

## **LCA innovatiesubsidieprojecten**

Milieuprestatie van de ontwikkelde producten in innovatiesubsidieprojecten

### **Opdrachtgever**

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, in samenwerking met de Topsector Energie (opdrachtnummer TSE6230008)

### **Contactpersoon**

Kasper Baarends

### **Kenmerk**

R003\_01\_L230711

### **Versie**

01

### **Datum**

21 december 2023

### **Auteur**

Benthe Vermaas

Jeannette Levels-Vermeer

## Inhoudsopgave

Normen.....	4
Literatuurlijst.....	5
Managementsamenvatting.....	10
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>13</b>
1.1 Probleemstelling .....	13
1.2 Doelstelling en doelgroep.....	13
1.3 Verantwoording .....	14
1.4 Leeswijzer.....	14
<b>2 Methode .....</b>	<b>15</b>
2.1 Aanpak .....	15
2.2 Levenscyclusanalyse .....	15
2.3 Systeemgrenzen.....	17
2.4 Criteria voor het buiten beschouwing laten van input en output.....	18
2.5 Dataverzameling en datavalidatie.....	19
2.5.1 Dataverzameling.....	19
2.5.2 Datavalidatie .....	19
2.6 Berekenen milieuprofiel .....	20
<b>3 Resultaten Levenscyclusanalyse Innovatiesubsidieprojecten .....</b>	<b>21</b>
3.1 Selectie innovatiesubsidieprojecten.....	21
3.2 Resultaten innovatiesubsidieprojecten.....	22
3.2.1 TEHE115039 - BIPVT Dakpaneel - BIPVT .....	22
3.2.2 DEI720013 - Propaanwarmtepomp en PVT3.0 voor Inzetten Vlotte EnergieTransitie – PVT-warmtepomppaneel .....	34
3.2.3 MOOI32008 - Intelligente warmteproductie (IWP) - Warmteopslag (TCM) + zonnearmte gevelement.....	39
3.2.4 DEI720023 - Laag Temperatuur Tapwater Systeem - Tapwatersysteem .....	46
3.2.5 DEI721015 - Smart Identified IR Heating – Infrarood verwarmingsfolie.....	60
3.2.6 DEI721024 - Pilot Sanura X-Tray – Douchewtw .....	72
3.2.7 DEI720002 - Verduurzamen van woningen tot gasloos door hoogwaardige en betaalbare spouwmuurisolatie – Airofill Supreme Insulation .....	80
<b>4 Aanbevelingen .....</b>	<b>86</b>
4.1 Bevindingen en conclusies.....	86
4.1.1 Conclusies .....	87
4.2 Advies.....	88

4.3	Aandachtspunten en achtergronden bij het advies.....	89
4.3.1	Materiaalgebruik versus energiebesparing.....	89
4.3.2	LCA als tool om de milieuprestatie van de ontwikkelde producten in innovatiesubsidieprojecten in kaart te brengen.....	89
4.3.3	Wanneer is LCA bruikbaar? .....	90
4.3.4	LCA toepassen voor het verbeteren van de milieuprestatie van innovatieprojecten .....	91

## Verklarende woordenlijst

EPD	Environmental Product Declaration/Milieuverklaring voor producten
NMD	Nationale Milieudatabase
Bepalingsmethode	De Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Bouwwerken' versie 1.1, maart 2022. Dit is de geïntegreerde versie van versie 1.0 inclusief de bijbehorende wijzigingsbladen.

## Bronnen

### Normen

EN15804+A1	NEN-EN 15804:2012 + A1 (2013) <i>"Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen van producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten"</i>
EN15804+A2	NEN-EN 15804:2012 + A2 (2019) <i>"Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen van producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten"</i>
ISO 14025	ISO 14025:2010 <i>"Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures"</i>
ISO 14040	ISO 14040:2006 <i>"Environmental management – Life cycle assessments – Principles and framework"</i>
ISO 14044	ISO 14044:2006 <i>"Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines"</i>
Bepalingsmethode	De Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Bouwwerken' versie 1.1, maart 2022. Dit is de geïntegreerde versie van versie 1.0 inclusief de bijbehorende wijzigingsbladen.

## Literatuurlijst

- Airofill BV. (2023). *Airofill supreme insulation*. Geraadpleegd op 24 november 2023, van [https://airofill.nl/spouwmuur-oplossing/?gclid=EAlalQobChMI1pDlpPLZggMVDPV3Ch0SkAcxEAYASAAEgl4s\\_D\\_BwE](https://airofill.nl/spouwmuur-oplossing/?gclid=EAlalQobChMI1pDlpPLZggMVDPV3Ch0SkAcxEAYASAAEgl4s_D_BwE)
- Albers, K. (2018). *Recknagel - Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 79. Ausgabe 2019/2020 - Basisversion: einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte*. p. 2255 art. 4.7.3-3.2.4
- Alutrix. (z.d.). De effectieve dampremmende banen. In *AluTrix*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://a.storyblok.com/f/164928/x/39f62ecd14/alutrix.pdf>
- Armacell GmbH. (2015). *EPD Armacell GmbH*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [https://vvs.ee/wp-content/uploads/2019/09/AFArmaflex\\_EPD\\_EN.pdf](https://vvs.ee/wp-content/uploads/2019/09/AFArmaflex_EPD_EN.pdf)
- Bagheri, H., Afkhami, A., Shirzadmehr, A., Khoshsafar, H., Khoshsafar, H., & Ghaedi, H. (2013). Novel potentiometric sensor for the determination of CD2+ based on a new nano-composite. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 93(5), 578–591. <https://doi.org/10.1080/03067319.2011.649741>
- BENG. (2019). *Woningbouw volgens BENG: Regelgeving en aandachtspunten voor (bijna) energieneutraal bouwen*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://www.lente-akkoord.nl/uploads/2019/11/ZEN-brochure-Woningbouw-volgens-BENG.pdf>
- Boiler-info.nl. (z.d.). *Boiler kosten: berekenen*. Geraadpleegd op 17 november 23AD, van <https://www.boiler-info.nl/rekenen>
- Boilermarkt. (z.d.). *Doorstroomboiler kopen? bij D specialist | Boilermarkt.nl*. Geraadpleegd op 27 november 2023, van <https://www.boilermarkt.nl/doorstroomboiler/>
- BSXL. (z.d.). *Hoofdverwarming set tot 50 m2 - vloerverwarming - A label*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://bsxl.nl/hoofdverwarming-set-tot-50-m2-vloerverwarming-a-label>
- CALPEX. (2022). *CALPEX Technische documentatie*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [http://www.weijers-waalwijk.nl/sites/default/files/bestanden/CALPEX%20PUR%20King%20Technische%20documentatie%20Engels%20-160mm%20-%20Weijers%20Waalwijk%20BV%20-%202022.02.2022\\_0.pdf](http://www.weijers-waalwijk.nl/sites/default/files/bestanden/CALPEX%20PUR%20King%20Technische%20documentatie%20Engels%20-160mm%20-%20Weijers%20Waalwijk%20BV%20-%202022.02.2022_0.pdf)
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (z.d.). *Huishoudens nu*. Geraadpleegd op 17 november 23AD, van <https://www.cbs.nl/nl-visualisaties/dashboard-bevolking/woonsituatie/huishoudens-nu>
- Consumentenbond. (2023, 18 september). *Spouwmuurisolatie*. Geraadpleegd op 24 november 2023, van <https://www.consumentenbond.nl/isolatie/spouwmuurisolatie>
- Coppens recreatie. (z.d.). *VERVANGEN GASSLANG OF DRUKREGELAR*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [https://www.coppensrecreatie.nl/media/wysiwyg/PDF/gasslang\\_en\\_drukregelaraar.pdf](https://www.coppensrecreatie.nl/media/wysiwyg/PDF/gasslang_en_drukregelaraar.pdf)
- cvtotaal. (2023, 14 september). *Cv-ketel: berekenen van de CW-klasse en vermogen. cvtotaal*. Geraadpleegd op 27 november 2023, van <https://www.cvtotaal.nl/blog/post/cv-ketel-de-benodigde-capaciteit-berekenen>

Dakenmarkt.nl. (2022, 20 februari). *Drukverd.pl. 82x40 mm - dakenmarkt.nl*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://dakenmarkt.nl/drukverd-pl-82x40-mm-500st/>

Elektrohandelsprijzen. (z.d.). *YMKV 3x2.5 mm<sup>2</sup> installatiekabel 100 meter rol - elektrohandelsprijzen*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://www.elektrohandelsprijzen.nl/product/ymvk-3x2-5-mm%C2%B2-installatiekabel-100m/>

ELWA. (z.d.). *Hotrun X11 Datasheet*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://elwa.com.au/wp-content/uploads/Hotrun-X11-Datasheet.pdf>

ESQUELL.NL. (z.d.). *Zilverklei pasta 20 gram ACS (A-0286) -*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://www.esquell.nl/p/zilverklei-pasta-20-gram-ac-s-a-0286>

GoedkopeVerwarmingen.nl. (z.d.). *Hoofdverwarming set tot 130 m<sup>2</sup> - vloerverwarming - A label*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://goedkopeverwarmingen.nl/hoofdverwarming-set-tot-130-m2-vloerverwarming-a-label>

Hertalan. (2015). *TECHNISCHE FICHE - HERTALAN EPDM*. Geraadpleegd op 27 november 2023, van [https://www.hertalan-epdm.be/sites/default/files/Hertalan%20EPDM TF NL.pdf](https://www.hertalan-epdm.be/sites/default/files/Hertalan%20EPDM%20TF%20NL.pdf)

HL2024 Inside. (2020). *DATA SHEET - HL2024 Connect*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://hl2024.com/wp-content/uploads/2020/02/20200212-Data-sheet-1120-HL2024-Connect-NL-incl.-AIGV-2.pdf>

Hoe-koop-ik. (z.d.). *Kosten dakisolatie*. Geraadpleegd op 12 oktober 2023, van <https://www.hoe-koop-ik.nl/dakisolatie/kosten-dakisolatie>

Interexpress. (2022, december). *IXP BE*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://www.interexpress.nl/blog/epdm-dakbedekking-en-de-bewezen-lange-levensduur>

IVPU e.v. (2021). *EPD PU Thermal insulation boards with 50 m aluminium facings*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [https://en.puren.info/fileadmin/user\\_upload/puren-gruppe/nachhaltigkeit/epd/IVPU\\_21-0006rev\\_englisch\\_PU\\_thermal\\_insulation\\_boards\\_with\\_50\\_m\\_aluminium\\_facing\\_2\\_.pdf](https://en.puren.info/fileadmin/user_upload/puren-gruppe/nachhaltigkeit/epd/IVPU_21-0006rev_englisch_PU_thermal_insulation_boards_with_50_m_aluminium_facing_2_.pdf)

Kalmar. (z.d.). *Electric evolution: Kalmar ECG50-90 5–9 ton capacity*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [https://www.kalmar.nl/4ab151/globalassets/equipment/forklift-trucks/electric-forklift-trucks/ecg50-90/ti-elt9g-en-ww\\_l.pdf](https://www.kalmar.nl/4ab151/globalassets/equipment/forklift-trucks/electric-forklift-trucks/ecg50-90/ti-elt9g-en-ww_l.pdf)

Karbonik. (2023a). *Karbonik Innovatieve vloerverwarmingssystemen*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [https://www.karbonik.nl/wp-content/uploads/Folder\\_folie\\_V2\\_0723.pdf](https://www.karbonik.nl/wp-content/uploads/Folder_folie_V2_0723.pdf)

Karbonik. (2023b, september 3). *Verwarmingsfolie - Karbonik, uw verwarmingsfolie!* Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://www.karbonik.nl/verwarmingsfolie/#1587550526582-6faa4bac-f72b>

Karwei. (z.d.). *KlikAanKlikUIT wandschakelaar AWST-8800* | Karwei. KARWEI. Geraadpleegd op 17 november 2023, van

[https://www.karwei.nl/assortiment/klikaanklikuit-wandschakelaar-awst-8800/p/B390762?store=%5Bstore\\_code%5D&gclid=EAlaIqobChMI6LKH2NSnggMVfJqDBx0VLAHEEAQYBSABEgKf\\_vfD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.karwei.nl/assortiment/klikaanklikuit-wandschakelaar-awst-8800/p/B390762?store=%5Bstore_code%5D&gclid=EAlaIqobChMI6LKH2NSnggMVfJqDBx0VLAHEEAQYBSABEgKf_vfD_BwE&gclsrc=aw.ds)

METHYL SILICONATE - Ataman kimya. (z.d.). Ataman Kimya. Geraadpleegd op 24 november 2023, van

[https://www.atamanchemicals.com/methyl-siliconate\\_u29577/#:~:text=Methyl%20Siliconate%20is%20a%20salt,used%20in%20coating%20and%20paints](https://www.atamanchemicals.com/methyl-siliconate_u29577/#:~:text=Methyl%20Siliconate%20is%20a%20salt,used%20in%20coating%20and%20paints)

Milieu Centraal. (z.d.). *Spouwmuurisolatie: dit is hoe het werkt*. Geraadpleegd op 24 november 2023, van

[https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/isoleren-en-besparen/spouwmuurisolatie/#:~:text=Ongeveer%201%20van%20de%204.een%20spouw%20heeft%20\(1\)](https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/isoleren-en-besparen/spouwmuurisolatie/#:~:text=Ongeveer%201%20van%20de%204.een%20spouw%20heeft%20(1))

NASA. (2023, 25 juli). *Aerogels: Thinner, lighter, stronger* - NASA. NASA. Geraadpleegd op 24 november 2023, van

<https://www.nasa.gov/aeronautics/aerogels-thinner-lighter-stronger/>

nbd-online.nl. (z.d.). *Basiskennis bouwkunde: NOM-woningen, Nul op de meter* | NBD-Online | Product. Geraadpleegd op 17

november 2023, van <https://www.nbd-online.nl/product/188566-basiskennis-bouwkunde-nom-woningen-nul-op-de-meter>

Nibud. (2023, 17 augustus). *Kosten van energie en water*. Geraadpleegd op 30 november 2023, van

<https://www.nibud.nl/onderwerpen/uitgaven/kosten-energie-water/#:~:text=De%20verwarming%20een%20graad%20lager,op%20je%20energierekening%20voor%20verwarmen>

PRINSPIPE. (2010). *PRINSPIPE Technische documentatie*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <http://www.weijers-waalwijk.nl/sites/default/files/bestanden/PRINSPIPE%20Technische%20Documentatie%20Nederlands%20DN20-DN500%20-%20Weijers%20Waalwijk%201-1-2010%20klein.pdf>

PU Europe. (2014). *Environmental product declaration (EPD) for PU (PUR/PIR) thermal insulation boards and energy saving potential*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [https://highperformanceinsulation.eu/wp-content/uploads/2016/08/Factsheet\\_13-1\\_Environmental\\_product\\_declaration\\_EP\\_D\\_for\\_PU\\_PUR-PIR\\_thermal\\_insulation\\_boards\\_and\\_energy\\_saving\\_potential\\_updated\\_12-12-14\\_.pdf](https://highperformanceinsulation.eu/wp-content/uploads/2016/08/Factsheet_13-1_Environmental_product_declaration_EP_D_for_PU_PUR-PIR_thermal_insulation_boards_and_energy_saving_potential_updated_12-12-14_.pdf)

Resitrix. (2021). *Resitrix: De meest veelzijdige EPDM dakbaan* - Productcatalogos. Geraadpleegd op 17 november 2023, van

<https://a.storyblok.com/f/164928/x/036e672640/car-23-21-resitrix-produktkatalog-2021-nl-ii-rz-web-150.pdf>

Rockwool. (z.d.). *Rockwool 810*. In *Technisch productblad*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van

<https://www.rockwool.com/siteassets/rw-bnl/downloads-nl/downloads/technische-productbladen/hvac/technisch-productblad-rockwool-810-nl-vl.pdf>

- RVO. (2020, 21 december). *ISDE: Isolatiemaatregelen woningeigenaren*. Geraadpleegd op 24 november 2023, van <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/isde/woningeigenaren/isolatiemaatregelen>
- SBR. (2011). *Catalogus met levensduur van bouwproducten*.
- Sendpompen. (z.d.). *Grundfos CMBE 1-44 hydrofoorpomp 0,55 KW - drukverhogers en breek tanks* - [www.sendpompen.nl](http://www.sendpompen.nl). Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://www.sendpompen.nl/webshop/drukverhogers-en-breetanks/drukverhogers-en-breetanks/detail/302/grundfos-cmbe-1-44-hydrofoorpomp-055-kw.html>
- shilpent.com. (z.d.). *Silver Conductive Paste Manufacturer and supplier*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://shilpent.com/other-products/58-silver-conductive-paste.html#:~:text=Silver%20Conductive%20Paste%20is%20a,highly%20thermally%20and%20electrically%20conductive.>
- Sika. (2015). *Product Data Sheet Sika Lightcrete*. Geraadpleegd op 24 november 2023, van <https://egy.sika.com/dms/getdocument.get/b5edfae9-2654-3646-b326-5c5333eb23fd/Sika%20Lightcrete%C2%AE%20-02.pdf>
- Sika. (2018). *PRODUCT DATA SHEET Sika® ViscoCrete® -20 HE*. Geraadpleegd op 24 november 2023, van [https://gcc.sika.com/content/dam/dms/gcc/o/sika\\_viscocrete\\_-20he.pdf](https://gcc.sika.com/content/dam/dms/gcc/o/sika_viscocrete_-20he.pdf)
- Solvári, & Solvári. (2020, 30 april). *Cv-pomp: info, tips & prijzen*. Verwarminginfo.nl. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://www.verwarminginfo.nl/cv-ketel/cv-pomp>
- SpecialChem. (2023, 26 september). *Acticide® LA 1209 (Biocides) - THOR- Technical Datasheet*. Geraadpleegd op 24 november 2023, van <https://coatings.specialchem.com/product/a-thor-acticide-la-1209#:~:text=ACTICIDE%C2%AE%20LA%201209%20by,growth%20of%20bacteria%20and%20fungi>
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2020). *Categorie 3 Milieuverklaring: Deelproduct: Elementengevels, Aluminium, gecoat*. NMD. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [https://milieudatabase.nl/nl/viewer/milieuverklaring/nmd\\_27588/](https://milieudatabase.nl/nl/viewer/milieuverklaring/nmd_27588/)
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2022). *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken* (versie 1.1). <https://milieudatabase.nl/nl/downloads-nmd/>
- Stichting Nationale Milieudatabase. (2023). *ViewerCategorie 1 Milieuverklaring: Triple Solar PVT M4-400P, één PVT-module 400 Wp/stuk, mono-Si*. NMD. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [https://milieudatabase.nl/nl/viewer/milieuverklaring/nmd\\_92409/](https://milieudatabase.nl/nl/viewer/milieuverklaring/nmd_92409/)
- Stöber Process. (2022). DBpedia. Geraadpleegd op 24 november 2023, van [https://dbpedia.org/page/St%C3%B6ber\\_process](https://dbpedia.org/page/St%C3%B6ber_process)
- Synthomer. (2020). *TECHNICAL DATA SHEET ROHAGIT<sup>TM</sup> SD 15*. Geraadpleegd op 24 november 2023, van <https://www.synthomer.com/Media/tds/ROHAGIT%20SD%2015.pdf>
- Uponor. (2012). *Uponor Gebopuwentechiek: Algemene technische catalogus*.



Uponor. (2021). *EPD Uponor Uni Pipe Plus*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van [https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rts\\_164\\_22-unipipeplus\\_epd\\_08-10\\_nov-09\\_2021\\_qianwang\\_nov-24\\_final\\_0117.pdf](https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rts_164_22-unipipeplus_epd_08-10_nov-09_2021_qianwang_nov-24_final_0117.pdf)

VROM. (z.d.). *De kwaliteit van de Nederlandse woning en woonomgeving rond de millenniumwisseling*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://disco.datawonen.nl/disco/Info/kwr/2000/pub/De%20kwaliteit%20van%20de%20Nederlandse%20woning%20en%20woonomgeving%20rond%20de%20millenniumwisseling.pdf>

Wacker. (2020). *SILRES® BS 168*. Geraadpleegd op 24 november 2023, van <https://www.wacker.com/h/en-us/medias/SILRES-BS-168-en-2020.07.01.pdf>

Warmtepompinfo. (2019, 14 mei). Capaciteit warmtepomp. Geraadpleegd op 30 november 2023, van <https://www.warmtepompinfo.nl/techniek/capaciteit-warmtepomp/>

Wasco. (z.d.). *Wilo Wilo Yonos para HU25/6 A-Label Pomp*. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://www.wasco.nl/artikel/4950900>

Warmtepompinfo. (2019, 14 mei). Capaciteit warmtepomp. Geraadpleegd op 30 november 2023, van <https://www.warmtepompinfo.nl/techniek/capaciteit-warmtepomp/>

Wessels, G. (2014, 12 januari). *Kabels in elektrische installaties verouderen in de loop der tijd en verdienen aandacht*. Advies Elektrotechniek. Geraadpleegd op 17 november 2023, van <https://advies-elektrotechniek.nl/kabels-elektrische-installaties-verouderen-de-loop-der-tijd-en-verdienen-aandacht/#:~:text=Normaal%20gesproken%20geldt%20voor%20bekabeling,naar%2010%20tot%2020%20jaar>

## Managementsamenvatting

### Inleiding

In opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), is onderzoek gedaan naar de milieu-impact van innovaties die recent zijn ontwikkeld met een innovatiesubsidies. Daarvoor is een selectie gemaakt van relevante casussen en is de milieuprestatie van zeven ontwikkelde producten bepaald middels een levenscyclusanalyse. De milieuprestatie (inclusief energieverbruik) van deze producten is vergeleken met dat van de beschikbare standaard in de markt. Daarbij is zorgvuldig aandacht besteed aan het bepalen van het gangbare equivalent in de markt van het ontwikkelde product. Met behulp van deze resultaten zijn aanbevelingen opgesteld over de wijze waarop in innovatiesubsidies eisen kunnen worden gesteld aan de milieuprestatie van de ontwikkelde producten en diensten.

De LCA is uitgevoerd door LBP|SIGHT in de periode van juli 2023 tot en met november 2023. De LCA-uitvoerders zijn Benthe Vermaas en Jeannette Levels-Vermeer. Alle conclusies in deze rapportage zijn nadrukkelijk conclusies gebaseerd op de genoemde uitgangspunten en gehanteerde scenario's in deze studie en niet zonder meer te veralgemeniseren.

### Geselecteerde innovatiesubsidieprojecten

De innovatiesubsidieprojecten om te onderzoeken zijn geselecteerd in samenspraak met RVO en TKI Urban Energy. In Tabel 1.1 is een overzicht weergegeven van de innovatiesubsidieprojecten die meegenomen zijn in deze studie.

**Tabel 1.1**

Geselecteerde innovatiesubsidieprojecten

Dossiernummer	Projectnaam	Product	Partij	Sectie
TEHE115039	BIPVT Dakpaneel	Energiekap	SolarTech International	3.2.1
DEI720013	Propaanwarmtepomp en PVT3.0 voor Inzetten Vlotte EnergieTransitie	PVT-warmtepomppaneel	Triple Solar	3.2.2
MOOI32008	Intelligente warmteproductie	Zonnewarmte winschil	Emergo	3.2.3
DEI720023	Laag Temperatuur Tapwater Systeem	SELWO (LT-tapwatersysteem)	Schouten Techniek	3.2.4
DEI721015	Smart Identified IR Heating	IR-verwarmingsfolie	Karbonik	3.2.5
DEI721024	Pilot Sanura X-Tray	X-Tray (Douchewtw)	Sanura	3.2.6
DEI720002	Verduurzamen van woningen tot gasloos door hoogwaardige en betaalbare spouwmuurisolatie	Airofill spouwmuurisolatie	Takkenkamp Groep	3.2.7

## Bevindingen

### *Milieuprestatie ontwikkelde producten van innovatiesubsidieprojecten*

Bij de meeste onderzochte innovatieprojecten is er voorafgaand aan deze studie beperkte kennis geweest omtrent de keuzes die projectontwikkelaars hebben op het verminderen van de milieuprestatie met betrekking tot de productiefase en/of afvalverwerkingsfase. Bij alle projecten die onderdeel zijn van deze studie, is er enthousiast gereageerd op het in kaart brengen van de milieuprestatie en hoe deze verbeterd kan worden. De uitvoering van de LCA's heeft de betrokken partijen laten nadenken over de manier waarop zij de milieuprestatie van het ontwikkelde product kunnen verbeteren. De zwaartepuntanalyses van de LCA's hebben inzicht gegeven in de materialen en processen welke de hoogste bijdrage leveren aan de milieulast, en waar de hoogste winst te behalen valt.

### *Vergelijking milieuprestatie ontwikkelde producten met equivalent gangbare standaard in de markt*

Om de milieuprestatie van de ontwikkelde producten te vergelijken, is er per product bepaald wat de equivalent gangbare standaard in de markt is. Bij de meeste projecten was er geen voor de hand liggend equivalent beschikbaar. Vaak is er gekeken naar een combinatie van een aantal producten die op dit moment in de markt gebruikelijk zijn om dezelfde functionele prestatie te vervullen. Vanuit de innovatieprojecten is er goed meegedacht over het opstellen van representatieve, realistische en eerlijke scenario's voor de vergelijking. Er is voldoende marktkennis om zowel een scenario op te bouwen met het eigen ontwikkelde product, als dat van de equivalent gangbare standaard in de markt.

Uit de vergelijkingen is gebleken dat de ontwikkelde producten over het algemeen beter scoren dan het equivalent gangbare standaard in de markt, mits deze worden toegepast in de beoogde situatie. Het energieverbruik of de energiebesparing is meestal de bepalende factor, de materiaal impact is (nog) minder belangrijk. Hoe goed de ontwikkelde producten in absolute en relatieve zin scoren, is echter sterk afhankelijk van de situatie waarin zij toegepast worden. Vaak zijn er meerdere situaties die goed aansluiten bij de te verwachten toepassing, waarin de relatieve reductie in milieulast sterk varieert. Een aantal veelvoorkomende factoren die een grote impact hebben op de (relatieve) milieuprestatie, en waarvan vaak een grote bandbreedte is binnen de verwachte toepassing, is:

- Het gebouwtype; utiliteit/woningbouw, het gebruiksoppervlak (voor energieverbruik, maar ook voor ruimte voor materiaal zoals een warmtepomp), bouwjaar, isolatiewaarden etc.
- Opwekkingstechnieken en bijbehorende 'gebruikelijke' efficiëntie; voor warmte (aardgas/warmtepomp/elektrische ketel/warmtenet) en elektriciteit (hernieuwbaar/grijs/eigen PV).

Het onderzoeken van de relatieve milieuprestatie in verschillende situaties geeft inzicht in de bandbreedte van de mogelijke reductie én in welke situaties het ontwikkelde product het beste toegepast kan worden. Zo kan het ene product beter ingezet worden als er gebruik gemaakt wordt van een warmtepomp en het andere product juist wanneer er nog gebruik gemaakt wordt van aardgas. Een 'slechte score' in een bepaalde situatie hoeft daarom niet te betekenen dat het geen goed product is, maar geeft wel weer hoe het product toegepast dient te worden. De meeste

projecten zijn erg geïnteresseerd geweest in hoe het product relatief scoort in verschillende situaties.

## **Conclusie en advies**

De levenscyclusanalyses van de ontwikkelde producten van innovatiesubsidieprojecten hebben inzicht gegeven in de materialen en processen welke de hoogste bijdrage leveren aan de milieulast, en waar de hoogste winst te behalen valt. Daardoor kunnen de projecten effectief aanpassingen maken aan het product om de milieuprestatie te verbeteren. Tevens brengt de analyse in beeld hoe de milieulast van het materiaal- en energiegebruik zich tot elkaar verhouden. Als laatste heeft het onderzoek laten zien hoe de milieuprestatie van de ontwikkelde producten zich verhoudt tot dat van de beschikbare standaard in de markt, én hoe de toegepaste situatie invloed heeft op de relatieve milieuprestatie.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek concluderen wij dat;

1. Informatie is goed beschikbaar binnen de projecten
2. LCA is een bruikbaar instrument om in te zetten voor productontwikkeling
3. Verbetering in de milieuprestatie kan gerealiseerd worden indien hier vanaf het begin mede op gestuurd wordt

Op basis van bovenstaande conclusies, wordt geadviseerd dat projecten hun integrale milieu-impact moeten analyseren en sturen op de laagst haalbare impact. Het uitgangspunt hierbij is dat projecten aantoonbaar minimaal een netto neutrale impact hebben ten opzichte van het equivalente gangbare alternatief. Hierbij dient de impact van de gebruikte materialen over de hele levenscyclus alsook het energieverbruik in de gebruiksfase te worden beschouwd.

Om invulling te geven aan deze verplichting leveren projecten bij de aanvraag;

- Een onderbouwde omschrijving van het equivalente gangbare alternatief;
- Een plan van aanpak hoe en met welke LCA-methode energie- en materiaalimpact integraal in beeld wordt gebracht van zowel de ontwikkeling als van het equivalente gangbare alternatief. In dit plan van aanpak is minimaal opgenomen;
  - o wanneer een eerste berekening wordt ingediend, uiterlijk 3 maanden na toekenning van de subsidie
  - o wanneer het verbeterplan wordt ingediend met daarin het onderzoek naar de laagst haalbare integrale milieu-impact

Bij de vaststelling van de subsidie wordt een definitieve LCA ingediend van de ontwikkeling en het equivalente gangbare alternatief, inclusief een kwantitatieve evaluatie van het verbeterplan.

## **1 Inleiding**

### **1.1 Probleemstelling**

Beschikbaarheid en de daaraan verbonden impact van materialen moet de komende jaren steeds meer als randvoorwaarde voor de energietransitie worden gezien, milieuprestatie geeft een integraal inzicht hiervoor. De portfolioanalyse van TKI Urban Energy van de afgelopen jaren laat zien dat milieuprestatie in innovatiesubsidieprojecten onder Missie B van de Topsector Energie nauwelijks aandacht krijgt. Er is met verschillende projecten die innovatiesubsidie hebben ontvangen gesproken. Uit deze gesprekken bleek dat deze projecten geen aanvullende ondersteuning wensen voor het verbeteren van de milieuprestatie van hun oplossing, omdat dit de complexiteit van hun lopende project verder vergroot. Tegelijkertijd is er onvoldoende zicht op de milieuprestatie van de ontwikkelde oplossingen.

De focus van de innovatieprojecten ligt voornamelijk op gebied van energie, terwijl materiaalgebruik ook een significante impact heeft op het milieu. Het buitenbeschouwing laten van de milieuprestatie van materialen, kan een vertekend beeld geven van het effect dat een innovatie zal hebben op het milieu. Zo kan een energiebesparende maatregel uiteindelijk een negatief effect op het milieu hebben, wanneer gebruik gemaakt wordt van veel en/of milieuschadelijk materiaal. Een integrale analysemethode is daarom vereist om de schade aan het milieu zoveel en zo efficiënt mogelijk te beperken en ongewenste verschuiving van milieu impact tegen te gaan.

### **1.2 Doelstelling en doelgroep**

Het hoofddoel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in hoe de milieuprestatie van de ontwikkelde producten van de innovatiesubsidieprojecten meegenomen kan worden in toekomstige innovatiesubsidies om zo de milieuprestatie van deze producten te optimaliseren. Daartoe zijn levenscyclusanalyses (LCA's) opgesteld van de ontwikkelde producten van zeven innovatiesubsidieprojecten uit de afgelopen vijf jaar die thematisch horen bij MMIP3 en MMIP4. Vervolgens is de milieuprestatie (inclusief energieverbruik) van de producten vergeleken met dat van in de markt beschikbare alternatieven. Met behulp van deze resultaten zijn aanbevelingen opgesteld over de wijze waarop in innovatiesubsidies eisen kunnen worden gesteld aan de milieuprestatie van de ontwikkelde producten en diensten.

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

- Rijkdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), als opdrachtgever van deze LCA-studie;
- Partijen die actief zijn bij het ontwikkelen van nieuwe concepten en technologieën voor installaties in de gebouwde omgeving.

## **1.3 Verantwoording**

De LCA is uitgevoerd door LBP|SIGHT in de periode van juli 2023 tot en met november 2023. De LCA-uitvoerders zijn Benthe Vermaas en Jeannette Levels-Vermeer.

## **1.4 Leeswijzer**

In hoofdstuk 2 wordt de methode van deze studie beschreven. In hoofdstuk 3 zijn de resultaten van de LCA's van de innovatiesubsidieprojecten omschreven. Hoofdstuk 4 bevat aanbevelingen over de wijze waarop in innovatiesubsidies eisen kunnen worden gesteld aan de milieuprestatie van de ontwikkelde producten en diensten.

## 2 Methode

### 2.1 Aanpak

In opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), is onderzoek gedaan naar de milieu-impact van innovaties die recent zijn ontwikkeld met een innovatiesubsidies. Daarvoor is een selectie gemaakt van relevante casussen en is de milieuprestatie van zeven ontwikkelde producten bepaald middels een levenscyclusanalyse. De milieuprestatie (inclusief energieverbruik) van deze producten is vergeleken met dat van de beschikbare standaard in de markt. Daarbij is zorgvuldig aandacht besteed aan het bepalen van het gangbare equivalent in de markt van het ontwikkelde product. Met behulp van deze resultaten zijn aanbevelingen opgesteld over de wijze waarop in innovatiesubsidies eisen kunnen worden gesteld aan de milieuprestatie van de ontwikkelde producten en diensten.

### 2.2 Levenscyclusanalyse

De milieu-impact van de ontwikkelde producten van de innovatiesubsidieprojecten is in deze studie bepaald met behulp van levenscyclusanalyse (LCA). In deze sectie is de methode kort toegelicht.

#### *Methodologische fasen van levenscyclusanalyse*

Levenscyclusanalyse is een methode om de milieu-impact van een product, proces of systeem gedurende zijn volledige levenscyclus te beoordelen (ISO, 2006). De LCA methodiek bestaat uit vier fasen: de definitie van het doel en de scope, de levenscyclusinventarisatie (LCI), de levenscyclus-impactanalyse (LCIA) en de interpretatie. In de doel- en scopedefinitie wordt de beoogde toepassing toegelicht en wordt de systeemgrens gedefinieerd. In de LCI worden alle relevante gegevens voor de LCIA verzameld en aangepast aan de functionele eenheid, zoals gedefinieerd in het doel en de scope. In de LCIA-fase wordt de milieu-impact van alle in de LCI-fase gedefinieerde elementaire stromen gekwantificeerd. In de interpretatiefase worden de uitkomsten van de LCI en LCIA geëvalueerd, gekwantificeerd en geëvalueerd. Dit omvat het evalueren van de consistentie, volledigheid en robuustheid van het onderzoek.

