



LCA-rapportage categorie 3 data

B&U Elementgroep 61.1: Centrale elektrotechnische voorzieningen; energie en opwekking – zon

Stichting Nationale Milieudatabase

Versie: 1.0
Datum: 3-11-2025
Plaats: Den Haag
Status: Definitief

Colofon

Titel: LCA-rapportage categorie 3 data
B&U Elementgroep 61.1: Centrale elektrotechnische voorzieningen;
energie en opwekking – zon

Versienummer: V1.0

Contactpersoon: Nicoline Opbroek, Stichting Nationale Milieudatabase

LCA opsteller(s) Vince Evers, Dispersed B.V.
originele versie:

Peer reviewer(s): Kamiel Jansen, TNO

Markt consultatie: Enerzien B.V.

Documentbeheer

Datum	Versie	LCA opsteller(s)	Opmerkingen
03-11-2025	1.0	Dispersed B.V.	Herziening elementgroep 61.1

Inhoudsopgave

Colofon	2
Documentbeheer	2
1. Inleiding.....	7
1.1 Doelstelling en doelgroep.....	7
1.2 Definities	7
1.3 Verantwoording.....	8
1.4 Actualisatie.....	10
1.5 Zoekfunctie	10
2. Beschouwde elementen, componenten en productvarianten	11
2.1 Elementen.....	11
2.2 Componenten	12
2.3 Producten.....	13
2.3.1 Typen en varianten	13
2.3.2 Uitgesloten producten.....	15
2.4 Functionele eenheid	16
2.5 Dimensionering en schaling	17
3. Materialisatie.....	19
3.1 Generieke aannames	19
3.2 Opbouw	21
3.3 Productsamenstellingen	21
3.3.1 PV-paneel, monokristallijn	22
3.3.2 PV-paneel, polykristallijn.....	23
3.3.3 PV-paneel, amorf (dunne film).....	24
3.3.4 Omvormer, 0,5 kW, 93,5% efficiëntie	25
3.3.5 Omvormer, 2,5 kW, 93,5% efficiëntie	26
3.3.6 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak	27
3.3.7 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak	28
3.3.8 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel	29
3.3.9 Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels	30
4. Levenscyclusinventarisatie (LCI).....	31
4.1 Aannamen levensloopsscenario's.....	31
4.1.1 Productiefase (A1-A3).....	31
4.1.2 Transportfase (A4, C2)	33
4.1.3 Bouw- en aanlegfase (A5)	33
4.1.4 Gebruiksfase (B1-B4)	34

4.1.5	Sloopfase (C1)	34
4.1.6	Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)	34
4.2	Aannamen toegepaste basisprofielen	35
4.3	Koppeltabellen	36
4.3.1	PV-paneel, monokristallijn	37
4.3.2	PV-paneel, polykristallijn	38
4.3.3	PV-paneel, amorf (dunne film)	39
4.3.4	Omvormer, 0,5 kW, 93,5% efficiëntie	40
4.3.5	Omvormer, 2,5 kW, 93,5% efficiëntie	41
4.3.6	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak	42
4.3.7	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak	43
4.3.8	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel	44
4.3.9	Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels	45
5.	Milieuprestatie producten (LCA)	46
5.1	Milieuprofielen en MKI per product	46
5.2	Zwaartepuntanalyse: duiding van de resultaten	47
5.2.1	PV-panelen	48
5.2.2	Omvormers	51
5.2.3	Montagesystemen	53
5.2.4	Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels	56
5.3	Gevoeligheidsanalyse	57
5.3.1	Transportafstanden	57
5.3.2	Glas in kristallijnen PV-panelen	58
6.	Referenties	59
	Bijlagen	60
	Bijlage 1: Databronnen per milieuverklaring	60

Milieuverklaringen in deze rapportage

61.1 Centrale elektrotechnische voorzieningen; energie en opwekking			
ID	Producten	Eenheid	Schaling
	PV-paneel, monokristallijn	m ²	nee
	PV-paneel, polykristallijn	m ²	nee
	PV-paneel, amorf (dunne film)	m ²	nee
	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak	m ²	nee
	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak	m ²	nee
	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel	m ²	nee
	Omvormer, 0,5 kW, 93,5% efficiëntie	stuks	nee
	Omvormer, 2,5 kW, 93,5% efficiëntie	stuks	nee
	Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels	m ²	nee

Wijzigingenregister

Datum	Versie	Opsteller, peer reviewer, marktconsultatie	Naam gewijzigde MV	ID	Toelichting wijziging
xx-xx-xxxx	x.x	Opsteller: [organisatie] Peer reviewer: [organisatie] Marktconsultatie: [organisatie OF 'nee']	[naam]	xxxxxx	[beknopte toelichting]

1. Inleiding

Deze LCA-rapportage beschrijft de uitgangspunten en resultaten voor de categorie 3 data voor 'B&U Elementgroep 61.1: Centrale elektrotechnische voorzieningen; energie en opwekking – zon' in de Nationale Milieudatabase.

De B&U-data in de Nationale Milieudatabase wordt gebruikt voor het berekenen van de materiaalgebonden milieuprestatie van bouwwerken (MPG-berekening). De milieuprestatie wordt berekend door middel van de bepalingen in de 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken'. Met rekeninstrumenten kan met behulp van de Nationale Milieudatabase de MPG-berekening voor een bouwwerk berekend worden. Zie voor meer informatie de website van Stichting NMD: www.milieudatabase.nl.

1.1 Doelstelling en doelgroep

Doel

De opgave is om met de beschikbare categorie 3 milieuverklaringen tot een MPG-invoer te kunnen komen, die het werkelijke gebouw(ontwerp) afdoende representeert.

In dit rapport wordt de samenstelling van verschillende PV-panelen, omvormers, montagesystemen, en bekabeling onderbouwd, die onderdeel zijn van elementgroepcode NL-SfB 61.1.

Doelgroep

De studie is opgesteld voor de volgende doelgroepen:

- Stichting NMD als beheerder van de Nationale Milieudatabase (NMD).
- Opdrachtgevers in de B&U-sector als basis voor referentieontwerpen, verkennende (ontwerp)studies en voor gebruik in aanbestedingen.
- Marktpartijen zoals ingenieurs- en adviesbureaus en aannemers actief in de B&U-sector als informatiebron voor het gebruik van de NMD-data via rekeninstrumenten.
- Opstellers van LCA's om inzicht te krijgen in de uitgangspunten van de categorie 3 data.

1.2 Definities

De belangrijkste definities voor dit rapport worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 1: Definities voor dit rapport

Term	Betekenis
Elementgroep	De eerste twee cijfers van de elementen in een bouwwerk zijn gecodeerd volgens NL-SfB: elementgroepcode 13: Vloeren op grondslag
Element	Verdere opdeling van een elementgroep: 13.1: niet-constructief, 13.2: constructief
Component	Uitsplitsing van een element in belangrijkste onderdelen die nodig zijn om samen het element te vormen

Product	Samenstelling van meerdere, een enkel of een deel van een component. Ieder product heeft zijn eigen milieuverklaring. Per product dient duidelijk te worden beschreven wat er in zit en welke element en component het afdekt
Productvarianten	Uitvoeringsvarianten van een specifiek product, zoals een breedplaatvloer
Milieuverklaring	Informatie en milieudata over een product of proces die verkregen is uit een levenscyclusanalyse (materialen, hoeveelheden per FE, levensduren (cycli), emissies gebruiksfase, bouwafval, verwerkingsscenario einde leven)
Productsamenstellingen of compleet product	Milieuverklaring, die een compleet element afdekt
Monokristallijn	PV-technologie waarbij zonnecellen worden gemaakt uit één enkel kristalstructuur van silicium. Deze panelen hebben doorgaans een hoog rendement en een uniforme, donkergekleurde uitstraling.
Polykristallijn	PV-technologie waarbij zonnecellen bestaan uit meerdere siliciumkristallen. Dit leidt tot een lagere productiekost en een iets lager rendement ten opzichte van monokristallijne cellen.
Amorf/dunne film	PV-technologie gebaseerd op een amorfe (niet-kristallijne) siliciumlaag of andere dunne halfgeleidermaterialen. Deze panelen zijn dun, licht en flexibel, maar hebben een lager rendement per oppervlakte-eenheid.
Montagesysteem	Constructieve onderdelen en bevestigingsmaterialen die nodig zijn om PV-panelen op daken, gevels of de grond te installeren. Kan bestaan uit rails, klemmen, schroeven en ondersteunende profielen.
AC en DC	Elektrische aanduidingen: DC (gelijkstroom) wordt opgewekt door de PV-panelen; AC (wisselstroom) is de vorm waarin elektriciteit meestal wordt gebruikt en geleverd aan het net, na omzetting door een omvormer.
BIPV	Building Integrated Photovoltaics (BIPV) zijn PV-systemen die geïntegreerd zijn in de gebouwschil, bijvoorbeeld in gevels of dakbedekking. Ze vervangen traditionele bouwmaterialen en combineren een constructieve functie met energieopwekking.

1.3 Verantwoording

Eisen en richtlijnen

De LCA is uitgevoerd conform de eisen en richtlijnen uit het "Protocol Initiëren, opstellen en peer reviewen categorie 3 data", welke in lijn is met de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken. De Bepalingsmethode is gebaseerd op de vigerende versies van de ISO 14040 - ISO14044 en de NEN-EN 15804-A2). Bij het uitvoeren is gebruik gemaakt van de databronnen zoals benoemd in Bijlage 1.

Systeemgrenzen

In dit LCA dossier is de milieu-impact over de gehele levenscyclus meegenomen:

Productiefase	A1	X	Winning van grondstoffen
	A2	X	Transport
	A3	X	Productie
Bouwfase	A4	X	Transport
	A5	X	Bouw- en installatieproces, aanleg
Gebruiksfase	B1	X	Gebruik
	B2	X	Onderhoud
	B3	X	Reparaties
	B4	X	Vervangingen
	B5	ND	Vernieuwing
	B6	ND	Operationeel energiegebruik
	B7	ND	Operationeel watergebruik
Sloop- en verwerkingsfase	C1	X	Sloop
	C2	X	Transport
	C3	X	Afvalbewerking
	C4	X	Finale afvalbewerking
Milieulasten en -baten buiten de systeemgrens van het bouwwerk	D	X	Mogelijkheden voor hergebruik, terugwinning en recycling

X: Module meegenomen in LCA-studie, ND: niet gedeclareerd

Tijdsperiode datacollectie

De LCA is in opdracht van Stichting NMD, uitgevoerd door Dispersed B.V.. De gegevensverzameling heeft plaatsgevonden in de periode van juni 2025 tot augustus 2025 waarna aansluitend de berekeningen zijn uitgevoerd en het LCA-dossier is opgesteld.

Peer review

Categorie 3 data ondergaat geen volledige toetsing conform Toetsingsprotocol. Er heeft wel een peer review plaatsgevonden door Kamiel Jansen, TNO. Peer review heeft plaatsgevonden conform "Protocol Initiëren, opstellen en peer reviewen categorie 3 data. In deze toetsing is gekeken naar o.a. de uitgangspunten van productsamenstelling en materiaalgebruik op basis van ontwerp- en praktijkkennis. Ook is de rekenwijze gecontroleerd.

Klachten

De Milieuverklaringen zoals deze op basis van deze studie zijn ingevoerd, zijn in beheer bij Stichting NMD. De studie is zorgvuldig uitgevoerd. Indien een derde van mening is dat de ingevoerde productkaarten en/of de onderhavige rapportage fouten bevatten, dan kan er een verzoek tot rectificatie worden ingediend bij Stichting NMD. Deze zal een dergelijk verzoek conform haar procedures afwikkelen. Hiervoor kan een e-mail gestuurd worden aan info@milieudatabase.nl.

1.4 Actualisatie

Categorie 3 data wordt automatisch geactualiseerd als Stichting NMD de NMD-basisprocessendatabase actualiseert, bijvoorbeeld als gevolg van een update van de EcolInvent database of wijziging in verwerking-scenario's einde leven. Dit kan betekenen dat de waarden die in deze rapportage zijn beschreven, zullen verouderen. In dit rapport staat beschreven welke versies van de NMD-Basisprocessendatabase en van de Bepalingsmethode zijn gebruikt voor het opstellen van de data en deze rapportage. De meest actuele categorie 3 data kan altijd ingezien worden in de gevalideerde rekeninstrumenten of de viewer van Stichting NMD.

1.5 Zoekfunctie

In hoofdstuk 3, 4 en 5 zijn overzichten aangebracht voor snelle navigatie naar de informatie over betreffende milieuverklaringen.

- [Overzicht hoofdstuk 3: Materialisatie](#)
- [Overzicht hoofdstuk 4: Levenscyclusinventarisatie \(LCI\)](#)
- [Overzicht hoofdstuk 5: Milieuprestatie producten \(LCA\)](#)

2. Beschouwde elementen, componenten en productvarianten

De opgave is om met de beschikbare categorie 3 milieuverklaringen tot een MPG-invoer te kunnen komen, die het werkelijke gebouw(ontwerp) afdoende representeert. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet op welke wijze dit voor de elementgroep *Centrale elektrotechnische voorzieningen* is uitgewerkt. Beschreven is welke type elementen in deze elementgroep zijn meegenomen en uit welke componenten ze kunnen bestaan. Vervolgens is te vinden welke productvarianten zijn uitgewerkt, om de componenten en elementen af te dekken. Per product wordt aangegeven wat de functionele eenheid is en wat de schalingsopties zijn.

2.1 Elementen

De elementgroep *Centrale elektrotechnische voorzieningen* valt binnen de NL-SfB elementgroepcode 61.1. Volgens de indeling van de NL-SfB is deze elementgroepcode verder opgedeeld in drie elementen:

- 61.1 - Centrale elektrotechnische voorzieningen; energie en opwekking
- 61.2 - Centrale elektrotechnische voorzieningen energiedistributie, middenspanning
- 61.3 - Centrale elektrotechnische voorzieningen energiedistributie, laagspanning

In Bijlage 2 zijn gedetailleerde beschrijvingen uit de NL-SfB opgenomen.

Scope

Er is voor gekozen om enkel voor de volgende elementen productvarianten uit te werken:

- 61.1 - Centrale elektrotechnische voorzieningen energie, opwekking -zon

Toelichting elementen buiten scope

Dit rapport richt zich specifiek op het element 61.1 – Centrale elektrotechnische voorzieningen energie, opwekking, zoals gedefinieerd binnen de NL-SfB-classificatie. Binnen dit element wordt een verdere onderverdeling gemaakt per type energieopwekker. Er is bewust voor gekozen om bijvoorbeeld PV-panelen en bijbehorende systemen (zoals omvormers, montagematerialen en monitoring) afzonderlijk te behandelen. Deze aanpak maakt het mogelijk om per opwekkingstechniek dieper in te gaan op de technische specificaties, toepassingscriteria en productvarianten. Hierdoor ontstaat een beter inzicht in de prestatie-eisen en ontwerpkeuzes per opwekkingsvorm. Bovendien geeft het de mogelijkheid om de cat. 1 en 2 data aan te vullen indien er specifieke elementen niet zijn meegenomen zoals montagesystemen en omvormers.

De elementen 61.2 – energiedistributie, middenspanning en 61.3 – energiedistributie, laagspanning vallen buiten de scope van dit document. Omdat deze distributievoorzieningen een ander functioneel doel en toepassingsgebied hebben dan energieopwekking, worden zij in een ander rapport uitgewerkt.

2.2 Componenten

Door elementen verder onder te verdelen in componenten, is het mogelijk om aan te geven of een product een volledig element afdekt of dat hier meerdere producten voor nodig zijn.

In de componenten worden de onderdelen meegenomen die direct bijdragen aan de opwekking, omzetting en overdracht van zonne-energie naar het elektriciteitsnet of het interne gebouwinstallatiesysteem. Met andere woorden: de onderdelen die noodzakelijk zijn om zonlicht om te zetten in bruikbare elektrische energie en deze veilig te transporteren. Montagesystemen worden meegenomen als functioneel onderdeel, aangezien zij essentieel zijn voor een correcte positionering, oriëntatie en verankering van de panelen. Bekabeling wordt opgenomen voor zover deze deel uitmaakt van de PV-installatie en nodig is voor de verbinding tussen panelen, omvormers en het aansluitpunt van de installatie.

PV-installaties (categorie 61.1) kunnen uit de volgende componenten bestaan:

- Fotovoltaïsche (PV) panelen: zetten zonlicht om in gelijkstroom (DC).
- Omvormers: converteren gelijkstroom naar wisselstroom (AC) geschikt voor direct gebruik en netinvoer.
- Montagesystemen: mechanische constructies voor bevestiging op daken.
- Bekabeling: DC- en AC-bekabeling, inclusief connectoren, voor de overdracht van elektrische energie binnen de installatie.

Tabel 2: Overzicht componenten

Componenten in NL-SfB categorie [nr]
61.1 Centrale elektrotechnische voorzieningen energie, opwekking
• Fotovoltaïsche (PV) panelen
• Omvormers
• Montagesystemen
• Bekabeling

Toelichting op bovenstaande componenten:

- **Fotovoltaïsche (PV) panelen**
Geprefabriceerde energie-opwekkende elementen, essentieel voor de omzetting van zonlicht in elektrische gelijkstroom. De panelen vormen het primaire functionele onderdeel van het zonnestroomsysteem en zijn opgebouwd uit meerdere zonnecellen, doorgaans geplaatst in een aluminium frame met gehard glas.

- **Omvormers**

Elektronische componenten die de door de PV-panelen opgewekte gelijkstroom (DC) omzetten in wisselstroom (AC), geschikt voor levering aan het elektriciteitsnet of gebruik in de gebouwinstallatie. Verkrijgbaar in string-, micro- of centrale uitvoeringen afhankelijk van de schaal van het systeem.

- **Montagesystemen**

Mechanische ondersteunende structuren voor de bevestiging van PV-panelen op daken. Samengesteld uit aluminium profielen met stalen bevestigingen, afgestemd op het daktype (hellend of plat) of de gebouwgevel. Vormen geen integraal onderdeel van de draagstructuur van het gebouw, maar zijn bepalend voor de bevestiging, stabiliteit, positionering en levensduur van het PV-systeem.

- **Bekabeling**

Elektrotechnische verbindingen noodzakelijk voor de overdracht van elektrische energie binnen het systeem. DC-bekabeling verbindt de PV-panelen met de omvormer en is bestand tegen hoge spanningen en UV-straling. AC-bekabeling verzorgt de verbinding tussen de omvormer en het netaansluitpunt of de verdeelinrichting van het gebouw, afgestemd op netconfiguratie en beveiligingsvereisten. Grondkabels worden toegepast bij vrijstaande installaties of grotere dakgebonden systemen waarbij afstand moet worden overbrugd, en zijn ontworpen voor ondergrondse aanleg en beschermd tegen vocht, druk en knaagdieren.

Notitie van Stichting NMD

Tijdens het opstellen van dit rapport is een nieuwe structuur van componenten geïnterpreteerd, welke afwijkt van de huidige Functionele Beschrijvingen. Vanwege grote impact op ICT software binnen zowel het NMD Platform en rekeninstrumenten, is besloten om de Functionele Beschrijvingen in een later stadium te actualiseren conform bovenstaande benoemde componenten.

