

Monitor routekaart circulaire zonnestroomsystemen

door Stichting W/E adviseurs
Agnes Mewe, Gijs Ebbers
12 mei 2026



Inhoudsopgave

1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Beoogde effectdoelen en indicatoren	3
1.3 Status en ambities	5
2 Literatuur- en bronnenstudie	7
2.1 Materiaalgebruik & milieuimpact	7
2.2 Verwerking en hergebruik	13
2.3 Weerbaarheid sector	18
2.4 Nulmeting: samenvatting en samenhang	21
3 Opzet structurele monitor	26
3.1 Materiaalgebruik en milieuimpact nieuwe zonnestroomsystemen	26
3.2 Verwerking en hergebruik van bestaande systemen	29
3.3 Weerbaarheid sector	30
3.4 Kaders voor dataverzameling	31
3.5 Opstarten van structurele monitoring	31
3.6 Landingsplek monitor	34
4 Conclusies structurele monitor	36
4.1 Stroomschema	36
4.2 Conclusie	37
4.3 Aanbevelingen	38
Bijlagen	39



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2025 is de routekaart 'Circulaire zonnestroomsystemen en een weerbare sector'¹ opgesteld door een productteam van experts uit de sector en overheid en een brede groep van stakeholders. Deze routekaart heeft een implementatiehorizon van 5 jaar en heeft tot doel de circulariteit van zonnestroomsystemen (ook wel: photovoltaïsche systemen, PV-systemen) te bevorderen en de maakindustrie te versterken. De routekaart bestaat uit een aantal ketenprojecten, die samen zorgen voor een goede uitvoering van de routekaart. Naast onderzoeken naar duurzaam inkoopbeleid en economische levensduur van PV-systemen, is een derde onderzoek gestart, die rapporteert over de stand van zaken op het gebied van circulariteit en weerbaarheid van de sector en een voorstel doet voor het inrichten van een structurele monitoring. Dit rapport is daar het resultaat van.

Het doel van dit onderzoek is tweeledig:

1. Bestaande kennis over de verschillende aspecten van de circulariteit van zonnestroomsystemen wordt verzameld;
2. Een opzet wordt gemaakt van structurele monitoring van een aantal aan circulariteit gerelateerde parameters.

Dit project is in verschillende stappen uitgevoerd. Allereerst is een studie uitgevoerd om bestaande kennis te verzamelen. Het resultaat is een actuele stand van zaken wat betreft circulariteit van PV-systemen en gegevens over de weerbaarheid van de (Nederlandse) sector. Deze nulmeting is opgezet op basis van de beoogde effectdoelen van de routekaart (zie paragraaf 1.2). Daaruit volgt een opzet voor een structurele monitoringswijze van een aantal indicatoren voor diverse circulariteits- en marktaspecten van PV-systemen. Deze opzet is verder uitgewerkt tot een voorstel voor implementatie, inclusief concrete acties, fasering en landingsplek.

1.2 Beoogde effectdoelen en indicatoren

In de 'Routekaart circulaire zonnestroomsystemen & weerbare sector' is een aantal effectdoelen beoogd m.b.t. circulariteit van PV-systemen. Dit overzicht uit de routekaart wordt weergegeven in Figuur 1. Naast de effectdoelen wordt de veronderstelde status in 2025 weergegeven en worden streefwaarden benoemd voor 2030 en 2035. Hierbij wordt in sommige gevallen onderscheid gemaakt tussen (onderdelen) van zonnepanelen en overige componenten. Sommige effectdoelen hebben in de routekaart nog geen specificatie in de tijd of naar een praktisch meetbare indicator gekregen. Dit wordt in dit rapport verder uitgewerkt n.a.v. de bronnenstudie. Er worden geen additionele effectdoelen voorgesteld.

¹ link



Effectdoel	Status 2025	Streefwaarde 2030	Streefwaarde 2035
Lagere CO ₂ -voetafdruk	400-800 grCO ₂ e/Wp ¹²	<500	<250
Minder Giftige stoffen	Meeste panelen bevatten lood, PFAS en antimoon	Loodvrije Single Junction silicium panelen PFAS-vrij Geen nieuwe giftige stoffen geïntroduceerd	Loodvrij PFAS-vrij Antimoon-vrij
Minder grondstoffen	? gr virgin abiotische grondstoffen per Wp	?% reductie	?% reductie
Verlengen technische levensduur	Panelen: 25 Omvormer: 10-15 Constructie: ?	Panelen: 30 Omvormer: ? Constructie: ?	Panelen: 35 Omvormer: ? Constructie: ?
Verlengen economische levensduur	Panelen: 15? Omvormer: 10? Constructie: 15?	Panelen: 25 Omvormer: ? Constructie: 25	Panelen: ? Omvormer: ? Constructie: ?
Verhogen hergebruik	?	?	?
Hoogwaardige circulaire verwerking	Frames: hoog Glas: laag Verlijming: laag Cellen: laag Omvormers: laag Constructie: hoog	Frames: hoog Glas: hoog Verlijming: laag Cellen: laag Omvormers: hoog Constructie: hoog	Alle componenten worden hoogwaardig verwerkt
Terugwinnen kritieke grondstoffen	?	25%	?
Gezond aandeel eigen productie EU	Polysilicium ¹³ : 8% Wafers: <1% Cellen: <1% Modules: 3% Omvormers: ? Constructies: ?	>40%	>40%
Verkleinen afhankelijkheid van 1 land	Polysilicium: 80% China Wafers: 97% China Cellen: 85% China Modules: 75% China Omvormers: ? Constructies: ?	<65%	<65%
Verdienvermogen Nederlandse maakindustrie	?	?	?
Eerlijke arbeidsomstandigheden in productie en installatieketen	Sterke aanwijzingen dwangarbeid bij silicium productie in China ¹⁴	Dwangarbeid-vrije componenten	

Figuur 1 Effectdoelen, status en ambities uit Routekaart Circulaire Zonnestroomsystemen en Weerbare Sector

De effectdoelen groeperen we in 3 thema's zoals in Figuur 2 samengevat:

- Materiaalgebruik en milieuimpact
- Verwerking en hergebruik
- Weerbaarheid sector





Figuur 2 Indeling van effectdoelen in de drie thema's: 1) Materiaalgebruik en milieuimpact, 2) Verwerking en hergebruik, en 3) Weerbaarheid sector

Aan de hand van bronnenonderzoek is een update gemaakt van het overzicht van de effectdoelen. Hieraan zijn de gevonden indicatoren, en de mogelijke bronnen toegevoegd. We hebben de indicatoren van de effectdoelen zo veel mogelijk getoetst aan praktische bruikbaarheid in relatie tot de monitoring. De keuze voor indicatoren is gebaseerd op de mate waarin de stand van zaken in relatie tot het effectdoel weergegeven wordt, en de mate waarin informatie beschikbaar is of redelijkerwijs gemaakt kan worden voor een structurele monitoring. Dit geldt ook voor de afbakening van wat er gemonitord wordt. Idealiter worden de indicatoren voor het hele zonnestroomsysteem in kaart gebracht. In de praktijk is de relevantie en databeschikbaarheid voor de zonnepanelen groter, en is het meer voor de hand liggend op (ook) apart op panelen te monitoren.

1.3 Status en ambities

De status van de effectdoelen in 2025 is aan de hand van de bronnenstudie zo goed mogelijk gevalideerd. Indien het niet mogelijk bleek om van het jaar 2025 cijfers weer te geven, is teruggesproken op cijfers uit andere jaren die wel beschikbaar zijn. Ook wordt gebruik gemaakt van indicatoren die in de andere routekaart-projecten ontwikkeld worden. Dit gaat met name over de indicatoren 'economische levensduur' en 'eerlijke arbeidsomstandigheden'. De status van de effectdoelen is per effectdoel in het rapport vermeld en wordt in de bijlage in een overzicht weergegeven.

De ambities voor 2030 en 2035 zijn niet puur uit bronnenonderzoek te valideren. Ambities zijn streefwaarden die zowel haalbaar als wenselijk zijn. Wat haalbaar is, is sterk afhankelijk van zowel autonome ontwikkelingen en van sturing door nationaal en Europees beleid. Dit kan sturing zijn door eisen te stellen aan PV-systemen (wettelijk of via subsidie-instrumenten), of door bepaalde ontwikkelingen te stimuleren. In een aantal gevallen zal Europese sturing het meest effectief zijn, met name om een gezond aandeel eigen productie in de EU te krijgen. Als er geen extra sturing plaatsvindt, is de kans groot dat bepaalde wenselijke streefwaarden niet gehaald gaan worden. Sturing op een effectdoel kan ook invloed hebben hoe andere effectdoelen zich ontwikkelen. Het stellen van eisen aan PV-panelen (lage milieuimpact, voorkomen van dwangarbeid) kan bijvoorbeeld tot gevolg hebben dat producenten in de EU zich



kunnen onderscheiden van de 'mainstream' PV-producenten, waardoor een Europees en Nederlands ecosysteem makkelijker kan ontstaan en groeien. Dit zal ook het verdienvermogen van de Nederlandse maakindustrie verhogen.



2 Literatuur- en bronnenstudie

In de literatuurstudie is een serie actuele bronnen verzameld m.b.t. de circulariteit van zonnestroomsystemen. Deze bronnen zijn veelal internationaal van aard of afkomstig van kennisinstellingen uit Nederland. De literatuurstudie laat zien dat er veel onderzoek wordt gedaan naar circulariteit van zonnestroomsystemen, maar dat structurele, openbare databronnen ontbreken. Vanuit de literatuur en andere bronnen is het wel mogelijk om te komen tot een werkbare set indicatoren. Ook kan een opzet voor structurele monitoring worden geschetst. Voor sommige effectdoelen van de monitor worden aan de hand van het bronnenonderzoek andere indicatoren voorgesteld dan in de routekaart, ter verbetering van de monitoring.

2.1 Materiaalgebruik & milieuimpact

2.1.1 Bronnen

Voor het thema materiaalgebruik en milieuimpact is een aantal bronnen doorgenomen. Met name de bronnen van de International Energy Agency (IEA) geven een praktisch overzicht van de stand van zaken. Task 12 van de IEA-PVPS houdt zich bezig met de (internationale) ontwikkelingen op gebied van PV, PV LCA's en PV-recycling. Daarmee biedt het een schat aan rapporten waaruit een redelijk goed beeld van de status quo wordt verkregen, wanneer wordt aangenomen dat de markt voor PV in Nederland niet heel anders is dan internationaal.

Voor deze studie en dit thema zijn de volgende bronnen doorgenomen:

- Environmental Life Cycle Assessment of Passivated Emitter and Rear Contact (PERC) Photovoltaic Module Technology (IEA, 2024)
- Resource Use Footprints of Residential PV Systems (IEA, 2022)
- Factsheet - Environmental Life Cycle Assessment of Electricity from PV Systems (IEA, 2023)
- Photovoltaics report (Fraunhofer Institute, 2025)
- Marktgids Duurzame Zonnepanelen (Buyer Group Duurzame Zonnepanelen, 2024)
- Duurzame Zonnepanelen Wijzer (PIANOo, 2026)
- A Critical review of the circular economy lithium-ion batteries and photovoltaic modules –status, challenges, and opportunities (Heath, Ravikumar, Hansen & Kupets, 2022)
- Stralen zonder schaduw, Copper8 (2025)
- Nationale Milieudatabase, milieudatabase.nl
- Monitor Zon-PV 2025 (RVO)²
- Gesprekken met Holland Solar, Stichting OPEN, Solarwatt, CBS, TNO, Copper8

2.1.2 Lagere CO₂-voetafdruk

Voor de Monitor routekaart circulaire zonnestroomsystemen (verder: de monitor) drukken we dit effectdoel uit in de indicator CO₂-uitstoot in de productiefase (dit is fase

² <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2025/09/23/monitor-zon-pv-2025>



A1-3 in de levenscyclusanalyse³), met de eenheid gCO_2/W_p of $\text{kgCO}_2/\text{kW}_p$. Met de CO_2 -uitstoot wordt in dit rapport altijd CO_2 -equivalenten bedoeld. De uitstoot van andere broeikasgassen wordt omgerekend naar de impact van CO_2 . De hoeveelheid $\text{Watt}_{\text{piek}}$ (W_p) van een systeem is onafhankelijk van de omstandigheden waarin het systeem functioneert (zoninstraling, oriëntatie van installatie, wel of geen tracker). Met het relateren aan W_p kunnen systemen op eenduidige manier met elkaar vergeleken worden. In de literatuur (met name in verschillende LCA-studies) wordt vaker gewerkt met gCO_2/kWh als functionele eenheid van een systeem. Hiermee wordt echter vooral de zoninstraling als belangrijke factor t.o.v. de CO_2 -voetafdruk geplaatst, en niet alleen de eigenschappen van het systeem zelf. Terugrekenen naar W_p is lastig als de aannames niet precies bekend zijn, en niet wenselijk om uit te voeren voor een monitor zoals in dit project.