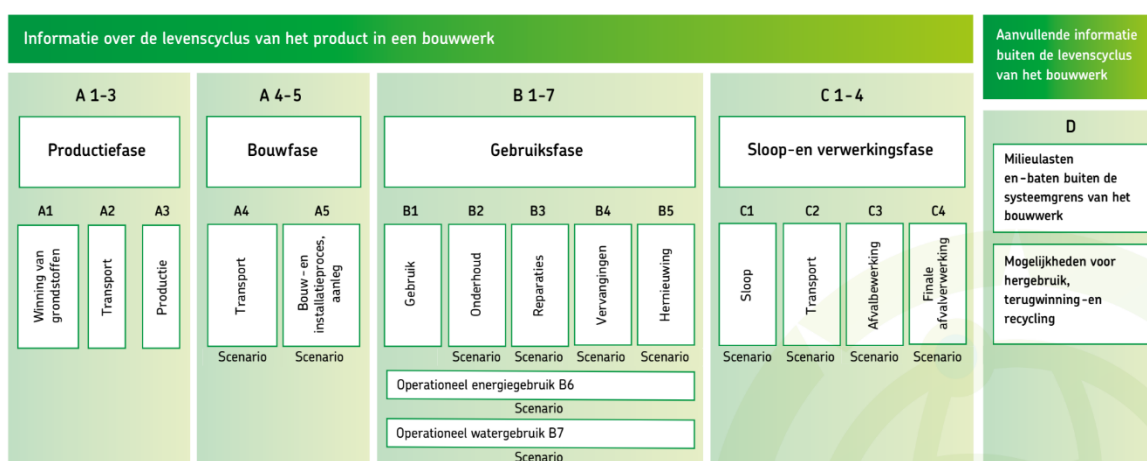
#### *Levenscyclusinventarisatie en levenscyclus-impactanalyse*

Tijdens de levenscyclusinventarisatie wordt, van alle levensfasen zoals gedefinieerd in de scope, de milieu-input en output gekwantificeerd. In Figuur 2.1 zijn alle levensfasen weergegeven, zoals omschreven door de Bepalingsmethode<sup>1</sup> (Stichting Nationale Milieudatabase, 2022).

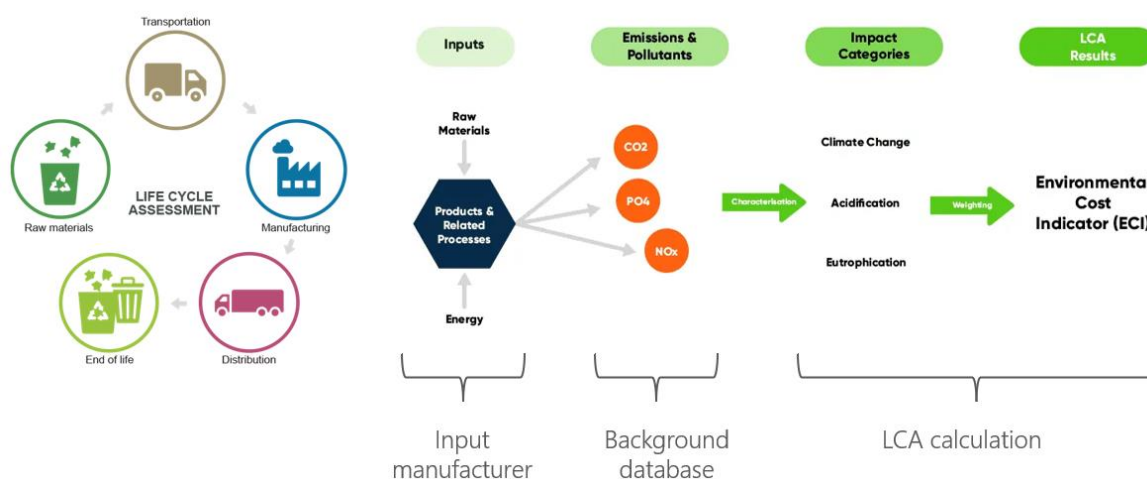
<sup>1</sup> De Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken, kortweg 'Bepalingsmethode', is een uniforme meetmethode om de milieuprestatie van bouwwerken eenduidig, controleerbaar en reproduceerbaar te berekenen. Het creëert hiermee een gelijk speelveld voor alle betrokken partijen. Voor meer informatie, zie <https://milieudatabase.nl/nl/milieuprestatie/bepalingsmethode/#:~:text=De%20Bepalingsmethode%20Milieuprestatie%20Bouwwerken%2C%20kortweg,speelveld%20voor%20alle%20betrokken%20partijen.>

Vervolgens worden er aan de input- en outputstromen processen toegekend uit een database, zoals de Ecoinvent of Nationale Milieudatabase (NMD). De processen uit de database bevatten het bijbehorende milieuprofiel, zoals bijvoorbeeld de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die bij een proces vrijkomt. Op basis van de gekozen methode voor de impactanalyse, worden de emissies toegekend aan effectcategorieën<sup>2</sup>. Zo wordt klimaatverandering (ofwel *global warming potential*) gemeten in CO<sub>2</sub> equivalenten.

Als laatste kunnen de individuele categorieën samengevoegd worden in een één-punt-score, zoals de MilieuKostenIndicator (MKI). De MKI is toegelicht in de volgende sectie.



**Figuur 2.1**  
Levensfasen, zoals gedefinieerd in de Bepalingsmethode



**Figuur 2.2**  
Levenscyclusinventarisatie en impactanalyse

<sup>2</sup> Voor een overzicht van de effectcategorieën die, in overeenstemming met de Bepalingsmethode, gebruikt worden in onder andere Nederland, zie bijvoorbeeld: <https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/impact-categorieen-lca-overzicht/>.



## MilieuKostenIndicator

De resultaten van de individuele impactcategorieën kunnen samen worden gevoegd tot een één-punt-score. In Nederland wordt veel gebruikgemaakt van de MKI (MilieuKostenIndicator) die de schaduwprijs van een project of product weergeeft. De schaduwprijs geeft de hoogste preventiekosten weer die voor de overheid acceptabel zijn per eenheid uitstoot. Daarom is er per effectcategorie een wegingsfactor, in € per eenheid emissie. Door het product van de waarde van elke impactcategorie met hun wegingsfactor bij elkaar op te tellen, wordt de MKI van een product of project verkregen als een één-punt-score.

Een overzicht van alle effectcategorieën en hun weegfactoren is weergegeven in Tabel 2.1. De MKI maakt het eenvoudig om meerdere opties tegelijk met elkaar te vergelijken en duidelijke aanbevelingen te doen aan beleidsmakers zonder de complexe uitleg van elke individuele effectcategorie. De schaduwprijs is echter gebaseerd op een waardeoordeel en heeft daardoor invloed op de resultaten en conclusies van de LCA.

**Tabel 2.1**

MilieuKostenIndicator

Effectcategorie	Eenheid	Wegingsfactor (€/eq.)
Abiotic depletion, non fuel	kg Sb eq.	7,02
Abiotic depletion, fuel	kg Sb eq.	0,56
Global warming	kg CO <sub>2</sub> eq.	0,76
Ozone layer depletion	kg CFK-11 eq.	1,27
Photochemical oxidation	kg ethyleen eq.	0,83
Acidification	kg SO <sub>2</sub> eq.	1,01
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> - eq.	1,14
Human toxicity	kg 1,4-DCB eq.	0,69
Ecotoxicity, fresh water	kg 1,4-DCB eq.	0,41
Ecotoxicity, marine water	kg 1,4-DCB eq.	0,65
Ecotoxicity, terrestic	kg 1,4-DCB eq.	0,32

## 2.3 Systeemgrenzen

De processen die binnen de LCA worden bekeken, zijn afgebakend met zogenaamde systeemgrenzen. De systeemgrenzen bepalen welke fasen en processen van de levenscyclus worden meegenomen in de LCA. In Tabel 2.2, volgend uit de EN 15804 en de Bepalingsmethode, staat vastgelegd welke informatie er per levenscyclusfase beschouwd moet worden.

**Tabel 2.2**

Levenscyclusfasen ( Module meegenomen in de LCA studie, : Module niet gedeclareerd).

A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	C1	C2	C3	C4	D
Winning van grondstoffen	Transport	Productie	Transport	Bouw- en installatieproces / aanleg	Gebruik	Onderhoud	Reparaties	Vervangingen	Verbouwingen	Operationeel energieverbruik	Sloop	Transport	Afvalverwerking	Finale afvalverwerking	Mogelijkheden voor hergebruik, terugwinning en recycling
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

In de gebruikte achtergrondprocessen zijn ten minste de volgende ingrepen meegenomen in de analyse:

- emissies naar de lucht bij het gebruik van thermische energie van CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> (N<sub>2</sub>), SO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>x</sub> en fijnstof (PM10 deeltjes < 10 µm);
- emissies naar water van CVZ, BZV, P-totaal, N-totaal en vaste stoffen (PM10: deeltjes < 10 µm);
- emissies naar bodem van PAK en zware metalen.

## 2.4 Criteria voor het buiten beschouwing laten van input en output

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

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

## 2.5 Dataverzameling en datavalidatie

### 2.5.1 Dataverzameling

Specifieke gegevens zijn toegepast voor het modelleren van de processen waar de fabrikant invloed op heeft. Om de relevante gegevens te verzamelen is een standaard inventarisatieformat uitgestuurd aan de fabrikant. Daarbij is, waar mogelijk, gebruik gemaakt van jaargemiddelde gegevens. Bij de projecten waar deze gegevens (nog) niet beschikbaar waren, heeft de fabrikant een inschatting gemaakt van de productiegegevens per functionele eenheid. Tevens is er gebruik gemaakt van Bill-of-materials/receptuur en metingen/berekeningen.

Waar nodig (en mogelijk), is er aan de fabrikant gevraagd om de relevante toeleveranciers te benaderen voor specifieke gegevens van de door hun ingekochte producten. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de materiaalsamenstelling of het type productieproces.

### 2.5.2 Datavalidatie

#### 2.5.2.1 Specifieke gegevens

Specifieke gegevens zijn afkomstig van de fabrikanten van de innovatiesubsidieprojecten. Tevens is gebruik gemaakt van publieke data, zoals Environmental Product Declarations (EPD's) en wetenschappelijke artikelen, verworven door middel van desk research.

Bij de uitwerking is aandacht besteed aan de precisie, compleetheid, representativiteit, consistentie en reproduceerbaarheid van de gegevens. Bij het uitvoeren van deze LCA zijn de eisen en richtlijnen uit de *Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Bouwwerken' versie 1.1, maart 2022* zo goed mogelijk gevolgd.

Voor het modeleren van materialen en processen is gebruikgemaakt van categorie 3 data van de NMD-processendatabase, versie 3.7 (gebaseerd op Ecoinvent 3.6), of de Ecoinvent 3.6 processendatabase. Tevens is er gebruik gemaakt categorie 3 productkaarten.

#### 2.5.2.2 Generieke gegevens

Conform Bepalingsmethode hebben we de NMD-processendatabase, versie 3.7 (gebaseerd op Ecoinvent 3.6) en de Ecoinvent 3.6 processendatabase gebruikt. De gegevens uit beide databases zijn niet ouder dan tien jaar, of zijn binnen deze periode geüpdatet. Bij de proceskeuze is rekening gehouden met de technologische- en geografische representativiteit van het gekozen achtergrondproces. Vanuit de processendatabase geeft de NMD-bepalingsmethode ook forfaitaire waarden voor de meest belangrijke achtergrondprocessen waarmee gerekend moet worden als specifieke gegevens niet beschikbaar zijn. Het betreft hierbij voornamelijk de processen voor energieopwekking en transport.

## 2.6 Berekenen milieuprofiel

In deze LCA zijn de volgende rekenprocedures toegepast:

- De berekeningen in deze LCA zijn gemaakt volgens de eisen en richtlijnen van NEN-EN 15804+A2 (set 1).
- De milieu-ingrepen zijn berekend met de methoden die zijn omschreven in NEN-EN 15804+A2. Er is gebruik gemaakt van de Bepalingsmethode versie 1.1, NMD database versie 3.7, Ecoinvent database versie 3.6.
- Indien van toepassing zijn de regels voor allocatie bij Multi-input, -output, recycling- en hergebruikprocessen uit NEN-EN 15804 gevolgd, overeenkomstig de NEN-EN-ISO 14044.
- De LCA-berekeningen zijn uitgevoerd met SimaPro versie 9.5.0.0.
- Ecoinvent processen zijn doorgerekend inclusief infrastructuurprocessen en kapitaalgoederen.
- Ecoinvent processen zijn doorgerekend exclusief lange termijn (>100 jaar) emissies.
- Conform paragraaf 3.5 van de Bepalingsmethode zijn deze effectcategorieën omgerekend naar een milieukosten indicator (MKI) in euro's.

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 maken we, conform de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken gebruik van de MilieuKostenIndicator (MKI) om de verschillende effectcategorieën te wegen tot één eindpunt.

### 3 Resultaten Levenscyclusanalyse Innovatiesubsidieprojecten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de levenscyclusanalyse van de ontwikkelde producten van de innovatiesubsidieprojecten omschreven. In de eerste sectie is het selectieproces van de innovatiesubsidieprojecten toegelicht. De tweede sectie bevat de resultaten van de LCA's en de vergelijkingen met de beschikbare standaard in de markt.

#### 3.1 Selectie innovatiesubsidieprojecten

De innovatiesubsidieprojecten om te onderzoeken zijn geselecteerd in samenspraak met RVO en TKI Urban Energy. Daarbij is er door RVO en TKI Urban Energy een preselectie gemaakt van de innovatiesubsidieprojecten waarbij een fysiek product is ontwikkeld (d.w.z. geen applicaties e.d.). Daarna zijn er in overleg 9 producttypen geselecteerd met elk een voorkeurs- en back-upproject. Alle 18 projecten zijn aangeschreven met het verzoek om deel te nemen aan het onderzoek. Op basis van beschikbaarheid en volledigheid van de aangeleverde informatie, is er één project per producttype gekozen om verder uit te werken. Van twee producttypes was het niet mogelijk om tijdig toereikende informatie te verzamelen, waardoor deze niet meegenomen zijn in het onderzoek. In Tabel 3.1 is een overzicht weergegeven van de innovatiesubsidieprojecten die meegenomen zijn in deze studie.

**Tabel 3.1**

Geselecteerde innovatiesubsidieprojecten

Dossiernummer	Projectnaam	Product	Partij
TEHE115039	BIPVT Dakpaneel	Energiekap	SolarTech International
DEI720013	Propaanwarmtepomp en PVT3.0 voor Inzetten Vlotte EnergieTransitie	PVT-warmtepomppaneel	Triple Solar
MOOI32008	Intelligente warmteproductie	Zonnewarmte winschil	Emergo
DEI720023	Laag Temperatuur Tapwater Systeem	SELWO (LT-tapwatersysteem)	Schouten Techniek
DEI721015	Smart Identified IR Heating	IR-verwarmingsfolie	Karbonik
DEI721024	Pilot Sanura X-Tray	X-Tray (Douchewtw)	Sanura
DEI720002	Verduurzamen van woningen tot gasloos door hoogwaardige en betaalbare spouwmuurisolatie	Airofill Supreme Insulation	Takkenkamp Groep

## 3.2 Resultaten innovatiesubsidieprojecten

In deze sectie zijn de resultaten van de levenscyclusanalyse van de innovatiesubsidieprojecten omschreven. Voor elk project is eerst in de eerste subsectie toegelicht wat de aanleiding en doelstelling is van het innovatiesubsidieproject en daarop volgt een korte omschrijving van het ontwikkelde product. In de tweede subsectie is de levenscyclusinventarisatie en -analyse omschreven. Deze sectie bevat voor het merendeel van de projecten gevoelige informatie. Het is daarom projectafhankelijk welke informatie in deze rapportage weergegeven wordt. In de derde subsectie zijn de resultaten geanalyseerd en in de vierde subsectie wordt het milieuprofiel van het ontwikkelde product vergeleken met dat van de beschikbare standaard in de markt. In de laatste subsectie is de overkoepelende conclusie van de LCA van het innovatiesubsidieproject beschreven.

### 3.2.1 TEHE115039 - BIPVT Dakpaneel - BIPVT

#### 3.2.1.1 Projectomschrijving

##### **Doelstelling project – Energiekap<sup>3</sup>**

###### *Aanleiding*

De gebouwde omgeving, specifiek de sector woningbouw, heeft een dringende behoefte aan gebouw geïntegreerde oplossingen voor de opwekking van duurzame energie, die bovendien efficiënter is dan bestaande combinaties van PV- en zonthermische systemen. Oplossingen met een stekker en een slang, ofwel waarmee zowel elektriciteit als warmte gewonnen kunnen worden. Gebouw geïntegreerde BIPVT met bovendien aandacht voor esthetica in verband met acceptatie in de markt.

###### *Doelstelling*

Met dit project wordt beoogd een multifunctioneel bouwdeel te ontwikkelen waarbij verschillende aspecten uit de werelden van bouw en energie elkaar ontmoeten: constructie en isolatie, waterdichtheid, warmte en stroom kunnen opwekken. Dat levert een serieus alternatief dat in de markt aangeboden kan worden met een goede prijs-rendement verhouding, waardoor energiesystemen ook efficiënter worden en minder afhankelijk van overheidssubsidies.

#### 3.2.1.2 LCA Energiekap

##### **Productinformatie**

*Levensduur:* 50 jaar

*Functionele eenheid:* 1 stuk,  $100 \times 100 \text{ cm}^2 = 1 \text{ m}^2$

##### **Toelichting levensfasen**

In de onderstaande secties is beschreven welke aannames gemaakt zijn voor de modellering van de Energiekap.

<sup>3</sup> De omschrijving van de aanleiding en doelstelling is overgenomen uit de publieke samenvatting van het project op de website van Topsector Energie, via: <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/bipvt-dakpaneel-23437>, geraadpleegd op 17-11-2023.

## Productiefase (A1-A3)

De Energiekap is, van onder naar boven, opgebouwd uit:

- een Alutrix 600 aluminium dampremmer;
- geïsoleerd dakpaneel van fabrikant Unilin;
- Energiedak collectorplaat voorzien van Uponor MLC-leidingen;
- EPDM-dakbedekking, met spuitlijm aangebracht;
- flexibele PV-panelen van MiaSolé;
- circulatiepomp Wilo Stratos 25/1-8.

### *Alutrix 600 aluminium dampremmer*

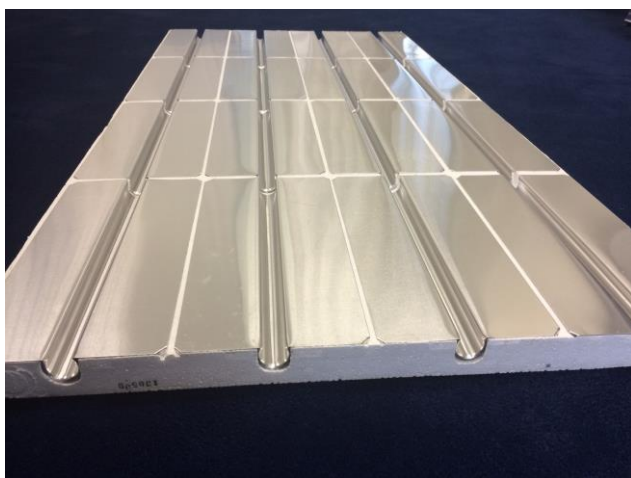
De aluminium dampremmer wordt geplaatst tussen het bestaande dakbeschot en het dakpaneel van Unilin. De toegepaste aluminium dampremmer is Alutrix 600 van producent Carlisle. Het is een gelamineerde aluminiumfolie met zelfklevende achterkant, 0,6 mm dik en een gewicht van 700 g/m<sup>2</sup> (Alutrix, z.d.).

### *Geïsoleerd dakpaneel van fabrikant Unilin*

Het geïsoleerde dakpaneel bestaat uit twee zijden OSB-houtplaat van 12 mm dik. Daartussenin zit PIR-hardschuimisolatie van 115 mm dik, aan beide zijden voorzien van een dampremmende laag van PE en aluminium. Omdat er geen informatie beschikbaar is over de diktes van de PE- en aluminiumlagen, is er, als conservatieve aanname, gekozen voor een dampremmende laag van enkel aluminium. Er is uitgegaan van 2 zijden van 50 µm aluminium (PU Europe, 2014)(IVPU e.v., 2021).

### *Energiedak collectorplaat met Uponor MLC-leidingen*

De Energiedak collectorplaat bestaat uit een EPS-laag van 30 mm dik, waarop een vinplaatje wordt aangebracht met spuitlijm. De vinplaatjes zijn van aluminium en hebben een afmeting van 240 x 120 mm<sup>2</sup> en een dikte van 0,4 mm, met een uitsparing voor de Uponor MLC buizen.



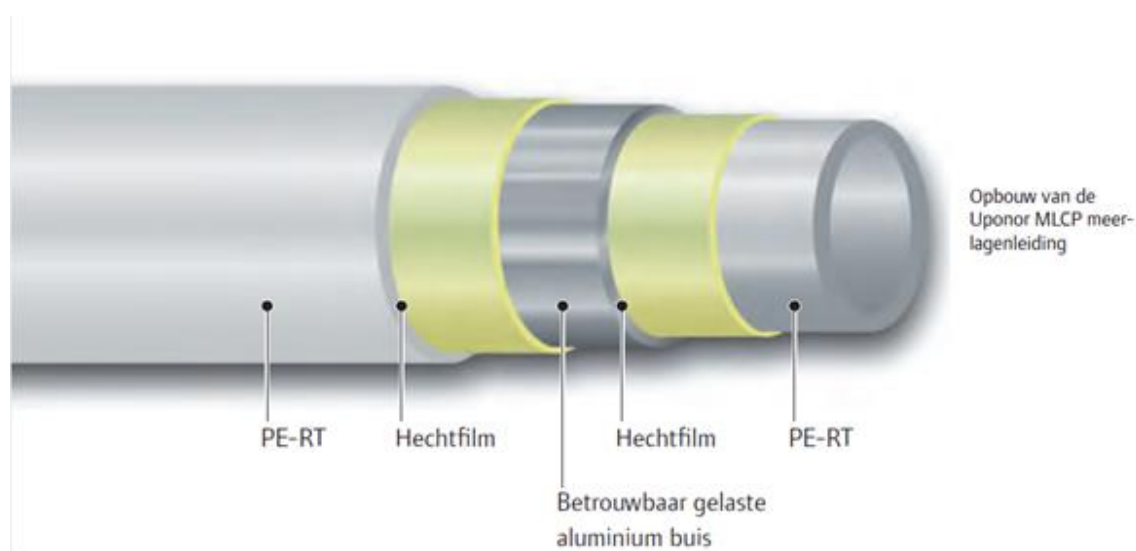
**Figuur 3.1**

Aluminium vinplaatjes op EPS-laag

In de vinplaatjes worden de Uponor MLC buizen van 16 x 2 mm aangebracht. De Uponor MLC-buizen bestaan uit een binnen- en buitenbuis van PE-RT, met daartussenin een aluminiumbuis, gescheiden door hechtfilm. De massa van de hechtfilm (PET/PVC, ~80 µm dik) betreft minder dan 0,01% van de totale massa en is daarom verwaarloosbaar. De aluminiumbuis heeft een dikte van 0,4 mm, waarmee 1 meter MLC-buis een aluminiummassa van 0,048 kg en een PE-RT-massa van 0,066 kg (Uponor, 2021). In 1 m<sup>2</sup> Energiekap zit 8 m Uponor MLC-buis.

Het watervolume van de buizen betreft 0,113 ltr/m. De vloeistof in het buizensysteem is een mengsel van water en mono-ethyleenglycol (70/30). De zonnewarmte in die met de vinplaatjes wordt opgevangen, wordt door direct contact met de Uponor MLC-buis overgedragen op de vloeistof.

Energiedak collectorplaten worden per 10 stuks verpakt in 40 gram plastic per m<sup>2</sup> Energiedak. Het plastic komt als afval vrij tijdens de productiefase en wordt conform de door de Bepalingsmethode opgestelde forfaitaire afvalverwerkingsscenario's verwerkt (#43: kunststoffen; via restmateriaal; 20% stort en 80% AVI).



**Figuur 3.2**

Opbouw Uponor MLC-leidingen. Bron: Uponor. (2012). Uponor Gebouwenteknik: Algemene technische catalogus.

De collectorplaten worden gefixeerd met een verzinkt drukverdeelplaatje. De drukverdeelplaat heeft een afmeting van 82 x 40 mm<sup>2</sup> en een gewicht van 22 gram per stuk. Er zijn 5 drukverdeelplaatjes nodig per m<sup>2</sup> Energiekap.

#### *EPDM-dakbedekking, met spuitlijm aangebracht*

Boven op de Energiedak collectorplaat komt EPDM-dakbedekking van Hertalan. Deze dakbedekking heeft een massa van 1,2 kg/m<sup>2</sup> (Hertalan, 2015). Voor het aanbrengen van de EPDM-dakbedekking is er uitgegaan van 200 g PU-spuetlijm per m<sup>2</sup> (Resitrix, 2021).



## *Flexibele PV-panelen van MiaSolé*

De flexibele PV-panelen zijn CIGS thin film PV-panelen van MiaSolé (flex series). Van het beschikbare dakvlak blijft gemiddeld 10% onbenut voor PV. Daarom is er gerekend met 0,9 m<sup>2</sup> PV per m<sup>2</sup> Energiekap. De panelen zijn voorzien van een zelfklevende laag van butyl.

Er is geen milieuprofiel beschikbaar van dit type PV-paneel.

Daarom zijn de panelen gemodelleerd met het NMD-proces *0086-fab&Zonnepaneel, PV (fotovoltaïsch), CIS, per kg (17,5 kg/m<sup>2</sup>) (o.b.v. Photovoltaic panel, CIS {GLO} | market for | Cut-off, U; 93,6% primair, 6,4% secundair)*. Dit proces bevat de milieu-impact per vierkante meter paneel.

Volgens de technische brochure van de MiaSolé panelen hebben de panelen een gewicht van 2 kg/m<sup>2</sup>. Het NMD-proces heeft echter een gewicht van 17,5 kg/m<sup>2</sup>. 86% van deze massa is afkomstig van solar glass, welke voor 15% bijdraagt aan de MKI van de panelen. Als conservatieve aanname, is er daarom geen correctie gemaakt op het gewicht.

## *Circulatiepomp*

De Energiekap wordt aangestuurd door een Wilo Stratos 25/1-8 circulatiepomp. De pomp heeft een vermogen tussen de 9-125 W. SolarTech geeft aan dat met deze pomp een dak van maximaal 100 m<sup>2</sup> aangestuurd kan worden. Een gemiddelde tussenwoning heeft een dakoppervlak van 55 m<sup>2</sup> (Hoe-koop-ik, z.d.). Er is daarom gekozen voor 1/55<sup>ste</sup> circulatiepomp per m<sup>2</sup> Energiekap. De meeste andere woningtypen hebben een groter dakoppervlak, waardoor 1/55<sup>ste</sup> pomp per m<sup>2</sup> een conservatieve aanname is.

## *Productieproces*

De Energiekap wordt prefab gemaakt in de productiehal. Vervolgens wordt de Energiekap onverpakt op een vrachtwagen geladen voor transport naar de bouwplaats. Voor de montage wordt gebruik gemaakt van handgereedschap. De impact van het gebruik van handgereedschap is verwaarloosbaar en is daarom niet opgenomen in deze studie.

Voor intern transport wordt er uitsluitend gebruik gemaakt van elektrische heftrucks. Er is uitgegaan van 1,18 kWh per m<sup>2</sup> Energiekap, op basis van een gebruik van een half uur per paneel (6 x 1,2 m<sup>2</sup>) en een verbruik van 17 kWh per uur voor een elektrische heftruck (Kalmar, z.d.). De Energiekap wordt zonder verpakkingsmateriaal op vrachtwagens geladen voor transport naar de bouwplaats.

Het transport van de ingekochte producten is niet geïnventariseerd. Er is daarom gebruik gemaakt van de markt processen uit Ecoinvent/NMD.

## Transportfase (A4, C2)

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingsmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)

- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

## Constructiefase (A5)

De dakpanelen worden met een diesel gedreven kraan op het dak gehesen. Per m<sup>2</sup> dakpaneel wordt er voor 0,2 uur gebruik gemaakt van de kraan.

De afzonderlijke panelen zijn met een houten plank aan elkaar bevestigd. Daarop ligt een houten balkje om een roef op te bevestigen. Het geheel wordt met EPDM waterdicht aangesloten. De EPDM wordt in twee lagen over het balkje gelegd en verlijmd met KS96 EPDM kit. Ter afwerking wordt een zinken roef aangebracht, die op klangen wordt geschoven. In de nok komt ook een zinken afwerking, die tevens als kabelgoot (voor de PV) bekabeling) wordt gebruikt.



**Figuur 3.3**

Installatieproces Energiekap

De hoeveelheid bevestigingsmiddelen is afhankelijk van de maatvoering van het gehele dak. Als conservatieve aanname zijn de bevestigingsmiddelen berekend voor een dak van 6 x 2 m<sup>2</sup>.

Er vindt een installatieverlies plaats van de, door de Bepalingsmethode voorgeschreven, forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

## Gebruiksfase (B1-B5)

In de gebruiksfase wordt een pomp geactiveerd als de temperatuursensor op het dak aangeeft dat er warmte te winnen valt. Met 1.500 draaiuren op jaarbasis met de Wilo Stratos pomp met een vermogen tussen de 5 – 125 W, is er een maximaal verbruik van  $1500 * 125 = 187,5$  kWh per jaar. Gedurende de levensduur van het dak is het maximale verbruik  $187,5 * 50 = 9375$  kWh. Het elektriciteitsverbruik is gemodelleerd met het *NMD-proces 0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)*.

De levensduur van de circulatiepomp en de PV-panelen is met 15 jaar korter dan de levensduur van de Energiekap. In lijn met de Bepalingsmethode is er daarom gerekend met  $50/15-1=2,5$  vervangingen van deze producten in de gebruik fase.

## Sloopfase (C1)

Er wordt aangenomen dat er een vergelijkbaar gebruik van de diesel kraan nodig is voor de sloop als voor de installatie.

## Einde levensduur, afvalscenario en baten en lasten buiten de systeemgrenzen (C3, C4 en D)

Aan het einde van de levensduur, worden de dakpanelen gedemonteerd en verzameld. Het Unilin dakpaneel, de collectorplaat en Uponor leidingen, de vin- en drukplaatjes, de EPS, de PV-panelen, de circulatiepomp en de EPDM-dakbedekking zijn demonteerbaar/te scheiden van elkaar. Enkel de Alutrix is volledig verkleefd aan het dakbeschoot.

De overige producten worden vervolgens getransporteerd naar een sorteerlocatie, waar ze ontmanteld worden en de individuele materialen gesorteerd worden. De individuele materialen kunnen gerecycled worden, verbrand (AVI) of gestort worden. De materialen die worden gerecycled, worden gemodelleerd totdat het einde van de afvalfase is bereikt. De materialen die worden verbrand, worden verwerkt in afvalverbrandingsinstallaties met energierugwinning. Voor het modelleren van deze fasen wordt gebruik gemaakt van de forfaitaire waarden voor verwerking-scenario's einde leven van de Bepalingsmethode (versie mei 2022).

Volgens de EPD van Uponor zijn de MLC leidingen volledig recyclebaar waardoor PE en aluminium uitgespaard kan worden in module D (Uponor, 2021).

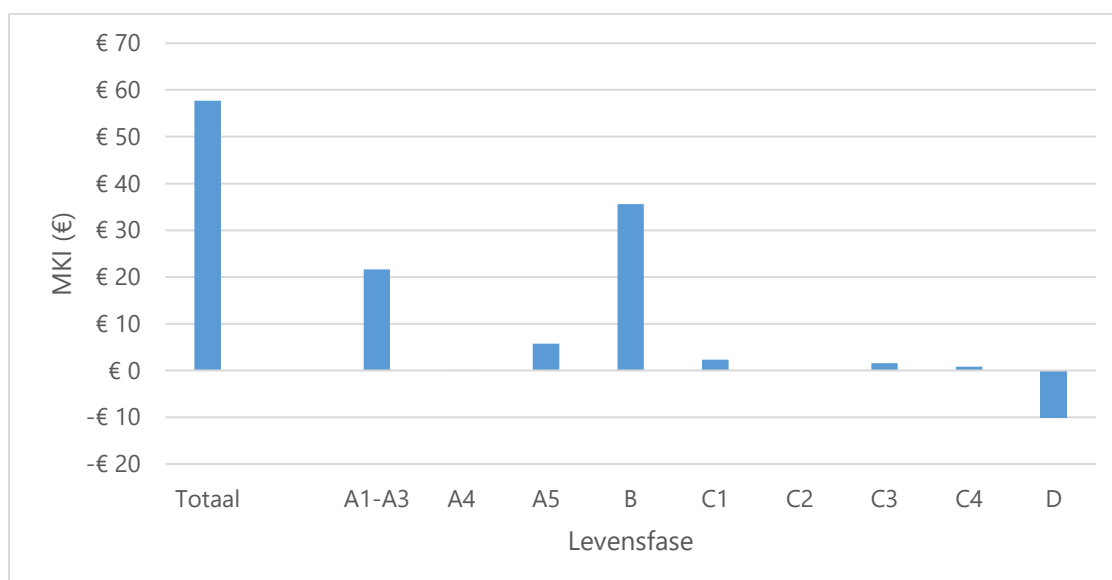
De afvalverwerking van de PV-panelen is overgenomen uit het LCA-rapport van de NMD categorie 3 productkaarten voor PV-panelen<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Betreft het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Cluster 5 – PV panelen' (versie 1.0, 01-06-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/fa/04/fa04865e-edee-45fa-8bc2-99b14a9de6d2/01062023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_pv\\_nl\\_611.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/fa/04/fa04865e-edee-45fa-8bc2-99b14a9de6d2/01062023_nmd_categorie_3_rapportage_pv_nl_611.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpload in de NMD-viewer.

### 3.2.1.3 Resultaten

In Figuur 3.4 is de MKI van 1 m<sup>2</sup> Energiekap weergegeven per levensfase. In dit figuur is te zien dat de hoogste milieulast afkomstig is van de gebruiksfase (B). De hogere impact van deze fase is grotendeels (90%) toe te schrijven aan de vervangingen van de PV-panelen. De levensduur van de PV-panelen is namelijk slechts 15 jaar, ten opzichte van de levensduur van de Energiekap van 50 jaar. Daarnaast levert het energieverbruik van de circulatiepomp (9%) nog een significante bijdrage aan deze fase.

