiejaar is gebruikt bij de gegevensverzameling.

Component	Merknaam	Leverancier	Aantal producten	Specifieke gegevens aangeleverd?	Gegevens toegepast?
PV-paneel	JA-solar	Natec	4	EPD, EPD Italy, extern getoetst, 2020-2021	Ja, product samenstelling
	Longhi Solar	Natec	40	Carbon Footprint Attest, 2020-2021	Nee, niet bruikbaar
	Canadian Solar	Natec	2	Carbon footprint, Certisolis, extern getoetst, 2021	Ja, LCI gegevens
	Jinko	Libra energy	1	LBPSIGHT LCI format, 2022	Ja, specifieke LCI gegevens
	DMEGC	Navetto	3	EPD, PEP-Ecopassport, extern getoetst, 2021	Ja, LCI gegevens
	REC Solar	Navetto	2	EPD, EPD-Norge, extern getoetst, 2022	Ja, LCI gegevens
Inverter	Fronius	Fronius	3	LBPSIGHT LCI format, 2022	Ja, specifieke LCI gegevens
	Solar Edge	Solar Edge	?	?	?
Montage systemen	Sunbeam	Sunbeam	2	LBPSIGHT LCI format, 2022	Ja, specifieke LCI gegevens
	Valk	Valk	2	LBPSIGHT LCI format, 2022	Ja, specifieke LCI gegevens

Voor het kwantificeren van de productiegegevens hebben deze producenten gebruikgemaakt van:

- (Jaar)gemiddelde gegevens:
 - o productiegegevens afkomstig van jaarrekeningen (inkoop: gas, materiaal, afval).
- Specifieke gegevens:
 - o Bill-of-materials (BOM), metingen (elektriciteit) en berekeningen

Generieke gegevens

Voor het modeleren van de processen hoger in de keten, en waar de participerende leden geen invloed over hebben, is gebruikgemaakt van de NMD-processendatabase, versie 3.6 (2022) (gebaseerd op Ecoinvent 3.6) of de Ecoinvent 3.6 processen database (2019).

Vanuit deze processendatabase geeft de NMD-Bepalingsmethode ook forfaitaire waarden voor de meest belangrijke achtergrondprocessen waarmee gerekend dient te worden als specifieke gegevens niet beschikbaar zijn. Het betreft hierbij bijvoorbeeld processen voor energieopwekking en transport.

3.2 Kwantitatieve omschrijving levenscyclusfasen

Voor de beschouwde functionele eenheid zijn de input- en outputstromen geïnventariseerd. In de navolgende paragrafen worden specifiek per module de uitgangspunten benoemt die zijn toegepast. In **bijlage II** zijn op basis van deze uitgangspunten de kwantitatieve input- en outputstromen opgenomen waarmee het milieuprofiel is berekend.

Productiefase (A1-3)

Met betrekking tot het kwantificeren van de input- en outputstromen van de productiefase zijn, per onderdeel van het systeem, de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Zonnepanelen

- Fabrikanten van representatieve zonnepanelen, als toeleveranciers van de leden van Holland Solar, zijn gevraagd primaire gegevens beschikbaar te stellen voor deze studie. Hierbij is specifiek verzocht om gegevens vanuit de materialisatie te verzamelen. Dit is gedaan omdat uit een zwaartepuntberekening (Photovoltaic panel, single-Si wafer {RoW} | production | Cut-off, U) blijkt dat de 11 individuele materialen waaruit een gemiddeld PV-paneel is opgebouwd gezamenlijk 87-99% bijdragen aan de individuele milieueffecten en 94% aan de schaduwprijs van de productiefase (zie bijlage III). In paragraaf 3.1 is een opgave gedaan van de fabrikanten waarvan de panelen zijn meegenomen in deze LCA-studie. De hoeveelheid productieafval, energie en eventuele emissies zijn hiermee ook overeenkomstig het Ecoinvent proces meegenomen in de studie.
- Een ongewogen gemiddelde van de beschikbare inventarisatiegegevens is opgesteld omdat er geen nauwkeurige marktgegevens beschikbaar zijn van de individuele panelen.

Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd om de spreiding tussen de panelen in beeld te brengen en om te beoordelen in hoeverre de toepassing van dit gemiddelde ook een representatieve weergave biedt van een typisch PV-systeem.

- Ook meegenomen in deze module is het transport van de panelen van de productielocaties naar de Nederlandse importeurs en distributeurs. Hiertoe zijn de worst-case afstanden toegepast van alle paneelfabrikanten waarvan informatie is verkregen.

(String) omvormer

- Fabrikanten van representatieve omvormers zijn gevraagd primaire gegevens beschikbaar te stellen voor deze studie. Hierbij is specifiek verzocht om gegevens vanuit de materialisatie te verzamelen. Dit is gedaan omdat uit een zwaartepuntberekening (Inverter, 2.5kW {RER} production | Cut-off, U) blijkt dat de 17 individuele materialen/componenten waaruit een gemiddelde omvormer is opgebouwd/samengesteld gezamenlijk 88-98% bijdragen aan de individuele milieueffecten en 96% aan de schaduwprijs van de productiefase (zie bijlage III). De hoeveelheid productieafval, energie en eventuele emissies zijn hiermee ook overeenkomstig het Ecoinvent proces meegenomen in de studie.
- Omdat slechts één/twee fabrikanten specifieke gegevens beschikbaar konden stellen in het kader van dit project is er voor gekozen om toch het Ecoinvent 3.6 achtergrondproces, zoals in de vorige bullet benoemd, als basis te hanteren. Dit milieuprofiel is oorspronkelijk gepubliceerd in 2007 en hiermee sterk verouderd. Het milieuprofiel is hierom aangepast om de huidige techniek beter te vertegenwoordigen. Hiertoe zijn de technische gegevens van 22 omvormer-varianten (indien van toepassing met optimizer) van 4 fabrikanten gebruikt om een representatieve productmassa's te berekenen op basis van het opgegeven vermogen van de omvormer. NB Deze formule dient tevens als schalingsmaat in de productkaart.
- Aanvullend is een worst-case validatieberekening gemaakt, zie paragraaf 4.4 gevoeligheidsanalyse.
- Omdat specifieke transportafstanden niet beschikbaar waren is voor het transport van de omvormers van de productielocaties naar de Nederlandse importeurs en distributeurs aangesloten bij de transportafstanden van de zonnepanelen zoals hierboven benoemd.

Montageframes

- Specifieke informatie is opgevraagd van Nederlandse fabrikanten van montagesystemen. Hiertoe zijn ook productiegegevens verzameld voor het jaar **2022**.
- Ook hier waren slechts twee fabrikanten die specifieke gegevens hebben geboden waardoor het correct opstellen van een gewogen gemiddelde niet mogelijk was. Omdat de verschillen in de materialisatie van beide leverancier in validatieberekeningen grote verschillen leken te veroorzaken is er voor gekozen om qua materiaalhoeveelheden worst-case te gaan zitten door van de individuele materialen de hoogste massa te pakken waarin deze in één van de twee referenties voorkomt. Het resultaat is hiermee een gemiddelde die in absolute massa hoger is dan de individuele producten.

- Ook voor het energieverbruik en de percentages vrijkomend productieafval is het worst-case uitgangspunt gehanteerd.