De Marktgids Buyer Group noemt ca. $1000 \text{ gCO}_2/\text{W}_p$ voor “mainstream” zonnepanelen, en $500\text{-}550 \text{ gCO}_2/\text{W}_p$ voor “low-carbon” zonnepanelen. Dunne-film (thin film, TF) zonnepanelen hebben een voetafdruk die nog een factor 2 lager is, tussen de 260 en $300 \text{ gCO}_2/\text{W}_p$. De lagere voetafdruk van low-carbon en dunne-film zonnepanelen spelen geen grote rol in Nederland, aangezien mainstream zonnepanelen zo’n 95% van de markt beslaan. Copper8 vindt een voetafdruk van $400\text{-}800 \text{ gCO}_2/\text{W}_p$ voor een aantal geanalyseerde Environmental Product Declarations (EPD’s, in het betreffende rapport opgesteld volgens EPD Norge), als indicatie welke voetafdruk mogelijk is. Deze waarden geven echter niet per definitie een geschikte indicatie voor de voetafdruk van een gemiddeld paneel dat in Nederland geïnstalleerd wordt. De genoemde $1000 \text{ gCO}_2/\text{W}_p$ uit de Marktgids Buyer Group is wel gebaseerd op mainstream panelen en zou daarmee representatief kunnen zijn voor Nederland, op het moment van rapportage. IEA’s meest recente LCA-studie (2024) geeft een waarde van $20,7 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$ bij een zoninstraling van $1.820 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jaar}$ en $21,16\%$ panelefficiëntie. Voor Nederland, met een zoninstraling van zo’n $1.100 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{jaar}$ zou dit, evenredig met de zoninstraling, grofweg een voetafdruk opleveren van ongeveer $34 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$. Omgerekend naar een waarde per W_p (met een aangenomen jaarlijkse opbrengst⁴ van $0,84 \text{ kWh}/\text{kW}_p$) en 25 jaar opbrengst uit de panelen komt dit neer op ongeveer $700 \text{ gCO}_2/\text{W}_p$ in Nederland.

Een alternatief kan zijn om gegevens uit de Nationale Milieudatabase te gebruiken, hoewel dit geen accuraat beeld zal geven over het aandeel van elk van de systemen in de jaarlijks in Nederland geïnstalleerde systemen. De bandbreedte van de CO_2 -voetafdruk van de NMD-milieuverklaringen is $400\text{-}1900 \text{ gCO}_2/\text{W}_p$. Met name de gunstigere waarden in dit overzicht geven mogelijk een te rooskleurig beeld wat de CO_2 -voetafdruk en grondstoffenuitputting gemiddeld is van de systemen die daadwerkelijk in Nederland geïnstalleerd worden. Wel geeft het een goed beeld welke verbetering in eigenschappen mogelijk is in vergelijking tot de mainstream systemen. Daarmee kan het ook een hulpmiddel zijn om te bepalen welke hoogte (of: verlaging) van de voetafdruk mogelijk is met bestaande commerciële systemen. Het is mogelijk dat de in de NMD opgenomen milieuverklaringen verouderd zijn en nieuwere systemen

³ In de levenscyclusanalyse wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende levensfasen: productiefase (A1-3) en constructiefase (A4-5) – samen fase A, gebruiksfase (B) en sloopfase (C), en impact buiten de levensloop (module D).

⁴ Gehanteerde waarde in de SDE++ in 2025



beter scoren. Een milieuverklaring die in het bijzonder beschouwd kan worden, is de categorie 2-verklaring vanuit de branche (opgesteld in opdracht van Holland Solar). In deze milieuverklaring is het hele systeem beschouwd, dus de zonnepanelen, omvormer, montagesysteem en uitrusting (bekabeling en koppelkast). In de bronnenstudie hebben we gezien dat er grote verschillen zijn in beschikbaarheid van informatie tussen de onderdelen van het systeem, en ook in de mate waarin de onderdelen bijdragen aan de score van de indicatoren (en dus het meest relevant zijn om te verminderen en te monitoren). Voor de PV-panelen is relatief veel informatie beschikbaar, en dit onderdeel draagt ook veel bij aan de milieupact en materiaalgebruik: in de LCA-studie van IEA PVPS (2023) is meer dan de helft van de CO₂-voetafdruk te relateren aan het zonnepaneel. Uit het achtergrondrapport⁵ van de categorie 2-milieuverklaring wordt de bijdrage van het paneel zelfs berekend op circa 85%, zowel wat betreft de CO₂-voetafdruk van een systeem als wat betreft de massa van het totale systeem. Om die reden is voorgesteld om voor een aantal effectdoelen in de monitor apart (ook) op de panelen te monitoren. Bij gebrek aan gegevens (bijvoorbeeld over bekabeling en montagesysteem) kan ervoor gekozen worden om (te bepalen) standaardwaardes aan te nemen. Deze kunnen gebaseerd zijn op bekende waardes vanuit NMD of IEA en periodiek een update krijgen.

Er is een actueel overzicht beschikbaar waarbij voor een groot aantal paneelseries de waardes voor de CO₂-voetafdruk gekoppeld zijn aan de betreffende panelen. Dit overzicht, de Duurzame Zonnepanelen Wijzer⁶ (DZW), is uitgevoerd door PIANOo in opdracht van RVO. De waardes voor de voetafdruk zijn gebaseerd op de betreffende EPD's en liggen tussen de 200-800 gCO₂/W_p. De DZW zal elke 3 maanden een update krijgen, in elk geval tot eind 2026 en naar verwachting daarna ook. Omdat dit zeer recent uitgevoerd is, en een groot aantal (ook mainstream) zonnepaneelfabrikanten onderzocht is, zien we deze data om die reden als de meest betrouwbare bron voor de actuele stand van zaken.

De gevonden waardes hebben een vergelijkbare grootte. Met uitzondering van het Fraunhofer rapport gaat het in alle gevallen om eenmalige studies, en niet om structurele, jaarlijks vernieuwde bronnen. Voor deze monitor is het mogelijk om het DZW-overzicht te gebruiken (en periodiek te updaten) in combinatie met de in Nederland geïnstalleerde systemen. Van de meeste typen zonnestroomsystemen is een EPD, of een EPD van een vergelijkbaar zonnepaneel te vinden. Deze EPD's bevatten de resultaten van de LCA. Daarnaast is er vaak een datasheet van de leverancier, waar verschillende eigenschappen van het systeem vermeld staan. Als de specificaties uit de EPD's en datasheets gekoppeld kunnen worden aan de geïnstalleerde hoeveelheden van dat type in een jaar, dan kan de CO₂-voetafdrukverdeling met redelijke nauwkeurigheid gemonitord worden.

Op basis van beschikbaarheid van panelen met een lage CO₂-voetafdruk kan aan de voetafdruk een eis gesteld worden (al dan niet in combinatie met een subsidieregeling). In de SDE++ openstelling 2026 wordt aan de CO₂-voetafdruk een maximum van

⁵ LCA achtergrondrapport NMD; <https://hollandsolar.nl/uploads/files/r002-02-087692-holland-solar-pv-plat-dak-1.pdf>

⁶ <http://duurzamezonnepanelen.org/duurzamezonnepanelenwijzer/>



550 kgCO₂/kW_p (o.b.v. EPD Norge) als voorwaarde gesteld⁷. Dit was ook een aanbeveling uit het Inkoopproject over verduurzaming van inkoop⁸.

CO₂-voetafdruk

Indicator [eenheid]	subtype	status	Bronnen [jaartal]
CO ₂ -uitstoot A1-3 [gCO ₂ /W _p]	Paneel	400-800 1000 700 400-1900 200-800	Copper8 Marktgids Buyer Group IEA NMD-verklaringen DZW
	Systeem	1180	NMD categorie 2

2.1.3 Minder giftige stoffen

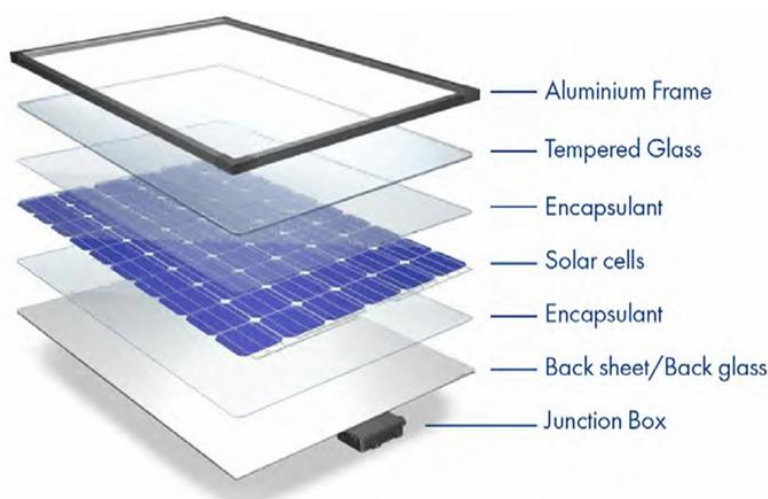
Dit effectdoel is opgesplitst in drie indicatoren: de hoeveelheid lood, PFAS en antimoon. Ook hier is het gewenst dit uit te drukken per W_p. Uit het bronnenonderzoek blijkt dat het moeilijk is om deze indicatoren direct af te leiden uit LCA's of uit bijvoorbeeld het Fraunhofer rapport. Het Fraunhofer rapport geeft wel de massapercentages van verschillende onderdelen van een PV-systeem waarin giftige stoffen kunnen voorkomen (in het PV-paneel), maar relateert deze niet altijd aan de massa van die stoffen zelf, of aan verschillende typen of het aantal W_p. De aanwezigheid van deze giftige stoffen wordt alleen voor PV-panelen gespecificeerd en verondersteld wordt dat deze indicator met name voor PV-panelen relevant is. Uit datasheets van de PV-panelen kan in veel gevallen afgeleid worden of panelen lood, PFAS of antimoon bevatten als dit expliciet wordt genoemd en/of afgeleid kan worden uit de gebruikte materialen (bijvoorbeeld PFAS in bepaalde backsheets of antimoon in solar-grade glas). Voor een kwantitatieve vertaling naar hoeveelheden biedt het onderzoek uit de Marktgids Buyer Group houvast met een aantal getallen:

- PFAS in backsheet: 60-140 g (per paneel); PFAS-vrije backsheet (PET/PO) of glas-glas zonnepanelen: 0 (40% markt PFAS-vrij)
- Lood: 5-15 g lood (in soldeertin en in metaalpatroon op de zonnecellen); aantal loodvrije opties (95% markt met lood)
- Antimoon: in Chinees glas: 40-80 g per paneel; aantal Sb-vrije opties in EU/India. (95% markt met antimoon)

⁷ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2026/02/13/openstelling-sde-2026>

⁸ <https://duurzamezonnepanelen.org>





Figuur 3 Schematische weergave van de onderdelen van een zonnepaneel (Routekaart Circulaire Zonnestroomsystemen en Weerbare Sector)

Voor de monitor kan een oplossing worden gekozen om bij te houden of de geïnstalleerde systemen een of meerdere giftige materialen bevatten. Het actuele overzicht van de Duurzame Zonnepanelen Wijzer (DZW) geeft informatie over de aanwezigheid van giftige materialen in de typen zonnepanelen. Bij een groot aantal zonnepanelen in de lijst wordt vermeld dat ze PFAS-vrij zijn. Antimoonvrije panelen worden nog weinig vermeld, en de aanwezigheid van lood is veelal niet bekend. Deze gegevens kunnen gekoppeld worden met de opgehaalde aantallen per type. Waar informatie onbekend is, of een paneel niet in de lijst voorkomt, kan de aanname gemaakt worden dat de stof er wel in zit. Een alternatief is om het type paneel (glas-glas of glas-backsheet) uit te vragen of in een marktscan het aandeel glas-glas panelen te bepalen.

Met deze aanpak worden de indicatoren gespecificeerd naar het aandeel van de totaal geïnstalleerde hoeveelheid dat vrij is van lood, PFAS en antimoon. Eventueel kan additioneel de vertaling worden gemaakt naar de totale hoeveelheid van elke giftige stof uit de gegevens van de Marktgids Buyer Group (en voor loodhoudende panelen uit het Fraunhofer rapport) voor het totaal aan geïnstalleerde panelen, per paneel of per W_p .

Minder giftige stoffen

Indicator [eenheid]	subtype	status	Bronnen
Aandeel loodvrij [%]	Paneel	5%	Marktgids Buyer Group
Aandeel PFAS-vrij [%]	Paneel	40%	Marktgids Buyer Group
Aandeel antimoon-vrij [%]	Paneel	5%	Marktgids Buyer Group

2.1.4 Minder grondstoffen

Deze indicator zou uitgedrukt moeten worden in de totale massa van het systeem (en/of het paneel) en het massapercentage primaire abiotische grondstoffen. De massa van een zonnepaneel wordt over het algemeen weergegeven in bijbehorende datasheet. Daarnaast wordt het aandeel gerecyclede en biobased grondstoffen



aangegeven in de EPD en mogelijk ook in de datasheet. De inschatting voor nu is dat in elk geval de panelen weinig biotische en gerecyclede grondstoffen bevatten. Uitzondering is mogelijk het aluminium in het frame. Voor het hele systeem, met name het (metalen) montagesysteem, kan dit anders zijn en wordt dit mogelijk deels uit gerecycled materiaal geproduceerd. De andere componenten naast het paneel vormen echter een beperkt gedeelte van de totale massa.

Een alternatieve methode is om, naast totale massa, te kijken naar de indicator Abiotic Depletion Potential (ADP) in de productiefase (A1-3) die in de LCA is opgenomen. Deze indicator geeft aan in welke mate een product bijdraagt aan de uitputting van mineralen en metalen en welke milieuschade hieraan gekoppeld wordt. Dat is in lijn met het thema en het effectdoel van de monitor. De ADP wordt uitgedrukt in kgSb-eq, zodat alle materialen met elkaar vergeleken kunnen worden. De ADP van een paneel is veel kleiner dan van een compleet systeem, maar de ADP van een groot paneel ligt wel in dezelfde orde grootte als die van een kleine warmtepomp. Met name koper, staal en elektronica dragen sterk bij aan een hoge waarde van de ADP. Via een vergelijkbare koppeling als bij *CO₂-voetafdruk* en *Minder giftige stoffen* zou zowel de massa als de ADP als indicator opgenomen kunnen worden in de monitor.

