

Circulaire geïntegreerde hoog-rendements zonnepanelen



Circulaire geïntegreerde hoog-rendements zonnepanelen

Terrein	R&D en innovatie
Contactpersoon indienend departement	Pim van Leeuwen Micha Rots

- Deelnemende partijen
1. **Solarge**
Gerard de Leede
 2. **MCPV**
Marc Rechter
 3. **HyET Solar**
Johann Jansen van Rensburg
 4. **Compoform**
Max Hamm
 5. **Exasun**
Jan-Jaap van Os
 6. **Energyra**
John van Veen
 7. **Lightyear Layer**
Laurens van Erp
 8. **IM Efficiency**
Ruud Derks
 9. **Taylor**
Rein Westerdijk
 10. **TNO**
Harm Jeeninga
 11. **Hogeschool van Amsterdam**
Renée Heller
 12. **Stichting NWO-I/AMOLF**
Albert Polman

Totale projectkosten 898,3 miljoen euro

Gevraagde subsidie 312 miljoen euro

Start- en einddatum project 1-1-2024 – 31-12-2031

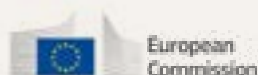
Inhoud

1. Samenvatting	4	Appendices	
2. Strategische onderbouwing	5	A Summary in English	2
2.1 Probleemanalyse	5	B Analyse internationale context en strategische risico's	4
2.2 Doelstelling	11	C Beschrijving partners	10
2.3 Legitimiteit	12	D Beschrijving MCPV team, expertise, investeringsplan	12
2.4 Subsidiariteit	13	E Governance	14
2.5 Doeltreffendheid	13	F Human Capital	18
2.6 Doelmatigheid	13	G Valorisatiestrategie	21
2.7 Flankerend beleid	14	H Uitwerking <i>theory of change</i>	23
2.8 Internationale context	15	I Circulariteit	44
2.9 Strategische risico's	17	J Open calls RVO en NWO	45
3. Planuitwerking	18		
3.1 Projectplan	18		
3.2 Samenwerking en governance	39		
4. Financiële onderbouwing	46		
4.1 Begroting	46		
4.2 Optimale begrotingsmix	47		
4.3 Zekerheid over bijdragen	47		
4.4 Niet structureel	47		
4.5 Open calls en aanbestedingen	48		
5. Bijdrage aan duurzaam verdienvermogen	48		
5.1 Onderbouwing economische effecten	48		
5.2 Onderbouwing maatschappelijke effecten	49		
Referenties	51		
Indieners, kernteam, schrijfteams en advies	52		

Het Groeifondsvoorstel kende tevens een aantal technische Appendices met onder meer details van de Programmalijnen met deliverables, milestones, fasering en begroting. Deze zijn hier niet toegevoegd.

Zon-PV: Circulaire geïntegreerde hoog-rendements zonnepanelen

Naam indieners	<ul style="list-style-type: none"> • Drs. Marc Rechter, CEO MCPV Nederland • Prof. dr. ir. Gerard de Leede, CTO Solarge • Prof.dr. Albert Polman, NWO-Instituut AMOLF • Ministerie van EZK 		
Projectduur	8 jaar		
Terrein	R&D en Innovatie		
Totale investering	Gevraagde bijdrage NGF	Bijdragen van andere partijen	
		Wv. publiek	Wv. privaat
898,3 mln. euro	312,0 mln. euro	0,0 mln. euro	586,3 mln. euro



