



# De impact van zonnepanelen in steden

Onderzoeksrapport naar de impact van het verlengen van het gebruik van zonnepanelen in steden. Adviezen voor een toekomstbestendige en circulaire energietransitie voor gemeenten.

# De Impact van Gebruiksduurverlenging van Zonnepanelen in Steden

## Data-gedreven inzichten en adviezen voor een toekomstbestendige en circulaire energietransitie

Met dit rapport benadrukken we de noodzaak om actie te ondernemen om de levensduur van zonnepanelen volledig te benutten, in het kader van de grootschalige opschaling van zonne-energie in steden. Gebaseerd op onderzoek uitgevoerd door TU Delft, Universiteit Leiden en AMS Institute, leveren we concrete data en resultaten over de milieu-impact en de bredere maatschappelijke waarde van het verlengen van de gebruiksduur en hergebruik van zonnepanelen op stadsniveau. Ook geven we richtlijnen met praktische voorbeelden voor beleidsmakers, met een specifieke focus op de gemeenten en partners in de e-waste-keten, om levensduurverlenging en hergebruik van PV-systemen te bevorderen.

### Waarom zetten we in op circulaire strategieën in de gebruiksfase van zonnepanelen?

Zonnepanelen worden gemiddeld veel eerder vervangen dan nodig is. Een installatie van 10 panelen is tegenwoordig al binnen 4,5 jaar terug te verdienen, en de nieuwste panelen hebben een hogere opwekkingscapaciteit dan de panelen van 10 jaar geleden. Wanneer een kwetsbaar onderdeel, zoals de omvormer, uitvalt, wegen de huidige kosten voor onderzoek, reparatie en gedeeltelijke vervanging vaak niet op tegen de investering in een volledig

nieuwe installatie. Dit fenomeen zien we nu al terug in de praktijk. Veel woningcorporaties kiezen er na 5 jaar al voor het hele systeem te vervangen wanneer een onderdeel niet meer goed functioneert. Ook grote energieleveranciers overwegen soms na 8 jaar al een geheel zonnepark te 'repoweren'. De panelen doen het nog goed, met een hoge prestatiegarantie van 25 jaar, maar belanden toch in het elektronisch afval.

Dit is problematisch zowel voor- als achter in de keten. Aan de voorkant leidt vroegtijdige vervanging tot een extra vraag naar nieuwe zonnepanelen, voornamelijk afkomstig uit China, dat momenteel 89% van de Nederlandse markt domineert. Diverse rapporten geven aan dat de productie van panelen in China mogelijk gepaard gaat met veel milieuschade en gedwongen arbeid. Bovendien kan een overmatige afhankelijkheid van de import van zonnepanelen de algehele veerkracht van ons energie systeem beïnvloeden. Aan de achterkant worden waardevolle en essentiële materialen voor het behoud en de uitbreiding van ons hernieuwbare energiesysteem weggegooid. Deze materialen worden nu versnipperd en vermengd met bulkmaterialen, zoals betonrecycklaat. Er is nog weinig zicht op circulaire recycling van zonnepanelen op industriële schaal.

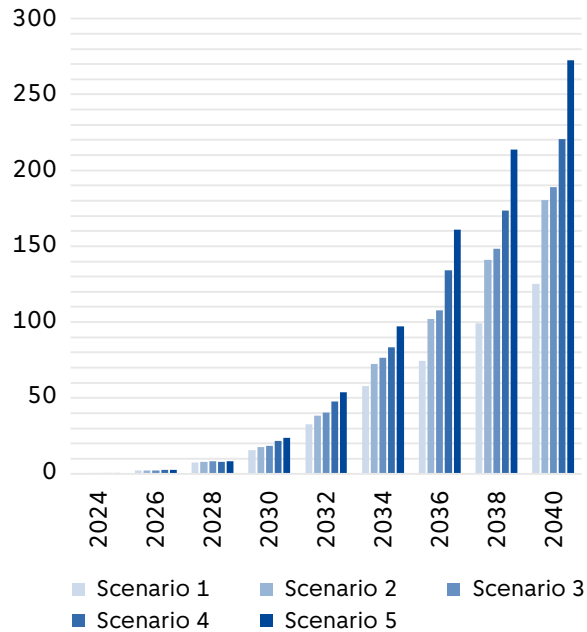
Beter omgaan met PV-systemen in de gebruiksfase, met als doel ze zo lang mogelijk in waarde te behouden en te benutten, biedt aanzienlijke milieuvoordelen. Levensduurverlenging vermindert bovendien de druk op de productieketen en direct hergebruik creëert een buffer voor de benodigde materialen van ons toekomstige hernieuwbare energiesysteem door recycling uit te stellen tot hoogwaardige technologie in voldoende capaciteit beschikbaar is. Een belangrijke zet, gezien de sterke afhankelijkheid van China voor onze energietransitie en de beperkte lokale beschikbaarheid van primaire materialen.

### Wat is de klimaatwinst van lokale levensduurverlenging van zonnepanelen in Amsterdam?

Als de gemeente Amsterdam erin slaagt om met beleidsmaatregelen de gemiddelde gebruiksduur van zonnepanelen op daken te verlengen van 12 naar 25 jaar zou dit resulteren in een besparing van 125 tot 272 kiloton aan CO<sub>2</sub>-equivalente emissies tussen 2024 en 2040. Dit is qua CO<sub>2</sub>-reductie vergelijkbaar met permanent overschakelen van een tot twee stadswijken ter grootte van de Kinkerbuurt naar aardgasvrije oplossingen. In economische termen komt het neer op 79 tot 176 miljoen euro aan schaduwkosten, o.b.v. interne CO<sub>2</sub> prijsbepalingen van de gemeente Amsterdam.



Voorkomen uitstoot dak-PV in Amsterdam bij verlenging gebruiksduur zonnepanelen van 12 jaar naar 25 jaar [kton CO<sub>2</sub>-Eq]



Voorkomen uitstoot dak-PV in Amsterdam bij verlenging gebruiksduur zonnepanelen van 12 jaar naar 25 jaar [kton CO<sub>2</sub>-Eq]

\*Voor info over de scenario's, zie hoofdstuk 3

Blijft de gemiddelde gebruiksduur van zonnepanelen steken op 12 jaar, dan eindigt de komende 10 jaar in Amsterdam naar verwachting bijna 30 miljoen euro aan silicium en zilver in de e-waste-stroom. Gebruiksduurverlenging verlaagt CO<sub>2</sub>-uitstoot in de zon-PV-keten, zorgt voor economisch waardebehoud van de materialen en verhoogt potentie voor hoogwaardige terugwinning van deze kostbare materialen wanneer de recyclingindustrie zover is.

### Geldt dit ook voor levensduurverlenging door hergebruiken van zonnepanelen?

Hergebruiken van zonnepanelen biedt aanzienlijke kansen om CO<sub>2</sub>-uitstoot te beperken en om kostbare grondstoffen in waarde te behouden. De behaalde CO<sub>2</sub>-reductie hangt af van verschillende ontwikkelingen, zoals de snelheid van de energietransitie in Nederland. Bijvoorbeeld, stel dat je in 2026 100 m<sup>2</sup> aan zonnepanelen wilt installeren op een dak met een resterend gebruikstermijn van 8 jaar, en dat we in 2035 een elektriciteitsmix hebben zonder fossiele brandstoffen zoals beoogd in de nationale doelstelling. Als je in dat geval kiest voor het hergebruik van afgedankte zonnepanelen die 12 jaar oud zijn, resulteert dat in een besparing van circa 5100 tot 9700 kg CO<sub>2</sub>-equivalente emissies. Het verschil ligt in het gebruik van een nieuw of tweedehands montagesysteem, dat in sommige gevallen niet hergebruikt kan worden. Met een nog beperkt aanbod aan tweedehands zonnepanelen dient voor hergebruik op korte termijn voorkeur gegeven te worden aan locaties met een beperkte gebruikstermijn, zoals daken die momenteel niet in aanmerking komen voor nieuwe zonnepanelen door gepland dakonderhoud. Dit draagt bij aan een betere verspreiding van onze hernieuwbare energievoorziening en geeft een extra impuls aan onze energietransitie.

Naarmate onze elektriciteitsmix duurzamer wordt, gaan lokale levensduurverlenging en hergebruik van PV-systemen steeds meer bijdragen aan het voorkomen van milieuschade.

### Wie kunnen hier effectief aan bijdragen?

Het rapport beschrijft het handelingsperspectief van verschillende ketenspelers. Zonnepaneeleigenaren, inclusief overheden met maatschappelijk vastgoed, kunnen het goede voorbeeld geven door goed met de eigen zonnepanelen-installaties om te gaan en de technische levensduur volledig te benutten (niet

zomaar vervangen). Reparatie van onderdelen zoals de omvormer, gedeeltelijke vervanging en producthergebruik van afgedankte panelen is mogelijk in de huidige markt. Ons huidige lineaire vervangingsstelsel stimuleert echter korte vervangingscycli en snelle laagwaardige e-waste verwerking. Gezamenlijk kunnen we het nodige draagvlak creëren om een systeem voor waardebehoud tot stand te brengen en downcycling te voorkomen. De hergebruikketen dient hiervoor geïntegreerd te worden in de huidige inzamelingsstructuur. De overheid kan haar e-waste-regelgeving zo inrichten dat de juiste prioritering voor levensduurverlenging tot stand komt en elke ketenspeler hier actief zorg voor draagt. Deze transitie kost geld en vereist een nieuwe organisatiestructuur, waarbij de nadruk niet ligt op financiële korte termijn winst, maar langdurige ecologische en sociaal maatschappelijke baten.

### Wat kunnen gemeenten doen om levensduurverlenging van zonnepanelen te bevorderen?

De gemeente kan in samenwerking met haar partners actief sturen op levensduurverlenging van PV-systemen. Op die manier handelt de gemeente proactief naar haar energietransitie- en circulariteitsambities. De volgende interventies zijn mogelijk:

- Eigen PV-onderdelen behouden of beschikbaar stellen voor hergebruik.** Geïnstalleerde PV-systemen op gemeentelijk eigendom zo lang mogelijk behouden of verplaatsen wanneer een geschikte nieuwe locatie gevonden is.
- Eigen vastgoed en assets inzetten.** Beschikbaar stellen van gemeentelijke daken, grond of andere assets (bijvoorbeeld bushokjes, bouwketen, parkeeroverkappingen) voor de (evt. tijdelijke) installatie van tweedehands PV-systemen.

3. **Inkoop als instrument.** Integreren en hoog waarderen van criteria voor levensduurverlenging in de gunnings- en selectiecriteria voor inkoop en aanbesteding van zon-PV-installaties, bijvoorbeeld voor onderhoud, beschikbaarheid van reserveonderdelen, gebruik van tweedehands producten of componenten, of eisen voor demontage en toekomstig hergebruik. CO<sub>2</sub>-beprijzing kan hier een belangrijke rol in spelen.
4. **Subsidie als instrument.** Subsidiëren van tweedehands panelen en montagesystemen of kosten dekken voor reparatie of vervanging van onderdelen zoals de omvormer.
5. **Investeringsbeslissingen.** Investeren in testcapaciteit en logistieke oplossingen voor inzameling en opslag en (co-)financieren van operationele kosten voor de hergebruikketen, bijvoorbeeld vanuit social return.
6. **Rol als ketenpartner inzameling.** Benutten van de wettelijke rol van de gemeente om het belang van levensduurverlenging te versterken in de nationale wetgeving voor AEEA.
7. **Rol als verbinder en communicatie:** (A) Proactief adressen benaderen om de stimulering van levensduurverlenging te bevorderen, bijvoorbeeld met behulp van luchtfotodata; (B) Organiseren van aanbod tweedehands panelen met regionale partners; (C) De vraag naar tweedehands panelen beïnvloeden en bijeenbrengen in samenwerking met woningcorporaties en VvE's; (D) Beïnvloeden en in stelling brengen van installateurs die mee willen werken aan een zorgvuldige demontage.

In dit rapport zijn verschillende concrete voorbeelden benoemd voor de gemeente Amsterdam. Hoewel meer onderzoek op het gebied van gebruiksduur, technische levensduur van PV-onderdelen en circulaire innovatie nodig is, illustreert dit rapport dat onmiddellijke actie belangrijk en mogelijk is om grote stappen te zetten naar een duurzame en toekomstbestendige energietransitie.

<b>Samenvatting</b>	<b>2</b>	<b>4. Het huidige vervangingsstelsel van zonnepanelen in Nederland</b>	<b>22</b>
<b>Inleiding</b>	<b>6</b>	4.1 Welke partijen spelen een actieve rol in de huidige e-wasteketen voor PV?	22
<b>1. Onderbelichte uitdagingen bij de snelle uitrol van zonnepanelen</b>	<b>7</b>	4.2 Welke interventies zijn mogelijk per ketenspeler voor levensduurverlenging PV?	23
<b>2. Impact van zon-PV op het klimaat</b>	<b>9</b>	4.3 Hoe werkt de huidige hergebruikketen en hoe is deze te verbeteren?	25
2.1 Methode impactanalyse	9	<b>5. Interventiemogelijkheden gemeenten voor levensduurverlenging van zonnepanelen</b>	<b>27</b>
2.2 Resultaten: CO <sub>2</sub> -reductie door lokale levensduurverlenging	13		
2.3 Onderscheid tussen lokale levensduurverlenging en hergebruik	16		
2.4 Resultaten: CO <sub>2</sub> -winst bij hergebruik PV op dak/grond met onbeperkte gebruikstermijn	17		
2.5 Resultaten: CO <sub>2</sub> -winst bij hergebruik PV op dak/grond met beperkte gebruikstermijn	18		
2.6 Conclusie klimaat-impact analyse	18		
<b>3. Bredere maatschappelijke impact bij levensduurverlenging van PV</b>	<b>19</b>		
3.1 Uitbuiting in de productieketen	19		
3.2 Europese producenten bezwijken onder agressieve internationale concurrentie	19		
3.3 Verlenging levensduur zonnepanelen als directe sleutel voor minder import China	19		
3.4 Minder risico's op hoge energieprijzen en inflatie	19		
3.5 Verspilling kostbare materialen	20		
3.6 Perspectief op hoogwaardige recycling vergroten door levensduurverlenging	20		

De snelle uitrol van zonnepaneel-installaties is van groot belang voor de uitfasering van fossiele brandstoffen in de strijd tegen klimaatverandering. Achter de schittering van deze zonnepanelen doemen echter schaduwen op die onze energietransitie vroeg of laat in de knel brengen. Te midden van de snelle ontwikkeling van duurzame energiebronnen ontstaan er complexe vraagstukken, zoals de sterke afhankelijkheid van China of de matige recyclingopties voor kritieke grondstoffen. In dit rapport staat de vroegtijdige vervanging van nog goed functionerende zonnepanelen centraal – onderbelicht, maar cruciaal. Dit fenomeen belast het klimaat onnodig en verergert onze afhankelijkheid van kritieke grondstoffen en dwangarbeid in de productieketen. Het goede nieuws is, we kunnen dit probleem van vroegtijdige vervanging oplossen zonder de energietransitie te vertragen. Met dit rapport laten we zien hoe dat kan en het kwantificeert wat de impact is van levensduurverlenging van zonnepanelen op netto CO<sub>2</sub>-reductie in een stedelijke omgeving met Amsterdam als voorbeeld.

### Aanleiding rapport

De aanleiding van dit rapport is een recent onderzoek, uitgevoerd door TU Delft, Universiteit Leiden en AMS Institute. In dit onderzoek wordt aan de hand van een grondige dynamische levenscyclusanalyse voor zon-PV-systemen in diverse toekomstscenario's, de klimaatwinst van het verlengen van de gebruiksduur van zonnepanelen in Amsterdam in kaart gebracht. De volgende onderzoeksvraag is hiermee beantwoord:

***Wat is het effect van operationele levensduurverlenging van zonnepanelen op de netto milieu-impact van dak-PV-systemen, opgeschaald naar de maximum dakcapaciteit van Amsterdam in 2040?***

Naar aanleiding van dit technische onderzoek hebben we de bredere maatschappelijke waardecreatie door levensduurverlenging van zonnepanelen verder onderzocht. Daarnaast hebben we mogelijke interventies verkend voor gemeenten en partners in de e-waste keten om hoogwaardige circulaire strategieën (Refuse, Reuse, Repair) voor zonnepanelen te bevorderen. Op basis van deze verkenning geven we praktijkgerichte voorbeelden, die steden zoals Amsterdam direct kunnen toepassen.

### Leeswijzer

In hoofdstuk 1 beschrijven we de onderbelichte uitdagingen die gepaard gaan met de snelle uitrol van zonnepanelen. Als er al over oplossingen gesproken wordt, dan gaat de publieke discussie vooral over verschuiving van productie naar Europa (de voorkant van de keten) of over de ontwikkeling van PV-recycling-technologie (de achterkant van de keten). Wij leggen de nadruk op de cruciale rol van circulaire strategieën in de gebruiksfase (Refuse, Reuse, Repair, Refurbish). Daar is al op korte termijn enorme winst te behalen om onze energietransitie toekomstbestendig te maken.

In hoofdstuk 2 kwantificeren we de specifieke klimaatwinst, die haalbaar is door de levensduur van zonnepanelen te verlengen. We laten zien wat dit betekent op gebouwniveau en op het niveau van een hele stad, langs verschillende scenario's richting 2040. We maken hier het onderscheid tussen lokale levensduurverlenging en hergebruik.

In hoofdstuk 3 duiken we dieper in de bredere maatschappelijke impact van levensduurverlenging en hergebruik, terwijl we in hoofdstuk 4 inzicht bieden in de huidige stand van zaken met betrekking tot de afdanking van zonnepanelen in Nederland. Hier zetten we de huidige e-waste-keten uiteen en benoemen

we algemene interventies per ketenspeler om de hergebruikketen te bevorderen. Afsluitend reiken we in hoofdstuk 5 concrete interventiemogelijkheden aan voor gemeenten, met specifieke voorbeelden voor Amsterdam.

### Dankwoord van hoofdauteur

Ik wil graag de volgende individuen bedanken voor hun waardevolle bijdrage aan het wetenschappelijk onderzoek: Joppe van Driel (AMS Institute), Stefano Cucurachi (CML, Universiteit Leiden) en Malte Vogt (PVMD, TU Delft) voor hun kritische blik, nuttige feedback en algemene ondersteuning. Daarnaast wil ik Maarten Verkou van PV Works bedanken voor het aanleveren van relevante data, waarmee de impactanalyse tot op specifiek gebouwniveau in Amsterdam aanzienlijk is verscherpt.

Ook wil ik mijn waardering uitspreken naar de volgende organisaties voor hun tijd en waardevolle bijdrage aan de praktijkgerichte verkenning: Stichting ZonNext, WEEE NL, Refurn B.V., Energiecoöperatie Zuiderlicht, Masterplan Zuidoost, WOCO-Zon, Woningcorporatie Ymere en de volgende afdelingen in de gemeente Amsterdam:

Afdeling Grond- & Ontwikkeling, afdeling Sport- & Bos, afdeling Gemeentelijk Vastgoed, afdeling Circulaire Economie R&D, afdeling Armoedebestrijding en het interne ingenieursbureau. Speciale dank gaat uit naar Team Zon van de directie Ruimte & Duurzaamheid, afdeling Energietransitie voor hun betrokkenheid en behulpzaamheid bij het navigeren in de organisatie.

# 1. Onderbelichte uitdagingen bij de snelle uitrol van zonnepanelen

Het gaat goed met de uitrol van zonnepanelen in Amsterdam. Met de ambitieuze doelstelling om honderd procent van het beschikbare dakoppervlak te benutten voor zonne-energie in 2040, zet Amsterdam de toon voor de energietransitie in Nederland. Er wordt massaal geïnvesteerd in zonnepanelen nu de kosten in afzienbare tijd terug te verdienen zijn. Maar deze explosie aan nieuwe installaties brengt ook enorme uitdagingen mee:



## Vroegtijdige vervanging van zonnepanelen.

PV-eigenaren vervangen hun zonnepanelen vaak te snel.