Minder grondstoffen

Indicator [eenheid]	subtype	status	bronnen
Massa [kg/kW _p]	Paneel	54	NMD categorie 2
	Systeem	64	NMD categorie 2
Aandeel secundair+biotisch [%]	Paneel	-	-
ADP [kgSb-eq/W _p] in A1-3	Paneel	2 – 6*10 ⁻⁵	NMD verklaringen
	Systeem	2,4*10 ⁻⁴	NMD categorie 2

2.1.5 Verlengen technische levensduur

De gewenste indicator voor dit effectdoel is de technische levensduur waarbij het systeem nog in ieder geval 80% van de opgegeven capaciteit produceert. Producenten geven zowel productgaranties op (onderdelen van) hun producten, als ook prestatiegaranties. De prestatiegaranties geven echter geen garantie dat de producten ook daadwerkelijk zo lang meegaan in de praktijk, maar wel een indicatie wat waarschijnlijk is. Een productgarantie kan lager opgesteld worden vanwege juridische redenen of financiële overwegingen. In de Marktgids Buyer Group worden productgaranties gerapporteerd tussen de 10-15 jaar (omvormer, junction box) en 12-40 jaar (paneel). De gerapporteerde prestatiegaranties van systemen zijn 25 jaar. Hierbij is gerekend met een eenmalige vervanging van de omvormer. In de milieuverklaringen in de Nationale Milieudatabase worden geen prestatiegaranties gegeven, maar wel de productlevensduur. Deze is voor een groot aantal panelen gelijk aan 25 jaar met een enkele uitschieter naar 45 en 49 jaar, en voor de omvormers gelijk aan 15 jaar. Dit is hoger dan veel van de productgaranties die in de Marktgids Buyer Group naar voren komen. De reden hiervoor is mogelijk dat de zonnepanelen die beschikbaar zijn in de NMD waarschijnlijk in het kwalitatief hogere segment vallen. De garantie is mogelijk afhankelijk van de kwaliteit van de gebruikte materialen.



Voor de inkoopcriteria (volgend uit het Inkooponderzoek) worden de prestatiegaranties als leidraad gebruikt. Dit geldt ook voor het actuele overzicht van de Duurzame Zonnepanelen Wijzer (DZW). Hier wordt per paneeltype de levensduur weergegeven op basis van de prestatiegarantie in jaren. Voor de monitor zouden beide indicatoren meegenomen kunnen worden, met een voorkeur voor de prestatiegarantie. Er kan vanuit de gegeven datasheets met product- en prestatiegaranties een beeld worden verkregen van de verwachte technische levensduur. Als deze gekoppeld worden aan de aantallen geïnstalleerde systemen, wordt naar verwachting een goed beeld verkregen van de levensduurverdeling binnen de geïnstalleerde systemen. Op termijn is een accuratere sturing denkbaar, bijvoorbeeld via monitoring van de kwaliteit van de gebruikte materialen en een koppeling met een model dat een levensduurverwachting berekent op basis van bekende faalmechanismen. Deze optie is voor de monitor niet verder uitgewerkt.

Verlengen technische levensduur

Indicator [eenheid]	subtype	status	bronnen
Prestatiegarantie	Paneel	25-30 jaar	DZW
	Systeem	25	Marktgids Buyer Group
Productgarantie [jaar]	Paneel	12-40 25-49	Marktgids Buyer Group NMD
	Systeem	25	NMD categorie 2

2.2 Verwerking en hergebruik

2.2.1 Bronnen

Voor dit thema zijn de volgende bronnen doorgenomen:

- A critical review of the circular economy lithium-ion batteries and photovoltaic modules –status, challenges, and opportunities (Heath, Ravikumar, Hansen & Kupets, 2022)
- Preliminary Environmental and Financial Viability Analysis of Circular Economy Scenarios for Satisfying PV System Service Lifetime (IEA, 2021)
- Advances in Photovoltaic Module Recycling (IEA, 2024)
- Status of PV recycling in IEA PVPS countries (IEA, 2025)
- Kansen en uitdagingen voor circulaire Zon PV (M2i instituut, 2021)
- End of life management – Solar Photovoltaic Panels (IRENA, 2016)
- Roadmap circulaire fotovoltaïsche industrie (Stichting OPEN, 2021)
- End-of-Life Management of Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies (IEA, 2018)
- Gesprekken met Stichting OPEN, Mirec, Copper8 en TNO

Uit het bronnenonderzoek blijkt dat er veel onderzoek wordt gedaan naar de circulariteit van zonnestroomsystemen en dan met name van de panelen. Op dit moment zit de verwerking van zonnepanelen in Nederland in de opstartfase, en zal de komende jaren verder uitgerold worden. Voor een goede business case van volledige hoogwaardige verwerking is op dit moment nog onvoldoende volume beschikbaar. Dit wordt nader beschreven bij de betreffende effectdoelen.



2.2.2 Verlengen economische levensduur

De economische levensduur geeft aan hoelang het economisch rendabel blijft om panelen in gebruik te houden. Het weerspiegelt daarmee ook deels de technologische ontwikkeling van zonnestroomsystemen. Hoe sneller die ontwikkeling gaat, hoe eerder het rendabel wordt om bestaande systemen te vervangen voor beter presterende systemen. De economische levensduur lijkt in de praktijk sterk afhankelijk van technologische ontwikkelingen (vroegere vervanging voor systemen met een hogere efficiëntie), maar ook andere factoren kunnen een rol spelen, zoals het einde van een subsidieregeling of verwijderen van de zonnepanelen bij een dakrenovatie.

Het blijkt dat hoe deze “uitfasering” in de keten plaatsvindt momenteel nauwelijks goed te herleiden is: bij inzameling voor hergebruik of recycling wordt niet structureel bijgehouden hoe oud systemen zijn, al maakt Mirec (de recycler van zonnepanelen vanaf 2026) wel een inschatting van leeftijd en producttype van de panelen die voor recycling worden aangeboden. Panelen die maximaal 8 jaar oud zijn, worden aangeboden voor hergebruik. Panelen die ouder zijn dan 8 jaar worden verwerkt in een recyclingproces. Stichting OPEN hanteert op dit moment deze grens van 8 jaar als op basis van een levenscyclusanalyse (LCA). In de LCA wordt de milieupact meegenomen van productie (van nieuwe panelen), van het verwerkingsproces en van de vermeden uitstoot van reguliere elektriciteit. Dit laatste is afhankelijk van de efficiëntie van het zonnepaneel, en kan bij een nieuw paneel (met hogere opbrengst) groter zijn. De herinzet vindt dan plaats na het uitvoeren van een test op de energieopbrengst. In de gebruikte bronnen worden verschillende reparatie-opties genoemd die de gebruiksduur kunnen verlengen, zoals reparatie van bypass diode, encapsulant, junction box, backsheet, glas en connectors. In principe kan tijdige vervanging van (delen van) het systeem ervoor zorgen dat het systeem elektriciteit blijft genereren, en kan gerepareerde PV mogelijk een markt bedienen die geen nieuwe PV kan betalen.

Voor de monitor willen we de economische levensduur in kaart brengen. Een mogelijke eerste stap is het ontsluiten van pragmatische ketendata: leeftijdsindicaties en een inschatting van het paneeltype bij inzameling. Deze informatie kan gecombineerd worden met een eenduidige registratie (aan- en afmelding bij de netbeheerder) van het moment en de reden van uitfasering. Redenen van uitfasering zijn bijvoorbeeld storingen, repowering, schade, of afloop van een subsidieregeling. Met deze informatie ontstaat een eerste duiding van economische levensduur, voordat er sprake kan zijn van een precieze, breed gedragen indicator. Vanuit het routekaart-project over economische levensduur (‘Monitoring verlengen van de economische levensduur van bestaande zakelijke zonnestroomsystemen op daken’) wordt door Copper8 onderzocht welke indicator het best bruikbaar is om economische levensduur uit te drukken, en welke bronnen er zijn die een uitspraak kunnen doen over de huidige stand van zaken. In dit parallelle onderzoek worden interviews gehouden met diverse partijen en een enquête onder de SDE+-projecten, met name om een inschatting te maken hoeveel systemen voortijdig (en na hoeveel jaar) worden verwijderd of vervangen, en waarom.

Voor de monitor zal worden aangesloten op bovenstaand project voor de definitie van de indicator voor economische levensduur en de manier van achterhalen van de



betreffende data. In dit rapport wordt om die reden nog geen indicator met bronnen benoemd voor de structurele monitor.

2.2.3 Verhogen hergebruik

In de routekaart is dit effectdoel gespecificeerd als direct hergebruik als zonnestroomsysteem. Uit het bronnenonderzoek blijkt dat “tweedehands” PV opnieuw inzetten technisch mogelijk is, bijvoorbeeld met vervanging van omvormer en kabels, en dat dit vanuit milieukundig principe vaak te prefereren is, met name in geval van installatie buiten Nederland (vanwege de hogere opbrengst en daarmee vermeden reguliere elektriciteit). Dit hangt wel af van de mate van degradatie van het zonnepaneel (lage efficiëntie) en de hoeveelheid materialen die uit het oude paneel teruggewonnen kunnen worden om een nieuw zonnepaneel te produceren met een veel hogere efficiëntie. Zoals genoemd in de vorige paragraaf hanteert Stichting OPEN een paneelleeftijd van 8 jaar waarbij de preferentie overgaat van hergebruik (als product) naar recycling (van materialen). Tegelijkertijd wordt aangegeven dat deze keuze economisch vaak niet uit kan, omdat de installatiekosten een aanzienlijk deel van de totale kosten uitmaken, waardoor het relatief weinig extra kost om nieuwe panelen te installeren (i.p.v. tweedehands panelen). Hierdoor is de tweedehands PV-markt in Nederland niet zo groot, waardoor de impact van hergebruik mogelijk beperkt blijft. In het buitenland kunnen de overwegingen (kosten versus opbrengst) anders uitpakken, mede doordat op andere plekken de zoninstraling veel hoger is en hetzelfde paneel dus een hogere opbrengst heeft. Ook hier geldt dat er (nog) geen bronnen zijn gevonden die de status en totale omvang van hergebruik in de markt goed kwantificeren; het wordt vooral als optie beschreven. Met name de hoeveelheid export van zonnepanelen is niet in beeld.

Voor de monitor liggen de volgende stappen voor de hand:

- zichtbaar maken welke volumes PV afgedankt worden, bijvoorbeeld door een afmeldsysteem;
- in kaart brengen waar deze stromen terecht komen (inzameling in NL voor hergebruik en recycling, export binnen EU, export buiten EU). Voor de toepassing van hergebruik kan een aanmeldsysteem gebruikt worden.
- in kaart brengen welk deel daarvan daadwerkelijk een tweede toepassing krijgt, en voor welk deel dit niet mogelijk is. Hierbij wordt waar mogelijk de belangrijkste belemmering vermeld (kwaliteit, garantie, logistiek, certificering/acceptatie).

Er lopen op dit moment diverse activiteiten om bovenstaande inzichten te krijgen. Cijfers van het hergebruik van zonnepanelen binnen NL via de inzamelingsroute worden al door Stichting OPEN verzameld. Daarnaast is het Ketendoorbraakproject ‘Hergebruik van zonnepanelen’ gestart, waarbij het doel is om een landelijk inzamelsysteem te ontwikkelen voor het circulair hergebruik van complete PV-systemen⁹. Stichting OPEN laat op dit moment onderzoek uitvoeren naar (hergebruik door) export naar het buitenland. De resultaten hiervan zullen naar verwachting eind 2026 beschikbaar zijn. In het routekaart-project over economische levensduur wordt door middel van enquêtes bij een selectie van SDE-projecten in kaart gebracht hoeveel systemen na afloop van de subsidieperiode worden verwijderd of vervangen. Dit soort

⁹ <https://versnellingshuisce.nl/circulaire-ketens/ketendoorbraakprojecten/ketendoorbraakproject-8-hergebruik-van-zonnepanelen>



systemen vormen een aanzienlijk aandeel van het totaal aan geïnstalleerde PV in Nederland. Ook wordt uitgevraagd wat de redenen zijn voor verwijderen van het systeem en wat de verwerkingsscenario's zijn van deze systemen. Indien mogelijk kan in een latere fase van de monitor op basis van deze onderzoeken een aanbeveling gedaan worden voor de monitoring van hergebruik. In dit rapport wordt om die reden nog geen indicator met bronnen benoemd voor de structurele monitor.