REPowerEU



1 Samenvatting

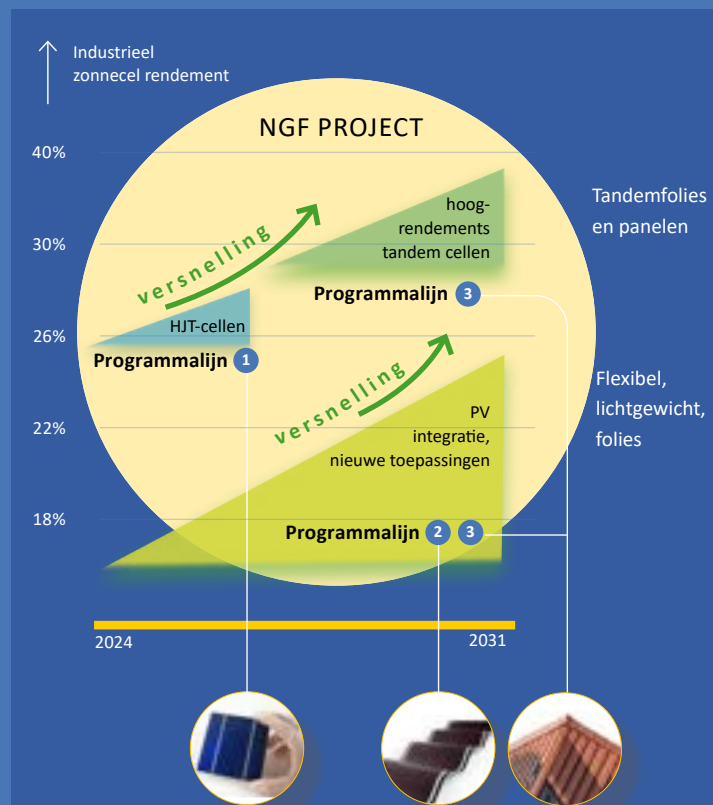
Een snelle transitie naar duurzame energiebronnen is van groot belang om klimaatverandering te verminderen. Dit creëert tegelijkertijd enorme kansen voor technologische innovatie en bedrijvigheid. Die kansen grijpen we met dit Nationaal Groeifondsvoorstel. Energie uit zonlicht (Zon-PV) zal een grote rol spelen in de energietransitie; wereldwijd staat Zon-PV op het punt te groeien naar de 'terawatt' schaal en in Nederland zal de opwekkingscapaciteit van Zon-PV groeien van 18 GW_p in 2022 naar 100-250 GW_p in 2050. Dit Groeifondsvoorstel creëert het innovatie-ecosysteem voor lokale ontwikkeling van nieuwe Zon-PV technologieën en de industrialisatie ervan. Het vormt een verdienvermogen van miljarden euro's voor decennia in de toekomst.

Het programma heeft als doel drie innovatieve Zon-PV technologieën te ontwikkelen en te industrialiseren, die elk concurrerend zijn op hun respectieve markten, naast de huidige mainstream Zon-PV technologie: hoog-rendements silicium heterojunctie 'HJT' cellen, flexibele perovskiet folies en op maat gemaakte Zon-PV producten voor integratie in gebouwen en automotieve toepassingen. Elke programmalijn kent een innovatieketen die onderzoek, technologie- en productontwikkeling, industrialisatie en opschaling verbindt. Wij passen daarbij een 'design-for-circularity'-principe toe in elk van onze technologieën en producten.

De totaalbegroting bedraagt 898,3 miljoen euro waarvan 586,3 miljoen euro door private financiering wordt gedekt. De gevraagde Groeifondssubsidie is 312,0 miljoen euro (35%). Parallele publieke investeringen zijn 181 miljoen euro. Het programma is gericht op R&D en innovatie en kent een sterke 'human capital agenda'. Het leidt tot een verwachte toegevoegde waarde voor de Nederlandse economie van 500-700 miljoen euro/jaar in 2031 en cumulatief 20-25 miljard euro in 2050. Daarnaast zal de lokale productie grote maatschappelijke baten opleveren en de strategische autonomie van onze energievoorziening versterken. Het voorstel is volledig in lijn met het versnellende momentum van beleidsmaatregelen op EU-niveau.

Het Groeifondsprogramma wordt uitgevoerd door een sterk consortium van negen Nederlandse Zon-PV-bedrijven, zes universiteiten, NWO-Instituut AMOLF, TNO en een aantal hogescholen. Het programma versterkt het nationale Zon-PV-ecosysteem en draagt sterk bij aan het behalen van de nationale klimaatdoelstellingen voor 2030 en 2050 (Nederland klimaatneutraal). EZK ondersteunt en coördineert dit voorstel met het oog op de voorziene positieve bijdrage aan de energietransitie, de klimaatdoelstellingen en de opbouw van duurzaam Nederlands verdienvermogen.