2.3 Producten

Met het beschikbaar stellen van categorie 3 milieuverklaringen wordt geborgd dat een gebouw afdoende representatief ingevoerd kan worden. Dit betekent dat per element de meest relevante en generieke productvarianten beschikbaar moeten zijn. Met alleen deze generieke productvarianten is de verfijning bij categorie 3 beperkt. Voor specifiekere producten kan men gebruik maken van categorie 1 en categorie 2 producten.

2.3.1 Typen en varianten

Varianten PV-panelen

- **PV-paneel, monokristallijn:** Monokristallijne PV-panelen worden vervaardigd uit één kristalstructuur van silicium en staan bekend om hun hoge rendement, doorgaans tussen de 18 en 22 procent. Dankzij deze hoge efficiëntie worden ze vaak toegepast in situaties waar de beschikbare oppervlakte beperkt is, zoals op kleinere daken in stedelijke omgevingen of bij installaties waar maximale opbrengst per vierkante meter gewenst is. Ze hebben een relatief hoog marktaandeel, met name in de residentiële sector in Europa, mede door de combinatie van esthetiek en prestaties. De productiekosten liggen doorgaans hoger dan bij andere typen.
- **PV-paneel, polykristallijn:** Polykristallijne PV-panelen bestaan uit meerdere siliciumkristallen die samen één zonnecel vormen. Met een rendement van 15 tot 18 procent zijn ze iets minder efficiënt dan monokristallijne panelen, maar hun lagere

productiekosten maken ze populair in toepassingen waar ruimte minder beperkend is. Denk hierbij aan grootschalige zonneparken of bedrijfsdaken met veel beschikbare oppervlakte. Het marktaandeel van polykristallijne panelen is de afgelopen jaren licht gedaald door de prijsdalingen van monokristallijne panelen, maar ze blijven een belangrijke optie in projecten met een nadruk op kostenbeheersing.

- PV-paneel, amorf (dunne film): Amorfe (dunnefilm) PV-panelen maken gebruik van een zeer dunne laag silicium die wordt aangebracht op een drager van bijvoorbeeld glas, kunststof of metaal. Het rendement ligt aanzienlijk lager, meestal tussen de 6 en 12 procent, waardoor er meer oppervlak nodig is voor dezelfde energieopbrengst. Hun kracht ligt in specifieke toepassingen zoals geïntegreerde PV in bouwmaterialen (BIPV), lichtgewicht systemen op daken die de belasting moeten beperken, of gebogen oppervlakken waar starre panelen niet passen. Het marktaandeel van amorfe panelen is relatief klein, voornamelijk beperkt tot nichemarkten, maar ze worden gewaardeerd in situaties waar maximale efficiëntie niet de prioriteit heeft, of waar beperkingen zijn aan de onderliggende draagconstructie.

Varianten montagesystemen

- Montagesysteem voor platte daken: Montagesystemen voor platte daken zijn bedoeld om PV-panelen op vlakke oppervlakken onder een optimale hoek te plaatsen, vaak zonder te boren in het dak. Meestal wordt gebruikgemaakt van ballast om de constructie te verankeren. Ze zijn populair bij commerciële en industriële gebouwen met grote dakoppervlakken en bieden flexibiliteit in oriëntatie. Het marktaandeel is vooral groot in commerciële toepassingen zoals bedrijfspanden en distributiecentra, maar ook residentiële toepassingen zijn mogelijk.
- Montagesysteem voor hellende daken: Montagesystemen voor hellende daken sluiten aan op de bestaande dakconstructie en volgen de hellingshoek van het dak. Panelen worden bevestigd op rails met dakhaken of klemmen, geschikt voor verschillende daktypen. Ze worden vooral toegepast in de woningbouw en kleinere utiliteitsgebouwen. Het marktaandeel is wereldwijd groot, vooral in landen waar schuine daken de standaard zijn.

Varianten omvormers

- Omvormer 500W: Een omvormer van 500 W is geschikt voor kleine PV-installaties, van één of enkele panelen. Dit type wordt vaak toegepast bij kleinschalige systemen op woningen, garages of bijgebouwen, en soms als micro-omvormer die direct achter een paneel wordt geplaatst. Het marktaandeel is relatief klein, maar stabiel binnen niches zoals kleinschalige residentiële toepassingen en uitbreidingen op bestaande systemen.
- Omvormer 2500W: Een omvormer van 2500 W wordt gebruikt bij middelgrote PV-installaties, zoals een volledig woningdak of kleinere bedrijfsdaken. Deze vermogensklasse is geschikt voor meerdere panelen in serie- of parallelschakeling en biedt vaak meer functionaliteiten, zoals monitoring en netkoppeling. Het marktaandeel is groot in de residentiële sector, waar dit vermogen aansluit bij gangbare systemen van enkele kilowattpiek.

Varianten kabels

Binnen PV-installaties worden verschillende kabeltypen toegepast, elk met een specifieke functie. DC-kabels transporteren de gelijkstroom van de zonnepanelen naar de omvormer. AC-kabels voeren de wisselstroom van de omvormer naar de meterkast of het elektriciteitsnet. Aardingskabels zorgen voor een veilige afvoer van foutstromen en beschermen tegen elektrische schokken. Hoewel deze kabels technisch verschillen in opbouw en toepassing, worden ze in de productadministratie vaak onder één milieuverklaring samengevoegd. Dit komt doordat ze qua materiaalopbouw grotendeels vergelijkbaar zijn, waardoor ze in berekeningen en rapportages gezamenlijk kunnen worden verwerkt.

2.3.2 Uitgesloten producten

De onderstaande producten zijn niet als categorie 3 milieuverklaringen uitgewerkt. Per product een korte toelichting:

Product	Toelichting
CIS PV-paneel	Vertegenwoordigt een zeer kleine nichemarkt. Verwachte toepassing blijft beperkt tot specifieke BIPV-toepassingen, die niet binnen scope van categorie 3 vallen.
Stalen montagesystemen	Worden vooral toegepast bij grote commerciële installaties of veldopstellingen, waar de robuustheid en lagere materiaalkosten van staal aantrekkelijk zijn. Nauwelijks relevant voor gebouw gebonden installaties en daarom buiten de gebouwgerichte scope van categorie 3.
Montagesysteem vrijstaande grondconstructies	Toepasbaar bij zonneparken, niet bij gebouw gebonden systemen. Valt daarom buiten de gebouwgerichte scope van categorie 3.
Ballast montagesystemen	Ballast valt buiten de scope omdat dit geen vast onderdeel is van het systeem en sterk projectafhankelijk is. Indien relevant kan ballast apart worden gemodelleerd met bestaande categorie 3 productkaarten, zoals beton.
Micro-omvormers	Worden beperkt toegepast en zijn niet representatief voor een standaardsysteem.
Bliksembeveiliging	Sterk locatieafhankelijk en projectgebonden. Geen standaardonderdeel van een PV-systeem.

2.4 Functionele eenheid

PV-panelen: geplaatst oppervlak in vierkante meters (m^2)

Voor PV-panelen is ervoor gekozen om de functionele eenheid uit te drukken in het geplaatste oppervlak in vierkante meters (m^2). Dit betreft de buitenmaat in inclusief frame. Dit is gedaan om de volgende drie redenen:

1. Functie: Een PV moet zonlicht opvangen en omzetten in elektriciteit. De hoeveelheid zonlicht die een paneel kan opvangen is direct gerelateerd aan het oppervlak, waardoor m^2 een logische en functioneel relevante maat is voor het bepalen van de prestaties en milieubelasting van het systeem.
2. Materiaalhoeveelheid en milieu-impact: De hoeveelheden gebruikte materialen die bepalend zijn voor de milieubelasting, zoals glas, aluminium en halfgeleidermateriaal, schalen vrijwel direct met het oppervlak. Hierdoor is m^2 ook vanuit materiaal- en impactperspectief een consistente en robuuste maat.
3. Praktische realiteit: PV-systemen worden in de meeste gevallen gedimensioneerd op basis van het beschikbare plaatsingsoppervlak, waardoor m^2 ook aansluit bij de manier waarop systemen in de praktijk worden ontworpen en gerealiseerd.

Voorheen werd gewerkt met "stuks" als functionele eenheid, waarbij elk paneel als één eenheid werd beschouwd, ongeacht formaat of vermogen. Dat lijkt praktisch, maar is een onnauwkeurige manier om panelen of systemen te vergelijken, omdat de afmetingen sterk kunnen verschillen. Een paneel van 2 m^2 telt bijvoorbeeld als één stuk, net als een paneel van 1 m^2 , terwijl hun materiaalgebruik en impact niet vergelijkbaar zijn. Daarom is gekozen voor m^2 als functionele eenheid. Dit neemt verschillen in efficiëntie of vermogen niet volledig weg, maar zorgt wel voor een eerlijkere en transparantere vergelijking op materiaal- en impactniveau.

Montagesystemen: geplaatst oppervlak in vierkante meters (m^2)

Ook voor de montagesystemen van PV-panelen is ervoor gekozen om de functionele eenheid uit te drukken in vierkante meters (m^2). Deze keuze sluit logisch aan bij de aanpak die ook voor de PV-panelen zelf is gekozen: zowel het montagesysteem als het paneel vervullen hun functie over een bepaald oppervlak. Door de eenheid van beide onderdelen op dezelfde functionele basis te definiëren, wordt de relatie tussen dragend vermogen en energieopwekking direct en eenduidig weergegeven.

Omvormers: aantal geplaatste omvormers (stuks)

Voor omvormers is ervoor gekozen om de functionele eenheid uit te drukken per stuk, en niet bijvoorbeeld per kilowatt (kW), omdat de milieubelasting van een omvormer in de praktijk sterk samenhangt met de materialisatie van het fysieke apparaat en veel minder met het nominale vermogen.

Bekabeling: geplaatst oppervlak in vierkante meters (m^2)

We kiezen ervoor om de functionele eenheid voor bekabeling uit te drukken in m^2 geïnstalleerd paneeloppervlak, omdat dit beter aansluit bij de eenheid die ook voor de PV-

panelen en het montagesysteem wordt gebruikt. Door dezelfde functionele eenheid aan te houden binnen de gehele PV-installatie, wordt het onderling vergelijken, doorrekenen en toepassen in praktijktoepassingen eenvoudiger en consistentier.

Hoewel de exacte hoeveelheid bekabeling per installatie kan variëren, is in de praktijk doorgaans een redelijke verhouding te vinden tussen paneeloppervlak en kabelbehoefte. Door gebruik te maken van representatieve kengetallen per m² ontstaat een werkbare en gebruiksvriendelijke manier om de milieubelasting van bekabeling op te nemen, zonder dat voor elke situatie een specifieke kabelrouting hoeft te worden uitgewerkt.

2.5 Dimensionering en schaling

Dimensionering

Bij PV-installaties wordt de dimensionering doorgaans bepaald door het beschikbare plaatsingsoppervlak (m²) of het gewenste piekvermogen (kWp). Omdat het piekvermogen in de praktijk vrijwel lineair schaalt met het paneeloppervlak, komen beide uitgangspunten in essentie op hetzelfde neer. Het piekvermogen per vierkante meter (kWp/m²) is voor panelen van hetzelfde type doorgaans nagenoeg constant, waardoor oppervlak en vermogen onderling uitwisselbaar zijn als rekenbasis. Voor panelen en montagesystemen betekent dit dat de benodigde hoeveelheid direct meegroeit met het geïnstalleerde oppervlak.

Een omvormer zet het door de zonnepanelen geleverde gelijkstroomvermogen (DC) om in wisselstroomvermogen (AC) voor netinvoer of eigen verbruik. Het nominale AC-vermogen van de omvormer is doorgaans lager dan het gezamenlijke piekvermogen van de panelen. De verhouding tussen beide wordt de DC/AC-ratio genoemd. In de meeste PV-systemen ligt deze ratio tussen 1,05 en 1,3, afhankelijk van factoren als locatie, oriëntatie, hellingshoek en kostenoptimalisatie. De uiteindelijke dimensionering van omvormers ontstaat door de juiste combinatie van omvormerclassen (500 W en 2500 W) te kiezen, zodat de gewenste DC/AC-ratio wordt behaald en het systeem over het jaar heen optimaal presteert.

Bekabeling schaalt mee met het totaal geplaatste oppervlak, omdat de lengte en capaciteit van de kabels doorgaans in vaste verhouding staan tot de omvang van het systeem. Hierbij worden DC-, AC- en aardingskabels technisch onderscheiden, maar in de berekening vaak als één productcategorie meegenomen.

Schaling

Hoewel PV-panelen in principe een verschillend piekvermogen per oppervlak (kWp/m²) kunnen hebben, speelt dit binnen het NMD-kader geen rol in de bepaling van de milieubelasting. Het piekvermogen beïnvloedt de prestaties en de opbrengst van een systeem, maar de NMD-methode richt zich op de productgebonden milieueffecten. Deze effecten worden bepaald door de materiaalhoeveelheden, en die schalen direct met het oppervlak. Omdat de hoeveelheid materialen per m² voor panelen van vergelijkbaar type

relatief constant is, zijn verschillen in kWp/m² niet bepalend voor de uitkomst van de impactberekening.

Om deze reden kan ieder PV-systeem volledig worden gemodelleerd op basis van de bovenstaande dimensioneringsmethode, zonder dat aanvullende schaalfactoren of parameters nodig zijn. Vermogensverschillen tussen panelen hebben in dit rekenkader geen invloed op de uitkomst, omdat ze geen directe relatie hebben met de materiaalimpact.

Naamgeving

De naam van het product is zo opgebouwd dat voor de gebruiker duidelijk is wat er wel en niet in het product zit. Hoe de naamgeving correct moet worden toegepast is te vinden in het "Protocol Initiëren, opstellen en peer reviewen categorie 3 data".

3. Materialisatie

In dit hoofdstuk worden de productbeschrijving, productsamenstelling en de decompositie besproken van de producten.

Voor het bepalen van de productsamenstelling, het materiaalgebruik en de bijbehorende processen is gebruik gemaakt van generieke en gemiddelde producten en processen, welke representatief zijn voor het product. Voor ieder product zijn per module de uitgangspunten en bronnen beschreven en gebaseerd op:

- Forfaitaire achtergrondprocessen, transportafstanden en scenario's conform de NMD Bepalingsmethode;
- Deskresearch, minimaal 2 verschillende gedocumenteerde en vastgelegde bronnen, indien beschikbaar;
- Branche data en PCR;
- Expert judgement: praktijkinformatie (B&U-kennis) vanuit de branche, een ingenieurbureau, aannemer, opdrachtgever en/of producent met daarbij een korte onderbouwing van de achtergrond van de expert. Minimaal 2 verschillende bronnen indien beschikbaar.

3.1 Generieke aannames

PV-panelen

De materialisatie van de PV-panelen is bepaald aan de hand van reeds gevalideerde NMD-basisprocessen voor PV-panelen. De onderstaande tabel presenteert de afmetingen van de referentiepanelen die hierbij zijn gebruikt. Voor kristallijne panelen zijn deze representatief voor gangbare 60-cels PV-modules. Voor amorfe panelen daarentegen gaat het niet om afzonderlijke cellen, maar om een monolithisch gedeponeerde dunne-film laag op een glasdrager. Hier is een referentiemodule van circa 2,3 m² aangehouden.

Product	Lengte (m)	Breedte (m)	Dikte (m)	Oppervlak (m ²)	Massa (kg)
Monokristallijn	1,76	1,05	0,035	1,85	29,2
Polykristallijn	1,76	1,05	0,035	1,85	29,2
Amorf (dunne film)	2,00	1,15	0,007	2,30	18,9

De materialisatie zoals vastgesteld op basis van deze referentiemodule is vervolgens lineair terug geschaald naar de functionele eenheid van 1 m² module-oppervlak. De onderstaande tabel kan worden gebruikt om resultaten om te rekenen naar impacts per kg product of naar impacts per geïnstalleerd piekvermogen.

Product	Massa (kg/m ²)	Piekvermogen (Wp/m ²)
Monokristallijn	15,8	180-220
Polykristallijn	15,8	170-190
Amorf (dunne film)	8,2	80-100

De massawaarden in de tabel zijn ontleend aan NMD-basisprocessen. Omdat de piekvermogens in Ecolnvent aanzienlijk verouderd bleken, zijn deze aangepast op basis van informatie uit een consultatie met marktpartijen.

Omvormers

De materialisatie van de omvormers is ook bepaald aan de hand van reeds gevalideerde NMD-basisprocessen. Deze hanteren de volgende uitgangspunten:

- 500 W omvormer
 - Massa: 1,6 kg/stuk
 - 93,5% efficiëntie
- 2500 W omvormer
 - Massa: 18,5 kg/stuk
 - 93,5% efficiëntie

Montagesysteem

Voor het montagesysteem is uitgegaan van de volgende massa's, wederom op basis van gevalideerde NMD-basisprocessen:

- Plat 4,71 kg/m²
- Hellend 4,34 kg/m²
- Gevel 4,43

Bekabeling

De hoeveelheid bekabeling is bepaald op basis van een referentieproject, zoals beschreven door Ecolnvent, met een opgesteld vermogen van 3 kWp. In dit project wordt uitgegaan van de volgende kabelhoeveelheden:

- DC-kabels: 245 meter
- AC-kabels: 15 meter
- Aardingskabels: 10 meter

Deze kabellengtes zijn teruggerekend naar lengte per kWp, en vervolgens lineair naar 1 m² paneeloppervlak, op basis van 215 Wp/m². De resulterende kabellengtes per m² functionele eenheid, zijn daarna en de corresponderende kabelmassa worden in de onderstaande tabel gepresenteerd:

Kabeltype	Lengte (m/kWp)	Lengte (m/m ²)	Massa (kg/m)	Massa (kg/m ²)
DC-kabel	81.7	17.5	0,09	1.59
AC-kabel	5	1.1	0,17	0.19
Aardingskabel	3.3	0.7	0,23	0.16

3.2 Opbouw

In de volgende paragrafen worden de verschillende producten en hun varianten één voor één behandeld. Elk product heeft een eigen overzichtstabel met daarin een korte omschrijving van het product en de relevante product- en materiaal informatie – op gelijke wijze gepresenteerd. In deze tabellen wordt voor elke component beknopt toegelicht hoe het gewicht is bepaald per FE.

Overzicht hoofdstuk 3

Klik op de titels voor snelle navigatie

- [PV-paneel, monokristallijn](#)
- [PV-paneel, polykristallijn](#)
- [PV-paneel, amorf \(dunne film\)](#)
- [Omvormer, 0,5 kW, 93,5% efficiëntie](#)
- [Omvormer, 2,5 kW, 93,5% efficiëntie](#)
- [Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak](#)
- [Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak](#)
- [Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel dak](#)
- [Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels](#)

3.3 Productsamenstellingen

Voor het modelleren van de materiaalimpact in Modules A1–3 wordt gebruikgemaakt van reeds gevalideerde NMD-basisprocessen. De productsamenstelling is daarbij gebaseerd op representatieve en gevalideerde datasets voor de betreffende producten.