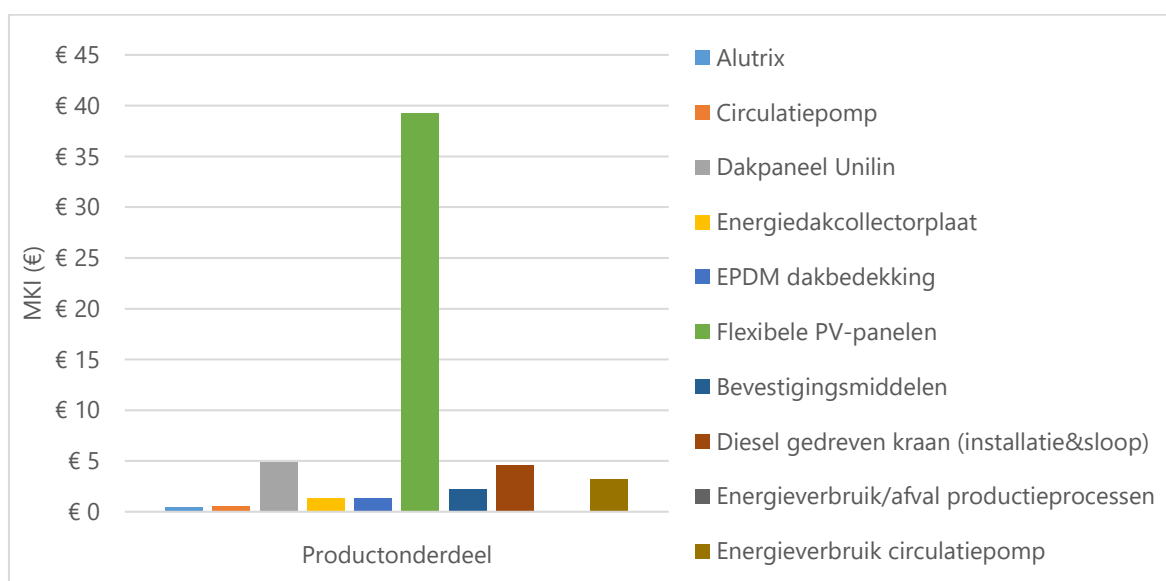
Na de gebruiksfase, is de hoogste milieulast afkomstig van de productiefase (A1-A3) met 38% van de totale MKI. Deze lasten worden deels gecompenseerd (-18% van de totale MKI) door de baten afkomstig van het recyclen van materialen en van de vermeden energieproductie door verbranding (AVI).



**Figuur 3.4**

Zwaartepuntanalyse Energiekap, MKI per levensfase

In Figuur 3.5 is de MKI van de gehele levenscyclus van 1 m<sup>2</sup> Energiekap opgesplitst per productonderdeel. In dit figuur is te zien dat de hoogste milieulast afkomstig is van de PV-panelen. Deze hoge bijdrage is tevens te verklaren door het hoge aantal vervangingen gedurende de levensduur van de Energiekap. Na de PV-panelen leveren het Unilin dakpaneel (8%) en de diesel gedreven kraan (8%) de hoogste bijdragen, gevolgd door het energieverbruik van de pomp (6%), de bevestigingsmiddelen (4%), de Energiedak collectorplaat (2%) en de EPDM-dakbedekking (2%). De overige onderdelen hebben een geringe bijdrage van 1%.



**Figuur 3.5**

Zwaartepuntanalyse 1 m<sup>2</sup> Energiekap, MKI per productonderdeel

De hoogste afname van de MKI van de Energiekap valt te behalen bij het productonderdeel PV-panelen. De afname kan bereikt worden door te kiezen voor een PV-paneel met een lagere MKI of een langere levensduur. Daarbij moet vermeld worden dat er geen milieuprofiel van de MiaSolé PV-panelen beschikbaar was. Omdat er daarom met generieke processen uit de NMD-processendatabase is gerekend, is het aannemelijk dat de werkelijke impact van de panelen lager uitvalt dan in deze studie is berekend.

Een andere optie is om de installatie en sloop uit te voeren middels een elektrisch gedreven kraan, in plaats van een diesel gedreven kraan. Reductie van de milieulast van de overige onderdelen is minder eenvoudig, omdat deze producten ingekocht worden.

### 3.2.1.4 Vergelijking met de beschikbare standaard in de markt:

#### *Funcieomschrijving Energiekap*

Doel van de Energiekap is om energieverlies te voorkomen (isolatie) en energie te oogsten. Dat oogsten betreft twee soorten energie: elektrisch d.m.v. de PV-panelen en thermisch met het Energiedak-systeem. Deze thermische warmte wordt gebruikt om een gesloten bodembron (WKO) te laden met energie. Die bron levert energie aan de warmtepomp. Door de energie (warmte) uit het dak wordt de bron oneindig qua capaciteit, waar andere bodembronnen doorgaans elk jaar een beetje afkoelen en daarmee het rendement van de warmtepomp laten teruglopen. De jaarcyclus is grofweg dat de warmtepomp in het winterseizoen energie aan de WKO onttrekt en dat die onttrokken energie in het zomerseizoen door de Energiekap weer wordt aangevuld. Warmtepomp, Energiekap en WKO zijn qua vermogens op elkaar (en op het huis) afgestemd.

*Opbouw scenario/functionele eenheid voor vergelijking met beschikbare standaard in de markt*

De Energiekap verhoogt de temperatuur van de bodembron middels het opwekken van thermische energie, voorziet het dak van isolatie ( $R_c = 5$ ) en in de woning van elektriciteit. De functie om te vergelijken bestaat daarom uit:

- Opwekking van warmte middels een bodem-water warmtepomp.
- Waterkering en isolatie van het dak middels een geïsoleerd dakpaneel van OSB en PIR met  $R_c = 5$ .
- Opwekking van elektriciteit middels thin film PV (CIGS) panelen met een nominaal vermogen van  $168 \text{ Wp/m}^2$ .

Er is SolarTech International gevraagd om op basis van bovenstaande functies een aannemelijk scenario op te stellen met het gebruik van de Energiekap en zonder het gebruik van de Energiekap (het referentiesysteem; beschikbare standaard in de markt). Voor de vergelijking zijn er twee mogelijkheden:

1. Door de toevoeging van zon-thermische energie uit de Energiekap aan de bodembron en daarmee aan het warmtepompsysteem, loopt het rendement van de warmtepomp minder terug. Daardoor zal de warmtepomp efficiënter warmte produceren in het scenario met de Energiekap. Het vermogen van de bodembron en de warmtepomp zijn dan in beide scenario's gelijk, maar er wordt energie bespaard in het scenario met de Energiekap.
2. Door de toevoeging van zon-thermische energie uit de Energiekap aan de bodembron en daarmee aan het warmtepompsysteem, is een kleinere bodembron vereist om de warmtepomp te voorzien van bronenergie. Het energieverbruik is dan gelijk in beide scenario's, maar er is een kleinere bodembron vereist in het scenario met de Energiekap.

De scenario's met beide opties zijn hieronder omschreven. Er is uitgegaan van de referentielevensduur van gebouwen volgens de Bepalingsmethode van 75 jaar voor woningen. Voor het samenvoegen van de deelproducten tot de volledige systemen zijn de rekenregels van de Bepalingsmethode omtrent vervangingen van deelproducten gehanteerd<sup>5</sup>.

### Scenario Energiekap (Energiekap scenario)

Om een gemiddelde vrijstaande woning te voorzien van warmte, is een bodem-water warmtepomp van 10 kW vereist (bodembron + warmtepomp). Om de bron voldoende te voorzien van warmte, is  $25 \text{ m}^2$  aan Energiekap vereist. Door het opwarmen van de bodembron middels de Energiekap kan OF een kleine bodembron aangelegd worden OF kan er elektriciteit bespaard worden. Dit scenario bestaat daarom uit:

- Warmtepomp met een vermogen van 10 kW.
- $25 \text{ m}^2$  Energiekap.

<sup>5</sup> Het aantal vervangingen wordt volgens de Bepalingsmethode berekend door de functieduur te delen door de levensduur minus één (de initiële productie). Het aantal vervangingen kan daarbij nooit kleiner dan 0 zijn en wordt uitgedrukt in minimaal 2 cijfers significant. Voor de initiële productie wordt altijd uitgegaan van een hele productie; deze kan nooit kleiner zijn dan 1, ook al is de levensduur van het product groter dan de functieduur. Bij vervangingen wordt geen rekening gehouden met mogelijke verbeteringen betreft de milieuprestatie. Elke vervanging heeft daarom een gelijke milieulast aan dat van het originele product.

- OF: een kleinere bodembron, 33% kleiner (met behoud van COP)
- OF: verhoging van de COP met 1 per 5°C hogere brontemperatuur. De elektriciteit besparing is dan ongeveer 20%. Gedurende 75 jaar levert dat een besparing op van ongeveer 53,2 MWh<sup>6</sup>.

## Scenario beschikbare standaard in de markt (BSM scenario)

Om een gemiddelde vrijstaande woning te voorzien van warmte, is een bodem-water warmtepomp van 10 kW vereist (bodembron + warmtepomp). Tevens moet het dak voorzien worden van isolatie, met een gelijke  $R_c$  waarde en oppervlakte als in het *Energiekap scenario*. Ten slotte moet er elektriciteit opgewerkt worden met een gelijk type PV-paneel met hetzelfde oppervlak als in het *Energiekap scenario*. Dit scenario bestaat daarom uit:

- Bodembron + warmtepomp met een vermogen van 10 kW.
- 25 m<sup>2</sup> geïsoleerd dakpaneel van OSB en PIR met  $R_c = 5$
- 25 m<sup>2</sup> \* 90% (= aandeel bedekking PV op Energiedak) thin film PV (CIGS) panelen met een nominaal vermogen van 168 Wp/m<sup>2</sup>.

## *Modelleren generieke producten*

### **Binnen- en buitenunit voor een 10 kW bodem/water warmtepomp**

Voor beide scenario's zowel de binnen- als de buitenunit (bodembron) van de warmtepomp nodig. In het Energiedak scenario is bodembron 30% kleiner dan gebruikelijk. De binnen- en buitenunit worden gemodelleerd met de categorie 3 NMD-productkaart<sup>7</sup> van bodem-water warmtepompen. De buitenunit heeft een levensduur van 50 jaar, de binnenunit 15 jaar.

### **PV (CIGS) panelen met een nominaal vermogen van 168 Wp/m<sup>2</sup>**

Het CIGS PV-paneel is gemodelleerd met de NMD categorie 3 productkaart 'PV paneel – CI(G)S / hellend dak'<sup>8</sup>. Deze productkaart bevat 1 PV-paneel van 1,85 m<sup>2</sup>, inclusief steun, exclusief omvormer. Het paneel heeft een levensduur van 25 jaar.

<sup>6</sup> Op basis van een besparing van 20% van het elektrische verbruik van een warmtepomp met een COP van 3 en een thermische vraag van 10,6 MWh per jaar. Daarvan is 8,85 MWh aan thermische vraag gerekend voor ruimte verwarming (gemiddeld gebruiksoppervlak van 156 m<sup>2</sup> (VROM, z.d.) voor een vrijstaande woning en 55 kWh/m<sup>2</sup>/jaar (BENG, 2019)). Daarnaast is er gerekend met een thermische vraag voor tapwater van 856 kWh/jaar/persoon (nbd-online.nl, z.d.) en gemiddeld 2,4 bewoners.

<sup>7</sup> Betreft de productkaart *Bodem-water warmtepomp, stuks (3-162 kWt)* uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Element 56.24 – Warmteopwekking; bijzonder- warmtepompen' (versie 1.0, 12-04-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_warmtepompen\\_nl\\_sfb\\_5624.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023_nmd_categorie_3_rapportage_warmtepompen_nl_sfb_5624.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpdatet in de NMD-viewer.

<sup>8</sup> Betreft de productkaart *PV paneel – CI(G)S / hellend dak* uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Cluster 5 – PV panelen' (versie 1.0, 01-06-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/fa/04/fa04865e-edee-45fa-8bc2-99b14a9de6d2/01062023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_pv\\_nl\\_611.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/fa/04/fa04865e-edee-45fa-8bc2-99b14a9de6d2/01062023_nmd_categorie_3_rapportage_pv_nl_611.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpload in de NMD-viewer.

Deze productkaart is gemodelleerd met een PV-paneel proces met een nominaal vermogen van 77,5 Wp bij een oppervlakte van 120 \* 60 cm<sup>2</sup>. Daarmee heeft de productkaart een nominaal vermogen van 108 Wp per m<sup>2</sup>. De MiaSolé modules hebben een nominaal vermogen van 168 Wp/m<sup>2</sup>. Om een gelijk nominaal vermogen te leveren in het BSM scenario, is er daarom 1,56 keer zoveel m<sup>2</sup> aan de cat. 3 productkaart nodig dan met de MiaSolé.

## **Geïsoleerd dakpaneel van OSB en PIR met Rc = 5**

Voor een eerlijke vergelijking, is het geïsoleerde dakpaneel van OBS en PIR voor het BSM scenario op dezelfde manier gemodelleerd als het Unilin dakpaneel in het Energiekap scenario. De levensduur van dit product is 50 jaar.

## **Elektriciteitsbesparing**

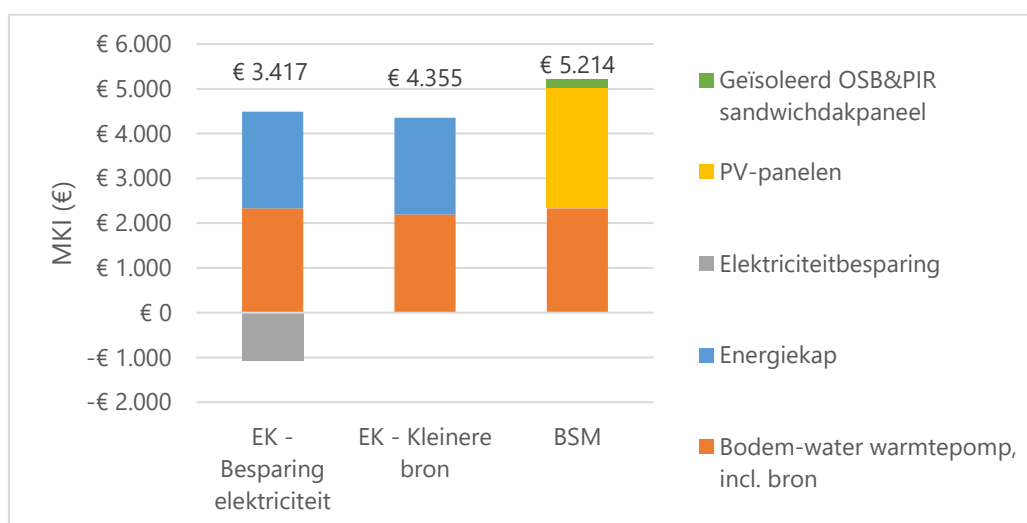
De elektriciteitsbesparing wordt gemodelleerd met de NMD-processen 0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028) en 0573-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, uit PV, bij consument, per kWh (o.b.vop basis van. zie toelichting in proces), (01-2028). In de modellering wordt uitgegaan dat 100% van de elektriciteit die met de PV-panelen wordt opgewekt, gebruikt wordt om de woning te voorzien van elektriciteit. De PV-panelen wekken 168 Wp/m<sup>2</sup> \* 25 m<sup>2</sup> \* 90% dakbedekking \* 75 jaar = 249,5 MWh in 75 jaar op. In 2022 bedroeg het gemiddelde elektriciteitsverbruik van een vrijstaande woning in Nederland 4190 kWh per jaar. Het aandeel van het elektriciteitsverbruik dat opgewekt is met PV-panelen bedraagt dan ongeveer  $249,5 / (4,190 * 75) = 79\%$ . Daarom is 79% van de bespaarde elektriciteit gemodelleerd met het 0573 proces en 21% met het 0494 proces.

## *Vergelijking Energiekap scenario en beschikbare standaard in de markt (BSM) scenario*

In Figuur 3.6 is de MKI van de twee varianten van het Energiekap scenario en het Beschikbare standaard in de markt scenario weergegeven gedurende de gehele levensduur (75 jaar). In dit figuur is te zien dat het Energiekap scenario met besparing van elektriciteit een 34% lagere MKI heeft dan het BSM scenario en het Energiekap scenario met een kleinere bron een 16% lagere MKI heeft dan het BSM scenario. De besparing van elektriciteit resulteert daarmee in een significante afname van de milieulast van het systeem, terwijl de besparing van de kleinere bron gering is (afname van 6% van de MKI van het bron-waterpompsysteem).

De milieulast van de Energiekap is tevens 25% lager dan de gezamenlijke milieulast van het sandwichdakpaneel en de PV-panelen in het BSM scenario. Dit verschil is grotendeels te verklaren door de 36% hogere MKI per Wp (nominaal vermogen) van de categorie NMD categorie 3 CIS PV-panelen. Dit verschil in MKI is afkomstig van het bevestigingssysteem dat enkel noodzakelijk is in de categorie 3 kaart, en het hogere gewicht per m<sup>2</sup> paneel (28 kg/m<sup>2</sup> t.o.v. 17,5 kg/m<sup>2</sup>). Het hogere nominale vermogen per m<sup>2</sup> van de MiaSolé panelen en de lagere levensduur van de categorie 3 kaart compenseert elkaar nagenoeg.





**Figuur 3.6**

Vergelijking Energiekap (EK) scenario en Beschikbare standaard in de markt (BSM) scenario. Er zijn twee varianten weergegeven van het Energiekap scenario: één variant waar er elektriciteit bespaard wordt en één variant waar er gebruik gemaakt wordt van een kleinere bron.

### 3.2.1.5 Conclusie van de onderzoekers

De toepassing van de Energiekap zorgt in het onderzochte scenario voor een significante reductie van de milieulast ten opzichte van de toepassing van de beschikbare standaard in de markt. De afname is het hoogste in het scenario dat de brongrootte gelijk blijft en er energie bespaard wordt. De verbeterpotentie van de milieuprestatie van de Energiekap ligt bij aanpassingen van de PV-panelen, omdat deze bijdragen aan 90% van de MKI van het product. Een lagere milieulast van de panelen zelf, of een verlengde levensduur van de panelen kunnen daarom bijdrage aan een significante afname van de milieulast van het product en systeem. Daarbij moet vermeld worden dat er geen milieuprofiel van de MiaSolé PV-panelen beschikbaar was. Omdat er daarom met generieke processen uit de NMD-processendatabase is gerekend, is het aannemelijk dat de werkelijke impact van de panelen lager uitvalt dan in deze studie is berekend. Verder onderzoek is nodig om de verbeterpotentie in kaart te brengen.

### 3.2.2 DEI720013 - Propaanwarmtepomp en PVT3.0 voor Inzetten Vlotte Energie Transitie – PVT-warmtepomppaneel

#### 3.2.2.1 Projectomschrijving

##### **Doelstelling project: Aardgasloze woningen, wijken en gebouwen<sup>9</sup>.**

Triple Solar beoogt een kleine warmtepomp te ontwikkelen voor een hybride opstelling, gekoppeld met een vernieuwd PVT-systeem. Zo wordt er tot 80% op gas bespaard. In tegenstelling tot bestaande hybride-oplossingen, hoeft dit systeem niet vervangen te worden met een grotere warmtepomp wanneer er besloten wordt geheel van het gas af te gaan. De warmtepomp kan blijven hangen en de gasketel kan vervangen worden met een extra warmtepomp. De twee pompen kunnen vervolgens samen functioneren als één integrale oplossing. Tussen installatie van de 1e en 2e warmtepomp kan de woningeigenaar geleidelijk aan de benodigde renovaties aan het huis doen op eigen tempo, passend bij wat mogelijk, logisch en comfortabel is voor de woningeigenaar. Het PVT-paneel doet dienst als buitenunit voor de warmtepomp (uitwisseling warmte en koude met buitenlucht) en als bron voor elektriciteit uit zonlicht. Door de ontwikkeltrajecten van deze verschillende componenten bij elkaar te trekken in één project, in plaats van de tot op heden gebruikelijke aparte ontwikkeltrajecten, zullen de componenten veel beter op elkaar aansluiten en kunnen tot voorheen onbenutte mogelijkheden nu aangeboord worden.

##### **Productinformatie**

Het PVT-systeem van Triple Solar bestaat uit PVT-warmtepomppanelen (Triple Solar PVT-warmtepomppanelen) in combinatie met een brine-water warmtepomp. Dit kan de Triple Solar PVT heat pump 3.5 zijn, of een andere (door Triple Solar voorgeschreven) brine-water warmtepomp met een vermogen van 3,5 kW.

De voorkant van het PVT-warmtepomppaneel bestaat uit zonnecellen die zonlicht omzetten in elektriciteit. De achterkant is een thermische wisselaar die de brine-water warmtepomp voorziet van bronenergie. De warmte uit de PVT-warmtepomppanelen wordt door de warmtepomp omgezet in bruikbare warmte voor verwarming en warm tapwater.

Het PVT-systeem kan ook voorzien in de koudevraag. De ruimte wordt gekoeld middels vloerverwarming, een convector of een aparte wisselaar in het ventilatiesysteem. De Triple Solar PVT-warmtepomp heeft een ingebouwde koelfunctie, andere warmtepompen moeten uitgerust worden met een extra koelmodule.

In deze studie is enkel het PVT-warmtepomppaneel (incl. warmtewisselaar, steun, leidingen en glycolvulling) opgenomen. Van de PVT-warmtepomp van Triple Solar is het niet gelukt om toereikende informatie te verzamelen voor het opstellen van een LCA.

<sup>9</sup> De omschrijving van de doelstelling is overgenomen uit de publieke samenvatting van het project op de website van Topsector Energie, via: <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/propaanwarmtepomp-en-pvt30-voor-inzetten-vlotte-energietransitie-35446>, geraadpleegd op 12-09-2023.

## Triple Solar PVT-warmtepomppaneel:

*Levensduur:* 30 jaar

*Functionele eenheid:* 1 stuk Triple Solar PVT M4-400P, één PVT-module 400 Wp/stuk, mono-Si, incl.: (warmtewisselaar, steun, leidingen, glycolvulling) excl.: (warmtepomp, omvormer)

*Afmeting:* 2 m<sup>2</sup>

### 3.2.2.2 LCA/Resultaten Triple Solar PVT-warmtepomppaneel

De Triple Solar PVT M4 panelen zijn op 02-03-2023 opgenomen als productkaart in de Nationale Milieudatabase (Stichting Nationale Milieudatabase, 2023). De MKI van 1 stuk betreft € 76,46 bij een levensduur van 30 jaar.

### 3.2.2.3 Vergelijking met de beschikbare standaard in de markt:

*Opbouw scenario/functionele eenheid voor vergelijking met beschikbare standaard in de markt*

Het PVT-warmtepomppaneel wekt elektriciteit op middels de zonnecellen én voorziet een brine/water warmtepomp van bronenergie middels een thermische wisselaar. Het PVT-paneel voorziet daarom in elektriciteit en warmte wanneer deze gekoppeld is aan een 3,5 kW warmtepomp. De functie om te vergelijken bestaat daarom uit:

- Opwekking van warmte middels één brine-water warmtepomp met een vermogen van 3,5 kW<sup>10</sup>.
- Opwekking van elektriciteit middels een mono-Si PV-paneel. Om de water-water warmtepomp met een vermogen van 3,5 kW te voorzien, zijn ongeveer 4 Triple Solar PVT-warmtepomppanelen benodigd<sup>11</sup>. Het nominale vermogen van de Triple Solar PVT-warmtepomppanelen is 400 Wp per stuk. Het te leveren nominale vermogen van de PV-panelen komt daarmee uit op 1600 Wp.

Het scenario met het PVT-warmtepomppaneel bestaat daarom uit de combinatie van PVT-warmtepomppanelen (4 stuks à 400 Wp) en een binnenunit van één 3,5 kW brine-water warmtepomp.

Het scenario van de beschikbare standaard in de markt bestaat uit de combinatie van mono-si PV panelen (met een nominaal vermogen van 1600 Wp) en één volledige (d.w.z. binnen- én buitenunit) brine-water warmtepomp met een vermogen van 3,5 kW.

<sup>10</sup> Het systeem heeft ook de mogelijkheid om koude te leveren. Hiervoor is echter een koelmodule op de warmtepomp benodigd bij reguliere warmtepompen. De Triple Solar warmtepomp heeft een ingebouwde koelmogelijkheid. Omdat er geen toereikende informatie omtrent de koelmodule beschikbaar is, is dit onderdeel buiten beschouwing van deze studie gelaten.

<sup>11</sup> Inschatting van Triple Solar.

Er is uitgegaan van de referentielevensduur van gebouwen volgens de Bepalingsmethode van 75 jaar voor woningen. Voor het samenvoegen van de deelproducten tot de volledige systemen zijn de rekenregels van de Bepalingsmethode omtrent vervangingen van deelproducten gehanteerd<sup>12</sup>.

## *Modelleren generieke producten*

### **Binnenunit voor een 3.5 kW brine-water warmtepomp**

De Triple Solar PVT-warmtepomppanelen worden aangesloten op een brine/water warmtepomp van 3,5 kW (categorie 3 NMD-productkaart<sup>13</sup>). Het PVT-warmtepomppaneel neemt daarbij de functie van de buitenunit van de warmtepomp over. Er is daarom enkel de binnenunit van de warmtepomp nodig. De binnenunit heeft een levensduur van 15 jaar.

Het standaard koelmiddel in de NMD-productkaart betreft R-134a. De Triple Solar warmtepomp gebruikt daarentegen het koudemiddel propaan, welke een aanzienlijk lagere impact heeft op het milieu. Daarom is er een variant van de NMD-productkaart van deze warmtepomp gemaakt, waarbij de R-134a koelvloeistof vervangen is door propaan. De levensduur van deze productkaart is tevens 15 jaar.

### **Binnen- en buitenunit voor een 3.5 kW brine/water warmtepomp**

Voor het scenario *beschikbare standaard in de markt* is zowel de binnen- als de buitenunit van de warmtepomp nodig. De buitenunit wordt ook gemodelleerd met de categorie 3 NMD-productkaart<sup>13</sup> van brine-water warmtepompen. De buitenunit heeft een levensduur van 50 jaar.

### **PV-paneel (mono-Si) bij 1600 Wp**

Het mono-Si PV-paneel is gemodelleerd met de NMD categorie 3 productkaart 'PV-paneel – monokristallijn / plat dak'<sup>14</sup>. Deze productkaart bevat 1 PV-paneel van 1,85 m<sup>2</sup>, inclusief steun, exclusief omvormer. Deze productkaart is gemodelleerd met een PV-paneel proces met een nominaal vermogen van 244 Wp bij een oppervlakte van 156 \* 156 cm<sup>2</sup>. Daarmee heeft de

<sup>12</sup> Het aantal vervangingen wordt volgens de Bepalingsmethode berekend door de functieduur te delen door de levensduur minus één (de initiële productie). Het aantal vervangingen kan daarbij nooit kleiner dan 0 zijn en wordt uitgedrukt in minimaal 2 cijfers significant. Voor de initiële productie wordt altijd uitgegaan van een hele productie; deze kan nooit kleiner zijn dan 1, ook al is de levensduur van het product groter dan de functieduur. Bij vervangingen wordt geen rekening gehouden met mogelijke verbeteringen betreft de milieuprestatie. Elke vervanging heeft daarom een gelijke milieulast aan dat van het originele product.

<sup>13</sup> Betreft de productkaart *Water-water warmtepomp, stuks (3-162 kWt)* uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Element 56.24 – Warmteopwekking; bijzonder- warmtepompen' (versie 1.0, 12-04-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_warmtepompen\\_nl\\_sfb\\_5624.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023_nmd_categorie_3_rapportage_warmtepompen_nl_sfb_5624.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpdatet in de NMD-viewer. Het koelmiddel in de leidingen van de bron betreft glycol.

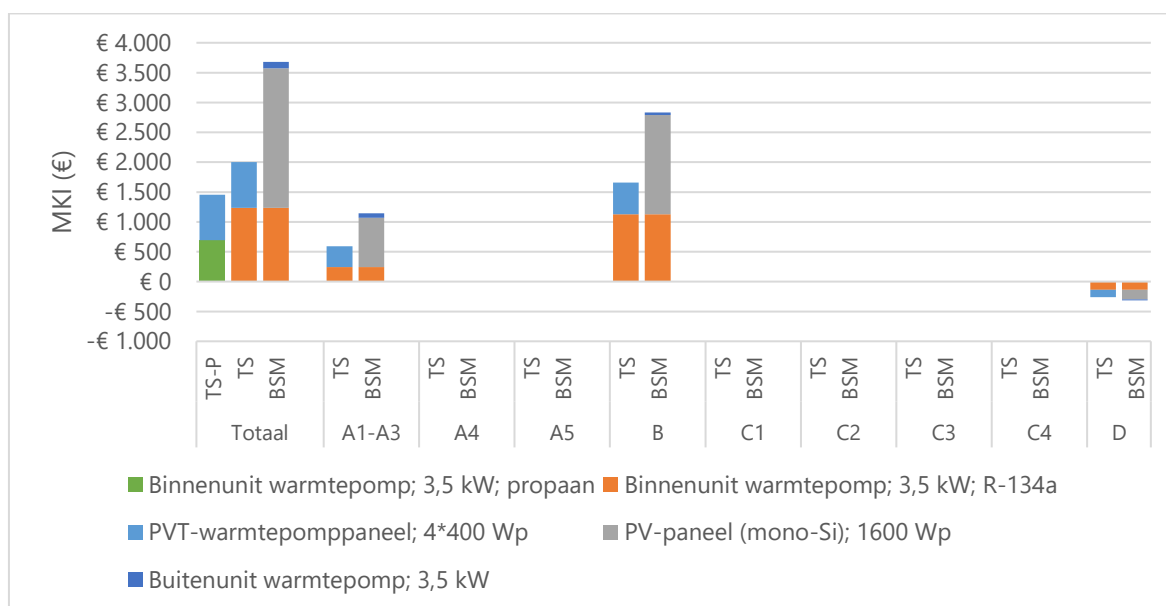
<sup>14</sup> Betreft de productkaart *PV-paneel – monokristallijn / plat dak* uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Cluster 5 – PV panelen' (versie 1.0, 01-06-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/fa/04/fa04865e-edee-45fa-8bc2-99b14a9de6d2/01062023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_pv\\_nl\\_611.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/fa/04/fa04865e-edee-45fa-8bc2-99b14a9de6d2/01062023_nmd_categorie_3_rapportage_pv_nl_611.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpload in de NMD-viewer.

productkaart een nominaal vermogen van 100 Wp per m<sup>2</sup>.

Om een gelijk nominaal vermogen te leveren als de vier PVT-warmtepomppaneel (1600 Wp), is er 16 m<sup>2</sup> (of 8,6 stuks) van deze productkaart nodig. Het paneel heeft een levensduur van 25 jaar.

### Vergelijking scenario Triple Solar (TS) en scenario beschikbare standaard in de markt (BSM)

In Figuur 3.7 is de MKI weergegeven per levensfase voor het *Triple Solar* (TS) scenario het *beschikbare standaard in de markt* (BSM) scenario. Het scenario aangeduid met TS-P is geeft een variant van het TS scenario weer waar de warmtepomp gebruik maakt van propaan als koelvloeistof in plaats van R-134a. De MKI is voor beide scenario's weergegeven per levensfase. In dit figuur is te zien dat in het TS scenario dezelfde functie geleverd kan worden als in het BSM scenario, maar dan met een reductie van 46% van de MKI over een levensduur van 75 jaar. Wanneer in het TS scenario de warmtepomp gebruik maakt van propaan als koudemiddel in plaats van R-134a, neemt de reductie toe tot 60%<sup>15</sup>.



**Figuur 3.7**

Vergelijking Triple Solar (TS) scenario en beschikbare standaard in de markt (BSM) scenario. Beide scenario's hebben een levensduur van 75 jaar. Het scenario aangeduid met TS-P is geeft een variant van het TS scenario weer waar de warmtepomp gebruik maakt van propaan als koelvloeistof in plaats van R-134a.

<sup>15</sup> Propaan kan ook toegepast worden als koudemiddel in het BSM scenario. De 'extra' afname van de MKI van het TS scenario t.o.v. het BSM scenario verdwijnt dan. Deze optie is weergegeven omdat de Triple Solar warmtepomp zeker gebruik maakt van propaan als koudemiddel. Als een willekeurige warmtepomp aangeschaft wordt in het BSM scenario, kan het toegepaste koudemiddel propaan zijn, maar ook R-134a of andere koudemiddelen met een nog hogere GWP. Deze vergelijking laat zien dat het toegepaste koudemiddel een grote invloed heeft op de milieulast van het totale systeem.

De grootste winst wordt behaald door de verminderde milieulast voor het leveren van een nominaal vermogen van 1.600 Wp middels mono-Si PV-panelen (€765 t.o.v. €2.336). De thermische wisselaar van het PVT-warmtepomppaneel zorgt voor een reductie van €107 van de MKI, omdat het gebruik van de buitenunit van de water-water warmtepomp daardoor overbodig is.

De binnenuit van de warmtepomp levert een grote bijdrage aan de MKI van zowel het TS scenario (62%) als bij het BS scenario (34%). Het reduceren van de milieulast van de binnenunit van de warmtepomp of het verlengen van de levensduur van dit onderdeel kan daarom bijdragen aan een significante reductie van de milieulast van het gehele systeem. Naar verwachting zal de Triple Solar warmtepomp een lagere milieulast hebben dan de reguliere categorie 3 warmtepomp, onder andere door het gebruik van propaan als koudemiddel in plaats van R-134a. Mogelijk kan de ingebouwde koelfunctie nog zorgen voor een relatieve afname van de MKI t.o.v. van de 'generieke' warmtepomp + koelmodule, maar zonder uitgevoerde LCA kunnen hier geen harde claims over gemaakt worden.