Evolutie technologie 2024-2031





2 Strategische onderbouwing

2.1 Probleemanalyse

De energietransitie

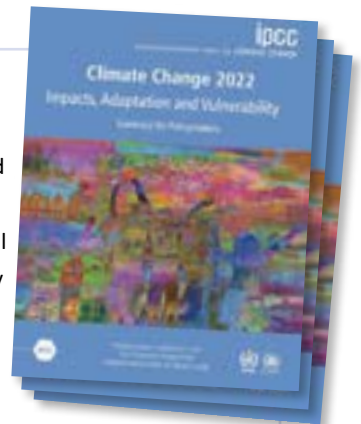
De energietransitie is een van de grootste maatschappelijke uitdagingen van deze tijd. Opwarming van de aarde, stijgende energieprijzen, uitputting van kritische en strategische materialen, vervuiling van het milieu – er gaat geen dag voorbij zonder berichten over de grote uitdagingen op het gebied van energievoorziening en duurzaamheid waarvoor de wereld staat. De urgentie van de verduurzaming van onze energievoorziening is groot: in een alarmerend rapport van de IPCC¹ werd recent gewaarschuwd dat als alle overheden wereldwijd niet nú ingrijpende maatregelen treffen, de doelstellingen van het Parijs-akkoord om de opwarming van de aarde te beperken tot 2 °C en bij voorkeur 1,5 °C, bij lange na niet worden gehaald. Daarnaast laat de recente oorlogssituatie zien dat onze afhankelijkheid van andere landen voor onze energievoorziening een groot strategisch en economisch risico vormt. Het is om al deze redenen van groot belang de energietransitie met grote inzet, urgentie en in de volle breedte vorm te geven.

Er is ook goed nieuws: duurzame energiebronnen zoals zonne- en windenergie worden steeds efficiënter en goedkoper en bieden samen met energieopslag in batterijen en groene waterstof een competitief plan voor de groene energievoorziening en verdergaande elektrificatie van onze maatschappij. Nederland moet nú de kans grijpen om grootschalig in te zetten op deze nieuwe energiebronnen. Hierdoor ontstaan grote kansen voor het Nederlandse bedrijfsleven en de economie van ons land.

Zon-PV biedt een belangrijk deel van de oplossing

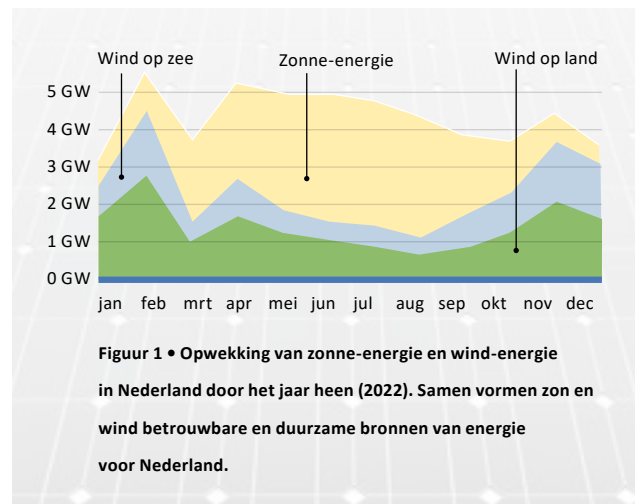
Alle technische onderdelen die nodig zijn om elektrische energie op een directe manier uit zonlicht te verkrijgen (zonnecellen, zonnepanelen, etc.) vatten we samen onder de noemer Zon-PV, naar het Engelse woord photovoltaics voor het fotonvoltaïsche effect dat ten grondslag ligt aan de technologie. Zon-PV speelt onmiskenbaar een sleutelrol in de wereldwijde energietransitie. In ieder scenario voor de toekomstige energiemix wordt voor Zon-PV een zeer sterke toename voorzien. Samen met onder meer windenergie gewonnen op land en op de Noordzee (“wind op zee”) moet Zon-PV ons land in de toekomst op een duurzame manier voorzien van een groot deel van onze energiebehoefte (Figuur 1).² De kosten van Zon-PV zijn de afgelopen jaren wereldwijd sterk gedaald, wat leidt tot een elektriciteitsprijs voor Zon-PV van zo’n € 0,045/kWh en de

“The scientific evidence is **unequivocal**: climate change is a threat to human wellbeing and the health of the planet. Any further delay in concerted global action will miss the brief, rapidly closing window to secure a liveable future. This report offers solutions to the world.”