Voor een correcte modellering van de verwerkingsscenario's aan het einde van de levensduur (Modules A5, C en D) is het noodzakelijk de productsamenstelling uiteen te zetten in afzonderlijke materiaalstromen. Hiervoor zijn de onderliggende EcolInvent-processen geanalyseerd en zijn de gebruikte materialen gecategoriseerd op basis van de afvalstromen die zij vertegenwoordigen bij de einde-levensduurfase. De resultaten van deze analyse vormen de basis voor de hierna gepresenteerde productsamenstellingen en materiaalverdelingen.

3.3.1 PV-paneel, monokristallijn

Voor het bepalen van de productsamenstelling van monokristallijnen PV-panelen zijn de volgende processen geanalyseerd:

- NMD-basisproces “0087-fab&Zonnepaneel, PV (fotovoltaïsch), monokristallijn”
- Ecolnvent-proces “Photovoltaic panel, single-Si wafer {GLO} market for / Cut-off, U”

De uit deze analyse afgeleide materialisatie is weergegeven in de onderstaande tabel.

Product	PV-paneel, monokristallijn		
Variant(en)	n.v.t.		
Omschrijving	Zonnepaneel voor de productie van elektriciteit, op basis van monokristallijn silicium. De functionele eenheid betreft 1 m ²		
Naam NMD	PV-paneel, monokristallijn (15,8 kg/m ² , 1.85 m ² /stuk)		
Functionele eenheid	1 m ²		
Levensduur	25 jaar		
Schaling	n.v.t.		
Materialisatie	Omschrijving materiaal	Hoeveelheid (kg)	Afvalstroom
Aluminium	Aluminium frame	2,63	4
Glas	Frontglas	10,08	28
Elektronica	Fotovoltaïsche cellen, silicium en overige metalen	1,46	95
Kunststoffen	Mix van plastics (o.a. kunststof backsheet)	1,67	45
Karton	Kartonverpakking	1,10	51

Voor het monokristallijn PV-paneel worden vier afzonderlijke materiaalstromen onderscheiden:

- De aluminiumstroom bestaat uit het frame van het paneel, met een massa van 2,63 kg, dat zorgt voor de constructieve stevigheid en als draagstructuur fungeert voor de overige componenten.
- De tweede stroom betreft 10,08 kg frontglas, dat de zonnecellen beschermt tegen mechanische belasting en weersinvloeden, terwijl het tegelijkertijd licht doorlaat voor de elektriciteitsopwekking.
- De derde stroom wordt aangeduid als elektronica en bevat voornamelijk de silicium zonnecellen, maar ook metalen componenten zoals koper voor de celverbindingen. Deze onderdelen worden geclusterd omdat zij aan het einde van de levensduur gezamenlijk worden verwerkt. De totale massa betreft 1,46 kg.
- De vierde stroom wordt aangeduid als kunststoffen en bevat een mix van plastics zoals PVC, PET en PA. Deze plastics worden toegepast in de kunststof backsheet, maar ook in kleine kunststof onderdelen voor connectoren en kabelisolatie. De totale massa betreft 1,67 kg.
- De vijfde stroom bestaat uit 1,10 kg kartonverpakking, dat wordt gebruikt voor het transport en de bescherming van het paneel.

3.3.2 PV-paneel, polykristallijn

Voor het bepalen van de productsamenstelling van polykristallijnen PV-panelen zijn de volgende processen geanalyseerd:

- NMD-basisproces “0088-fab&Zonnepaneel, PV (fotovoltaïsch), polykristallijn”
- Ecolnvent-proces “Photovoltaic panel, multi-Si wafer {GLO}/ market for / Cut-off, U”

De uit deze analyse afgeleide materialisatie is weergegeven in de onderstaande tabel.

Product PV-paneel, polykristallijn			
Variant(en)	n.v.t.		
Omschrijving	Zonnepaneel voor de productie van elektriciteit, op basis van polykristallijn silicium. De functionele eenheid betreft 1 m ²		
Naam NMD	PV-paneel, polykristallijn (15,8 kg/m ² , 1.85 m ² /stuk)		
Functionele eenheid	1 m ²		
Levensduur	25 jaar		
Schaling	n.v.t.		
Materialisatie	Omschrijving materiaal	Hoeveelheid (kg)	Afvalstroom
Aluminium	Aluminium frame	2,63	4
Glas	Frontglas	10,08	28
Elektronica	Fotovoltaïsche cellen, silicium en overige metalen	1,46	95
Kunststoffen	Mix van plastics (o.a. kunststof backsheet)	1,67	45
Karton	Kartonverpakking	1,10	51

Voor het monokristallijn PV-paneel worden vier afzonderlijke materiaalstromen onderscheiden:

- De aluminiumstroom bestaat uit het frame van het paneel, met een massa van 2,63 kg, dat zorgt voor de constructieve stevigheid en als draagstructuur fungeert voor de overige componenten.
- De tweede stroom betreft 10,08 kg frontglas, dat de zonnecellen beschermt tegen mechanische belasting en weersinvloeden, terwijl het tegelijkertijd licht doorlaat voor de elektriciteitsopwekking.
- De derde stroom wordt aangeduid als elektronica en bevat voornamelijk de silicium zonnecellen, maar ook metalen componenten zoals koper voor de celverbindingen. Deze onderdelen worden geclusterd omdat zij aan het einde van de levensduur gezamenlijk worden verwerkt. De totale massa betreft 1,46 kg.
- De vierde stroom wordt aangeduid als kunststoffen en bevat een mix van plastics zoals PVC, PET en PA. Deze plastics worden toegepast in de kunststof backsheet, maar ook in kleine kunststof onderdelen voor connectoren en kabelisolatie. De totale massa betreft 1,67 kg.
- De vierde stroom bestaat uit 1,10 kg kartonverpakking, dat wordt gebruikt voor het transport en de bescherming van het paneel.

3.3.3 PV-paneel, amorf (dunne film)

Voor het bepalen van de productsamenstelling van amorf (dunne film) PV-panelen zijn de volgende processen geanalyseerd:

- NMD-basisproces “0085-fab&Zonnepaneel, PV (fotovoltaïsch), amorf (dunne film)”
- Ecolnvent-proces “Photovoltaic panel, a-Si {GLO}/ market for / Cut-off, U”

De uit deze analyse afgeleide materialisatie is weergegeven in de onderstaande tabel.

Product PV-paneel, amorf (dunne film)			
Variant(en)	n.v.t.		
Omschrijving	Zonnepaneel voor de productie van elektriciteit, op basis van amorf silicium (a-si). De functionele eenheid betreft 1 m ² .		
Naam NMD	PV-paneel, amorf (8.2 kg/m ² , 2,3 m ² /stuk)		
Functionele eenheid	1 m ²		
Levensduur	25 jaar		
Schaling	n.v.t.		
Materialisatie	Omschrijving materiaal	Hoeveelheid (kg)	Afvalstroom
Aluminium	Aluminium frame	3,34	4
Staal	Substraatband	2,18	50
Elektronica	Fotovoltaïsche cellen, silicium en overige metalen	2,72	95

Voor het amorf PV-paneel worden vier afzonderlijke materiaalstromen onderscheiden.

- De aluminiumstroom bestaat uit het frame van het paneel, met een massa van 3,34 kg, dat zorgt voor de constructieve stevigheid en als draagstructuur fungeert voor de overige componenten.
- De tweede stroom betreft 2,18 kg stalen substraatband, die fungeert als mechanische drager en ondergrond waarop de dunnefilm laag wordt aangebracht, en tevens bescherming biedt tegen mechanische belasting en weersinvloeden.
- De derde stroom wordt aangeduid als elektronica en bevat voornamelijk de amorf-silicium laag, maar ook componenten zoals kleine kunststof onderdelen voor connectoren en kabelisolatie, evenals kleine hoeveelheden koperen linten (copper ribbons) voor de celverbindingen. Deze onderdelen worden geclusterd omdat zij aan het einde van de levensduur gezamenlijk worden verwerkt.

3.3.4 Omvormer, 0,5 kW, 93,5% efficiëntie

Voor het bepalen van de productsamenstelling van een 0,5 kW omvormer zijn de volgende processen geanalyseerd:

- NMD-basisproces “0304-fab&Inverter, 0,5 kW, 93,5% efficiency”
- Ecolnvent-proces “inverter production, 0.5kW | inverter, 0.5kW | Cutoff, U - RoW”

De uit deze analyse afgeleide materialisatie is weergegeven in de onderstaande tabel.

Product Omvormer, 0,5 kW, 93,5% efficiëntie			
Variant(en)	n.v.t.		
Omschrijving	Omvormer voor de omzetting van gelijkstroom naar wisselstroom, met een vermogen van 0,5 kW. De functionele eenheid betreft 1 stuks.		
Naam NMD	Omvormer, 0,5 kW, 93,5% efficiëntie (1.8 kg/stuk)		
Functionele eenheid	stuks		
Levensduur	15 jaar		
Schaling	n.v.t.		
Materialisatie	Omschrijving materiaal	Hoeveelheid (kg)	Afvalstroom
Aluminium	Behuizing en koellichamen	0,68	4
Staal	Frame, schroeven en afscherming	0,08	73
Plastic	Isolatie, behuizingen, kabelmantels, afdichtingen	0,25	45
Elektronica	Printplaten en transformatoren	0,59	95
Karton	Kartonverpakking	1,12	51
EPS	Schokabsorberende verpakkingselementen	0,13	24

Voor de omvormer van 0,5 kW worden zes afzonderlijke materiaalstromen onderscheiden.

- De aluminiumstroom bestaat uit 0,68 kg aluminium, toegepast in de behuizing en koellichamen, waarbij het materiaal zorgt voor structurele sterkte en effectieve warmteafvoer.
- De tweede stroom betreft 0,08 kg staal, dat wordt gebruikt in het frame, voor schroeven en als afscherming.
- De derde stroom bestaat uit 0,25 kg kunststof, toegepast voor elektrische isolatie, behuizingen, kabelmantels en afdichtingen.
- De vierde stroom, aangeduid als elektronica, omvat 0,59 kg aan printplaten en transformatoren, die verantwoordelijk zijn voor de omzetting en regeling van de elektrische energie.
- De vijfde stroom bestaat uit 1,12 kg kartonverpakking, gebruikt voor transport en bescherming van de omvormer.
- Tot slot omvat de zesde stroom 0,13 kg geëxpandeerd polystyreen (EPS), toegepast als verpakkingsmateriaal, voornamelijk in de vorm van piepschuim.

3.3.5 Omvormer, 2,5 kW, 93,5% efficiëntie

Voor het bepalen van de productsamenstelling van een 2500 W omvormer zijn de volgende processen geanalyseerd:

- NMD-basisproces “0089-fab&Inverter, 2,5 kW, 93,5% efficiency”
- Ecolnvent-proces “inverter production, 2.5kW | inverter, 0.5kW | Cutoff, U - RoW”

De uit deze analyse afgeleide materialisatie is weergegeven in de onderstaande tabel.

Product	Omvormer, 2,5 kW		
Variant(en)	n.v.t.		
Omschrijving	Omvormer voor de omzetting van gelijkstroom naar wisselstroom, met een vermogen van 2,5 kW. De functionele eenheid betreft 1 stuks.		
Naam NMD	Omvormer, 2,5 kW, 93,5% efficiëntie (19,0 kg/stuk)		
Functionele eenheid	stuks		
Levensduur	15 jaar		
Schaling	n.v.t.		
Materialisatie	Omschrijving materiaal	Hoeveelheid (kg)	Afvalstroom
Aluminium	Behuizing en koellichamen	1,40	4
Staal	Frame, schroeven en afscherming	9,80	73
Plastic	Isolatie, behuizingen, kabelmantels, afdichtingen	0,07	45
Elektronica	Printplaten en transformatoren	6,84	95
Karton	Kartonverpakking	2,50	51
EPS	Schokabsorberende verpakkingselementen	0,30	24

Voor de omvormer van 2500 W worden zes afzonderlijke materiaalstromen onderscheiden.

- De aluminiumstroom bestaat uit 1,40 kg aluminium, toegepast in de behuizing en koellichamen, waarbij het materiaal zorgt voor structurele sterkte en effectieve warmteafvoer.
- De tweede stroom betreft 9,80 kg staal, dat wordt gebruikt in het frame, voor schroeven en als afscherming.
- De derde stroom bestaat uit 0,07 kg kunststof, toegepast voor elektrische isolatie, behuizingen, kabelmantels en afdichtingen.
- De vierde stroom, aangeduid als elektronica, omvat 6,84 kg aan printplaten en transformatoren, die verantwoordelijk zijn voor de omzetting en regeling van de elektrische energie.
- De vijfde stroom bestaat uit 2,50 kg kartonverpakking, gebruikt voor transport en bescherming van de omvormer.
- Tot slot omvat de zesde stroom 0,13 kg geëxpandeerd polystyreen (EPS), toegepast als verpakkingsmateriaal, voornamelijk in de vorm van piepschuim.

3.3.6 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak

Voor het bepalen van de productsamenstelling van montagesysteem voor platte daken zijn de volgende processen geanalyseerd:

- NMD-basisproces “0615-fab&Montage systeem zonnepaneel, plat dak”
- Ecolnvent-proces “Photovoltaic mounting system, for flat-roof installation {GLO}/ market for / Cut-off, U”

De uit deze analyse afgeleide materialisatie is weergegeven in de onderstaande tabel.

Product	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak		
Variant(en)	n.v.t.		
Omschrijving	Montagesysteem voor de bevestiging van zonnepanelen op platte daken. De functionele eenheid betreft 1 m ² draagconstructie.		
Naam NMD	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak (4.71 kg/m ²)		
Functionele eenheid	1 m ²		
Levensduur	25 jaar		
Schaling	n.v.t.		
Materialisatie	Omschrijving materiaal	Hoeveelheid (kg)	Afvalstroom
Aluminium	Profielen en draagstructuur	2,52	4
Staal	Bevestigingsmiddelen en koppelplaten	0,27	75
HDPE	Kunststof dragers en voetsteunen	1,92	45
Karton	Verpakkingsmateriaal	0,02	51
EPS	Schokabsorberende verpakkingselementen	0,01	24

Voor het montagesysteem voor platte daken worden vijf afzonderlijke materiaalstromen onderscheiden:

- De aluminiumstroom bestaat uit 2,52 kg aluminium, toegepast in profielen en draagconstructies die de PV-panelen positioneren en structurele stevigheid bieden.
- De tweede stroom betreft 0,27 kg staal, dat wordt gebruikt voor bevestigingsmiddelen zoals schroeven, bouten en koppelplaten, die zorgen voor een duurzame en stabiele montage.
- De derde stroom bestaat uit 1,92 kg hoogwaardig HDPE, toegepast in kunststof dragers en voetsteunen die de druk op de dakbedekking verdelen en de paneelhoek fixeren.
- De vierde stroom bestaat uit 0,02 kg karton, gebruikt als verpakkingsmateriaal voor transport en bescherming van onderdelen.
- Tot slot omvat de vijfde stroom 0,008 kg EPS, gebruikt als schokabsorberend verpakkingsmateriaal.

3.3.7 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak

Voor het bepalen van de productsamenstelling van montagesysteem voor hellende daken zijn de volgende processen geanalyseerd:

- NMD-basisproces "*0616-fab&Montage systeem zonnepaneel, hellend dak*"
- EcolInvent-proces "*Photovoltaic mounting system, for slanted-roof installation {GLO}/ market for / Cut-off, U*"

De uit deze analyse afgeleide materialisatie is weergegeven in de onderstaande tabel.

Product	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak		
Variant(en)	n.v.t.		
Omschrijving	Montagesysteem voor de bevestiging van zonnepanelen op hellende daken. De functionele eenheid betreft 1 m ² draagconstructie.		
Naam NMD	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak (4,34 kg/m ²)		
Functionele eenheid	1 m ²		
Levensduur	25 jaar		
Schaling	n.v.t.		
Materialisatie	Omschrijving materiaal	Hoeveelheid (kg)	Afvalstroom
Aluminium	Profielen en draagstructuur	2,84	4
Staal	Bevestigingsmiddelen en koppelplaten	1,50	75
HDPE	Kunststof dragers en voetsteunen	0,001	45
Karton	Verpakkingsmateriaal	0,13	51
EPS	Schokabsorberende verpakkingselementen	0,01	24

Voor het montagesysteem voor hellende daken worden vijf afzonderlijke materiaalstromen onderscheiden:

- De aluminiumstroom bestaat uit 2,84 kg aluminium, toegepast in profielen en draagconstructies die de PV-panelen positioneren en structurele stevigheid bieden.
- De tweede stroom betreft 1,50 kg staal, dat wordt gebruikt voor bevestigingsmiddelen zoals schroeven, bouten en koppelplaten, die zorgen voor een duurzame en stabiele montage.
- De derde stroom bestaat uit 0,001 kg HDPE, wat significant lager is in vergelijking met het montagesysteem voor platte daken. Dragere en voetsteunen komen bij dit type montagesysteem namelijk niet voor.
- De vierde stroom bestaat uit 0,13 kg karton, gebruikt als verpakkingsmateriaal voor transport en bescherming van onderdelen.
- Tot slot omvat de vijfde stroom 0,01 kg EPS, gebruikt als schokabsorberend verpakkingsmateriaal.

3.3.8 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel

Voor het bepalen van de productsamenstelling van montagesysteem voor gevels is het volgende proces geanalyseerd:

- EcolInvent-proces "*Photovoltaic mounting system, for facade installation {RER}/ market for / Cut-off, U*"

De uit deze analyse afgeleide materialisatie is weergegeven in de onderstaande tabel.

Product	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel		
Variant(en)	n.v.t.		
Omschrijving	Montagesysteem voor de bevestiging van zonnepanelen aan gevels. De functionele eenheid betreft 1 m ² draagconstructie.		
Naam NMD	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel (4,43 kg/m ²)		
Functionele eenheid	1 m ²		
Levensduur	25 jaar		
Schaling	n.v.t.		
Materialisatie	Omschrijving materiaal	Hoeveelheid (kg)	Afvalstroom
Aluminium	Profielen en draagstructuur	2,64	4
Staal	Bevestigingsmiddelen en koppelplaten	1,80	75
HDPE	Kunststof dragers en voetsteunen	0,001	45
Karton	Verpakkingsmateriaal	0,04	51
EPS	Schokabsorberende verpakkingselementen	0.004	24

Voor het montagesysteem voor hellende daken worden vijf afzonderlijke materiaalstromen onderscheiden:

- De aluminiumstroom bestaat uit 2,64 kg aluminium, toegepast in profielen en draagconstructies die de PV-panelen bevestigen en structurele stevigheid bieden.
- De tweede stroom betreft 1,80 kg staal, dat wordt gebruikt voor bevestigingsmiddelen zoals schroeven, bouten en koppelplaten, die zorgen voor een duurzame en stabiele montage van de gevelpanelen.
- De derde stroom bestaat uit 0,001 kg HDPE, toegepast in kleine kunststof onderdelen, bijvoorbeeld dragers of steunen, die aanvullende ondersteuning of isolatie kunnen bieden.
- De vierde stroom bestaat uit 0,04 kg karton, gebruikt als verpakkingsmateriaal voor transport en bescherming van de onderdelen.
- Tot slot omvat de vijfde stroom 0,004 kg geëxpandeerd polystyreen (EPS), gebruikt als schokabsorberend verpakkingsmateriaal.