#### 3.2.2.4 Conclusie van de onderzoekers

De toepassing van de Triple Solar PVT-warmtepomppanelen zorgt in het onderzochte scenario voor een significante reductie van de milieulast ten opzichte van de toepassing van de beschikbare standaard in de markt. Triple Solar heeft eigen ontwikkelde PVT panelen, die tevens zijn opgenomen in de Nationale Milieudatabase. Deze panelen hebben een substantieel lagere milieu impact dan de generieke PV equivalent van de beschikbare standaard in de markt. De verbeterpotentie binnen het onderzochte scenario ligt bij het reduceren van de milieulast van de binnenunit van de warmtepomp of het verlengen van de levensduur. Triple Solar heeft hiervoor de Triple Solar PVT heat pump 3.5 ontwikkeld. Deze warmtepomp maakt gebruik van propaan als koudemiddel in plaats van R-134a en heeft een ingebouwde koelmodule. Een levenscyclusanalyse van de ontwikkelde warmtepomp zal inzicht geven in de relatieve reductie van de milieulast ten opzichte van gemodelleerde warmtepompen in deze studie.

### 3.2.3 MOOI32008 - Intelligente warmteproductie (IWP) - Warmteopslag (TCM) + zonnearmte gevelement

#### 3.2.3.1 Projectomschrijving

##### **Doelstelling project – Warmtewinschil Emergo<sup>16</sup>**

Doel van het project is een kosteneffectieve en flexibele 'mass-customizable' (grootschalig maatwerk) prefab 'warmtepomp-warmteschil-warmtebatterij' renovatie oplossing voor gasvrije, duurzame verwarming én koeling van seriematige grondgebonden woningen. Beoogde reductie van energie verbruik uit het elektriciteitsnet is minimaal 60% ten opzichte van eenzelfde use-case met luchtwarmtepomp, zonder afbreuk te doen aan comfort. Ons project integreert 2 internationale doorbraaktechnologieën - een warmtegevel en een warmtebatterij - met bestaande warmtepomptechnologie in een nieuw prefab concept met een geactiveerde woningschil. - De warmtegevel is een innovatieve, esthetisch veelzijdige zonthermische gevelcollector, die effectief zonne-energie oogst bij lage buitentemperaturen. Deze doorbraakinnovatie ontsluit het pad naar de gevel als duurzame energieleverancier. - De warmtebatterij is de eerste volledig verliesvrije warmteopslag, 10 x goedkoper dan elektrische opslag en veel compacter dan water of PCM's. Deze warmtebatterij beantwoordt aan de innovatieopgave van MMIP4.3, Slimme Compacte Warmtebatterij en de daar beoogde KPI's.

##### **Productinformatie**

Deze LCA richt zich op een onderdeel van het MOOI-IWP project, namelijk de warmtewinschil. Met de warmtewinschil bedoelen we de esthetisch zonthermische gevelcollector of dezelfde technologie toegepast in een thermische dakgeïntegreerde collector. Het benodigde leidingwerk om de warmtewinschil aan te sluiten op een warmtepomp of thermische buffer is onderdeel van de LCA. In het vergelijk met een beschikbare standaard in de markt wordt een typische situatie voor een rijtjeswoning bekeken inclusief de warmtepomp.

*Levensduur:* 30 jaar<sup>17</sup>.

*Functionele eenheid:* 1 m<sup>2</sup> warmtewinschil van Emergo inclusief leidingsysteem van warmtewinschil naar warmtepomp.

#### 3.2.3.2 LCA Emergo warmtewinschil

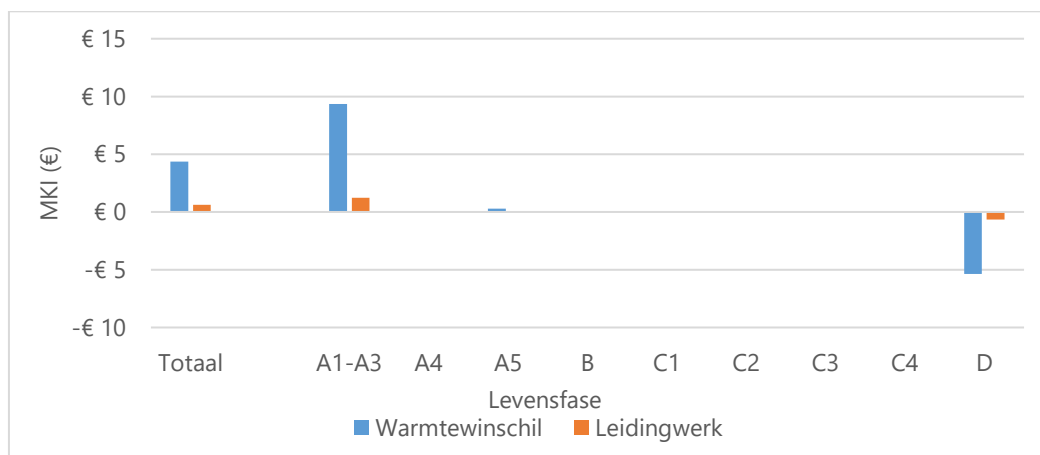
De levenscyclusanalyse van de warmtewinschil van Emergo bevat vertrouwelijke gegevens. De inventarisatie en modellering zijn daarom niet opgenomen in dit rapport. Wel is er een vereenvoudigde versie van de zwaartepuntanalyse/resultaten weergegeven in de volgende sectie.

<sup>16</sup> De omschrijving van de doelstelling is overgenomen uit de publieke samenvatting van het project op de website van Topsector Energie, via: <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/intelligente-warmteproductie-35156>, geraadpleegd op 12-09-2023.

<sup>17</sup> Argumentatie omtrent de levensduur is opgegeven door Emergo en aannemelijk geacht door de LCA-uitvoerder. Vanwege vertrouwelijkheid, is de argumentatie niet opgenomen in dit rapport.

## 3.2.3.3 Resultaten

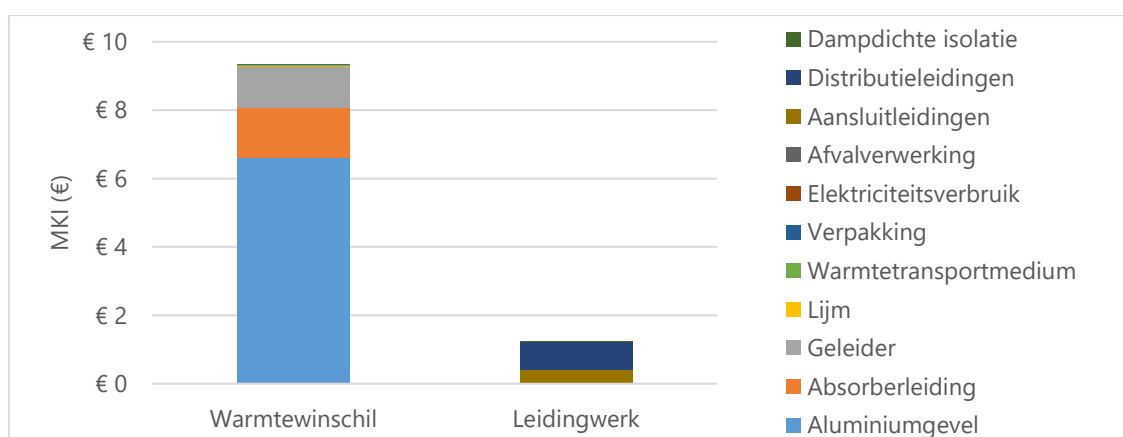
In Figuur 3.8 is de MKI weergegeven van 1 m<sup>2</sup> warmtewinschil van Emergo en bijbehorend leidingwerk. In dit figuur is te zien dat de grootste impact van beide onderdelen afkomstig is van de productiefase (A1-A3). Deze lasten worden significant verlaagd door de baten uit module D, afkomstig van recycling van materialen en de vermeden energieproductie (AVI).



**Figuur 3.8**

MKI per levensfase van 1 m<sup>2</sup> warmtewinschil van Emergo en bijbehorend leidingwerk

In Figuur 3.9 is de MKI van de productiefase (A1-A3) opgesplitst per proces. De grootste milieulast van de warmtewinschil is afkomstig van de aluminiumgevel, gevolgd door het koper en aluminium ten behoeve van de warmt uitwisseling in de schil. De milieulast van het leidingwerk is voornamelijk afkomstig van de aansluitleidingen (RVS omvlechting) en de distributieleidingen.

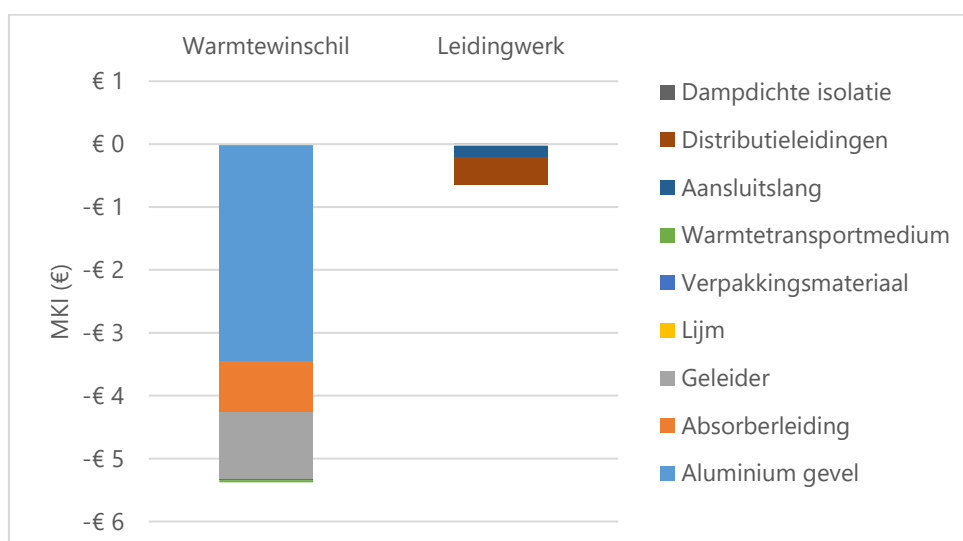


**Figuur 3.9**

MKI in de productiefase (A1-A3), opgesplitst per proces, voor 1 m<sup>2</sup> warmtewinschil van Emergo en bijbehorend leidingwerk

In Figuur 3.10 is de MKI buiten de systeemgrenzen (D) opgesplitst per proces. In dit figuur is te zien dat de hoogste baten afkomstig zijn van het recyclen van aluminium, gevolgd door de recycling van koper.





**Figuur 3.10**

MKI buiten de systeemgrenzen (module D), opgesplitst per proces, voor 1 m<sup>2</sup> warmtewinschil van Emergo en bijbehorend leidingwerk

### 3.2.3.4 Vergelijking met de beschikbare standaard in de markt

*Opbouw scenario/functionele eenheid voor vergelijking met beschikbare standaard in de markt*

De warmtewinschil van Emergo is een zonthermisch gevelsysteem. In combinatie met een warmtepomp kan de warmtewinschil een gebouw voorzien in de thermische vraag voor ruimteverwarming en tapwatervoorziening. De functie om te vergelijken bestaat daarom uit:

- Functie aluminium buitengevel.
- Voorzien van thermische vraag gebouw.

Er zijn veel verschillende situaties mogelijk waarin de warmtewinschil van Emergo toegepast kan worden. Er is daarom een scenario opgesteld door Emergo dat zij als aannemelijke situatie acht. Voor de vergelijking is uitgegaan van een rijtjeswoning met een gebruiksoppervlak van 109 m<sup>2</sup>, een thermische vraag voor ruimteverwarming van 6.000 kWh/jaar<sup>18</sup> en voor tapwatervoorziening van 2.000 kWh per jaar<sup>19</sup>. Er is uitgegaan van de referentielevensduur van gebouwen volgens de Bepalingsmethode van 75 jaar voor woningen.

#### Scenario warmtewinschil Emergo

Om de woning in bovenstaande situatie middels de warmtewinschil van Emergo te kunnen voorzien in de thermische vraag en vraag naar de functie van de aluminium buitengevel, bestaat dit scenario uit:

<sup>18</sup> Op basis van een thermische warmtevraag van 55 kWh/m<sup>2</sup>/ jaar.

<sup>19</sup> De minimale thermische warmtevraag voor tapwater vanuit de EPV is 15 kWh<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> per jaar. Met een gebruiksoppervlak Ag = 109 m<sup>2</sup> kom je daarmee op een warmtevraag van 1635 kWh<sub>th</sub>/jaar. Deze minimale warmtevraag is aan de lage kant. Een andere benadering is het kengetal van de tapwater warmtevraag per persoon te gebruiken van 856 kWh<sub>th</sub>/jr en een gemiddeld aantal personen per woning van 2,4 toe te passen. Daarmee kom je op 2054 kWh<sub>th</sub>/jr. Emergo heeft gekozen voor een mooi rond getal tussen deze beide benaderingen.

- 15 m<sup>2</sup> warmtewinschil van Emergo, inclusief leidingsysteem van gevel naar warmtepomp.
- Binnen opgestelde modulerende water-water warmtepomp met een vermogen van 6 kW en R290 (propan) als koudemiddel. Tevens heeft deze warmtepomp een ingebouwd tapwaterbuffervat van 165L. In dit scenario is de warmtewinschil de warmtebron voor de water-water warmtepomp, waardoor er enkel de binnenunit van de warmtepomp benodigd is.

Het elektriciteitsverbruik van dit systeem komt uit op 1.430 kWh/jaar voor ruimteverwarming en 775 kWh/jaar voor tapwatervoorziening<sup>20</sup>.

Het elektriciteitsverbruik van het systeem kan nog aanzienlijk verder gereduceerd worden door toepassing van een thermische opslag, waar de geoogste warmte in opgeslagen kan worden. Met bijvoorbeeld de toepassing van een thermisch buffervat van 200L aan de bronzijde komt het elektriciteitsverbruik van het systeem uit op 1.195 kWh/jaar voor ruimteverwarming en 645 kWh/jaar voor tapwatervoorziening. Om het scenario eenvoudig te houden is gekozen om alleen de situatie zonder thermische bron- of afgiftebuffer te vergelijken, zoals hierboven beschreven is.

### Scenario beschikbare standaard in de markt

Om de woning in bovenstaande situatie middels de beschikbare standaard in de markt te kunnen voorzien in de thermische vraag, en vraag naar de functie van de aluminium buitengevel, bestaat dit scenario uit:

- 15 m<sup>2</sup> regulier aluminium gevelsysteem
- Een lucht-water split type warmtepomp met een vermogen van 6 kW en koudemiddel R410a.
- Een buffervat van 165 L.

Het elektriciteitsverbruik van dit systeem komt uit op 1.823 kWh/jaar voor ruimteverwarming en 1111 kWh/jaar voor tapwatervoorziening<sup>20</sup>.

### *Modelleren generieke producten*

#### **Tapwaterbuffervat 165 L**

Het tapwaterbuffervat is gemodelleerd met de NMD categorie 3 productkaart 'Buffervat'<sup>21</sup>. Het buffervat heeft een levensduur van 15 jaar.

#### **Binnen opgestelde modulerende water-water warmtepomp met propan als koudemiddel**

Omdat er van toegepaste type warmtepomp geen LCA-data beschikbaar is, is er teruggevallen op de categorie 3 productkaarten van de NMD van warmtepompen. Het milieuprofiel van de water-

<sup>20</sup> Emergo heeft de energieprestatie van dit systeem onderzocht, berekend en onderbouwd met onder andere een rapportage van TNO. De LCA-uitvoerder heeft deze onderbouwing beoordeeld en aannemelijk geacht. Vanwege vertrouwelijkheid, is deze niet opgenomen in dit rapport.

<sup>21</sup> Betreft de productkaart Buffervat uit het rapport "Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Cluster 3 – boilers en buffervaten" (versie 1.0, 01-06-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/5c/0b/5c0bb29b-219c-4c3f-b693-0112d3d85772/01062023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_boiler\\_nl\\_sfb\\_561.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/5c/0b/5c0bb29b-219c-4c3f-b693-0112d3d85772/01062023_nmd_categorie_3_rapportage_boiler_nl_sfb_561.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpload in de NMD-viewer.

water warmtepomp met een vermogen van 6 kW (zonder buitenunit/warmtebron) is overgenomen, waarbij enkel het koudemiddel R-134a is vervangen door propaan<sup>22</sup>. De warmtepomp heeft een levensduur van 15 jaar. Daarnaast heeft het toegepaste type warmtepomp een ingebouwd tapwaterbuffervat van 165 L. Dit buffervat is daarom apart gemodelleerd volgens onderstaande omschrijving. In het Emergo scenario is de warmtewinschil de warmtebron voor de water-water warmtepomp, waardoor er enkel de binnenunit van de warmtepomp benodigd is.

## Lucht-water warmtepomp

Er is hier gebruikgemaakt van de categorie 3 productkaarten van de NMD van warmtepompen. Het milieuprofiel van de Lucht-water warmtepomp, split type, met een vermogen van 6 kW en R-134a<sup>23</sup> als koudemiddel, is overgenomen<sup>24</sup>. Omdat deze koudemiddel een relatief hoge milieulast heeft, en er ook lucht-water warmtepompen met propaan als koudemiddel op de markt beschikbaar zijn, is er tevens gekeken naar hetzelfde type warmtepomp met propaan als koudemiddel. De warmtepomp heeft een levensduur van 15 jaar.

## Aluminium gevelsysteem

Het reguliere aluminium gevelsysteem is gemodelleerd met de NMD categorie 3 productkaart 'Deelproduct: Elementengevels, Aluminium, gecoat' (Stichting Nationale Milieudatabase, 2020). De levensduur van deze productkaart is 75 jaar. Emergo heeft aangegeven dat dit een onwaarschijnlijk lange levensduur is voor gecoate aluminium gevels. Volgens de SBR levensduren (SBR, 2011) heeft gecoat aluminium, toegepast als systeemwand (onder 21 – gevels), een levensduur van 50 jaar. Toegepast als bekleding (onder 41 – buitenwandafwerkingen), heeft gecoat aluminium een levensduur van 40 jaar. Daarom is er gekozen om een levensduur van 50 jaar aan te houden bij dit product.

## Elektriciteitsverbruik

Het elektriciteitsverbruik is gemodelleerd met het proces '0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)' uit de NMD-processendatabase. In de levensduur van 75 jaar van het scenario wordt 54.675 kWh minder aan elektriciteit verbruikt in het Emergo scenario dan in het scenario van de beschikbare standaard in de markt.

<sup>22</sup> Betreft de productkaart Water-water warmtepomp, stuks (3-162 kWt) uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Element 56.24 – Warmteopwekking; bijzonder- warmtepompen' (versie 1.0, 12-04-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_warmtepompen\\_nl\\_sfb\\_5624.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023_nmd_categorie_3_rapportage_warmtepompen_nl_sfb_5624.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpdatet in de NMD-viewer.

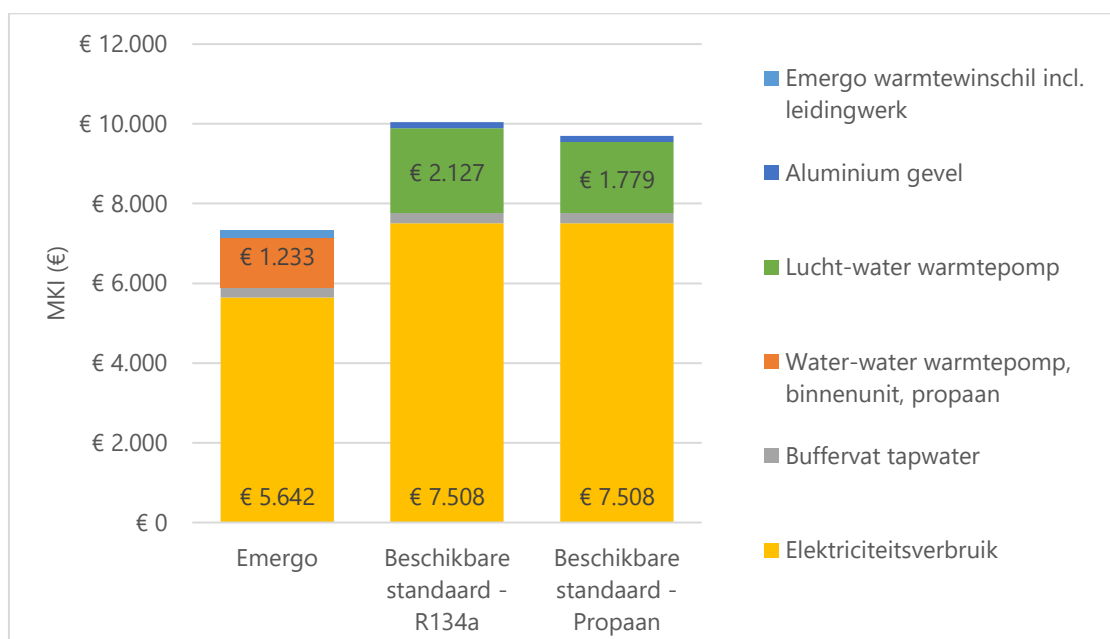
<sup>23</sup> Het hier toegepaste type warmtepomp maakt gebruik van koudemiddel R-410a. Dit koudemiddel staat niet in de Ecoinvent database, daarom is er gekozen voor R-134a, welke een GWP heeft in dezelfde orde van grote (R-134a: 1430; R-410a: 2088).

<sup>24</sup> Betreft de productkaart Lucht-water warmtepomp, split unit, R-134a, stuks (3-162 kWt) uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Element 56.24 – Warmteopwekking; bijzonder- warmtepompen' (versie 1.0, 12-04-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_warmtepompen\\_nl\\_sfb\\_5624.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023_nmd_categorie_3_rapportage_warmtepompen_nl_sfb_5624.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpdatet in de NMD-viewer.

Beide scenario's hebben een levensduur van 75 jaar. Voor het samenvoegen van de deelproducten tot de volledige systemen zijn de rekenregels van de Bepalingsmethode omtrent vervangingen van deelproducten gehanteerd<sup>25</sup>.

### Vergelijking scenario Emergo en scenario beschikbare standaard in de markt (BSM)

In Figuur 3.11 zijn de Emergo en BSM scenario's vergeleken. Van het BSM scenario zijn twee varianten: één met een lucht-water warmtepomp met R-134a als koudemiddel, en één met propaan als koudemiddel. In dit figuur is te zien het Emergo scenario met een MKI van €7.319 aanzienlijk beter scoort dan de twee BSM scenario's met MKI's van €10.044 (R-134a) en €9.9697 (propaan). De grootste afname is afkomstig van de elektriciteitsbesparing, met een afname van €1.865. Het gebruik van de water-water warmtepomp (met de warmtewinschil als bron) zorgt tevens voor een significante afname van de milieulast afkomstig van materialen. De afname is groter wanneer de water-water warmtepomp vergeleken wordt met de lucht-water warmtepomp met R-134a als koudemiddel dan met propaan als koudemiddel. De buffervaten, aluminium gevel en warmtewinschil zorgen voor een relatief kleine bijdrage op het totale systeem.



**Figuur 3.11**

Vergelijking scenario Emergo met scenario beschikbare standaard in de markt. Voor het scenario beschikbare standaard in de markt is er onderscheid gemaakt tussen een lucht-water warmtepomp met R-134a als koudemiddel en propaan als koudemiddel.

<sup>25</sup> Het aantal vervangingen wordt volgens de Bepalingsmethode berekend door de functieduur te delen door de levensduur minus één (de initiële productie). Het aantal vervangingen kan daarbij nooit kleiner dan 0 zijn en wordt uitgedrukt in minimaal 2 cijfers significant. Voor de initiële productie wordt altijd uitgegaan van een hele productie; deze kan nooit kleiner zijn dan 1, ook al is de levensduur van het product groter dan de functieduur. Bij vervangingen wordt geen rekening gehouden met mogelijke verbeteringen betreft de milieuprestatie. Elke vervanging heeft daarom een gelijke milieulast aan dat van het originele product.

### 3.2.3.5 Conclusie van de onderzoekers

Voor de onderzochte scenario's kan geconcludeerd worden dat het gebruik van de Emergo warmtewinschil leidt tot een significante afname van de milieulast van het volledige warmtevoorzienings- en gevelsysteem. De resultaten zijn gebaseerd op de genoemde uitgangspunten en gehanteerde scenario's, en zijn niet zonder meer te veralgemeniseren. Op basis van de vergelijkbare milieulast van de warmtewinschil en de aluminium gevel, en de kleine bijdrage geleverd aan de totale MKI, acht de LCA-uitvoerder het wel aannemelijk dat de Emergo warmtewinschil in het overgrote deel van de toepassingen beter scoort dan wanneer er enkel gebruik gemaakt wordt van een reguliere warmtepomp en aluminium gevel. De iets hogere milieulast van de warmtewinschil t.o.v. dat van de aluminiumgevel zal in de meeste gevallen ruimschoots gecompenseerd worden doordat er geen 'reguliere' warmtebron (zoals een WKO, bodemlus of buitenunit) vereist is, en warmtepompen met een hogere COP en lagere MKI toegepast kunnen worden (zoals water-water i.p.v. lucht-water). Bovendien leidt de elektriciteitsbesparing t.o.v. de beschikbare standaard in de markt tot een significante lagere MKI van het totale systeem. Het elektriciteitsverbruik van het systeem kan nog aanzienlijk verder gereduceerd worden door de toepassing van een thermische opslag, waar de geogste warmte in opgeslagen kan worden. De verbeterpotentie van de milieuprestatie van het gehele systeem ligt verder bij het combineren van de warmtewinschil met een warmtepomp met een lage milieulast en een lange levensduur.

## 3.2.4 DEI720023 - Laag Temperatuur Tapwater Systeem - Tapwatersysteem

### 3.2.4.1 Projectomschrijving

#### **Aanleiding**<sup>26</sup>

Er zijn nu veel renovatie concepten in ontwikkeling voor bijvoorbeeld het systematisch aanpakken van isolatie. Voor verwarming komt ook de warmtepomp steeds vaker in beeld, omdat deze nu ook toepasbaar is met radiatoren of convectoren i.p.v. vloerverwarming. De tapwatervoorziening blijft echter een issue. Omdat tapwater op minimaal 55°C aangeleverd moet worden, wordt er bij individuele systemen een boiler vat geplaatst en bij collectieve systemen wordt voor het tapwater vaak een hoge temperatuur warmtepomp geplaatst. In het eerste geval is voldoende ruimte nodig, die lang niet altijd beschikbaar is. In het tweede geval is sprake van energieverliezen, omdat het maken van water op de benodigde temperatuur inefficiënter is, er meer distributieverliezen zijn en er bij de afgifte in de woning ook meer verliezen zijn. Een tapwater systeem dat veilig en comfortabel functioneert op lagere temperatuur, zou deze problemen oplossen en verduurzaming van bestaande bouw vergemakkelijken.

#### **Doelstelling**<sup>26</sup>

Het doel van project LTTS is aantonen dat een lage temperatuur tapwater systeem, waarbij het water aangeleverd wordt bij 40°C, veilig en goed functioneert, door de gebruiker geaccepteerd wordt en economisch rendabel is. Dit wordt aangetoond in een demo project bij 252 appartementen met een centrale warmtebron en in ieder appartement een LTTS unit. De omgang van de gebruikers met de boosterfunctie wordt in kaart gebracht en het totale energie gebruik wordt gemonitord. Deze praktijkdata is nodig voor acceptatie van de LTTS toepassing in de bestaande bouw. Project LTTS sluit aan bij de regeling Aardgasloze woningen, wijken en gebouwen, doordat het lage temperatuur tapwater systeem de implementatie van warmtepomp systemen in gebouwen vergemakkelijkt, en tevens het energiegebruik reduceert en ook piekverbruik zo veel mogelijk vermijdt. Hierdoor kunnen gebouwen sneller verduurzaamd worden tegen zo laag mogelijke totale kosten (voor eindgebruiker en maatschappelijke kosten).

#### **Productinformatie**

Met het SELWO-systeem kan het tapwater snel verwarmd worden van 40 °C tot 55 °C. De bewoner klikt daarvoor op de geïnstalleerde boosterknop.

Het SELWO-systeem in de woning bestaat uit een booster (of 'doorstromer') met bijbehorende boosterbedienschakelaar bijbehorende afgifteset, appendages en leidingwerk Het SELWO-systeem wordt gekoppeld aan de 3, 3,5 of 4-pijps-distributie van het collectieve WKO-systeem.

<sup>26</sup> De omschrijving van de aanleiding en doelstelling is overgenomen uit de publieke samenvatting van het project op de website van Topsector Energie, via: <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/laag-temperatuur-tapwater-systeem-35516>, geraadpleegd op 13-11-2023.

### 3.2.4.2 LCA SELWO-systeem

#### Toelichting modellering systeemonderdelen

In deze sectie is de modellering van de systeemonderdelen van het SELWO- en WKO-systeem omschreven. Operationeel energieverbruik van de verschillende onderdelen is niet opgenomen in deze sectie, omdat het verbruik afhankelijk is van de toepassing. In Sectie 3.2.4.3 is operationeel energieverbruik opgenomen in de vergelijking van het SELWO-systeem met de beschikbare standaard in de markt.

In Tabel 3.2 is een overzicht weergegeven van de verschillende systeemonderdelen van het SELWO-systeem (aanwezig in individuele woning) en van het WKO-systeem (collectieve voorziening). De benodigde collectieve voorzieningen zijn situatiespecifiek. De onderdelen die beschreven zijn in deze sectie, zijn gebaseerd op het geschetste scenario in Sectie 3.2.4.3. Er zijn twee systeemonderdelen i.v.m. betrouwbaarheid niet weergegeven in deze sectie. In de volgende sectie zijn wel de resultaten van deze onderdelen weergegeven, gelabeld als 'betrouwbaar systeemonderdeel'.

**Tabel 3.2**

Levensduur systeemonderdelen SELWO- en WKO-systeem

Systeemonderdeel	Levensduur (jaar)	Toelichting
<i>Individueel (SELWO-systeem)</i>		
Boosterknop	75	Er is geen documentatie gevonden over de levensduur van lichtsckelaars. Er is aangenomen dat de lichtsckelaar een levensduur heeft van 75 jaar.
Bekabeling, elektra	40	De technische levensduur van bekabeling is tussen de 30 – 50 jaar (Wessels, 2014). Daarom gekozen voor 40 jaar.
Doorstromer	20	Er is aangenomen dat de levensduur van de doorstromer gelijk is aan dat van een boiler.
Drukreducerventiel	10	Er is geen eenduidige technische levensduur gevonden van een drukreducerventiel. Echter wordt er op veel websites aangeraden om het ventiel na tien jaar te vervangen (onder andere Coppens rekreatie, z.d.). Daarom is er aangenomen dat de levensduur 10 jaar betreft.
Volumestroombegrenzer	75	Er is geen technische levensduur gevonden van volumestroombegrenzers. Omdat RVS een lange levensduur heeft en de volumestroombegrenzer naar verwachting niet vervangen zal worden gedurende de levensduur van een woning, is een levensduur aangenomen van 75 jaar.
Leidingen; koper	50	Koperen leidingen hebben een gemiddelde levensduur van 50 jaar (PRINSPIPE, 2010),(CALPEX, 2022).
<i>Collectief (WKO-systeem/distributieleidingen)</i>		
Distributieleidingen; koper en staal	50	Koperen en stalen distributieleidingen hebben een gemiddelde levensduur van 50 jaar (PRINSPIPE, 2010),(CALPEX, 2022).
Distributieleidingen; steenwol isolatiemateriaal	75	Steenwol isolatiemateriaal heeft een levensduur van 75 jaar volgens de SBR levensduren (2011).
Distributieleidingen; Armaflex isolatiemateriaal	50	Er is geen technische levensduur gevonden van Armaflex isolatiemateriaal. Armaflex wordt gemaakt van elastomeer, welke een levensduur heeft tussen de 50-75 jaar ( <i>Interexpress</i> , 2022). Daarom is een levensduur van 50 jaar gehanteerd.
Drukverhoger	15	Er is geen technische levensduur gevonden van de drukverhoger. Omdat het

		product vergelijkbaar is met de circulatiepomp, is de levensduur van 15 jaar overgenomen.
Afleverset	15	Levensduur van NMD-productkaart
Warmtepomp; water-water; zonder warmtebron	15	Levensduur van NMD-productkaart
Warmtepomp; water-water; met warmtebron	50	Levensduur van NMD-productkaart
Warmtepomp; lucht-water	15	Levensduur van NMD-productkaart
Buffervat	20	Levensduur van NMD-productkaart

## Boosterknop

### Productie

De boosterknop is gelijk aan een normale lichtknop. Er is aangenomen dat een lichtschakelaar 62 g weegt (Karwei, z.d.). De schakelaar is gemodelleerd met het Ecoinvent proces *Switch, toggle type {GLO} | market for | Cut-off, U* (29 gram per stuk). De behuizing is gemodelleerd met het NMD-proces *0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO} | market for | Cut-off, U & Extrusion, plastic pipes {GLO} | market for | Cut-off, U* (62-29=33 gram per stuk).

### Transport

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

### Constructie en sloopfase

De installatie en demontage worden uitgevoerd met behulp van (elektrisch) handgereedschap. De milieulast van deze processen is verwaarloosbaar en daarom niet opgenomen in het LCA-model.

Tijdens de installatie vindt er installatieverlies plaats van de, door de Bepalingmethode voorgeschreven, forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

### Gebruiksfase

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.



## *Afvalverwerking*

De plastic behuizing is verwerkt volgens de, door de Bepalingsmethode opgestelde, forfaitaire waarden voor het verwerking-scenario einde leven van kunststoffen (Nr 45)<sup>27</sup>.

De schakelaar bestaat uit 45% messing, 4% koper, 26% nylon en 25% staal. Als conservatieve aanname is de afvalverwerking van dit onderdeel gemodelleerd als 100% verbranden van koper (AVI). Er zijn geen baten toegekend voor dit onderdeel.

## **Bekabeling, elektra**

### *Productie*

Er is aangenomen dat een kabel voor de elektra tussen de booster en boosterknop ongeveer 170 g per meter weegt (Elektrohandelsprijzen, z.d.). De kabels zijn gemodelleerd met het Ecoinvent proces *Cable, unspecified {GLO}| production | Cut-off, U*.

### *Transport*

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

### *Constructie en sloopfase*

De installatie en demontage worden uitgevoerd met behulp van (elektrisch) handgereedschap. De milieulast van deze processen is verwaarloosbaar en daarom niet opgenomen in het LCA-model.

Tijdens de installatie vindt er installatieverlies plaats van de, door de Bepalingsmethode voorgeschreven, forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

### *Gebruiksfase*

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.

<sup>27</sup> Aan het einde van de levensduur, worden de producten gedemonteerd en verzameld. De producten worden vervolgens getransporteerd naar een sorteerlocatie, waar ze ontmanteld worden en de individuele materialen gesorteerd worden. De individuele materialen kunnen gerecycled worden, verbrand (AVI) of gestort worden. De materialen die worden gerecycled, worden gemodelleerd totdat het einde van de afvalfase is bereikt. De materialen die worden verbrand, worden verwerkt in afvalverbrandingsinstallaties met energierugwinning. Voor het modelleren van deze fasen wordt gebruikgemaakt van de forfaitaire waarden voor verwerking-scenario's einde leven van de Bepalingsmethode (versie mei 2022).