2.2.4 Hoogwaardige circulaire verwerking

Voor cijfers over inzameling en recycling wordt nu al gebruik gemaakt van rapportages van Stichting OPEN. Er wordt gerapporteerd over het aantal ton PV-panelen dat op de markt wordt gebracht en wordt ingezameld. Van het aantal ton ingezamelde PV wordt gerapporteerd over het aandeel 'Recycling' en 'Nuttige toepassing'. Voor de op te zetten monitor is een hoger detailniveau gewenst wat betreft hoogwaardige recycling. In de routekaart is dit doel opgedeeld naar een tussenstap in 2030 (frames, glas, omvormer en constructie) en een ambitieuzer beeld richting 2035 (alle componenten). Uit het bronnenonderzoek blijkt dat er veel onderzoek wordt gedaan naar recycling- en verwerkingstechnieken voor PV-panelen, en dat de bottleneck niet zozeer in de techniek zit maar meer in de businesscase. Door de nog beperkte volumes in de reststromen is het moeilijk om processen economisch rendabel te maken (behalve recycling van de frames en de kabels). Daarbij wordt expliciet genoemd dat, om PV-recycling economisch interessant te maken, met name recycling van silicium en zilver noodzakelijk is, omdat deze materialen (potentieel) heel waardevol zijn. De waarde van deze stromen zouden dan de kosten van de andere paneelcomponenten kunnen dekken. Hoogwaardige recycling van de cellen zelf en de verlijming is niet aan de orde. Er worden verschillende procesroutes genoemd die zouden kunnen bijdragen aan recycling van silicium en zilver (zoals chemische processen, hot-knife, pyrolyse en light-jet treatment), maar deze zijn vooralsnog te duur vanwege de kleine reststroom. Op dit moment worden kabels (koper) en frames (aluminium) al goed gerecycled omdat dit relatief eenvoudig is en kosteneffectief. Voor deze materialen is een monitor niet per se noodzakelijk. Het monitoren kan desondanks wel interessant zijn om ontwikkelingen bij te houden (bv panelen zonder frame).

Voor monitoring betekent dit dat alleen "hoogwaardige verwerking" van panelen gemonitord zal worden. Dit wil zeggen dat de kwaliteit van de uitgaande stromen geschikt is voor hoogwaardige toepassingen. Voor het aluminium uit de frames en het koper uit de kabels is dit al het geval. Het gaat dus in de monitor met name om glas, zilver en silicium, en in welke volumes dit plaatsvindt. De omgang met materialen zilver en silicium wordt behandeld in de volgende paragraaf over terugwinning van kritieke materialen.

Per 2026 worden PV-panelen in Nederland verwerkt volgens contract met Stichting OPEN¹⁰. Deze monitoring kan direct worden gebaseerd op de cijfers die van de recycling-partij(en) afkomstig zijn. Dit kan echter alleen gepubliceerd worden als er voldoende verwerkers gecontracteerd zijn, zodat de cijfers niet herleidbaar zijn naar individuele verwerkers (dit is onwenselijk vanuit concurrentie-overwegingen). Op dit

¹⁰ <https://www.stichting-open.org/2025/04/28/primeur-stichting-open-sluit-contract-met-mirec-voor-eerste-hoogwaardige-verwerking-zonnepanelen-in-nederland/>



moment is er één verwerker gecontracteerd, en kunnen om die reden nog geen details worden gedeeld voor de monitor. In 2025 werd hoogwaardige verwerking in Nederland dus nog niet gemonitord. Wel is bekend wat ongeveer de aandelen van de materialen zijn (in massapercentage) van de totale ingezamelde massa, zoals weergegeven in onderstaand overzicht. Vanaf 2026 kunnen dan de verwerkte aantallen gemonitord worden. In eerste instantie zal dit een totaalpercentage van de teruggewonnen materialen: de MR-waarde (material recovery). Bij een groter aantal verwerkers zal het mogelijk worden om de terugwinning per materiaal weer te geven, mogelijk al vanaf 2030. Het teruggewonnen glas gaat naar de glasindustrie voor herinzet in verschillende glasproducten. Idealiter wordt ook bijgehouden voor welk toepassingsgebied de kwaliteit van het teruggewonnen glas geschikt is (isolatieglas, verpakkingsglas of een hoogwaardiger bestemming). Op dit moment wordt dat echter niet gerapporteerd.

In de rapportages die Stichting OPEN ontvangt, worden alleen de zonnepanelen als aparte stroom benoemd. De verwerking van kabels en omvormers (en ook de montagesystemen) kunnen om die reden niet via deze route gemonitord worden, en blijven hier buiten beschouwing.

Hoogwaardige recycling van panelen

Indicator [eenheid]	subtype	status		bronnen
Hoeveelheid ingezamelde panelen [ton]	panelen	2219		Stichting OPEN
		aandeel	recycling	
Aandeel te recyclen materialen [%] en recyclinggraad [%]	MR-waarde	100%	-	Stichting OPEN
	aluminium	14-17%	~100%	
	koper	1%	~100%	
	glas	70%	-	

2.2.5 Terugwinnen kritieke materialen

In zonnestroomsystemen kan een aantal kritieke materialen worden gevonden. Terugwinning van deze materialen is van belang voor de materiaal-onafhankelijkheid van Nederland. In de EU-lijst van kritieke grondstoffen (in de bijlage van de nationale grondstoffenstrategie) wordt alleen silicium genoemd als een kritieke grondstof die in een relevante hoeveelheid in PV-panelen voorkomt. In de PV-wereld zijn echter ook zorgen dat het aandeel van de wereldwijde productie van zilver voor PV-toepassingen al vrij groot is, en dit voor druk kan zorgen op beschikbaarheid en prijs. Om die reden is het wel van belang om de terugwinning ook van zilver te monitoren.

Het terugwinnen van deze kritieke materialen is technisch mogelijk, zoals beschreven in paragraaf 2.2.4. Bij silicium gaat het om het terugwinnen van metallisch silicium. Dit is van belang omdat het produceren van nieuw metallisch silicium een energie-intensief proces is. Voor hoogwaardige verwerking is het verder van belang welke zuiverheid uiteindelijk behaald kan worden (2N, 4N, 9N of beter). Dit bepaalt de mogelijke toepassing in nieuwe producten, waarbij voor zonnecellen de eisen het hoogst zijn. De uiteindelijk behaalde zuiverheid wordt in een vervolproces bepaald, en kan om die reden niet bij de recycler gemonitord worden. Op dit moment worden zilver en silicium



in Nederland nog niet teruggewonnen uit de verwerking van PV. Technisch is dit wel mogelijk, maar de volumes van ingezamelde panelen zijn hier nog te laag om dit rendabel uit te voeren. De laminaten, die na verwijdering van het glas overblijven, worden echter wel bewaard. Dit maakt het mogelijk om de grondstoffen later terug te winnen als er voldoende hoge aanvoer van zonnepanelen is voor een economisch rendabel proces.

Terugwinning kritieke grondstoffen (uit panelen)

Indicator [eenheid]	subtype	status	bronnen
Hoeveelheid [kg of ton]	silicium	-	Stichting OPEN
	zilver	-	

2.3 Weerbaarheid sector

2.3.1 Bronnen

Voor dit thema zijn de volgende bronnen doorgenomen:

- Photovoltaics report (Fraunhofer Institute, 2025)
- Marktgids Duurzame Zonnepanelen (Buyer Group Duurzame Zonnepanelen, 2024)
- Kansen en uitdagingen voor circulaire Zon PV (M2i instituut, 2021)
- Roadmap circulaire fotovoltaïsche industrie (Stichting OPEN, 2021)
- Preliminary Environmental and Financial Viability Analysis of Circular Economy Scenarios for Satisfying PV System Service Lifetime (IEA, 2021)
- Gesprekken met (leden van) de klankbordgroep¹¹ en SolarNL

2.3.2 Gezond aandeel EU-productie

In de routekaart staat als ambitie voor 2030/2035 een aandeel van >40% productie in de EU. Dit is gebaseerd op de doelen van de Net-Zero Industry Act (NZIA). Hierbij wordt wenselijk geacht dat 40% van de Europese markt voor schone energie kan worden ingevuld door Europese productiecapaciteit van groene technologieën zoals zonne-energiesystemen in 2030. In het bronnenonderzoek is de meest geschikte bron hiervoor gevonden in het Fraunhofer Photovoltaics Report. Dit rapport geeft informatie over de oorsprong van PV-panelen en geïnstalleerde capaciteit en kan daarmee in potentie als structurele bron bijdragen aan het monitoren van het aandeel van productielocaties aan de totale productie van PV-panelen. In 2024 werd 96% (86%) van de PV-panelen en bijbehorende componenten in Azië (China) geproduceerd, op een totaal van zo'n 700 GW_p. In Europa vindt productie maar marginaal plaats, in de orde grootte van 1%. Ook worden in het rapport de productiecapaciteiten per segment in de waardeketen benoemd. In Europa ('EU 27') zijn per segment de productiecapaciteiten bekend per augustus 2025. Deze zijn echter niet allemaal operationeel. De marktvraag in Europa was in 2024 rond de 70 GW_p: circa 65 GW_p geïnstalleerd vermogen in 2024 volgens NZIA, en circa 76 GW_p installatiemarkt in 2024 volgens Fraunhofer report. Dit laatste getal is hier aangehouden, omdat ook de

¹¹ Deelnemende partijen aan de klankbordgroep waren naast RVO en TKI UE: Holland Solar, Stichting OPEN en Ministerie van Klimaat en Groene Groei



productiecapaciteiten uit dit rapport afkomstig zijn. Gerelateerd aan de marktvraag in Europa zou bij volledige benutting van de productiecapaciteit het volgende beeld ontstaan van het potentiële aandeel in Europa:

- Poly-Si: 9 GW_p/j (12% van marktvraag Europa)
- Wafer: 0
- Cellen: 4,8 GW_p/j (6%)
- Panelen: 12,2 GW_p/j (16%)

Een aandachtspunt is de afbakening van “EU-productie” in de routekaart: hierbij wordt een onderverdeling gemaakt in de productie van polysilicium, wafers, cellen, panelen, omvormers en constructies. Deze laatste twee worden in de Fraunhofer rapportage niet genoemd, en ook in de andere geraadpleegde bronnen is hiervoor geen informatie voorhanden die de basis kan vormen voor een structurele monitor. Om die reden is het voorstel nu om deze twee laatste indicatoren voorlopig buiten beschouwing te laten.

Gezond aandeel EU-productie

Indicator [eenheid]	subtype	status	bronnen
Productiecapaciteit EU als aandeel van marktvraag Europa [%]	PolySi	12%	Fraunhofer Photovoltaics Report
	Wafer	-	
	Cel	6%	
	Paneel	16%	

2.3.3 Verkleinen afhankelijkheid één land

In de routekaart is als ambitie voor 2030/2035 opgenomen dat <65% van de productie afkomstig is uit één land. Dit is een vergelijkbaar streven als in de Critical Raw Materials Act (CRMA), waarin genoemd wordt dat maximaal 65% van grondstoffen en raffinage uit één land mag komen. Daarmee ligt een eerste richting voor operationalisering voor de hand: het monitoren van herkomst van alle elementen uit de keten. Ook hier is de praktische uitdaging dat de benodigde ketentransparantie (met name op het gebied van daadwerkelijke productiecijfers) niet publiek beschikbaar is. Monitoring op basis van bestaande rapportages van productiecapaciteit is mogelijk met de IEA-rapportages, die minder frequent gepubliceerd worden maar gedetailleerder rapporteren. In een publicatie uit 2022¹² noteert de IEA een aandeel >65% van de productiecapaciteit in China voor alle segmenten (in 2021). De IEA verwacht voor 2027 blijvende dominantie van China in de productiecapaciteit van alle segmenten in de waardeketen. Alleen in de paneelproductie zelf is de verwachting dat China mogelijk een kleiner aandeel dan 65% krijgt. Landen als de VS en India maken inmiddels een inhaalslag in het realiseren van productiecapaciteit. In Europa is het aandeel echter nog vrij klein.

Verkleinen afhankelijkheid van één land

Indicator [eenheid]	subtype	status	bronnen
	PolySi	79%	IEA
	Wafer	97%	

¹² <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/solar-pv-manufacturing-capacity-and-production-by-country-and-region-2021-2027>



Grootste aandeel wereldwijde productiecapaciteit afkomstig uit 1 land [%]	Cel	85%	
	Paneel	75%	

2.3.4 Verdienvermogen Nederlandse maakindustrie

Holland Solar (branche-organisatie) en SolarNL (ontwikkeling en industrialisatie van PV-technologieën vanuit het Groeifonds¹³) zijn belangrijke partijen om een beeld te krijgen van de Nederlandse PV-maakindustrie. Vanuit gesprekken met de klankbordgroep en SolarNL is voor dit effectdoel nog geen sluitende definitie gekomen. Het verdienvermogen wordt vaak gerelateerd aan hoe groot de sector is (bijvoorbeeld omzet, winstgevendheid, aantal werkzame mensen), de investeringen in de sector en de (relatieve) waarde die bedrijven toevoegen aan producten door hun activiteiten. Een aantal van deze indicatoren bevat bedrijfsgevoelige informatie en wordt op dit moment niet gemonitord. SolarNL rapporteert wel een aantal indicatoren aan het Groeifonds, waaronder het aantal private investeringen binnen SolarNL (in miljoen euro's) en de productiecapaciteit van de aangesloten bedrijven. Deze indicatoren geven een beeld van de status van de Nederlandse PV-maakindustrie. Een kanttekening is dat dit beeld incompleet is. Niet alle bedrijven in de PV-maakindustrie zijn aangesloten bij SolarNL, en ook zijn de toeleverende machinebouwers niet in beeld. Dit geldt ook voor de bedrijven die aangesloten zijn bij branche-organisatie Holland Solar. Voor de omvang van de PV-maakindustrie kan het totaal aantal FTE van de aangesloten bedrijven een indicator zijn. De cijfers hiervoor worden op dit moment echter nergens bijgehouden. Holland Solar en SolarNL samen hebben wel een goed beeld en zouden elk jaar een overzicht kunnen maken van de PV-maakbedrijven in Nederland en hun aantallen FTE's. Er is beperkt inzicht in de cijfers van machinebouwers, ook omdat deze vaak actief zijn in meerdere sectoren, ook buiten de PV-industrie. Toeleveranciers zoals machinebouwers vallen niet direct onder de definitie van PV-maakindustrie, maar dragen wel bij aan een gezonde balans van de maakindustrie in Nederland die relevant is voor PV-productie. Een aandachtspunt is verder het bijhouden van nieuwe start-ups.