3.3.9 Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels

Voor het bepalen van de productsamenstelling van de bekabeling was op het moment van analyse geen NMD-basisproces beschikbaar. De samenstelling is daarom vastgesteld op basis van een analyse van de volgende bronnen:

- Ecolnvent-proces "*Photovoltaic plant, electric installation for 3kWp module {RoW}/ photovoltaics, electric installation for 3kWp module, at building / Cut-off, U*"
- Analyse van PV-bekabeling door SGS Search

Uiteindelijk is de kabelmaterialisatie de volgende kabelmaterialisatie van een 3 kWp PV-systeem als uitgangspunt genomen. In deze materialisatie wordt uitgegaan van 245 meter DC-kabel, 15 meter AC-kabel, en 10 meter aardingskabel. Deze hoeveelheden kabel en de bijbehorende materialisatie zijn vervolgens teruggeschaald naar een gemiddelde hoeveelheid de functionele eenheid m².

Product Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels			
Variant(en)	n.v.t.		
Omschrijving	Bekabeling voor de overdracht van elektrische energie binnen het PV-systeem. De functionele eenheid betreft 1 m ² systeem.		
Naam NMD	Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels (1,95 kg/m ²)		
Functionele eenheid	1 m ²		
Levensduur	25 jaar		
Schaling	n.v.t.		
Materialisatie	Omschrijving materiaal	Hoeveelheid (kg)	Afvalstroom
Koper	Geleidende kern	0,85	42
HDPE	Radox 125 isolatie	0,94	45
PVC	Buismantels	0,15	64
Staal	Klemmen	0,01	75

Voor de bekabeling worden vier afzonderlijke materiaalstromen onderscheiden:

- De eerste stroom bestaat uit 0,85 kg koper, toegepast als geleidende kern in zowel DC-, AC- als aardingskabels, vanwege de hoge elektrische geleidbaarheid en lange levensduur.
- De tweede stroom betreft 0,94 kg HDPE, in de vorm van Radox 125-isolatie rond de koperkern, die zorgt voor elektrische isolatie, temperatuurbestendigheid en mechanische bescherming.
- De derde stroom bestaat uit 0,15 kg PVC, toegepast als buitenmantel of buismantel voor bescherming tegen mechanische belasting en weersinvloeden.
- Tot slot omvat de vierde stroom 0,01 kg staal, gebruikt in schakelcomponenten zoals zekeringhouders en aansluitklemmen binnen de kabelinstallatie.

4. Levenscyclusinventarisatie (LCI)

In dit hoofdstuk wordt uitgewerkt hoe de totaalproducten zijn opgebouwd, inclusief uitgangspunten en bronnen. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Toepassing in het bouwwerk: alle producten worden toegepast als gebouwgebonden installatietechnisch systeem voor elektriciteitsopwekking
- (Functionele) Eenheid: “m²”(PV-panelen, montagesystemen, bekabeling) of “stuks” (omvormers)
- Levensduur (jaar): 25 jaar, gelijk aan de praktische levensduur van de PV-panelen
- Alle materialen zijn gekozen uit de NMD processendata.

4.1 Aannamen levensloopsценario's

4.1.1 Productiefase (A1-A3)

PV-panelen

Voor het modelleren van de milieueffecten in de levenscyclusfasen A1-3 van de PV-panelen is gebruikgemaakt van reeds gevalideerde basisprocessen uit de Nationale Milieudatabase, te weten:

- *0087-fab&Zonnepaneel, PV (fotovoltaïsch), monokristallijn*
- *0088-fab&Zonnepaneel, PV (fotovoltaïsch), polykristallijn*
- *0085-fab&Zonnepaneel, PV (fotovoltaïsch), amorf (dunne film)*

De eenheid van deze basisprocessen is kg. Omdat de functionele eenheid van de milieuprofielen in m² PV-paneel is gedefinieerd, zijn de hoeveelheden van de basisprocessen ingevoerd op basis van de massa per m² paneel.

De bijbehorende verpakkingsmaterialen zijn al onderdeel van de genoemde basisprocessen en zijn daarom niet afzonderlijk toegevoegd aan het model.

Omvormers

Voor het modelleren van de milieueffecten in de levenscyclusfasen A1-3 van de omvormers is gebruikgemaakt van de volgende gevalideerde basisprocessen uit de Nationale Milieudatabase:

- *0304-fab&Inverter, 0,5 kW, 93,5% efficiency*
- *0089-fab&Inverter, 2,5 kW, 93,5% efficiency*

De eenheid van deze basisprocessen is kg. Omdat de functionele eenheid van de milieuprofielen voor omvormers is gedefinieerd per stuk, zijn de procesgegevens omgerekend van kg naar per eenheid (stuks).

De gehanteerde basisprocessen voor de omvormers gaan uit van een kartonverpakking die in het proces zelf weer wordt afgetrokken. Dit impliceert dat er netto geen verpakking in de modellering is opgenomen, onder de aanname dat deze volledig wordt hergebruikt. Voor deze rapportage is echter een conservatievere benadering toegepast: het karton wordt als

een aparte materiaalstroom gemodelleerd met een eigen verwerkingsscenario, zodat de milieueffecten van de verpakkingsmaterialen correct worden meegenomen. Hetzelfde principe is toegepast voor het EPS-verpakkingsmateriaal. De gebruikte processen zijn:

- *0058-fab&Papier/karton*
- *0007-fab&Polystyreen, EPS*

Montagesysteem

Voor het modelleren van de milieueffecten in de levenscyclusfasen A1-3 van de montagesystemen is gebruikgemaakt van de volgende gevalideerde basisprocessen uit de Nationale Milieudatabase:

- *0615-fab&Montage systeem zonnepaneel, plat dak*
- *0616-fab&Montage systeem zonnepaneel, hellend dak*

De eenheid van deze basisprocessen is kg. Omdat de functionele eenheid van de milieuprofielen voor montagesystemen is gedefinieerd in m² PV-installatie, zijn de procesgegevens omgerekend van kg naar massa per m².

De gehanteerde basisprocessen veronderstellen dat de verpakking in het proces zelf wordt gecompenseerd, waardoor er netto geen verpakkingsmateriaal wordt meegenomen (uitgaande van volledig hergebruik). Voor de rapportage is ook hier een conservatievere benadering toegepast: het verpakkingsmateriaal is apart gemodelleerd als losse materiaalstroom met een eigen verwerkingsscenario, zodat de bijbehorende milieueffecten niet buiten beschouwing blijven. De gebruikte processen zijn wederom:

- *0058-fab&Papier/karton*
- *0007-fab&Polystyreen, EPS*

Bekabeling

Voor bekabeling zijn in de Nationale Milieudatabase momenteel nog geen specifieke basisprocessen beschikbaar. Daarom is de modellering uitgevoerd op basis van de afgeleide materialisatie van de kabels. Hierbij zijn voor de afzonderlijke materiaalstromen passende materiaalbasisprocessen uit de NMD geselecteerd:

- Koperen kern: *0059-fab&Koper, kathode, voor draad*
- Radox 125 isolatie: *0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd*
- Buismantels: *0199-fab&PVC, geëxtrudeerd*
- Bevestigingen: *0238-fab&Staal, laaggelegeerd*

Er is aangenomen dat de kabels worden geleverd op een herbruikbare haspel, waardoor er geen aanvullend verpakkingsmateriaal hoeft te worden meegenomen in de modellering.

Ten slotte is meegenomen dat de koperen draad wordt geproduceerd volgens het proces "*0147-pro & Draad trekken, koper*". De hoeveelheid draadtrekken correspondeert rechtstreeks met de hoeveelheid toegepaste koper in de kabels.

4.1.2 Transportfase (A4, C2)

Voor transport zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor In de transportfases A4 en C2 wordt er uitgegaan van de volgende NMD processen:
 - Transport over land: *0001-tra&Transport, vrachtwagen*
 - Transport over zee: *0290-tra&Transport, vrachtschip, container, zee*
- Beide processen hebben de eenheid tonkilometer. Het aantal tonkilometer is de optelsom van de massa in A1-A3 gedeeld door duizend maal de afstand naar de projectlocatie.
- Voor het transport in A4 zijn de volgende transportroutes en corresponderende afstanden aangehouden:
 - Voor PV-panelen en omvormers, die voornamelijk in Azië worden geproduceerd, bestaat het transport uit drie fasen:
 - Transport over land van een fabriek in Azië naar een haven, op basis van een forfaitaire afstand van 150 km;
 - Transport over zee van een haven in Azië naar een haven in Nederland: 20.000 km;
 - Transport over land van een haven in Nederland naar de projectlocatie, op basis van een forfaitaire afstand van 150 km.
 - Voor de montagesystemen en bekabeling, die veelal in Nederland worden geproduceerd, is enkel uitgegaan van transport over land van de productielocatie naar de projectlocatie, op basis van de forfaitaire afstand van 150 km.
- Voor het transport einde levensduur in C2 is de meegenomen forfaitaire transportafstand afhankelijk van het einde levensscenario van het materiaal. Zoals vastgelegd in de bepalingmethode. De forfaitaire eindelevensscenario's verschillen per materiaal en hiervoor is aangesloten bij de bepalingmethode.

C2 einde leven	Forfaitaire transportafstand	
Laten zitten	0	km
Stort	100	km
AVI	150	km
Recycling	50	km
Hergebruik	50	km

4.1.3 Bouw- en aanlegfase (A5)

Voor de bouw- en aanlegfase zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Bouwmaterieel is niet meegenomen in deze berekening. Het plaatsen van de systemen gebeurt handmatig en brengt geen significante milieueffecten met zich mee.
- Voor de constructiefase is zoals voorgeschreven in de Bepalingmethode aangesloten bij de forfaitaire verlies percentages. In dit dossier is voor de bekabeling aangenomen dat ze in-situ worden verwerkt, waardoor het verliesaandeel conservatief op 5% is

gekozen. Voor de prefab PV-panelen, omvormers, en montagesystemen is een forfaitair verliesaandeel van 3% aangenomen. Het transport (A4) en de afvalverwerking (C2-C4) van deze verlies stromen is ook meegenomen onder A5 en voor de afvalverwerking is standaard hetzelfde gekozen als einde leven. Module D baten en lasten van het verlies zijn meegenomen in module D.

Type materiaal	Componenten	Aandeel verlies in A1-A3
Prefab	PV-panelen, omvormers, en montagesystemen	3%
In-situ	Bekabeling	5%
Hulp- en afwerkingsmaterialen	N.v.t.	15%

4.1.4 Gebruiksfase (B1-B4)

Voor de gebruiksfase zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor alle producten geldt dat ze bij nieuwbouw of een vervangingsmoment worden aangebracht en worden verwijderd wanneer ze het einde van de levensduur bereiken.
- Tussentijds is er, op een hoge uitzondering na, geen sprake van onderhoud (B2), reparatie (B3) of vervanging van onderdelen (B4). Emissies (B1), worden als verwaarloosbaar verondersteld. Daarom zijn er voor B1, B2, B3 en B4 geen impacts meegenomen.

4.1.5 Sloopfase (C1)

Voor de sloopfase zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De demontage in C1 gebeurt ook handmatig en de bijbehorende milieueffecten worden daarom als verwaarloosbaar beschouwd.

4.1.6 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

Voor de einde levensduurfases zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de PV-panelen wordt aangenomen dat deze gedemonteerd worden, waardoor het aluminium frame, de stalen substraatband en het frontglas als aparte afvalstromen verwerkt worden. De overige componenten (waaronder de silicium cellen, koperen verbindingen en plastics) worden verwerkt als zijnde elektronica volgens einde levens stroomnummer 95 Elektronische componenten.
- Voor de omvormers wordt ook aangenomen dat deze gedemonteerd worden, waardoor de verschillende materialen als aparte afvalstromen verwerkt kunnen worden.
- Voor de bekabeling wordt aangenomen dat deze gestript worden, waardoor de koperen kern en de HDPE-isolatie als aparte afvalstromen verwerkt kunnen worden.

- Voor het einde levensscenario wordt uitgegaan van door de Bepalingsmethode gestelde forfaitaire waarden per materiaal. Zie de koppeltabellen in Hoofdstuk 4.3 voor de details per component.

4.2 Aannamen toegepaste basisprofielen

Bij categorie 3 milieuverklaringen wordt gebruik gemaakt van generieke NMD-basisprocessen. In deze paragraaf is een toelichting gegeven op de keuze van de basisprofielen, in combinatie met de gehele LCI.

Algemeen geldt dat voor het vaststellen van de te koppelen processen gegevens zijn 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 conform eisen en richtlijnen uit het “Protocol Initiëren, opstellen en peer reviewen categorie 3 data”.

4.3 Koppeltabellen

In deze paragraaf is per product aangegeven wat de uitgangspunten zijn, inclusief de koppeling aan de basisprofielen. De informatie in de koppeltabellen komt overeen met de informatie die in de invoermodule wordt ingevoerd. Met deze informatie kan de milieuprestatie van het product, uitgesplitst naar modules en productonderdelen bepaald worden. Per product zijn koppeltabellen opgesteld, waarbij de complete producten een optelling zijn van verschillende combinaties van deze componenten. Deze koppeltabellen zijn hieronder te vinden.

Overzicht hoofdstuk 4

Klik op de titels voor snelle navigatie

- [PV-paneel, monokristallijn](#)
- [PV-paneel, polykristallijn](#)
- [PV-paneel, amorf \(dunne film\)](#)
- [Omvormer, 500 W](#)
- [Omvormer, 2500 W](#)
- [Montagesysteem, plat dak](#)
- [Montagesysteem, hellend dak](#)
- [Bekabeling, DC, AC en aarding](#)

4.3.1 PV-paneel, monokristallijn

Het PV-paneel is gemodelleerd op basis van een totale massa van 15,8 kg per m², conform het gevalideerde NMD-basisproces 0087. Hoewel de impactgegevens in A1-3 zijn ontleend aan het NMD-basisproces, is in de toegevoegde tabel een bewuste opsplitsing gemaakt van de verschillende materiaalcomponenten binnen dit profiel. Hierdoor is het mogelijk om per materiaaltype een aparte end-of-life route te modelleren.

Milieuprofiel: Bouwverlies Levensduur milieuprofiel	PV-paneel, monokristallijn 3% 25 jaar												
					% secundair	LHV (MJ/kg)	Scenario	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik	
Materiaalstroom	Fase	NMD basisproces	Hvh	Eh									
Aandeel elektronica in PV-paneel	A1-A3	0087-fab&Zonnepaneel, PV	1.46	kg	0%	-	95	0%	5%	35%	60%	0%	
Aandeel aluminium in PV-paneel	A1-A3	0087-fab&Zonnepaneel, PV	2.629	kg	30%	-	4	0%	3%	3%	94%	0%	
Aandeel glas in PV-paneel	A1-A3	0087-fab&Zonnepaneel, PV	10.079	kg	0%	-	28	0%	30%	0%	70%	0%	
Aandeel kartonverpakking in PV-paneel	A1-A3	0087-fab&Zonnepaneel, PV	1.096	kg	76%	15.9	51	0%	15%	85%	0%	0%	
Aandeel kunststoffen in PV-paneel	A1-A3	0087-fab&Zonnepaneel, PV	1.67	kg	0%	28.7	45	0%	0%	90%	10%	0%	
Landtransport: fabriek Azië naar haven (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	2.54	tkm									
Zeetransport: haven Azië naar haven Europa (20.000 km)	A4	0290-tra&Transport, vrachtschip, container, zee	338.68	tkm									
Landtransport: fabriek Azië naar haven (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	2.54	tkm									
Prefab installatieverlies	A5	A1-A3, A4, C2-C4 0087-fab&Zonnepaneel, PV	3	%									
Forfataire waarde	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen	1.316	tkm									
Recycling elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa electronica * 60%	C3	0624-reC&Shred en sorteren elektronisch afval	0.876	kg									
Recycling glas o.b.v. stroomnr. 28: massa glas * 70%	C3	0272-reC&Recycling vlakglas	7.055	kg									
Recycling kunststoffen o.b.v. stroomnr. 45: massa kunststof * 10%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.167	kg									
Recycling aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium* 94%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	2.472	kg									
Verbranding elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa electronica * 35%	C4	0623-avC&Verbranden elektronisch afval	0.511	kg									
Verbranding aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0255-avC&Verbranden aluminium	0.079	kg									
Verbranding karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 85%	C3	0696-avC&Verbranden papier/karton	0.931	kg									
Verbranding kunststoffen o.b.v. stroomnr. 45: massa kunststoffen * 90%	C3	0264-avC&Verbranden kunststoffen	1.503	kg									
Stort elektronica o.b.v. stroomnr. 95: Massa glas * 5%	C4	0622-sto&Stort elektronisch afval	0.073	kg									
Stort aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0239-sto&Stort aluminium	0.079	kg									
Stort glas o.b.v. stroomnr. 28: massa glas * 30%	C4	0244-sto&Stort glas	3.024	kg									
Stort karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 15%	C4	0701-sto&Stort papier/karton	0.164	kg									
Aanname grondstof equivalent uit elektronica recycling	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.902	kg									
Grondstof equivalent voor recycled glas	D	0273-reD&Module D, vlakglas per kg NETTO geleverd kring	7.267	kg									
Grondstof equivalent voor recycled kunststof	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.172	kg									
Grondstof equivalent voor recycled aluminium	D	0269-reD&Module D, aluminium, per kg NETTO geleverd s	1.733	kg									
Energieterugwinning uit hernieuwbaar materiaal	D	0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIEUW	15.27	MJ									
Energieterugwinning uit fossiel materiaal	D	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIEL	44.384	MJ									

4.3.2 PV-paneel, polykristallijn

Het PV-paneel is gemodelleerd op basis van een totale massa van 15,8 kg per m², conform het gevalideerde NMD-basisproces 0088. Hoewel de impactgegevens in A1-3 zijn ontleend aan het NMD-basisproces, is in de toegevoegde tabel een bewuste opsplitsing gemaakt van de verschillende materiaalcomponenten binnen dit profiel. Hierdoor is het mogelijk om per materiaaltipe een aparte end-of-life route te modelleren.