## *Afvalverwerking*

Als conservatieve aanname is er uitgegaan van 100% AVI, gemodelleerd met het Ecoinvent proces *Waste, electrical and electronic cables {RoW} | treatment of waste, electrical and electronic cables, open burning | Cut-off, U*. Er zijn geen baten toegekend.

## **Doorstomer, Hotrun X11**

### *Productie*

De doorstomer is van het merk ELWA, type Hotrun X11 (ELWA, z.d.). Deze doorstomer heeft een gewicht van 5,5 kg en een vermogen tussen de 7,6 – 11 kW. Er is geen materialisatie beschikbaar van dit product. De doorstomer is daarom gemodelleerd met het Ecoinvent proces *Auxiliary heating unit, electric, 5kW {GLO} | market for | Cut-off, U*. Dit proces heeft een gewicht van 1,64 kg en een vermogen van 5 kW. Per doorstomer is er gerekend met 5,5 kg van dit proces.

### *Transport*

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingsmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

### *Constructie en sloopfase*

De installatie en demontage worden uitgevoerd met behulp van (elektrisch) handgereedschap. De milieulast van deze processen is verwaarloosbaar en daarom niet opgenomen in het LCA-model.

Tijdens de installatie vindt er installatieverlies plaats van de, door de Bepalingsmethode voorgeschreven, forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

### *Gebruiksfase*

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.

## *Afvalverwerking*

De doorstomer bestaat voor >95% uit RVS/gietijzer. De doorstomer is daarom verwerkt volgens de, door de Bepalingsmethode opgestelde, forfaitaire waarden voor het verwerking-scenario einde leven<sup>27</sup> van staal (Nr 75). In module D zijn baten toegekend voor het recyclen van 95% van de materiaalinput van RVS en gietijzer.

## **Drukreduceerventiel**

### *Productie*

Het drukreduceerventiel is gemodelleerd met het Ecoinvent proces *Exhaust air valve, in-wall housing, plastic/steel, DN 125 {RoW} | production | Cut-off, U*.

## *Transport*

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

## *Constructie en sloopfase*

De installatie en demontage worden uitgevoerd met behulp van (elektrisch) handgereedschap. De milieulast van deze processen is verwaarloosbaar en daarom niet opgenomen in het LCA-model.

Tijdens de installatie vindt er installatieverlies plaats van de, door de Bepalingmethode voorgeschreven, forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

## *Gebruiksfase*

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.

## *Afvalverwerking*

De individuele materialen zijn verwerkt volgens de bijbehorende forfaitaire waarden voor de verwerking-scenario's einde leven<sup>27</sup> van staal (Nr 75) en kunststoffen (Nr 43).

## **Volumestroombegrenzer**

### *Productie*

Om de volumestroombegrenzer te modelleren is gebruik gemaakt van de technische datasheet van de HL2024 Connect (HL2024 Inside, 2020). De begrenzer weegt 63 gram. De behuizing is gemaakt van messing en de buitenafwerking is gemaakt van chroom. De massa-aandelen van de verschillende materialen is onbekend. Daarom is er, als conservatieve aanname, uitgegaan van 63 gram RVS per volumestroombegrenzer. De begrenzer is daarom gemodelleerd met 63 g van de NMD-processen *0360-pro&Walsen, RVS (chromiumstaal) (o.b.v. Sheet rolling, chromium steel {GLO}| market for | Cut-off, U)* en *0202-fab&Staal, hooggelegeerd, RVS (o.b.v. Steel, chromium steel 18/8 {GLO}| market for | Cut-off, U; 72% primair, 28% secundair).*

## *Transport*

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

## *Constructie en sloopfase*

De installatie en demontage worden uitgevoerd met behulp van (elektrisch) handgereedschap. De milieulast van deze processen is verwaarloosbaar en daarom niet opgenomen in het LCA-model.

Tijdens de installatie vindt er installatieverlies plaats van de, door de Bepalingsmethode voorgeschreven, forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

## *Gebruiksfase*

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.

## *Afvalverwerking*

De volumestroombegrenzer is verwerkt volgens de forfaitaire waarden voor de verwerkingsscenario's einde leven<sup>27</sup> van staal (Nr 75).

## **Distributieleidingen; leidingen en isolatiemateriaal**

### Leidingen, staal en koper

#### *Productie*

Er zijn koperen en stalen leidingen gemodelleerd. De stalen leidingen zijn gemodelleerd met het Ecoinvent proces *Chromium steel pipe {GLO} | market for | Cut-off, U*. De koperen leidingen met de NMD processen *0287-fab&Koper, semis, voor plaat en buis (o.b.v. 33% 0059-fab&koper, kathode, 67% Copper {RER} | treatment of scrap by electrolytic refining; 27,5% primair, 72,5% secundair)* en *0147-pro&Draad trekken, koper (o.b.v. Wire drawing, copper {GLO} | market for | Cut-off, U)* (als proxy voor buisvormen).

#### *Transport*

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

## *Constructie en sloopfase*

De installatie en demontage worden uitgevoerd met behulp van (elektrisch) handgereedschap. De milieulast van deze processen is verwaarloosbaar en daarom niet opgenomen in het LCA-model.

Tijdens de installatie vindt er installatieverlies plaats van de, door de Bepalingsmethode voorgeschreven, forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

## *Gebruiksfase*

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.

## *Afvalverwerking*

De leidingen zijn verwerkt volgens de bijbehorende forfaitaire waarden voor de verwerkingsscenario's einde leven<sup>27</sup> van staal (Nr 75) en koper (Nr 41).

## Isolatiemateriaal

### *Productie*

De leidingen kunnen geïsoleerd worden met steenwol of Armaflex isolatie. De steenwolisolatie is gemodelleerd met het NMD-proces *0013-fab&Steenwol (o.b.v. Stone wool {GLO}| market for stone wool | Cut-off, U)* en een dichtheid van 100 kg/m<sup>3</sup> (Rockwool, z.d.). De Armaflex isolatie (Armacell GmbH, 2015) is gemaakt van elastomeer en is gemodelleerd met het Ecoinvent proces *Tube insulation, elastomere {GLO}| market for | Cut-off, U* en een dichtheid van 52,5 kg/m<sup>3</sup>.

### *Transport*

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

### *Constructie en sloopfase*

De installatie en demontage worden uitgevoerd met behulp van (elektrisch) handgereedschap. De milieulast van deze processen is verwaarloosbaar en daarom niet opgenomen in het LCA-model.

Tijdens de installatie vindt er installatieverlies plaats van de, door de Bepalingsmethode voorgeschreven, forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

## *Gebruiksfase*

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.

## *Afvalverwerking*

Het isolatiemateriaal verwerkt volgens de bijbehorende forfaitaire waarden voor de verwerkingsscenario's einde leven<sup>27</sup> van steenwol (Nr 78) en elastomeren (Nr 20).

## **Drukverhoger**

### *Productie*

De drukverhoger (hyrdfoorpomp) is gemodelleerd met de Grundfos CMBE 1-44 hydrofoorpomp 0,55 KW als voorbeeld (Sendpompen, z.d.). Deze pomp heeft een vermogen van 0,55 kW en een gewicht van 30 kg. Er is geen specifiek proces beschikbaar van een hydrofoorpomp in de NMD/Ecoinvent database. Het meest vergelijkbare proces is *Pump, 40W {RoW} | production | Cut-off*. De pomp waarop dit proces gebaseerd is weegt 2,43 kg. Wanneer deze kaart lineair geëxtrapoleerd wordt aan de hand van het vermogen, heeft een pomp met een vermogen van 0,55 kW een massa van 33,4 kg. Deze massa is vergelijkbaar met de massa van de Grundfos CMBE 1-44. Daarom is er uitgegaan van  $550/40 = 13,8$  stuks van het Ecoinvent proces voor 1 drukverhoger van 0,55 kW.

### *Transport*

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingsmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

### *Constructie en sloopfase*

De installatie en demontage worden uitgevoerd met behulp van (elektrisch) handgereedschap. De milieulast van deze processen is verwaarloosbaar en daarom niet opgenomen in het LCA-model.

Tijdens de installatie vindt er installatieverlies plaats van de, door de Bepalingsmethode voorgeschreven, forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

### *Gebruiksfase*

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.

### *Afvalverwerking*

De individuele materialen waarvan de circulatiepomp gemaakt is, zijn verwerkt volgens de bijbehorende forfaitaire waarden voor de verwerking-scenario's einde leven<sup>27</sup> van aluminium (Nr 4), staal (Nr 75), koper (Nr. 41) en kunststoffen (Nr 43).

## **Buffervat**

Het tapwaterbuffervat is gemodelleerd met de NMD categorie 3 productkaart '*Buffervat*'<sup>28</sup>. Het buffervat is schaalbaar naar het volume met een bereik van 10 – 500 L. Het buffervat heeft een levensduur van 15 jaar.

<sup>28</sup> Betreft de productkaart Buffervat uit het rapport "Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Cluster 3 – boilers en buffervaten" (versie 1.0, 01-06-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/5c/0b/5c0bb29b-219c-4c3f-b693-](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/5c/0b/5c0bb29b-219c-4c3f-b693-)

## Afleverset

De afleverset is gemodelleerd met de NMD categorie 3 productkaarten 'Warmteopwekkinginstallaties W-bouw, Externe warmtelevering, afleverset' en 'Warmtapwaterinstallaties, Externe warmtelevering; toeslag op afleverset'. De levensduur van beide productkaarten is 15 jaar.

Als voor het warmtapwater ook gebruik wordt gemaakt van externe warmte, dan bevat de afleverset een aantal extra onderdelen, zoals een warmtewisselaar en regelapparatuur. In dat geval moeten beide productkaarten gebruikt worden. Als dat niet het geval is, is de eerstgenoemde productkaart voldoende.

## Warmtepompen

De water-water warmtepompen worden gemodelleerd met de NMD categorie 3 productkaart 'Water-water warmtepomp'<sup>29</sup>. In deze productkaarten is onderscheid gemaakt tussen de binnen- en buitenunit (warmtebron) van de warmtepomp. Daarom is het milieuprofiel afzonderlijk op te stellen voor warmtepompen met en zonder bron. De productkaart is schaalbaar naar het vermogen binnen het bereik van 3 – 162 kW. De levensduur van de binnenunit is 15 jaar, dat van de buitenunit/bron 50 jaar.

De lucht-water warmtepomp is gemodelleerd met de NMD categorie 3 productkaart 'Lucht-water warmtepomp'<sup>30</sup>. De productkaart is schaalbaar naar het vermogen binnen het bereik van 3 – 162 kW. De levensduur van de productkaart is 15 jaar.

### 3.2.4.3 Vergelijking met de beschikbare standaard in de markt

#### Funcieomschrijving SELWO-systeem

Met behulp van het SELWO-systeem kan het tapwater van de aanvoertemperatuur van 40-45 graden veilig opgewarmd worden tot 55 graden. Het is daarom niet noodzakelijk om gebruik te maken van een warmtepomp met boiler (of andere combinatie oplossingen), welke veelvuldig op een aanvoertemperatuur van 60-65 graden werken en/of minder efficiënt zijn. Daarnaast zorgt een lagere aanvoertemperatuur voor lagere distributieverliezen. De hogere efficiëntie en lagere verliezen van systeem zorgen voor een besparing van elektriciteit.

---

[0112d3d85772/01062023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_boiler\\_nl\\_sfb\\_561.pdf](#), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpload in de NMD-viewer.

<sup>29</sup> Betreft de productkaart *Water-water warmtepomp, stuks (3-162 kWt)* uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Element 56.24 – Warmteopwekking; bijzonder- warmtepompen' (versie 1.0, 12-04-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_warmtepompen\\_nl\\_sfb\\_5624.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023_nmd_categorie_3_rapportage_warmtepompen_nl_sfb_5624.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpdatet in de NMD-viewer.

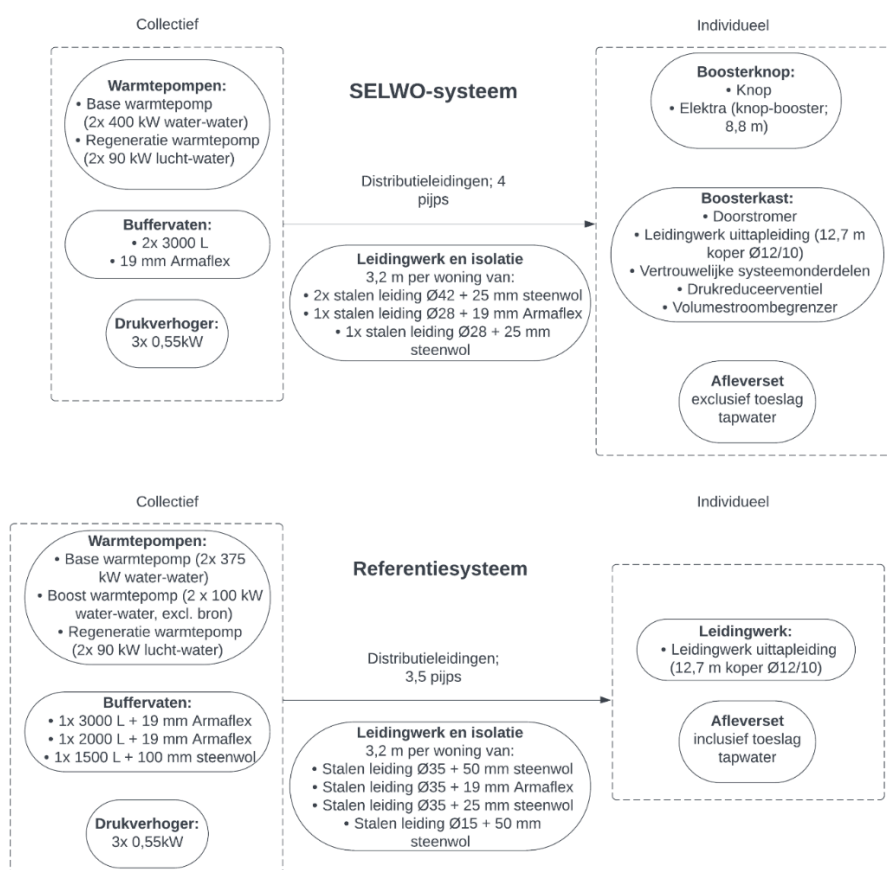
<sup>30</sup> Betreft de productkaart *Lucht-water warmtepomp, split unit, R-134a, stuks (3-162 kWt)* uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Element 56.24 – Warmteopwekking; bijzonder- warmtepompen' (versie 1.0, 12-04-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_warmtepompen\\_nl\\_sfb\\_5624.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023_nmd_categorie_3_rapportage_warmtepompen_nl_sfb_5624.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpdatet in de NMD-viewer.

## Scenario opbouw voor vergelijking SELWO-systeem en beschikbare standaard in de markt (referentie)

Het referentiesysteem heeft door de hogere aanvoertemperatuur een andere opbouw van het collectieve WKO-systeem dan het SELWO-systeem. Verder is de opbouw van de collectieve WKO-systeem sterk afhankelijk van de situatie, en zullen er grote verschillen zijn door variaties in de benodigde grootte van de gehele installatie, de bouwkundige schil, het eisenpallet, extra aansluitingen van andere gebouwen etc. De impact van het individuele SELWO-systeem zal per woning gelijk blijven, maar de relatieve impact ten opzichte van de collectieve installatie kan mogelijk sterk uiteen lopen.

Schouten Techniek heeft een schatting gemaakt van de benodigde systeemonderdelen van een complex met 250 woningen voor een scenario met het SELWO-systeem en een scenario zonder het SELWO-systeem (referentiesysteem). In Figuur 3.12 is de opbouw van de scenario's weergegeven.

Schouten Techniek heeft tevens een inschatting gemaakt van het energieverbruik van beide scenario's. De berekening is niet weergegeven i.v.m. vertrouwelijke informatie. De berekening is door de LCA-uitvoerder gecontroleerd en aannemelijk geacht. Het totale energieverbruik van het SELWO scenario is 139 MWh per jaar en het verbruik in het referentiescenario is 210 MWh per jaar.



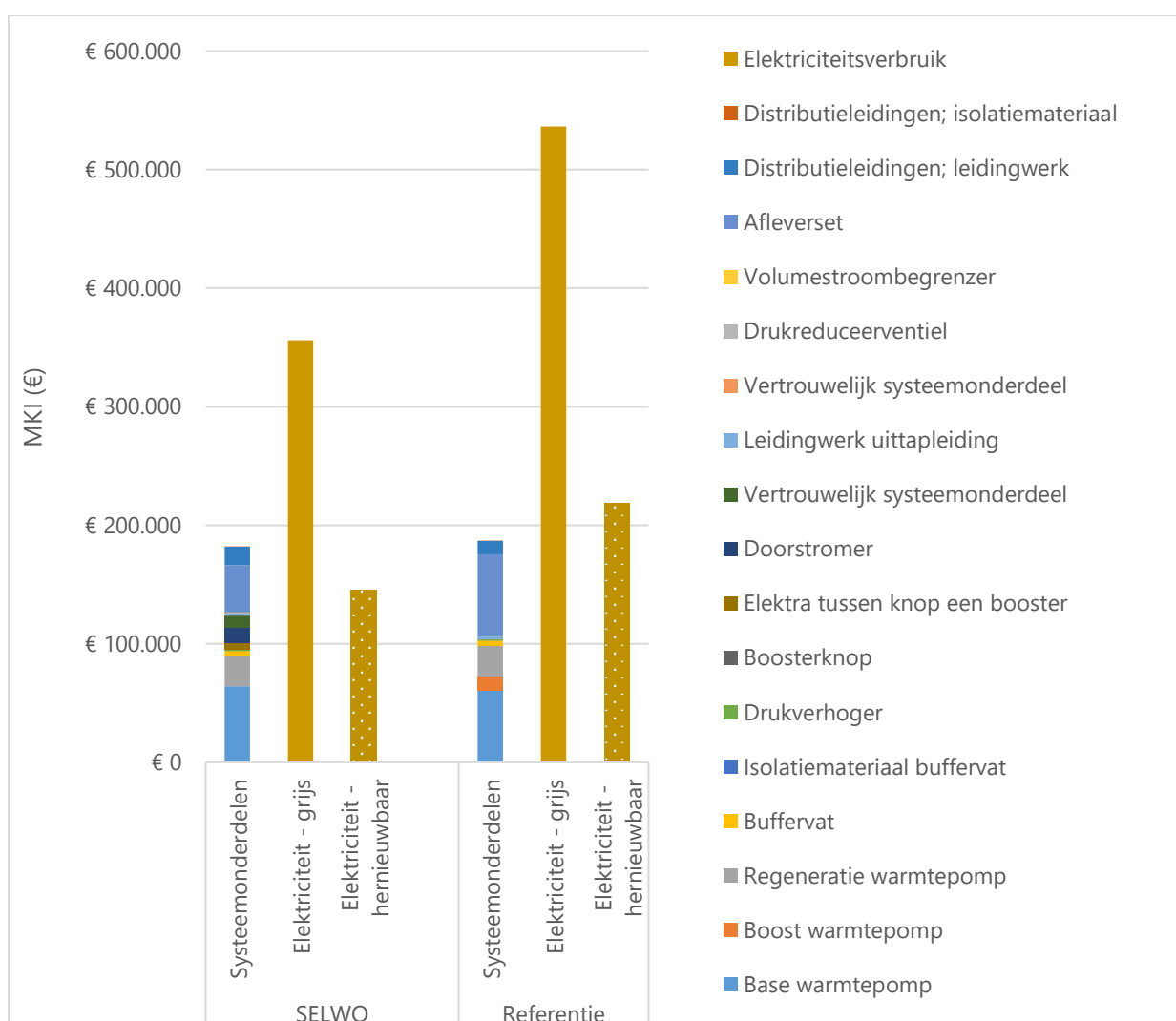
**Figuur 3.12**

Scenario opbouw van SELWO- en referentiesysteem. Beide scenario's voorzien 250 woningen van ruimteverwarming en tapwater.



## Vergelijking SELWO-scenario en scenario beschikbare standaard in de markt (referentiescenario)

In Figuur 3.13 is de milieulast van het SELWO-scenario vergeleken met het referentiescenario. Beide scenario's voorzien 250 woningen van ruimteverwarming en tapwatervoorziening gedurende 75 jaar. Voor de impact van het elektriciteitsverbruik is onderscheid gemaakt tussen grijze en hernieuwbare stroom. In dit figuur is te zien dat de milieulast van de systeemonderdelen vergelijkbaar is, met een MKI van €182.056 van het SELWO-systeem en €187.130 van het referentiesysteem. De impact afkomstig van het elektriciteitsverbruik verschilt echter aanzienlijk tussen de twee scenario's. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van grijze stroom, komt de totale MKI van het referentiescenario uit op €723.585. De MKI van het SELWO-scenario komt daarmee uit op €538.230, een afname van 26%. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van hernieuwbare stroom, is de MKI respectievelijk €405.459 en €327.013 (afname van 19%).

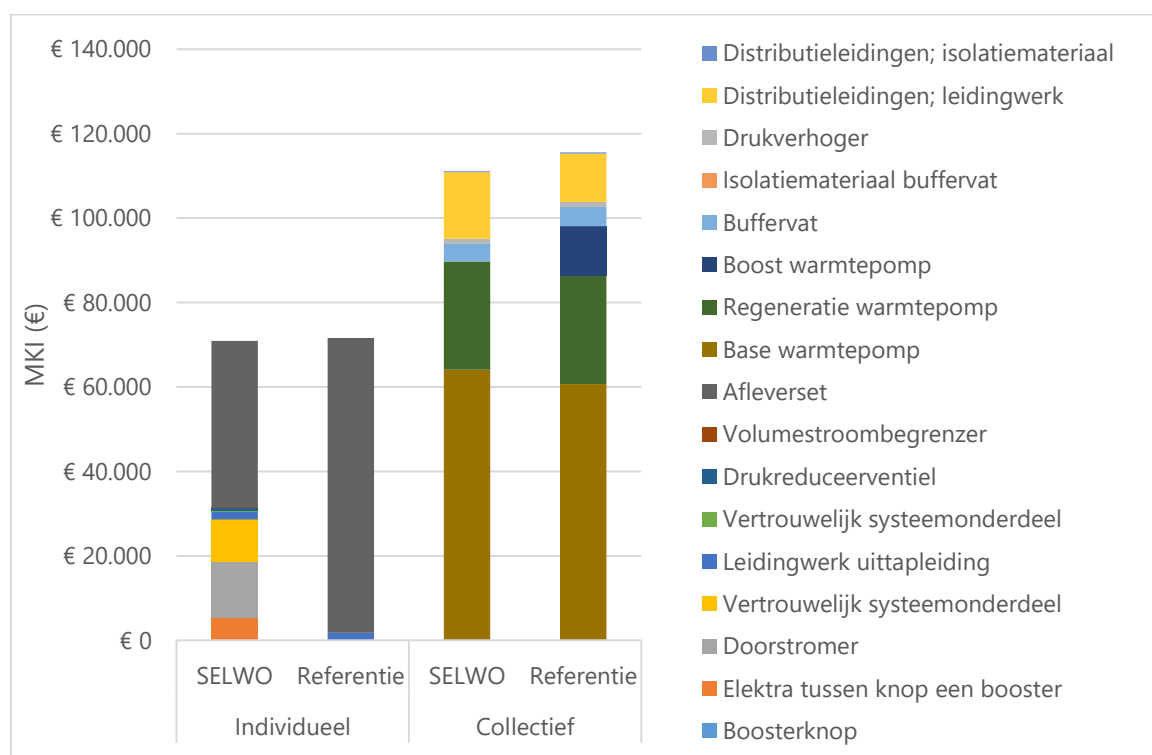


**Figuur 3.13**

Vergelijking SELWO-scenario en referentiescenario. Beide scenario's voorzien 250 woningen van ruimteverwarming en tapwatervoorziening gedurende 75 jaar. Voor de impact van het elektriciteitsverbruik is onderscheid gemaakt tussen grijze en hernieuwbare stroom

In Figuur 3.14 zijn de systeemonderdelen (zonder elektriciteitsverbruik) van het SELWO- en het referentiescenario vergeleken. In dit figuur is te zien dat de totale milieulast van het collectieve deel van de scenario's vergelijkbaar is. In het referentiescenario is de milieulast afkomstig van de warmtepompen wat hoger door het hogere vermogen van de base warmtepomp en de toevoeging van de boost warmtepomp. De milieulast van het distributienet van het SELWO-scenario is daarentegen wat hoger, door de grotere diameter van het leidingwerk.

De totale milieulast van het individuele deel van het referentiescenario is 1% hoger dan dat van het SELWO-scenario. In het SELWO-scenario is de hoogste impact afkomstig van de afleverset, gevolgd door de doorstroomer en een van de vertrouwelijke systeemonderdelen. In het referentiescenario is enkel het leidingwerk van de uittapleiding en de afleverset opgenomen in het individuele deel. De milieulast van de afleverset in het referentiescenario is aanzienlijk hoger dan dat van het SELWO-scenario, omdat in het referentiescenario er voor het warmtapwater gebruik gemaakt wordt van externe warmte. De afleverset bevat daarom een aantal extra onderdelen, zoals een warmtewisselaar en regelapparatuur. Er is daarom gerekend met een toeslag op de afleverset voor warmtapwatervoorziening.



**Figuur 3.14**

Vergelijking systeemonderdelen SELWO-scenario en referentiescenario. Het energieverbruik is niet opgenomen in dit figuur. Beide scenario's voorzien 250 woningen van ruimteverwarming en tapwatervoorziening gedurende 75 jaar.

## 3.2.4.4 Conclusie van de onderzoekers

De toepassing van het SELWO-systeem zorgt in het onderzochte scenario voor een significante reductie van de milieulast, ten gevolge van het energieverbruik, ten opzichte van de toepassing van de beschikbare standaard in de markt. De afname is het hoogste wanneer het systeem wordt toegepast in een situatie waar gebruik gemaakt wordt van grijze stroom. In een situatie met volledig hernieuwbare energie is de milieu impact van de materialen dominant bij dit systeem. De hoogste milieulast is afkomstig van de collectieve systeemonderdelen, en/of onderdelen die al aanwezig zijn in de situatie waar het SELWO-systeem toegepast zal worden. De producten worden ingekocht door Schouten Techniek, waardoor zij geringe invloed uit kan oefenen op de milieuprestatie van deze onderdelen. Wel kan actief gezocht worden naar meer duurzame producten en materialen. Eventuele verbeterpunten zullen sterk gebonden zijn aan de toepassingssituatie. Daarbij zal de focus moeten liggen op het voorkomen van onnodig materiaal/hoge vermogens, en keuze voor duurzame systeemonderdelen, zoals warmtepompen met propaan als koudemiddel in plaats van R-134a.

## 3.2.5 DEI721015 - Smart Identified IR Heating – Infrarood verwarmingsfolie

### 3.2.5.1 Projectomschrijving

#### **Aanleiding**<sup>31</sup>

Er zijn in Nederland 1 miljoen utiliteitsgebouwen die voor 2050 van aardgas los moeten zijn om aan de Klimaatdoelstellingen te voldoen. In 2030 dient al 15 % van de gebouwen zo ver te zijn. In de markt is nu duidelijk een trend waarneembaar waarbij beheerders van utiliteitsgebouwen naar wegen zoeken om gebouwen te verwarmen zonder fossiele brandstof. Een extra stimulans vormen de hoge aardgasprijzen, die momenteel 8 maal duurder zijn dan aan het begin van het jaar. Infrarood verwarmen (met elektriciteit) is een van de opties. Deze optie leidt tot 30 – 50 % lager energieverbruik (uitgedrukt in kWh) en kan het aardgasverbruik reduceren. De aanleiding voor het project vormt een nieuw type sensor dat ontwikkeld is. Met deze nieuwe sensor in combinatie met software wordt een veel fijnmaziger regeling mogelijk. Vooral in grote gebouwen (kantoren, bedrijfshallen) biedt de fijnmaziger regeling mogelijkheden een IR verwarmingssysteem additioneel energie efficiënter te maken. Voor een kantoorgebouw waar gemiddeld de medewerkers de helft van de tijd buiten de deur of thuis werken, zouden we naar schatting additioneel tenminste 35 % minder elektriciteit kunnen verbruiken.

#### **Doelstelling**<sup>31</sup>

Het doel is om voor utiliteitsgebouwen een gefaseerde en laagdrempelige oplossing te bieden om fossielvrij te worden. Zo kan het IR-systeem eerst gecombineerd worden met een gasgestookte installatie om flink het aardgasverbruik en kosten hiervan te reduceren. De gasgestookte installatie zorgt dan voor een basisverwarming met een lage temperatuur (16 – 18 °C) en de IR-verwarming voor het individuele comfort, wat mogelijk is met de intelligente fijnmazige regeling. Wanneer de gasgestookte installatie afgeschreven is of wanneer het eerder economisch interessant is, kan het IR verwarmingssysteem de gehele verwarming op zich nemen. Dit IR-systeem heeft vele andere voordelen: lage investeringen (in vergelijking tot een warmtepomp), comfort verhogend, snel aan te leggen, past onder elk type vloerbedekking en is in elk gebouw toe te passen, het neemt geen ruimte in en is geluidloos. Dit type verwarming werk direct en gedurende reguliere kantoortijden kan met eigen PV-panelen bijna alle elektriciteit opgewekt worden en belast dan minder het net, zeker als met beoogde innovatie het elektriciteitsverbruik met IR verwarming verminderd kan worden.

<sup>31</sup> De omschrijving van de aanleiding en doelstelling is overgenomen uit de publieke samenvatting van het project op de website van Topsector Energie, via: <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/smart-identified-ir-heating-36380>, geraadpleegd op 17-11-2023.

## Productinformatie

In deze studie wordt gekeken naar milieu-impact van de ontwikkelde IR-verwarmingsfolie van Karbonik. De elektrische verwarmingsfolie is een dunne film van circa 0,4 mm dik, welke onder vrijwel iedere vloerbedekking te installeren is (Karbonik, 2023). De verwarmingsfolie bestaat uit een twee-laags PET-substraat. Daartussenin zitten carbonbanen welke verbonden zijn met door zilver beschermde koper geleidingsbanen. De carbonbanen zetten de elektrische energie om in infrarood warmte. De Karbonik verwarmingsfolie wordt meestal aangesloten op de netspanning vanuit een besturingssysteem of thermostaat. De Karbonik is leverbaar met diverse discrete gebruikelijke oppervlakteverwarmingsvermogens. De meest toegepaste oppervlaktevermogens liggen tussen de 50 - 80 W/m<sup>2</sup>. De folie heeft een levensduur van tenminste 30 jaar<sup>32</sup>.

### 3.2.5.2 LCA Karbonik IR-verwarmingsfolie

#### Toelichting levensfasen

In de onderstaande secties is beschreven welke aannames gemaakt zijn voor de modellering van de IR-verwarmingsfolie van Karbonik.

#### Productiefase (A1-A3)

Karbonik koopt PET-folie in met geïntegreerde ethyleen-vinylacetaat (EVA) hechtlaag. Op de PET-folie wordt een zilverpasta geprint met een dikte van 10 µm. Vervolgens wordt er een carbonpasta geprint met de dikte van circa 1 µm. Daarna worden twee 70 µm dikke en 22 mm brede koperleidingen geplaatst voor laminatie. Samen met een tweede PET-laag met EVA worden de lagen samengeperst en in de oven bij 120 graden gecured. Dit geschiedt met 6 m/min op rollen van 1000 m. De elektrische IR-oven heeft een vermogen van 45 kW. De folie wordt opgerold om een koker en verpakt in een kartonnen doos, zie Figuur 3.15. In Tabel 3.3 zijn de materiaal/energiestromen gekwantificeerd en is de proceskeuze weergegeven.



**Figuur 3.15**

Verpakkingsmateriaal verwarmingsfolie

<sup>32</sup> Levensduur is opgegeven door Karbonik. Karbonik argumenteert "Onze folie, vanuit een technologisch oogpunt gezien, is al sinds de begin jaren 1980 op de markt. Er zijn vele installaties, vooral in Scandinavië en Canada, waar tot op de dag van vandaag nog werkende installaties zijn. De lange levensduur komt door het feit dat de folie in de applicatie vloerverwarming niet is blootgesteld aan UV licht, chemische stoffen en door de ont koppeling met de dekvloeren er geen mechanische beschadigingen kunnen plaatsvinden. De levensduur bedraagt dus 30 tot 40+ jaar. De folie is te vergelijken in de applicatie met elektrische leidingen (VD draden) in elektrische installaties."

**Tabel 3.3**

Modellering productiefase

Materiaal	Hoeveelheid	NMD/Ecoinvent proces	Toelichting
PET met geïntegreerde EVA	325 g	XXXX Polyetheentereftalaat, PET, folie (o.b.v. Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {GLO})  market for   Cut-off, U + Extrusion, plastic film {GLO}  market for   Cut-off, U)	0,4 kg PET-EVA per m <sup>2</sup> folie, waarvan 75 g EVA
	75 g	Ethylene vinyl acetate copolymer {RER}  market for ethylene vinyl acetate copolymer   Cut-off, U Extrusion, plastic film {GLO}  market for   Cut-off, U	
Busbar; koper	3,45 g	0287-fab&Koper, semis, voor plaat en buis (o.b.v. 33% 0059-fab&koper, kathode, 67% Copper {RER})  treatment of scrap by electrolytic refining; 27,5% primair, 72,5% secundair) Sheet rolling, copper {GLO}  market for   Cut-off, U	
Zilverpasta	0,9 g	XXXX Zilver (o.b.v. Silver {GLO})  market for   Cut-off, U)	1 gram zilverpasta per m <sup>2</sup> folie. 90% (shilpent.com, z.d.) zilver in zilverpasta, 10% bindmiddel (ESQUELL.NL, z.d.) (=verwaarloosbaar)
Carbonpasta	0,08 g	Paraffin {GLO}  market for   Cut-off, U	0,1 gram carbonpasta per m <sup>2</sup> folie -> 80% paraffin en 20% grafiet (Bagheri et al., 2013)
	0,02 g	Graphite {GLO}  market for   Cut-off, U	
Elektriciteitsverbruik	0,157 kWh	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	Opgegeven door Karbonik
Verpakkingsmateriaal	23,5 g	0058-fab&Papier/karton (o.b.v. Core board {GLO})  market for   Cut-off, U; 24% primair, 76% secundair)	
	5,38 g	0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO})  market for   Cut-off, U & Extrusion, plastic pipes {GLO}  market for   Cut-off, U)	

### Transportfase (A4, C2)

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingsmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

### Constructiefase (A5)

Bij de installatie van de verwarmingsfolie wordt gebruik gemaakt van (elektrisch) handgereedschap. De impact van het gebruik van handgereedschap is verwaarloosbaar en is daarom niet opgenomen in deze studie. Er vindt een verlies plaats van de forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten. Tevens wordt het vrijgekomen verpakkingsmateriaal conform de Bepalingsmethode in deze fase als afval verwerkt.