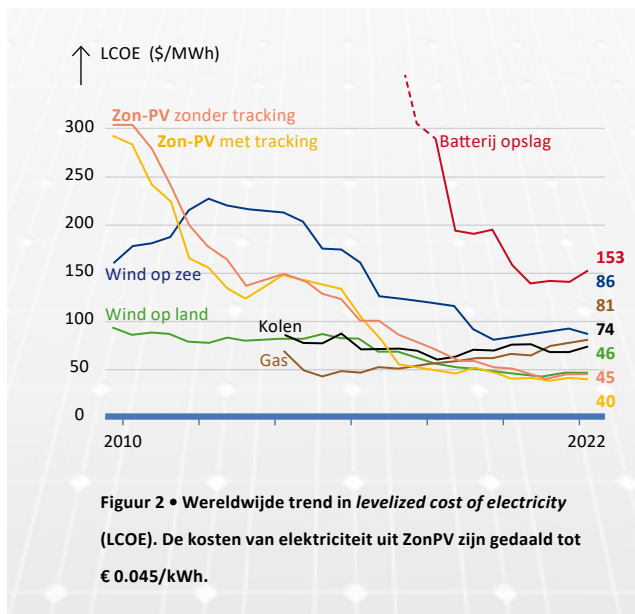
Rapport Climate change 2022, IPCC (2022)

Bron: Ref. 1



Figuur 1 • Opwekking van zonne-energie en wind-energie in Nederland door het jaar heen (2022). Samen vormen zon en wind betrouwbare en duurzame bronnen van energie voor Nederland.

Bron: Ref. 2



Figuur 2 • Wereldwijde trend in levelized cost of electricity (LCOE). De kosten van elektriciteit uit ZonPV zijn gedaald tot € 0.045/kWh.

Bron: Ref. 3



Figuur 3 • Het aandeel van Zon-PV in elektriciteitsconsumptie in Nederland zal sterk stijgen. De elektriciteitsconsumptie zelf zal ook stijgen door electrificatie van de industrie en vervoer. In sommige internationale scenario's neemt het deel Zon-PV toe tot meer dan 60% in 2050.

Bron: Ref. 16

komende jaren wordt nog een verdere daling verwacht (Figuur 2).³ Daarmee is Zon-PV concurrerend ten opzichte van elektriciteit die wordt opgewekt met fossiele brandstoffen. In het Coalitieakkoord is opgenomen dat Nederland in 2030 een CO₂-reductie van 55% moet hebben bereikt ten opzichte van 1990.⁴ Deze doelstelling is een aanscherping van eerdere ambities naar aanleiding van het Europese *Fit-for-55* pakket.⁵ Daarnaast moet Nederland in 2050 klimaatneutraal zijn, zoals in de Klimaatwet is verankerd. Om deze doelen te bereiken, moet in 2030 ruim 200 TWh⁶ aan elektriciteit uit hernieuwbare bronnen worden opgewekt⁷ en moet in 2050, om een (bijna) volledig duurzame energievoorziening te realiseren, zo'n 300-600 TWh⁸ uit hernieuwbare bronnen komen. Daarvan zal een belangrijk deel (80-200 TWh)^{9,10,11} met behulp van Zon-PV moeten worden opgewekt (Figuur 3). Dit komt overeen met een geïnstalleerd vermogen van Zon-PV van zo'n 100-250 GW_p. Eind 2022 was in Nederland een vermogen van 18 GW_p aan Zon-PV geïnstalleerd (zo'n 2 miljoen huizen in Nederland zijn voorzien van zonnepanelen).¹³ We hebben dus nog een enorme weg te gaan (Figuur 4).¹³ Jaarlijks wordt in Nederland nu zo'n 3 GW_p geïnstalleerd en het zal

nodig zijn om dit tempo te verdubbelen om de doelstellingen voor 2050 te halen.¹³ Daarnaast zal in de toekomst een toenemende vervangingsvraag op gang komen.¹⁴ We moeten in Nederland de komende decennia dus op zeer grote schaal Zon-PV installeren om onze klimaatdoelstellingen te halen.

Markt en autonomie:

niet alleen installeren maar vooral ook zelf produceren

Ook na de recente jaren van groei bevindt de wereldwijde Zon-PV-markt zich nog altijd in een vroege fase van ontwikkeling. Hij wordt gedreven door voortdurende technologische innovatie en groeit steeds sneller. Zon-PV bereikt nu het 'terawatt-tijdperk', waarin een markt zal ontstaan van enorme omvang. Ook in Europa is een schaalessprong in de implementatie van Zon-PV op handen. Het REPowerEU-programma van de Europese Commissie heeft tot doel dat in 2030 in de EU een Zon-PV-vermogen van 750 GW_p is geïnstalleerd.¹⁵ Eind 2021 bedroeg dit vermogen nog 200 GW_p. Deze doelstelling vertaalt zich naar een Europese marktomvang voor Zon-PV-modules van 60-70 GW_p/jaar, een verdubbeling ten opzichte van 2021. Een verdere extrapolatie van deze ambitie voor 2050 vereist installatie van zo'n 5.000-10.000 GW_p aan Zon-PV in Europa. Buiten Europa is het perspectief niet anders: volgens het *International Energy Agency* zal de wereldwijde Zon-PV-modulemarkt groeien naar volumes van enkele TW_p/jaar (Tabel 1).^{16,17} Ook wetenschappelijke analyses en transitie-scenario's voorzien een enorme groei van Zon-PV in de komende decennia.^{18,19}