Daardoor komen veel zonnepanelen, die nog goed functioneren en nog vijf tot zelfs 20 jaar energie kunnen

opwekken, in de e-waste stroom terecht. De prestatie van zonnepanelen is de afgelopen jaren enorm verbeterd en zal naar verwachting tenminste de komende tien jaar nog fors blijven verbeteren. Daarnaast is de terugverdientijd voor een zonnepaneelinstallatie nog nooit zo kort geweest.<sup>1</sup> Wanneer een kwetsbaar onderdeel van de installatie, zoals de omvormer, kapotgaat, is het al gauw financieel aantrekkelijk om het hele systeem te vervangen. Dit betekent dat er een stuk sneller nog bruikbare zonnepanelen in de e-waste-stroom terecht komen dan over het algemeen in de literatuur wordt aangenomen. Steden hebben de kans de panelen langer in gebruik te laten en zo de druk op de productieketen te verlagen. Dat is een belangrijk beleidsdoel, omdat er meer problemen verbonden zijn aan de productieketen van nieuwe zonnepanelen.

1 Breukelman, 2024 – Uit een recente berekening blijkt dat met een dynamisch energiecontract, de investering in een installatie van 10 panelen tegenwoordig al na 4 tot 5 jaar is terug te verdienen.



## Hoge milieu-impact in de productieketen van zon-PV.

Hoewel de opwekking van elektriciteit uit zonne-energie duurzaam en hernieuwbaar is, is de productie van de benodigde technologieën dat niet. De

elektriciteitsmix in productielanden heeft een grote invloed op de broeikasgasemissies tijdens de productie. Op dit moment komt 89 procent van de zonnepanelen geïnstalleerd in Nederland, uit China<sup>2</sup>, waar in 2021 nog 63 procent van de elektriciteit opgewekt is uit kolencentrales.<sup>3</sup> Er is weinig transparantie over welke energiebronnen worden ingezet in de productieketen van zonnepanelen uit dit land, maar het is aannemelijk dat steenkool hier een grote rol in speelt.<sup>4</sup> Naast de impact op het klimaat worden ook lokale ecosystemen aangetast door de schadelijke stoffen die vrijkomen tijdens het productieproces.<sup>5</sup> Hoewel de technologieën voor zonne-energie essentieel zijn in de energietransitie, is het belangrijk kritisch te blijven over de milieuschade die elders ontstaat en oplossingen te ontwikkelen om deze te verminderen.



## Onzekerheid over arbeidsomstandigheden in de PV productieketen.

45 procent van het wereldwijde aanbod polykristallijn silicium, een materiaal dat nodig is voor het produceren van zonnepanelen, is afkomstig uit de regio Xinjiang in China. Onderzoek van het Helena Kennedy Centre for International Justice

2 CBS – [Nederland grootste importeur Chinese zonnepanelen](#)

3 IEA – [Electricity generation mix, China, 2021](#)

4 Mulvaney, D. & Bazilian, M., 2023

5 Tawalbeh et al., 2021

heeft aangetoond dat de werkomstandigheden van veel werknemers in dit gebied niet voldoen aan internationale normen.<sup>6</sup> Dit heeft geleid tot geopolitieke spanningen vanwege beschuldigingen van gedwongen arbeid, welke stellen dat etnische minderheden, waaronder Oeigoeren, Kirgiezen, Kazachen en Tadzjiekken, gedwongen worden zich in Xinjiang te vestigen en deel te nemen aan programma's voor arbeidsherscholing en werkkampen.<sup>7</sup> Daarom is naast internationale druk op rechtvaardige werkomstandigheden ook op lokale schaal de afhankelijkheid van deze keten kritisch te overwegen.



## Afhankelijkheid van China vormt een risico voor een veerkrachtige toeleveringsketen en kan bijdragen aan energiearmoede.

Met de extreem snelle opschaling en optimalisatie van de productie heeft China een dominante positie geclaimd op de PV-markt. Nu de productieketen zich vooral in China bevindt, zouden geopolitieke conflicten snel kunnen leiden tot een tekort aan materialen en tot een rem op de energietransitie in Nederland. Hoewel er al ingezet wordt op Europese productie<sup>8</sup> zal Europa in ieder geval de komende decennia nog afhankelijk zijn van andere grootmachten voor de vereiste opschaling voor de energietransitie. Geopolitieke conflicten met China zouden kunnen leiden tot een enorme prijsstijging, wat de bewoners met een krappe portemonnee harder raakt, en de veerkrachtigheid van onze energietransitie zou kunnen schaden. Het is op dit

6 Murphy, L. & Elimä, N., 2021

7 Mulvaney, D. & Bazilian, M., 2023

8 De [Net-Zero Industry Act](#) van de Europese Commissie heeft als doel om 40 procent van de benodigde productiecapaciteit voor 'net-zero technologieën', waaronder zonnepanelen, in Europa te produceren in 2030.

# 1. Onderbelichte uitdagingen bij de snelle uitrol van zonnepanelen

gebied enorm belangrijk om te anticiperen op potentiële geopolitieke conflicten.



## Recycling voorlopig geen serieuze oplossing voor schaarste materialen.

Zonnecellen bevatten de grondstoffen zilver, silicium en in de nieuwste cellen ook het kritische materiaal indium. Hoewel producenten streven naar

verminderen van het gebruik van zilver, oefent de explosieve toename van PV-installaties een aanzienlijke druk uit op de mondiale reserves.<sup>9</sup> Daarnaast concurreren zonnepaneelproducenten om indium, dat ook gebruikt wordt voor de platte beeldschermtechnologie in tv's, telefoons en laptops.<sup>10</sup> Het gros van de zonnepanelen afkomstig van Nederlandse daken wordt op dit moment laagwaardig gerecycled in het buitenland. Dat houdt in dat de meest waardevolle onderdelen, zoals de cellen, versnipperd eindigen in beton of asfalt. De komende jaren zal het aantal panelen dat van de daken gehaald wordt snel toenemen. Er is nog geen hoogwaardige verwerkingsmethode op industriële schaal voor de meest kostbare elementen. Gezien de huidige technische en economische barrières kan het nog lang duren voordat de materialen op dusdanig hoogwaardig niveau, op grote schaal en op een duurzame manier worden teruggewonnen voor hergebruik in zonnepanelen.<sup>11</sup> Hoewel hoogwaardige recycling cruciaal is voor een circulaire economie, is het belangrijk om te kijken naar manieren om de technologieën zolang mogelijk in gebruik te laten.

<sup>9</sup> Li, W., & Adachi, T., 2019

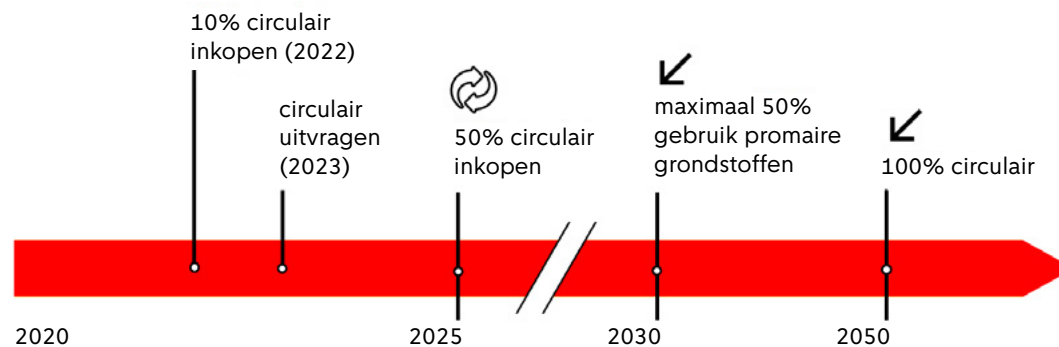
<sup>10</sup> Kleijn, R. et al., 2022

<sup>11</sup> Späth et al, 2022

## Hoe kunnen we het beste omgaan met deze uitdagingen voor de energietransitie in Nederland?

Circulaire strategieën spelen een cruciale rol, met name de benaderingen die hoog op de R-ladder staan en gericht zijn op de gebruiksfase (Refuse, Reuse, Repair, Refurbish). Het is mogelijk om vroegtijdige afdanking van zonnepanelen tegen te gaan door de operationele levensduur te verlengen en de panelen in gebruik te houden tot het einde van hun technische levensduur. Dit is de meest effectieve manier om het gebruik van primaire grondstoffen te minimaliseren, in lijn met de circulariteitsdoelstellingen van gemeente Amsterdam (zie **Figuur 1**).

Daarnaast draagt deze interventie ook fors bij aan de emissiebesparingsdoelstellingen van de stad. Het volgende hoofdstuk biedt inzicht in de emissiebesparingen die mogelijk zijn in Amsterdam als we de komende jaren inzetten op levensduurverlenging (LDV) van zonnepanelen.



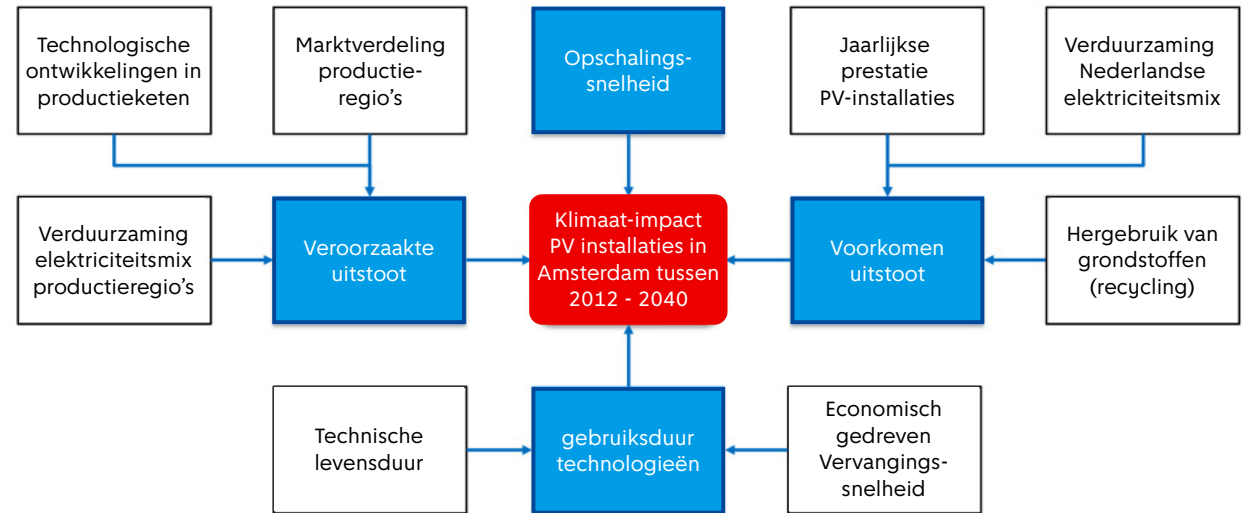
**Figuur 1:** circulariteitsdoelstellingen gemeente Amsterdam (Bron: gemeente Amsterdam, 2020)



Wat is de klimaat-impact van zon-PV systemen? Welke CO<sub>2</sub>-equivalente emissies vinden plaats tijdens de productie en toelevering van een zonnepaneel? Zal dit de komende jaren veranderen? En wat zou de bijdrage van levensduurverlenging zijn aan het verminderen van deze klimaat-impact? In dit hoofdstuk geven we hier een kwantitatieve berekening voor, met Amsterdam als casus. De berekeningen zijn gebaseerd op een onderzoek uitgevoerd door TU Delft, CML en AMS Institute.<sup>12, 13</sup>

In wat volgt beschrijven we eerst kort de relevante factoren, die meespelen in dit vraagstuk, daarna laten we met verschillende scenario's zien wat dit concreet voor Amsterdam betekent.

- 12 De Vilder et al., 2023: Verdere publicatie in een wetenschappelijk tijdschrift is in ontwikkeling. Voor vragen over het wetenschappelijk onderzoek of deze publicatie kun je contact opnemen met de hoofdauteur via [sietse.devilder@ams-institute.org](mailto:sietse.devilder@ams-institute.org).
- 13 NB In het gepubliceerde onderzoek is de Europese dynamische elektriciteitsmix gebruikt om de te voorkomen uitstoot te berekenen. De hoofdauteur heeft sindsdien op basis van nieuwe data de Nederlandse dynamische elektriciteitsmix toegepast, die andere resultaten vertoont. Daarnaast is een lineaire opschaling voor PV in Amsterdam aangenomen door gebrek aan data. Op basis van jaarlijkse luchtfoto's van Readar en de gemeentelijke doelstellingen is de opschaling accurater gemodelleerd (Zie **Figuur 6**).



**Figuur 2:** Meespelende factoren in de berekening voor klimaat-impact PV installaties in Amsterdam

## 2.1 Methode impactanalyse

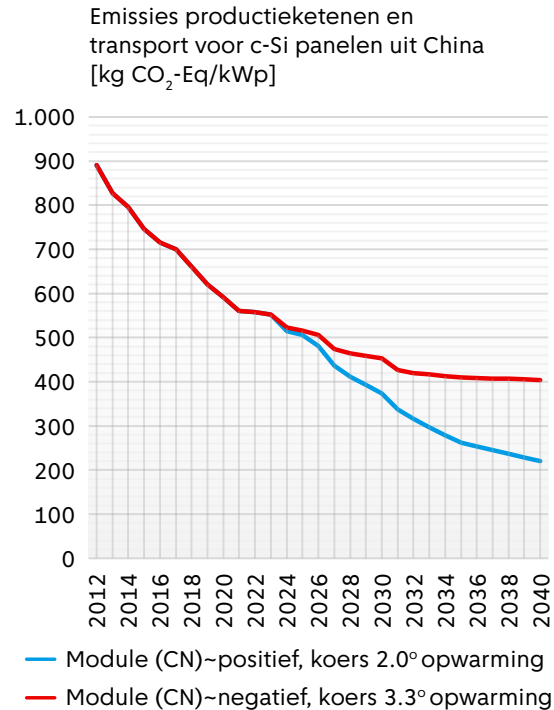
Om inzicht te krijgen in de totale (toekomstige) klimaat-impact van PV-installaties op de stadsschaal in Amsterdam moeten we rekening houden met een complexe set aan factoren. In **Figuur 2** staat een versimpeld overzicht van de meespelende factoren in de berekeningen. Er schuilt veel onzekerheid achter deze tijdsafhankelijke factoren en hun onderlinge afhankelijkheid. Hierdoor kunnen we geen exacte voorspelling maken van de werkelijke klimaat-impact van PV-installaties in Amsterdam tot 2040. Het is wel goed mogelijk om een aantal relevante toekomstscenario's te definiëren. Vervolgens kunnen we voor deze scenario's goed voorspellen wat de klimaatimpact zal zijn. Zo kunnen we ook het nut van bepaalde interventies onderzoeken, zoals het verlengen van de gebruiksduur van zonnepanelen.

## Welke uitstoot veroorzaken we in de productieketen?

De productie en levering van 10 zonnepanelen uit China zorgen op dit moment voor ca. 2200 kg CO<sub>2</sub>-eq emissies.<sup>14</sup> Als je de uitstoot voor het hele systeem meeneemt, waaronder de omvormer, het montagesysteem en de bekabeling, kom je uit op 3840 kg CO<sub>2</sub>-eq emissies. Dit is vergelijkbaar met de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-uitstoot van een gemiddeld huishouden door vervoer (auto, OV en fiets).<sup>15</sup>

14 Uitgaande van een vermogen van 429 Wp per paneel zou de productie van tien Chinese zonnepanelen in 2024 verantwoordelijk zijn voor ca. 2200 kg CO<sub>2</sub>-eq emissies (zie **Figuur 3**).

15 Milieu Centraal, 2023



**Figuur 3:** trend emissies productieketen PV uit China

**Figuur 3** toont hoe de broeikasgasemissies voor de gehele productieketen en het transport van zonnepanelen uit China in de loop van de jaren verandert. In de uitgebreide toekomstige levenscyclusanalyse voor de productie van zonnepanelen hebben we zowel de technologische ontwikkelingen in de productieketen als de mogelijke socio-technische ontwikkelingen van de productielanden meegenomen.<sup>16</sup>

16 In een levenscyclusanalyse (LCA) wordt de milieubelasting van een product of service binnen een bepaalde scope (bijvoorbeeld van grondstofwinning tot afvalverwerking) bepaald. In een toekomstige LCA ('prospective LCA') worden ook mogelijke veranderingen in de keten meegenomen.

'Technologische ontwikkeling in de productieketen' verwijst onder meer naar de hoeveelheid benodigde materialen in de productieprocessen van zonnepanelen. Producenten gebruiken bijvoorbeeld steeds minder silicium voor de zonnecellen.<sup>17</sup> 'Socio-technische ontwikkelingen' verwijst naar de ontwikkelingen van de elektriciteitsmix van productielanden, beïnvloed door de nationale doelstellingen.<sup>18</sup> Denk aan het officiële doel van China om in 2030 minstens 1200 gigawatt aan energie uit zon en wind te produceren en in 2060 'CO<sub>2</sub>-neutraal' te zijn.

De aanname is hier dat voor de productie van zonnepanelen de 'gemiddelde' nationale Chinese elektriciteitsmix gebruikt wordt. Door hun steeds hogere rendement en capaciteit zijn we met zonnepanelen steeds beter in staat om bij te dragen aan verminderde afhankelijkheid van fossiele energie. Tegelijkertijd zal de voorkomen uitstoot per kilowattuur, opgewekt uit zonne-energie, steeds minder zijn in het komende decennium. Immers, in een steeds duurzamere elektriciteitsmix, waarin fossiel wordt uitgefaseerd, valt steeds minder CO<sub>2</sub>-uitstoot te voorkomen en voert de schade door productie steeds meer de boventoon. In West-Europa is de broeikasgasuitstoot voor de productie van zonnepanelen over het algemeen lager door een schonere elektriciteitsmix. Een marktverschuiving naar Europa heeft veel invloed op de klimaatimpact voor de productie van PV-systemen.

17 VDMA, 2022

18 Voor de ontwikkelingen van de elektriciteitsmix zijn verschillende 'Representative Carbon Pathways (RCPs)' gebruikt uit het IMAGE Integrated Assessment Model (IAM) van PBL, die zowel voorgrond- als achtergrondprocessen in de levenscyclusanalyse beïnvloeden.

### Welke uitstoot voorkomen we door het gebruik van zonnepanelen?

Als je zonnepanelen inkoop en installeert dan veroorzaakt je uitstoot (door productie en transport), maar je voorkomt ook uitstoot doordat je minder fossiele brandstoffen nodig hebt voor je energieconsumptie. Om de netto-impact van zonnepaneelinstallaties te berekenen, moeten we de uitstoot, die je voorkomt, aftrekken van de uitstoot, die je veroorzaakt. Welke uitstoot voorkomen we precies met de installatie van zonnepanelen en zal dit de komende jaren veranderen?

In het onderzoek nemen we aan dat je met elke kilowattuur dat je opwekt uit zonne-energie de inzet van een kilowattuur uit de Nederlandse elektriciteitsmix voorkomt. Met andere woorden, hoe meer zonnepanelen op de Nederlandse daken, hoe minder kolen en gas in de energiemix. 'Rebound effects' nemen we hier niet in mee.<sup>19</sup> We gaan er van uit dat de opwekking van zonne-energie niet voor extra energieverbruik zorgt, maar volledig ten goede komt aan het duurzaam invullen van de bestaande elektriciteitsvoorziening.

Door hun steeds hogere rendement en capaciteit zijn we met zonnepanelen steeds beter in staat om bij te dragen aan verminderde afhankelijkheid van fossiele energie. Tegelijkertijd zal de voorkomen uitstoot per kilowattuur, opgewekt uit zonne-energie, steeds minder zijn in het komende decennium. Immers, in een steeds duurzamere elektriciteitsmix, waarin fossiel wordt uitgefaseerd, valt steeds minder CO<sub>2</sub>-uitstoot te voorkomen.

19 Aydin et al., 2023 – Recent onderzoek toont aan dat het opwekken van extra zonne-energie ook zorgt voor een hoger elektriciteitsverbruik door Nederlandse huishoudens (een rebound effect van 7.7%).