## Gebruiksfase (B1-B5)

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.

## Sloopfase (C1)

Bij het verwijderen van de verwarmingsfolie wordt gebruik gemaakt van (elektrisch) handgereedschap. De impact van het gebruik van handgereedschap is verwaarloosbaar en is daarom niet opgenomen in deze studie.

## Einde levensduur, afvalscenario en baten en lasten buiten de systeemgrenzen (C3, C4 en D)

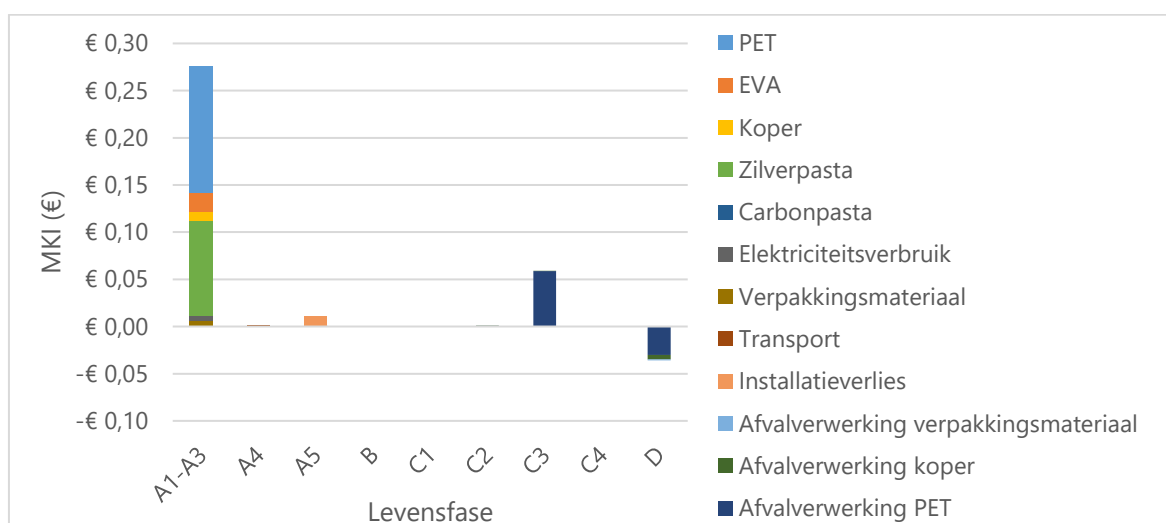
Aan het einde van de levensduur, worden de producten gedemonteerd en verzameld. De producten worden vervolgens getransporteerd naar een sorteerlocatie/recyclinglocatie. Bij het recyclingproces worden door een snijmachine de delen waar koper zit gescheiden van het PET. De locatie waar de koperen busbar zit is de enige locatie waar er geen EVA (hechting) zit. Dit maakt het scheiden eenvoudig. De overgebleven PET/EVA/Zilver/koolstof resten worden momenteel in het standaard recycling proces als gecontamineerd PET beschouwd. Dit betekent dat het PET niet meer gebruikt wordt voor voedselverpakkingen maar wel voor Isolatiematerialen, flessen voor non-foodproducten, etc.).

De materialen die worden gerecycled, worden gemodelleerd totdat het einde van de afvalfase is bereikt. De materialen die worden verbrand, worden verwerkt in afvalverbrandingsinstallaties met energierecuperatie. Voor het modelleren van deze fasen wordt gebruikgemaakt van de forfaitaire waarden voor verwerking-scenario's einde leven van de Bepalingsmethode (versie mei 2022). Voor koper gaat het om *Nr 41 koper; onder andere platen, leidingen* met 5% stort en 95% recycling. Voor de gecontamineerde PET gaat het om *Nr 45 kunststoffen, overig; onder andere profielen, platen en leidingen* met 90% AVI en 10% recycling.

### 3.2.5.3 Resultaten

In Figuur 3.19 is de MKI per levensfase weergegeven van 1 m<sup>2</sup> verwarmingsfolie van Karbonik. De totale MKI gedurende de volledige levenscyclus bedraagt €0,31 per m<sup>2</sup> verwarmingsfolie. De grootste bijdrage aan de MKI wordt geleverd door de productiefase (A1-A3; 89%), gevolgd door de afvalbewerkingsfase (C3; 19%) en de milieubaten en -lasten buiten de systeemgrenzen (D; -12%). De overige fasen hebben een bijdrage van maximaal 4% aan de MKI.

In de productiefase komt de hoogste milieulast van de productie van PET (49%) en de zilverpasta (37%). Daarnaast dragen koper en EVA bij aan respectievelijk 3% en 7% van de MKI in deze fase. Vrijwel de volledige milieulast in de afvalbewerkingsfase is afkomstig van het verbranden van PET. De baten afkomstig uit module D zijn afkomstig van de vermeden energieproductie door het verbranden van PET (en een klein deel recycling van PET) en van het recyclen van koper.



**Figuur 3.16**

Zwaartepuntanalyse, volledige levenscyclus van 1 m<sup>2</sup> verwarmingsfolie van Karbonik

### 3.2.5.4 Vergelijking met de beschikbare standaard in de markt

Het doel van het project *Smart Identified IR Heating* is om voor utiliteitsgebouwen een gefaseerde en laagdrempelige oplossing te bieden om fossielvrij te worden. Daarom is er allereerst gekeken naar de milieu-impact van het toepassen van de additionele IR-verwarmingsfolie in een gebouw waar al een gasgestookte installatie aanwezig is. Daarna is er gekeken naar hoe de milieu-impact van het toepassen van de IR-verwarmingsfolie zich verhoudt tot dat van 'reguliere' vloerverwarming (PE-RT leidingwerk).

#### *Utiliteitsgebouwen aardgasvrij maken met behulp van Karbonik IR-verwarmingsfolie*

Om de milieu-impact te bepalen van het aardgasvrij maken van utiliteitsgebouwen met behulp van de Karbonik IR-verwarmingsfolie, gaan we uit van een beginsituatie waar al een gasgestookt cv-systeem in werking is. In de eindsituatie wordt de ruimteverwarming geleverd door de IR-verwarmingsfolie. Allereerst kijken we naar het verschil in milieulast van enkel het energieverbruik van beide situaties.

De milieulast van het elektriciteitsverbruik van de IR-verwarmingsfolie is afhankelijk van hoe de elektriciteit is opgewekt. In Tabel 3.4 is een overzicht weergegeven van de milieulast afkomstig van de warmteafgifte van 1 kWh<sub>th</sub> per type warmteopwekking. Daarbij is uitgegaan van een COP van 1 van de verwarmingsfolie. Tevens is de milieulast voor dezelfde warmteafgifte middels het verbranden van aardgas opgegeven. Daarbij is uitgegaan van een effectief afgegeven thermisch vermogen van 8,53 kWh per m<sup>3</sup> aardgas (Boiler-info.nl, z.d.). Op basis van de informatie uit de tabel, is geconcludeerd dat overgaan op ruimteverwarming middels IR-verwarmingsfolie i.p.v. aardgas enkel kan leiden tot een reductie van de MKI van het energieverbruik als er gebruik gemaakt wordt van hernieuwbare stroom uit het net of hernieuwbare stroom opgewekt door eigen PV.



**Tabel 3.4**

Milieulast van warmteafgifte van 1 kWh<sub>th</sub> per type warmteopwekking

Type opwekking	NMD-proces	Warmteafgifte		Verbruik		MKI
Verbranden aardgas	0111-pro&Aardgas, verbrand, bij consument, per m <sup>3</sup> (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	0,117	m <sup>3</sup>	€ 0,022
Elektrisch (IR-verwarmingsfolie)	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	1	kWh <sub>el</sub>	€ 0,034
	0496-pro&Elektriciteit, Hernieuwbaar, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	1	kWh <sub>el</sub>	€ 0,014
	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (73% grijs, 27% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	1	kWh <sub>el</sub>	€ 0,029
	0573-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, uit PV, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	1	kWh <sub>el</sub>	€ 0,017

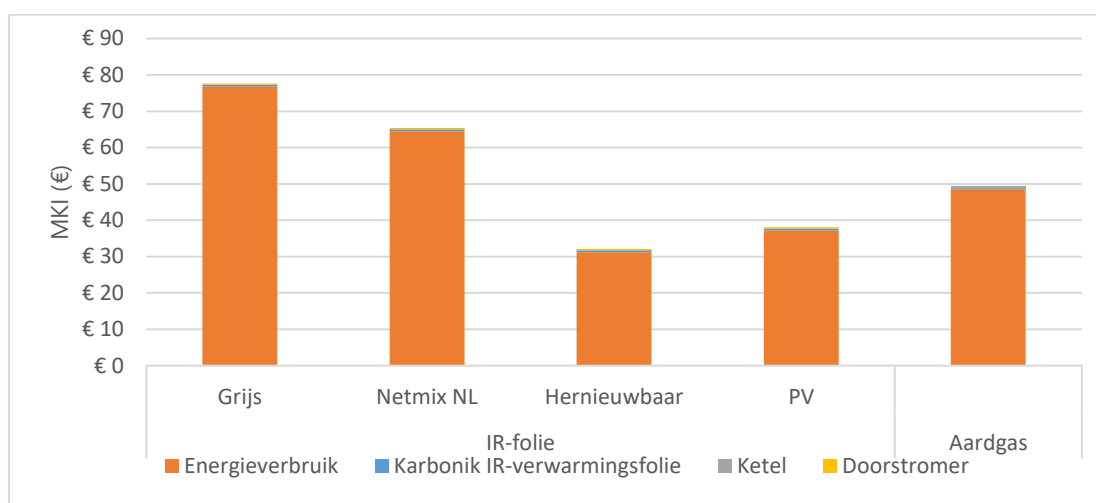
In Figuur 3.17 is de milieulast voor ruimteverwarming per vierkante meter gedurende 50 jaar middels IR-verwarmingsfolie en middels aardgas weergegeven. Daarbij is gebruik gemaakt van de volgende uitgangspunten:

- Een thermische vraag voor ruimteverwarming van 45 kWh/m<sup>2</sup>/jaar<sup>33</sup>.
- Een MKI van €0,31 per vierkante meter IR-verwarmingsfolie (zie Sectie 3.2.5.2).
- Een levensduur van de IR-verwarmingsfolie van 30 jaar.
- Er is een gasketel aanwezig in de aardgassituatie. Na de levensduur van 20 jaar moet deze vervangen worden. Er wordt daarom gerekend met  $50/20 - 1 = 1,5^e$  vervanging. De ketel is gemodelleerd met de categorie 3 NMD-productkaart<sup>34</sup>. Er is uitgegaan van een inhoud van 250 liter voor een woon/gebruiksoppervlak van 100 m<sup>2</sup> (cvtotaal, 2023).
- Omdat de gasketel tevens het gebouw kan voorzien van tapwatervoorziening, moet deze functie voor een eerlijke vergelijking ook toegevoegd worden in de Karbonik situatie. In dat geval is uitgegaan van een doorstroomer met een vermogen van 11 kW, tevens voor een woon/gebruiksoppervlak van 100 m<sup>2</sup> (Boilermarkt, z.d.). De doorstroomer is gemodelleerd op basis van de ELWA Hotrun X11 (zie Sectie 3.2.4.2). De doorstroomer heeft een levensduur van 20 jaar.
- MKI per geleverde kWh<sub>th</sub> per type opwekking uit Tabel 3.4.

In het figuur is te zien dat de milieulasten van de IR-verwarmingsfolie (€0,52), de doorstroomer (€0,35) en de gasketel (€0,87) verwaarloosbaar zijn ten opzichte van dat van het energieverbruik. Daarnaast is te zien dat het gebruik van de verwarmingsfolie kan leiden tot zowel een toename van 58%, als een afname van 35% van de MKI ten opzichte van het gebruik van de aardgasinstallatie.

<sup>33</sup> Karbonik installeert niet in objecten met een thermische vraag voor ruimteverwarming van >50 kWh/m<sup>2</sup>/jaar.

<sup>34</sup> Betreft de productkaart Boiler uit het rapport "Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Cluster 3 – boilers en buffervaten" (versie 1.0, 01-06-2023). Het product heeft een levensduur van 20 jaar. De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/5c/0b/5c0bb29b-219c-4c3f-b693-0112d3d85772/01062023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_boiler\\_nl\\_sfb\\_561.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/5c/0b/5c0bb29b-219c-4c3f-b693-0112d3d85772/01062023_nmd_categorie_3_rapportage_boiler_nl_sfb_561.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpload in de NMD-viewer.



**Figuur 3.17**

Milieulast (MKI) ruimteverwarming per vierkante meter gedurende 50 jaar middels IR-folie en aardgas. De milieulast van de IR-folie, gasketel en doorstomer is ook meegenomen. Bij het energieverbruik van de IR-folie is onderscheid gemaakt tussen grijze stroom, hernieuwbare stroom, de Nederlandse netmix (73% grijs, 27% hernieuwbaar) en stroom opgewekt met eigen PV.

*Vergelijking utiliteitsgebouw aardgasvrij maken met behulp van IR-folie of reguliere vloerverwarming*  
 In plaats van het aardgasvrij maken van een utiliteitsgebouw middels de IR-verwarmingsfolie van Karbonik, kan er ook gekozen worden om dit doel te behalen middels reguliere vloerverwarming. In deze sectie is onderzocht hoe de milieulast van beide opties zich verhoudt in verschillende situaties.

Voor deze vergelijking is er gebruik gemaakt van de volgende uitgangspunten voor beide vloerverwarmingssystemen:

- Een thermische vraag voor ruimteverwarming van 45 kWh/m<sup>2</sup>/jaar<sup>33</sup>;
- MKI per geleverde kWh<sub>th</sub> per type opwekking uit Tabel 3.4.
- Een levensduur van een utiliteitsgebouw van 50 jaar;
- Beide type vloerverwarming hebben een gelijk type vloerbedekking/isolatie (waarvan de impact niet meegenomen is).

Voor de IR-verwarmingsfolie is er uitgegaan van:

- Een MKI van €0,31 per vierkante meter IR-verwarmingsfolie (zie Sectie 3.2.5.2);
- Een levensduur van de IR-verwarmingsfolie van 30 jaar;
- Milieulast van de doorstomer van €0,35/m<sup>2</sup> (zie vorige sectie).
- Een COP van 1;
- Voor het energieverbruik is er gerekend met een 'best case' en een 'worst case'. In het 'best case' scenario wordt de volledige additionele besparing van het elektriciteitsverbruik meegerekend zoals opgegeven door Karbonik. Karbonik vermeld op de website dat bij het gebruik van Karbonik vloerverwarming een kamertemperatuur van 18 °C net zo behaaglijk is als een kamer die met convectoren verwarmd wordt op 20 °C (Karbonik, 2023). Deze reductie van

de kamertemperatuur zou leiden tot een extra energiebesparing van 12% (Karbonik, 2023), een besparing in lijn met de 7% per graad als uitgangspunt van Nibud (Nibud, 2023). Daarnaast omschrijft Karbonik in de projectomschrijving dat er door het gebruik van de IR-verwarmingsfolie in combinatie met de nieuwe sensor en software een veel fijnmazigere regeling mogelijk is. Voor een kantoorgebouw waar gemiddeld de medewerkers de helft van de tijd buiten de deur of thuis werken, zou dit naar schatting additioneel tenminste 35% minder elektriciteit verbruikt kunnen worden (Karbonik, 2023). De elektriciteitsbesparing van het 'best case' scenario ten opzichte van het 'worst case' scenario is  $1 - 0,88 \cdot 0,65 = 43\%$  wanneer beide besparingen behaald worden.

Voor de traditionele vloerverwarming is er uitgegaan van:

- De milieu-impact van het vloerverwarmingssysteem per m<sup>2</sup> is overgenomen uit de NMD categorie 3 rapportage omtrent vloerverwarmingssystemen (PE-RT leidingen)<sup>35</sup>. De MKI per vierkante meter vloerverwarmingssysteem is afhankelijk van de warmteafgifte. De MKI van deze productkaart is opgegeven binnen een bereik van 46-127 W/m<sup>2</sup>. De verwarmingsfolie van Karbonik heeft een vermogensbereik van 50-80 W/m<sup>2</sup>, waarvan de MKI niet afhankelijk is. Er is daarom gekeken naar de 'worst case' en 'best case' van de impact in het vergelijkbare vermogensbereik (50-80 W/m<sup>2</sup>). De MKI van de traditionele vloerverwarming komt daarmee uit op €2,32 of €2,45 per vierkante meter.
- Voor het gebruik van de traditionele vloerverwarming is een circulatiepomp vereist. Het energieverbruik van de circulatiepomp per vierkante meter vloerverwarming varieert sterk per situatie. Het verbruik is afhankelijk van het (toegepaste) vermogen van de pomp en het aantal draaiuren. Omdat het vloerverwarmingssysteem nieuw aangelegd zal worden, is er uitgegaan van het gebruik van een energiezuinige pomp met een A-label. Op basis van 3 gevonden configuraties van vloerverwarmingssystemen (GoedkopeVerwarmingen.nl, z.d.)(BSXL, z.d.)(Wasco, z.d.), is het verbruik van de circulatiepomp tussen de 192 – 394 kWh per jaar bij 8760 draaiuren, omgerekend tussen de 1,5 – 14,6 kWh/jaar/m<sup>2</sup> vloerverwarming. Dit is een ruwe schatting, werkelijk verbruik kan verder afwijken.
- Het verwarmen tot de aanvoertemperatuur kan op verschillende manieren. Er is gekeken naar het leveren van 1 kWh warmte middels een LT-warmtenet, middels een elektrische ketel en middels een warmtepomp. Voor de elektrische ketel is uitgegaan van een COP van 1, voor de warmtepomp een COP van 3,2. Daarnaast treedt er distributieverlies op in het vloerverwarmingssysteem. Er is uitgegaan van een verlies van 7,5% (Albers, 2018). De milieulast van de warmteafgifte van 1 kWh<sub>th</sub> van de verschillende warmteopwekkingstechnieken is weergegeven in Tabel 3.5.

<sup>35</sup> Betreft de productkaart Vloerverwarming industrieel: leidingen PE-RT + toebehoren uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Element 56.05 – warmtedistributie; verwarmingslichamen (versie 2.0, 6-04-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/fb/7d/fb7d5b87-10a6-47a1-b99f-a1116e231210/06042023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_vloerverwarming\\_nl\\_sfb\\_5605.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/fb/7d/fb7d5b87-10a6-47a1-b99f-a1116e231210/06042023_nmd_categorie_3_rapportage_vloerverwarming_nl_sfb_5605.pdf), geraadpleegd op 17-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (17-11-2023) nog niet geüpdatet in de NMD-viewer.

- De milieulast van de elektrische ketel betreft €1,44 per m<sup>2</sup> gebruiksoppervlak, op basis van de categorie 3 NMD productkaart van een boiler met een levensduur van 20 jaar (2,5 stuks in 50 jaar). Overeenkomstig met de vorige sectie is uitgegaan van een volume van 250 liter bij een gebruiksoppervlak van 100 m<sup>2</sup>.
- De milieulast van de warmtepomp betreft €9,04 per m<sup>2</sup>, op basis van categorie 3 NMD-productkaart<sup>36</sup> van bodem-water warmtepompen. De productkaart heeft een levensduur van 50 jaar. In 2018 had gemiddeld 52% van de utiliteitsgebouwen een energielabel D of lager (Werkgroep verduurzaming utiliteitsbouw, 2018). Er is daarom gerekend met een benodigd vermogen van 75 W/m<sup>2</sup> bij energielabel E (Warmtepompinfo, 2019). Bij een gebruiksoppervlak van 100 m<sup>2</sup> is daarmee een vermogen van de warmtepomp benodigd van 7,5 kW. De MKI van de bodem-water warmtepomp betreft €904 per stuk of €9,04 per m<sup>2</sup>.

**Tabel 3.5**

Milieulast van warmteafgifte van 1 kWh<sub>th</sub> per type warmteopwekking – warmtenet, warmtepomp en elektrische ketel, alle inclusief 7,5% distributieverlies in regulier vloerverwarmingssysteem

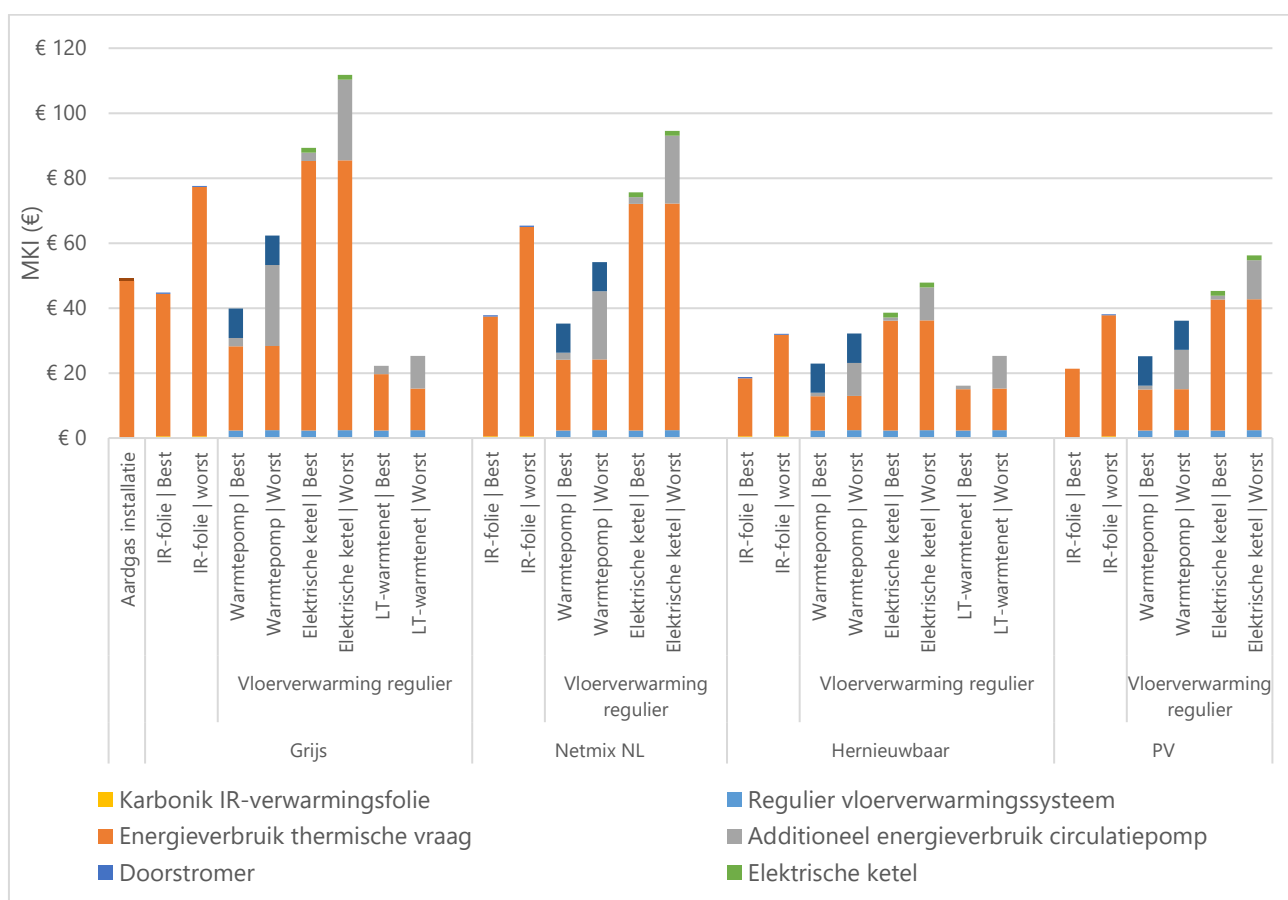
Type opwekking	NMD-proces	Warmteafgifte	Verbruik/afname	MKI
LT-warmtenet	0504-pro&Warmtelevering via warmtenet, Lage Temperatuur, Grijs, bij consument, per MJ	1 kWh <sub>th</sub>	1,08 kWh <sub>th</sub>	€ 0,008
	0507-pro&Warmtelevering via warmtenet, Lage Temperatuur, Hernieuwbaar, bij consument, per MJ	1 kWh <sub>th</sub>	1,08 kWh <sub>th</sub>	€ 0,006
Elektrisch (warmtepomp; COP 3,2)	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1 kWh <sub>th</sub>	0,34 kWh <sub>el</sub>	€ 0,012
	0496-pro&Elektriciteit, Hernieuwbaar, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1 kWh <sub>th</sub>	0,34 kWh <sub>el</sub>	€ 0,005
	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (73% grijs, 27% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1 kWh <sub>th</sub>	0,34 kWh <sub>el</sub>	€ 0,010
	0573-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, uit PV, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1 kWh <sub>th</sub>	0,34 kWh <sub>el</sub>	€ 0,006
Elektrisch (ketel; COP 1)	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1 kWh <sub>th</sub>	1,08 kWh <sub>el</sub>	€ 0,037
	0496-pro&Elektriciteit, Hernieuwbaar, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1 kWh <sub>th</sub>	1,08 kWh <sub>el</sub>	€ 0,015
	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (73% grijs, 27% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1 kWh <sub>th</sub>	1,08 kWh <sub>el</sub>	€ 0,031
	0573-pro&Elektriciteit, hernieuwbaar, uit PV, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1 kWh <sub>th</sub>	1,08 kWh <sub>el</sub>	€ 0,018

<sup>36</sup> Betreft de productkaart *Bodem-water warmtepomp, stuks (3-162 kWt)* uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Element 56.24 – Warmteopwekking; bijzonder- warmtepompen' (versie 1.0, 12-04-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_warmtepompen\\_ni\\_sfb\\_5624.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/39/28/39288d44-0e0b-406d-ab10-7ffe3b71a18a/12042023_nmd_categorie_3_rapportage_warmtepompen_ni_sfb_5624.pdf), geraadpleegd op 14-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (14-11-2023) nog niet geüpdatet in de NMD-viewer.

In Figuur 3.18 is de MKI van ruimteverwarming middels IR-verwarmingsfolie en reguliere vloerverwarming (beide voor 1 m<sup>2</sup> vloerverwarming) gedurende 50 jaar weergegeven. Er is onderscheid gemaakt tussen de milieulast afkomstig van 1 m<sup>2</sup> IR-verwarmingsfolie/reguliere vloerverwarming/ketel/doorstomer/warmtepomp en de milieulast afkomstig van het energieverbruik voor het voorzien in thermische vraag en besturing van de circulatiepomp. Bij de reguliere vloerverwarming is er bij 'Best' case uitgegaan van het laagste verbruik van de circulatiepomp en de laagste milieulast van de vloerverwarming, bij 'Worst' is uitgegaan van de hoogste milieulast voor beide onderdelen. In het 'best case' scenario van de IR-folie is gerekend met een additionele energiebesparing van 43% op basis van het verlagen van de kamertemperatuur met 2 graden en de toepassing van de nieuwe sensor van Karbonik voor een fijnmazigere regeling. De resultaten zijn gebaseerd op de genoemde uitgangspunten en gehanteerde scenario's, en zijn niet zonder meer te veralgemeniseren.

Uit het figuur is te concluderen dat de milieulast van het vloerverwarmingssysteem over het algemeen lager zal zijn dan dat van de IR-verwarmingsfolie *als* er gebruik gemaakt kan worden van warmte uit een LT-warmtenet. De IR-verwarmingsfolie scoort daarentegen altijd beter dan de reguliere vloerverwarming met elektrische ketel, omdat het elektriciteitsverbruik en de MKI per m<sup>2</sup> vloerverwarmingssysteem hoger is voor het reguliere vloerverwarmingssysteem.

De reguliere vloerverwarming met warmtepomp scoort in de onderzochte scenario's beter dan de IR-verwarmingsfolie bij de toepassing grijze stroom/netmix NL, en ongeveer even goed bij de toepassing van hernieuwbare/eigen PV-opgewekte stroom. De lagere MKI van de warmtepomp komt door de hoge energiebesparing door het verschil in COP van 3,2 t.o.v. 1. De warmtepomp zelf heeft daarentegen weer een hogere milieulast dan de IR-folie/doorstomer. De mogelijke energiebesparing die met de hogere COP van de warmtepomp voor het verwarmen van tapwater plaats kan vinden, is niet meegenomen in deze vergelijking. Naar verwachting zal dit effect voor utiliteitsbouw minder relevant zijn dan bij woningbouw door onder andere het geringe gebruik van warm tapwater en gebruikelijke loskoppeling van de verwarmingsinstallatie en tapwatervoorziening. Tevens verbruikt de doorstomer alleen elektriciteit wanneer er vraag is naar tapwater, in het geval van de warmtepomp/elektrische ketel is er een constant (laag) verbruik voor het op temperatuur houden van het tapwater.



**Figuur 3.18**

Milieulast (MKI) van ruimteverwarming per vierkante meter gedurende 50 jaar middels IR-verwarmingsfolie en reguliere vloerverwarming. De milieulast van de IR-foolie, de vloerverwarming en doorstroomer/ketel/warmtepomp (allen voor 1 m<sup>2</sup>) is ook inbegrepen. Bij het energieverbruik is onderscheid gemaakt tussen grijze stroom, hernieuwbare stroom, de Nederlandse netmix (73% grijs, 27% hernieuwbaar), stroom opgewekt met eigen PV en (grijze/hernieuwbare) warmte uit een LT-warmtenet. In het 'best case' scenario van de IR-foolie is gerekend met een additionele energiebesparing van 43% op basis van het verlagen van de kamertemperatuur met 2 graden en de toepassing van de nieuwe sensor van Karbonik voor een fijnmazigere regeling.

## 3.2.5.5 Conclusie van de onderzoekers

De milieulast van de IR-verwarmingsfolie en reguliere vloerverwarming is sterk afhankelijk van de situatie waar deze toegepast zal worden. Milieutechnisch heeft IR-verwarmingsfolie een voordeel door de lagere lasten voor het materiaal dan reguliere vloerverwarming, en een voordeel door besparing van elektriciteit omdat de folie functioneert zonder circulatiepomp en er geen distributieverliezen in de vloerverwarming optreden. De reguliere vloerverwarming maakt daarentegen efficiënter gebruik van energie als deze opgewekt is middels een warmtepomp of geleverd wordt via een LT-warmtenet. Als de door Karbonik geclaimde additionele energiebesparing van 43% behaald kan worden, zal de milieulast van IR-verwarmingsfolie in de helft van de beschouwde situaties lager zijn dan dat van reguliere vloerverwarming dan wanneer dit niet behaald kan worden. Aanpassingen aan de verwarmingsfolie zelf zullen een geringe bijdrage kunnen leveren aan het verbeteren van de milieuprestatie van het systeem, omdat de milieulast relatief gezien verwaarloosbaar is ten opzichte van het gehele systeem. Verbeteren van de energie efficiëntie van het systeem en gericht inzetten op de markt (situaties met hoogste milieuwinst) kunnen het meeste bijdragen.

## 3.2.6 DEI721024 - Pilot Sanura X-Tray – Douchewtw

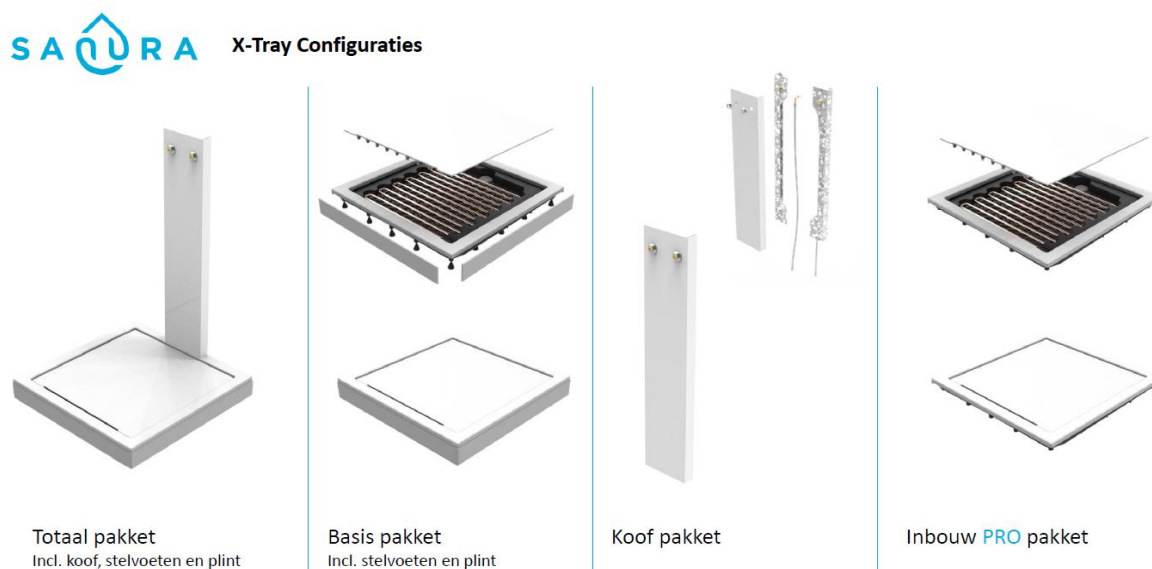
### 3.2.6.1 Projectomschrijving

#### Doelstelling project - Pilot Sanura X-Tray<sup>37</sup>

Een belangrijk aandachtspunt in de transitie naar aardgasvrij wonen is de bereiding van warm tapwater. In de praktijk zijn zowel bij warmtepompen als bij lage temperatuur warmtenetten aanvullende installaties nodig voor het bereiden van warm tapwater. Dit zorgt voor extra investeringen en/of een hoog elektrisch energieverbruik. Circa 80% van het warm tapwater in een huishouden wordt gebruikt in de douche. Door gebruik te maken van een douchewarmtewisselaar (douche-wtw) wordt de warm tapwatervraag aanzienlijk teruggedrongen, wat leidt tot energiebesparing en lagere investeringskosten. Bestaande douche-wtw's zijn vanwege hoge inbouwkosten niet kosteneffectief toe te passen in de bestaande bouw. Een onlangs ontwikkelde 'plug & play' douche-wtw (de Flatmate) is geschikt voor de bestaande bouw, maar is vanwege esthetische-/gebruiksredenen geen geschikte oplossing in onder andere ouderenwoningen, zorgcomplexen, hotels en vakantieparken. De X-Tray is een nieuw type douche-wtw en wordt opgebouwd op de bestaande badkamervloer. De X-Tray wordt voor de bovenstaande segmenten in de bestaande bouw de meest kosteneffectieve douche-wtw op de markt.