Bekabeling en koppelkast

- Specifieke informatie ontbreekt voor deze componenten omdat dit handelsproducten betreft die voor ieder systeem en installateur los verkrijgbaar is en er een veelvoud aan mogelijkheden zijn.
- Het Ecoinvent 3.6 basisproces " Photovoltaic plant, electric installation for 3kWp module {RoW} photovoltaics, electric installation for 3kWp module, at building | Cut-off, U" is hierom als basis genomen. Wel is deze aangepast zodat de systeemgrenzen van deze LCA-studie overeenkomen. De aanpassingen zijn onderbouwd in bijlage X, tabblad: PV-uitrusting" en samengevat:
 - o Uitsluiten van een bliksemgeleiders, van 28 mm² koper omdat dit buiten de scope valt
 - o Aanpassen van hoeveelheid bekabeling naar representatieve lengtes en geleiderdoorsnedes.
 - o De koppelkast is overeenkomstig het proces meegenomen.

Transportfase (A4)

Met betrekking tot het kwantificeren van de input- en outputstromen van de transportfase zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De NMD-bepalingsmethode schrijft voor dat een transportafstand 150 km gehanteerd moet worden van een Nederlandse productielocatie naar de bouwplaats. Voor fabrikanten gevestigd buiten Nederland moet een gemiddelde transportafstand berekend worden uitgaande van een bouwplaats gelegen in Utrecht (NL) met een minimum van 150 km.
 - o De PV-systemen worden via een handelaar naar een regionaal montagebedrijf getransporteerd. Hiertoe wordt in eerste instantie in module A2 de worst-case transportafstand van de productielocaties naar Nederland toegepast. Aanvullend wordt in deze module A4 vanuit de handelaar de forfaitaire transportafstand van 150 km naar de bouwplaats toegepast.

Bouw- en installatiefase (A5)

Met betrekking tot het kwantificeren van de input- en outputstromen van de bouw- en installatiefase zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Verpakkingsmaterialen die gebruikt worden voor het transport van de PV-systemen komt op de bouwplaats vrij. Het gaat hierbij om karton verpakkingsmateriaal. De materialen worden op reguliere wijze verwerkt. Hierbij is het volgende verwerkingsscenario's gehanteerd:
 - o Paper, packaging carton board/inserts (bron: PEF Guidance, Annex C, v.2.1, 2020). Hieruit volgt een fractieverdeling van 75% recycling, 24% verbranding en 1% stort.
- Voor de montage van de PV-systemen wordt licht elektrisch (o.a. accu) gereedschap gebruikt. Het energieverbruik als gevolg hiervan is niet significant en uitgesloten van de LCA-berekening.
- Betreffende verliezen als bouwafval:

- De NMD-bepalingsmethode schrijft forfaitaire waarden voor. Aangenomen wordt dat 3% van de "Prefab producten", 5% van de "In-situ producten" en 15% van de "Hulp- en afwerkingsmaterialen" verloren gaat tijdens de bouwfase. Afwijkingen van deze waarden zijn mogelijk indien dit kan worden onderbouwd met (cijfermatige) onderzoeksresultaten.
- De PV-systemen passen als bouwkundige installatie niet binnen de standaard categorieën van de NMD-bepalingsmethode voor verlies in de vorm van bouwafval. De panelen worden als gereed eindproduct gemonteerd met behulp van de meegeleverde montagesystemen, die op maat zijn geproduceerd. Het verlies in de vorm van bouwafval wordt als <1% ingeschat en wordt in de context van deze LCA als niet significant beschouwd.

Gebruiksfase (B1–B5)

Met betrekking tot het kwantificeren van de input- en outputstromen van de gebruiksfase zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- (B1) Er is geen sprake van relevante emissies naar de lucht en/of uitloging van het product naar de bodem gedurende de levensduur van het gebouw.
- (B2) Er is geen sprake van materiaalgebonden onderhoud aan de PV-systemen.
- (B3) Er is geen sprake van voorspelbare reparaties aan de PV-systemen.
- (B4) De (string) omvormer is de enige component van het PV-systeem dat gedurende de technische levensduur 25 jaar eenmalig vervangen dient te worden.
 - Met een technische levensduur van 15 jaar is er gedurende de technische levensduur van het PV-systeem van 25 jaar, 1 vervanging nodig.
- (B5) Renovatie is geen onderdeel van de NMD-bepalingsmethode. In de context van de PV-systemen is het ook geen relevant onderdeel.
- (B6) Operationeel energiegebruik op bouwwerkniveau is niet gedeclareerd.
- (B7) Operationeel watergebruik op bouwwerkniveau is niet gedeclareerd.

Einde levensfase (C1–C4)

Met betrekking tot het kwantificeren van de input- en outputstromen van de eindelevensfase zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De componenten van het PV-systeem worden aan het einde van de systeem levensduur gededemonteerd uit het werk. Alle componenten worden aangeboden voor recycling. Eenmaal bij de verwerker/recycler aangekomen worden de componenten gescheiden in diverse fracties. Per afvalstroom is het einde levensduurscenario als volgt:
 1. Aluminium schroot; met forfaitaire EoL scenario: "*Aluminium, uit B&U o.a. profielen, platen, leidingen*"
 2. Elektronisch schroot; met specifiek EoL scenario: "*Elektronisch schroot, verwerkt voor edelmetaal terugwinning*"
 3. Gemengd plastic; met forfaitaire EoL scenario: "*Kunststoffen via restmateriaal*"
 4. Glas; met forfaitaire EoL scenario: "*Glas o.a. vlakglas*"
 5. Koper schroot; met forfaitaire EoL scenario: "*Koper o.a. platen, leidingen*"

6. Staal schroot; met forfaitaire EoL scenario: "staal, zink / verzinkt staal o.a. profielen, platen, zinklagen".
- Vier van de toegepaste einde-levensduur-scenario's zijn direct overgenomen vanuit de voorgeschreven lijst "Forfaitaire waarden voor verwerkingsscenario's einde-leven behorende bij: Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken" (Versie: mei 2022). Daarnaast zijn twee specifieke scenario's toegepast voor de afval fracties waar geen representatief forfaitair scenario voor beschikbaar was. Per scenario zijn de relevante uitgangspunten als volgt:
 1. Elektronisch schroot, verwerkt voor edelmetaal terugwinning
 - o Omschrijving: PV-systemen worden voor 95% ingezameld (bron: PEF Guidance, Annex C, v.2.1, 2020). Een recycler van elektronisch afval verwerkt en sorteert dit tot elektronisch schroot met een efficiency van 90% (demontage/ontmantelen). Het elektronisch schroot dat hiermee is verkregen wordt specifiek voorbereid voor de terugwinning van diverse edelmetalen met een efficiency van 80%. Het Umicore (precious metal refining) process is hierbij als representatief uitgangspunt gehanteerd omdat er voldoende literatuur over aanwezig is. Uit dit elektronisch schroot kunnen (indien aanwezig) de volgende elementen worden teruggewonnen; Silver, Goud, Palladium, Platinium, Koper, Lood, Nickel en Tin met een opbrengst van >95% (Umicore, 2006 / Umicore, 2007).
 - Einde-afval status: Er zijn geen formele einde-afval criteria vastgesteld voor elektronisch schroot. Er wordt aangesloten bij de uitgangspunten zoals deze ook zijn vastgesteld voor ijzer, staal en aluminium schroot (EU verordening N° 333/2011). Dit betekent dat zodra het elektronische schroot is gesorteerd en geklasseerd en, hiermee, voldoet aan de toelatingseisen van de verwerker dat het moment van einde-afval is bereikt.
 - Lasten na einde-afval: Vanaf het moment dat de vrijkomende fractie elektronisch schroot voldoet aan de einde-afval criteria. Dan dient deze nog getransporteerd te worden naar verwerker van het elektronisch schroot. Aansluitend volgen de lasten van het terugwinningsproces van de specifieke edelmetalen.
 - Grondstoffen equivalent: De hierboven benoemde elementen kunnen worden teruggewonnen tot het niveau waarbij het verkregen materiaal een gelijke kwaliteit heeft als de primair gewonnen elementen. De hoeveelheid van deze elementen die zijn toegepast in de elektronische componenten zijn op basis van de specifieke samenstelling, zoals opgenomen in de Ecoinvent processen, in beeld gebracht. De totale efficiency van deze keten van terugwinning is 65% ($95\% \times 90\% \times 80\% \times 95\% = 65\%$). Van de 5% die niet wordt ingezameld wordt uitgegaan dat deze wordt gestort. Van de verliezen die optreden tijdens het recyclingproces wordt uitgegaan dat deze verbrand worden.