Milieuprofiel: Bouwverlies Levensduur milieuprofiel	PV-paneel, polykristallijn 3% 25 jaar												
					% secundair	LHV (MJ/kg)	Scenario	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik	
Materiaalstroom	Fase	NMD basisproces	Hvh	Eh									
Aandeel elektronica in PV-paneel	A1-A3	0088-fab&Zonnepaneel, PV	1.46	kg	0%	-	95	0%	5%	35%	60%	0%	
Aandeel aluminium in PV-paneel	A1-A3	0088-fab&Zonnepaneel, PV	2.629	kg	30%	-	4	0%	3%	3%	94%	0%	
Aandeel glas in PV-paneel	A1-A3	0088-fab&Zonnepaneel, PV	10.079	kg	0%	-	28	0%	30%	0%	70%	0%	
Aandeel kartonverpakking in PV-paneel	A1-A3	0088-fab&Zonnepaneel, PV	1.096	kg	76%	16.0	51	0%	15%	85%	0%	0%	
Aandeel kunststoffen in PV-paneel	A1-A3	0088-fab&Zonnepaneel, PV	1.67	kg	0%	29.0	45	0%	0%	90%	10%	0%	
Landtransport: fabriek Azië naar haven (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	2.54	tkm									
Zee-transport: haven Azië naar haven Europa (20.000 km)	A4	0290-tra&Transport, vrachtschip, container, zee	338.68	tkm									
Landtransport: fabriek Azië naar haven (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	2.54	tkm									
Prefab installatieverlies	A5	A1-A3, A4, C2-C4 0088-fab&Zonnepaneel, PV	3	%									
forfataire waarde	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen	1.316	tkm									
Recycling elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa electronica * 60%	C3	0624-reC&Shred en sorteren elektronisch afval	0.876	kg									
Recycling glas o.b.v. stroomnr. 28: massa glas * 70%	C3	0272-reC&Recycling vlakglas	7.055	kg									
Recycling kunststoffen o.b.v. stroomnr. 45: massa kunststof * 10%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.167	kg									
Recycling aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium* 94%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	2.472	kg									
Verbranding elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa electronica * 35%	C4	0623-avC&Verbranden elektronisch afval	0.511	kg									
Verbranding aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0255-avC&Verbranden aluminium	0.079	kg									
Verbranding karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 85%	C3	0696-avC&Verbranden papier/karton	0.931	kg									
Verbranding kunststoffen o.b.v. stroomnr. 45: massa kunststoffen * 90%	C3	0264-avC&Verbranden kunststoffen	1.503	kg									
Stort elektronica o.b.v. stroomnr. 95: Massa glas * 5%	C4	0622-sto&Stort elektronisch afval	0.073	kg									
Stort aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0239-sto&Stort aluminium	0.079	kg									
Stort glas o.b.v. stroomnr. 28: massa glas * 30%	C4	0244-sto&Stort glas	3.024	kg									
Stort karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 15%	C4	0701-sto&Stort papier/karton	0.164	kg									
Aanname laagwaardig grondstof equivalent uit elektronica recycling	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.902	kg									
Grondstof equivalent voor recycled glas	D	0273-reD&Module D, vlakglas per kg NETTO geleverd	7.267	kg									
Grondstof equivalent voor recycled kunststof	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.172	kg									
Grondstof equivalent voor recycled aluminium	D	0269-reD&Module D, aluminium, per kg NETTO geleverd	1.733	kg									
Energieterugwinning uit hernieuwbaar materiaal	D	0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIE	15.27	MJ									
Energieterugwinning uit fossiel materiaal	D	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIEL	44.384	MJ									

4.3.3 PV-paneel, amorf (dunne film)

Het PV-paneel is gemodelleerd op basis van een totale massa van 8,2 kg per m², conform het gevalideerde NMD-basisproces 0085. Hoewel de impactgegevens in A1-3 zijn ontleend aan het NMD-basisproces, is in de toegevoegde tabel een bewuste opsplitsing gemaakt van de verschillende materiaalcomponenten binnen dit profiel. Hierdoor is het mogelijk om per materiaaltype een aparte end-of-life route te modelleren.

Milieuprofiel: Bouwverlies Levensduur milieuprofiel	PV-paneel, amorf/dunne film 3% 25 jaar											
					% secundair	LHV (MJ/kg)	Scenario	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
Materiaalstroom	Fase	NMD basisproces	Hvh	Eh								
Aandeel elektronica in PV-paneel	A1-A3	0085-fab&Zonnepaneel, PV	2.719	kg	46%	-	95	0%	5%	35%	60%	0%
Aandeel aluminium in PV-paneel	A1-A3	0085-fab&Zonnepaneel, PV	3.34	kg	30%	-	4	0%	3%	3%	94%	0%
Aandeel staal in PV-paneel	A1-A3	0085-fab&Zonnepaneel, PV	2.18	kg	32%	-	50	0%	5%	5%	90%	0%
Landtransport: fabriek Azië naar haven (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	1.236	tkm								
Zeetransport: haven Azië naar haven Europa (20.000 km)	A4	0290-tra&Transport, vrachtschip, container, zee	164.786	tkm								
Landtransport: fabriek Azië naar haven (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	1.236	tkm								
Prefab installatieverlies	A5	A1-A3, A4, C2-C4 0085-fab&Zonnepaneel, PV	3	%								
forfataire waarde	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.545	tkm								
Recycling elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa electronica * 60%	C3	0624-reC&Shredden en sorteren elektronisch afval	1.631	kg								
Recycling staal o.b.v. stroomnr. 50: massa staal * 50%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	1.962	kg								
Recycling aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium* 94%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	3.14	kg								
Verbranding elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa electronica * 35%	C4	0623-avC&Verbranden elektronisch afval	0.952	kg								
Verbranding aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0255-avC&Verbranden aluminium	0.1	kg								
Verbranding staal o.b.v. stroomnr. 50: massa staal * 5%	C4	0257-avC&Verbranden staalschroot	0.109	kg								
Stort elektronica o.b.v. stroomnr. 95: Massa glas * 5%	C4	0622-sto&Stort elektronisch afval	0.136	kg								
Stort aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0239-sto&Stort aluminium	0.1	kg								
Stort staal o.b.v. stroomnr. 50: massa staal * 5%	C4	0253-sto&Stort staal	0.109	kg								
Aanname laagwaardig grondstof equivalent uit elektronica recycling	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.395	kg								
Grondstof equivalent voor recycled staal	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongele	1.311	kg								
Grondstof equivalent voor recycled aluminium	D	0269-reD&Module D, aluminium, per kg NETTO geleverd s	2.202	kg								

4.3.4 Omvormer, 0,5 kW, 93,5% efficiëntie

De omvormer is gemodelleerd op basis van een totale massa van 1,6 kg per stuk, conform het gevalideerde NMD-basisproces 0304. Hoewel de impactgegevens in A1-3 zijn ontleend aan het NMD-basisproces, is in de toegevoegde tabel een bewuste opsplitsing gemaakt van de verschillende materiaalcomponenten binnen dit profiel. Hierdoor is het mogelijk om per materiaaltype een aparte end-of-life route te modelleren.

Milieuprofiel: Bouwverlies Levensduur milieuprofiel		Omvormer, 0,5 kW 3% 15 jaar										
Materiaalstroom	Fase	NMD basisproces	Hvh	Eh	% secundair LHV (MJ/kg)	Scenario	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik	
Aandeel elektronica in omvormer	A1-A3	0304-fab&Inverter, 0,5 kW, 93,5% efficiency, per kg	0.59	kg	34%	-	95	0%	5%	35%	60%	0%
Aandeel aluminium in omvormer	A1-A3	0304-fab&Inverter, 0,5 kW, 93,5% efficiency, per kg	0.68	kg	30%	-	4	0%	3%	3%	94%	0%
Aandeel plastics in omvormer	A1-A3	0304-fab&Inverter, 0,5 kW, 93,5% efficiency, per kg	0.25	kg	0%	42	45	0%	0%	90%	10%	0%
Aandeel staal in omvormer	A1-A3	0304-fab&Inverter, 0,5 kW, 93,5% efficiency, per kg	0.08	kg	32%	-	73	0%	1%	0%	87%	12%
Kartonverpakkingverpakking	A1-A3	0058-fab&Papier/karton	1.12	kg	76%	16	51	0%	15%	85%	0%	0%
EPS verpakkingsmateriaal	A1-A3	0007-fab&Polystyreen, EPS	0.13	kg	13%	32	24	0%	0%	35%	65%	0%
Landtransport: fabriek Azië naar haven (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.428	tkm								
Zee-transport: haven Azië naar haven Europa (20.000 km)	A4	0290-tra&Transport, vrachtschip, container, zee	57	tkm								
Landtransport: haven Europa naar bouwplaats (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.428	tkm								
Prefab installatieverlies	A5	A1-A3, A4, C2-C4	3	%								
forfataire waarde	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.298	tkm								
Recycling elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa elektronica * 60%	C3	0624-reC&Shred en sorteren elektronisch afval	0.354	kg								
Recycling plastics o.b.v. stroomnr. 45: massa plastics * 10%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.025	kg								
Recycling staal o.b.v. stroomnr. 73: massa staal * 87%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	0.079	kg								
Recycling EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS* 65%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.085	kg								
Verbranding EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS* 35%	C3	0261-avC&Verbranden EPS	0.046	kg								
Recycling aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium* 94%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	0.639	kg								
Verbranding elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa elektronica * 35%	C4	0623-avC&Verbranden elektronisch afval	0.207	kg								
Verbranding aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0255-avC&Verbranden aluminium	0.02	kg								
Verbranding plastics o.b.v. stroomnr. 45: massa plastics * 90%	C3	0264-avC&Verbranden kunststoffen	0.225	kg								
Verbranding karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton * 85%	C3	0696-avC&Verbranden papier/karton	0.952	kg								
Stort elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa elektronica * 5%	C4	0622-sto&Stort elektronisch afval	0.03	kg								
Stort aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0239-sto&Stort aluminium	0.02	kg								
Stort staal o.b.v. stroomnr. 73: massa staal * 1%	C4	0253-sto&Stort staal	0.001	kg								
Stort karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 15%	C4	0701-sto&Stort papier/karton	0.168	kg								
Aanname grondstoffen equivalent recycled plasticmix	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.16	kg								
Grondstof equivalent voor recycled HDPE	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.026	kg								
Grondstof equivalent voor recycled staal	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongele	0.049	kg								
Grondstof equivalent voor EPS	D	0309-reD&Module D, EPS, per kg NETTO geleverd EPS	0.07	kg								
Hergebruikt staal o.b.v stroomnr. 73: massa staal * 12%	D	0238-fab&Staal, laaggelegeerd	-0.01	kg								
Grondstof equivalent voor recycled aluminium	D	0269-reD&Module D, aluminium, per kg NETTO geleverd s	0.448	kg								
Energierugwinning uit hernieuwbaar materiaal	D	0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIE	15.611	MJ								
Energierugwinning uit fossiel materiaal	D	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIEL	11.351	MJ								

4.3.5 Omvormer, 2,5 kW, 93,5% efficiëntie

De omvormer is gemodelleerd op basis van een totale massa van 18,1 kg per stuk, conform het gevalideerde NMD-basisproces 0089. Hoewel de impactgegevens in A1-3 zijn ontleend aan het NMD-basisproces, is in de toegevoegde tabel een bewuste opsplitsing gemaakt van de verschillende materiaalcomponenten binnen dit profiel. Hierdoor is het mogelijk om per materiaaltype een aparte end-of-life route te modelleren.

Milieuprofiel: Bouwverlies Levensduur milieuprofiel	Omvormer, 2,5 kW 3% 15 jaar											
Materiaalstroom	Fase	NMD basisproces	Hvh	Eh	% secundair	LHV (MJ/kg)	Scenario	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Gebruik
Aandeel electronica in omvormer	A1-A3	0089-fab&Inverter, 2,5 kW, 93,5% efficiency, per kg	6.836	kg	34%	-	95	0%	5%	35%	60%	0%
Aandeel aluminium in omvormer	A1-A3	0089-fab&Inverter, 2,5 kW, 93,5% efficiency, per kg	1.4	kg	30%	-	4	0%	3%	3%	94%	0%
Aandeel plastics in omvormer	A1-A3	0089-fab&Inverter, 2,5 kW, 93,5% efficiency, per kg	0.071	kg	0%	42	45	0%	0%	90%	10%	0%
Aandeel staal in omvormer	A1-A3	0089-fab&Inverter, 2,5 kW, 93,5% efficiency, per kg	9.8	kg	32%	-	73	0%	1%	0%	87%	12%
Kartonverpakkingverpakking	A1-A3	0058-fab&Papier/karton	2.5	kg	76%	16	51	0%	15%	85%	0%	0%
EPS verpakkingsmateriaal	A1-A3	0007-fab&Polystyreen, EPS	0.3	kg	13%	32	24	0%	0%	35%	65%	0%
Landtransport: fabriek Azië naar haven (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	3.136	tkm								
Zettransport: haven Azië naar haven Europa (20.000 km)	A4	0290-tra&Transport, vrachtschip, container, zee	418.142	tkm								
Landtransport: haven Europa naar bouwplaats (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	3.136	tkm								
Prefab installatieverlies	A5	A1-A3, A4, C2-C4	3	%								
forfataire waarde	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen	1.561	tkm								
Recycling elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa elektronica * 60%	C3	0624-reC&Shred en sorteren elektronisch afval	4.102	kg								
Recycling plastics o.b.v. stroomnr. 45: massa plastics * 10%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.007	kg								
Recycling staal o.b.v. stroomnr. 73: massa staal * 87%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	9.702	kg								
Recycling EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS* 65%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.195	kg								
Verbranding EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS* 35%	C3	0261-avC&Verbranden EPS	0.105	kg								
Recycling aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium* 94%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	1.316	kg								
Verbranding elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa elektronica * 35%	C4	0623-avC&Verbranden elektronisch afval	2.393	kg								
Verbranding aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0255-avC&Verbranden aluminium	0.042	kg								
Verbranding plastics o.b.v. stroomnr. 45: massa plastics * 90%	C3	0264-avC&Verbranden kunststoffen	0.064	kg								
Verbranding karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton * 85%	C3	0696-avC&Verbranden papier/karton	2.125	kg								
Stort elektronica o.b.v. stroomnr. 95: massa elektronica * 5%	C4	0622-sto&Stort elektronisch afval	0.342	kg								
Stort aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0239-sto&Stort aluminium	0.042	kg								
Stort staal o.b.v. stroomnr. 73: massa staal * 1%	C4	0253-sto&Stort staal	0.098	kg								
Stort karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 15%	C4	0701-sto&Stort papier/karton	0.375	kg								
Aanname grondstoffen equivalent recycled plasticmix	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	1.852	kg								
Grondstof equivalent voor recycled HDPE	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.007	kg								
Grondstof equivalent voor recycled staal	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongele	5.975	kg								
Grondstof equivalent voor EPS	D	0309-reD&Module D, EPS, per kg NETTO geleverd EPS	0.161	kg								
Hergebruikt staal o.b.v. stroomnr. 73: massa staal * 12%	D	0238-fab&Staal, laaggelegeerd	-1.211	kg								
Grondstof equivalent voor recycled aluminium	D	0269-reD&Module D, aluminium, per kg NETTO geleverd s	0.923	kg								
Energieterugwinning uit hernieuwbaar materiaal	D	0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIE	34.845	MJ								
Energieterugwinning uit fossiel materiaal	D	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIEL	6.282	MJ								

4.3.6 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak

Het montagesysteem is gemodelleerd op basis van een totale massa van 4,71 kg per stuk, conform het gevalideerde NMD-basisproces 0615. Hoewel de impactgegevens in A1-3 zijn ontleend aan het NMD-basisproces, is in de toegevoegde tabel een bewuste opsplitsing gemaakt van de verschillende materiaalcomponenten binnen dit profiel. Hierdoor is het mogelijk om per materiaaltype een aparte end-of-life route te modelleren.

Milieuoprofiel: Bouwverlies Levensduur milieuprofiel	Montagesysteem, aluminium, plat dak 3% 25 jaar												
Materiaalstroom	Fase	NMD basisproces	Hvh	Eh	% secundair LHV (MJ/kg)	Scenario	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik		
Aandeel aluminium in montagesysteem	A1-A3	0615-fab&Montage systeem zonnepaneel, plat dak, per kg	2.52	kg	30%	-	4	0%	3%	3%	94%	0%	
Aandeel staal in montagesysteem	A1-A3	0615-fab&Montage systeem zonnepaneel, plat dak, per kg	0.27	kg	32%	-	75	0%	5%	0%	95%	0%	
Aandeel HDPE in montagesysteem	A1-A3	0615-fab&Montage systeem zonnepaneel, plat dak, per kg	1.92	kg	0%	42	45	0%	0%	90%	10%	0%	
Kartonverpakkingverpakking	A1-A3	0058-fab&Papier/karton	0.01	kg	76%	16	51	0%	15%	85%	0%	0%	
EPS verpakkingsmateriaal	A1-A3	0007-fab&Polystyreen, EPS	0.02	kg	13%	32	24	0%	0%	35%	65%	0%	
Landtransport: fabriek Nederland naar bouwplaats (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.711	tkm									
Prefab installatieverlies	A5	A1-A3, A4, C2-C4	3	%									
forfataire waarde	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.423	tkm									
Recycling aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium* 94%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	2.369	kg									
Recycling HDPE o.b.v. stroomnr. 45: massa HDPE * 10%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.192	kg									
Recycling EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS* 65%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.013	kg									
Recycling staal o.b.v. stroomnr. 75: massa staal * 95%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	0.257	kg									
Verbranding aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0255-avC&Verbranden aluminium	0.076	kg									
Verbranding HDPE o.b.v. stroomnr. 45: massa HDPE * 90%	C3	0311-avC&Verbranden PE	1.728	kg									
Verbranding karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 85%	C3	0696-avC&Verbranden papier/karton	0.009	kg									
Verbranding EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS * 35%	C3	0261-avC&Verbranden EPS	0.007	kg									
Stort aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0239-sto&Stort aluminium	0.076	kg									
Stort staal o.b.v. stroomnr. 75: massa staal* 5%	C4	0253-sto&Stort staal	0.014	kg									
Stort karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 15%	C4	0701-sto&Stort papier/karton	0.002	kg									
Grondstof equivalent voor recycled aluminium	D	0269-reD&Module D, aluminium, per kg NETTO geleverd	1.661	kg									
Grondstof equivalent voor recycled HDPE	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.198	kg									
Grondstof equivalent voor recycled EPS	D	0309-reD&Module D, EPS, per kg NETTO geleverd	0.011	kg									
Grondstof equivalent voor recycled staal	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongele	0.176	kg									
Energieterugwinning uit hernieuwbaar materiaal	D	0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIE	0.139	MJ									
Energieterugwinning uit fossiel materiaal	D	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIEL	75.822	MJ									

4.3.7 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak

Het montagesysteem is gemodelleerd op basis van een totale massa van 4,34 kg per stuk, conform het gevalideerde NMD-basisproces 0616. Hoewel de impactgegevens in A1-3 zijn ontleend aan het NMD-basisproces, is in de toegevoegde tabel een bewuste opsplitsing gemaakt van de verschillende materiaalcomponenten binnen dit profiel. Hierdoor is het mogelijk om per materiaaltype een aparte end-of-life route te modelleren.