Zoals te zien in **Figuur 4** is de prestatie van zonnepanelen sterk verbeterd. Deze ontwikkeling blijft naar verwachting de komende jaren doorgaan. Snel vervangen van oude panelen door beter presterende panelen zorgt in theorie voor meer voorkomen van uitstoot, zolang we afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen. De uitstoot van de Nederlandse elektriciteitsmix verandert echter snel. Zoals te zien in **Figuur 5** is de uitstoot voor één kilowattuur uit de Nederlandse elektriciteitsmix de afgelopen tien jaar fors verlaagd.<sup>20</sup> Volgens het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) is de meest recente doelstelling om in 2035 al een compleet fossielvrije elektriciteitsproductie te hebben.<sup>21</sup> Gezien de huidige dynamiek in de politiek kan de energietransitie ook vertraging oplopen. In het onderzoek is ook het scenario van fossielvrije elektriciteitsproductie in 2045 meegenomen. In dat geval zal de uitstoot die je voorkomt door installatie van nieuwe zonnepanelen nog langer hoger uitvallen (want de elektriciteitsmix blijft langer op fossiel draaien).

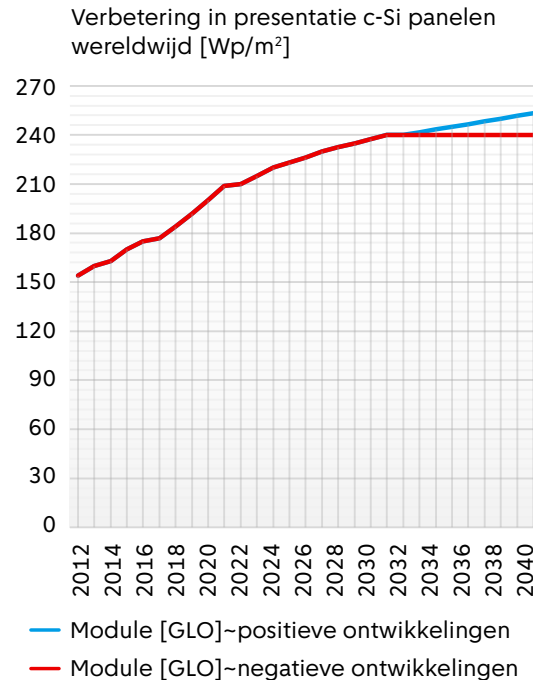
De mogelijke overbelasting van het elektriciteitsnet heeft het omgekeerde effect. Als het elektriciteitsnet het aanbod van zonne-energie op piekmomenten niet aankan, kunnen zonnepaneelinstallaties worden afgesloten. De uitstoot die je met zonnepanelen voorkomt, valt dan juist lager uit. De gemeente Amsterdam zet in samenwerking met TenneT en Liander fors in op de uitbreiding van de elektriciteitsinfrastructuur.<sup>22</sup> In Amsterdam is de beschikbare capaciteit voor teruglevering/invoeding van elektriciteit aan het elektriciteitsnet nog geen groot probleem.<sup>23</sup>

<sup>20</sup> CBS – [Rendementen en CO<sub>2</sub>-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland](#)

<sup>21</sup> Rijksoverheid, 2023; Het elektriciteitsnet zal ook bij hernieuwbare energie een zekere mate van uitstoot behouden. Hiervoor wordt de impact van windenergie aangenomen (0.018kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh).

<sup>22</sup> Gemeente Amsterdam, 2023 [1]

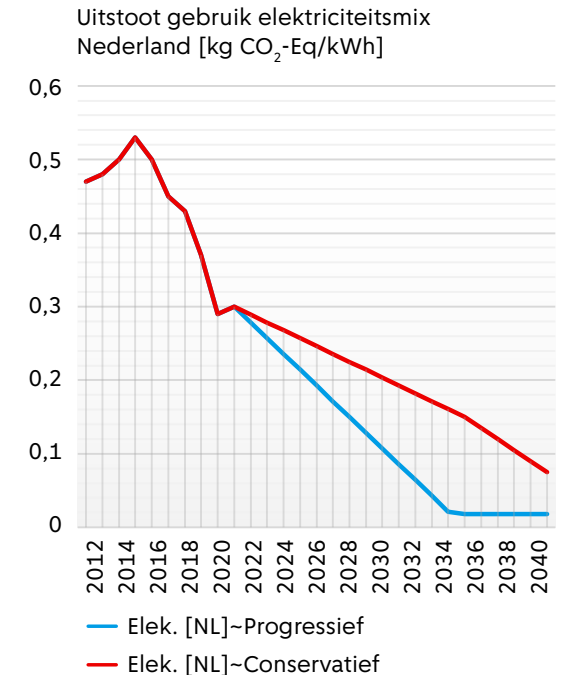
<sup>23</sup> Liander – [Transportcapaciteit Amsterdam](#)



**Figuur 4:** trend verbetering prestatie zonnepanelen

In het onderzoek is de mogelijke begrenzing van de toekomstige invoeding niet meegenomen.

Hergebruiken van grondstoffen na afdanking zorgt ook voor een zekere mate van het voorkomen van emissies, aangezien er minder behoefte is aan het winnen van primaire grondstoffen (met name voor hergebruik van glas, aluminium en silicium). De (voorkomen) emissies door materiaal terugwinning in het huidige recycling-systeem zijn ook meegenomen in de analyse. De klimaat-impact van een hoogwaardig recyclingsysteem, waar een substantieel aandeel



**Figuur 5:** Trend uitstoot elektriciteitsproductie Nederland

silicium is teruggewonnen in een realistisch opschalings-scenario, dient verder onderzocht te worden. Hierbij is met name de balans tussen de milieubelasting voor zuivere materiaal terugwinning en de voorkomen emissies door het vermijden van een deel van de primaire grondstofwinning belangrijk.

Wat betekent dit concreet voor Amsterdam: hoe kunnen we de uitstoot die we voorkomen met de uitrol van zonnepanelen maximaliseren terwijl we de uitstoot die we veroorzaken in de productieketen zo klein mogelijk maken?

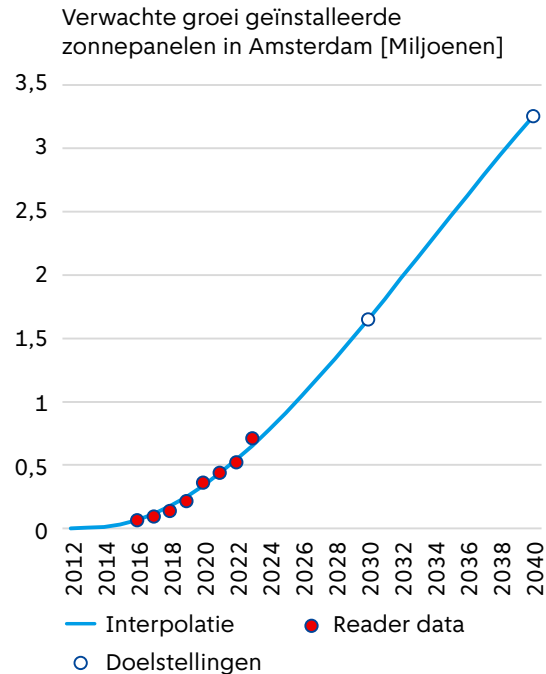
### Opschalingsnelheid zon-PV in Amsterdam

Om de balans van de veroorzaakte versus de voorkomen uitstoot op stadsniveau op te maken, moeten we weten hoeveel zonnepanelen er de komende decennia in Amsterdam geïnstalleerd worden. Met behulp van fly-over data en een uitgebreid model van PV Works kunnen we vaststellen dat het huidige beschikbare dakoppervlak in Amsterdam in totaal 3.25 miljoen zonnepanelen kan dragen.<sup>24</sup> De gemeente heeft als doelstelling om in 2030 50 procent en in 2040 100 procent van het geschikte dakoppervlak te benutten voor zonne-energie. Luchtfoto data van Readar laten zien dat Amsterdam op koers ligt om deze doelstellingen te halen.<sup>25</sup>

In **Figuur 6** laten we zien hoe opschaling van zonnepaneelinstallaties in Amsterdam verloopt als de stad op koers blijft. De kans is groot dat het aantal installaties de komende jaren nog meer zal versnellen, aangezien de terugverdientijd nog nooit zo kort geweest is. Recent is de uitfasering van de salderingsregeling afgewezen in de Eerste Kamer. Dit betekent in de praktijk dat het nu nog voordeliger is om te investeren in een zonnepaneelinstallatie. Het betekent echter ook dat zonnepaneel-eigenaren er meer financiële baat bij hebben om hun oude systeem eerder te vervangen. Wat betekent dit in de praktijk?

<sup>24</sup> PV Works heeft voor het wetenschappelijk onderzoek het dakpotentieel (hoeveelheid panelen en de elektriciteits-opbrengst) per gebouw gemodelleerd.

<sup>25</sup> Gemeente Amsterdam – Zonnepanelen – toename van aantal en vermogen



**Figuur 6:** beoogde opschaling zonnepanelen Amsterdam

### Gebruiksduur zonnepanelen

Naast de opschalingsnelheid van zonnepanelen in de stad, heeft ook de vervangingsnelheid van zonnepanelen effect op de netto-uitstoot van zon-PV. Enerzijds, hoe sneller we onze zonnepanelen vervangen door nieuwe exemplaren, hoe meer de (overzeese) fabrieken moeten produceren en hoe groter de uitstoot die we veroorzaken. Anderzijds zorgt een snellere vervanging voor snellere adoptie van beter presterende zonnepanelen, die meer uitstoot in het Nederlandse energiesysteem kunnen voorkomen.

Wat is nu de gemiddelde operationele levensduur van een zonnepaneel? Veel wetenschappelijke artikelen die de milieu-impact van zon-PV-installaties onderzoeken, gaan uit van een gemiddelde levensduur van tenminste 25 jaar. Het IEA hanteert zelfs een richtlijn van 30 jaar.<sup>26</sup> In de praktijk gooien we onze zonnepanelen echter veel eerder weg dan nodig. Hier zijn twee hoofdredenen voor:

#### 1. De economische levensduur van zonnepanelen is korter dan de technische levensduur.

Tegenwoordig kan met een dynamisch energie contract een installatie van 10 panelen al binnen 4.5 jaar worden terugverdiend. In het geval van een vast/variabel contract met terugleverheffing wordt dit ingeschat op 5.5 jaar.<sup>27</sup> Wanneer een onderdeel van de installatie gerepareerd of vervangen moet worden, wegen de installatie-/reparatie kosten al gauw niet meer op tegen de extra winst bij het installeren van een nieuwe set beter presterende zonnepanelen. In de praktijk blijkt dat om die reden veel woningcorporaties er zelfs na 5 jaar al voor kiezen om de hele installatie te vervangen, wanneer bijvoorbeeld de omvormer uitvalt en onderzoek gedaan moet worden naar de

<sup>26</sup> Frischknecht et al., 2020

<sup>27</sup> Breukelman, F., (2024)



vereiste reparatie.<sup>28</sup> Ook grote energieleveranciers kiezen strategisch voor vernieuwen van hun zonneparken, soms al na 8 jaar, bijvoorbeeld door vernieuwde subsidieregelingen of uitbreidingsmogelijkheden.<sup>29</sup> Logischerwijs hebben de producent, de leverancier, de installateur en ook de recycler op korte termijn financieel baat bij de eerdere vervanging van de panelen. Zeker nu, gezien er een overschot aan zonnepanelen op de Europese distributiecentra ligt waar leveranciers zo snel mogelijk vanaf willen.<sup>30</sup>

2. **Elektrificatie vraagt om een snelle groei van het aanbod duurzame energie.** In het Nationaal Plan Energiesysteem staat de maximale inzet op de groei van opwek van duurzame energieproductie voorop, om in 2035 de elektriciteitsvraag compleet in te vullen met fossielvrije energiebronnen. Gezien de snelle prestatieverbetering van zonnepanelen (zie **Figuur 3**) kan het versneld vervangen van grote zonneparken ook vanuit de overheid een aantrekkelijk middel zijn. Er is echter genoeg

---

28 Persoonlijke communicatie WOCO-zon (Circular Economy Lab 24) – WOCO-zon is een non-profitorganisatie die zich richt op het installeren en beheren van zonnepanelen voor sociale huurwoningen, in samenwerking met ongeveer 50 woningcorporaties. Volgens de ervaring van WOCO-zon valt er veel winst te behalen door te investeren in onderhoud en levensduurverlenging van zonnepanelen. In de praktijk kiezen veel woningcorporaties bij aanbestedingen vaak voor de laagste prijs, inclusief goedkopere stringomvormers. Echter, na ongeveer 5 jaar keren deze klanten vaak terug naar WOCO-zon omdat delen van het systeem gebreken vertonen. De kosten voor probleemanalyse, reparatie en/of installatie, bijvoorbeeld voor een nieuwe omvormer, wegen dan niet meer op tegen de investering in een geheel nieuw systeem met een hogere opwekkingscapaciteit.

29 Persoonlijke communicatie Stichting ZonNext – Vastgesteld op basis van concrete vragen naar Stichting ZonNext vanuit deze markt.

30 Stultiens, E., 2023 [1]

ruimtelijk potentieel in Nederland (denk aan daken, langs snelwegen, op water of in combinatie met landbouw) om de landelijke ambitie voor hernieuwbare energie te realiseren zonder vroegtijdige vervanging van installaties.<sup>31</sup>

Ook huishoudens met kleine installaties zijn bij de transitie naar bijvoorbeeld elektrische warmtevoorzieningen en vervoersmiddelen sneller geneigd hun PV-systeem op te waarderen om te matchen met de nieuwe elektriciteitsvraag. Met een string omvormer is het niet mogelijk de opwekkingscapaciteit te vergroten door maar een deel van de panelen, verbonden aan de string, te vervangen met beter presterende panelen. Ook in deze situatie zijn huishoudens daarom sneller geneigd om hun hele systeem van nog goed werkende zonnepanelen te vervangen.

### **Gebruiksduurscenario's onderzoek: 12 en 25 jaar**

Hoewel de precieze vervangingssnelheid de komende decennia nog onzeker is, zijn in dit onderzoek twee gebruiksduur scenario's meegenomen: 12 jaar en 25 jaar. Zoals in punt 1 beschreven, worden panelen sneller vervangen omdat het financieel aantrekkelijker is. Veel eigenaren zullen deze afweging maken wanneer een deel van de installatie of specifiek de omvormer uitvalt. De kosten voor onderzoek, reparatie en/of gedeeltelijke vervanging wegen dan niet op tegen de investering in een compleet nieuw systeem. Een string omvormer heeft een gemiddelde technische levensduur van 12 jaar.<sup>32</sup> De gemiddelde technische levensduur van zonnepanelen wordt daarentegen ingeschat op 25 jaar. Hoewel een gebruiksduur van 12 jaar en een gemiddelde technische levensduur van 25 jaar aannemelijk zijn, is er meer onderzoek nodig naar de in de praktijk geldende gemiddelde

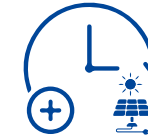
---

31 Van Hooff et al., 2021

32 Milieucentraal – [Zonnepanelen onderhouden, vervangen of wegdoen](#)

operationele en technische levensduur.<sup>33</sup> Nu de opschaling van PV-systemen in volle gang is, is het van cruciaal belang om de aanschaf van betrouwbare PV-onderdelen met een lange productgarantie, zoals micro-omvormers in plaats van string-omvormers, te bevorderen. Daarnaast zal het verlengen van de gebruiksduur de komende jaren steeds meer gaan bijdragen aan CO<sub>2</sub>-besparing en bredere maatschappelijke waardecreatie, zoals we verder toelichten in het volgende hoofdstuk.

## 2.2 Resultaten: CO<sub>2</sub>-reductie door lokale levensduurverlenging



Amsterdam kan de netto-uitstoot van zonnepanelen aanzienlijk verminderen, wat de totale uitstoot gedurende de hele levenscyclus betreft, door de gebruiksduur van de zonnepanelen te verlengen tot ten minste 25 jaar. Op basis van vijf

toekomstscenario's hebben we dit gekwantificeerd. Uitgaande van een levensduurverlenging van zonnepanelen op Amsterdamse daken van gemiddeld 12 jaar (inschatting huidige gebruiksduur) naar gemiddeld 25 jaar (prestatiegarantieperiode) hebben we berekend hoeveel CO<sub>2</sub>-uitstoot de stad kan vermijden door beter met haar "installed base" om te gaan. In het scenario van 25 jaar wordt ook na 12 jaar de omvormer vervangen, gezien de kortere technische levensduur van dit onderdeel.

---

33 Sodhi et al., 2022 – Wetenschappelijk onderzoek suggereert dat het vanuit economisch oogpunt tegenwoordig al binnen 4-7 jaar interessant kan zijn om zonnepanelen te vervangen. Hoe dit zich in de praktijk vertaalt naar de gemiddelde operationele levensduur is verder te onderzoeken.

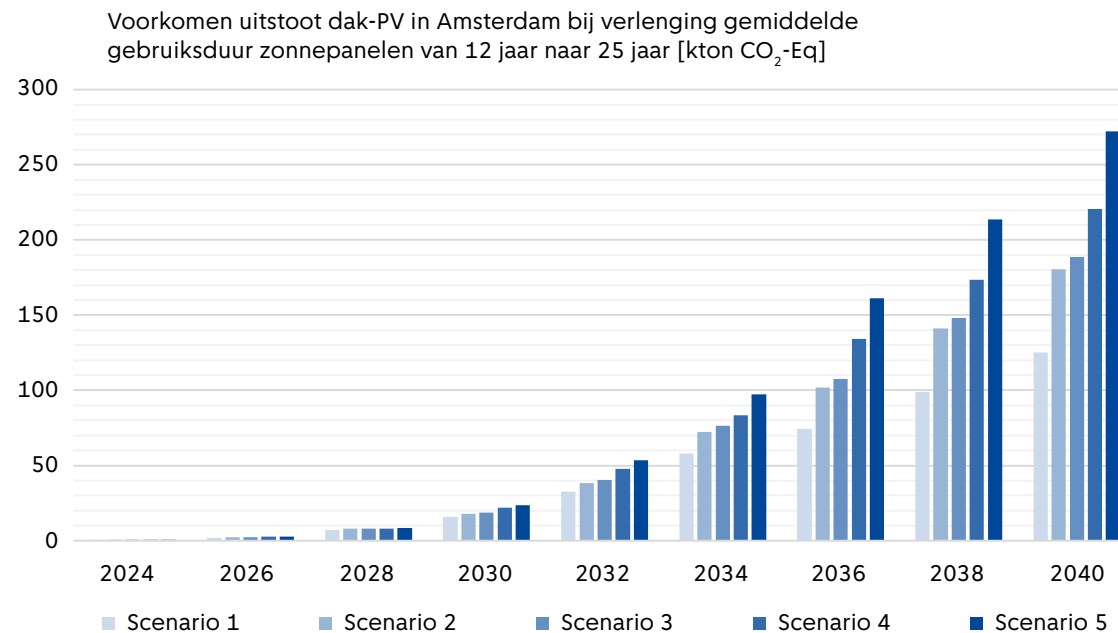
**Tabel 1:** scenario keuzes voor levensduuranalyse PV Amsterdam

Variabele	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Technologische ontwikkelingen productie PV	Positief (Zie figuur 2)	Positief	Positief	Negatief	Negatief
Socio-technische ontwikkelingen China	Koers 2.0° opwarming (zie figuur 2)	Koers 2.0° opwarming	Koers 2.0° opwarming	Koers 3.3° opwarming	Koers 3.3° opwarming
Technologische ontwikkelingen prestatie PV	Positief (zie figuur 3)	Positief	Positief	Negatief	Negatief
Ontwikkelingen elektriciteitsmix Nederland	Conservatief (zie figuur 4)	Progressief	Progressief	Conservatief	Progressief
Verschuiving productie zonnepanelen naar Europa	Snel (50% 2030, 100% 2040)	Snel (50% 2030, 100% 2040)	Traag (10% 2030, 20% 2040)	Traag (10% 2030, 20% 2040)	Traag (10% 2030, 20% 2040)
Verschuiving productie zonnecellen naar Europa	Snel (20% 2030, 100% 2040)	Snel (20% 2030, 100% 2040)	Traag (5% 2030 10% 2040)	Traag (5% 2030, 10% 2040)	Traag (5% 2030, 10% 2040)

In **Tabel 1** staat een overzicht van de vijf scenario's voor deze analyse. **Figuur 7** toont de uitstoot die Amsterdam kan vermijden behalen door levensduurverlenging van 12 naar 25 jaar.