- *Silicium cellen uit PV-panelen*
 - Omschrijving: PV-panelen worden voor 95% ingezameld. Ondanks dat er meerdere recyclingtechnologieën in ontwikkeling zijn wordt het huidige silicium nog niet hoogwaardig hergebruikt. In dit huidige scenario, in overeenstemming met de bepalingsmethode op basis van de huidige stand der techniek, wordt er dan ook vanuit gegaan dat het silicium samen met de kunststof onderdelen van het PV-paneel in een AVI eindigt. De bodemassen die het silicium vormt eindigen als “nuttige toepassing” als funderingsmateriaal of toeslagmateriaal voor beton. Omdat het silicium dezelfde verwerkingsroute volgt als de kunststoffen wordt voor de fractieverdeling aangesloten bij het einde-levensduur-scenario van “Kunststoffen via restmateriaal”.
 - Einde-afval status: Er zijn geen formele einde-afval criteria vastgesteld voor PV-kwaliteit silicium. In overeenstemming met het Landelijk Afvalbeheer Plan (LAP3) dienen bodemassen minimaal verwerkt te worden tot een vrij toepasbare bouwstof².
 - Lasten na einde-afval: n.v.t.
 - Grondstoffen equivalent: zoals gesteld worden de bodemassen die worden gevormd uit het silicium toegepast als funderingsmateriaal en vulmiddel voor beton. In deze studie wordt er worst-case vanuit gegaan dat het silicium, in de vorm van bodemassen, geen primaire productie vervangt.
- (C1) De sloopfase is niet specifiek in beeld gebracht. Als uitgangspunt wordt gehanteerd dat de het energieverbruik overeenkomstig de aanlegfase ‘A5’ niet significant is.
- (C2) De afval-transportfase is voor de verschillende scenario’s meegenomen overeenkomstig de forfaitaire waarden uit de NMD-bepalingsmethode. Aangenomen wordt dat de afstand tussen een bouwplaats en een sorteer- of recyclinglocatie 50 km is. De afstand tussen een sorteer- of recyclinglocatie en een stortplaats is 50 km (de totale afstand voor storten is 50+50=100 km). De afstand tussen een sorteer- of recyclinglocatie en een afvalverbrandingsinstallatie is 100 km (de totale afstand voor verbranden is 50+100=150 km). Afhankelijk van het toegepaste scenario is de gewogen gemiddelde afstand berekend en toegepast.
- (C3) De afvalverwerkingsfase bevat alle processen die nodig zijn voor de opwerking van de vrijkomende materialen tot het moment waarop end-of-waste is bereikt, of de verbrandingsprocessen in een AVI. Deze processen worden waar mogelijk materiaalspecifiek gemodelleerd. De hoeveelheden zijn berekend in overeenstemming met de toegepaste einde-levensduur-scenario’s.

2 Sectorplan 20; AVI-bodemas – LAP3: https://lap3.nl/publish/pages/120659/lap3_sp20_avi-bodemas_ttw2-aanpassing-30-09-21.pdf

- (C4) De afvalverwijderingsfase bevat de stort van de materiaalstromen die niet hergebruikt, gerecycled of verbrand worden met energierugwinning. Deze processen worden materiaal specifiek gemodelleerd. De hoeveelheden zijn berekend in overeenstemming met de toegepaste einde-levensduur-scenario's.

Lasten en baten voorbij de systeemgrenzen (D)

Met betrekking tot het kwantificeren van de input en output voorbij de systeemgrenzen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De lasten en/of baten vanuit recycling of hergebruik worden berekend op basis van de netto stroom van:
 - o Secundaire materiaal stromen, ingaand als "Secondary material [kg] en uitgaand als 'Materials for recycling [kg]';
 - o secundaire brandstoffen als 'Materials for energy recovery [kg]';
- Bij de verbranding van specifieke afval fracties wordt energie teruggewonnen (elektrisch en thermisch). De baten worden berekend op basis van de massa en de Low Heating Value (LHV) van de producten die worden verbrand. De hoeveelheid en soort energie die wordt gesubstitueerd wordt berekend en gemodelleerd in overeenstemming met de criteria van de NMD-bepalingsmethode.
- Lasten en baten als gevolg van de afvalverwerking van verpakkingsmateriaal en verliezen in de vorm van bouwafval tijdens de installatiefase (A5) zijn ook meegenomen in de berekening van module D.
- Voor het terugwinnen van de metalen uit het elektronisch schroot is specifiek in beeld gebracht wat de netto-output is van de materiaal stromen op basis van de productsamenstelling (zowel primair als secundair) en de efficiency van het terugwinningsproces zoals eerder beschreven (zie bijlage II – tabblad; PV Inverter Material list). Omdat er geen representatief achtergrondproces is voor het modelleren van Tin uit elektronisch schroot is deze stroom buiten beschouwing gelaten.

3.3 Allocatie

In deze LCA is geen sprake van allocatie van milieulasten aan co-producten bij multi-output processen.

3.4 Datavalidatie

De gegevens die door de leden van Holland Solar zijn aangeleverd en waarmee stromen in de verschillende levensfasen zijn gekwantificeerd zijn op basis van het datakwaliteitssysteem uit bijlage E.1 van het *NMD-toetsingsprotocol* intern door de LCA-uitvoerder beoordeeld (zie tabel 3.1). De beoordeling omvat alle functionele eenheden die in deze LCA zijn beschouwd.