#### Productinformatie

De X-Tray heeft twee optionele onderdelen: de koof en stelvoeten & plint. De doelgroep van de X-Tray betreft de renovatiemarkt, waar de optionele onderdelen ervoor kunnen zorgen dat de X-Tray geplaatst kan worden tegen de tegenwand van bestaande douchevloer onder breken. In Figuur 3.19 zijn de verschillende opties weergegeven. De levensduur van de X-Tray betreft 20 jaar.



**Figuur 3.19**

X-Tray douchewtw van Sanura

<sup>37</sup> De omschrijving van de doelstelling is overgenomen uit de publieke samenvatting van het project op de website van Topsector Energie, via: <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/pilot-sanura-x-tray-37014>, geraadpleegd op 12-09-2023.



## 3.2.6.2 LCA Sanura X-Tray

### Toelichting levensfasen

In de onderstaande secties is beschreven welke aannames gemaakt zijn voor de modellering van de X-Tray douchewtw en bijbehorende optionele onderdelen.

#### Productiefase (A1-A3)

De verschillende onderdelen van de X-Tray worden ingekocht en geleverd bij de werkplaats van Sanura in Utrecht. In Tabel 3.6 is een overzicht weergegeven van de verschillende onderdelen van de X-tray. In de werkplaats worden de X-Tray's geassembleerd. Als eerste worden de buizen in de onderbak geplaatst en vergrendeld met pakking. Daarna wordt de slangenset aangebracht en getest (druktest). Daarna worden de bovenplaat en omrand geplaatst. Optioneel worden 25 inserts geplaatst in de onderbak ten behoeve van M8 stelvoeten. De geassembleerde X-Tray's worden in karton verpakt (1,944 kg/ stuk) en dichtgeplakt (6 m tape) en op pallets gestapeld.

Per X-tray komt er 0,25 kg aan karton/papier en 0,1 kg aan kunststof vrij als afval tijdens de productiefase. Het afval wordt conform de Bepalingsmethode in A1-A3 verwerkt.

**Tabel 3.6**

Materialisatie en transport inkoop hoofdonderdeel en optionele onderdelen

Hoeveelheid	Eenheid	Onderdeel	Afstand per vrachtwagen (km)
<i>Hoofdonderdeel</i>			
6,8	kg	Buis - 8,8m x 16,5mm - dubbelwandig, Koper, CNC buigen	680
6,1	kg	Onderbak, ABS, spuitgieten (Mucell)	165
4,3	kg	Omrand ABS	115
2,1	kg	Bovenplaat ABS	115
0,3	kg	Pakking; ABS	150
0,1	kg	SBR, Rubber strip	80
0,008	kg	Messing schroef M3	500
0,002	kg	O-Ring; EPDM	50
3,6	kg	Siliconen slang, met RVS omwikkeld; siliconen (aanne: massa 50/50 RVS/siliconen)	750
0,2	kg	Afvoerput, PP	45
<i>Optioneel – Plint &amp; stelvoeten</i>			
1,17	kg	Plint plaat, 13mm geschuimd PVC	100
0,04	kg	Insert M8x13mm (25x) - Messing	150
1,37445	kg	Stelvoet POM M8x80mm (25x) - PA (nylon)	80
0,1	kg	RVS 304 Moer	80
0,73	kg	RVS 304 Draad	80
0,1	kg	RVS 304 Ring	80
<i>Optioneel – Koof opbouw</i>			
2	kg	Koof-frame, Aluminium	100
3,024	kg	Koof, Aluminium, Poedercoat	100
0,03	kg	Knie buitendraad 1/2" + 1/2", messing	80
0,05	kg	Vernikkelde schroefbus 15 mm x 1/2" BSP ; messing	80
0,1	kg	Regentondoover, messing	80
0,01	kg	Vergrendelclip 15mm, ABS	750
0,2	kg	Keerklep, POM kunststof (geen POM in Ecoinvent/NMD, daarom gekozen voor vergelijkbare ABS)	750
6,3	kg	Siliconen slang, met RVS omwikkeld; siliconen (aanne: massa 50/50 RVS/siliconen)	750

## Transportfase (A4, C2)

Forfaitaire transportafstanden volgens de bepalingsmethode zijn toegepast:

- 50 km bulktransport naar werk (A4)
- 150 km overig transport naar werk (A4)
- 50 km transport voor einde-leven naar sorteerlocatie/recycling (C2)
- 100 km transport totaal voor einde-leven naar stort (C2)
- 150 km transport totaal voor einde-leven naar afvalverbrandingsinstallatie (AVI)

## Constructiefase (A5)

Bij de montage van de X-tray wordt gebruik gemaakt van (elektrisch) handgereedschap en kit. De impact van het gebruik van handgereedschap is verwaarloosbaar en is daarom niet opgenomen in deze studie. Er wordt gebruik gemaakt van 2 m siliconen kit per X-tray. Daarnaast vindt er een verlies plaats van de forfaitair gestelde waarde van 3% voor prefab producten.

## Gebruiksfase (B1-B5)

Onder normale omstandigheden zijn geen reparaties, vervangingen en vernieuwingen voorzien tijdens de levensduur van dit product.

## Sloopfase (C1)

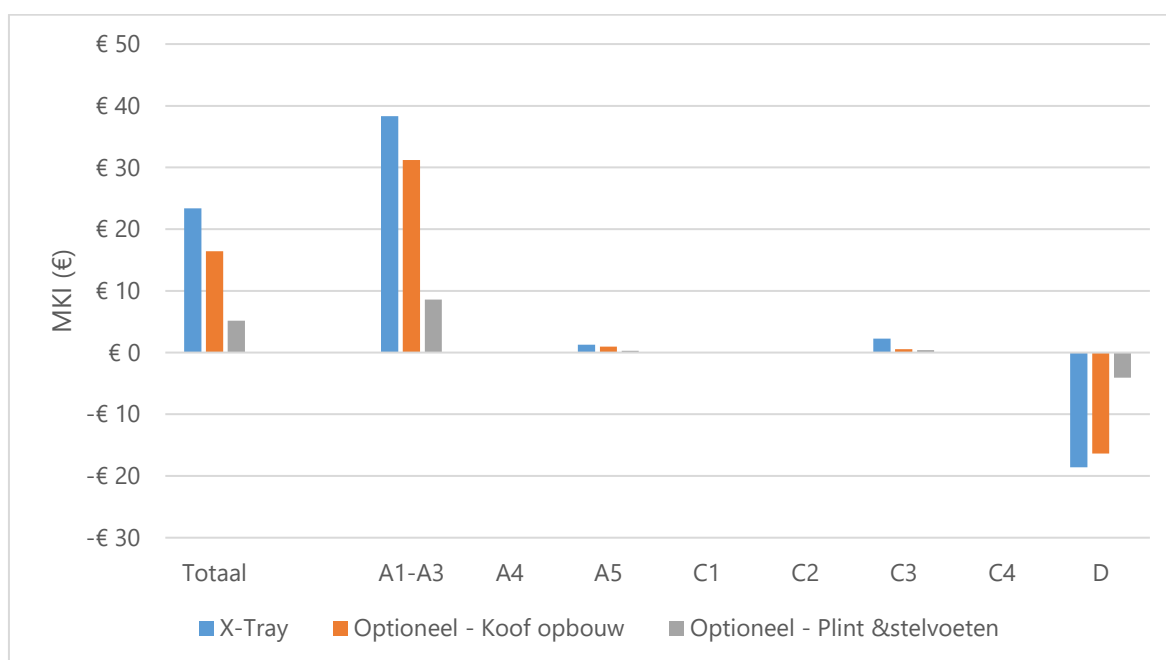
De X-tray wordt gedemonteerd middels (elektrisch) handgereedschap. De impact van het gebruik van handgereedschap is verwaarloosbaar en is daarom niet opgenomen in deze studie.

## Einde levensduur, afvalscenario en baten en lasten buiten de systeemgrenzen (C3, C4 en D)

Aan het einde van de levensduur, worden de producten gedemonteerd en verzameld. De producten worden vervolgens getransporteerd naar een sorteerlocatie, waar ze ontmanteld worden en de individuele materialen gesorteerd worden. De individuele materialen kunnen gerecycled worden, verbrand (AVI) of gestort worden. De materialen die worden gerecycled, worden gemodelleerd totdat het einde van de afvalfase is bereikt. De materialen die worden verbrand, worden verwerkt in afvalverbrandingsinstallaties met energierterugwinning. Voor het modelleren van deze fasen wordt gebruikgemaakt van de forfaitaire waarden voor verwerking-scenario's einde leven van de Bepalingsmethode (versie mei 2022).

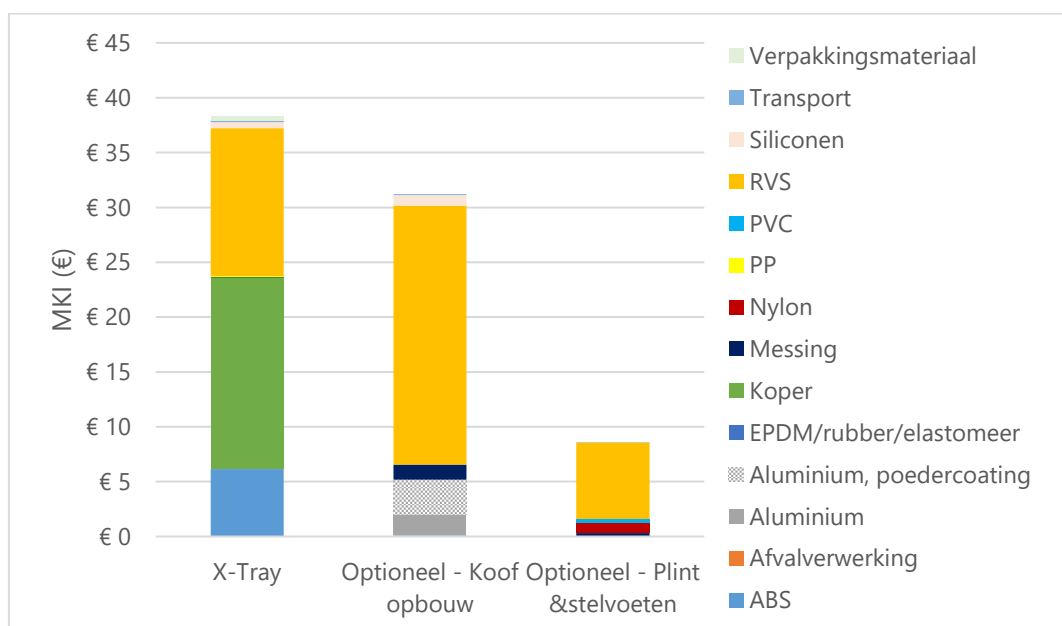
### 3.2.6.3 Resultaten

In Figuur 3.20 is de MKI van de X-tray en optionele onderdelen weergegeven per levensfase. In dit figuur is te zien dat het hoofdonderdeel van de X-Tray de hoogste MKI heeft (€23), gevolgd door de koof (€16) en de plint en stelvoeten (€5). Bij alle onderdelen is de hoogste milieulast afkomstig van de productiefase (A1-A3). De baten uit module D zorgen voor een significante reductie van de MKI van alle onderdelen.



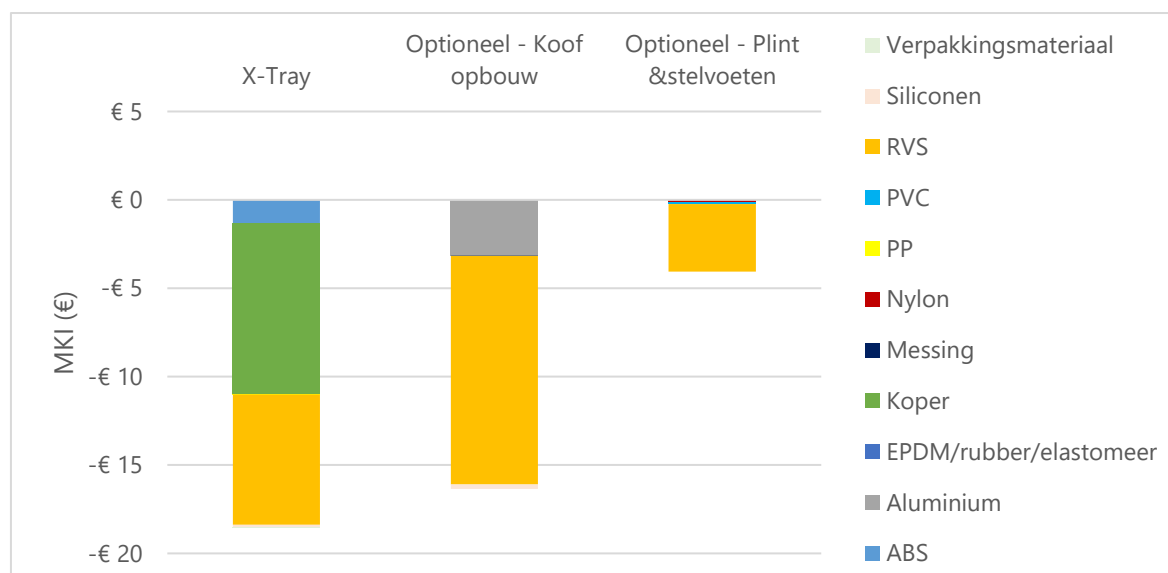
**Figuur 3.20**  
Zwaartepuntanalyse Sanura X-Tray, MKI per levensfase

In Figuur 3.21 is de MKI binnen de productiefase (A1-A3) van de X-tray en optionele onderdelen weergegeven per materiaal. In dit figuur is te zien dat de materialen van RVS bij alle onderdelen zorgen voor de hoogste bijdrage aan de MKI. Daarnaast dragen de materialen van koper, ABS en aluminium significant bij aan de MKI binnen de productiefase.



**Figuur 3.21**  
Zwaartepuntanalyse Sanura X-Tray, MKI per productonderdeel, productiefase (A1-A3)

In Figuur 3.22 is de MKI binnen module D van de X-Tray en optionele onderdelen weergegeven per materiaal. In dit figuur is te zien dat het recyclen en/of verbranden (AVI met energierugwinning) van koper, RVS, aluminium en ABS zorgt voor een significante afname van de MKI.



**Figuur 3.22**

Zwaartepuntanalyse Sanura X-Tray, MKI per productonderdeel, buiten systeemgrenzen (module D)

### 3.2.6.4 Vergelijking met de beschikbare standaard in de markt

Er is geen gangbaar equivalent in de markt beschikbaar om te vergelijken met de Sanura X-Tray douchewtw. De X-Tray is namelijk specifiek ontworpen voor de renovatiemarkt, waardoor een inbouw douchewtw voor nieuwbouw geen eerlijke vergelijking zal geven. Bovendien is de inventarisatie van de NMD categorie 3 productkaart 'Verticale douchewtw'<sup>38</sup> véél minder uitgebreid dan de inventarisatie van de X-Tray. Daarom is dit product niet vergeleken met de beschikbare standaard in de markt. In plaats daarvan is gekeken naar de reductiepotentie van de milieulast door het toepassen van de X-Tray.

#### *Funcieomschrijving Sanura X-Tray - douchewtw*

Tijdens het gebruik van de X-Tray vindt er warmteterugwinning plaats en daarmee een besparing van energie. Het gebruik van de X-Tray leidt niet tot extra watergebruik en er is geen gebruik van een pomp. Bij KIWA zijn 3 rendementen getest conform de NTA8800, het maximale rendement van de X-Tray is 48%. We gaan bij onderstaande berekeningen uit van een rendement van 35%.

<sup>38</sup> Betreft de productkaart *Verticale Douche WTW* uit het rapport 'LCA Rapportage categorie 3 data Nationale Milieudatabase - Hoofdstuk 53:02 Water; verwarmd tapwater – Verticale Douche WTW (versie 1.0, 31-03-2023). De rapportage is te vinden via [https://milieudatabase.nl/media/filer\\_public/16/c0/16c077cc-095d-403b-b5d6-d4ada5ff2372/01062023\\_nmd\\_categorie\\_3\\_rapportage\\_douchewtw\\_nl\\_sfb\\_5302.pdf](https://milieudatabase.nl/media/filer_public/16/c0/16c077cc-095d-403b-b5d6-d4ada5ff2372/01062023_nmd_categorie_3_rapportage_douchewtw_nl_sfb_5302.pdf), geraadpleegd op 21-11-2023. De productkaarten zijn echter op het moment van schrijven (21-11-2023) nog niet geüpload in de NMD-viewer.

Een gemiddelde Nederlander staat thuis 5 keer per week 8 minuten onder de douche. Daarmee wordt per maand zo'n 1.500 liter warm douchewater gebruikt. Om dit water op te warmen (naar 40 graden) is 9 m<sup>3</sup> aardgas nodig. Met de X-Tray wordt ongeveer 35% energie bespaard, oftewel zo'n 37,8 m<sup>3</sup> gas per jaar per persoon<sup>39</sup>.

Wanneer het tapwater met een warmtepomp verwarmd wordt, zal de X-Tray zorgen voor een elektriciteitsbesparing. Met een nuttig afgegeven vermogen van 8,53 kWh per m<sup>3</sup> aardgas (Boiler kosten: berekenen – Boiler-info.nl, z.d.) en een COP voor tapwater van een warmtepomp van 3,5, is de elektriciteitsbesparing  $37,8 \cdot 8,53 / 3,5 = 92$  kWh per persoon per jaar. Het tapwater kan ook elektrisch verwarmd worden middels een elektrische ketel met een COP van 1. De elektriciteitsbesparing is dan 322 kWh per persoon per jaar. De milieulast die bespaard wordt, is afhankelijk van de opwekking. Een overzicht is weergegeven in Tabel 3.7.

**Tabel 3.7**

Milieulast van warmteafgifte van 1 kWh<sub>th</sub> per type warmteopwekking

Type opwekking	NMD-proces	Warmteafgifte		Verbruik		MKI
Verbranden aardgas	0111-pro&Aardgas, verbrand, bij consument, per m <sup>3</sup> (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	0,117	m <sup>3</sup>	€ 0,022
Elektrische ketel (COP = 1)	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	1	kWh <sub>el</sub>	€ 0,034
	0496-pro&Elektriciteit, Hernieuwbaar, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	1	kWh <sub>el</sub>	€ 0,014
	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (73% grijs, 27% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	1	kWh <sub>el</sub>	€ 0,029
Warmtepomp (COP = 3,5)	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	0,29	kWh <sub>el</sub>	€ 0,010
	0496-pro&Elektriciteit, Hernieuwbaar, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	0,29	kWh <sub>el</sub>	€ 0,004
	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (73% grijs, 27% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	1	kWh <sub>th</sub>	0,29	kWh <sub>el</sub>	€ 0,008

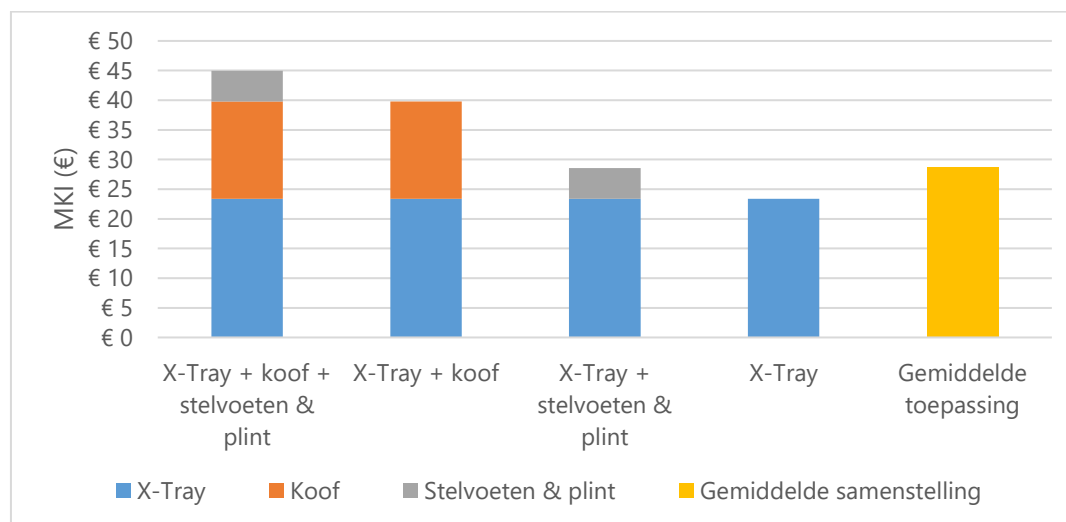
### Gemiddelde toepassing (optionele) onderdelen

De X-tray heeft twee optionele onderdelen: de koof en stelvoeten & plint. De doelgroep van de X-Tray betreft de renovatiemarkt, waar de optionele onderdelen ervoor kunnen zorgen dat de X-Tray geplaatst kan worden tegen de tegenwand van bestaande douchevloer onder breken. Sanura schat in dan circa 30% van de afnemers zal kiezen voor de stelvoeten & plint, 10% voor de koof, 10% voor beide en 50% voor de X-Tray zonder optionele onderdelen.

In Figuur 3.23 is de MKI van de volledige levenscyclus van de verschillende varianten van de X-Tray weergegeven. In dit figuur is te zien dat de verwachte gewogen gemiddelde toepassing van de X-

<sup>39</sup> Berekening opgegeven door Sanura.

Tray een MKI heeft vergelijkbaar met dat van de X-Tray met enkel stelvoeten & plint als optionele optie. De impact van enkel de X-Tray is slechts 55% van dat van de X-Tray met beide optionele onderdelen. De hoeveelheid bespaarde energie die nodig is om de milieulast van het product te compenseren, is daarom sterk afhankelijk van de gekozen variant.



**Figuur 3.23**

MKI van verschillende varianten van de X-Tray

### *Vergelijking reductie milieulast op basis van. verschillende opwekkingstechnieken*

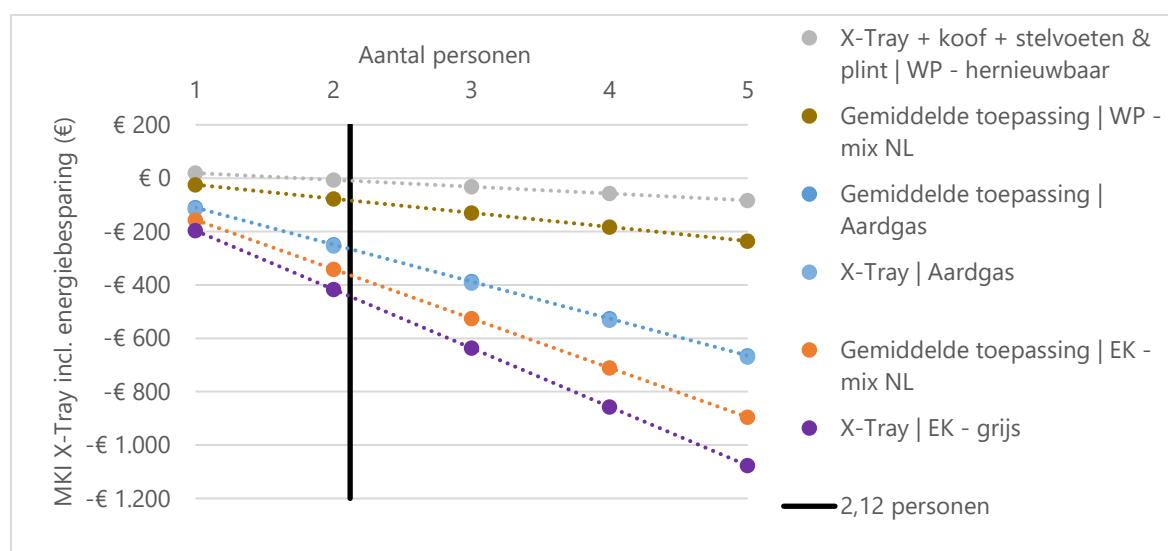
De milieulast die bespaard wordt door het gebruik van de X-Tray is afhankelijk van de variant die toegepast wordt, het aantal personen per huishouden en het opwekkingstype van de energie die bespaard wordt. Door de hogere COP van een warmtepomp, wordt er door het lagere elektriciteitsverbruik ook minder bespaard. De hoogste winst per bespaarde kWh<sub>el</sub> wordt behaald wanneer er grijze elektriciteit bespaard wordt, de laagste winst wanneer er hernieuwbare elektriciteit bespaard wordt (zie Tabel 3.7).

In Figuur 3.24 is de MKI van de verschillende varianten van de X-Tray inclusief energiebesparing gedurende de levensduur van 20 jaar weergegeven. Er is onderscheid gemaakt tussen het besparen van aardgas, grijze elektriciteit, hernieuwbare elektriciteit en de gemiddelde elektriciteitsmix in NL (73% grijs, 27% hernieuwbaar). Tevens is er onderscheid gemaakt tussen het opwarmen van het tapwater middels een warmtepomp (WP) en elektrische ketel (EK).

De laagste reductie van milieulast wordt behaald wanneer de X-Tray met beide optionele onderdelen geplaatst wordt, en er gebruik gemaakt wordt van een warmtepomp en hernieuwbare elektriciteit. In dit worst-case scenario is de MKI van de volledige levenscyclus (inclusief energiebesparing) -€9,- bij het gemiddeld aantal personen met huishouden in 2023 van 2,12 personen (Centraal Bureau voor de Statistiek, z.d.). Bij een huishouden van minder van 2 personen leidt deze situatie tot een (geringe) toename van de milieulast, in plaats van een afname.

De gemiddelde toepassing van de X-Tray leidt bij een éénpersoonshuishouden enkel bij het gebruik van een warmtepomp en hernieuwbare energie tot een toename van de milieulast (€3). Bij besparing van andere soorten energie leidt het gebruik van de gemiddelde toepassing van de X-Tray bij een éénpersoonshuishouden al tot een afname van de milieulast.

De milieuwinst die behaald wordt, neemt gestaag toe bij een huishouden met meerdere personen. De afname van milieulast is aanzienlijk hoger wanneer er gebruik gemaakt wordt van een gasgestookte of elektrische ketel dan bij het gebruik van een warmtepomp.



**Figuur 3.24**

MKI van volledige levenscyclus X-Tray inclusief energiebesparing. In dit figuur is onderscheid gemaakt tussen de MKI van de gemiddeld toegepaste X-Tray, de X-Tray zonder optionele onderdelen en de X-Tray met beide optionele onderdelen. Daarnaast is er onderscheid gemaakt tussen het besparen van aardgas, grijze elektriciteit, hernieuwbare elektriciteit en de gemiddelde elektriciteitsmix in NL (73% grijs, 27% hernieuwbaar). Tevens is er onderscheid gemaakt tussen het opwarmen van het tapwater middels een warmtepomp (WP) en elektrische ketel (EK). Bij de berekening van de bespaarde energie is uitgegaan van een rendement van 35% van de X-Tray. De energiebesparing is berekend voor de levensduur van de X-Tray van 20 jaar.

### 3.2.6.5 Conclusie van de onderzoekers

De toepassing van de X-Tray zorgt in bijna alle onderzochte scenario voor een (significante) reductie van de milieulast ten opzichte van wanneer deze niet toegepast zal worden. De afname is het hoogste wanneer het systeem wordt toegepast in een situatie waar gebruik gemaakt wordt van een elektrische ketel en grijze stroom. De mate van de afname van de milieulast is voornamelijk afhankelijk van de situatie waarin deze toegepast wordt, en in mindere mate van de materiaalkeuze. Verbeterpotentieel in de materiaal gebonden impact kan met name gevonden worden in de selectie van metalen (RVS en Koper) met een lagere milieu impact.

## 3.2.7 DEI720002 - Verduurzamen van woningen tot gasloos door hoogwaardige en betaalbare spouwmuurisolatie – Airofill Supreme Insulation

### 3.2.7.1 Projectomschrijving

#### **Aanleiding<sup>40</sup>**

Huidige renovatieoplossingen om woningen van het gas af te halen zijn gebaseerd onder andere op een voorzetgevel tegen de buitengevel (duur en wijzigt het aanzicht van de woning), aansluiting op een warmtenet (niet overal beschikbaar) of binnen-voorzetgevel (zeer arbeidsintensief en grote impact voor bewoners). Hierdoor stagneert het aantal aardgasloze renovaties. Door een beter en eenvoudiger isolatie product / concept te introduceren waarmee een verduurzaming kan worden gerealiseerd, zal men sneller, met minder overlast, goedkoper, minder materiaal en minder grondstoffen woningen naar aardgasvrij kunnen renoveren, waardoor de verduurzaming van woningen in Nederland kan worden opgeschaald.

#### **Doelstelling<sup>40</sup>**

De oplossing wordt gezocht in het ontwikkelen van een nieuw isolatieconcept waarmee de spouwmuren van woningen snel met een hoogwaardig isolatiemateriaal gevuld kunnen worden, die zó goed isolerend werkt dat er geen dure voorzet of binnengevel nodig is om woningen van het gas af te halen. Het nieuwe isolatieconcept is gebaseerd op de grondstof aerogel (een zeer fijne korrelfractie op basis van silicium met een warmtegeleiding van 0,015). Takkenkamp Groep BV heeft een procedé ontwikkeld om aerogel te verwerken tot een soort crème, Airofill Supreme Insulation genaamd. Deze crème heeft een warmtegeleiding van 0,021, en hardt uit naar een vaste vorm. Ingebracht in een spouwmuur van 6 cm leidt dit tot een minimale RC-waarde van 2,43 conform gelijkwaardigheidsverklaring BCRG. Doelstelling van het project is het integreren van het nieuwe isolatiemateriaal in een nieuw isolatieconcept en het valideren van het nieuwe isolatieconcept in een aantal woningen.

#### **Productinformatie**

Airofill Supreme Insulation is een spouwmuurisolatiemateriaal op basis van aerogel. Airofill wordt als crème in vloerbare vorm in de spouwmuur aangebracht, waarna de crème uithardt en haar definitieve vorm en prestatie verkrijgt. De warmtegeleidingscoëfficiënt van Airofill is 0,020 W/m\*K en de levensduur 50+ jaar (Airofill BV, 2023).

### 3.2.7.2 LCA Airofill Supreme Insulation

De levenscyclusanalyse van Airofill Supreme Insulation bevat vertrouwelijke gegevens. De inventarisatie en modellering zijn daarom niet opgenomen in dit rapport. Wel zijn de verschillende afvalverwerkingsscenario's toegelicht en is een vereenvoudigde versie van de zwaartepuntanalyse weergegeven.

<sup>40</sup> De omschrijving van de aanleiding en doelstelling is overgenomen uit de publieke samenvatting van het project op de website van Topsector Energie, via: <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/verduurzamen-van-woningen-tot-gasloos-door-hoogwaardige-en-betaalbare-spouwmuurisolatie-34603>, geraadpleegd op 24-11-2023. Daarna is de tekst geactualiseerd door Takkenkamp Groep BV.



## *Einde leven Airofill*

Airofill Supreme Insulation is na het einde van de levensduur opnieuw te gebruiken als grondstof voor de productie van nieuwe Airofill. Het restmateriaal wordt verpoederd tijdens het opzuigproces, hier is dus geen extra energieverbruik voor nodig. Bij de productie van nieuwe Airofill kan voor 20% van het massa-aandeel gebruik gemaakt worden van de Airofillpoeder zonder verlies van de lamdawaarde. Er is echter nog geen actief systeem ingesteld voor de verzameling van de oude Airofill. Er zijn daarom een aantal einde-leven scenario's opgesteld om de spreiding in milieulast weer te geven.

### **100% AVI**

Dit is het 'worst case' scenario. In dit scenario wordt alle Airofill isolatie aan het einde van de levensduur verbrand. Bij gebrek aan een passender verbrandingsproces, is er gekozen voor het algemene NMD-proces *0106-pro&Verbranden, overig (o.b.v. Municipal solid waste {NL} treatment of, incineration | Cut-off, U)*. De verbrandingswaarde van de premix en aerogel is verwaarloosbaar, waardoor er geen baten toegekend zijn voor vermeden energieproductie.

### **100% recycling**

Dit is het 'best case' scenario. In dit scenario wordt alle Airofill isolatie ingezameld en toegepast voor de productie van nieuwe Airofill isolatie, zonder functieverlies. Airofill zal hiervoor al het restmateriaal verzamelen en opslaan totdat het gebruikt kan worden voor nieuwe productie. Tijdens het opzuigproces in de sloopfase wordt de oude Airofill verpoederd. De poeder kan vervolgens zonder extra behandeling gebruikt worden als inputmateriaal voor de productie van nieuwe Airofill. Het restmateriaal zorgt daarom 1:1 voor een uitsparing van de Airofill productiemix, d.w.z. de grondstoffen van de premix (zonder water, dit is opgedroogd tijdens het uitharden van de crème) en de aerogel.

### **20% recycling, 80% AVI**

Als de productieaantallen stabiel blijven, kan maximaal 20% van het ingezamelde Airofillpoeder gebruikt worden voor de productie van nieuwe Airofill. Daarom is er in dit scenario gerekend met 20% recycling en 80% AVI.