Zoals te zien in **Figuur 7** maakt het verlengen van de gemiddelde levensduur van zonnepanelen in Amsterdam een groot verschil in de netto uitstoot van zonnepaneelinstallaties. Hoewel de precieze gebruiksduur nog onzeker is, biedt deze grafiek perspectief op de klimaatwinst die de komende 15 jaar te behalen is wanneer men op stedelijke schaal inzet op levensduurverlenging. Zelfs in scenario 1, met de minste klimaatwinst, loopt de vermeden uitstoot door levensduurverlenging op tot 125 kton CO<sub>2</sub>-eq op stadsniveau in 2040. Ter vergelijking, dat is evenveel als de totale jaarlijkse uitstoot door het energieverbruik van ruim 37.800 huishoudens, ofwel tien keer de Kinkerbuurt.<sup>34</sup>

<sup>34</sup> Milieucentraal 2023 – De uitstoot door energie in huis voor een gemiddeld huishouden is nu 3.300 kilo CO<sub>2</sub>-Eq



**Figuur 7:** voorkomen emissies op stadsschaal bij gebruiksduurverlenging van 12 jaar naar 25 jaar (cumulatief)

Als de energietransitie in China en de productie-verschuiving naar Europa tegenvalt, dan zou Amsterdam met deze maatregel zelfs meer dan het dubbele aan CO<sub>2</sub>-uitstoot vermijden.

*Als de gemeente Amsterdam erin slaagt om met beleidsmaatregelen de gemiddelde levensduur van zonnepanelen in gebruik te verlengen van 12 naar 25 jaar, zou dit resulteren in een CO<sub>2</sub>-reductie die vergelijkbaar is met het van gas afhalen van een à twee stadswijken van de grootte vergelijkbaar met de Kinkerbuurt. Als we kijken naar een langere periode na 2040 is het effect nog aanzienlijker.*

### CO<sub>2</sub>-winst uitgedrukt in schaduwkosten

De gemeente Amsterdam maakt al gebruik van schaduwkostenberekeningen voor CO<sub>2</sub>-uitstoot om de maatschappelijke waarde van bepaalde investeringen nauwkeuriger te kunnen beoordelen.<sup>35</sup> Op basis van deze kostenberekening is de maatschappelijke waarde van levensduurverlenging in het kader van klimaatverandering voor de komende 15 jaar in te schatten. **Dit komt neer op 79 tot 176 miljoen euro aan voorkomen schaduwkosten.**

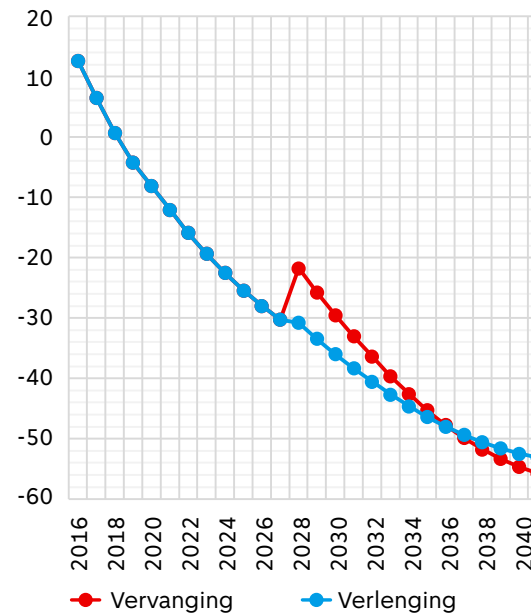
Hierbij zijn de schaduwkosten van andere impact-categorieën zoals eco-toxiciteit en materiaalschaarste nog buiten beschouwing gelaten.

### Gebouw-specifiek voorbeeld voor lokale levensduurverlenging

Om het verschil in de scenario's te visualiseren, nemen we één specifieke dak met een installatie van 100 m<sup>2</sup> aan zonnepaneeloppervlak als voorbeeld in twee scenario's:

<sup>35</sup> Gemeente Amsterdam, 2023 [2] – Kwantificatie op basis van vermenigvuldiging ingeschatte schaduwkosten op jaarbasis voor een kilo CO<sub>2</sub>-equivalente emissies met voorkomen uitstoot per jaar tot 2040 (niet cumulatief). In de toepassingsregel wordt een prijs van € 0433/kg CO<sub>2</sub>-eq gehanteerd in 2024, en stapsgewijs verhoogd naar € 0.75/kg CO<sub>2</sub>-eq in 2040.

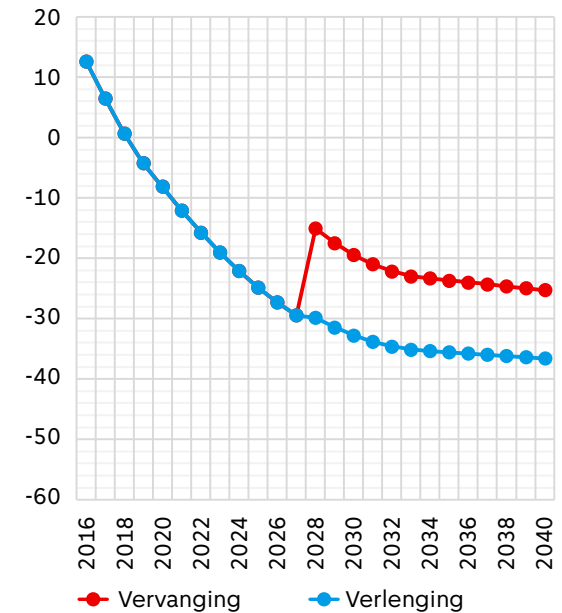
Netto uitstoot PV-installatie van 100m<sup>2</sup> panelen in scenario 1 [ton CO<sub>2</sub>-Eq]



**Figuur 8:** Netto uitstoot voor PV-installatie, scenario 1

In scenario 1 treed een snelle marktverschuiving voor productie in Europa op. In dit geval kiest de dakeigenaar er in 2028 voor om een nieuwe set compleet Europese panelen aan te schaffen met een lagere CO<sub>2</sub>-voetafdruk. De panelen uit 2028 presteren een stuk beter, waardoor meer elektriciteit is op te wekken. De energie-transitie in Nederland verloopt in dit scenario traag (pas een fossielvrij elektriciteitsnet in 2045) waardoor de beter presterende panelen langer en meer CO<sub>2</sub>-uitstoot voorkomen, zoals te zien is in **Figuur 8**. In dit specifieke scenario is vervanging gunstiger, wat CO<sub>2</sub>-uitstoot betreft. Op stadsschaal zal het overgrote deel van installaties echter nog afhankelijk blijven van schadelijke productieketens. Het blijft daarom ook in dit scenario op stadsschaal beter om in te zetten op levensduurverlenging.

Netto uitstoot PV-installatie van 100m<sup>2</sup> panelen in scenario 5 [ton CO<sub>2</sub>-Eq]



**Figuur 9:** Netto uitstoot voor PV-installatie, scenario 5

Daarnaast is het zeer onwaarschijnlijk dat de elektriciteitsmix pas in 2045 fossielvrij zal zijn.

In scenario 5 blijft de productie van PV in Europa nog lang een niche en zijn we nog sterker afhankelijk van de Chinese productie. De PV-eigenaar kiest er voor om in 2028 een nieuwe set panelen uit China aan te schaffen, waar de energie-transitie traag verloopt. In dit scenario blijft de energie-transitie in Nederland op koers liggen en is de elektriciteitsmix al fossielvrij in 2035. De extra elektriciteit die behaald wordt door de beter presterende panelen zal daarom op den duur weinig effect hebben op de nog te voorkomen emissies, zoals te zien is in **Figuur 9**. In dit scenario is het klimaat-technisch gezien veel beter om de oude panelen tot het einde van hun technische levensduur in gebruik te houden.

### 2.3 Onderscheid tussen lokale levensduurverlenging en hergebruik

De voorgaande analyse is gericht op de impact van levensduurverlenging van een bestaand PV-systeem op locatie. Je kunt de levensduur van zonnepanelen ook verlengen door gedemonteerde panelen te hergebruiken op een nieuwe locatie in plaats van ze te laten afvoeren als e-waste. In het geval dat tweedehands zonnepanelen overwogen worden voor een nieuwe locatie, moeten de volgende afwegingen meegenomen worden in de impactanalyse:

#### 1. Heeft de nieuwe locatie een beperkte gebruikstermijn?

In Amsterdam wordt een groot aantal daken momenteel niet overwogen voor PV-installaties door gepland dakonderhoud.<sup>36</sup> Indien er wel nieuwe zonnepanelen op dit dak geïnstalleerd worden, moeten deze binnen middellange termijn verwijderd worden. Deze tijdelijke daken dienen als goede locaties voor tweedehands zonnepanelen. Een goed voorbeeld hiervan is de recente installatie van 800 tweedehands zonnepanelen op het Marineterrein. Naast dit dak zijn er meer voorbeelden van mogelijke tijdelijke locaties, zoals het drijvende zonnepark voor de aanleg van Buiteneiland (Zie **Hoofdstuk 5, Categorie 3**). De gebruikstermijn van een dak of zonnepark dient meegenomen te worden in de analyse.

<sup>36</sup> Persoonlijke communicatie afdeling Energietransitie gemeente Amsterdam

#### 2. Wanneer zijn de zonnepanelen geproduceerd (en wat is de opwekkingscapaciteit)?

Gezien het momenteel nog beperkte aanbod van tweedehands zonnepanelen, dient kritisch overwogen te worden of oude panelen nog wel geschikt zijn voor hergebruik. Afgedankte nog functionele zonnepanelen kunnen in een testcentrum een nieuw prestatierapport krijgen. Dit wordt in Nederland al gedaan bij het bedrijf Refurn in Apeldoorn (Zie **Hoofdstuk 4.3**). Op basis hiervan kan bepaald worden of de panelen nog de investering waard zijn.

#### 3. Kan het oude montagesysteem hergebruikt worden op de nieuwe locatie?

Vaak kan van een gedemonteerde zon-PV installatie naast de zonnepanelen ook het montagesysteem hergebruikt worden. Soms is het echter niet mogelijk om het oude montagesysteem opnieuw in te zetten op een nieuwe bestemming.<sup>37</sup> In dat geval dient de impact voor de productie van een nieuw montagesysteem meegenomen te worden. Hetzelfde geldt voor de omvormer. Gezien de beperkte levensduur van omvormers ten opzichte van zonnepanelen, nemen we in de impactanalyse van hergebruik altijd de productie van een nieuwe omvormer mee.

<sup>37</sup> Persoonlijke communicatie Stichting ZonNext

#### Methode impactanalyse hergebruikscenario's

In de levenscyclusanalyse wordt de CO<sub>2</sub>-winst van hergebruik bepaald door de netto uitstoot bij een installatie met tweedehands PV-onderdelen te vergelijken met een installatie met nieuwe PV-onderdelen. Bij het directe gebruik van tweedehands componenten hoeft de uitstoot door productie niet meegenomen te worden. Voor simpliciteit nemen we in deze analyse aan dat technologische en socio-technische ontwikkelingen in China snel verlopen. Dit betekent dat de productie van nieuwe zonnepanelen de komende jaren snel zal verduurzamen. In de analyse maken we het onderscheid tussen het gebruik van een nieuw en oud montagesysteem en nemen we verschillende leeftijden mee voor de zonnepanelen. Elk paneel heeft een technische levensduur van 25 jaar. In **Hoofdstuk 2.4** nemen we aan dat het dak of de grond een onbeperkte gebruikstermijn heeft. In dit geval worden nieuwe zonnepanelen gebruikt tot het einde van hun technische levensduur. In **Hoofdstuk 2.5** heeft het dak/de grond een beperkte gebruikstermijn en wordt het PV-systeem al na 8 jaar verwijderd en verwerkt.



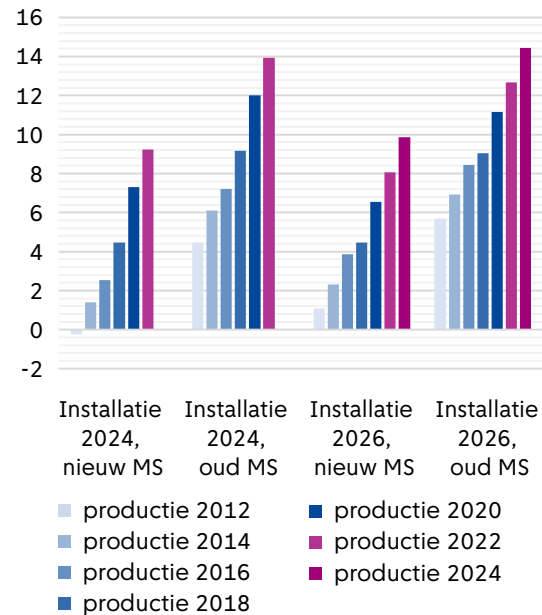
### 2.4 Resultaten: CO<sub>2</sub>-winst bij hergebruik PV op dak/grond met onbeperkte gebruikstermijn

Als we aannemen dat de Nederlandse elektriciteitsmix fossielvrij wordt in 2035 (volgens de nationale doelstelling), en we laten het montagesysteem buiten beschouwing, dan is het in 2024 met oog op CO<sub>2</sub>-reductie al gunstiger om 12 jaar oude zonnepanelen te installeren in plaats van nieuwe panelen. Wanneer ook een nieuw montagesysteem geproduceerd moet worden is het beter om nieuwe panelen te installeren, zoals te zien in **Figuur 10**. Een negatieve waarde voor ‘CO<sub>2</sub>-winst’ houdt in dat er meer uitgestoten dan voorkomen wordt. In 2026 wordt het echter klimaattechnisch al gunstiger om diezelfde panelen uit 2012 te installeren, ook met een nieuw montagesysteem. Dit lijkt onlogisch maar kan verklaard worden: hoe duurzamer de Nederlandse elektriciteitsmix wordt, hoe minder uitstoot voorkomen kan worden met nieuwe installaties. **Dit betekent dat de impact voor productie van PV-componenten een steeds grotere rol gaat spelen in de vergelijking.**<sup>38</sup>

**Figuur 11** toont dezelfde analyse maar met een elektriciteitsmix dat pas fossielvrij is in 2045. In dit scenario is het in 2024 alleen interessant om tweedehands zonnepanelen uit 2018 of later te installeren met een oud (hergebruikt) montagesysteem.

<sup>38</sup> Drop et al., 2023 – In een andere recente studie wordt dezelfde benadering toegepast om de impact van hergebruik van zonnepanelen te bepalen. In dit onderzoek wordt echter een constante Nederlandse elektriciteitsmix uit 2016-2017 gebruikt, welke al sterk afwijkt van de huidige elektriciteitsmix, laat staan de verwachte ontwikkelingen. Zoals af te leiden uit **Figuur 10** en **Figuur 11** heeft de elektriciteitsmix een enorme invloed op de conclusies die getrokken kunnen worden uit de analyse.

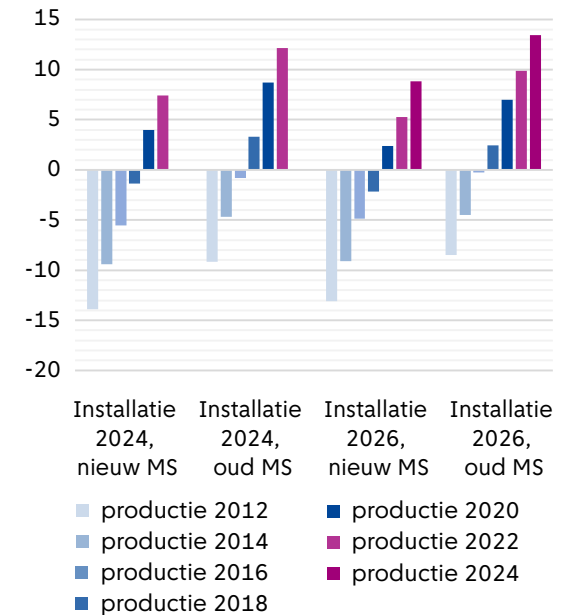
CO<sub>2</sub>-winst door gebruik 2<sup>e</sup>-hands i.p.v. nieuwe panelen bij een installatie van 100 m<sup>2</sup> PV-oppervlak – fossielvrij 2035 – onbeperkte gebruikstermijn dak/grond [ton CO<sub>2</sub>-Eq]



**Figuur 10:** CO<sub>2</sub>-winst voor hergebruik PV – fossielvrij in 2035 (onbeperkte gebruikstermijn dak/grond)

Op dit moment liggen we op koers om de nationale doelstelling van een fossielvrije elektriciteitsmix in 2035 te halen. De snelheid van de energietransitie wordt echter ook beïnvloed door de opwekkingscapaciteit van nieuwe PV-installaties. Het her-installeren van tweedehands PV-componenten gaat steeds

CO<sub>2</sub>-winst door gebruik 2<sup>e</sup>-hands i.p.v. nieuwe panelen bij een installatie van 100 m<sup>2</sup> PV-oppervlak – fossielvrij 2045 – onbeperkte gebruikstermijn dak/grond [ton CO<sub>2</sub>-Eq]



**Figuur 11:** CO<sub>2</sub>-winst voor hergebruik PV – fossielvrij in 2045 (onbeperkte gebruikstermijn dak/grond)

belangrijker worden, maar moet in de komende jaren de snelheid van de energie-transitie niet in de weg komen te staan. Daarom is het aanvankelijk beter om tweedehands PV-componenten te installeren op locaties die ongeschikt zijn voor nieuwe PV-systemen, zoals daken of grond met een beperkte gebruikstermijn.

## 2.5 Resultaten: CO<sub>2</sub>-winst bij hergebruik PV op dak/grond met beperkte gebruikstermijn

Indien een dak of grond een beperkte gebruikstermijn van 8 jaar heeft, door bijvoorbeeld gepland dak-onderhoud, is het in bijna alle scenarios gunstiger om tweedehands zonnepanelen te installeren ten opzichte van nieuwe panelen, zelfs in het conservatieve scenario dat de elektriciteitsmix pas fossielvrij is in 2045.

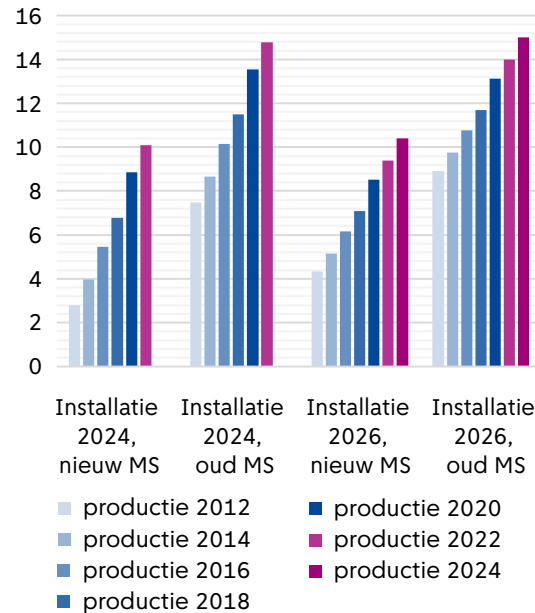
Uitgaande van een fossielvrije elektriciteitsmix in 2035, kan met het gebruik van 12 jaar oude zonnepanelen i.p.v. nieuwe panelen in 2026 tussen de 5140 en 9740 kg CO<sub>2</sub> bespaard worden, bij een installatie van 100 m<sup>2</sup> paneeloppervlak. Een dergelijke installatie op dak/grond met een beperkte gebruikstermijn zou de energietransitie alleen maar meer versnellen, omdat deze daken/grond niet in aanmerking komen voor nieuwe PV-systemen.