Tabel 3.1

Beoordeling datakwaliteit, eenheidsprocessen

Compleetheid	
1. Compleetheid Milieu-ingrepen	<i>Alle milieu-ingrepen die redelijkerwijs verwacht kunnen worden, hebben een waarde.</i>
2. Compleetheid economische-stromen	<i>Alle stromen zijn gekwalificeerd. De stromen die naar verwachting relevant zijn voor het milieuprofiel van het proces, zijn gekwantificeerd.</i> <i>Zwaartepuntanalyses zijn gebruikt om de relevante economische stromen te identificeren. Van deze materialen zijn specifieke gegevens toegepast.</i>
3. Massabalans op procesniveau	<i>Sluiting >95%.</i> <i>De hoeveelheid materialen toegepast volgt direct uit de Bill-Of-Materials en product samenstellingen van de componenten</i>
4. Massabalans op bedrijfsniveau	<i>onbekend.</i> <i>Er zijn geen bedrijfsniveau materiaalgegevens beschikbaar gesteld als gevolg van de complexe productieketen. De gegevens waren reeds toegekend aan de losse producten of conservatief overgenomen vanuit Ecoinvent 3.6</i>
5. Energie balans op bedrijfsniveau	<i>onbekend.</i> <i>Er zijn geen bedrijfsniveau energiegegevens beschikbaar gesteld als gevolg van de complexe productieketen. De gegevens waren reeds toegekend aan de losse producten of conservatief overgenomen vanuit Ecoinvent 3.6</i>
Representativiteit	
1. Tijdsgebonden representativiteit	<i>2-5 jaar verschil.</i>
2. Geografische representativiteit	<i>De locatie van het proces staat in directe relatie met het gewenste gebied.</i> <i>De productiegegevens zijn verzameld voor in Nederland 'typerende' systemen.</i>
3. Technologische representativiteit	<i>Gegevens van bedrijven, proces en product van studie.</i> <i>De productiegegevens zijn representatief voor hetzelfde productieproces en type product.</i>
Consistentie	
1. Uniformiteit en consistentie	<i>De gegevens die samen >80% van de milieueffecten bepalen, zijn op gelijke wijze bepaald.</i>
Reproduceerbaarheid	
1. Reproduceerbaarheid door derden	<i>Procesbeschrijving volledig kwantitatief reproduceerbaar met de gebruikte milieu-ingrepen voor de processen die >80% van de milieueffecten bepalen.</i>

4 Levenscyclusanalyse

4.1 Berekening milieuprofiel

In deze LCA zijn de volgende rekenprocedures toegepast:

- De berekeningen in deze LCA zijn gemaakt volgens de eisen en richtlijnen van NEN-EN 15804+A2 en de NMD-Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken.
- De milieu-ingrepen zijn berekend met de methoden die zijn omschreven in NEN-EN 15804+A2 aangevuld met karakterisatiefactoren uit de bepalingmethode (versie 1.1, maart 2022, NMD 3.5).
- De indicatoren die grondstoffenverbruik beschrijven zijn afgeleid van de LCI. Het gaat hierbij om o.a. secundaire materiaal en het gebruik van primaire energie als materiaal. Voor ieder referentieproduct dat is doorgerekend zijn de volgende rekenresultaten opgenomen in bijlage III: Milieueffectenbeoordeling, stoffenlijst (geaggregeerde LCI), checks (ongekarakteriseerde ingrepen).
- De LCA-berekeningen zijn uitgevoerd met SimaPro 9.5.0.0
- Ecoinvent processen zijn doorgerekend inclusief infrastructuurprocessen en kapitaalgoederen en exclusief lange termijn (>100 jaar) emissies.
- De berekening van het milieueffect Global Warming Potential, Biogenic is onjuist op basis van Ecoinvent 3.6 en karakterisatieset van EN15804+A2. Dit volgt uit een onjuiste allocatie van de opname van CO₂ in biobased producten in de Ecoinvent 3.6 achtergrondgegevens. Om deze fout te corrigeren is de opname in A1-3 berekend specifiek en alleen op basis van de biogenic carbon-content van het product en het verpakkingsmateriaal. De emissie van deze opname is vervolgens in de relevante modules gedeclareerd.

Compleetheid milieu-ingrepen

De in de LCA beschouwde ingrepen 'totale stoffenlijst' en de 'niet-gekaracteriseerde ingrepen' zijn per doorgerekend proces in de relevante bijlage opgenomen. Voor de ingrepen uit de gebruikte NMD-rekenmethode, zoals aangewezen in de NMD-bepalingsmethode en conform de NEN-EN 15804, die niet in de relevante bijlage van dit rapport staan, is onbekend of de ingreep plaatsvindt. We verwachten niet dat ingrepen zijn weggelaten die redelijkerwijs kunnen voorkomen in een hoeveelheid die de uitkomsten van de LCA beïnvloeden.

4.2 LCA-rekenresultaten en schaduwrijzen

Tabel 4.1 bevat de rekenresultaten van de functionele eenheid in de gedeclareerde levenscyclusfasen (met uitzondering van de levensfasen die '0' gedeclareerd zijn). Ook is de schaduwrijzen die behoort bij het milieuprofiel in de tabellen opgenomen.