Milieuprofiel: Bouwverlies Levensduur milieuprofiel	Montagesysteem, aluminium, hellend dak 3% 25 jaar												
Materiaalstroom	Fase	NMD basisproces	Hvh	Eh	% secundair LHV (MJ/kg)	Scenario	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik		
Aandeel aluminium in montagesysteem	A1-A3	0616-fab&Montage systeem zonnepaneel, hellend dak, per	2.836	kg	30%	-	4	0%	3%	3%	94%	0%	
Aandeel staal in montagesysteem	A1-A3	0616-fab&Montage systeem zonnepaneel, hellend dak, per	1.5	kg	32%	-	75	0%	5%	0%	95%	0%	
Aandeel HDPE in montagesysteem	A1-A3	0616-fab&Montage systeem zonnepaneel, hellend dak, per	0.001	kg	0%	42	45	0%	0%	90%	10%	0%	
Kartonverpakkingverpakking	A1-A3	0058-fab&Papier/karton	0.132	kg	76%	16	51	0%	15%	85%	0%	0%	
EPS verpakkingsmateriaal	A1-A3	0007-fab&Polystyreen, EPS	0.007	kg	13%	32	24	0%	0%	35%	65%	0%	
Landtransport: fabriek Nederland naar bouwplaats (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.671	tkm									
Prefab installatieverlies	A5	A1-A3, A4, C2-C4	3	%									
forfataire waarde	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.253	tkm									
Recycling aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium* 94%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	2.665	kg									
Recycling HDPE o.b.v. stroomnr. 45: massa HDPE * 10%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0	kg									
Recycling EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS* 65%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.005	kg									
Recycling staal o.b.v. stroomnr. 75: massa staal * 95%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	1.425	kg									
Verbranding aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0255-avC&Verbranden aluminium	0.085	kg									
Verbranding HDPE o.b.v. stroomnr. 45: massa HDPE * 90%	C3	0311-avC&Verbranden PE	0.001	kg									
Verbranding karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 85%	C3	0696-avC&Verbranden papier/karton	0.112	kg									
Verbranding EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS * 35%	C3	0261-avC&Verbranden EPS	0.002	kg									
Stort aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0239-sto&Stort aluminium	0.085	kg									
Stort staal o.b.v. stroomnr. 75: massa staal* 5%	C4	0253-sto&Stort staal	0.075	kg									
Stort karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 15%	C4	0701-sto&Stort papier/karton	0.02	kg									
Grondstof equivalent voor recycled aluminium	D	0269-reD&Module D, aluminium, per kg NETTO geleverd s	1.869	kg									
Grondstof equivalent voor recycled HDPE	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0	kg									
Grondstof equivalent voor recycled EPS	D	0309-reD&Module D, EPS, per kg NETTO geleverd EPS	0.004	kg									
Grondstof equivalent voor recycled staal	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongele	0.979	kg									
Energieterugwinning uit hernieuwbaar materiaal	D	0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIE	1.837	MJ									
Energieterugwinning uit fossiel materiaal	D	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIEL	0.137	MJ									

4.3.8 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel

Het montagesysteem is gemodelleerd op basis van een totale massa van 4,43 kg per stuk, conform het gevalideerde NMD-basisproces 0616. Hoewel de impactgegevens in A1-3 zijn ontleend aan het NMD-basisproces, is in de toegevoegde tabel een bewuste opsplitsing gemaakt van de verschillende materiaalcomponenten binnen dit profiel. Hierdoor is het mogelijk om per materiaaltipe een aparte end-of-life route te modelleren.

Milieuprofiel: Bouwverlies Levensduur milieuprofiel	Montagesysteem, aluminium, gevel 3% 25 jaar												
Materiaalstroom	Fase	NMD basisproces	Hvh	Eh	% secundair	LHV (MJ/kg)	Scenario	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik	
Aluminium in montagesysteem	A1-A3	0379-fab&Aluminium, kneedlegering	2.635	kg	30%	-	4	0%	3%	3%	94%	0%	
Staal in montagesysteem	A1-A3	0238-fab&Staal, laaggelegeerd	1.797	kg	32%	-	75	0%	5%	0%	95%	0%	
HDPE in montagesysteem	A1-A3	0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd	0.001	kg	0%	42	45	0%	0%	90%	10%	0%	
Kartonverpakkingverpakking	A1-A3	0058-fab&Papier/karton	0.04	kg	76%	16	51	0%	15%	85%	0%	0%	
EPS verpakkingsmateriaal	A1-A3	0007-fab&Polystyreen, EPS	0.004	kg	13%	32	24	0%	0%	35%	65%	0%	
Landtransport: fabriek Nederland naar bouwplaats (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.672	tkm									
Prefab installatieverlies	A5	A1-A3, A4, C2-C4	3	%									
forfataire waarde	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.244	tkm									
Recycling aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium* 94%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	2.477	kg									
Recycling HDPE o.b.v. stroomnr. 45: massa HDPE * 10%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0	kg									
Recycling EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS* 65%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.002	kg									
Recycling staal o.b.v. stroomnr. 75: massa staal * 95%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	1.707	kg									
Verbranding aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0255-avC&Verbranden aluminium	0.079	kg									
Verbranding HDPE o.b.v. stroomnr. 45: massa HDPE * 90%	C3	0311-avC&Verbranden PE	0.001	kg									
Verbranding karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 85%	C3	0696-avC&Verbranden papier/karton	0.034	kg									
Verbranding EPS o.b.v. stroomnr. 24: massa EPS * 35%	C3	0261-avC&Verbranden EPS	0.001	kg									
Stort aluminium o.b.v. stroomnr. 4: massa aluminium * 3%	C4	0239-sto&Stort aluminium	0.079	kg									
Stort staal o.b.v. stroomnr. 75: massa staal* 5%	C4	0253-sto&Stort staal	0.09	kg									
Stort karton o.b.v. stroomnr. 51: massa karton* 15%	C4	0701-sto&Stort papier/karton	0.006	kg									
Grondstof equivalent voor recycled aluminium	D	0269-reD&Module D, aluminium, per kg NETTO geleverd s	1.737	kg									
Grondstof equivalent voor recycled HDPE	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0	kg									
Grondstof equivalent voor recycled EPS	D	0309-reD&Module D, EPS, per kg NETTO geleverd EPS	0.002	kg									
Grondstof equivalent voor recycled staal	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongele	1.174	kg									
Energieterugwinning uit hernieuwbaar materiaal	D	0268-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. HERNIE	0.561	MJ									
Energieterugwinning uit fossiel materiaal	D	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIEL	0.071	MJ									

4.3.9 Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels

De bekabeling is gemodelleerd op basis van een totale massa van [xx] kg per functionele eenheid, conform de gevalideerde NMD-basisprocessen voor koper (0059-fab), PVC (0199-fab), HDPE (0185-fab) en staal (0238-fab).

Milieuprofiel: Bouwverlies Levensduur milieuprofiel		PV bekabeling, DC-, AC-, en aardingskabels 5% 25 jaar										
Materiaalstroom	Fase	NMD basisproces	Hvh	Eh	% secundair	LHV (MJ/kg)	Scenario	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
Koper in kabels	A1-A3	0059-fab&Koper, kathode, voor draad	0.852	kg	17%	-	42	0%	10%	5%	85%	0%
Radox 125 isolatie	A1-A3	0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd	0.937	kg	0%	42	45	0%	0%	90%	10%	0%
Buismantel	A1-A3	0199-fab&PVC, geëxtrudeerd	0.153	kg	0%	22	62	0%	10%	85%	5%	0%
Besvestigingsclips	A1-A3	0238-fab&Staal, laaggelegeerd	0.006	kg	32%	-	75	0%	5%	0%	95%	0%
Koper draad trekken	A1-A3	0147-pro&Draad trekken, koper	0.852	kg	0%	0	0	0	0	0	0	0
Landtransport: fabriek Europa naar bouwplaats (150 km)	A4	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.42	tkm								
In-situ installatieverlies	A5	A1-A3, A4, C2-C4	5	%								
forfataire waarde	C2	0001-tra&Transport, vrachtwagen	0.204	tkm								
Recycling koper o.b.v. stroomnr. 42: massa koper * 85%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	0.724	kg								
Recycling PVC o.b.v. stroomnr. 62: massa PVC * 5%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.008	kg								
Recycling staal o.b.v. stroomnr. 75: massa staal * 95%	C3	0315-reC&Sorteren en persen oud ijzer	0.006	kg								
Recycling HDPE o.b.v. stroomnr. 45: massa HDPE * 10%	C3	0286-reC&verwerking kunststof voor recycling	0.094	kg								
Verbranding koper o.b.v. stroomnr. 42: massa koper * 5%	C4	0257-avC&Verbranden staalschroot	0.043	kg								
Verbranding HDPE o.b.v. stroomnr. 45: massa HDPE * 90%	C3	0311-avC&Verbranden PE	0.843	kg								
Verbranding PVC o.b.v. stroomnr. 62: massa PVC * 85%	C3	0265-avC&Verbranden PVC	0.13	kg								
Stort koper o.b.v. stroomnr. 42: massa koper * 10%	C4	0248-sto&Stort koper, lood, verzinkt staal, zink	0.085	kg								
Stort PVC o.b.v. stroomnr. 62: massa PVC * 10%	C4	0252-sto&Stort PVC	0.015	kg								
Stort staal o.b.v. stroomnr. 75: massa staal * 5%	C4	0253-sto&Stort staal	0	kg								
Grondstof equivalent voor recycled koper	D	0277-reD&Module D, koper, per kg NETTO geleverd schro	0.605	kg								
Grondstof equivalent voor recycled PVC	D	0279-reD&Module D, PVC, per kg NETTO geleverd	0.008	kg								
Grondstof equivalent voor recycled staal	D	0282-reD&Module D, staal, per kg NETTO geleverd ongele	0.004	kg								
Grondstof equivalent voor recycled HDPE	D	0278-reD&Module D, PE, per kg NETTO geleverd	0.098	kg								
Energieterugwinning uit fossiel materiaal	D	0267-avD&Vermeden energieproductie AVI, o.b.v. FOSSIEL	40.524	MJ								

5. Milieuprestatie producten (LCA)

In het vorige hoofdstuk zijn voor de beschouwde producten de processen per module vastgesteld. Door koppeling aan de NMD-processendatabase zijn de ingrepen bepaald en vertaald naar milieuprofielen en MKI. Zie bijlage 1 voor de toegepaste versies van de Bepalingsmethode, NMD-processendatabase, EcolInvent en gebruikte software.

Conform paragraaf 3.5 van de Bepalingsmethode zijn deze effectcategorieën omgerekend naar een milieukosten indicator (MKI) in euro's.

5.1 Milieuprofielen en MKI per product

Het wegen van resultaten is een proces waarbij de resultaten van verschillende milieueffectcategorieën worden omgezet naar een 1 punt score zodat ze integraal beschouwd kunnen worden. In deze studie wordt, conform de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW werken, gebruikgemaakt van de Milieu Kosten Indicator (MKI) om de verschillende effectcategorieën te wegen tot één eindpunt.

Deze MKI's van de complete producten, zijn in de onderstaande tabel weergegeven voor de verschillende varianten.

Product	MKI set 1
PV-paneel, monokristallijn	€ 31,42
PV-paneel, polykristallijn	€ 24,42
PV-paneel, amorf (dunne film)	€ 6,17
Omvormer, 0,5 kW	€ 8,51
Omvormer, 2,5 kW,	€ 101,89
Montagesysteem, aluminium, plat dak	€ 2,89
Montagesysteem, aluminium, hellend dak	€ 2,09
Montagesysteem, aluminium, gevel	€ 1,77
Bekabeling, DC en AC en aarding	€ 1,74

5.2 Zwaartepuntanalyse: duiding van de resultaten

De volgende figuren geven de zwaartepunten weer van de componenten voor de verschillende variaties van complete elementen. Hier is zichtbaar dat de meeste impact zit in fase A1-A3. Daarom is ook een uitsplitsing gemaakt naar materiaal in fase A1-A3. Daarnaast is er ook gekeken naar de impact van componenten binnen een product.

Op de volgende pagina's worden de MKI resultaten en zwaartepunt analyses per product weergegeven.

Overzicht hoofdstuk 5

Klik op de titels voor snelle navigatie

- [PV-paneel, monokristallijn](#)
- [PV-paneel, polykristallijn](#)
- [PV-paneel, amorf \(dunne film\)](#)
- [Omvormer, 0,5 kW](#)
- [Omvormer, 2,5 kW](#)
- [Montagesysteem, aluminium, plat dak](#)
- [Montagesysteem, aluminium, hellend dak](#)
- [Montagesysteem, aluminium, gevel](#)
- [Bekabeling, DC, AC en aarding](#)

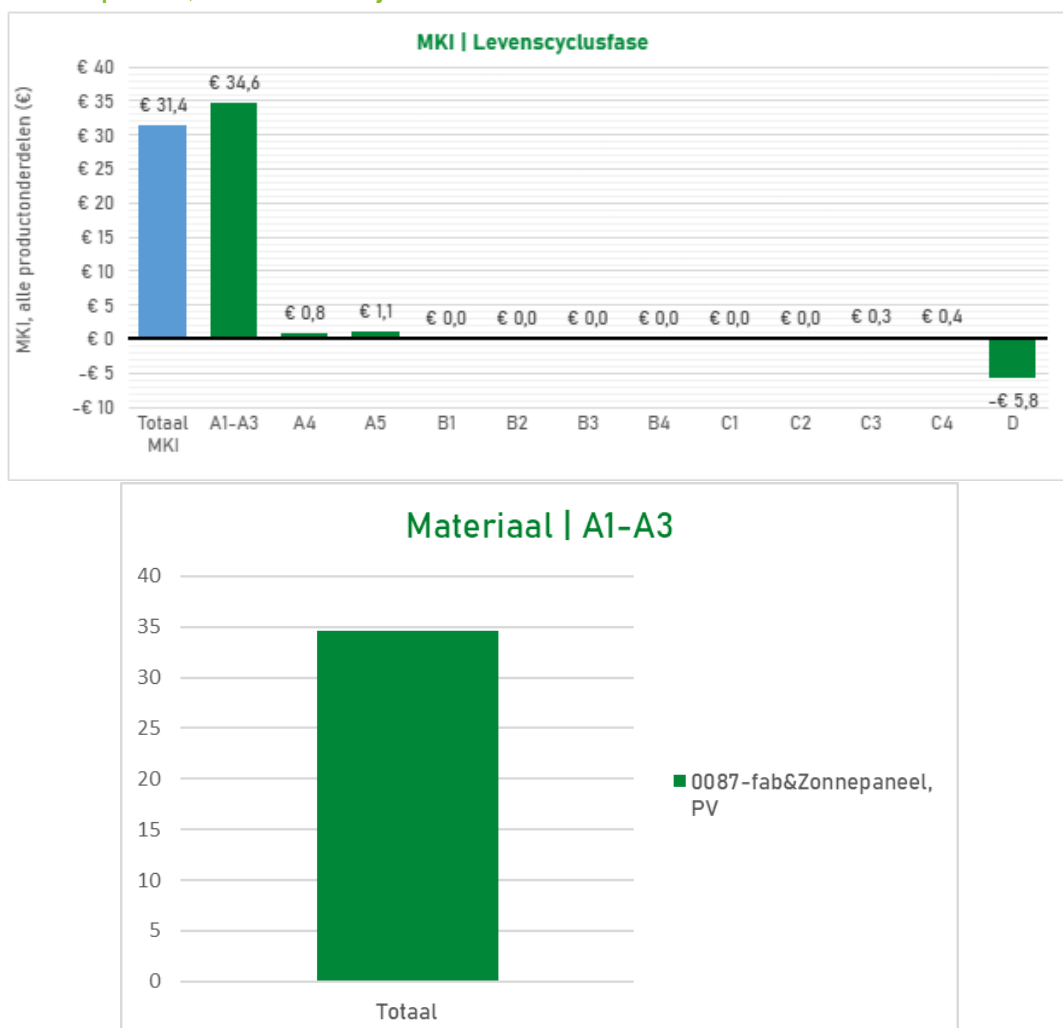
5.2.1 PV-panelen

De analyse van PV-panelen is gebaseerd op NMD-basisprocessen die zijn opgesteld voor samengestelde producten. Dit betekent dat de impactgrafieken van de NMD-resultaten minder zeggingskracht hebben, omdat deze slechts het totaalbeeld van het samengestelde product tonen. Hierdoor ontstaat er geen inzicht in welke afzonderlijke componenten de grootste milieubelasting veroorzaken.

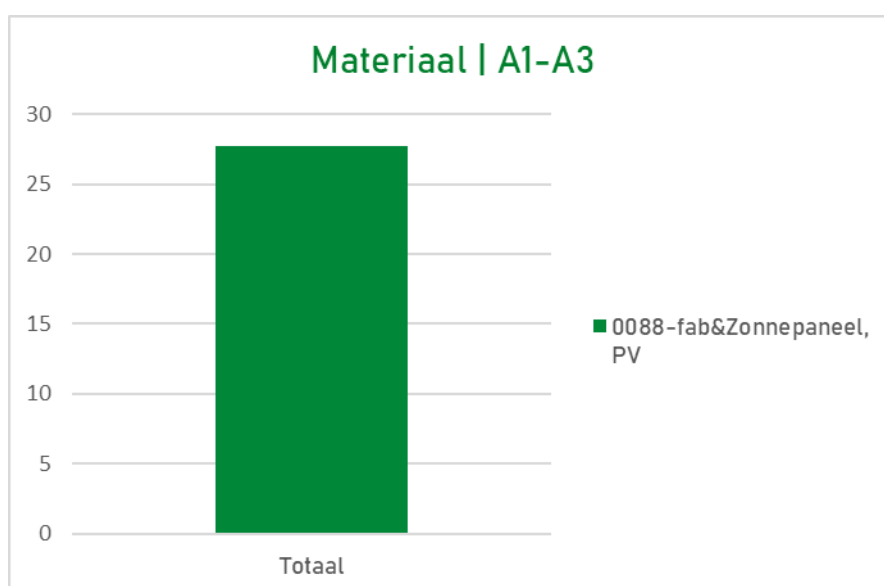
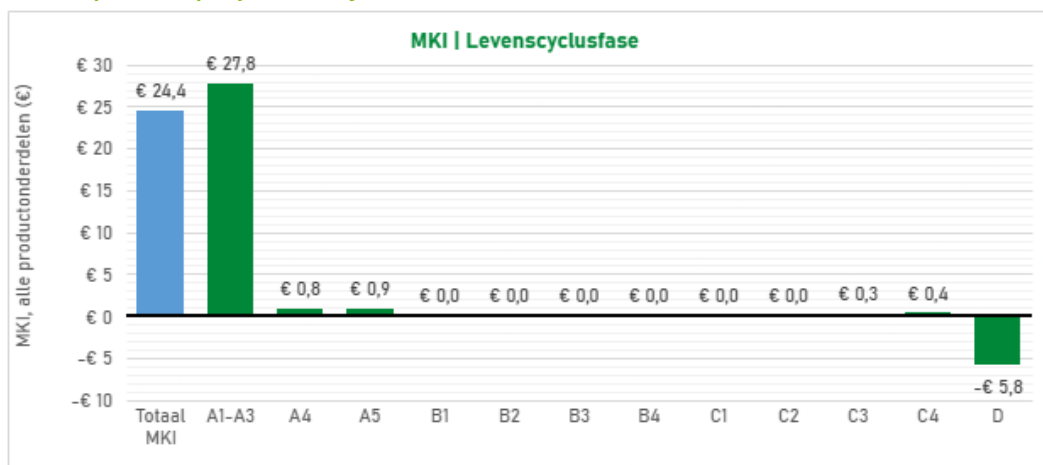
Uit een aanvullende, meer gedetailleerde analyse blijkt echter dat circa 80% van de totale milieu-impact toe te schrijven is aan de productie van de fotonvoltaïsche cellen zelf. De overige onderdelen, zoals frame, glasplaat en montage materiaal, dragen in veel mindere mate bij aan de totale impact.