## 2.6 Conclusie klimaat-impact analyse

Op basis van dit onderzoek, concluderen we dat zowel lokale levensduurverlenging als hergebruik een toenemend significante rol spelen in de milieu-impact van onze elektriciteitsvoorzieningen. Vanuit een klimaat-technisch perspectief raden we vervroegde vervanging van zonnepanelen ondanks snelle technologische ontwikkelingen af.

De impact van hergebruik op nieuwe locaties is afhankelijk van de leeftijd van de zonnepanelen, de extra benodigde PV-componenten voor herinstallatie (m.n. omvormer en montagesysteem) en de gebruikstermijn van de nieuwe locatie. Gezien de snelle ontwikkelingen van het Nederlandse elektriciteitsnet, gaat de impact van productie voor PV-systemen steeds meer de boventoon voeren in de vergelijking. Daarom zal de bijdrage van hergebruik van PV-systemen aan CO<sub>2</sub>-reductie steeds meer gaan toenemen. Daken of grond met een beperkte gebruikstermijn bieden op

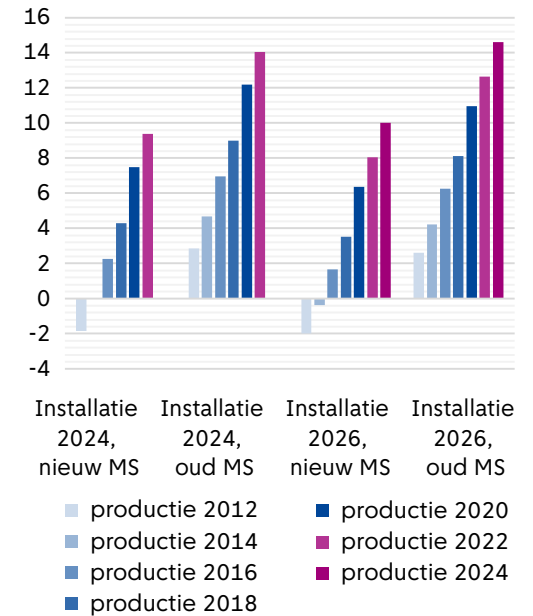
CO<sub>2</sub>-winst door gebruik 2<sup>e</sup>-hands i.p.v. nieuwe panelen bij een installatie van 100 m<sup>2</sup> PV-oppervlak – fossielvrij 2035 – 8 jaar gebruikstermijn dak/grond [ton CO<sub>2</sub>-Eq]



**Figuur 12:** CO<sub>2</sub>-winst voor hergebruik PV – fossielvrij in 2035 (beperkte gebruikstermijn dak/grond)

korte termijn al enorm veel potentieel voor de installatie van tweedehands zonnepanelen en dragen ook nog bij aan de versnelling van de energietransitie. In het volgende hoofdstuk gaan we verder in op de maatschappelijke meerwaarde van levensduurverlenging en hergebruik.

CO<sub>2</sub>-winst door gebruik 2<sup>e</sup>-hands i.p.v. nieuwe panelen bij een installatie van 100 m<sup>2</sup> PV-oppervlak – fossielvrij 2045 – 8 jaar gebruikstermijn dak/grond [ton CO<sub>2</sub>-Eq]



**Figuur 13:** CO<sub>2</sub>-winst voor hergebruik PV – fossielvrij in 2045 (beperkte gebruikstermijn dak/grond)

## 3. Bredere maatschappelijke impact bij levensduurverlenging van PV

De huidige markt en prijsdaling van zonnepanelen maakt ons sterk afhankelijk van de goedkope Chinese productie. Die productie is onder anderen goedkoop door inzet van dwangarbeid en vervuilende steenkolen in Chinese fabrieken. Stimuleren van eerlijke en schone Europese zon-PV-productie is belangrijk, maar zet voorlopig geen zoden aan de dijk. Levensduurverlenging van zonnepanelen is daarom een effectieve strategie om direct de stimulans voor dwangarbeid en vervuilende PV-productie te remmen.

### 3.1 Uitbuiting in de productieketen

Diverse nieuwsbronnen brengen de extreem lage prijzen van zonnepanelen in een positief daglicht. De veronderstelling is dat goedkopere zonnepanelen leiden tot meer hernieuwbare energieproductie en per definitie goed is.<sup>39</sup> Dit is een eenzijdige veronderstelling, gezien de manieren waarop de productiekosten naast schaalvoordelen en het gebruik van steenkool voor zonnepaneelproductie gedrukt worden. Hoewel er weinig transparantie is over de werkomstandigheden van arbeiders in de PV-productieketen, toont onderzoek van het Helena Kennedy Centre for International Justice aan dat er bij de keten van de grootste PV-producenten gebruik gemaakt wordt van de door de Chinese overheid ingestelde verplichte werkkampen in de Oeigoerse regio. De wereldwijde productie van polysilicium, een belangrijke grondstof voor zonnepanelen, is hier grotendeels geconcentreerd.<sup>40</sup> Het voorkomen van vroegtijdige vervanging draagt direct bij aan het verlagen van de druk op mogelijk schadelijke productieketens.

39 Frederik, J., 2023; Dekker, W., 2023

40 Murphy, L. & Elimä, N., 2021

### 3.2 Europese producenten bezwijken onder aggresieve internationale concurrentie

Met de lage zonnepaneelprijzen door schaalvoordelen, goedkope energie en lage lonen is het haast onmogelijk voor Europa om een concurrerende schone productie-tak op te zetten. De productie van PV-modules in China is inmiddels 13 tot 28 procent goedkoper dan in Europa.<sup>41</sup> De VS heeft zijn concurrentiepositie versterkt met behulp van beleidsmaatregelen, zoals de Inflation Reduction Act (IRA). Europa heeft nog geen maatregelen van betekenis genomen. Dit maakt het voor Europese zon-PV producenten zoals Meyer Burger aantrekkelijker om te verhuizen naar de VS.<sup>42</sup> Door de aggresieve internationale concurrentie om de prijzen laag te houden, kost een effectieve stimulans voor de opschaling van Europese zon-PV productie een vermogen. Zolang de lage kosten ons verleiden om Chinese panelen te importeren, zal de sterke afhankelijkheid van Chinese productie op onze energievoorzieningen in stand blijven.

### 3.3 Verlenging levensduur zonnepanelen als directe sleutel voor minder import China

Stimuleren van eerlijke Europese productie is enorm belangrijk, maar heeft een beperkte impact zolang er in de Europese Unie geen eerlijk speelveld wordt gecreëerd. Lokaal maximaal benutten van de technologieën die de markt op komen en/of reeds in Nederland geïnstalleerd zijn, heeft wel direct effect.

41 Duman, Ü. & Apotheker, D., 2023

42 Stultiens, E., 2023 [2]

Met andere woorden, door zonnepanelen niet langer vroegtijdig af te danken, maar zo lang mogelijk energie te laten opwekken, verminderen we de druk op schadelijke productieketens.

### 3.4 Minder risico's op hoge energieprijzen en inflatie

Geopolitieke conflicten zijn reëel en kunnen Nederland hard raken. We hebben leergeld betaald met goedkoop gas uit Rusland. Er wordt in Europa al ingezet op het lokaliseren van de benodigde materialen en de industrie voor de energietransitie. Helaas kan de opschaling van de hele PV-productieketen in Europa niet matchen met de vraag naar technologieën in de energietransitie. Aansporen van lokaal en circulair inkopen is een zeer belangrijke taak voor de overheid, provincies en gemeenten. Realistisch gezien is het net zo belangrijk om verantwoord om te gaan met de materialen en producten die nu op de markt komen. Dit heeft naast de milieu-impact, zoals aangetoond in het vorige hoofdstuk, ook een grote impact op de weerbaarheid van ons energiessysteem. China kan straks haar monopolie op zon-PV als handelswapen inzetten en zorgen voor hoge energieprijzen, die zich direct vertalen naar inflatie in Nederland. Als we minder afhankelijk zijn van China, dan zijn we hiervoor minder kwetsbaar. Naast productieverhuizing en recycling is een derde belangrijke strategie om afhankelijkheid te verkleinen – en de risico's op inflatie te drukken – om simpelweg minder te hoeven inkopen. Dat kan door datgene wat we inkopen slim in te zetten en zo lang mogelijk te gebruiken.

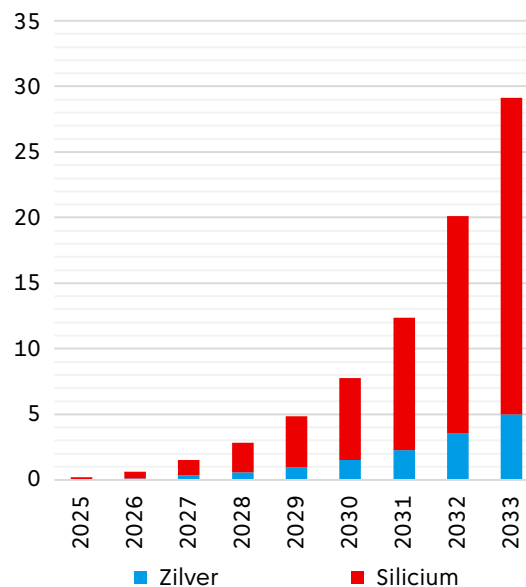
## 3.5 Verspilling kostbare materialen

De materialen in onze zonnepanelen zijn kostbaar en vertegenwoordigen veel waarde (gebruikswaarde en financieel). Denk aan het silicium, zilver en koper in de PV modules. Vroegtijdig afdanken en laagwaardig recyclen van onze zonnepanelen zorgt voor waardevernietiging, zeker zolang hoogwaardige recycling van deze metalen uit afgedankte zonnepanelen nog niet toepasbaar is op grote schaal.<sup>43</sup>

Wanneer we geconfronteerd worden met plotselinge schaarste van materialen en technologieën voor energieopwekking, hebben we in Europa alle middelen nodig om de groei en het behoud van het hernieuwbare energie-systeem in stand te houden. Materialen, die in de nabije toekomst wellicht van essentieel belang zijn voor onze energievoorziening, worden in de huidige recyclingsindustrie nog geshredderd en laagwaardig ingezet (bijvoorbeeld gemengd met recyclelaats als funderingsmateriaal in de wegenbouw). Om dit probleem in economisch perspectief te plaatsen, geven we in **Figuur 14** de huidige marktwaarde weer van de volumes zilver en silicium die zich de komende 10 jaar in de afgedankte panelen van de Amsterdamse daken bevinden bij een gemiddelde gebruiksduur van 12 jaar.<sup>44 45 46</sup>

- 43 De huidige recycling richt zich op het terugwinnen van aluminium uit het frame en op het terugwinnen van het glas, dat in laagwaardige toepassingen te gebruiken is. De zonnecellen worden als 'gemengde fractie' geshredderd en met bulkmaterialen zoals betonrecyclelaats gemengd (Circular Economy Lab 24: circulaire zonnepanelen – verslag, 28 juni 2021).
- 44 De verwachte gemiddelde inkoopprijs voor zilver in 2024 is € 672 per kilogram (dollar – euro conversie = 0,95)
- 45 Polysilicium buiten China kost in 2024 € 20,4 per kilogram (dollar – euro conversie = 0,95).
- 46 De hoeveelheid silicium en zilver per cel, voor elk productiejaar sinds 2012, is in het LCA onderzoek bepaald met behulp van de jaarlijkse ITRPV-rapporten.

Materiaalwaarde van cellen afgedankte panelen (bij LD = 12) in Amsterdam [Miljoen €]



**Figuur 14:** huidige materiaalwaarde van Silicium en zilver in afgedankte zonnepanelen de komende 10 jaar (cumulatief)

Levensduurverlenging is een directe manier van waardebehoud en fungeert als beschermende buffer tegen toekomstige materiaalschaarste.

## 3.6 Perspectief op hoogwaardige recycling vergroten door levensduurverlenging

Zoals genoemd is de huidige recyclingpraktijk van zonnepanelen er een van laagwaardige downcycling. De materialen worden niet teruggewonnen voor nieuwe zon-PV-productie. Tegelijkertijd loopt er veel onderzoek over en is er een ontwikkeling van hoogwaardige recyclingtechnologieën, die op de middellange termijn in Europa op te schalen zijn.

Met andere woorden, alle zonnepanelen die we nu weggooien als e-waste, zijn we sowieso kwijt. Reguliere zonnepanelen die we pas over 10 à 15 jaar weggooien, zijn mogelijk effectief te recyclen in de Europese zon-PV-sector. Levensduurverlenging helpt om het perspectief op hoogwaardige recycling te vergroten. Zo zorgen we voor waardebehoud, een vorm van 'uitgestelde recycling'.

Hoewel er al niche hoogwaardige recyclingsinitiatieven in Europa zijn, zoals de Nederlandse startup Solar2Cycle en het Franse bedrijf ROSI, is het onwaarschijnlijk dat er op de middellange termijn en op industriële schaal een recyclingssysteem klaarstaat voor circulariteit binnen de PV-industrie. Ten eerste is het nog onzeker wanneer het omslagpunt bereikt wordt waarop de kosten van hoogwaardige recyclingsprocessen en de daarbij gepaarde verloren waarde van materialen in balans zijn met de prijs voor primaire grondstoffen. Om de prestatie en competitieve prijs van zonnepanelen te waarborgen, zullen de status-quo PV-producenten in de tussentijd de afname van secundaire materialen, zoals teruggewonnen silicium, uitstellen zolang hier geen business-case of duidelijke wetgeving voor is.<sup>47</sup> Ten tweede loopt de recyclingindustrie nog tegen veel technische barrières aan. Zo is het bijvoorbeeld door het gebruik van de giftige stof antimoon in het glas van de standaard zonnepanelen nog niet mogelijk om het glas hoogwaardig te hergebruiken.<sup>48</sup>

- 47 De Nederlandse producent Solarge heeft wel al een module ontwikkeld die na 'end of use' thermisch kan worden ontmanteld in zonnecellen en polymeren. Deze panelen zijn echter specifiek ontworpen voor hoogwaardige recycling terwijl de huidige standaard zonnepanelen lineair zijn ontworpen voor kosten- en prestatieoptimalisatie. De Nederlandse startup Biosphere Solar ontwikkeld een modulair zonnepaneel, waardoor geen thermisch processen nodig zijn voor de ontmanteling van onderdelen.

48 ESIA, 2023



### 3. Bredere maatschappelijke impact bij levensduurverlenging van PV

Onderzoek naar hoogwaardige recycling van silicium cellen uit afgedankte zonnepanelen is ook in volle gang. Het is op labschaal al mogelijk om met behulp van chemische recyclingsprocessen het silicium terug te winnen voor hergebruik in zonnecellen.<sup>49</sup> Hiermee is nog niet de vereiste zuiverheid voor concurrerende siliciumzonnecellen behaald. Ook is nog onbekend wat de milieu-impact zal zijn van hoogwaardige recyclingsprocessen op industriële schaal. Literatuuronderzoek wijst uit dat bij hoogwaardige recycling van reguliere zonnepanelen diverse schadelijke stoffen kunnen vrijkomen.<sup>50</sup> Naast technische en economische hindernissen om zuivere materialen terug te winnen en hoogwaardig hergebruik te bevorderen, vertraagt dit de implementatie van geavanceerde recyclingprocessen. Kortom, meer onderzoek en innovatie zijn nodig om een grootschalig en hoogwaardig recyclingsysteem te realiseren. Wat al vaststaat is dat het vertragen van de uitstroom van zonnepanelen door levensduurverlenging/hergebruik van de huidige 'installed base' de kans op hoogwaardige en duurzame recycling van materialen in de toekomst vergroot – wanneer de industrie wel zover is.

---

49 Fraunhofer ISE – [PERC Solar Cells from 100 Percent Recycled Silicon](#)

50 Deng et al., 2022

## 4. Het huidige vervangingssysteem van zonnepanelen in Nederland

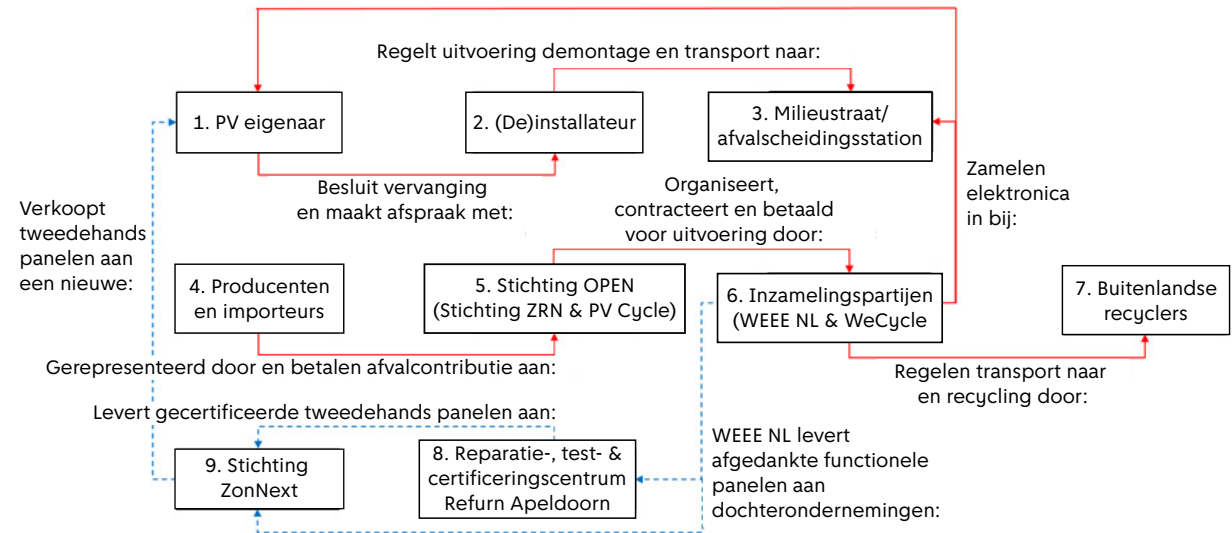
In de vorige hoofdstukken hebben we de diverse problemen belicht van vroegtijdige vervanging van zonnepanelen, de impact in termen van CO<sub>2</sub>-reductie van levensduurverlenging van zonnepanelen gekwantificeerd en de bredere maatschappelijke waarde hiervan besproken. Welke stappen zijn nodig om deze impact en waarde te verzilveren? Levensduurverlenging vraagt om slimme aanpassingen aan het huidige vervangingssysteem. Het systeem is nu lineair ingericht (productie-consumptie-afvalverwerking). Drie nieuwe functies dienen in het systeem te worden geïmplementeerd voor een circulaire economie:

1. Aankopen van PV-onderdelen met een lange productgarantie (zoals micro-omvormers) of producten met een door de producent georganiseerde circulaire waardeketen (denk aan het Nederlandse bedrijf Solarge of de start-up Biosphere Solar).
2. Voorkomen van vervanging voor het einde van de technische levensduur van PV-systemen.
3. Hergebruiken van nog bruikbare PV-onderdelen die wel vroegtijdig zijn afgedankt.

Hoewel de eerste functie enorm belangrijk is om circulaire productie te stimuleren, focussen we in dit rapport op functie 2 en 3.

### 4.1 Welke partijen spelen een actieve rol in de huidige e-wasteketen voor PV?

Om mogelijke interventies vanuit gemeenten te verkennen die helpen deze functies te realiseren, analyseren we eerst het huidige afdanking- en inzamelingsstelsel. De interventies vallen onder de categorie levensduurverlenging (LDV). In **Figuur 15** tonen we de interactie tussen de huidige betrokken ketenpartners. In Appendix A geven we een overzicht van de algemene drijfveren van deze partijen en de weerstand en kansen die zich in deze keten kunnen voordoen bij LDV.<sup>51</sup>



**Figuur 15:** rollen betrokken partijen huidige inzameling- & recyclingstructuur in Nederland (Informatiebron: Stokvisch, M., 2022). Handel in tweedehands panelen is op dit moment beperkt, d.w.z. een hele kleine nichemarkt. De stap van 6 (inzameling als e-waste) naar 7 (recycling/downcycling) is de gebruikelijke route, de status quo.