Verdienvermogen Nederlandse maakindustrie

Indicator [eenheid]	subtype	status	bronnen
Investerings SolarNL [M€]	-	17	SolarNL
Productiecapaciteit SolarNL [MW _p]	-	262	
Omvang PV-maakindustrie [FTE]	-	-	SolarNL en Holland Solar

2.3.5 Eerlijke arbeidsomstandigheden

In de routekaart is als ambitie voor 2030 opgenomen dat dwangarbeid-vrije componenten beschikbaar en inzichtelijk zijn. Het bronnenonderzoek stelt scherp dat alles wat in China wordt geproduceerd risico op dwangarbeid heeft, en dat ook Europese productie met halffabricaten uit China (zoals cellen en wafers) een risico blijft; alleen 100% EU productie wordt hier gepositioneerd als vrij van risico op dwangarbeid. Daarnaast wordt het Solar Stewardship Initiative (SSI) van Solar Power

¹³ <https://www.nationaalgroeifonds.nl/overzicht-lopende-projecten/thema-energie-en-duurzame-ontwikkeling/solarnl>



Europe genoemd in de Marktgids Buyer Group als een vragenlijst-gebaseerd “stempel” dat Chinese producten laat aansluiten op CSRD en CSDDD, met de kanttekening dat er geen onafhankelijke audits gedaan worden. Daarmee wordt dit niet als 100% betrouwbaar gezien.

De exposure-analyse van Sheffield University is de belangrijkste bron voor informatie over in welke mate dwangarbeid bij PV-productie voorkomt. Hieruit blijkt dat de Oeigoerse regio nog steeds een groot aandeel heeft in grondstoffen voor PV-systemen. In hun rapportage uit 2023 is ongeveer 35% van wereldwijde polysilicium en tot circa 32% van metallurgisch silicium afkomstig uit hoog-risicogebied. Ook wordt geschetst dat veel wereldwijd geproduceerde panelen grondstoffen uit deze regio betrekken. Claims over “dwangarbeid-vrije” producten blijken lastig te verifiëren door beperkte ketentransparantie. Pas wanneer de herkomst van componenten geverifieerd kan worden, kan er een kwantitatieve uitspraak worden gedaan over het aandeel componenten met verhoogd risico. Op dit moment kan alleen voor PV-systemen die volledig in de EU geproduceerd zijn (en enkele Amerikaanse producenten), worden aangenomen dat er geen dwangarbeid bij betrokken is. Bij alle andere elders geproduceerde systemen bestaat dit risico. In het actuele overzicht van de Duurzame Zonnepanelen Wijzer (DZW) is deze informatie verwerkt als risico op dwangarbeid bij de productie van het betreffende paneel. In de lijst staan meer zonnepanelen met een hoog risico dan met een laag risico. Indien het risico niet bekend is, kan aangenomen worden dat het risico hoog is.

Voor de monitor betekent dit dat “eerlijke arbeidsomstandigheden” in eerste instantie vooral als transparantie-indicator voor het risico op dwangarbeid benaderd moet worden. Een startpunt voor monitoring kan het overzicht van DZW zijn. Door een koppeling te maken met de betreffende aantallen per type kan gemonitord worden welk aandeel van de Nederlandse installaties dit betreft. Er wordt vanuit gegaan dat er in de Nederlandse installatieketen geen dwangarbeid plaatsvindt. Om die reden wordt voorgesteld dat het te monitoren effectdoel alleen de productieketen betreft.

Eerlijke arbeidsomstandigheden in productieketen

Indicator [eenheid]	subtype	status	bronnen
Aandeel geïnstalleerde systemen met laag risico op dwangarbeid [%]	Paneel	(laag) <5%	DZW Marktgids Buyer Group

2.4 Nulmeting: samenvatting en samenhang

De stand van zaken van de effectdoelen (nulmeting) op basis van het bronnenonderzoek wordt in paragraaf 2.4.1 besproken. In paragraaf 2.4.2 wordt de connectie gemaakt met de andere oplossingen uit de routekaart.

2.4.1 Stand van zaken indicatoren en monitoringsbronnen

Voor de monitor heeft het de voorkeur om het hele systeem te beschouwen. Er zijn echter verschillen gevonden in beschikbaarheid van informatie tussen de verschillende onderdelen van het systeem, en ook in de mate waarin de onderdelen bijdragen aan



de score van de indicatoren. Hoe groter de bijdrage van een component aan de score, hoe relevanter het is om de bijdrage van die specifieke component te verminderen en dus het belang om de indicator voor die component te monitoren. Voor PV-panelen is relatief veel informatie beschikbaar, en geldt een grote bijdrage: deze component draagt voor meer dan de helft bij aan zowel de CO₂-voetafdruk van een systeem als aan de massa, zoals al in paragraaf 2.1.2 besproken. Om die reden is voorgesteld om in een aantal gevallen apart (ook) op de panelen te monitoren. Bij gebrek aan gegevens (bijvoorbeeld over bekabeling en montagesysteem) kan ervoor gekozen worden om standaardwaardes aan te nemen. Deze standaardwaardes zullen dan (jaarlijks of vijfjaarlijks) bepaald worden. Uitgegaan wordt van gangbare systemen. Naar verwachting zullen dit tot 2035 voornamelijk PV-panelen met kristallijn silicium zonnecellen zijn, die op dak of op land geïnstalleerd worden.

Naast afbakening van het systeem, is het ook van belang om de indicatoren van de effectdoelen te kiezen die in voldoende mate de stand van zaken in relatie tot het effectdoel weergeven, en waarvoor informatie beschikbaar is of redelijkerwijs gemaakt kan worden voor een structurele monitoring. Ten opzichte van de indicatoren die genoemd zijn in de routekaart hebben we voor een aantal effectdoelen de gesuggereerde indicatoren aangescherpt, zoals in de betreffende paragrafen benoemd. In Tabel 1 wordt een samenvatting gegeven van de indicatoren per effectdoel, de eventuele onderverdeling in afbakening, inschatting van de haalbaarheid van de doelen (o.b.v. expert opinion van auteurs en opdrachtgever) en de bronnen voor een structurele monitor.

In de kolom 'Haalbaarheid' is een inschatting gegeven in wat voor mate de ambities voor de effectdoelen haalbaar zijn:

- Ambitie wordt binnen bereik geacht met autonome ontwikkelingen en bestaand beleid (groen),
- Ambitie wordt technisch binnen bereik geacht maar hiervoor is wel additioneel beleid nodig, zoals eisen of stimulerende maatregelen (oranje)
- Ambitie is lastig te realiseren binnen de tijdsduur van de routekaart, bijvoorbeeld door externe afhankelijkheden (rood).

Belangrijke externe afhankelijkheden zijn de mate waarin Europees beleid erin zal slagen productie in Europa substantieel te verhogen, waardoor ook Nederlandse bedrijven een grotere markt kunnen bedienen. Een andere onzekere externe factor is de hoeveelheid zonnepanelen die tot 2035 vrijkomt, wat de businesscase bepaalt voor terugwinnen van kritieke materialen.

Tabel 1 Effectdoelen met indicatoren, haalbaarheid en bronnen voor de monitor

Effectdoel	Indicator [eenheid]	Onderverdeling	Haalbaarheid	Bronnen monitor
CO ₂ -voetafdruk verminderen	CO ₂ -uitstoot in productiefase (A1-3) in kgCO ₂ eq/W _p	-paneel -systeem		EPD's Geïnstalleerde aantallen per type
Minder giftige stoffen	% W _p zonder -lood -PFAS	-paneel		Datasheets; Geïnstalleerde aantallen per type



	-antimoon			
Minder grondstoffen	Massa primair abiotisch in kg/W _p ADP in kg Sb _{eq} /W _p	-paneel -systeem	●	EPD's, datasheets; Geïnstalleerde aantallen per type
Verlengen technische levensduur	Prestatie- en productgarantie in jaar	-paneel -omvormer -constructie	●	Datasheets; Geïnstalleerde aantallen per type.
Verlengen economische levensduur	Gebruiksduur in jaar	n.t.b. -paneel -systeem	●	Aansluiten bij onderzoek economische levensduur
Verhogen hergebruik	Aantallen hergebruikte panelen en systemen (n.t.b.: massa, W _p)	n.t.b. -paneel -systeem	●	Rapportage hergebruik (n.t.b.); Aansluiten bij onderzoek economische levensduur.
Hoogwaardige circulaire verwerking	massa ingezamelde PV en hoogwaardig verwerkte materialen, in ton	Totaal (MR) -aluminium -koper -glas	●	Rapportage verwerkers
Terugwinnen kritieke grondstoffen	massa teruggewonnen, in kg	-silicium -zilver	● ●	Rapportage verwerkers
Gezond aandeel eigen productie (EU)	Productie in Europa m.b.t. marktvolume Europa [%]	-polySi -wafer -cellen -paneel	●	Fraunhofer PV Report; IEA rapportages.
Verkleinen afhankelijkheid 1 land	grootste aandeel wereldwijde capaciteit afkomstig uit 1 land (%)	-polySi -wafer -cellen -paneel	● ●	Fraunhofer PV Report; IEA rapportages.
Verdienvermogen Nederlandse maakindustrie	Investerings SolarNL in M€ Productiecapaciteit bedrijven SolarNL in MW _p Omvang PV-maakindustrie [FTE]	-	●	SolarNL, Holland Solar
Eerlijke arbeidsomstandigheden	% nieuwe systemen in NL met laag risico op dwangarbeid	-paneel	●	Sheffield rapporten; Land van herkomst; Geïnstalleerde aantallen per type; Aansluiten bij onderzoek inkooppeisen.



2.4.2 Oplossingen en prioritering

In de routekaart worden 13 circulaire oplossingen en prioritering uitgewerkt die horen bij de vier circulaire strategieën. Hiervan wordt in Tabel 2 een overzicht gegeven. In de komende update van de Routekaart zal hier nog een 14^e aan toegevoegd worden, namelijk het stimuleren van Europese productie van zonnecellen. De vier strategieën zijn:

- Regenerate (circulair produceren): een strategie waarbij grondstoffen, materialen en producten vervangen worden door minder milieubelastende alternatieven en producten zo ontworpen voor toekomstige reparatie en hergebruik.
- Narrow the loop (minder gebruiken): hier gaat het om het minimaliseren van materiaalgebruik en bijbehorende milieueffecten door het optimaliseren van de product- en systeemontwerpen.
- Slow the loop (levensduurverlenging): hier gaat het om het verlengen van de gebruiksduur zodat minder snel nieuwe producten nodig zijn.
- Close the loop (hoogwaardig hergebruiken): een strategie van hoogwaardige recycling en het opnieuw gebruiken van grondstoffen.

Tabel 2 Relatie tussen de circulaire strategieën, mogelijke oplossingen en de effectdoelen

Strategie	Oplossingen	Effectdoelen
Regenerate	Eisen aan publieke inkoop Eisen aan private inkoop Design for repair	CO ₂ -voetafdruk Giftige stoffen
Narrow the loop	Long life zonnestroompanelen Perovskiet zonnepanelen Tandem modules	Minder grondstoffen Technische levensduur
Slow the loop	Economische levensduur (bestaande PV) Economische levensduur (nieuwe PV) Hergebruik defecte omvormers Solar assetmanagement als service Opschalen hergebruik Voorwaarden hergebruik en repowering	Economische levensduur Hergebruik
Close the loop	Recycling huidige panelen	Hoogwaardige recycling Terugwinnen kritieke grondstoffen

De oplossingen hangen in meer of mindere mate samen met de monitor. Vetgedrukt zijn de oplossingen die geprioriteerd zijn in de routekaart, en in hoge mate bijdragen aan de effectdoelen, draagvlak in de sector hebben en marktpotentieel hebben in de periode 2025-2030. Aanvullend zijn als resultaat van dit onderzoek nog 3 andere oplossingen geprioriteerd (vetgedrukt en geel gemarkeerd), omdat deze ook in hoge mate bijdragen aan (ontbrekende informatie voor de indicatoren van) de effectdoelen, en de inschatting is dat ze haalbaar en urgent zijn. Daarbij zou nog wel geëvalueerd moeten worden of de oplossingen dezelfde indicatoren hanteren zoals geïdentificeerd in dit onderzoek, of ze aanvullend zijn en/of harmonisatie dient plaats te vinden.