Vanuit het oogpunt van ons toekomstig nationaal verdienvermogen heeft Nederland er groot belang bij om in deze hi-tech groei-industrie een sterke positie te verwerven. Nederland heeft daarvoor een zeer goede uitgangspositie, dankzij een sterke R&D-traditie in Zon-PV, een breed gedragen technologische basis en dynamisch ondernemerschap in de

In het **Klimaatakkoord** hebben overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties samen afspraken gemaakt over welke maatregelen ze de komende 10 jaar gaan nemen. Elke sector stelt zijn eigen doelen en neemt zelf maatregelen om samen de CO₂-uitstoot te verminderen. In alle vijf sectoren speelt grootschalige implementatie van Zon-PV een grote rol:



Elektriciteit	Grootschalige implementatie van PV systemen
Industrie	Elektrificatie van industriële processen
Mobiliteit	Elektrificatie van vervoer
Gebouwde omgeving	Integratie van PV in gebouwen en infrastructuur
Landbouw en landgebruik	Integratie van PV in het landschap

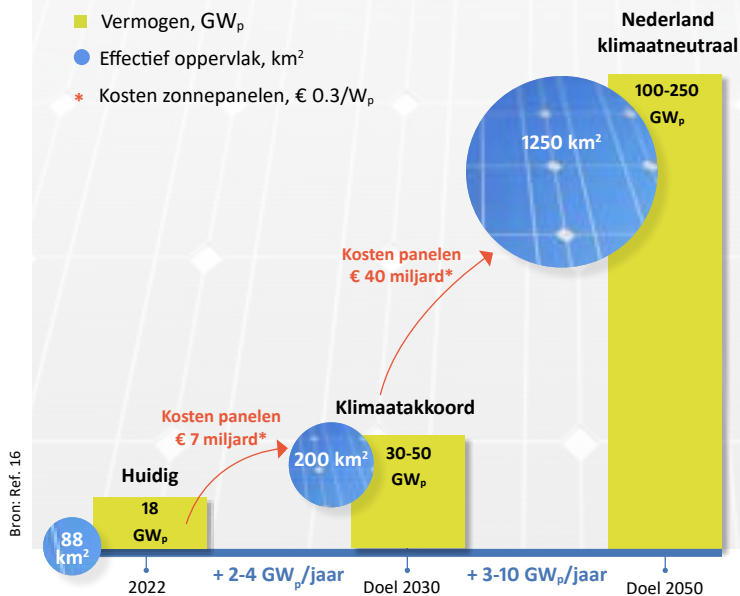
Doelen voor geïnstalleerde Zon-PV capaciteit

Tabel 1 • Doelen voor geïnstalleerde Zon-PV capaciteit (in GW_p) voor Nederland, Europe (REPowerEU) en de wereld (IEA).

	Huidig 2022	Doel 2030	Doel 2050
Nederland	18	20-50	100-250
Europa	200	750	7.500
Wereld	1.100	7.500	14.000-60.000

Bron: Ref. 16

Figuur 4 • De capaciteit van Zon-PV in Nederland zal groeien tot 100-250 GW_p in 2050. Met de kosten van de panelen zijn tientallen miljarden euro gemoeid; met de totale kosten van Zon-PV systemen nog een factor 3-4 meer.