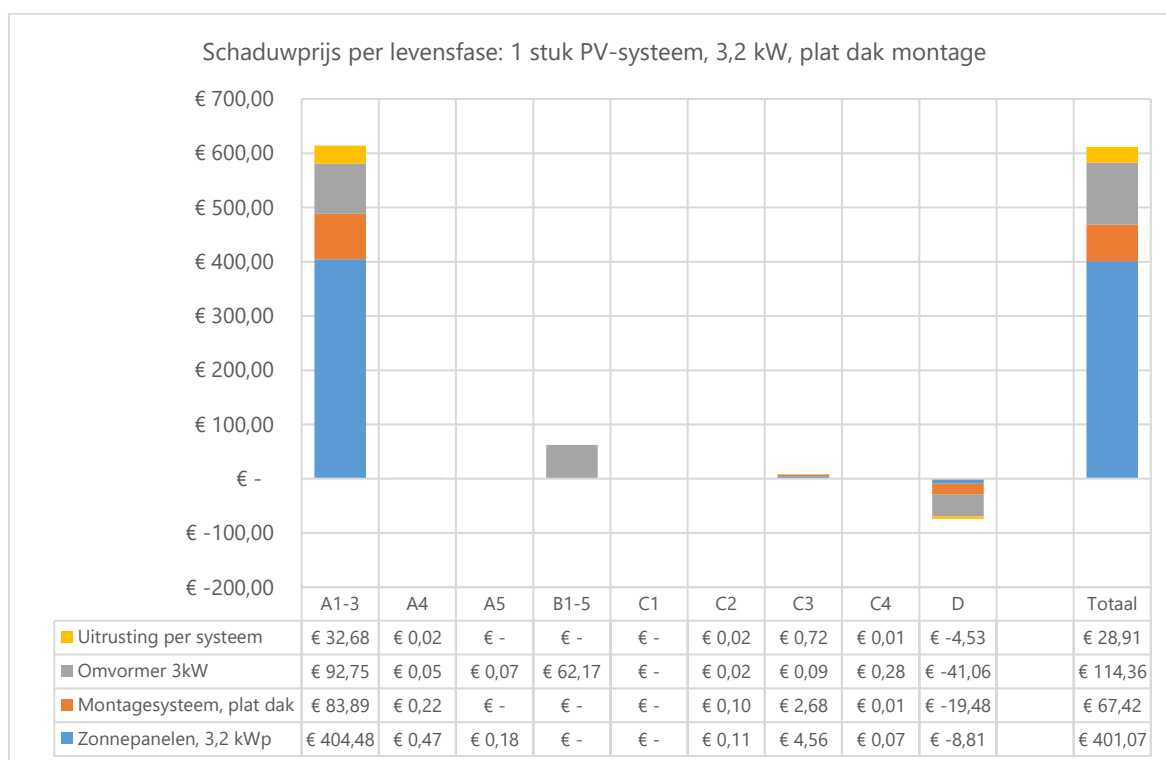
Tabel 4.1

1 stuk PV-Systeem, 3,2 kWp, plat dak montage

		Totaal	A1-A3	A4	A5	B1-B5	C1	C2	C3	C4	D
Indicatoren Set 1											
abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq.	7,88E-01	7,63E-01	1,62E-04	3,14E-05	5,17E-02	0,00E+00	4,79E-05	2,83E-04	3,72E-06	-2,71E-02
abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq.	2,59E+01	2,65E+01	4,66E-02	5,92E-03	9,86E-01	0,00E+00	1,68E-02	5,46E-02	4,14E-03	-1,77E+00
global warming (GWP)	kg CO2 eq.	3,71E+03	3,69E+03	6,34E+00	2,09E+00	1,43E+02	0,00E+00	2,27E+00	1,26E+02	2,02E+00	-2,60E+02
ozone layer depletion (ODP)	kg CFK-11 eq.	4,01E-04	4,01E-04	1,13E-06	1,37E-07	1,04E-05	0,00E+00	4,16E-07	2,88E-06	9,47E-08	-1,49E-05
photochemical oxidation (POCP)	kg ethyleen eq.	3,10E+00	3,16E+00	3,83E-03	1,14E-03	2,20E-01	0,00E+00	1,39E-03	5,63E-03	4,31E-04	-2,94E-01
acidification (AP)	kg SO2 eq.	2,28E+01	2,31E+01	2,79E-02	4,84E-03	2,52E+00	0,00E+00	9,12E-03	6,04E-02	2,31E-03	-2,90E+00
eutrophication (EP)	kg PO4- eq.	2,90E+00	2,91E+00	5,48E-03	1,16E-03	2,00E-01	0,00E+00	1,78E-03	9,83E-03	6,69E-04	-2,35E-01
human toxicity (HT)	kg 1,4-DCB eq.	2,98E+03	2,99E+03	2,67E+00	1,10E+00	4,21E+02	0,00E+00	7,09E-01	1,39E+01	2,72E+00	-4,57E+02
Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DCB eq.	6,05E+01	6,37E+01	7,80E-02	2,62E-02	1,01E+01	0,00E+00	2,40E-02	4,22E-01	5,81E-02	-1,40E+01
Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DCB eq.	2,75E+05	2,79E+05	2,80E+02	1,63E+02	4,28E+04	0,00E+00	7,64E+01	1,24E+03	7,47E+01	-4,85E+04
Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	kg 1,4-DCB eq.	1,71E+01	1,34E+01	9,44E-03	2,66E-03	1,41E+00	0,00E+00	3,04E-03	2,76E-02	7,49E-04	2,22E+00
Indicatoren Set 2											
Climate change	kg CO2 eq.	3,79E+03	3,77E+03	6,40E+00	1,99E+00	1,46E+02	0,00E+00	2,29E+00	1,26E+02	2,17E+00	-2,69E+02
Climate change - Fossil	kg CO2 eq.	3,78E+03	3,77E+03	6,40E+00	1,99E+00	1,46E+02	0,00E+00	2,29E+00	1,26E+02	2,17E+00	-2,69E+02
Climate change - Biogenic	kg CO2 eq.	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Climate change - Land use and LU change	kg CO2 eq.	6,02E+00	6,12E+00	2,34E-03	3,22E-04	2,63E-01	0,00E+00	6,96E-04	9,83E-03	1,51E-04	-3,74E-01
Ozone depletion	kg CFC11 eq.	3,86E-04	3,87E-04	1,41E-06	1,67E-07	1,04E-05	0,00E+00	5,23E-07	2,94E-06	1,18E-07	-1,60E-05
Acidification	mol H+ eq.	2,78E+01	2,82E+01	3,71E-02	6,49E-03	2,93E+00	0,00E+00	1,21E-02	7,70E-02	3,07E-03	-3,41E+00
Eutrophication, freshwater	kg P eq.	2,88E-01	2,88E-01	6,45E-05	1,56E-05	3,04E-02	0,00E+00	1,92E-05	4,43E-04	5,53E-06	-3,07E-02
Eutrophication, marine	kg N eq.	4,39E+00	4,44E+00	1,31E-02	2,41E-03	2,47E-01	0,00E+00	4,13E-03	2,04E-02	1,44E-03	-3,40E-01
Eutrophication, terrestrial	mol N eq.	5,23E+01	5,32E+01	1,44E-01	2,54E-02	3,19E+00	0,00E+00	4,55E-02	2,28E-01	1,19E-02	-4,47E+00
Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq.	1,58E+01	1,61E+01	4,11E-02	8,01E-03	9,87E-01	0,00E+00	1,34E-02	6,08E-02	3,58E-03	-1,39E+00
Resource use, minerals and metals	kg Sb eq.	7,88E-01	7,63E-01	1,62E-04	3,14E-05	5,17E-02	0,00E+00	4,79E-05	2,83E-04	3,72E-06	-2,71E-02
Resource use, fossils	MJ	4,74E+04	4,81E+04	9,65E+01	1,23E+01	1,83E+03	0,00E+00	3,50E+01	1,08E+02	8,62E+00	-2,86E+03
Water use	m3 depriv.	2,53E+03	2,53E+03	3,45E-01	2,31E-01	5,03E+01	0,00E+00	1,17E-01	5,17E+00	1,53E-01	-5,19E+01
Particulate matter	disease inc.	2,17E-04	2,23E-04	5,74E-07	1,04E-07	1,14E-05	0,00E+00	1,86E-07	7,60E-07	5,62E-08	-1,90E-05
Ionising radiation	kBq U-235 eq.	1,54E+02	1,49E+02	4,04E-01	5,35E-02	7,10E+00	0,00E+00	1,49E-01	4,87E-01	3,56E-02	-2,36E+00
Ecotoxicity, freshwater	CTUe	1,71E+05	1,77E+05	8,60E+01	2,74E+01	2,88E+04	0,00E+00	2,82E+01	1,51E+03	5,27E+02	-3,70E+04
Human toxicity, cancer	CTUh	4,49E-06	4,51E-06	2,79E-09	1,25E-09	4,75E-07	0,00E+00	8,20E-10	2,13E-08	3,01E-10	-5,19E-07
Human toxicity, non-cancer	CTUh	2,07E-04	1,97E-04	9,41E-08	3,11E-08	2,88E-05	0,00E+00	2,75E-08	5,40E-07	2,88E-08	-1,92E-05
Land use	Pt	1,46E+04	1,42E+04	8,37E+01	5,86E+00	1,04E+03	0,00E+00	3,57E+01	1,04E+02	1,79E+01	-9,19E+02
Informatie over grondstofgebruik											
Energy, primary, renewable, excluding usage as material	MJ	6,02E+03	5,99E+03	1,21E+00	4,04E-01	2,46E+02	0,00E+00	3,93E-01	1,27E+01	1,88E-01	-2,31E+02
Energy, primary, renewable, used as material	MJ	8,29E+02	8,29E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energy, primary, renewable (MJ)	MJ	6,85E+03	6,82E+03	1,21E+00	4,04E-01	2,46E+02	0,00E+00	3,93E-01	1,27E+01	1,88E-01	-2,31E+02
Energy, primary, non-renew., excl. usage as material	MJ	4,87E+04	4,95E+04	1,02E+02	1,31E+01	1,95E+03	0,00E+00	3,71E+01	1,15E+02	9,16E+00	-3,08E+03
Energy, primary, non-renewable, used as material	MJ	1,81E+03	1,81E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energy, primary, non-renewable (MJ)	MJ	5,05E+04	5,14E+04	1,02E+02	1,31E+01	1,95E+03	0,00E+00	3,71E+01	1,15E+02	9,16E+00	-3,08E+03
Secondary material (kg)	kg	1,52E+02	1,52E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Secondary fuel, renewable (kg)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Secondary fuel, non-renewable (kg)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Water, fresh water use (m3)	m3	1,31E-01	2,10E-01	2,84E-04	7,09E-03	0,00E+00	4,68E-04	1,40E-04	1,20E-03	6,37E-05	-8,83E-02
Informatie over afval											
Waste, hazardous (kg)	kg	2,16E+00	2,06E+00	2,44E-04	3,43E-05	6,50E-02	0,00E+00	8,76E-05	2,78E-04	1,10E-05	3,38E-02
Waste, non hazardous (kg)	kg	5,85E+02	5,30E+02	6,12E+00	7,59E-01	2,84E+01	0,00E+00	2,67E+00	5,98E+00	4,90E+01	-3,87E+01
Waste, radioactive (kg)	kg	1,29E-01	1,25E-01	6,33E-04	7,66E-05	5,80E-03	0,00E+00	2,34E-04	4,98E-04	5,36E-05	-3,35E-03
Informatie over outputstromen											
Components for re-use (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Materials for recycling (kg)	kg	4,74E+02	1,19E+00	0,00E+00	2,89E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,44E+02	0,00E+00	0,00E+00
Materials for energy recovery (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Exported energy, electric (MJ)	MJ	3,00E+02	0,00E+00	0,00E+00	5,39E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,46E+02	0,00E+00	0,00E+00
Exported energy, thermal (MJ)	MJ	5,17E+02	0,00E+00	0,00E+00	9,30E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,24E+02	0,00E+00	0,00E+00
Weging (1-punt score)											
Milieukostenindicator (MKI)	€	611,772	613,802	0,764	0,254	62,170	0,000	0,244	8,041	0,372	-73,875