- Eisen aan publieke inkoop: stellen van eisen aan CO₂-voetafdruk, giftige stoffen, levensduur en arbeidsomstandigheden bij publieke inkoop en/of subsidies. Het stellen van eisen kan monitoring faciliteren en het behalen van de doelen versnellen. Het is sneller en eenvoudiger te implementeren dan eisen aan private inkoop.
- Verlengen economische levensduur van bestaande PV: dit is nu relevant en urgent om milieu-impact van nieuwe systemen te voorkomen, en vindt plaats door de bestaande systemen langer in bedrijf te houden. Levensduurverlenging van nieuwe systemen is minder urgent. Beide kunnen een relatie hebben met verbeteren assetmanagement.
- Design for repair: deze oplossing draagt pas op langere termijn (na 2035) bij aan het effectdoel van hergebruik, maar bepaalt wel of nu aan de randvoorwaarden wordt voldaan om dit in een later stadium te faciliteren. De oplossing is dus ondersteunend aan het effectdoel, waarbij de indicatoren mogelijk verschillend zijn.
- Opschalen van hergebruik: de hoeveelheid hergebruik (in Nederland en door export) is onvoldoende in beeld, waardoor de indicator voor hergebruik op dit moment niet gemonitord kan worden. Goede randvoorwaarden en spelregels zijn noodzakelijk voor een sluitende (maatschappelijke) business case. Hierdoor kan de toepassing en registratie van hergebruik verder vergroot worden. Mogelijk wordt in deze oplossing gestuurd op andere of aanvullende monitoringsindicatoren dan in dit onderzoek.
- Recycling van huidige panelen: het is belangrijk om een hoogwaardig recyclingproces op orde te hebben voordat de grote afdankstromen op gang komen. De monitoringsindicatoren zijn aangesloten op die van de oplossing. De oplossing is al opgestart door een eerste verwerkingscontract tussen Stichting OPEN en Mirec.



3 Opzet structurele monitor

Uit het bronnenonderzoek is duidelijk geworden dat op dit moment nog maar zeer beperkt op een structurele manier data wordt verzameld die relevant is voor monitoring van de effectdoelen uit de Routekaart. Vanuit Tabel 1 volgt welke bronnen verzameld moeten worden om een structurele monitor in te kunnen vullen. Het voorstel hierbij is om dit jaarlijks aan te pakken. In de onderzoeken worden verschillende systeemafbakeningen gehanteerd: de informatie betreft in het ene geval alleen de zonnepanelen en in het andere geval het complete systeem (zonnepanelen, omvormer, kabels en het montagesysteem). In de opzet voor een structurele monitor wordt in beginsel de keuze gemaakt dat gemonitord wordt op het niveau van het complete systeem. Voor een aantal indicatoren is niet van alle componenten data beschikbaar, bijvoorbeeld van alleen de zonnepanelen. Waar geen informatie van de andere componenten voorhanden is, wordt niet gemonitord of kan dan gebruik gemaakt worden van forfaitaire waarden. Deze waarden zullen (jaarlijks) vastgesteld moeten worden. Verder komt veel van de nu beschikbare informatie uit eenmalige studies die zijn gebaseerd op bijvoorbeeld marktonderzoek. Wel zijn er enkele bronnen geïdentificeerd die kunnen dienen als potentiële structurele bron.

In dit hoofdstuk is per thema weergegeven hoe vanuit de informatie uit deze (structurele) bronnen tot monitoring van de gewenste indicatoren kan worden gekomen. Vervolgens worden in paragraaf 3.4 de kaders van de monitor besproken. In paragraaf 3.5 wordt een overzicht geschetst hoe met de structurele monitor gestart kan worden, waarna in paragraaf 3.6 de landingsplek besproken wordt.

3.1 Materiaalgebruik en milieuimpact nieuwe zonnestroomsystemen

Om te monitoren hoe de milieuimpact van nieuwe geïnstalleerde systemen zich ontwikkelt van jaar tot jaar, moeten er bronnen gecombineerd worden: enerzijds over welke typen (en bijbehorende aantallen) systemen er geïnstalleerd worden en anderzijds wat de eigenschappen van deze systemen zijn. Bij elk systeem dient goed onderscheiden te worden wat de scope is van het systeem. Bij ontbrekende onderdelen, zoals omvormers of kabels, kunnen (te bepalen) forfaitaire waarden van componenten worden ingezet om tot een compleet systeem te komen.

Voor het verkrijgen van data over de typen en aantallen zijn er drie opties, die hieronder beschreven worden.

Typen en aantallen

Optie 1: beschouw het totaal op de markt gebracht vermogen

- Importcijfers
De importeurs van zonnestroomsystemen rapporteren al de aantallen zonnepanelen (en omvormers) die zij op de markt brengen (in ton) aan Stichting OPEN. Voor de monitor is het noodzakelijk om dit verder te specificeren. Een mogelijkheid is om uit te vragen hoeveel (aantallen) van welke typen systemen (o.b.v. serienummers) op de markt zijn gebracht in dat jaar. Indien mogelijk, zou



het praktisch zijn om ook het land van herkomst (productie) van het systeem op te vragen. Een te bepalen organisatie registreert deze gegevens en stelt ze beschikbaar voor de monitor. Een mogelijkheid is dat importeurs rapporteren aan Stichting OPEN. De beschikbaar gestelde gegevens worden vervolgens geaggregeerd en zijn niet herleidbaar tot individuele importeurs.

- **Producentcijfers**
De Nederlandse producenten rapporteren op dezelfde manier als de importeurs, en specificeren de aantallen en typen panelen die zij op de markt brengen. De gegevens worden geaggregeerd met de importeursgegevens.

Optie 2: beschouw het totaal van geregistreerd geïnstalleerd vermogen

- **Optie 2A: Installatiecijfers systemen tot 1 MW_p**
Op dit moment wordt de installatie van een PV-systeem (tot 1 MW_p) aangemeld via energieleveren.nl. Bij de aanmelding wordt een uitvraag gedaan naar de hoeveelheid geïnstalleerde W_p, het merk en type omvormer en de datum van inbedrijfsstelling. Als additioneel het merk en type PV-paneel wordt uitgevraagd, kunnen productdata aan de installaties worden gekoppeld. De installatiegegevens komen terecht bij het CBS.
- **Optie 2B: Installatiecijfers SDE**
Bij de goedkeuring van een SDE-subsidie geeft de aanvrager voortaan door hoeveel van welk type zonnepanelen en omvormers geïnstalleerd wordt, en bij voorkeur ook het aantal meters kabel en het type bevestigingsstructuur (bijvoorbeeld door onderscheid tussen installatie op land en op dak). Deze gegevens worden vervolgens centraal door RVO geregistreerd en beschikbaar gemaakt voor de monitor. De uitvraag wordt vanaf de komende SDE-openstelling gecombineerd met een eis aan de CO₂-voetprint van het zonnepaneel, zoals eerder voorgesteld¹⁴. Het verdient de voorkeur om de waarde van de CO₂-voetprint ook direct te registreren.
- **Optie 2C: Installatiecijfers overige installaties**
Grote installaties (groter dan 1 MW_p) worden direct bij de netbeheerder aangemeld. Net als bij Deel A en B zou ook hier een uitvraag gedaan kunnen worden om complete gegevens te verkrijgen over de PV-panelen en de omvormer.

Het voordeel van opties 1 en 2 is dat de totale Nederlandse installatiemarkt in beeld is, en de monitor dus een goed beeld kan geven van de (gewogen) milieu-impact van het totaal aan geïnstalleerd vermogen. Het nadeel is dat importeurs en producenten, maar ook de aanmelders van een installatie, zullen moeten meewerken aan een rapportage die bewerklijker is dan nu, en waaraan zij geen direct voordeel ontleunen. Daarnaast kan het voorkomen dat zaken niet correct worden ingevuld, waardoor koppeling met productdata lastig wordt. Er is op dit moment geen verplichting om statistieken bij te houden over milieu-impact van zonnestroomsystemen. Dit maakt de voorgestelde routes, met name optie 1 en opties 2A en 2C, op dit moment weinig kansrijk. Als er in de toekomst een rapportageverplichting komt, kunnen deze routes weer verder verkend worden.

¹⁴ Stralen zonder schaduw, Analyse en advies voor een methodiek voor de toetsing van de CO₂ voetafdruk bij zonnepanelen. Copper8, 2025



Binnen optie 2 is de uitvraag binnen 2B wel kansrijk uit te voeren. De uitvraag kan verplicht worden gesteld voor het toekennen van de subsidie. De aantallen en typen dienen dan ook centraal geregistreerd te worden. Ondanks dat niet de volledige Nederlandse markt hiermee in beeld is, beslaat het wel een aanzienlijk deel ervan. Welk deel dit is, wordt nu al gemonitord als percentage van het totaal geïnstalleerd vermogen in Nederland. In de SDE-uitvraag van 2026 wordt een eis gesteld aan de CO₂-voetafdruk van de geïnstalleerde zonnepanelen. Met een eis, of een hoger subsidiebedrag bij een lage CO₂-voetafdruk, kan direct gestuurd worden op de doelen voor 2030 en 2035. **Optie 2B (SDE-route) verdient op dit moment de voorkeur** in de opzet voor de monitoring vanwege de hogere haalbaarheid.

Om daadwerkelijk de milieuimpact te kunnen monitoren, dienen de eigenschappen van een type component gekoppeld te worden aan de aantallen van elk type PV-systeemcomponent. Dit wordt hieronder beschreven.

Eigenschappen van systemen

Om de relevante milieudata te kunnen koppelen aan de geïnstalleerde systemen, moet een mapping gemaakt worden tussen allerhande beschikbare informatie en de systemen. Milieudata kan uit datasheets en/of EPD's gehaald worden. Voor zonnepanelen kan gebruik gemaakt worden van de Duurzame Zonnepanelen Wijzer, waarin een overzicht te vinden is van duurzaamheidsgegevens per (serie van) zonnepanelen. Hiermee kan al een groot aantal datapunten voor de monitor worden achterhaald:

- CO₂-voetafdruk in productie¹⁵
- Of een paneel PFAS-vrij is
- Of een paneel antimoonvrij is
- Of een paneel loodvrij is
- Levensduur (vermogensgarantie)
- Of het risico op dwangarbeid hoog of laag is

De Duurzame Zonnepanelen Wijzer is dus een goede basis om voor zonnepanelen deze koppeling te maken. Voor een complete monitor dient nog een aantal indicatoren toegevoegd te worden, en dient het overzicht bijgehouden te worden met gegevens van nieuwe zonnepanelen. Een derde aanbeveling is om de koppeling uit te breiden naar omvormers. Voor kabels en bevestigingssystemen kunnen forfaitaire waarden gebruikt worden (van een standaardproduct en/of een aantal veel voorkomende typen). Op deze manier kan het hele systeem gemodelleerd worden.

Op dit moment ontbreken nog gegevens die nodig zijn voor de monitoring. Deze kunnen uit EPD's of datasheets opgehaald worden van de panelen uit het overzicht. Het gaat om de volgende indicatoren:

- Abiotic Depletion Potential (ADP)
- Massa van het product
- Aandeel secundaire en biobased grondstoffen

¹⁵ De Duurzame Zonnepanelen Wijzer wordt op dit moment aangevuld met een specifieke CO₂-voetafdruk van de productiefase (in plaats van een range van waarden)



- Productgarantie

Voor het bijhouden van het overzicht van nieuwe zonnepanelen en het uitbreiden (en bijhouden) van het overzicht naar omvormers is een continue stroom van nieuwe informatie nodig. Op dit moment wordt het overzicht periodiek bijgewerkt. De aanbeveling is om dit voort te zetten gedurende de looptijd van de monitor. Het kan hierbij behulpzaam zijn als bij een SDE++-goedkeuringsaanvraag de EPD's en/of datasheets van de betreffende panelen en omvormers worden meegeleverd.

3.2 Verwerking en hergebruik van bestaande systemen

Op dit moment is hoogwaardige recycling in Nederland in de opstartfase met 1 verwerker, en naar verwachting zal dit opgeschaald en uitgebreid worden naar meerdere verwerkers. Rapportages zouden voor de monitor gedetailleerder uitgevraagd moeten worden bij de verwerkers en bijgehouden (en beschikbaar gesteld voor de monitor). Hieruit kunnen de volgende datapunten worden achterhaald:

- Massa ingezamelde zonnepanelen
- Massa en W_p van ingezamelde zonnepanelen die geschikt zijn voor hergebruik
- Massa's van verwerkte en teruggewonnen materialen
 - Het totaal aan teruggewonnen materiaal: Material Recovery (MR-waarde)
 - Aluminium (uit de frames)
 - Koper (uit de kabels)
 - Glas (indien mogelijk uitgesplitst in de toepassingsgebieden: isolatieglas, verpakkingsglas, hoogwaardiger toepassing)
 - Silicium
 - Zilver
- Ingeschatte leeftijd van ingezamelde zonnepanelen.

Op dit moment zal voor de teruggewonnen materialen alleen de MR-waarde gemonitord kunnen worden, tot het moment dat een voldoende groot aantal verwerkers data kan aanleveren. In het huidige opgestarte recyclingproces worden silicium en zilver op dit moment nog niet teruggewonnen; dit zal pas kunnen plaatsvinden zodra voldoende grote hoeveelheden economisch rendabel verwerkt te kunnen worden. Recycling van omvormers gebeurt binnen de reguliere verwerking van elektronische apparatuur en wordt om die reden niet apart gemonitord.

Hergebruik van zonnepanelen wordt onderdeel van de monitor. Verwerkers van her te gebruiken systemen vanuit de landelijke inzameling rapporteren cijfers van hergebruik aan Stichting OPEN. Deze rapportages geven op dit moment nog geen compleet beeld van de totale hergebruikmarkt binnen en buiten Nederland. Aan dit overzicht wordt wel gewerkt door betrokken partijen. De aanbeveling is om bij zo'n overzicht een registratie te doen van massa en hoeveelheid W_p en deze beschikbaar te stellen voor de monitor. Dit zal in een later stadium nader uitgewerkt moeten worden. Aangezien de panelen getest worden is de informatie beschikbaar welke panelen geschikt zijn voor hergebruik. De mogelijkheden voor hergebruik hangen sterk samen met de economische levensduur van de producten. In het routekaart-project over economische levensduur wordt in kaart gebracht hoeveel van SDE++-systemen na afloop van de



subsidieperiode worden verwijderd of vervangen, en, voor zover mogelijk, hoe verwijderde systemen worden verwerkt of worden hergebruikt. Aanbevelingen uit dit onderzoek over monitoring van economische levensduur en hergebruik zullen waar mogelijk meegenomen worden in dit rapport.