<sup>51</sup> Deze ketenanalyse is gebaseerd op een eerdere studie, uitgevoerd door het AMS Institute (Stokvisch, 2022).

## 4.2 Welke interventies zijn mogelijk per ketenspeler voor levensduurverlenging PV?

In dit hoofdstuk verkennen we de rolverdeling en de huidige praktijk in de keten en signaleren we mogelijke interventies om levensduurverlenging van zonnepanelen te bevorderen. In het volgende hoofdstuk werken we deze interventies verder uit in een advies voor gemeenten met concrete voorbeelden, op basis van een eerste interne verkenning in gemeente Amsterdam.

### PV-eigenaar en (de)installateur

Eigenaren van zonnepanelen kunnen samen met (de)installateurs de levensduur van zonnepanelen verlengen door de vervanging zoveel mogelijk uit te stellen. De eigenaar van de PV-installatie heeft zeggenschap over het moment van vervanging of afdanking van de zonnepanelen die ze in gebruik hebben. Zoals eerder benoemd is een belangrijk moment de uitval van de string omvormer. Die valt vaak eerder uit dan de zonnepanelen. Op dat moment wordt een afspraak gemaakt met de installateur, die kan adviseren het hele systeem te vervangen met als argument kostenbesparing. Uitgaande van de eerder benoemde maatschappelijke waarde van het verlengen van de levensduur van de zonnepanelen besluit de eigenaar idealiter uit eigen inzicht om de nog goed werkende panelen niet te vervangen of anders actief beschikbaar te stellen voor hergebruik. Het zou helpen om deze informatie inzichtelijk te maken voor eigenaren en (de)installateurs, zodat zij dit mee kunnen nemen in hun besluit. Vanuit economisch belang zijn er drie additionele interventies die verkend kunnen worden:

1. Een financiële prikkel bieden voor de reparatie van de omvormer, schadeonderzoek en installatiekosten, met als voorwaarde het behoud van de rest van het systeem.

2. Een dynamische salderingsregeling/SDE-subsidie welke bij vroegtijdige vervanging verlaagd wordt en zo het behoud van werkende zonnepanelen en reparatie stimuleert.
3. Opzetten van een lokaal installateursnetwerk dat reparatie prioriteert en de kwaliteit van afgedankte panelen kan waarborgen voor hergebruik (demontageprotocol gericht op waardebehoud).

### Inzameling en e-waste verwerking

Inzamelingspartijen kunnen samen met gemeenten de levensduur van PV-systemen verlengen door te investeren in de logistiek voor reparatie en hergebruik, zoals zorgvuldige demontage, opslag, testen, hercertificeren en afleveren bij aanbieders die gebruikte panelen verkopen. Echter, de huidige inzamelingspraktijk – en de financiering hiervan via de producentenbijdrage – staat hiermee op gespannen voet.

Een eerste stap is om meer afgedankte zonnepanelen in het officiële inzamelcircuit te krijgen. Producenten van elektronische apparatuur, waaronder zonnepanelen, zijn wettelijk verplicht 65 procent van de op de markt gebrachte producten in te zamelen voor recycling, volgens de nationale Afgedankt Elektrisch en Elektronisch Afval (AEEA) regeling (AEEA – Artikel 10, 2024).<sup>52</sup> Hier is veel ruimte voor verbetering, zoals blijkt uit recent onderzoek van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT).<sup>53</sup>

Ten tweede is het mogelijk om de logistiek voor reparatie en hergebruik (deels) te financieren via de afvalbeheerbijdrage. De producenten zijn financieel, en via de Stichting OPEN (Organisatie Producentenverantwoordelijkheid E-waste Nederland) organisatorisch, verantwoordelijk voor het afvalbeheer van de door hen geproduceerde goederen. Ze betalen

<sup>52</sup> Zie: AEEA – Artikel 10

<sup>53</sup> Inspectie Leefomgeving en Transport, 2023

een producentenbijdrage (afvalbeheerbijdrage) voor elk paneel dat ze op de Nederlandse markt zetten. Deze bijdrage is in 2023 verhoogd van € 6,50 per ton (ca. 13 cent per zonnepaneel) naar € 40 per ton (ca. 80 cent per zonnepaneel). Stichting OPEN beheert de bijdragen. Het moet de kosten van het inzamel- en verwerkingssysteem van e-waste dekken. Producenten hebben er belang bij om deze kosten zo laag mogelijk te houden. Zij vragen gemeenten mee te helpen om de inzameling van e-waste efficiënter te maken, aangezien de gemeenten volgens de AEEA regelgeving (AEEA – artikel 3, 2024) een integraal onderdeel zijn van de inzamelingsstructuur.<sup>54</sup>

Dit staat op gespannen voet met nationale en gemeentelijke circulaire beleidsdoelen. Het resultaat is een inzamelingspraktijk gericht op het minimaliseren van inzamelingskosten en een snelle doorstroom van e-waste. Voor PV-systemen zou dit betekenen afgedankte onderdelen snel van de daken krijgen en op transport richting de recyclingfabrieken (downcycling) over de grens. Dit streven naar efficiëntie in termen van arbeidskosten en doorstromingsnelheid staat haaks op levensduurverlenging en hergebruik. Het gesprek aangaan om vervanging uit te stellen, minder in bulk vervangen (alleen defecte panelen i.p.v. een heel systeem), zorgvuldige demontage, testen en opnieuw certificeren voor herintroductie in de markt zijn extra stappen die tijd kosten.

Hier zit ook een kans voor interventies. Gemeenten kunnen hun wettelijke rol in de e-waste-inzameling verbinden aan vastgesteld beleid op gebied van circulariteit, grondstofonafhankelijkheid en CO<sub>2</sub>-reductie.

<sup>54</sup> Zie: AEEA – Artikel 3

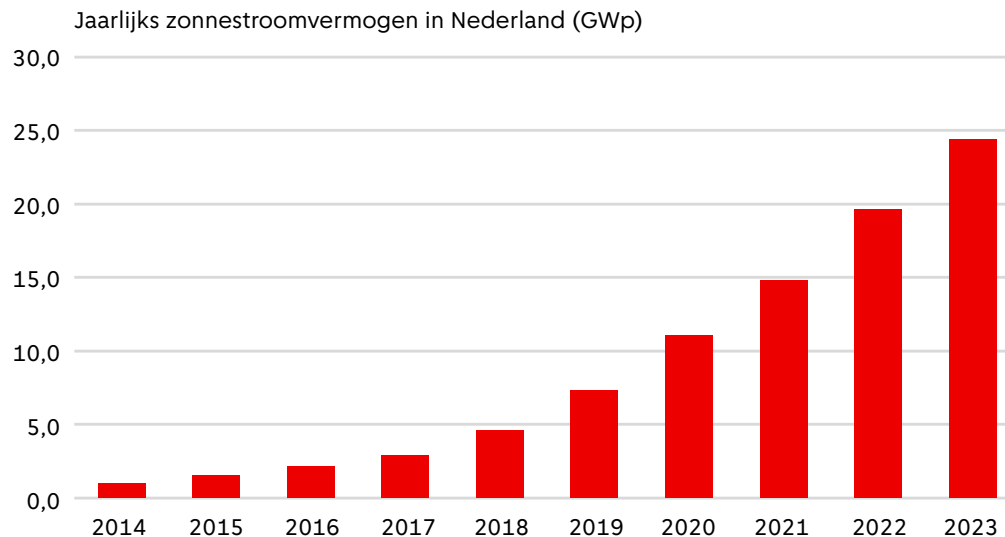
**Gemeenten kunnen het gesprek aangaan met inzamelingspartijen om te bepalen onder welke voorwaarden extra kosten voor levensduurverlenging en hergebruik van PV-onderdelen te legitimeren zijn, en hoe de kosten en baten hiervan te verdelen.**

De afvalbeheerbijdrage is als financieel instrument in te zetten. Uit het jaarlijkse monitoringsrapport van Stichting OPEN blijkt dat er in 2022 een overschot van € 23,8 miljoen is gerealiseerd.<sup>55</sup> Dit komt onder anderen door een lager inzamelvolume dan verwacht en hogere verwerkingsopbrengsten als gevolg van stijgende grondstofprijzen. Stichting OPEN zal dit overschot op basis van de huidige afvalbeheerbijdrageovereenkomst (ABBO) verdisconteren met de tarieven voor producenten tot en met 2025. Zou het ook mogelijk zijn om overschotten uit de afvalbeheerbijdrage in te zetten voor investeringen in circulaire innovaties, gericht op waardebehoud voor de sector?

### Producenten en leveranciers

Zoals hierboven benoemd is het korte termijn belang van producenten en leveranciers om de kosten voor inzameling en verwerking zo laag mogelijk te houden. Echter, voor de langere termijn hebben ook zij belang bij waardebehoud en tegengaan van de waardevernietiging, die plaatsvindt door de huidige export en downcycling van afgedankte PV-systemen. Ten eerste zal de afvalbeheerbijdrage van producenten de komende jaren blijven stijgen. De huidige bijdrage van producenten is ingesteld op de inzameling en verwerking van producten die op dit moment worden afgedankt, naar evenredigheid van hun huidige marktaandeel (AEEA – Artikel 13, 2024).

<sup>55</sup> Zie pagina 43, verdiscontering overschot: [AVV Monitoringsrapportage 2022, Stichting OPEN](#)



**Figuur 16:** Cumulatief vermogen zonnepaneelinstallaties in Nederland (Bron: DNE Research, 2024)

In de komende jaren verwacht de sector een forse toename van afgedankte PV-systemen, omdat het aantal geïnstalleerde zonnepanelen in de afgelopen 10 tot 15 jaar exponentieel is gegroeid (zie **Figuur 16**). Als de afvalberg plots groeit, stijgen de kosten mee. Investerings die we nu doen in levensduurverlenging van PV-systemen helpen om deze stijgende afvalbeheerskosten te dempen. De groei van de PV-afvalberg zal dan meer gestaag gaan, uitgespreid over een langere periode en we verhogen de kans de materialen hoogwaardig teruggewonnen kunnen worden voor hergebruik in de zon-PV keten.

Ten tweede zijn ook de kosten aan de voorkant (import en kostprijs van zonnepanelen) kwetsbaar voor prijsvolatiliteit. De combinatie van geopolitieke spanning en dominantie van China in de toeleveringsketen – van mijnbouw tot fabricage – kan in de toekomst

leiden tot een snelle prijsstijging en plotselinge tekorten van zonnepanelen, componenten en grondstoffen. Levensduurverlenging en hergebruik helpen deze effecten te dempen. Europese leveranciers hebben daar voordeel bij, met het oog op leveringszekerheid en prijsstabiliteit.

Producenten en leveranciers die verbonden zijn aan Stichting OPEN zijn gezamenlijk verantwoordelijk voor de kosten voor het inzamelen, nuttig toepassen en milieuvriendelijk verwerken van de door hen geproduceerde afgedankte elektronische apparatuur. Nieuwe inzichten in de klimaatimpact en toekomstbestendigheid van de productieketen, zoals samengevat in dit rapport, kunnen aanleiding zijn om de financiële bijdrage te verhogen om hoogwaardige circulaire strategieën mogelijk te maken en de veerkracht van de energiesector in de toekomst te verbeteren.

### 4.3 Hoe werkt de huidige hergebruikketen en hoe is deze te verbeteren?

Dat levensduurverlenging van zonnepanelen mogelijk is door afgedankte panelen die nog werken elders opnieuw te installeren, bewijst e-waste inzamelaar WEEE NL in samenwerking met Refurn en stichting ZonNext. Dit is een nichemarkt met veel mogelijkheden om het proces te verbeteren en landelijk op te schalen.

#### De bestaande hergebruikketen van zonnepanelen in Nederland

Op dit moment is het test- en certificeringscentrum van Refurn in Apeldoorn de enige in Nederland die afgedankte zonnepanelen test en volgens Europese normen gereedmaakt voor hergebruik. In plaats van tussen de e-waste te verdwijnen, krijgen deze panelen een officieel prestatierapport zodat nieuwe klanten weten wat ze in huis halen. Vergelijk het met het kopen van een tweedehands auto bij een BOVAG-geregistreerde occasion dealer. Het e-waste centrum van Refurn heeft een CENELEC-certificering. Dit betekent dat ze de elektronica volgens Europese standaarden verwerken en registreren. Sinds de start in 2021 heeft het bedrijf meer dan 10.000 afgedankte panelen terug op de Nederlandse markt gebracht. Per dag kunnen ze nu maximaal 150 gebruikte zonnepanelen testen.

Mede initiatiefnemers en inzamelaars WEEE NL en Stichting ZonNext maken afspraken met installateurs en eigenaren om de panelen op de juiste manier in Apeldoorn te krijgen. Stichting ZonNext probeert gebruikte panelen te redden door de eigenaren aan te bieden om ze kosteloos op te halen. Wanneer ze de panelen op een nieuwe locatie worden inzetten, via het matching platform van Stichting ZonNext, belichten ze de oorspronkelijke eigenaar via social media positief.

#### Hoe is continuïteit te bieden aan deze keten?

De Rabobank Foundation en de provincie Zuid-Holland financieren momenteel dit initiatief. Het behoud van dit systeem via de huidige financieringskanalen is nog zeer fragiel en biedt geen garantie voor continuïteit. Zou de afvalbeheerbijdrage hier een rol in kunnen spelen? Het eerder genoemde overschot van de (nog bescheiden) afvalbeheerbijdrage laat zien dat het mogelijk is om via uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (UPV) de continuïteit te waarborgen voor dit hergebruik-systeem en tegelijkertijd stimulansen te bieden voor uitbreiding en verbeteringen. Met de huidige financieringsmiddelen heeft de hergebruikketen echter nog geen bestaansrecht. Het is belangrijk dat producenten en leveranciers hun verantwoordelijkheid nemen om het hergebruik en reparatiesysteem te integreren in de nationale inzamelings- en verwerkingsstructuur van afgedankte elektronica, waaronder PV-systemen.

#### Hoe is hergebruik beter te integreren in het landelijke vervangingsstelsel?

Naast continuïteit bieden aan het bestaande systeem, zijn langs elke stap effectieve verbeteringen mogelijk. Op basis van interviews met de partijen in de hergebruikketen en evaluatiegesprekken met de betrokken partijen in bestaande hergebruikprojecten, zijn de volgende algemene interventies vastgesteld:<sup>56</sup>

<sup>56</sup> Bij deze verkenning zijn de volgende partijen betrokken: WEEE NL, Stichting ZonNext, Refurn B.V., Energiecoöperatie Zuiderlicht, Masterplan Zuidoost en de gemeente Amsterdam. Deze partijen bevinden zich dicht bij de uitdagingen in de praktijk, gezien de reeds uitgevoerde tweedehands PV-installaties in Amsterdam. Hierdoor bieden ze een goed startpunt voor verdere overwegingen en analyse.

- **Waarborg kwaliteit van afgedankt systemen met demontageprotocol.** Door slechte demontage en transport gericht op gemak en tijdsbesparing, zijn de meeste zonnepanelen na afdanking niet meer te hergebruiken. Zo was er een eigenaar die in 2023 een partij van 600 panelen voor hergebruik aanbood bij Stichting ZonNext. Omdat de installateur de kabels van de panelen had doorgeknipt eindigden ze alsnog in de shredder. Door een demontageprotocol in te stellen in een erkend netwerk van installateurs zijn er veel meer zonnepanelen in de markt terug te brengen. Een andere oplossing is aanstellen van gespecialiseerde demontagebedrijven per regio, die zorg dragen voor de juiste demontage en het juiste transport voor hergebruik. Op deze manier zijn reguliere installateurs te ontlasten van hun demontageplicht.
- Ook bij sloop/renovatie van panden/daken ontstaat de vraag voor demontage van PV-systemen. Bij sloop/renovatie zijn vaak geen installateurs betrokken, maar sloopbedrijven. Hier is een behoefte aan toegankelijke demontage capaciteit waar reguliere installateurs vaak geen oor naar hebben. Aanstellen van een lokaal gespecialiseerd demontageteam biedt niet alleen meer potentie voor het hergebruiken van nog goed werkende PV-onderdelen, maar ook een oplossing voor de juiste demontage bij sloop/renovatie van panden/daken.
- **Creëer een buffer voor dynamiek vraag – aanbod.** Er zijn opslagplaatsen (circulaire depots) nodig om nog goedwerkende afgedankte PV-onderdelen op te slaan, om vraag en aanbod van gebruikte PV-systemen te kunnen matchen. Het her-installeren van tweedehands PV-systemen vereist nu nog veel planning en organisatie.



## 4 Het huidige vervangingsstelsel van zonnepanelen in Nederland

Allereerst is het noodzakelijk om de specifieke eisen voor de installatie op een nieuw dak vast te stellen, waaronder de hoeveelheid benodigde panelen, het vermogen, de kleur en het geschikte montagesysteem. Vervolgens is het zaak om een inventarisatie te maken van de beschikbaarheid van deze componenten, en om een geschikte uitvoerende partij te vinden. Dit proces omvat ook afspraken maken met de pandbeheerder, de huurders en de uitvoerende partij, wat extra tijd en inspanning vergt. Het is vaak moeilijk om een concreet voorstel aan de pandbeheerder te doen zonder dat de exacte kosten van de panelen bekend zijn. Het gebrek aan zekerheid over de beschikbaarheid van geschikte tweedehands panelen en de complexiteit van het proces maken het tijdrovend en uitdagend. In de praktijk blijkt dat het nog wel een jaar kan duren voordat aangeboden tweedehands panelen op een nieuwe bestemming te installeren zijn.

Door opslagcapaciteit te faciliteren voor gecertificeerde tweedehands onderdelen, ontstaat er een buffer die het gemakkelijker maakt om een geschikt PV-systeem te koppelen aan een nieuwe bestemming wanneer daar vraag naar is. Dit maakt het proces efficiënter en zorgt voor een vlottere overgang van het beschikbaar stellen van tweedehands onderdelen naar de installatie op nieuwe locaties. Het biedt ook de mogelijkheid om pandbeheerders op een meer geïnformeerde en gestructureerde wijze voorstellen te doen, aangezien de beschikbare voorraad en kosten beter te beheren zijn. Hier kan op korte termijn en op kleine schaal mee geëxperimenteerd worden, waaruit een effectieve financieringsstructuur en verdeling van verantwoordelijkheden zijn af te leiden voor verdere opschaling.