4.3 Zwaartepuntanalyse

In figuur 4.1 zijn de MKI-resultaten per module weergegeven. Dit geeft hiermee inzicht in het zwaartepunt van de levenscyclusfasen op basis van de schaduwprijs (MKI). De zwaartepuntanalyse laat zien dat voor het systeem, over de gehele levenscyclus, de productiefase dominant is, met daaropvolgend een geringe bijdrage van de gebruiksfase door de vervanging van de omvormer. Een beperkte hoeveelheid baten worden behaald door recycling aan het einde van de levensduur. Hier is veel ruimte voor verbetering bij hoogwaardiger hergebruik van de componenten.

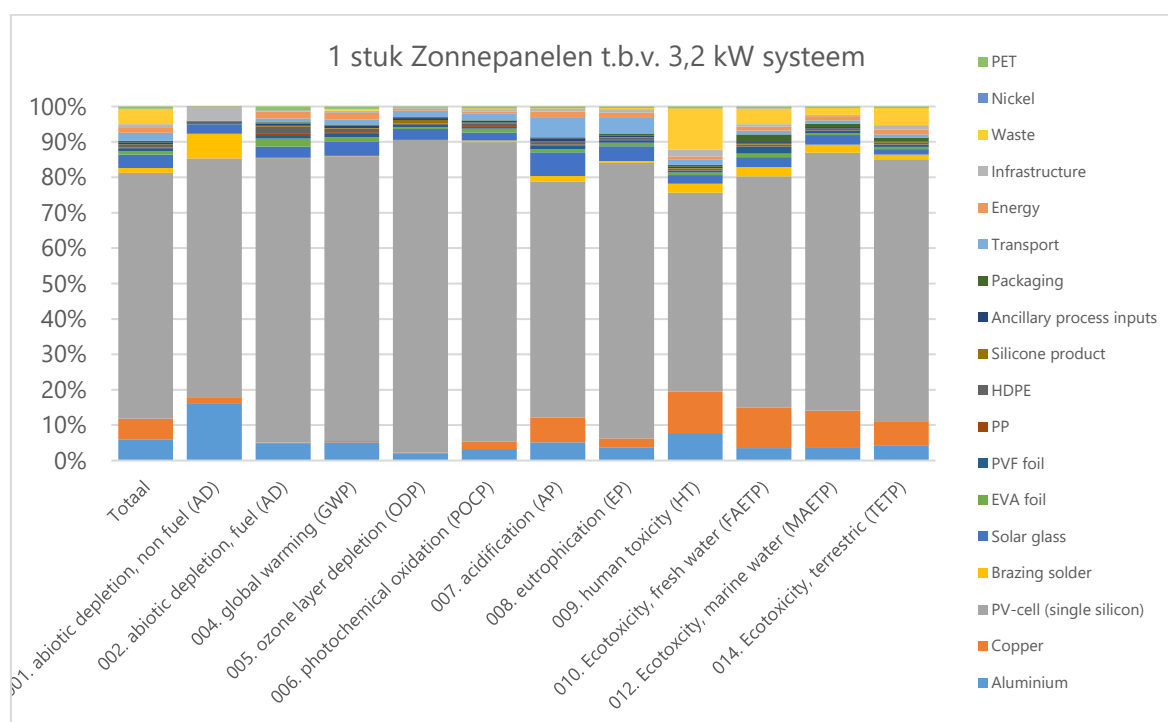


Figuur 4.1

MKI-waarden per functionele eenheid per module

In figuur 4.2 is voor specifiek de productiefase van de zonnepanelen inzichtelijk gemaakt welke processen het meest bijdragen aan de specifieke milieueffecten. De zwaartepuntanalyse laat zien dat bij het milieueffect:

- *Klimaatsverandering (40% bijdrage aan MKI)*; De PV-cel 80% bijdraagt aan het milieueffect, het aluminium \approx 5% en het glas \approx 4%.
- *Humane toxiciteit (32% bijdrage aan MKI)*; De PV-cel 80% circa \approx 56% bijdraagt aan het milieueffect, het koper \approx 12%, de afvalproductie \approx 12%, en het aluminium \approx 8%.
- *Verzuring (16% bijdrage aan MKI)*; De PV-cel 67% bijdraagt aan het milieueffect, het koper en het glas, beide \approx 7% en het aluminium \approx 5%.