3.3 Weerbaarheid sector

Vanuit het jaarlijkse Fraunhofer rapport over marktontwikkelingen in de PV-maakindustrie, kan de productiecapaciteit van zonnepanelen en hun tussenproducten in Europa gerelateerd worden aan de marktvraag in Europa (beide in W_p), als percentage potentieel aandeel. Indien in de toekomst de werkelijke productie wordt gerapporteerd, dan heeft dat de voorkeur boven de productiecapaciteit. Daarnaast is in bestaande rapportages te vinden welk land het grootste aandeel heeft per segment (tussenproduct). Onderscheid wordt gemaakt in de verschillende segmenten in de waardeketen:

- Poly-Si
- Wafer
- Cellen
- Panelen

De indicatoren van het verdienvermogen van de Nederlandse maakindustrie worden voorgesteld als een combinatie van investeringen in de sector en de omvang van de Nederlandse PV-maakindustrie (zonder toeleverende bedrijven zoals machinebouwers). De omvang wordt uitgedrukt in productiecapaciteit en aantal FTE's werkzaam in de sector. Idealiter zou ook de toegevoegde waarde van de bedrijfsactiviteiten gemonitord worden, maar hier is geen goede indicator voorhanden die al gerapporteerd wordt. SolarNL verstrekt jaarlijkse rapportages aan het Groeifonds over inhoudelijke indicatoren. Voor de omvang in FTE is het voorstel dat SolarNL en Holland Solar elk jaar een zo compleet mogelijke lijst opstellen van het totaal aantal FTE in de Nederlandse PV-maakindustrie. In de monitor komt dan beschikbaar:

- Hoeveelheid private investeringen (rapportage SolarNL)
- Gerealiseerde productiecapaciteit PV-producten (rapportage SolarNL)
- Omvang bedrijven in NL PV-maakindustrie in FTE (overzicht SolarNL en Holland Solar)

Kanttekening hierbij is dat de toekomstige financiering van SolarNL onzeker is. De huidige activiteiten lopen tot ongeveer 2028, en er is een vervolg in beoordeling dat de activiteiten zou laten doorlopen tot 2030. Als dit doorgaat, kan er in elk geval 5 jaar gemonitord worden.

Voor monitoring van het aandeel van PV-installaties die gemaakt zijn onder eerlijke arbeidsomstandigheden, worden de aanbevelingen van het routekaart-project over verduurzaming inkoop gevolgd. Een alternatief tot die tijd is om de indicatie in de Duurzame Zonnepanelen Wijzer te volgen. In de koppeling van EPD's met de typen zonnepanelen is een indicatie opgenomen (hoog/laag) voor het risico op dwangarbeid. Het voorstel is om het aandeel met een laag risico op dwangarbeid voorlopig op te nemen als indicator. Dit betekent dat een vergelijkbare koppeling gemaakt wordt met



het aantal SDE-installaties en productgegevens als voor het thema Milieuimpact en materiaalgebruik.

3.4 Kaders voor dataverzameling

De hierboven genoemde data zijn op dit moment nog enkel op vrijwillige basis te verkrijgen. Er is geen juridische basis om de betrokken partijen te verplichten tot overdracht van de gewenste data. Met name voor het verkrijgen van import- en productiedata is een verplichting of een sterke stimulans noodzakelijk voor een representatief beeld. Om die reden is nu niet gekozen voor de route om via importeurs en producenten de data te verzamelen, maar via de SDE-subsidieregeling, waar meer vrijheid is om (verplicht) datapunten uit te vragen. Daarnaast is er een optie om bepaalde kwaliteitseisen op te leggen aan nieuw te installeren PV-systemen (zoals nu al voor de CO₂-voetprint in de SDE++). Naast monitoring wordt dan direct van sturing gebruik gemaakt om de doelen in de routekaart te behalen.

Dataverzameling via het CBS kan een effectieve route worden als er een verplichting vanuit Europa komt voor monitoring van indicatoren die aan deze nationale monitor gelieerd zijn. Dit is met name relevant voor milieuimpact en materiaalgebruik (beschreven in optie 2 in paragraaf 3.1). De monitor kan dan een completer beeld geven van de eigenschappen van in Nederland geïnstalleerde PV-systemen. De verwachting is echter dat zo'n verplichting op dit thema voorlopig niet aan de orde is.

3.5 Opstarten van structurele monitoring

In Tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de effectdoelen, indicatoren, de *Data Readiness Level* (DRL), de gespecificeerde bronnen en de eventueel benodigde acties om de monitor in gang te zetten.

De *Data Readiness Level* (DRL) geeft antwoord op de vraag wat de status is van de benodigde data, waarop vervolgens de acties bepaald kunnen worden die nog nodig zijn om de structurele monitor uit te voeren:

1. Specifiek onderzoek nodig
2. Data wordt (nog) niet bijgehouden maar kan wel (haalbaar) uitgevraagd worden en beschikbaar gemaakt worden voor de monitor.
3. Data wordt bijgehouden en kan beschikbaar gemaakt worden voor de monitor
4. Data is beschikbaar in (publieke) rapportage

Tabel 3 Effectdoelen met indicatoren en acties met bijbehorende stakeholders

The ma	Effectdoel	Indicatoren	DRL	Acties
Materiaalgebruik en	CO ₂ -voetafdruk	-CO ₂ -voetafdruk van paneel -CO ₂ -voetafdruk van systeem	2	-Koppeling EPD's en datasheets met typen panelen en omvormers. Uitbreiden met specifieke CO ₂ -voetafdruk, massa, aandeel biotisch/niet-primair, ADP. Forfaitaire
	Minder giftige stoffen	Aanwezigheid in paneel van: -lood -PFAS	2	



		-antimoon		waardes kabels en montagesysteem. -Geïnstalleerde aantallen per type paneel, omvormer, installatie registreren [via SDE]
	Minder grondstoffen	-massa -uitputting grondstoffen (ADP)	2	
	Verlengen technische levensduur	Prestatie- en productgarantie -panelen -omvormer -constructie	2	
Verwerking en hergebruik	Verlengen economische levensduur	Gebruiksduur	1	Aansluiten bij onderzoek economische levensduur
	Verhogen hergebruik	Aandeel hergebruik -panelen -systeem	3 1	Rapportage hergebruik uit inzameling [Stichting OPEN] Totale hergebruik [n.t.b.] Aansluiten bij onderzoek economische levensduur
	Hoogwaardige circulaire verwerking	Hoeveelheid -aluminium -koper -glas	3	Rapportage recycling [Stichting OPEN]
	Terugwinnen kritieke grondstoffen	Hoeveelheid -silicium -zilver	n.v.t.	Rapportage verwerkers [Stichting OPEN] (nu nog niet mogelijk)
Weerbaarheid sector	Gezond aandeel eigen productie (EU)	% afkomstig uit EU -polySi -ingot -wafer -cellen -panelen	4	Fraunhofer PV Report IEA rapportages
	Verkleinen afhankelijkheid 1 land	max% afkomstig uit 1 land -polySi -ingot -wafer -cellen -panelen	4	Fraunhofer PV Report IEA rapportages
	Verdienvermogen Nederlandse maakindustrie	-investeringen -productiecapaciteit -omvang sector	3 (2)	SolarNL, Holland Solar
	Eerlijke arbeidsomstandigheden	% met laag risico op dwangarbeid	4 (1) ¹⁶	Aansluiten op koppeling installaties en productdata (DZW)

¹⁶ De informatie over herkomst van panelen is via de DZW goed beschikbaar (DRL 4) maar dit is wel gebaseerd op specifiek onderzoek (DRL 1), dat periodiek gedaan zou moeten worden.



				Aansluiten op onderzoek inkoopeisen
--	--	--	--	--

Een overzicht van de nu voorziene acties wordt hieronder gegeven. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen acties bij opstart en acties die (vijf)jaarlijks plaatsvinden.

Bij opstart

Bij de opstart van de monitor gaat het naar verwachting om kleine tot middelgrote projecten.

- Productdata:
 - Koppelingen van bestaande typen panelen met (data uit) EPD's en datasheets (aanvulling van bestaand overzicht);
 - Koppelingen van bestaande typen omvormers met (data uit) EPD's en datasheets;
 - Opstellen forfaitaire waarden voor montagesystemen en kabels;
- Data van installaties:
 - Uitvragen en bijhouden typen panelen en omvormers in SDE-regeling, en type installatie;
- Verwerking data:
 - Technische uitwerking van de toevoer van bovenstaande data naar de rekenkern en de verwerking;
 - Inrichting van een dashboard.

Jaarlijks

Bij het jaarlijks bijhouden van de monitor gaat het naar verwachting om kleine projecten.

- Koppelingen van nieuwe typen panelen met (data uit) EPD's en datasheets (DZW);
- Koppelingen van nieuwe typen omvormers met (data uit) EPD's en datasheets (DZW);
- Verzamelen data en rapportages SDE++, Fraunhofer Photovoltaics Report, Stichting OPEN, SolarNL en mogelijk andere te bepalen bronnen (economische levensduur en inkooppeisen)
- Toevoer en verwerking van data van geïnstalleerde systemen en productdata
- Resultaten van de indicatoren verwerken in het dashboard en in een jaarlijkse rapportage (de bestaande Zon-PV Monitor).

Vijfjaarlijks

Elke vijf jaar zullen er enkele extra zaken uitgevoerd moeten worden. Het gaat daarbij naar verwachting om kleine projecten

- Data updates:
 - Updaten forfaitaire waarden voor montagesystemen en kabels
 - Verzamelen rapportages IEA
- Evaluatie van bronnen voor de monitor, met name de registratie van installaties. Het kan in de toekomst wenselijk worden om deze via het algemene aanmeldsysteem en het CBS te laten lopen, in plaats van via de SDE-regeling. Deze evaluatie zorgt mogelijk voor nieuwe opstart-activiteiten.



- Evaluatie hoe de ontbrekende indicatoren uit de routekaart ingevuld kunnen worden. Dit kan (bij voorkeur) ook eerder plaatsvinden dan na 5 jaar.

3.6 Landingsplek monitor

Er zijn verschillende opties denkbaar voor een keuze van de landingsplek van de monitor. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden waar data verwerkt en bewerkt worden (de 'rekenkernen'), het tonen van het dashboard, en een uitgebreidere rapportage met toelichting op de voortgang. Deze drie landingsplekken hoeven niet per se bij dezelfde organisaties te zijn. Diverse organisaties zijn op verschillende manieren nu al betrokken bij (de monitoring van) zonnestroomsystemen. RVO speelt hierin een sleutelrol. Naast onderstaande betrokkenheden zijn zij ook betrokken bij de Marktgids van de Buyer Group (waarop nog een vervolg zal komen) en rapporteert RVO namens Nederland ook naar de IEA.

Dataverwerking

Dataverwerking speelt met name bij het thema Materiaalgebruik en milieuimpact. RVO speelt een belangrijke rol bij de toelevering van deze data: zij is verantwoordelijk voor de voorwaarden en de registraties bij de SDE++ subsidieregeling en daarmee de aanlevering van de installatiecijfers. Daarnaast heeft RVO opdracht gegeven voor de koppeling van paneeltypes met indicatoren, wat geresulteerd heeft in de Duurzame Zonnepanelen Wijzer. Deze wordt voorlopig ook nog bijgehouden. RVO is de aangewezen partij om opdracht te geven voor het opzetten van de benodigde rekenkern voor de dataverwerking, jaarlijkse verwerking van toegevoerde data, en uitbreiden en bijhouden van de benodigde database. Dit hoeft niet door RVO zelf gedaan te worden, maar kan uitbesteed worden aan een externe partij, bij voorkeur voor een langere periode om continuïteit te waarborgen. In een later stadium, wanneer mogelijk dataverzameling plaatsvindt op basis van alle geïnstalleerde systemen in Nederland, kan het CBS in beeld komen. Het CBS is bij uitstek deskundig in dataverwerking en het leveren van informatie voor dashboards. Dit is op dit moment echter nog niet aan de orde.

Dashboard

Het dashboard, met de actuele, jaarlijkse status van de indicatoren binnen de effectdoelen, is direct gerelateerd aan de Routekaart. De aanbeveling is dan ook dat het dashboard een plek krijgt op de website van 'Circulaire Maakindustrie', bij de productgroep 'Circulaire zon-PV-systemen. Hier staan al verwijzingen naar de documenten van de routekaart en de publicaties van de Buyer Group. Vanuit de betrokkenheid van TKI Urban Energy, en hun rol in de bundeling van kennisoverzichten, is het wenselijk dat zij ook naar dit dashboard verwijzen.

Rapportage van de voortgang

Een rapportage van de indicatoren binnen de effectdoelen, en daarmee de voortgang van de Routekaart, past goed binnen de bestaande Monitor Zon-PV die RVO elk jaar publiceert. RVO is dus bij uitstek de organisatie om de jaarlijkse rapportage te verzorgen.