- **Schaal de testcapaciteiten op.** De testcapaciteit is te vergroten door allereerst het bestaande testcentrum te optimaliseren en vervolgens meerdere gecertificeerde testcentra in Nederland te openen. De huidige testmachine in Apeldoorn kan slechts één paneel tegelijk testen. Om de snelle groei in afgedankte zonnepanelen aan te kunnen, zijn er meer testmachines en werknemers nodig; landelijk maximaal 150 panelen per dag is niet genoeg. Op de korte termijn kunnen demontagepartijen, zoals in het vorige punt beschreven, in samenwerking met sorteringcentra een eerste screening doen om een selectie van panelen naar het huidige testcentrum in Apeldoorn te sturen. Wanneer de lokale inzamelingsstructuur dusdanig is verbeterd en zoals verwacht blijkt dat de instroom aan herbruikbare zonnepanelen de capaciteiten in Apeldoorn overstijgt, is er met meer instroomzekerheid te investeren in nieuwe lokale testcentra.
- **Verbeter verdeling van kosten en baten van hergebruik.** Er zijn financiële prikkels nodig om een markt voor hergebruik in Nederland te creëren. Dit kan door kosten en baten van hergebruik beter te verdelen over de keten en financiële of fiscale instrumenten in te zetten. De huidige eigenaren van PV-systemen die meedoen, zijn vooral aangetrokken door de maatschappelijke waarde van hergebruik en de marketing die er aan verbonden is. Dit geldt zowel voor aanbieders van gebruikte zonnepanelen als voor inkopers die hergebruiken. Er zit verder geen financiële prikkel achter. Dit komt door de lage prijs van nieuwe zonnepanelen ten opzichte van de installatiekosten ('als je toch het dak op moet, leg dan maar iets nieuws en beters neer'). Schaalvoordeel kan hergebruik goedkoper maken dan het nu is. Vervolgens zou de keten financiële instrumenten kunnen inzetten – bijvoorbeeld de afvalbeheerbijdrage

– en/of fiscale instrumenten zoals btw-verlaging voor reparatie en hergebruik – om het speelveld gelijk te maken.<sup>57</sup> Ook zijn overheidsbudgetten, die gereserveerd zijn voor klimaatbeleid en de circulaire transitie, vrij te maken voor investeringen in de logistiek en verwerkingscapaciteit. Immers, levensduurverlenging, reparatie en hergebruik van PV-systemen dragen aantoonbaar bij aan vastgestelde beleidsdoelen zoals CO<sub>2</sub>-reductie, grondstofafhankelijkheid en een reductie van primair abiotisch materiaalgebruik. De uitbreiding van circulaire depots en milieustraten biedt ook nieuwe kansen voor mensen met een afstand tot de arbeidsmarkt (zie als voorbeeld Milieuwerk).<sup>58</sup> Deze arbeidskosten zijn (deels) te dekken vanuit social return.<sup>59</sup>

- 
- 57 Schenderling, P. & Olthaar, M., 2024 – Recent onderzoek, uitgevoerd in opdracht van het Ministerie voor Infrastructuur en Waterstaat, belicht ook de eenzijdige focus op recycling in het huidige circulaire economiebeleid en de schaalnadelen van circulaire producten. Het onderzoek toont aan dat een circulair fonds, gefinancierd uit een bescheiden circulaire bijdrage bij de productie of aanschaf van lineaire producten, effectief kan worden ingezet om een opschalingsimpuls te financieren voor hergebruik/reparatie/refurbishment of andere circulaire strategieën hoog in de R-ladder.
- 58 Milieuwerk fungeert als een intermediair tussen het productieve arbeidspotentieel van mensen met een kwetsbare arbeidsmarktpositie (doelgroepregister en beschut werk) en de vraag naar laaggeschoolde arbeid in de circulaire economie.
- 59 Social return betekent het maken van een afspraak in aanbestedingen om mensen met een kwetsbare arbeidsmarktpositie aan werkervaring te helpen.

## 5. Interventiemogelijkheden gemeenten voor levensduurverlenging van zonnepanelen

Op basis van de ketenanalyse in het vorige hoofdstuk definiëren we de volgende acht categorieën waar gemeenten kunnen werken aan levensduurverlenging van zonnepanelen:

1. **Eigen PV-onderdelen behouden of beschikbaar stellen voor hergebruik.** Geïnstalleerde PV-systemen op gemeentelijk eigendom zo lang mogelijk behouden of verplaatsen wanneer een geschikte nieuwe locatie gevonden is.
2. **Eigen vastgoed en assets inzetten.** Beschikbaar stellen van gemeentelijke daken, grond of andere assets (bijvoorbeeld bushokjes, bouwketen, parkeeroverkappingen) voor de (evt. tijdelijke) installatie van tweedehands zonnepanelen.
3. **Inkoop als instrument.** Integreren en hoog waarderen van criteria voor levensduurverlenging in de gunnings- en selectiecriteria voor inkoop en aanbesteding van zon-PV-installaties, bijvoorbeeld voor onderhoud, beschikbaarheid van reserveonderdelen, gebruik van tweedehands producten of componenten, of eisen voor demontage en toekomstig hergebruik. CO<sub>2</sub>-beprijzing kan hier een belangrijke rol in spelen.
4. **Subsidie als instrument.** Subsidiëren van tweedehands panelen of kosten dekken voor reparatie of vervanging van onderdelen.
5. **Investeringsbeslissingen.** Investeren in testcapaciteit en logistieke oplossingen voor inzameling en opslag en (co-)financieren van operationele kosten voor de hergebruikketen, bijvoorbeeld vanuit social return.
6. **Rol als ketenpartner inzameling.** Benutten van de wettelijke rol van de gemeente om het belang van levensduurverlenging te versterken in de nationale wetgeving voor AEEA.

7. **Rol als verbinder en communicatie:** (A) Proactief adressen benaderen om de stimulering van levensduurverlenging te bevorderen, bijvoorbeeld met behulp van luchtfotodata; (B) Organiseren van aanbod tweedehands panelen met regionale partners; (C) De vraag naar tweedehands panelen beïnvloeden en bijeenbrengen in samenwerking met woningcorporaties en VvE's; (D) Beïnvloeden en in stelling brengen van installateurs die mee willen werken aan een zorgvuldige demontage.

Voor elk van deze categorieën is een verkenning gedaan bij de gemeente Amsterdam. Deze verkenning pretendeert niet alle mogelijke factoren te dekken en is te beschouwen als een startpunt voor verdere overweging en analyse.

### Categorie 1: Eigen panelen behouden

De gemeente Amsterdam bezit in totaal meer dan 800 panden. Hoewel dit maar een klein aandeel is van de meer dan 100.000 gebouwen in Amsterdam, biedt de zeggenschap over deze panden een relatief gemakkelijke ingang voor LDV. De meeste daken van het gemeentelijk vastgoed zijn al benut voor PV-installaties. De technische beheerders van deze panden plannen het dak onderhoud en bepalen wanneer zonnepanelen aan vervanging toe zijn. Bij de gemeente zijn dus afspraken te maken met de technisch beheerders om de zonnepanelen tot het einde van hun technische levensduur in werking te houden.

Indien het pand veel baat heeft bij vervroegde vervanging, door bijvoorbeeld een consistente en hoge elektriciteitsvraag, kan proactief gezocht worden naar nieuwe bestemmingen (zoals daken met een beperkte gebruikstermijn).<sup>60</sup>

### Categorie 2: Eigen vastgoed en assets inzetten

Bij gedeeltelijke uitval van installaties op gemeentelijke panden, zoals enkele zonnepanelen en/of de omvormer, is er eerst te onderzoeken of er tweedehands panelen of een gereviseerde omvormer met overeenkomstige technische specificaties beschikbaar zijn. Deze zijn dan aan te sluiten op het bestaande systeem. Het gemeentelijk vastgoed dat nog niet wordt benut voor PV in Amsterdam omvat historische panden waar niet op geïnstalleerd mag worden, panden met een lastige constructie zoals de boogconstructie van Sporthallen Zuid, relatief kleine panden en panden waarvan nog onzekerheid heerst over het eigenaarschap.<sup>61</sup> Voor de installatie op elk pand is eerst een dakonderzoek vereist. Hoewel de gemeente geen verantwoording hoeft af te leggen voor de uitvoering van een dakonderzoek op gemeentelijk vastgoed, moet wel kwaliteits- en veiligheidsgarantie voor het PV-systeem zijn voor de partij die de zonnepanelen inkoopt en de opstalverzekeraar. Dit kan de mogelijkheid om tweedehands panelen te gebruiken die nog goed werken bemoeilijken.

<sup>60</sup> Persoonlijke communicatie afdeling Sport & Bos gemeente Amsterdam: de gemeentelijke zwembaden zijn de grootste energieverbruikers van de gemeente en sinds zes jaar geleden voorzien van zonnepanelen. Door de consistente hoge elektriciteitsvraag en de belasting op het elektriciteitsnet aan de afnamekant kunnen deze PV-systemen op termijn geschikt worden voor vervanging en verplaatsing naar nieuwe geschikte locaties.

<sup>61</sup> Persoonlijke communicatie afdeling Gemeentelijk Vastgoed Gemeente Amsterdam

## 5. Interventiemogelijkheden gemeenten voor levensduurverlenging van zonnepanelen

Een garantiefonds vanuit de gemeente/overheid om kosten te dekken bij onvoorziene uitval is een mogelijke oplossing om de verzekeraar en pandeigenaar meer vertrouwen te geven.

### Categorie 3: Inkoop als instrument

Voor de inkoop en aanbestedingen van nieuwe PV-installaties zijn circulariteit, hergebruik en gebruiksduurgarantie voorop te stellen in de gunning- en selectiecriteria. Deze dienen kritisch overwogen te worden per project. Een pand met een enorm hoge en consistente elektriciteitsvraag vraagt om de best presterende panelen. Met voorwaarden voor het behoud van het systeem bij dakonderhoud, een hoge productgarantie en tweedehandsgebruik/repairatie bij vervroegde uitval is het belang van LDV ook voor deze panden te waarborgen. Voor een tijdelijke installatie zijn tweedehands panelen een goede optie, die fors kan bijdragen aan de duurzaamheids- en circulariteitsdoelstellingen van de stad. CO<sub>2</sub>-beprijzing kan de business-case voor tweedehands zonnepanelen in dit geval een prikkel geven. De berekening dient in dat geval per specifieke casus te gebeuren. Wanneer er bijvoorbeeld zonnepanelen beschikbaar komen die na 8 jaar al vervangen zijn door een groot repowering-project, wordt er veel meer CO<sub>2</sub> bespaart dan bij panelen van 15 jaar oud. Daarnaast is het ook belangrijk om de gebruikstermijn op de nieuwe locatie te overwegen. Een mooi voorbeeld van een groot project met een beperkte gebruikstermijn is Buiteneiland.

#### Voorbeeld: Buiteneiland als katalysator voor een duurzame en circulaire stad

Een groot project dat de afdeling Grond- en Ontwikkeling (G&O) van gemeente Amsterdam in 2024-2025 uitbesteed, is de aanleg van Buiteneiland, een natuureiland van ongeveer 400.000 vierkante

meter met voorzieningen voor sport, recreatie en cultuur.<sup>62</sup> Bij de aanleg van het eiland staat circulariteit en milieuvriendelijkheid voorop, met onder anderen het hergebruiken van grond en emissieloos materieel. Voor de elektriciteitsvoorziening van het materieel zal een drijvend zonnepark worden aangelegd met een vermogen van 2 Megawattpiek (MWp). Dit zonnepark dient slechts tijdelijk voor het genereren van de benodigde energie voor elektrisch aangedreven materieel. Dit betekent dat er panelen nodig zijn voor ongeveer 13 tot 14 jaar.<sup>63</sup> Grond- en ontwikkeling kan aanbestedingscriteria opstellen voor de circulariteit en de klimaatimpact van de PV-installatie. Voorkomen van een schadelijk productieproces en van vroegtijdige afdanking van zonnepanelen kan hier fors aan bijdragen. Een ideaal project voor tweedehands panelen. G&O is in de gelegenheid om het gebruik van tweedehands panelen voorop te stellen, en op korte termijn een forse boost te geven aan de tweedehands PV-markt. Om de mogelijkheden voor het gebruik van tweedehands zonnepanelen te verkennen, dient in 2024 een inventarisatie gedaan te worden van mogelijke aanbieders voor tweedehands panelen. Indien het op korte termijn nog niet mogelijk is om 6000 tot 9000 tweedehands panelen te vinden uit bijvoorbeeld repowering-projecten van grote energieleveranciers, is het zonnepark ook deels aan te vullen met nieuwe circulaire panelen.

62 Afdeling Grond & Ontwikkeling (G&O) van Gemeente Amsterdam zorgt onder anderen voor het bouwrijp maken van gemeentelijke grond en het in erfpacht uitgeven daarvan.

63 Persoonlijke communicatie Afdeling Grond & Ontwikkeling

#### Voorbeeld: Social return voor financiering operationele kosten

Social return betekent een afspraak maken bij aanbestedingen om mensen met een kwetsbare arbeidsmarktpositie aan werkervaring te helpen. Hoewel bedrijven hier zelf invulling aan kunnen geven, kan de gemeente ook activiteiten voorstellen. Creëren van werkgelegenheid in de hergebruikketen is niet alleen sociaal aantrekkelijk, maar is ook te verbinden aan ESG-doelstellingen (Environment, Social, Governance) van bedrijven die aan deze Europese doelstellingen moeten voldoen.

#### Leergemeenschappen in Amsterdam Zuidoost voor aanwas nieuwe installateurs

In Amsterdam Zuidoost zijn vanuit lokale leergemeenschappen zoals de Groene Hub, teams van jongeren met een afstand tot de arbeidsmarkt opgeleid om zonnepanelen te installeren.<sup>64</sup> Dit opleidingstraject is grotendeels gefinancierd vanuit social return.<sup>65</sup> Om continuïteit te bieden aan de werkzaamheden van deze jongeren, zijn met behulp van social return naast de opleidingskosten, de installatiekosten ook (deels) te dekken. Tweedehands PV-projecten zouden hier een goede invulling voor kunnen zijn door de meervoudige maatschappelijke waardecreatie. Naast creëren van werkgelegenheid, stimuleren van circulariteit en de energietransitie, draagt dit initiatief ook bij aan het verlichten van de tekorten op de arbeidsmarkt voor PV-installateurs.

64 Op het Marineterrein zijn in 2023 800 tweedehands zonnepanelen geïnstalleerd door jongeren uit Amsterdam Zuidoost. De jongeren leren via Frostudio, een jong bedrijf uit Zuidoost dat jongeren uit de buurt leerwerktrajecten aanbiedt, om uiteindelijk zelfstandig onder anderen zonnepanelen te installeren.

65 Persoonlijke communicatie A'dam Intern - Cluster Ruimte en Economie, Ingenieursbureau

## 5. Interventiemogelijkheden gemeenten voor levensduurverlenging van zonnepanelen



**Figuur 17:** Installeurs aan het werk bij de installatie van 800 weespanelen op het Marineterrein (Bron: Zuiderlicht)

### **Uitbreiding werkzaamheden op lokale milieustraten**

Een vergelijkbare opzet is toe te passen voor een uitbreiding van de werkzaamheden op milieustraten en/of opslaglocaties. Het nationaal sorteercentrum RSC in Amsterdam heeft al meer dan 110 medewerkers in dienst met een afstand tot de arbeidsmarkt. Het pand aan de Koprweg 3 heeft een totale oppervlakte van 25.000 m<sup>2</sup>, waarvan het RSC op dit moment 15.000 m<sup>2</sup> huurt. Op termijn uitbreiden van deze milieustraat en het aannemen van nieuwe medewerkers voor het controleren, sorteren en opslaan van afgedankte elektronica zou een effectieve stap zijn om de reparatie en hergebruik van elektronica zoals PV-onderdelen in Amsterdam beter te ondersteunen.

### **Categorie 4: Subsidie als instrument**

Gezien de maatschappelijke waarde van levensduurverlenging, is ook te kijken naar een subsidiëringsconstructie die het aantrekkelijker maakt om oude panelen te behouden of tweedehandspanelen aan te schaffen.

#### **Voorbeeld: Vergoed reparatie- of vervangingskosten omvormer**

Door de kortere levensduur van stringomvormers, kan het aantrekkelijk zijn om de reparatie-, vervanging- en/of installatiekosten van dit onderdeel te vergoeden. Er is al een bestaande oplossing voor het reviseren van stringomvormers.<sup>66</sup>

<sup>66</sup> Zo bezit het bedrijf Inxeon bijvoorbeeld al over een certificaat voor het reviseren van stringomvormers.

#### **Voorbeeld: Vergoed deel aankoopkosten tweedehands zonnepanelen**

Hoewel investeren in tweedehandspanelen geen productiecosten vergt, zijn de extra transport-, reparatie- en certificatiekosten vaak een struikelblok in de concurrentie met nieuwe panelen. De business-case van tweedehands zonnepanelen in Nederland is nog onzeker en door de huidige schaal kunnen de kosten per project veel verschillen. Door een deel van de aankoop- en/of installatiekosten te dekken verlaag je de drempel voor het investeren in tweedehands zonnepanelen. De kosten voor de installatie zijn mogelijk ook deels vanuit social return te dekken (zie **Categorie 3**). Subsidiering is in dit geval het beste in te zetten om de kosten eerder in de hergebruikketen te dekken. Een mooi voorbeeld hiervan is de subsidie Circulair Verwaarden van de gemeente Leiden.<sup>67</sup> Deze subsidie is bedoeld als kickstarter voor nieuwe initiatieven en recent toegekend aan een student die een lokale teststraat voor tweedehands panelen probeert op te zetten.

### **Categorie 5: Investeringsbeslissingen**

De tweedehands PV-markt kan nog niet concurreren met de extreem goedkope nieuwe panelen die op de markt gebracht worden. Om de aanzienlijke maatschappelijke waarde van het hergebruik van zonnepanelen te realiseren, is het van belang dat overheidsinstanties, waaronder gemeenten, de opschaling van de hergebruikketen proactief stimuleren. Hierbij is te denken aan de volgende investeringen:

1. **Een circulair depot voor tweedehands PV onderdelen.** Opzetten van een opslaglocatie voor tweedehands PV-panelen biedt de mogelijkheid om vraag en aanbod effectief op elkaar af te stemmen. Zoals benoemd in hoofdstuk 4.3 vereist het her-installeren van tweedehands zonnepanelen

<sup>67</sup> Gemeente Leiden – [Subsidie Circulair Verwaarden](#)



## 5. Interventiemogelijkheden gemeenten voor levensduurverlenging van zonnepanelen

nu nog veel planning en organisatie. Door opslagcapaciteit te faciliteren voor gecertificeerde tweedehands panelen ontstaat er een buffer die het gemakkelijker maakt om een geschikt systeem te koppelen aan een nieuwe bestemming wanneer daar vraag naar is. Dit maakt het proces efficiënter en zorgt voor een vlottere overgang van het beschikbaar stellen van tweedehands panelen naar daadwerkelijke installatie op nieuwe locaties. Het biedt ook de mogelijkheid om pandbeheerders op een meer geïnformeerde en gestructureerde wijze voorstellen te doen, aangezien de beschikbare voorraad en kosten beter te beheren zijn.

- Integratie van de test-, reparatie en certificatieketen op gemeentelijke milieustraten.** De gemeentelijke milieustraten zijn op dit moment ingericht om e-waste efficiënt te sorteren voor inzameling en transport naar laagwaardige recyclers. Deze milieustraten zijn uit te breiden met een lokale teststraat voor hoogwaardig hergebruik. WEEE NL en Refurn Apeldoorn laten zien dat het mogelijk is om een milieustraat uit te breiden met een CENELEC-gecertificeerde teststraat voor tweedehands PV. Op korte termijn dient ingezet te worden op goede/schadevrije/laagdrempelige inzameling voor hergebruik (denk aan een eerste screening in samenwerking met demontagepartijen om een selectie aan panelen in Apeldoorn te laten certificeren). Vanuit dit startpunt is het proces decentraal op te schalen wanneer blijkt dat de huidige testcapaciteiten in Apeldoorn niet meer voldoen aan de afname van herbruikbare zonnepanelen.
- Een garantiefonds voor stimulering tweedehands PV.** Hoewel tweedehands zonnepanelen vaak nog een lange levensduur hebben, kan onzekerheid wat betreft prestatiegarantie een belemmering zijn voor opstalverzekeraars. De risico's die gepaard gaan met een dergelijke investering zijn gedeeltelijk te

ondervangen met een garantiefonds. In het licht van de miljarden die via SDE-subsidies worden geïnvesteerd in de opschaling van grootschalige zonne-energieprojecten zou een bescheiden percentage hiervan voldoende moeten zijn om de kosten in het geval van verminderde prestatie in een bepaalde termijn te dekken. Dit biedt een concrete koppeling tussen circulariteitsambities en de energietransitie voor overheden. Het handelingsperspectief vanuit gemeenten op dit gebied dient verder onderzocht te worden.

### Categorie 6: Rol als ketenpartner inzameling

Terwijl producenten en leveranciers voor de AEEA-verplichtingen momenteel sterk afhankelijk zijn van gemeenten, staan gemeenten in de positie om producenten actief te betrekken bij de versnelde ontwikkeling en waarborgen van LDV. De gemeente is wettelijk verplicht om tenminste één locatie beschikbaar te stellen voor de inzameling van elektronisch apparatuur (AEEA – Artikel 3, 2024). Hoewel producenten aan de gemeenten vragen om hun inzamelingsstructuur te verbeteren naar aanleiding van te weinig ingezamelde elektronica, zijn de gemeenten daar wettelijk niet toe verplicht. In 2022, was het gemeentelijke inzamelingkanaal de grootste, met meer dan 50 procent van het totale landelijke inzamelgewicht van e-waste.<sup>68</sup> De gemeente is een belangrijke speler in de inzamelingsstructuur van e-waste. De gemeente Amsterdam streeft ernaar om in 2030 50 procent en in 2050 100 procent circulair te zijn. Als leidraad hanteert zij de R-ladder, waarbij Refuse, Reuse en Repair voorop staan. Naast vergroten van de inzameling dient de elektronica daarom volgens deze beleidsdoelstellingen verwerkt te worden.