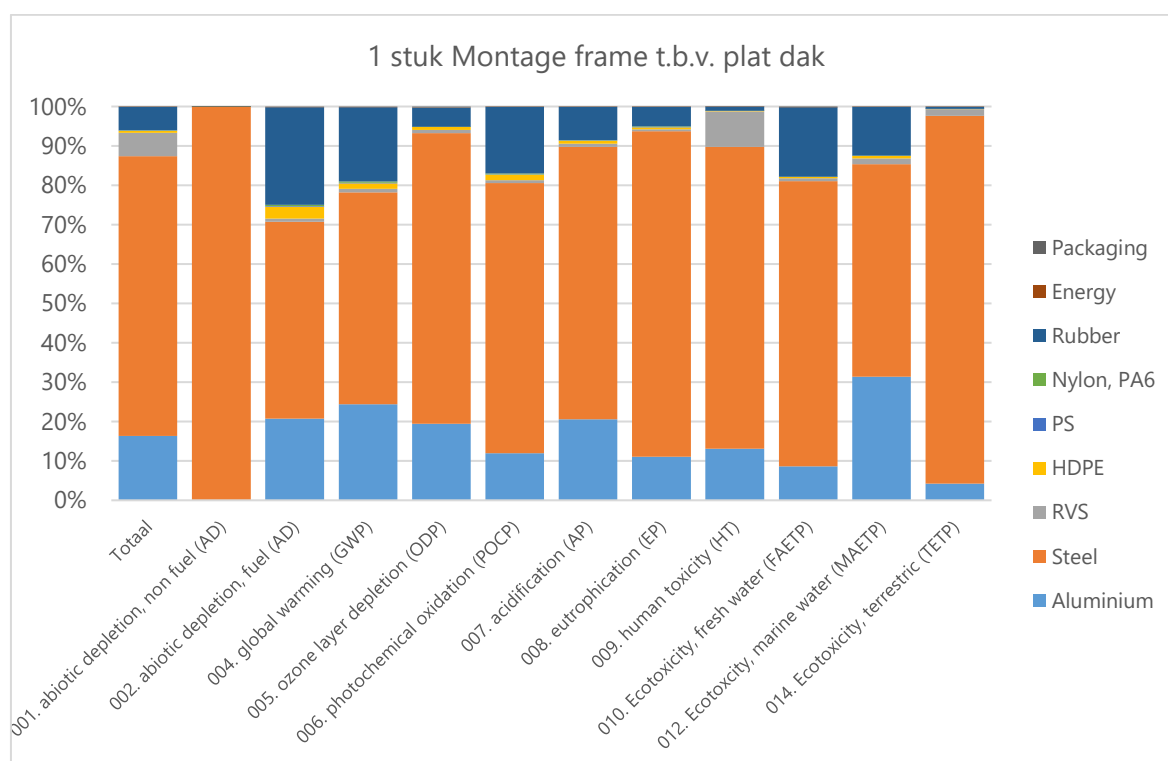


Figuur 4.2

Zwaartepuntanalyse; productiefase (A1-3): Zonnepanelen

In figuur 4.3 is voor specifiek de productiefase van het plat dak montageframe inzichtelijk gemaakt welke processen het meest bijdragen aan de specifieke milieueffecten. De zwaartepuntanalyse laat zien dat bij het milieueffect:

- *Klimaatverandering (22% bijdrage aan MKI)*; Het staal 46% bijdraagt aan het milieueffect, het aluminium $\approx 21\%$, de rubber tegeldrager $\approx 16\%$. en het productieafval $\approx 14\%$.
- *Humane toxiciteit (61% bijdrage aan MKI)*; Het staal 73% bijdraagt aan het milieueffect, het aluminium $\approx 12\%$ en het RVS $\approx 9\%$.
- *Verzuring (10% bijdrage aan MKI)*; Het staal 69% bijdraagt aan het milieueffect, het aluminium $\approx 21\%$ en de rubber tegeldragers $\approx 8\%$.

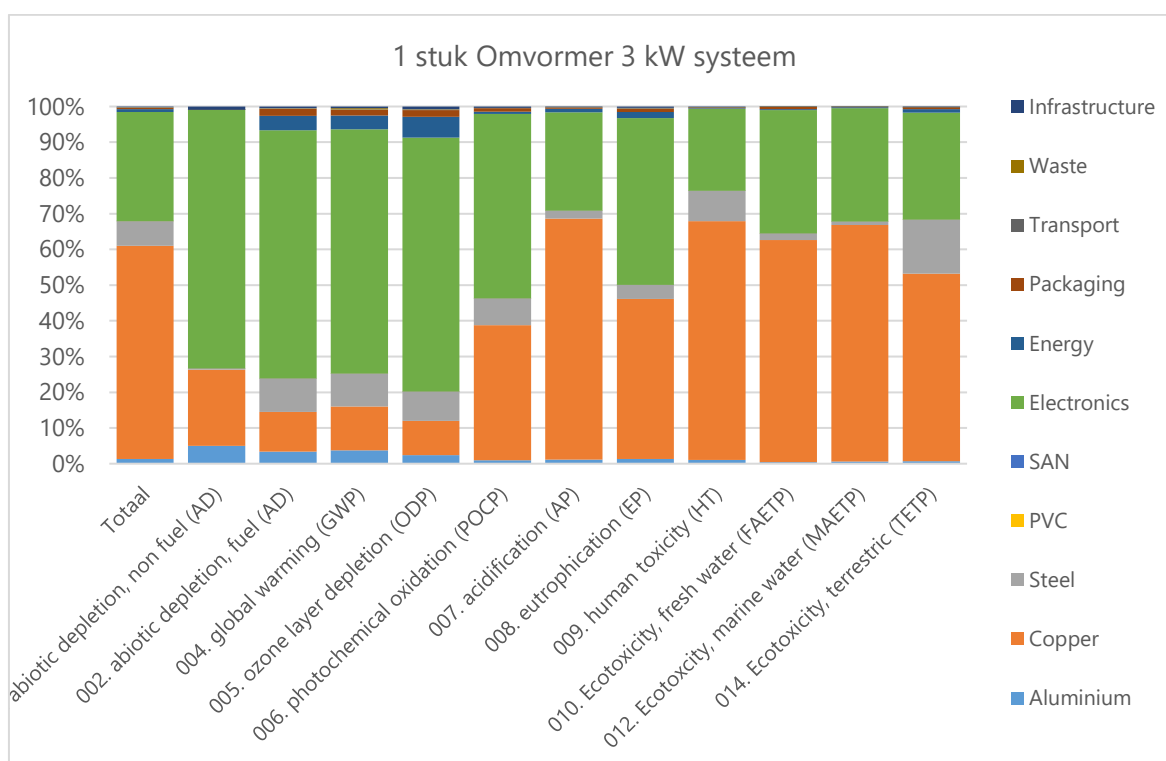


Figuur 4.3

Zwaartepuntanalyse; productiefase (A1-3): Montageframe, plat dak

In figuur 4.4 is voor specifiek de productiefase van de omvormer inzichtelijk gemaakt welke processen het meest bijdragen aan de specifieke milieueffecten. De zwaartepuntanalyse laat zien dat bij het milieueffect:

- *Klimaatverandering (11% bijdrage aan MKI)*; De elektronica 68% bijdraagt aan het milieueffect, het koper $\approx 12\%$, het staal $\approx 9\%$ en het aluminium $\approx 4\%$.
- *Humane toxiciteit (61% bijdrage aan MKI)*; De elektronica 23% bijdraagt aan het milieueffect, het koper $\approx 67\%$, het staal $\approx 9\%$ en het aluminium $\approx 4\%$.
- *Verzuring (16% bijdrage aan MKI)*; De elektronica 28% bijdraagt aan het milieueffect, het koper $\approx 67\%$, het staal $\approx 2\%$.