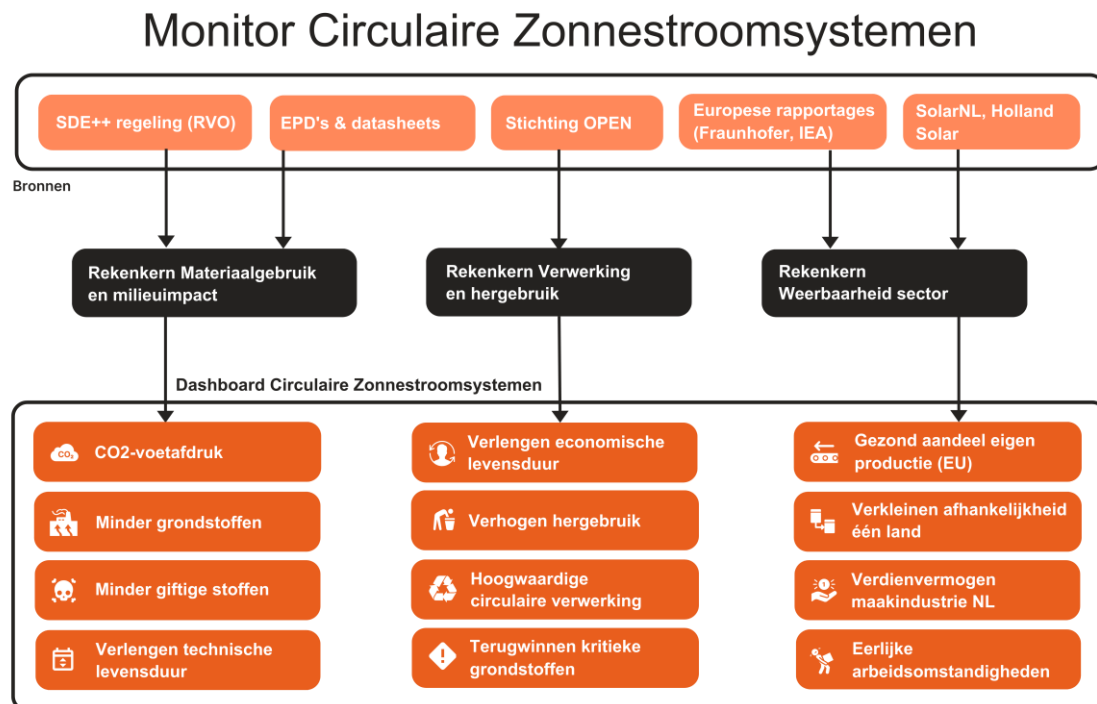




4 Conclusies structurele monitor

4.1 Stroomschema

In Figuur 4 staat een visuele weergave van het stroomschema om van de databronnen te komen tot de gewenste inzichten in het dashboard.



Figuur 4 Stroomschema van dataverzameling tot dashboard, met bovenaan weergegeven de bronnen, in het midden de rekenkernen om data te koppelen en te aggregeren en onderaan de output voor het dashboard.

De manier waarop dit plaatsvindt, volgt hieronder per thema:

Materiaalgebruik en milieupact nieuwe PV-systemen

- Voor elke SDE++ goedkeuringsaanvraag wordt via RVO het type, de aantallen en bijbehorende EPD's en datasheets opgevraagd, geregistreerd en beschikbaar gemaakt voor de monitor. Aangezien RVO via de SDE++-regeling al uitvragen doet en monitort kan hier op efficiënte wijze een uitbreiding komen van het systeem.
- De aantallen van elk type worden gekoppeld aan de relevante data uit de EPD's en de datasheets. Dit gebeurt in de rekenkern, waar de typenummers in een overzicht gekoppeld zijn aan de waardes van de benodigde indicatoren van de effectdoelen. Dit overzicht is al deels beschikbaar en dient uitgebreid te worden en geactualiseerd te blijven. Bij ontbreken van gegevens zal uitgegaan worden van de minst gunstige situatie (bijvoorbeeld de aanwezigheid van giftige stoffen).
- Al deze gegevens worden vervolgens geaggregeerd tot inzicht op nationaal niveau. Dit vormt de input voor het dashboard.



Verwerking en hergebruik bestaande PV-systemen

- Vanuit rapportages van Stichting OPEN worden cijfers beschikbaar gesteld over de hoeveelheid ingezamelde PV-systemen, hergebruik van deze systemen, en de hoeveelheid teruggewonnen materialen. In een later stadium kan monitoring van de totale hoeveelheid hergebruik (inclusief export) plaatsvinden, zodra duidelijker is hoe dit gemonitord kan worden; verder zal ook aangesloten worden op de uitkomsten van huidige het Routekaart-project over economische levensduur.
- Deze gegevens kunnen op dit moment direct inzicht geven op nationaal niveau, en in het dashboard worden getoond. In een later stadium worden mogelijk meerdere databronnen gecombineerd, en kunnen data geaggregeerd worden in een rekenkern tot gegevens op nationaal niveau.

Weerbaarheid sector

- Uit verschillende Europese rapportages (Fraunhofer, IEA) wordt informatie gehaald over de Europese productiecapaciteit t.o.v. de eigen markt (per marktsegment). Per segment wordt ook het land met het grootste productie-aandeel gemonitord. Via SolarNL wordt de rapportage van investeringen en productiecapaciteit opgehaald, en het aantal FTE in de PV-maakindustrie (samen met Holland Solar). Het risico van dwangarbeid bij productie wordt gemonitord op basis van herkomst (uit datasheets) en zal praktisch worden geaggregeerd via de rekenkern van het eerste thema.
- Deze gegevens geven direct inzicht op nationaal niveau, en kunnen in het dashboard worden getoond. Mogelijk is in een later stadium een aparte rekenkern nodig voor dit thema.

4.2 Conclusie

Met het hierboven beschreven proces kan een structurele monitor worden opgezet waarmee de circulariteit van zonnestroomsystemen en weerbaarheid van de PV-sector zichtbaar gemaakt kan worden. Daarbij is de monitor afhankelijk van de medewerking van een aantal sleutelpartners voor de levering van de benodigde data. De investeringen, zoals toegelicht in paragraaf 3.5, zitten met name bij het opstarten, door de benodigde inrichting van het systeem waarin de toeleveranciers hun data moeten aanleveren, en het inrichten van de rekenkern. Bij start van de monitor betekent dit uitbreiding van de SDE++-registratie en het maken van de koppeling van de SDE++-registraties en de milieudata. Daarna is het noodzakelijk om de database met milieudata bij te houden, en elk jaar de overige rapportages te verzamelen. Dit zal elk jaar een beperkte inspanning kosten.

Als in een later stadium een wijziging plaatsvindt van de indicatoren en/of bronnen van de monitor, dient bij het uitvoeren rekening te worden gehouden met het juridisch kader. Dit is met name relevant voor het eerste thema, waar het uiteindelijk wenselijk is om de hele Nederlandse markt in kaart te brengen. Het is op dit moment nog niet verplicht voor de betreffende actoren om de voor de monitor gewenste data aan te leveren. Het is dus belangrijk om medewerking aan de monitor op een manier te borgen, bijvoorbeeld door het maken van afspraken. Het is van belang dat deze afspraken en/of verplichtingen op voorhand goed ingeregeld zijn.



4.3 Aanbevelingen

Voor het uitvoeren van de structurele monitor en het toewerken naar de ambities van de effectdoelen in de routekaart is een aantal technische en beleidsaanbevelingen geformuleerd:

Technische aanbevelingen monitor

- Vul de bestaande koppeling van EPD's en datasheets voor panelen naar de indicatoren van het thema 'Materiaalgebruik en milieuimpact' aan met het aantal Wp, massa, aandeel massa secundair/biotisch, ADP en productgarantie. Specificeer ook (waar mogelijk) de CO₂-voetafdruk naar de waarde per paneel en voor alleen productiefase A1-3.
- Voer een (complete) koppeling uit met EPD's en datasheets voor omvormers naar de indicatoren van het thema 'Materiaalgebruik en milieuimpact'. Hiermee kunnen naast panelen ook omvormers als afzonderlijke componenten gemonitord worden.
- Niet alle effectdoelen kunnen op dit moment al haalbaar gemonitord worden. De aanbeveling is dat prioriteit wordt gegeven aan de indicatoren van de effectdoelen die nu al duidelijk zijn en waarvan een structurele monitoring haalbaar is. Dit zijn:
 - Materiaalgebruik en milieuimpact: alle effectdoelen
 - Verwerking en hergebruik: hoogwaardige circulaire verwerking
 - Weerbaarheid sector: alle effectdoelen
- Onderzoek hoe 'Design for recycling' van nieuwe panelen als indicator een plek kan krijgen binnen een van de effectdoelen. Dit is voor de huidige monitor niet van direct belang, maar wel om een beeld te krijgen (van de voorwaarden) hoe hoogwaardige verwerking en hergebruik in de toekomst kan plaatsvinden.
- Onderzoek of de indicatoren van het effectdoel 'technische levensduur' verrijkt kunnen worden met een model dat een levensduurverwachting berekent op basis van bekende faalmechanismen. Dit model kan gekoppeld worden met de kwaliteit van de gebruikte materialen zodat monitoring kan plaatsvinden op de verwachte technische levensduur.
- Voer in of na 2027 een herijking uit voor de effectdoelen 'economische levensduur', 'hergebruik', 'verdienvermogen', en 'eerlijke arbeidsomstandigheden'. Er is tegen die tijd naar verwachting meer inzicht wat hiervoor de geschikte indicatoren zijn.

Beleidsaanbevelingen

- Leg via verplichtingen, eisen en/of stimulansen de basis voor een effectieve data-uitvraag en -registratie. Het stellen van eisen aan impact en eerlijke arbeidsomstandigheden is een belangrijk middel om de ambities te halen.
 - Eisen aan SDE-installaties (eerste gezette stap: eis aan CO₂-voetafdruk in 2026)
 - Eisen aan publieke inkoop
 - Eisen aan alle PV (panelen) die nieuw op de markt komen
- Stimuleer in Europees verband de PV-productie;
- Stimuleer hergebruik van panelen binnen de EU en neem maatregelen om van illegale export naar buiten de EU te voorkomen.



Bijlagen

Bijlage 1: Samenvatting van huidige status van de effectdoelen

	Indicator [eenheid]	subtype	status	Bronnen [jaartal]
Materiaalgebruik en milieupact	Materiaalgebruik en milieupact			
	CO ₂ -uitstoot A1-3 [gCO ₂ /W _p]	Paneel	400-800 1000 700 400-1900 200-800	Copper8 Marktgids Buyer Group IEA NMD verklaringen DZW
		Systeem	1180	NMD categorie 2
	Minder giftige stoffen			
	Aandeel loodvrij [%]	Paneel	5%	Marktgids Buyer Group
	Aandeel PFAS-vrij [%]	Paneel	40%	Marktgids Buyer Group
	Aandeel antimoon-vrij [%]	Paneel	5%	Marktgids Buyer Group
	Minder grondstoffen			
	Massa [kg/kW _p]	Paneel	54	NMD categorie 2
		Systeem	64	NMD categorie 2
	Aandeel secundair+biotisch [%]	Paneel	-	-
	ADP [kgSb-eq/W _p] in A1-3	Paneel	2 – 6*10 ⁻⁵	NMD verklaringen
		Systeem	2,4*10 ⁻⁴	NMD categorie 2
	Verlengen technische levensduur			
	Prestatiegarantie	Paneel	25-30 jaar	DZW
		Systeem	25	Marktgids Buyer Group
	Productgarantie [jaar]	Paneel	12-40 25-49	Marktgids Buyer Group NMD
		Systeem	25	NMD categorie 2
Verwerking en hergebruik	Verlengen economische levensduur: nog te bepalen			
	Verhogen hergebruik: nog te bepalen			
	Hoogwaardige circulaire verwerking			
	Hoeveelheid ingezamelde panelen [ton]	Paneel		Stichting OPEN
	Aandeel te recyclen materialen [%] en recyclinggraad [%]	aluminium	14-17% [100%]	Stichting OPEN
		koper	1% [100%]	
		glas	70% [-]	
	Terugwinnen kritieke grondstoffen (uit panelen)			
	Hoeveelheid [kg of ton]	silicium	0	Stichting OPEN
		zilver	0	
Weerbaarheid sector	Gezond aandeel EU-productie			
	Productiecapaciteit EU als aandeel van marktvraag Europa [%]	PolySi	12%	Fraunhofer Photovoltaics Report
		Wafer	0	
		Cel	6%	
		Paneel	16%	
	Verkleinen afhankelijkheid van één land			
		PolySi	79%	IEA



	Grootste aandeel wereldwijde productiecapaciteit afkomstig uit 1 land [%]	Wafer	97%	
		Cel	85%	
		Paneel	75%	
	<i>Verdienvermogen Nederlandse maakindustrie</i>			
	Investerings SolarNL [M€]	-	17	SolarNL
	Productiecapaciteit SolarNL [MW _p]	-	262	SolarNL
	Omvang PV-maakindustrie [FTE]	-	-	SolarNL en Holland Solar
<i>Eerlijke arbeidsomstandigheden</i>				
	Aandeel geïnstalleerde systemen met laag risico op dwangarbeid [%]	Paneel	(laag) <5%	DZW Marktgids Buyer Group



Postadres

Arthur van Schendelstraat 600
3511 MH Utrecht

Bezoekadres

Arthur van Schendelstraat 600
Utrecht

T +31 30 747 00 27

E infot@tki-urbanenergy.nl

T www.tki-urbanenergy.nl