Bron: Ref. 16

Nederlandse Zon-PV-sector. Om voor de Zon-PV-behoefte van Europa tot een significant marktaandeel te komen, is er plaats voor meerdere multi-GW_p/jaar.-fabrieken. Daarnaast zijn innovatieve geïntegreerde Zon-PV-moduleproducten, die vandaag nog nauwelijks bestaan, essentieel voor de grootschalige implementatie van Zon-PV in onze maatschappij. Ze maken het mogelijk grote oppervlakken Zon-PV onzichtbaar of op een esthetisch aantrekkelijke manier te integreren wat het maatschappelijk draagvlak versterkt. Het creëren van Nederlandse en Europese Zon-PV productie is van groot strategisch belang en biedt bovendien een enorme economische kans. Nederland heeft daarbij een unieke positie door de grote investeringen in hoogwaardige Zon-PV kennis en technologie in de afgelopen decennia. Met dit voorstel ontwikkelen we de innovaties voor de bouw van een aantal multi-GW_p/jaar.-fabrieken in drie Zon-PV technologierichtingen.

Azië domineert de wereldmarkt in Zon-PV: oorzaken en risico's

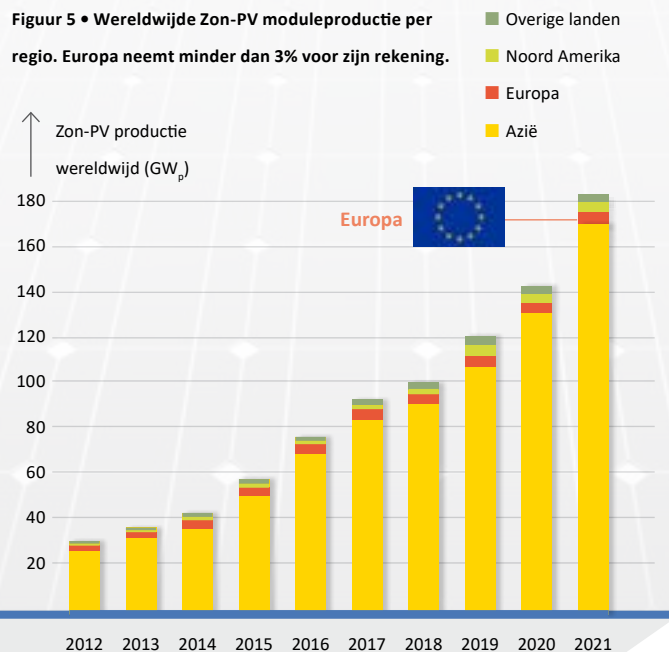
De huidige Europese en Nederlandse Zon-PV-markt wordt vrijwel exclusief bediend door Aziatische Zon-PV-producten (vooral uit China). In Nederland komt 97% van de geïnstalleerde Zon-PV-modules, uit Azië (Figuur 5).²⁰ De Chinese overheid is in de jaren 2005-2010 een grootschalig subsidieprogramma gestart om een dominante Chinese Zon-PV-industrie op te bouwen. Met miljardeninvesteringen in de bouw van Zon-PV-fabrieken en vervolgens ook in technologieontwikkeling, hebben Chinese bedrijven nu in alle stappen van de

Zon-PV-waardeketen een jaarlijkse productiecapaciteit die die van alle andere landen samen ver overstijgt. De Chinese productietechnologie is grotendeels gebaseerd op uitvindingen in de westerse wereld, zoals de zogenaamde PERC-cel, de huidige de facto industriestandaard die oorspronkelijk in Australië is ontwikkeld, waarvan Chinese fabrieken vervolgens door verdere optimalisering en schaalvergroting ('multi-GW_p') de productiekosten omlaag gebracht hebben.

De omvangrijke en langdurige staatssteun heeft Chinese Zon-PV-bedrijven ook in staat gesteld om sinds jaren een zeer agressieve prijspolitiek te volgen om buitenlandse markten te veroveren, waaronder de Europese. Deze verstoring van een vrije, eerlijke concurrentie vindt tot op de dag van vandaag plaats. Het recente rapport "Rebuilding Europe's solar supply chain" van McKinsey laat zien dat Chinese Zon-PV-modules een kostenvoordeel van 10-15% hebben dankzij directe staatssteun.²¹ China heeft zo een groot economisch verdienvermogen opgebouwd uit zonnepanelen die over de hele wereld worden verkocht, vaak met lokale overheidssubsidies. Voor iedere 3 GW_p die in Europa aan Zon-PV-modules wordt geïnstalleerd, wordt bijna 1 miljard euro uitgegeven aan de Chinese Zon-PV-industrie.²² Met de 550 GW_p die we vanaf vandaag in Europa moeten installeren om de doelstellingen van REPowerEU voor 2030 te halen is in totaal zo'n 165 miljard euro gemoeid. In dit Groeifondsvoorstel laten we zien dat het mogelijk is een competitieve Europese Zon-PV-industrie op te bouwen met een relatief kleine investering.