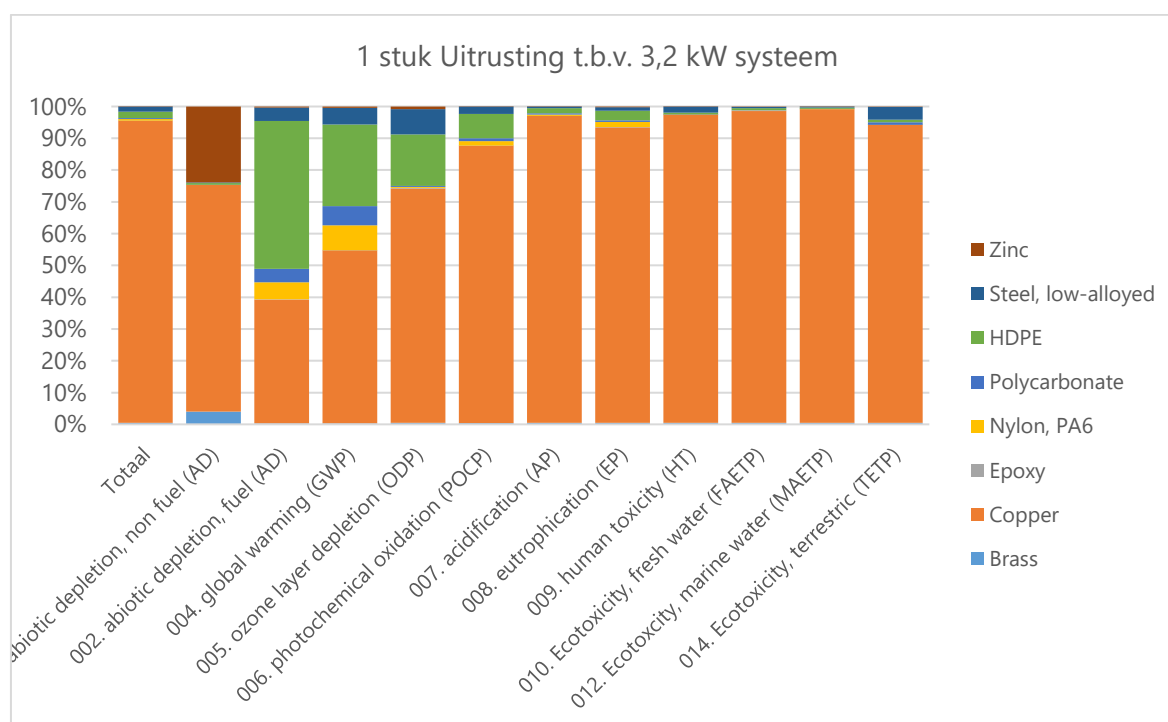


Figuur 4.4

Zwaartepuntanalyse; productiefase (A1-3): Omvormer

In figuur 4.5 is voor specifiek de productiefase van de uitrusting (bekabeling en koppelkast) inzichtelijk gemaakt welke processen het meest bijdragen aan de specifieke milieueffecten. De zwaartepuntanalyse laat zien dat bij het milieueffect:

- *Klimaatverandering (4% bijdrage aan MKI)*; Het koper $\approx 55\%$ bijdraagt aan het milieueffect, het HDPE $\approx 26\%$, het nylon $\approx 8\%$ en het staal $\approx 5\%$.
- *Humane toxiciteit (67% bijdrage aan MKI)*; Het koper $\approx 97\%$ bijdraagt aan het milieueffect.
- *Verzuring (18% bijdrage aan MKI)*; Het koper $\approx 97\%$ bijdraagt aan het milieueffect.
- *Ecotoxiciteit, zee water (7% bijdrage aan MKI)*; Het koper $\approx 99\%$ bijdraagt aan het milieueffect.



Figuur 4.5

Zwaartepuntanalyse; productiefase (A1-3): Uitrusting

4.4 Gevoeligheidsanalyse

In overeenstemming met de bepalingsmethode moet, indien van toepassing, een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd worden om inzicht te geven in de spreiding als gevolg van de belangrijkste keuzes en aannames. Een gevoeligheidsanalyse mag achterwege blijven als aantoonbaar een worst-case als uitgangspunt is genomen. Per onderwerp is dit als volgt beschouwd:

- *Geografische- en technologische spreiding:*

- Uitrusting: Voor de bekabeling en de koppelkast zijn geen specifieke gegevens toegepast. Het bestaande Ecoinvent achtergrondproces is op representativiteit beoordeeld en aangepast aan de actuele scope van het Holland Solar milieuprofiel. De uitrusting draagt in het totale systeem 5% bij aan de MKI en (in de productiefase) maximaal 14% in een individueel milieuprofiel. Het is niet aannemelijk dat enige spreiding als gevolg van deze aanpassingen een significante invloed heeft op het complete milieuprofiel van het PV-systeem die de 20% overstijgt.

- *Spreiding in een gemiddelde samenstelling:*
 - Zonnepanelen: De afwijkingen van de materialisatie van de specifieke zonnepanelen ten opzichte van het gemiddelde milieuprofiel dat is opgesteld is beoordeeld (zie Bijlage IV, tabblad: PV Average panel). De grootste afwijking ten opzichte van het gewogen gemiddelde in een individueel milieueffect geeft een onderschatting van 11%. Op MKI-niveau is de maximale afwijking 10% (zie bijlage IV). Dit voldoet aan de maximale afwijking van 20%.
 - Omvormer: Specifieke gegevens waren niet toereikend om een gemiddelde op te stellen. Zodoende is het generieke Ecoinvent achtergrondproces toegepast als referentie. Deze is op basis van massa geschaald op basis van technische datasheets van de individuele producten. Wel is een validatieberekening gedaan op basis van de specifieke gegevens die wij wel hebben verkregen van één fabrikant (zie bijlage IV). Uit de berekening blijkt dat het toepassen van het Ecoinvent profiel met de gecorrigeerde productmassa een conservatief uitgangspunt is op MKI-niveau. De validatieberekening geeft wel een onderschatting op het milieueffect klimaatverandering echter omdat dit milieueffect slechts beperkt meeweegt in het totale milieueffect heeft dit slechts beperkt invloed. Als van het gehanteerde milieuprofiel en de worst-case validatieberekening voor alle milieueffecten de hoogste waarde wordt gepakt, dan zou de maximale milieu-impact van dit hypothetische product 12% hoger zijn.
In de gevoeligheidsanalyse is te zien dat er, tussen de producten die zijn vergeleken, grote verschillen zitten tussen de gekarakteriseerde milieueffecten klimaatverandering en humane toxiciteit. Dit heeft te maken met het feit dat in het Ecoinvent achtergrondproces er circa 5 kg koper als algemene materiaalinput is toegepast. In het model van de omvormer die is opgesteld op basis van de specifieke gegevens is te zien dat er geen koper als inputmateriaal is benoemd, maar dat de productmassa volgt uit de keuze van specifieke componenten. De betreffende componenten hebben zelf wel op hun beurt wel weer een fractie koper als materiaalinput maar niet in de hoeveelheden zoals deze zijn opgenomen in het standaard Ecoinvent proces. Koper heeft de grootste bijdrage aan Humane toxiciteit, de productie van de losse elektronische componenten hebben een relatief grotere bijdrage aan het milieueffect klimaatverandering. In het specifieke model van de omvormer is dan ook te zien dat de verschuiving van de hoeveelheid koper naar de hoeveelheid elektronische componenten een verschuiving geeft van humane toxiciteit naar klimaatverandering.
 - Montageframes: Specifieke gegevens van twee fabrikanten zijn gecombineerd op basis van een worst-case samenstelling.

- Middeling bij het opstellen van een groepsgemiddelde:
 - *Zie: Spreiding in gemiddelde samenstelling.*

- Onzekerheid uitgangspunten binnen de allocatie bij recycling
 - *n.v.t.*
- Allocatie bij multi-input- en multi-output-processen indien niet de standaard verdeelsleutel is gebruikt.
 - *Niet van toepassing, allocatie van milieu-impact heeft niet plaats gevonden.*

LBP|SIGHT



ir. R.A. Kraaijenbrink

Bijlage I

Life Cycle Inventory

Excel bijlage: Bijlage I - LCI Holland Solar compleet.xlsx

Bijlage II

Life Cycle Impact Assessment

Excel bijlage: Bijlage II - LCIA PV systeem_platdak.xlsx

Bijlage III
Gevoeligheidsanalyse

Excel bijlage: Bijlage III - Gevoeligheidsanalyse.xlsx