Ten opzichte van de vorige versie van de productkaarten is de end-of-life verwerking nu anders gemodelleerd. Waar restmateriaal voorheen als opslag werd gemodelleerd, wordt de verwerking nu per materiaalstroom apart meegenomen (aluminium via NMD-scenario 4 en glas via NMD-scenario 28). Dit zorgt voor (relatief beperkte) besparingen in module D.

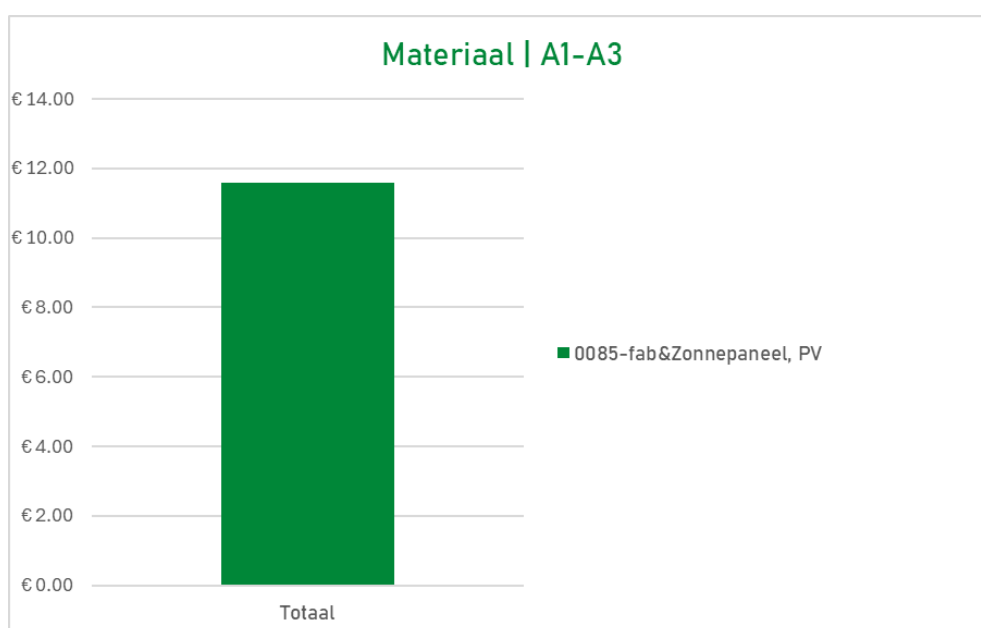
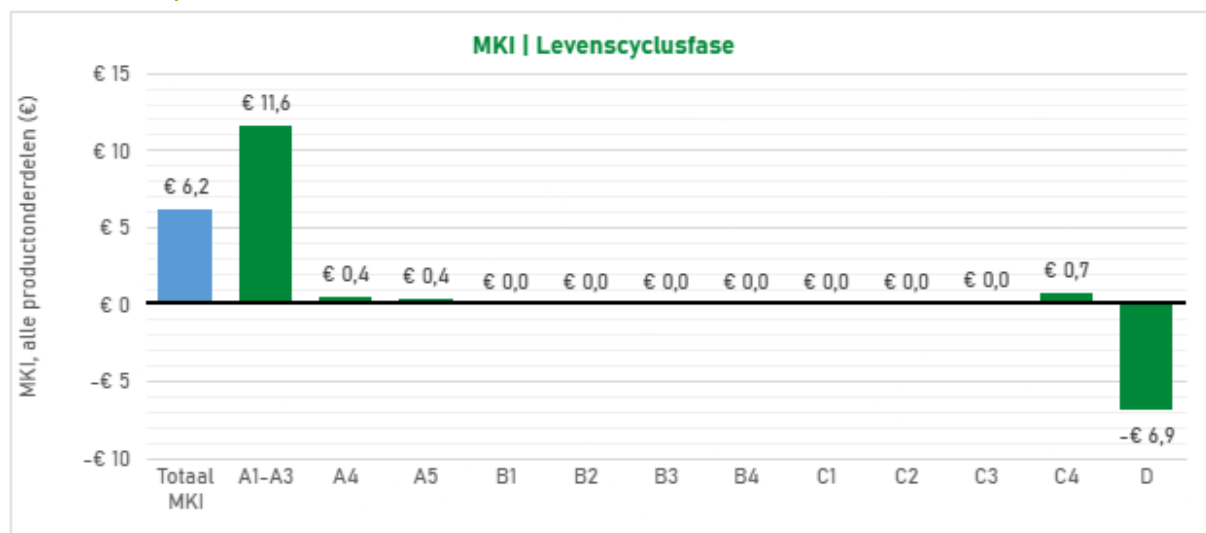
5.2.1.1 PV-paneel, monokristallijn



5.2.1.2 PV-paneel, polykristallijn



5.2.1.3 PV-paneel, amorf (dunne film)



5.2.2 Omvormers

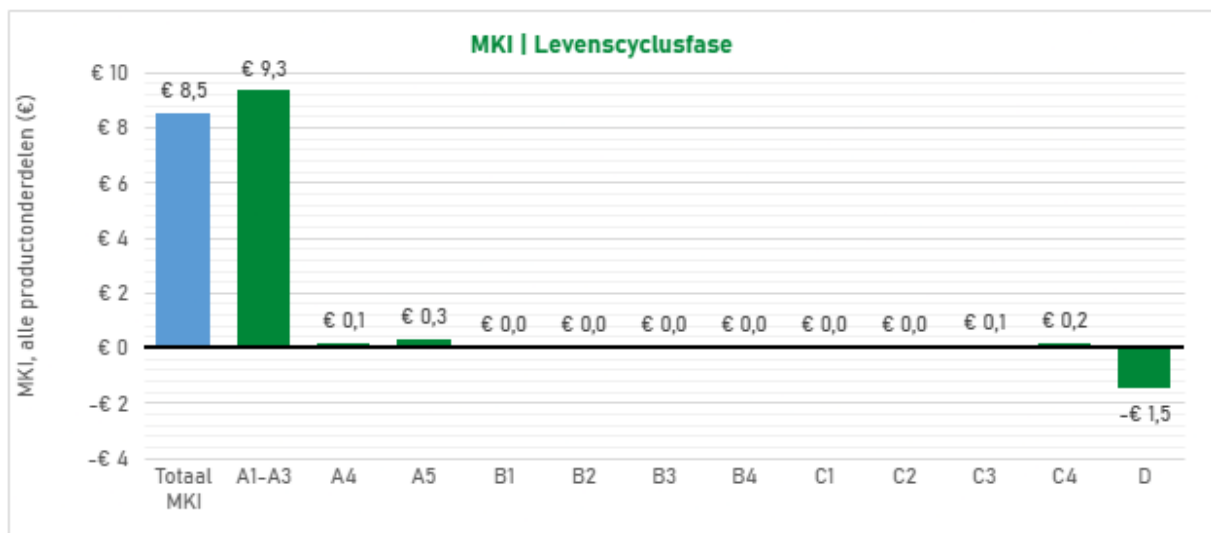
De analyse van de omvormers laat zien dat bij de 0,5 kW-omvormer de verpakking (karton en EPS) nog een enigszins relevante bijdrage levert aan de totale impact. Bij de 2,5 kW-omvormer daarentegen is de impact van de verpakking verwaarloosbaar en speelt vrijwel alleen de omvormer zelf een rol.

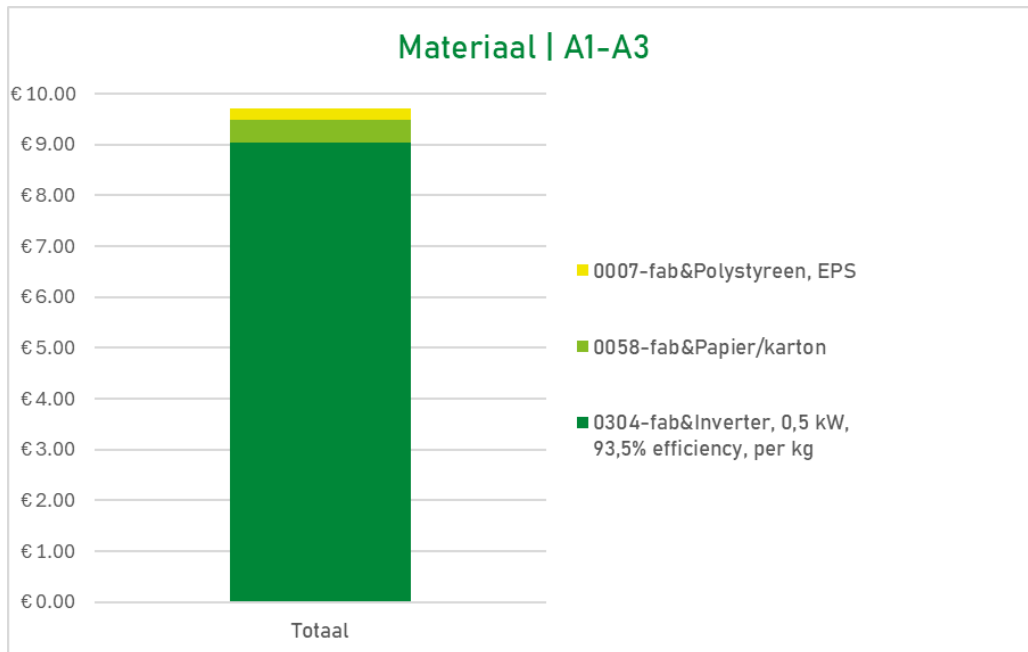
De analyse van omvormers zelf is gebaseerd op NMD-basisprocessen die zijn opgesteld voor samengestelde producten. Dit betekent dat de impactgrafieken van de NMD-resultaten minder zeggingskracht hebben, omdat deze slechts het totaalbeeld van het samengestelde product tonen. Hierdoor ontstaat er geen inzicht in welke afzonderlijke componenten de grootste milieubelasting veroorzaken.

Uit aanvullende analyse blijkt echter dat ongeveer de helft van de totale milieu-impact van omvormers toe te schrijven is aan de printplaten en elektronica in het apparaat. De overige onderdelen, zoals de metalen behuizing en overige materialen, dragen in mindere mate bij aan de totale impact.

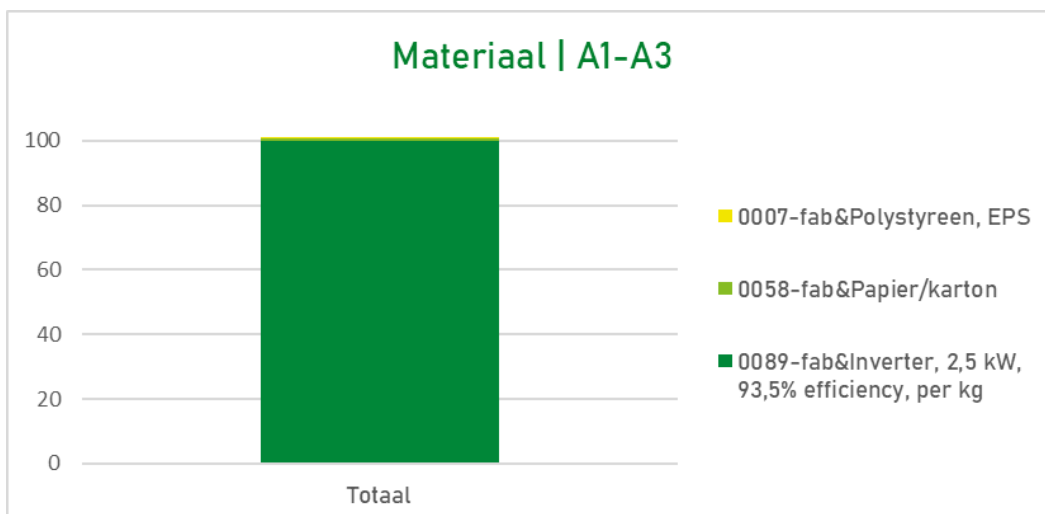
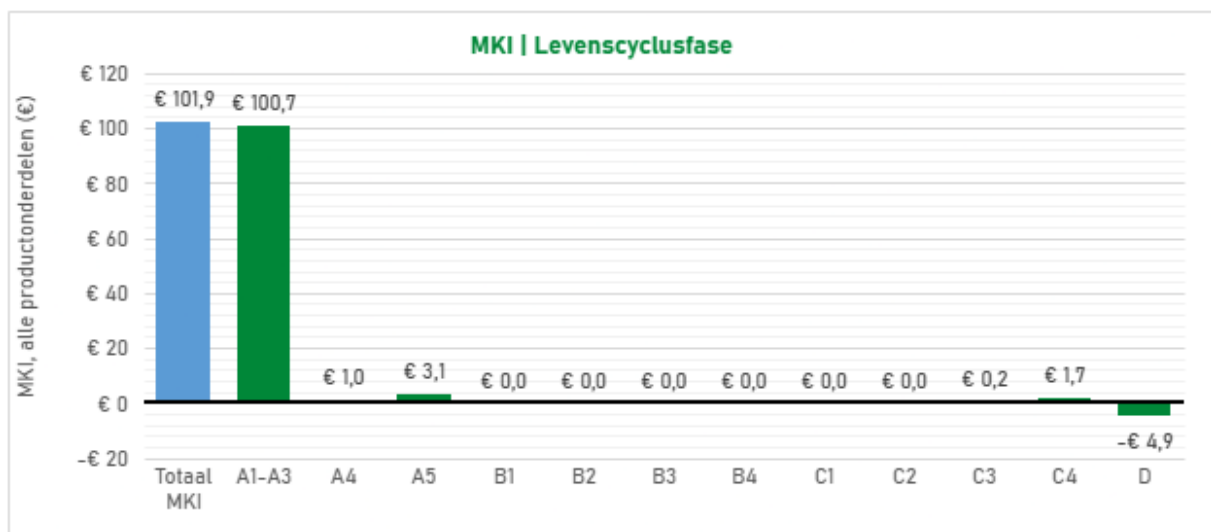
De besparingen in module D zijn relatief beperkt in vergelijking met andere productgroepen. Dit komt doordat de recycling van de toegepaste materialen, zoals elektronica en metalen, minder aanzienlijke milieuvoordelen oplevert dan bijvoorbeeld bij aluminium of koper.

5.2.2.1 Omvormer 0,5 kW, 93,5% efficiëntie





5.2.2.2 Omvormer 2,5 kW, 93,5% efficiëntie



5.2.3 Montagesystemen

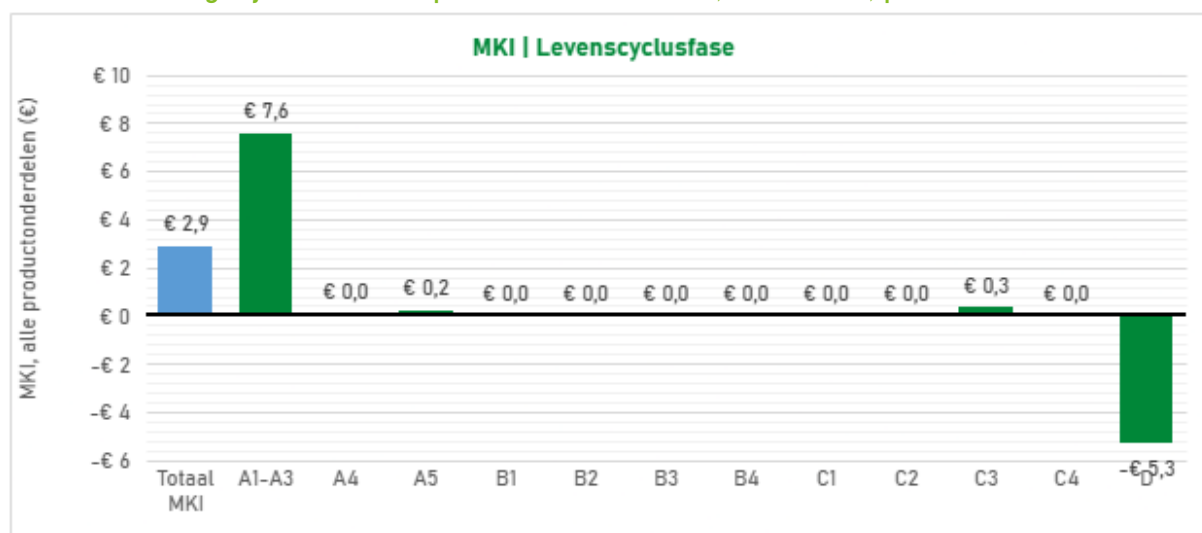
De analyse van montagesystemen is gebaseerd op NMD-basisprocessen die zijn opgesteld voor samengestelde producten. Dit betekent dat de impactgrafieken van de NMD-resultaten voor het platte en hellende dak minder zeggingskracht hebben, omdat deze slechts het totaalbeeld van het samengestelde product tonen. Hierdoor ontstaat er geen inzicht in welke afzonderlijke componenten de grootste milieubelasting veroorzaken.

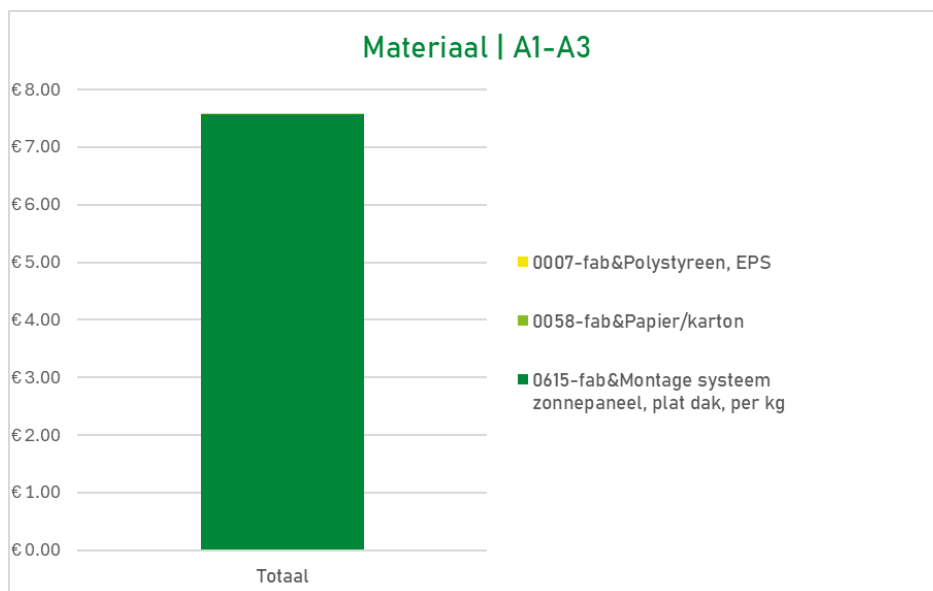
Voor het gevelsysteem is echter een meer gedetailleerde, bottom-up analyse uitgevoerd. Hieruit blijkt dat de aluminium profielen verantwoordelijk zijn voor circa 80% van de totale milieu-impact. De stalen bevestigingen dragen voor ongeveer 20% bij. Het gebruik van kunststoffen, karton en EPS voor verpakking is verwaarloosbaar.

Aangenomen kan worden dat de impactverhoudingen voor de overige twee montagesystemen (plat en hellend dak) in grote lijnen vergelijkbaar zijn met die van het gevelsysteem, waarbij de aluminium componenten de grootste bijdrage leveren aan de totale milieu-impact.