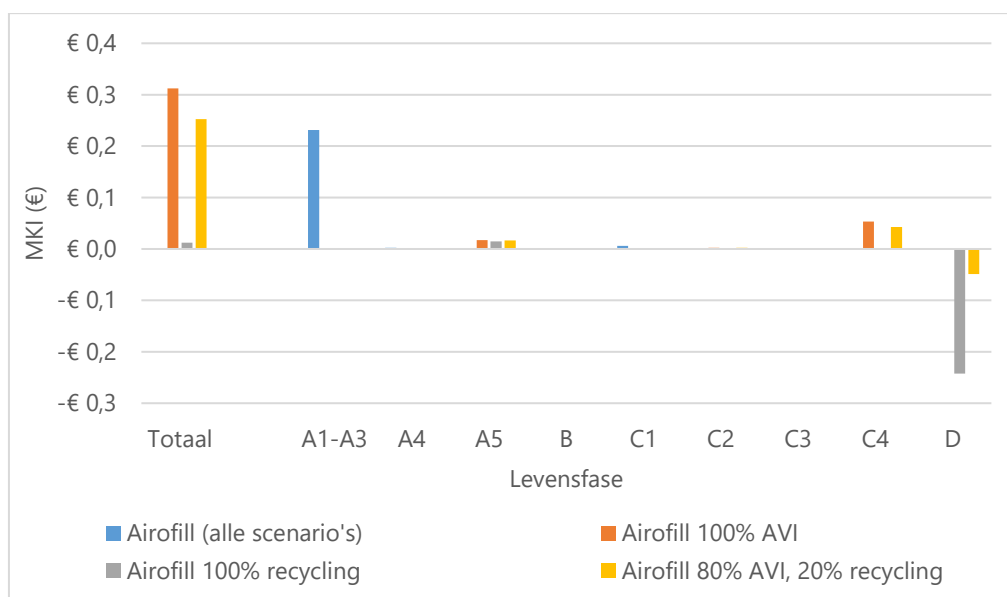
#### 3.2.7.3 Resultaten

In Figuur 3.25 is de MKI weergegeven van de volledige levenscyclus van 1 kg Airofill spouwmuurisolatie. Daarbij is er onderscheid gemaakt tussen 3 verwerkingsscenario's einde leven: 100% AVI, 100% recycling en 80% AVI en 20% recycling. Door de effectieve 1:1 uitsparing van de Airofill productiemix door verzameld Airofillpoeder, is de mate van recycling sterk bepalend voor de milieulast van het product.

Bij 100% recycling kan bijna de volledige milieulast van de productie van Airofill gecompenseerd worden door de baten van de uitsparing van de Airofill productiemix (ex. water). Door de resulterende lage MKI over de volledige levensduur, leveren het transport naar de bouwplaats (A4;

19%), de sloopfase (C1; 47%) en het transport naar de afvalbewerking (C2; 6%) een hoge bijdrage aan de MKI.

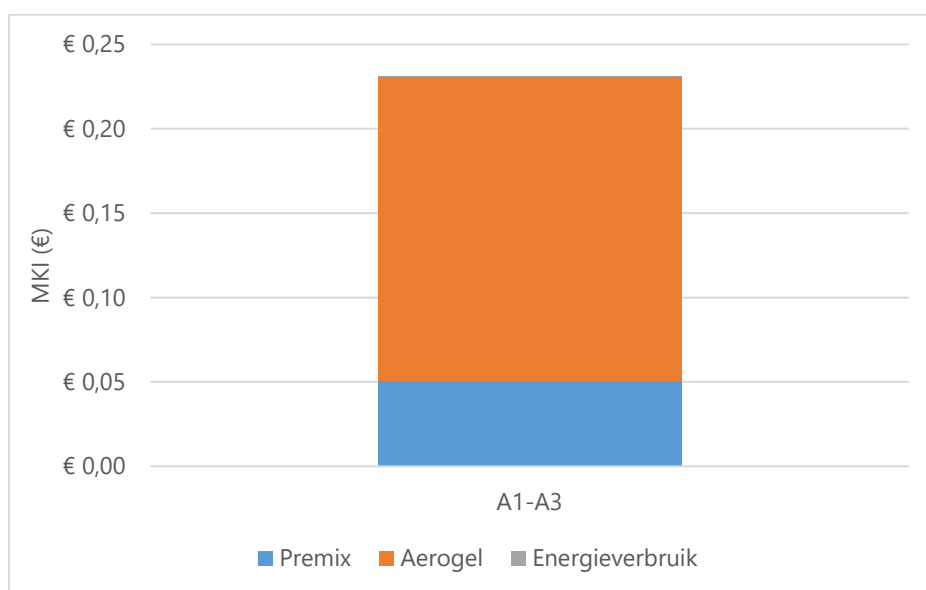
Bij 100% AVI leidt het verbranden van de Airofill (C4) tot een significante bijdrage aan de MKI van 17%. Door de verwaarloosbare verbrandingswaarde van Airofill zijn er geen baten afkomstig van vermeden energieproductie (module D). De overige fasen leveren in de scenario's met AVI een kleine bijdrage aan de totale MKI.



**Figuur 3.25**

Zwaartepuntanalyse Airofill, MKI volledige levenscyclus voor 1 kg Airofill spouwmuurisolatie. In dit figuur zijn drie verwerkingsscenario's einde leven weergegeven

In Figuur 3.26 is de MKI van de productiefase (A1-A3) opgesplitst per onderdeel. In dit figuur is te zien dat de hoogste milieulast afkomstig is van de aerogel. De aerogel is gemodelleerd als tetraethylorthosilicaat. In werkelijkheid zijn er nog extra productieprocessen vereist om aerogel te maken van tetraethylorthosilicaat. Daarnaast zullen er nog andere grondstoffen gebruikt worden voor de productie. Afhankelijk van de relatieve milieu-impact van deze stoffen t.o.v. dat van tetraethylorthosilicaat, zal de werkelijke milieulast van de aerogel hoger of lager zijn. Het hoge aandeel van de aerogel aan de MKI van Airofill zorgt daarom voor een grote onzekerheid in de milieulast van het product. Het MKI-aandeel van de premix is 22%, dat van het energieverbruik <1%.



**Figuur 3.26**

Zwaartepuntanalyse, MKI per proces in de productiefase (A1-A3) van 1 kg Airofill spouwmuurisolatie

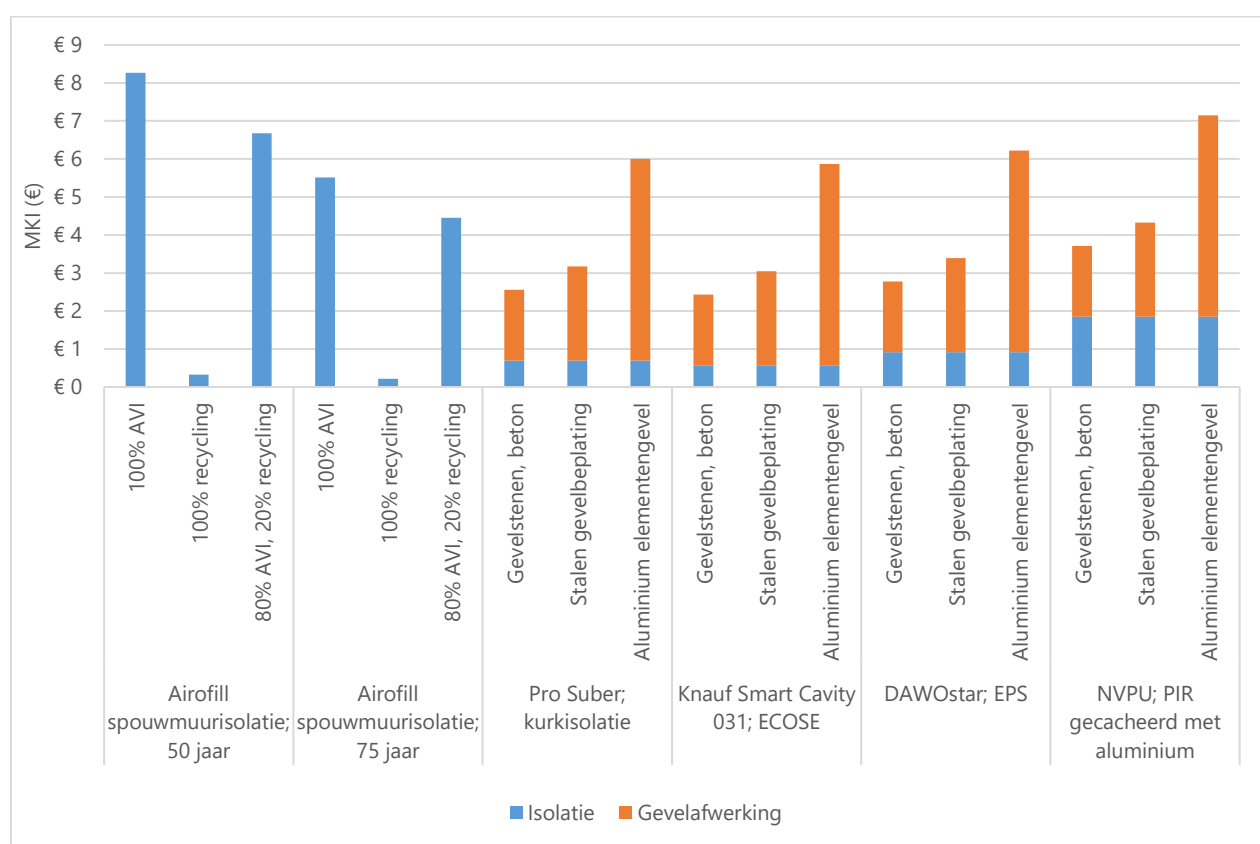
### 3.2.7.4 Vergelijking met de beschikbare standaard in de markt

Het doel van de ontwikkeling van Airofill spouwmuurisolatie is om spouwmuren zo goed te isoleren dat er geen voorzetgevel nodig is om woningen van aardgas af te halen. Daarom is er onderzocht hoe de milieu-impact van het toepassen van Airofill spouwmuurisolatie zich verhoudt tot dat van het plaatsen van een voorzetgevel.

Om aan de landelijke subsidie-eisen voor een ISDE-subsidie te voldoen, moeten de getroffen isolatiemaatregelen een minimale Rd-waarde hebben van 3,5 m<sup>2</sup>K/W (RVO, 2020). Daarom is er gekeken naar de milieu-impact van het toepassen van 1 m<sup>2</sup> Airofill en 1 m<sup>2</sup> voorzetgevel, beide met een Rd-waarde van 3,5 m<sup>2</sup>K/W.

Om de milieu-impact van de voorzetgevel te bepalen, is er in de Nationale Milieudatabase gezocht naar 'gevelisolatie'. Er zijn drie categorie 1 productkaarten gevonden van verschillende producenten, en één categorie 2 productkaart. Het gaat om Pro Suber kurkisolatie, Knauf Smart Cavity 031 van ECOSE, DAWOstar van EPS en het branchegemiddelde product PIR-gevelisolatie gecacheerd met aluminium van de NVPU. Alle vier de productkaarten zijn deelproducten en bevatten enkel het onderdeel 'gebouwisolatie'. Om de impact van de volledige voorzetgevel te bepalen is er daarom tevens gekeken naar gevelafwerkingen van betonnen gevelstenen van Betonhuis, stalen gevelbeplating van Metaalunie en de categorie 3 aluminium elementengevel.

In Figuur 3.27 is de milieuprestatie van 1 m<sup>2</sup> Airofill en 1 m<sup>2</sup> voorzetgevelisolatie (isolatie + gevelafwerking) bij een levensduur van 75 jaar en Rd-waarde van 3,5 m<sup>2</sup>K/W vergeleken. Bij de Airofill spouwmuurisolatie is er onderscheid gemaakt tussen de verschillende verwerkingsscenario's einde leven, en tussen de levensduur van 50 en 75 jaar<sup>41</sup>. Bij de voorzetgevelisolatie is gekeken naar verschillende typen isolatiematerialen en gevelafwerkingen. In dit figuur is te zien dat de variatie in milieulast voor zowel de Airofill spouwmuurisolatie als de voorzetgevelisolatie erg groot is. Vooral de mate van recycling en de levensduur van Airofill zullen bepalen of de milieuprestatie beter zal uitvallen dan dat van voorzetgevelisolatie. Maar ook de keuze van het alternatieve voorzetgevelisolatietype heeft een grote invloed op de relatieve milieuprestatie van de Airofill en voorzetgevel.



**Figuur 3.27**

Vergelijking milieuprestatie 1 m<sup>2</sup> Airofill en 1 m<sup>2</sup> voorzetgevelisolatie (isolatie + gevelafwerking) bij een levensduur van 75 jaar en Rd-waarde van 3,5 m<sup>2</sup>K/W

<sup>41</sup> De levensduur van Airofill spouwmuurisolatie is volgens het productblad 50+ jaar. In de SBR levensdurengids (2011) hebben bijna alle isolatielagen in spouwmuren een levensduur van 75 jaar. Enkel de bio-based isolatiematerialen zoals vlaswol en cellulose hebben een kortere levensduur. De LCA-uitvoerder acht het tevens onwaarschijnlijk dat de Airofill na 50 jaar in praktijk vervangen zal worden. Daarom is tevens de milieuprestatie van Airofill weergegeven met een levensduur van 75 jaar.

De milieuprestatie van Airofill spouwmuurisolatie zou ook vergeleken kunnen worden met dat van andere spouwmuurisolatiematerialen. Er is afgezien van deze vergelijking, omdat:

- De hoge onzekerheid in de milieuprestatie van Airofill, afkomstig van zowel de productiefase als de afvalverwerking, het onmogelijk maakt om absolute conclusies te trekken.
- Op het moment van schrijven worden de NMD categorie 3 isolatiemateriaalproductkaarten herzien. Naar verwachting zal de MKI van de meeste isolatiematerialen na de update hoger uitvallen dan nu het geval is. Het vergelijken met de huidige productkaarten zal daarom een vertekend beeld geven.
- Gebruikelijke spouwmuurisolatiematerialen hebben vaak een hogere warmtegeleidingscoëfficiënt. Volgens de NTA 8800 hebben bijvoorbeeld EPS parels een  $\lambda$ -waarde van 0,045 W/mK en glas- en steenwolokken een  $\lambda$ -waarde van 0,040 W/mK. Om een Rd-waarde te realiseren is daarom respectievelijk 135 en 120 mm dik nodig. Met een gebruikelijke spouwmuurruimte van 4-6 cm (Milieu Centraal, z.d.), (Consumentenbond, 2023), kan deze Rd-waarde niet behaald worden. Omdat het doel van aardgasvrije renovatie is veel gevallen daarmee niet behaald kan worden, geeft dit geen eerlijke vergelijking.

### 3.2.7.5 Conclusie van de onderzoekers

Hoe de milieuprestatie van de toepassing van Airofill Supreme Insulation zich verhoudt tot dat van de beschikbare standaard in de markt, is sterk afhankelijk van het type voorzetgevelisolatie waarmee vergeleken wordt, én van het afvalscenario van de Airofill gekozen wordt. De mate waarin de verzamelde oude Airofill opnieuw toegepast kan worden bij de productie van nieuwe Airofill (of voor een andere toepassing), zal waarschijnlijk bepalen of de toepassing van Airofill zal zorgen voor een relatieve afname van de milieulast van het systeem. De verbeterpotentie ligt daarom bij het ontwerpen van een recyclingsysteem waarbij zoveel mogelijk oude Airofill verzameld en hergebruikt kan worden. Takkenkamp Groep BV geeft aan te streven naar 100% hergebruik van de oude Airofill.

## 4 Aanbevelingen

Dit hoofdstuk bevat aanbevelingen over de wijze waarop in innovatiesubsidies eisen kunnen worden gesteld aan de milieuprestatie van de ontwikkelde producten en diensten. Allereerst zijn de overkoepelende bevindingen omschreven omtrent de uitgevoerde levenscyclusanalysen van de ontwikkelde producten van de innovatiesubsidieprojecten. Daarna is het advies omschreven, geformuleerd als een concreet tekstvoorstel voor de nieuwe regeling. Als laatste worden de verschillende aandachtspunten en achtergronden stapsgewijs toegelicht. Per aandachtspunt wordt er samengevat met een specifieke aanbeveling, onderstreept weergegeven.

### 4.1 Bevindingen en conclusies

In deze sectie worden de overkoepelende bevindingen omschreven naar aanleiding van de uitgevoerde casus-specifieke levenscyclusanalysen en een overkoepelende conclusies getrokken.

#### *Milieuprestatie ontwikkelde producten van innovatiesubsidieprojecten*

Bij de meeste onderzochte innovatieprojecten is er voorafgaand aan deze studie beperkte kennis geweest omtrent de keuzes die projectontwikkelaars hebben op het verminderen van de milieuprestatie met betrekking tot de productiefase en/of afvalverwerkingsfase. Bij alle projecten die onderdeel zijn van deze studie, is er enthousiast gereageerd op het in kaart brengen van de milieuprestatie en hoe deze verbeterd kan worden. De uitvoering van de LCA's heeft de betrokken partijen laten nadenken over de manier waarop zij de milieuprestatie van het ontwikkelde product kunnen verbeteren. De zwaartepuntanalyses van de LCA's hebben inzicht gegeven in de materialen en processen welke de hoogste bijdrage leveren aan de milieulast, en waar de hoogste winst te behalen valt.

#### *Vergelijking milieuprestatie ontwikkelde producten met equivalent gangbare standaard in de markt*

Om de milieuprestatie van de ontwikkelde producten te vergelijken, is er per product bepaald wat de equivalent gangbare standaard in de markt is. Bij de meeste projecten was er geen voor de hand liggend equivalent beschikbaar. Vaak is er gekeken naar een combinatie van een aantal producten die op dit moment in de markt gebruikelijk zijn om dezelfde functionele prestatie te vervullen. Vanuit de innovatieprojecten is er goed meegedacht over het opstellen van representatieve, realistische en eerlijke scenario's voor de vergelijking. Er is voldoende marktkennis om zowel een scenario op te bouwen met het eigen ontwikkelde product, als dat van de equivalent gangbare standaard in de markt.

Uit de vergelijkingen is gebleken dat de ontwikkelde producten over het algemeen beter scoren dan het equivalent gangbare standaard in de markt, mits deze worden toegepast in de beoogde situatie. Het energieverbruik of de energiebesparing is meestal de bepalende factor, de materiaal impact is (nog) minder belangrijk. Hoe goed de ontwikkelde producten in absolute en relatieve zin scoren, is echter sterk afhankelijk van de situatie waarin zij toegepast worden. Vaak zijn er meerdere

situaties die goed aansluiten bij de te verwachten toepassing, waarin de relatieve reductie in milieulast sterk varieert. Een aantal veelvoorkomende factoren die een grote impact hebben op de (relatieve) milieuprestatie, en waarvan vaak een grote bandbreedte is binnen de verwachte toepassing, is:

- Het gebouwtype; utiliteit/woningbouw, het gebruiksoppervlak (voor energieverbruik, maar ook voor ruimte voor materiaal zoals een warmtepomp), bouwjaar, isolatiewaarden etc.
- Opwekkingstechnieken en bijbehorende 'gebruikelijke' efficiëntie; voor warmte (aardgas/warmtepomp/elektrische ketel/warmtenet) en elektriciteit (hernieuwbaar/grijs/eigen PV).

Het onderzoeken van de relatieve milieuprestatie in verschillende situaties geeft inzicht in de bandbreedte van de mogelijke reductie én in welke situaties het ontwikkelde product het beste toegepast kan worden. Zo kan het ene product beter ingezet worden als er gebruik gemaakt wordt van een warmtepomp en het andere product juist wanneer er nog gebruik gemaakt wordt van aardgas. Een 'slechte score' in een bepaalde situatie hoeft daarom niet te betekenen dat het geen goed product is, maar geeft wel weer hoe het product toegepast dient te worden. De meeste projecten zijn erg geïnteresseerd geweest in hoe het product relatief scoort in verschillende situaties.

#### **4.1.1 Conclusies**

Het hoofddoel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in hoe de milieuprestatie van de ontwikkelde producten van de innovatiesubsidieprojecten meegenomen kan worden in toekomstige innovatiesubsidies om zo de milieuprestatie van deze producten te optimaliseren.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek concluderen wij;

##### **1. Informatie is goed beschikbaar binnen de projecten**

De onderzochte casussen hadden allemaal geen rekening gehouden met het uitvoeren van een LCA in het opzetten en uitvoeren van het innovatieproject. Alle casussen hebben vanuit beschikbare informatie voldoende kunnen aanleveren om een LCA uit te voeren. Op basis hiervan concluderen wij dat de voor een LCA benodigde informatie al in basis beschikbaar is binnen innovatieprojecten en er geen aanvullende administratieve last wordt gecreëerd.

##### **2. LCA is een bruikbaar instrument om in te zetten voor productontwikkeling**

Bij alle onderzochte casussen is een solide vergelijking gemaakt tussen de eigen ontwikkeling en de gangbare standaard in de markt. Van alle casussen is een zwaartepuntanalyse gemaakt die relevante ontwerpgegevens geeft voor de materialen, productie, gebruik en einde levensfase. Met deze informatie kan concreet gestuurd worden op verbeteringen. Op basis hiervan concluderen wij dat LCA een goed instrument is om hiervoor in te zetten.

3. Verbetering in de milieuprestatie kan gerealiseerd worden indien hier vanaf het begin mede op gestuurd wordt

In alle onderzochte casussen is sprake van productontwikkeling. Generiek zien we dat er verbeterpotentieel is bij alle casussen op drie hoofdthema's;

#### Duurzame materialen / duurzame inkoop

Er is in de casussen geen structurele aandacht voor de selectie van duurzame materialen en geen zicht op de best beschikbare materialen in de markt. Continue sturing hierop kan substantiële reductie opleveren.

#### Levensduur verlenging

Veel ontwikkelde producten zijn een (complexe) samenstelling van meerdere functionele onderdelen en materialen. Het optimaliseren op de maximale levensduur van deze componenten zorgt voor een optimale levensduur van het complete product. Daarnaast draagt ontwerpaandacht van de levensduur van componenten voor beter inzicht in de (on)mogelijkheden voor reparatiebaarheid. Het verlengen van de levensduur van producten heeft een grote positieve invloed op de milieuprestatie.

#### Waardebehoud

Slechts één van de zeven casussen heeft nagedacht over de mogelijkheden na eerste gebruik. Door in de ontwerpfase te sturen op waardebehoud na het eerste gebruik kunnen substantiële milieuwinsten gerealiseerd worden.

Het reductiepotentieel is te afhankelijk van de specifieke referentiesituatie waarin het wordt toegepast dat we geen generiek percentage kunnen concluderen. Uit onderzoek van de Europese Commissie blijkt dat 80% van de milieu impact bepaald wordt in de ontwerpfase<sup>42</sup>. Het is dus relevant om hier in een vroeg stadium aandacht aan te besteden.

Op basis van de casussen concluderen wij dat er voldoende verbeterpotentieel is dat geïdentificeerd had kunnen worden in het innovatietraject en waarop concreet kan worden gestuurd.

## 4.2 Advies

Projecten moeten hun integrale milieu-impact analyseren en sturen op de laagst haalbare impact. Het uitgangspunt hierbij is dat projecten aantoonbaar minimaal een netto neutrale impact hebben ten opzichte van het equivalente gangbare alternatief. Hierbij dient de impact van de gebruikte materialen over de hele levenscyclus alsook het energieverbruik in de gebruiksfase te worden beschouwd.

<sup>42</sup> zie bijvoorbeeld <https://www.circonnect.org/>



Om invulling te geven aan deze verplichting leveren projecten bij de aanvraag;

- Een onderbouwde omschrijving van het equivalente gangbare alternatief;
- Een plan van aanpak hoe en met welke LCA methode energie- en materiaalimpact integraal in beeld wordt gebracht van zowel de ontwikkeling als van het equivalente gangbare alternatief.

In dit plan van aanpak is minimaal opgenomen;

- o wanneer een eerste berekening wordt ingediend, uiterlijk 3 maanden na toekenning van de subsidie;
- o wanneer het verbeterplan wordt ingediend met daarin het onderzoek naar de laagst haalbare integrale milieu-impact.

Bij de vaststelling van de subsidie wordt een definitieve LCA ingediend van de ontwikkeling en het equivalente gangbare alternatief, inclusief een kwantitatieve evaluatie van het verbeterplan.

## 4.3 Aandachtspunten en achtergronden bij het advies

### 4.3.1 Materiaalgebruik versus energiebesparing

De focus van de innovatieprojecten ligt voornamelijk op gebied van energie, terwijl materiaalgebruik ook een significante impact heeft op het milieu. Het buitenbeschouwing laten van de milieuprestatie van materialen, kan een vertekend beeld geven van het effect dat een innovatie zal hebben op het milieu. Zo kan een energiebesparende maatregel uiteindelijk een negatief effect op het milieu hebben, wanneer gebruik gemaakt wordt van veel en/of milieuschadelijk materiaal. Een integrale analysemethode is daarom vereist om de schade aan het milieu zoveel en zo efficiënt mogelijk te beperken en ongewenste verschuiving van milieu-impact tegen te gaan.

Aanbeveling: Maak gebruik van een integrale analysemethode om de milieuprestatie van de innovatiesubsidieprojecten te bepalen. Als eis kan er gesteld worden dat de innovatiesubsidieprojecten **tenminste** netto positief bijdragen aan het milieu wanneer er gekeken wordt naar zowel materiaal- als energiegebruik.

### 4.3.2 LCA als tool om de milieuprestatie van de ontwikkelde producten in innovatiesubsidieprojecten in kaart te brengen

Levenscyclusanalyse is een methode om de milieu-impact van een product, proces of systeem gedurende zijn volledige levenscyclus te beoordelen. Hierbij wordt er onder andere gekeken naar de impact van de winning van grondstoffen, het transport, de productieprocessen, het gebruik en de afvalverwerking na einde-leven. Een LCA kan daarom inzicht geven in zowel de milieulast op het gebied van materiaalgebruik en energieverbruik, als de verhouding tussen beide gedurende de levensduur van het product. Zo kan er met een LCA bepaald worden of het toevoegen van extra materiaal een besparing van energie kan rechtvaardigen, of dat dit uiteindelijk bijdraagt aan een hogere milieulast over de gehele levenscyclus.

Een belangrijk onderdeel van een LCA om circulair ontwerpen te ondersteunen is de zwaartepuntanalyse. Met deze analyse wordt in kaart gebracht welke aspecten van het product welke milieu-impact veroorzaakt. Een zwaartepuntanalyse geeft daarom inzicht in de mogelijkheden om de milieu-impact van de keten te verlagen. Productontwikkelaars hebben over het algemeen de grootste invloed op het verminderen van de milieu-impact door na te denken over keuzes met betrekking tot de productiefase, de gebruiksfase en de afvalverwerkingsfase. Door gebruik te maken van duurzame grondstoffen en/of door het demontabel maken van producten om de recyclebaarheid te verhogen, kan de milieulast significant gereduceerd worden.

Aanbeveling: Gebruik LCA als tool om de milieuprestatie van de innovatie op integrale wijze in kaart te brengen. De zwaartepuntanalyse is daarbij een verplicht onderdeel.

### **4.3.3 Wanneer is LCA bruikbaar?**

Een levenscyclusanalyse van een enkel product geeft dus inzicht in mogelijkheden tot verbetering van de milieuprestatie van het product zelf. In geval van een gestandaardiseerde productscope, LCA-methode en databases kan een benchmark worden opgesteld om te komen tot prestatie eisen. De innovatieprojecten uit de subsidieregelingen zijn niet beperkt tot een specifiek productscope, het uitwerken van vergelijkbare prestatie-eisen is niet haalbaar hiervoor.

Wel kan de milieuprestatie van de innovatie vergeleken worden met dat van de gangbare standaard in de markt. Daarbij is het belangrijk dat het systeem met de gangbare standaard in de markt dezelfde functionele prestatie (equivalent) vervult als het nieuwe product. Een ontwikkeld product (innovatie) kan een meervoudige prestatie vervullen, zoals een dakpaneel met ingebouwde PV-panelen dat zowel de functionele prestatie van een gesloten dakelement inclusief isolatie vervult, als de opwekking van elektriciteit. De milieuprestatie van de equivalent gangbare standaard in de markt moet dan bepaald worden aan de hand van het vervullen van beide prestaties.

Bijkomend voordeel van deze aanpak is dat specifieke methode of database gebruik minder kritisch is, mits beide op gelijke wijze worden uitgevoerd. Het heeft echter de voorkeur om aan te sluiten bij de Bepalingsmethode van de Nationale Milieudatabase.

Aanbeveling: Vergelijk de resultaten van de LCA van het innovatiesubsidieproject met dat van de gangbare standaard in de markt. Daarbij moeten beide systemen dezelfde functie vervullen over een afgebakende levensduur en beide systemen met een identieke LCA-methode en dataset zijn berekend.

Het vaststellen van de functionele eenheid en het bepalen van de beschikbare standaard in de markt is eenvoudiger voor een ontwikkeld (fysiek) product dan voor een dienst/oplossing die een gedragsverandering teweeg dient te brengen. Voor innovatieprojecten zonder fysiek product zal LCA waarschijnlijk niet de meest bruikbare tool zijn om de milieuprestatie te verbeteren. Het kan wel zinvol zijn om de aanvrager na te laten denken over het mogelijke materiaalgebruik en de te verwachten besparing van energie. Een grove LCA-berekening zal dan eventueel een inschatting

kunnen geven van de hoeveelheid energie die bespaard moet worden en/of de tijd die benodigd is om de milieulast van het materiaalgebruik te compenseren.

Aanbeveling: De LCA-methodiek is bruikbaar wanneer er een fysiek product ontwikkeld wordt. Als dit niet het geval is, kan de methodiek op een meer kwalitatieve manier toegepast worden om inzicht te krijgen in de milieuprestatie van het project. Een minimale eis kan het aanleveren van een overzicht van het te verwachten materiaalverbruik en de energiebesparing over de gehele levenscyclus zijn.

#### **4.3.4 LCA toepassen voor het verbeteren van de milieuprestatie van innovatieprojecten**

Het uitvoeren van een LCA van innovatieprojecten kan dus inzicht geven in zowel de mogelijkheden om de milieuprestatie van het ontwikkelde product te verbeteren, als in hoe de milieuprestatie van het product zich verhoudt tot die van de equivalent gangbare standaard in de markt. In veel gevallen zal het niet mogelijk zijn om bij de subsidieaanvraag al een complete vergelijking met de gangbare standaard in de markt aan te leveren. Wel kan er al nagedacht worden over wat de equivalent gangbare standaard in de markt is, en hoe de milieuprestatie van het ontwikkelde product zich tot deze standaard zal verhouden. Bij de subsidievaststelling kan dan de vergelijking definitief aangeleverd worden.

*Wat is de equivalent gangbare standaard in de markt?*

Om de gangbare standaard in de markt te bepalen, moet eerst de functionele prestatie van de innovatie (product) vastgesteld worden. Gaat het product bijvoorbeeld zorgen voor een besparing van energie, of het efficiënt opwekken of opslaan van duurzame energie? Er kan dan gekeken worden naar welke producten (1:1 of mogelijk n:1) op dit moment in de markt gebruikelijk zijn om dezelfde functionele prestatie (functionaliteit) te vervullen.

Om de milieuprestatie te vergelijken, worden er vervolgens twee scenario's opgesteld waarin dezelfde functionaliteit vervuld wordt. Eén scenario met het ontwikkelde product, en één scenario met de gangbare standaard in de markt.

De milieuprestatie is vaak afhankelijk van het referentiesysteem waarbinnen een product wordt toegepast. Het kan zijn dat het ontwikkelde product relatief beter scoort dan de beschikbare standaard in de markt wanneer het bijvoorbeeld toegepast wordt bij een rijtjeshuis of bij een vrijstaande woning. Voor een representatieve vergelijking, moet het referentiesysteem zo goed mogelijk aansluiten bij de te verwachten toepassing. Wanneer het product in veel verschillende situaties toegepast kan worden, kan er gekeken worden naar tenminste de twee uiterste referentiesystemen. Zo kan de bandbreedte van de verbetering van milieuprestatie van het ontwikkelde product ten opzichte van de beschikbare standaard in de markt bepaald worden.

Aanbeveling: Indien mogelijk, wordt (een eerste opzet) van de LCA van het product én een vergelijking met dat van de beschikbare standaard in de markt aangeleverd bij de subsidieaanvraag. Daarmee moet aangetoond worden dat het product **tenminste** netto positief

bijdraagt aan het milieu. Als dat bij de eerste analyse nog niet het geval is, moet aangetoond worden met welke aanpassingen deze eis gedurende het project wel behaald kan worden.

Aanbeveling: Wanneer het nog niet mogelijk is om een eerste opzet van de LCA van het product aan te leveren bij de subsidieaanvraag, kan dit onderdeel kwalitatief omschreven worden. Daarbij moet aandacht besteed zijn aan wat de beschikbare standaard in de markt is, en hoe de milieuprestatie van het product zich, naar verwachting, tot deze standaard zal verhouden.

*Milieuprestatie van het ontwikkelde product verbeteren tijdens de looptijd van het innovatieproject*  
Afhankelijk van de looptijd van het project, kan er één moment of meerdere momenten vastgesteld worden waarop de aanvrager moet aantonen dat deze aandacht heeft besteed aan de milieuprestatie van het ontwikkelde product. Het wordt afgeraden om hiervoor eisen te stellen aan de mate van reductie van de milieulast, om een onrealistisch hoge startsituatie te voorkomen. Het verplicht stellen van een analyse van de milieuprestatie en de daaruit volgende handelingen is waarschijnlijk effectiever, omdat dit actief nadenken over de verbetermogelijkheden stimuleert. De basiseis van een netto positieve bijdrage kan wel worden opgenomen.

In deze analyse zou de focus moeten liggen op de *productiefase*, de *gebruiksfase* en de *afvalverwerkingsfase*. Het doel is om aan te tonen dat er nagedacht is over in ieder geval de onderstaande punten:

- Welke grondstoffen/producten in de productiefase zorgen voor de hoogste milieulast? Is de impact van deze materialen te verminderen door ontwerpoptimalisaties, duurzamer in te kopen of te produceren?
- Wat is de levensduur van het ontwikkelde product? Is het mogelijk om de levensduur van het product en/of componenten te verlengen door maatregelen te treffen tijdens de gebruiksfase en/of door aanpassingen te maken in het productieproces?
- Hoe gaat het product aan het einde van de levensduur verwerkt worden? Kunnen alle verschillende onderdelen/materialen gedemonteerd en gerecycled worden? Als dat niet het geval is, kan het productieproces zodanig worden aangepast dat dit wel mogelijk is?

Om de focus op het verbeteren van de milieuprestatie van de ontwikkelde producten te stimuleren, kan er een bonus opgenomen worden in de subsidieregeling die wordt uitgekeerd wanneer de aanvrager het product laat opnemen in de Nationale Milieudatabase.

Aanbeveling: Gebruik LCA om de milieuprestatie van het product gedurende de looptijd van het project te verbeteren. Stel één of meerdere momenten vast waarop een analyse aangeleverd moet worden met betrekking tot de mogelijkheden tot verbetering van de milieuprestatie van het product. Deze analyse bevat tenminste een gedetailleerde uitwerking de verbeteringsmogelijkheden van de *productiefase*, de *gebruiksfase* en de *afvalverwerkingsfase*.

Aanbeveling: Stimuleer de focus op het verbeteren van de milieuprestatie door een bonus uit te keren wanneer producten opgenomen worden in de Nationale Milieudatabase.

LBP|SIGHT B.V.



ing. J.B. (Jeannette) Levels-Vermeer



B.M. (Benthe) Vermaas MSc