<sup>68</sup> Zie pagina 45, Inzamelingen: [AVV Monitoringsrapportage 2022, Stichting OPEN](#)

De Nederlandse Vereniging van Reinigingsdiensten (NVRD) vertegenwoordigt de gemeenten en is samenwerkingspartner van Stichting OPEN. De NVRD kan het belang van LDV voordragen, als vertegenwoordiger van de Nederlandse gemeenten, bij de stuurgroepsvergaderingen van Stichting OPEN.

### Categorie 7: Rol als verbinder en communicatie

De meest cruciale rollen van de gemeente zijn die van ketenregisseur en samenwerkingspartner. De gemeente heeft de communicatiemiddelen om het maatschappelijke belang van levensduurverlenging voor haar bewoners breed te verspreiden. Bovendien beschikt de gemeente over een uitgebreid netwerk en bevindt zich in een positie om partijen op maatschappelijk gedreven wijze te faciliteren bij het bevorderen van de keten voor hergebruik.

#### Voorbeeld: Proactief adressen benaderen om LDV te stimuleren onder huishoudens

De gemeente Amsterdam beschikt over luchtfotodata, waarmee is vast te stellen waar en wanneer zonnepanelen zijn geïnstalleerd sinds 2016.<sup>69</sup> Gebaseerd op bijvoorbeeld de gemiddelde levensduur van de omvormer, kan de gemeente gericht campagne voeren om zonnepaneeleigenaren te informeren over het belang van LDV en de beschikbare mogelijkheden. Zo zijn huishoudens bijvoorbeeld op de hoogte te stellen van de mogelijke subsidieregeling (benoemd in categorie 3) voor de reparatie van omvormers.

#### Voorbeeld: Organiseren van aanbod tweedehands panelen met regionale partners

Naast faciliteren van een opslaglocatie/circulair depot voor tweedehands zonnepanelen, kan een proactieve inventarisatie van momenten, waarop panelen worden afgedankt, helpen om de dynamiek tussen aanbod en

<sup>69</sup> Gemeente Amsterdam – [Zonnepanelen – toename van aantal en vermogen](#)



## 5. Interventiemogelijkheden gemeenten voor levensduurverlenging van zonnepanelen

vraag beter te beheren. De gemeente Amsterdam kan in samenwerking met instanties zoals de Amsterdam Economic Board (AEB) en de Metropoolregio Amsterdam (MRA) een inventarisatie uitvoeren bij de aangesloten bedrijven en organisaties om inzicht te krijgen in potentiële nieuwe locaties en geplande dakonderhoudsmomenten. Veel van de grote potentiële aanbieders hebben de vervanging van zonnepanelen al een jaar tot zes maanden voor de uitvoering op de planning staan.<sup>70</sup> Indien dit ruimschoots van tevoren bekend is en de partij bereid is de panelen te schenken, zijn op het dak de beschikbare onderdelen al te inventariseren en kan proactief geschikte nieuwe locaties worden gezocht. Dit vereenvoudigt het koppelingsproces en maakt het kostenefficiënter.

### **Voorbeeld: Inzichtelijk maken en bijeenbrengen van de vraag naar tweedehands panelen**

Hoewel de gemeente een relatief klein aandeel panden beheert, werkt het nauw samen met grotere pandeigenaren om haar beleidsdoelstellingen te behalen. Zo kan de gemeente in gesprek gaan met woningcorporaties, die meer dan 40 procent van de daken in Amsterdam beheren. Veel van deze woningcorporaties hebben op de middellange termijn dakonderhoud of sloop op de planning staan. Deze daken worden daarom in de tussentijd niet benut.<sup>71</sup> Deze daken bieden wel mogelijkheden voor tweedehands zonnepanelen, die bijvoorbeeld over 10 jaar zijn af te schrijven. Uit een eerste korte inventarisatie met woningcorporatie Ymere blijkt dat in ieder geval drie complexen, met een oppervlakte van ruim een halve hectare, goed voor ongeveer 2000 zonnepanelen, sterk in aanmerking komen voor tweedehands PV.<sup>72</sup>

---

70 Vastgesteld op basis van persoonlijke communicatie met Stichting ZonNext

71 Vastgesteld op basis van persoonlijke communicatie met afdeling Energietransitie gemeente Amsterdam

72 Vastgesteld op basis van persoonlijke communicatie met Woningcorporatie Ymere

Ymere zet actief in op circulariteit en toont interesse in tweedehands PV-projecten.

Om dit soort projecten op gang te brengen kan de gemeente samenwerkingen faciliteren tussen energiecoöperaties, woningcorporaties en installatiebedrijven gedreven en ondersteund vanuit sociaal maatschappelijk belang.<sup>73</sup> Dit biedt mogelijkheden tot hernieuwbaar energiegebruik voor bewoners die zelf niet in staat zijn te investeren in zonnepanelen of niet over een eigen dak beschikken.

### **Voorbeeld: Inzichtelijk maken en in stelling brengen van installateurs voor zorgvuldige demontage**

Veel zonnepanelen worden ongeschikt verklaard voor hergebruik als gevolg van een onjuiste demontage, zoals het doorknippen van de bekabeling. Om het potentieel voor hergebruik te waarborgen, kan de gemeente Amsterdam (in samenwerking met bijvoorbeeld MRA of de G4) een netwerk van installateurs opzetten die een specifiek demontageprotocol volgen voor reparatie (van omvormers) en hergebruik van zonnepanelen en montagesystemen. Het nationaal Reparateursregister is hier een goed voorbeeld van.<sup>74</sup>

---

73 Zo helpt installatiebedrijf [The Switch](#) bijvoorbeeld mensen met een afstand tot de arbeidsmarkt door hen gratis op te leiden tot installateur

74 Het [Nationaal Reparateursregister](#) is een initiatief van Techniek Nederland en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. De bedrijven in het register voldoen onder anderen aan eisen op het gebied van De kwaliteit van de inname, handeling en afgifte van producten.

- Aydin, E., Brounen, D., & Ergün, A. (2023). *The rebound effect of solar panel adoption: Evidence from Dutch households*. *Energy Economics*, 120, 106645.
- Bernreuter, J. (2023). *The Polysilicon Market Outlook 2027*.
- Breukelman, F. (2024). *Wat betekent een terugleverheffing voor de terugverdiensijd van zonnepanelen? Zonneplan*
- Dekker, W. (2023). *Zonnepanelen flink goedkoper, terugverdiensijd nu zes jaar*. *De Volkskrant*.
- Deng, R., Zhuo, Y., & Shen, Y. (2022). *Recent progress in silicon photovoltaic module recycling processes*. *Resources, Conservation and Recycling*, 187, 106612.
- DNE Research (2024). *Nationaal Solar Trendrapport 2024*.
- Duman, Ü. & Apotheker, D. (2023). *Duurzame zonne-energie – Noodzaak én momentum voor een Europese productieketen*. *Invest NL*.
- Drop, K., Vogt, M.R., Eijsbout, R. (2023). *Environmental Analysis of End-of-Life Scenarios for Decommissioned Crystalline Silicon PV Modules*.
- European Solar PV Industry Alliance (ESIA) (2023). *Addressing uncertain antimony content in solar glass for recycling*.
- Frederik, J. (2023). *Zelfs optimisten zijn te pessimistisch: schone energie wordt spotgoedkoop*. *De Correspondent*.
- Gemeente Amsterdam (2020). *Amsterdam Circulair 2020-2025 Strategie – Publieksversie*.
- Gemeente Amsterdam (2023) [1]. *Ontwikkelingskader Elektriciteitsvoorziening Amsterdam 2035*.
- Gemeente Amsterdam (2023) [2]. *Toepassingsregel duurzame investeringen (versie 2023)*.
- Inspectie Leefomgeving en Transport. (2023). *Inzameling en verwerking van afgedankte elektrische en elektronische apparatuur*.
- Kleijn, R. & Blondel, E. (2022). *Grondstoffen, geld en geopolitiek – naar een duurzame en sociale energietransitie in Europa*. *Leiden-Delft-Erasmus Universities*
- Li, W., & Adachi, T. (2019). *Evaluation of long-term silver supply shortage for c-Si PV under different technological scenarios*. *Natural Resource Modeling*, 32(1), e12176.
- Mensink, M. (2023). *Duurzaamheidsaspecten en marktscan duurzamere zonnepanelen*. *Buyer Group*.
- Mulvaney, D., & Bazilian, M. (2023). *Price volatility, human rights, and decarbonization challenges in global solar supply chains*. *Energy Research & Social Science*, 102, 103167.
- Murphy, L. & Elimä, N. (2021). *In broad daylight: Uyghur forced labour in global solar supply chains*. *Helena Kennedy Centre*.
- Milieucentraal (2023). *Factsheet CO<sub>2</sub>-voetafdruk huishoudens*.
- R. Frischknecht, P. Stolz, G. Heath, M. Raugai, P. Sinha, M. de Wild-Scholten (2020). *Methodology guidelines on life cycle assessment of photovoltaic electricity*. *IEA PVPS Task*, 12.
- Rijksoverheid (2023). *Nationaal Plan Energiesysteem*.
- Schenderling, P. & Olthaar, M., (2024). *Beprijzingsmaatregelen opschalen circulaire verdienmodellen*. *Sufficiency*.
- Sodhi, M., Banaszek, L., Magee, C., & Rivero-Hudec, M. (2022). *Economic lifetimes of solar panels*. *Procedia CIRP*, 105, 782-787.
- Späth, M., Wieclawska, S., Sommeling, P., Lenzmann, F. (2022). *Balancing costs and revenues for recycling end-of-life PV panels in the Netherlands*. *TNO*
- Stokvisch, M. (2022). *Strategies for circular end-of-life management of photovoltaic panels on Amsterdam rooftops*. *AMS Institute*.
- Stultiens, E. (2023) [1]. *Niemand weet hoeveel zonnepanelen worden gehamsterd, prijzenoorlog onvermijdelijk*. *Solarmagazine*.
- Stultiens, E. (2023) [2]. *Meyer Burger verlegt focus naar Amerika vanwege hevige concurrentie in Europa*. *Solarmagazine*.
- Tawalbeh, M., Al-Othman, A., Kafiah, F., Abdelsalam, E., Almomani, F., & Alkasrawi, M. (2021). *Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook*. *Science of The Total Environment*, 759, 143528.
- VDMA (2022). *International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV)*. 13th Edition.
- Van Hooff, W., Kuijers, T., Quax, R., Witte, J. (2021). *Ruimtelijk potentieel van zonnestroom in Nederland*. *TKI Urban Energy, Generation.Energy*.
- de Vilder, S., Cucurachi, S., Vogt, M.R., van Driel, J. (2023). *Changing Environmental Tides of Amsterdam's Future PV Systems: A multi-scenario projection for the environmental performance of residential PV systems in Amsterdam*. *TU Delft*.

**Tabel A:** Belangen betrokken partijen e-waste keten PV en weerstand en kansen voor LDV

Partij	Belangen	Weerstand LDV	Kansen LDV
<b>1. PV Eigenaar</b>	<p>Kosten besparing (o.a. energie rekening, installatie- en onderhoudskosten).</p> <p>Vermindering CO<sub>2</sub>-uitstoot.</p>	<p>Prioriteert over het algemeen kostenbesparing (economische levensduur &gt; technische levensduur).</p> <p>Gevoelig voor advies van installateurs en leveranciers om de installatie vroegtijdig te vervangen.</p>	<p>Gevoelig voor financiële stimulans LDV.</p> <p>Kan besluiten panelen te behouden of te schenken voor hergebruik door erkenning maatschappelijke waarde en eventuele marketing.</p>
<b>2. (De)installateur</b>	<p>Financieel belang bij zoveel mogelijk installaties uitvoeren, in een zo kort mogelijke termijn. Het werk van zogeheten 'PV-cowboys' zorgt voor onnodige veiligheids-risico's en resulteert ook vaak in suboptimale installaties.</p>	<p>Vervanging gehele PV-systeem wordt al gauw geprioriteerd over vervanging/reparatie van slechts één onderdeel, wanneer uitval van het onderdeel niet meer valt binnen de productgarantie.</p> <p>Snelheid van demontage en transport beïnvloed herbruikbaarheid van zonnepanelen.</p> <p>Nog geen commercieel belang bij installatie tweedehands panelen door minder winst voor meer moeite en meer risico's.</p>	<p>Gevoelig voor financiële stimulans LDV.</p> <p>Wanneer demonteurs een demontageprotocol voor hergebruik volgen, zijn er veel meer zonnepanelen te hergebruiken.</p> <p>Overnemen of vergoeden van demontage en transport voor hergebruik kan de installateur ontzorgen.</p>
<b>3. Milieustraat/afvalscheidings station</b>	<p>Continuïteit en volume van de e-waste instroom, waarop het businessmodel is af te stemmen.</p>	<p>Prioriteert onder huidige AEEA-regelgeving en afspraken met producenten inzamelingskwantiteit over kwaliteit – Nog geen belang bij waarborging functionaliteit ingeleverde elektronica.</p>	<p>Heeft een groot bereik inwoners – kan vanuit gemeentelijke invloed bewustwording impact LDV vergroten.</p> <p>Kan belangrijke rol spelen in logistiek, bijv. mogelijke locatie voor tijdelijke opslag herbruikbare PV-onderdelen; mogelijke locatie teststraat en hercertificeren van afgedankte zonnepanelen.</p>

Partij	Belangen	Weerstand LDV	Kansen LDV
<b>4. Producenten &amp; Leveranciers</b>	Verkrijgen, behouden of versterken van een concurrentie-positie op de PV-markt met winstoptimalisatie.	LDV limiteert de vraag naar nieuwe producten. Producenten hebben in de toekomst meer belang bij terugwinning van materialen dan bij levensduurverlenging en hergebruik. In navolging van producenten van IT hardware (Apple, Dell, HP) kunnen PV-producenten wel geïnteresseerd zijn om beheer te krijgen van eigen retourstromen voor refurbishment en remanufacturing van het eigen merk zonnepanelen.	<p>Op basis van het circulair beleid van de overheid kan via de AEEA-regelgeving en uitgebreide producenten-verantwoordelijkheid (UPV) de producentenbijdrage worden verhoogd en besteed aan LDV-strategieën.</p> <p>Leveranciers in Europa/Nederland hebben belang bij langetermijn-leveringszekerheid van materialen, componenten en producten. Zij kunnen gevoelig zijn voor het argument van geopolitieke afhankelijkheid en tegen hun kortetermijn belang in toch bereid zijn mee te investeren in circulaire oplossingen.</p> <p>Onder toenemende druk vanuit de green deal krijgen importeurs steeds meer duurzaamheidseisen en ook ambities om een grotere rol te spelen in circulaire strategieën.</p>
<b>5. Stichting OPEN (Stichting ZRN &amp; PV Cycle)</b>	<p>Belangenbehartiging van de producenten en importeurs.</p> <p>Voldoen aan de wettelijke verplichtingen gesteld aan producenten en leveranciers (o.a. beheren van de verwijderingsbijdrage/producentenbijdrage per zonnepaneel).</p>	Tot op heden ligt de focus op recycling en lijkt Stichting OPEN nog terughoudend te zijn om te investeren in LDV-strategieën voor PV. De Stichting heeft daar nog geen directe aanleiding toe zolang zij de taken en verantwoordelijkheden uitvoert binnen de huidige wettelijke kaders t.a.v. e-waste.	<p>Op basis van het circulair beleid van de overheid is via de AEEA-regelgeving de producentenbijdrage te verhogen en gericht te besteden aan LDV-strategieën.</p> <p>Nieuwe CENELEC-gecertificeerde inzamelingslocaties met een uitbreiding van capaciteiten voor LDV kunnen bijdragen aan het behalen van de inzamelings-doelstelling in de AEEA-regelgeving.</p>
<b>6.1 WeCycle (INZAMELINGSPARTIJ)</b>	<p>Wecycle is de naam waaronder Stichting OPEN campagnes voert om de inzameling en recycling van e-waste te stimuleren.</p> <p>Zet in op efficiënte, duurzame en goedkope inzameling en recycling van afgedankte elektronica.</p>	Zie punt 5.	Kan net als WEEE NL het testen, repareren en certificeren van zonnepanelen en andere systeemonderdelen integreren in hun inzamelingsstructuur.

Partij	Belangen	Weerstand LDV	Kansen LDV
<b>6.2 WEEE NL (INZAMELINGSPARTIJ)</b>	Zet in op stimulering van direct hergebruik door facilitering van testen, repareren, certificeren en verkopen van tweedehands elektronica; beheert samen met Refurn een teststraat voor hercertificering van afgedankte zonnepanelen in Apeldoorn.	WEEE NL heeft een contract met Stichting OPEN voor de inname en het transport van e-waste, tot maart 2026. Voortzetting van de huidige hergebruikketen is afhankelijk van een verlenging van het contract met Stichting OPEN.	WEEE NL, Refurn en Stichting ZonNext kunnen als uitvoerende partijen dienen bij de uitbreiding van LDV, mits zij ook betrokken en ondersteund worden door overheden en Stichting OPEN na 2026.  Om LDV door producthergebruik van zonnepanelen te kunnen opschalen zijn aanvullende investeringen nodig (met name logistieke oplossingen zoals lokale opslagplaatsen/ circulaire hubs)
<b>7. Recyclers</b>	<p>Meer winst door een consistente en groeiende aanvoer van afgedankte elektronica.</p> <p>Investeren in grotere recycling-capaciteit om de grotere volumes in de toekomst te verwerken.</p> <p>Status-quo-recyclers wachten af met investeren in hoog-waardige recycling-technologie tot de ontwikkeling zo ver is en er een business case ontstaat.</p>	<p>LDV vertraagt de aanvoer van afgedankte elektronica voor recycling.</p> <p>Het draagvlak voor recycling is groot maar kan de meerwaarde van LDV overschaduwen.</p>	Niche hoogwaardige recyclers zoals Solar2Cycle kunnen in samenwerking met LDV-partijen zoals Refurn een alliantie vormen om de bestaande structuur voor inzameling en verwerking te verbeteren. LDV geeft hen een buffer om een grotere stroom aan te kunnen, wanneer de technologie zo ver is. Daarnaast is het in bepaalde gevallen ook logischer om panelen hoogwaardig te recyclen (bijvoorbeeld bij panelen met een heel laag opwekkingsvermogen). De kaders voor hergebruik en recycling kunnen onderling worden bepaald op basis van de impactanalyses en in samenwerking met inzamelingspartijen en wetenschappelijke onderzoeksinstituten.
<b>8. Reparatie-, test- &amp; certificeringscentrum Refurn Apeldoorn</b>	<p>Dochteronderneming van WEEE NL</p> <p>Een groter percentage van afgedankte zonnepanelen op de teststraat krijgen voor de stimulering van hergebruik.</p>	Zie punt 6.2	Zie punt 6.2
<b>9. Stichting ZonNext</b>	<p>Dochteronderneming van WEEE NL.</p> <p>Op zoek naar meer partners om het aanbod en de afname van tweedehands zonne-panelen te vergroten.</p>	Zie punt 6.2	Zie punt 6.2





# Gemeente Amsterdam



Universiteit  
Leiden



**Auteurs:**

Sietse de Vilder, AMS Institute,  
[sietse.devilder@ams-institute.org](mailto:sietse.devilder@ams-institute.org)  
dr Joppe van Driel, AMS Institute,  
[joppe.vandriel@ams-institute.org](mailto:joppe.vandriel@ams-institute.org)  
dr Stefano Cucurachi,  
Universiteit Leiden (CML)  
dr Malte Vogt, TU Delft (PVMD)