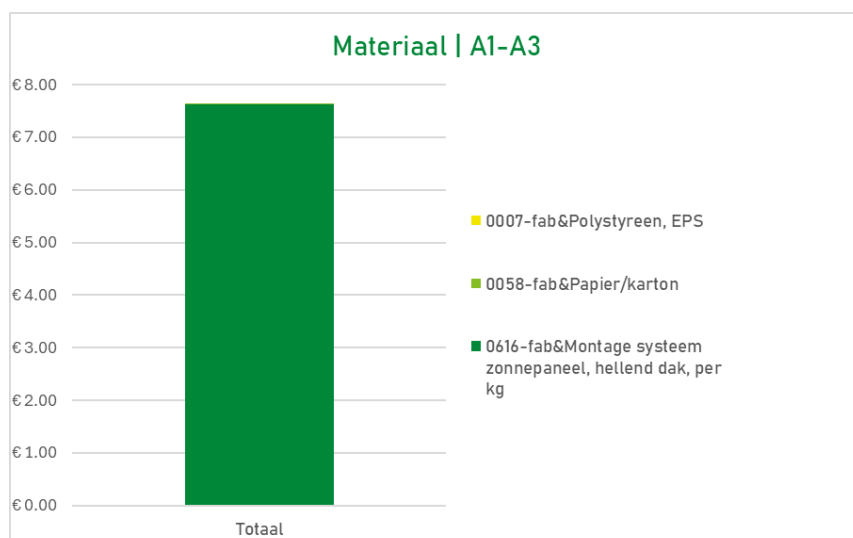
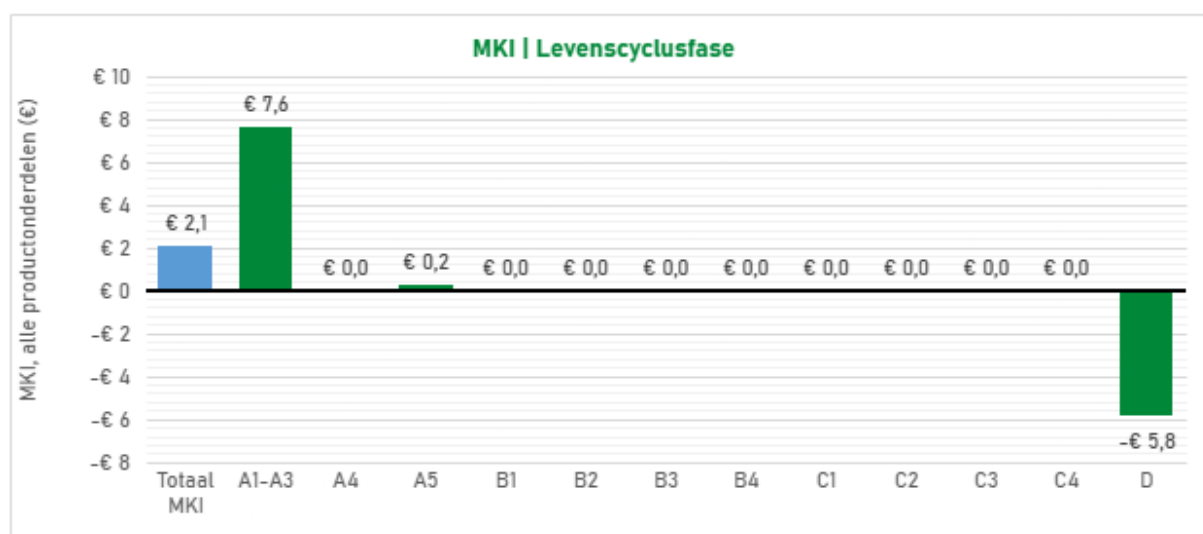
Tot slot wordt in module D veel bespaard doordat aluminium een hoogwaardig recyclebaar materiaal is. Door het recyclen van aluminium profielen kan een aanzienlijk deel van de milieu-impact worden gecompenseerd.

5.2.3.1 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak

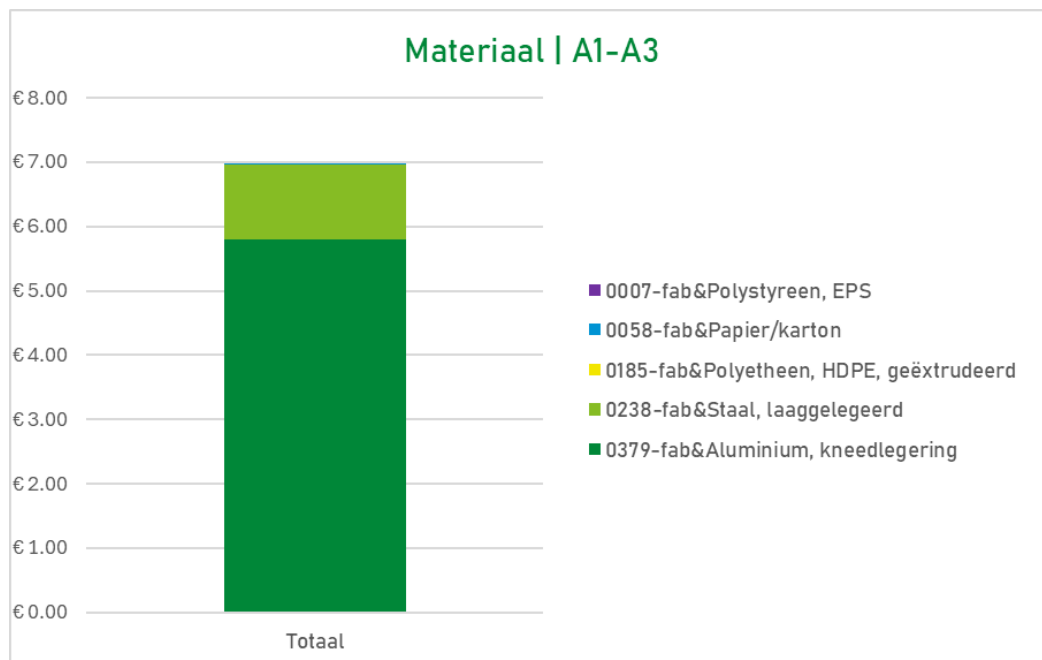
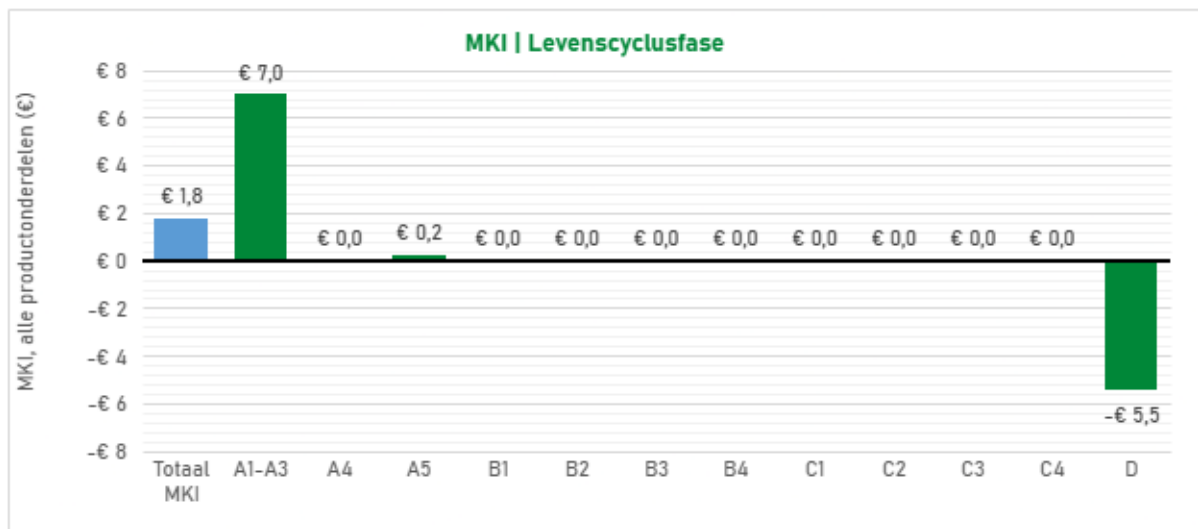




5.2.3.2 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak



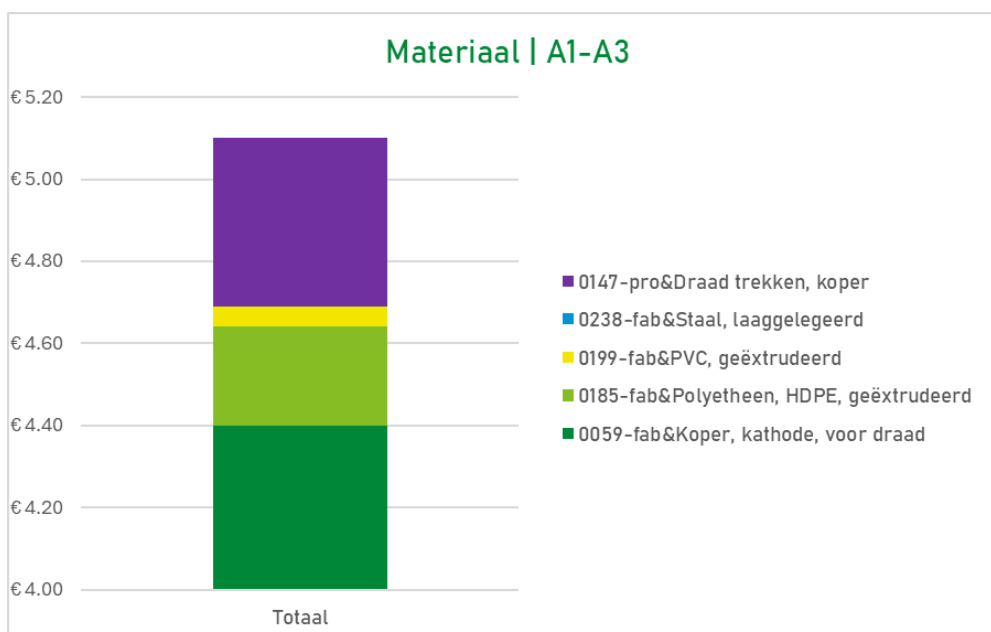
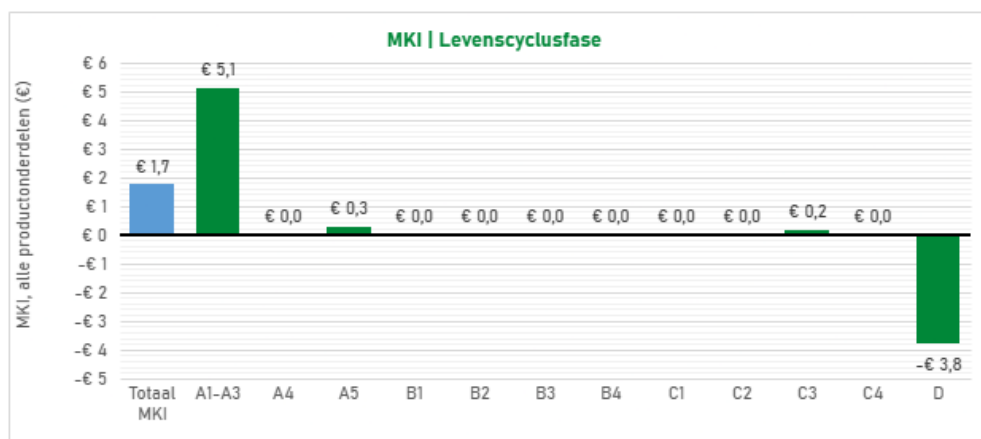
5.2.3.3 Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel



5.2.4 Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels

De analyse van bekabeling is gebaseerd losse (niet-samengestelde) NMD-processen en geeft daardoor wél direct inzicht in de afzonderlijke componenten die de milieu-impact bepalen. Uit de resultaten blijkt dat koper de belangrijkste bijdrage levert aan de totale impact. Zowel de koperkathodes als het proces van draadtrekken zijn hierbij dominant. Daarnaast hebben de toegepaste kunststoffen (HDPE en PVC) een merkbare maar kleinere bijdrage, terwijl de rol van staal beperkt blijft.

In module D wordt een aanzienlijke besparing gerealiseerd, voornamelijk door het recyclen van koper. Omdat koper een hoogwaardig en goed recyclebaar materiaal is, kan hiermee een groot deel van de initiële milieu-impact van de bekabeling worden gecompenseerd.



5.3 Gevoeligheidsanalyse

Om de robuustheid van de resultaten te waarborgen, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Deze analyse onderzoekt in welke mate de belangrijkste aannames en invoergegevens invloed hebben op de uitkomst van de LCA-resultaten. Door variaties aan te brengen in kritieke parameters wordt inzicht verkregen in de betrouwbaarheid van de conclusies en de mate waarin keuzes in de modellering bepalend zijn voor het eindresultaat.

5.3.1 Transportafstanden

In de eerste plaats is gekeken naar de transportafstanden. In de basissituatie is aangenomen dat de PV-panelen en omvormers in Azië worden geproduceerd en naar Europa worden verscheept, met twee keer 100 km vrachtwagentransport (aanvoer en distributie) en 20.000 km zeetransport. In het Europese scenario wordt verondersteld dat de er enkel 200 km vrachtwagentransport nodig is.

Product	MKI (transport uit Azië)	MKI (transport uit Europa)	Vershil (%)
PV-paneel, monokristallijn	€ 31,34	€ 30,66	-2%
PV-paneel, polykristallijn	€ 24,34	€ 23,66	-3%
PV-paneel, amorf (dunne film)	€ 6,17	€ 5,49	-11%
Omvormer, 0,5 kW	€ 8,51	€ 7,83	-8%
Omvormer, 2,5 kW,	€ 95,96	€ 95,28	-1%

Dit verschil geeft inzicht in de gevoeligheid van de resultaten voor de aanname omtrent productielocatie en transportafstanden. Daarnaast is onderzocht welke rol de keuze voor verschillende glasvarianten in PV-panelen speelt in de totale milieu-impact. Tot slot is gekeken naar de invloed van materiaalkeuze en massa van stalen montagesystemen.

5.3.2 Glas in kristallijnen PV-panelen

Voor de kristallijne PV-panelen in deze studie kon niet eenduidig worden vastgesteld of het gaat om glas-glasmodules of glas-foliemodules, aangezien beide termen gangbaar zijn in de sector. Omdat het glasvolume een substantiële bijdrage kan leveren aan de milieu-impact, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Daarbij is uitsluitend de glasmassa van de module gevarieerd, met een verschil van 5 kg meer of minder glas (circa $\pm 50\%$). Dit benadert respectievelijk een glas-glasconfiguratie (+5 kg) en een glas-folieconfiguratie (-5 kg). Alle overige modelaannames blijven gelijk, zodat de verandering in MKI direct herleidbaar is tot de variatie in glas.

Product	MKI Referentie	MKI -50% glas	MKI +50% glas
PV-paneel, monokristallijn	€ 31,34	€ 30,47 (-3%)	€ 32,07 (+2%)
PV-paneel, polykristallijn	€ 24,34	€ 23,47 (-4%)	€ 25,06 (+3%)

De resultaten laten zien dat minder glas leidt tot een daling van de MKI met circa 3 tot 4 procent, terwijl meer glas resulteert in een stijging van ongeveer 2 tot 3 procent. Hoewel de richting van de verandering duidelijk is, blijft de absolute impact beperkt. De variatie van 5 kg glas vertaalt zich dus in een merkbare maar relatief kleine verschuiving in de totale MKI, waardoor de keuze tussen glas-glas of glas-folieconfiguraties slechts een beperkte invloed heeft op het eindresultaat. De mogelijke afwijkingen die kunnen ontstaan door de onzekerheid over het type paneel zijn daarmee reëel maar relatief gering, en hebben slechts een beperkte invloed op het eindresultaat van de studie.

6. Referenties

- NEN-EN-ISO 14040 Environmental management -Life cycle assessment -Principles and framework (ISO 14040:2006,IDT), juli 2006
- NEN-EN-ISO 14044 Environmental management -Life cycle assessment -Requirements and guidelines (ISO 14044:2006,IDT), juli 2006
- NEN-EN 15804+A1:2013 Duurzaamheid van bouwwerken –Milieuverklaringen van producten –Basisregels voor de productgroep bouwproducten, november 2013
- NEN-EN 15804:2012+A2:2019 Duurzaamheid van bouwwerken – Milieuverklaringen van producten – Basisregels voor de productgroep bouwproducten, november 2019
- Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken / versie 1.2, januari 2025
- Protocol Initiëren, opstellen en peer reviewen categorie 3 data, versie 2.0
- Processendatabase (Nationale Milieu Database): NMD versie 3.10
- EcolInvent Database versie 3.6 voor set 1 en versie 3.9.1 voor set 2
- Excel “Categorie 3 invoer en rekenblad_versie 1.7”
- Excel “Toetsingstabel categorie 3”

Bijlagen

Bijlage 1: Databronnen per milieuverklaring

De LCA-berekeningen voor alle milieuverklaringen in versie 1 van dit rapport zijn opgesteld op basis van de volgende databronnen:

- Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Bouwwerken' versie 1.2 (januari 2025)
- Processendatabase Nationale Milieudatabase (NMD) versie 3.11
- Ecolnvent database versie 3.6 voor set A1 en versie 3.9.1 voor set A2
- Software: De categorie 3 invoermodule Excel spreadsheet

In de onderstaande tabel zijn de verschillende milieuverklaringen opgenomen met daarbij de gebruikte versie van de Bepalingsmethode, NMD, Ecolnvent, de rekenmethode en de gebruikte software. Deze dienen te worden aangevuld als een milieuverklaring gewijzigd wordt en er een nieuwere versie wordt gehanteerd.

ID	Milieuverklaringen	Eenheid	Bepalings- methode versie	NMD-processen- database versie	Ecolnvent versie	Software versie
	PV-paneel, monokristallijn	m ²	1.2	3.11	A1: 3.6 A2: 3.9.1	v1.7
	PV-paneel, polykristallijn	m ²	1.2	3.11	A1: 3.6 A2: 3.9.1	v1.7
	PV-paneel, amorf (dunne film)	m ²	1.2	3.11	A1: 3.6 A2: 3.9.1	v1.7
	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, plat dak	m ²	1.2	3.11	A1: 3.6 A2: 3.9.1	v1.7
	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, hellend dak	m ²	1.2	3.11	A1: 3.6 A2: 3.9.1	v1.7
	Montagesysteem zonnepaneel zonder ballast, aluminium, gevel	m ²	1.2	3.11	A1: 3.6 A2: 3.9.1	v1.7
	Omvormer, 0,5 kW, 93,5% efficiëntie	stuks	1.2	3.11	A1: 3.6 A2: 3.9.1	v1.7
	Omvormer, 2,5 kW, 93,5% efficiëntie	stuks	1.2	3.11	A1: 3.6 A2: 3.9.1	v1.7
	Bekabeling, PV-systeem, DC-, AC-, en grondkabels	m ²	1.2	3.11	A1: 3.6 A2: 3.9.1	v1.7