Daarnaast is het een groot strategisch risico als we voor één van de belangrijkste technologieën voor de energietransitie zo afhankelijk zijn van andere (niet-Westerse) landen. Na diverse olie- en gascrises, laat de oorlog in Oekraïne zien hoe groot de economische en sociale consequenties zijn als een energiebron die we als gegarandeerd en betrouwbaar beschouwen (in

Figuur 5 • Wereldwijde Zon-PV moduleproductie per regio. Europa neemt minder dan 3% voor zijn rekening.



Bron: Ref. 20



“We moeten onafhankelijk worden van Russische olie, kolen en gas. We kunnen simpelweg niet vertrouwen op een leverancier die ons expliciet bedreigt. We moeten nu handelen om de impact van stijgende energieprijzen te verzachten, onze gasvoorziening voor de komende winter te diversifiëren en de transitie naar schone energie te versnellen.”

Europese commissievoorzitter
Ursula von der Leyen, 7-9-2022

dit geval gas, met de daaraan gekoppelde elektriciteitsprijzen) door snel veranderende politieke omstandigheden plotseling opdroogt. Daarnaast toont het aan hoe kwetsbaar onze klimaatdoelstellingen zijn: we kunnen geen betrouwbaar implementatieplan voor het Klimaatakkoord realiseren als dat afhangt van de bereidheid van buitenlandse fabrikanten ons de benodigde technologie te leveren. Risico's op onderbreking van de aanvoer (naast geopolitieke redenen kan ook een pandemie een oorzaak zijn), prijsopdrijving, uitsluiting van de beste en nieuwste technologie, en geopolitieke chantage zijn zeer reëel.^{22a} Als we zeker willen stellen dat we onze installatiecapaciteit voor Zon-PV werkelijk kunnen opschalen, zullen we ons de middelen moeten geven om Zon-PV-modules op grote schaal zelf te fabriceren – door een eigen Zon-PV-maakindustrie op te bouwen. Dit Groeifondsprogramma Zon-PV stelt zich tot doel om Nederland in deze ontwikkeling een leidende rol te geven.

Eigen Zon-PV-maakindustrie: een grote kans voor duurzaam economisch verdienvermogen

Energietechnologie vormt een van de grootste industrietakken in de wereld, en binnen de wereldwijde energietransitie speelt de Zon-PV-industrie een essentiële rol. De technologie- en waardeketen van Zon-PV is op dit moment voor 95% gebaseerd op silicium zonnepanelen²⁰ en omvat de fabricage van met name ruw (metallurgisch) silicium, zuiver silicium, siliciumwafers, zonnecellen, zonnepanelen, Zon-PV-systemen, geïntegreerde Zon-PV-producten, elektriciteitsnetwerken en energieopslagsystemen. Tabel 2 geeft een overzicht van de markt voor zonnepanelen en folies, op basis van de groeiscenario's die in Tabel 1 zijn geschetst. De markt voor (systeem-)integratie, installatie en netkoppeling van de Zon-PV systemen vertegenwoordigt een waarde die nog eens 3-4 keer groter is dan de bedragen in Tabel 2. Voor Nederland gaat het dan in de Zon-PV-sector om tientallen miljarden euro per jaar; voor Europa op termijn om honderden miljarden euro per jaar over de periode tot 2050.

De energietransitie is dus een enorme economisch kans.²¹ De analyse van Roland Berger Consulting (Hoofdstuk 5) voorziet een verdienvermogen van 500-700 miljoen euro in 2031 en cumulatief 20-25 miljard euro in 2050. Daarmee zetten we ons

als land op achterstand, en laten we kansen voor economische groei liggen. Door in eigen land en in Europa op industriële schaal Zon-PV-technologie te maken, komen de grote investeringen in energietechnologie ten goede van onze eigen economie, met alle maatschappelijke voordelen van dien. Dit Groeifondsproject richt zich op de waardeketen van zonnecellen tot en met geïntegreerde Zon-PV-producten. Juist voor geïntegreerde Zon-PV-producten voldoen de standaard Zon-PV-panelen niet, en producten in dat (potentieel enorme) marktsegment moeten aan specificaties voldoen die lokale productie vereisen.

Investeren in eigen land biedt kansen voor het creëren van werkgelegenheid, binnen en buiten de reguliere waardeketen van Zon-PV. Nu al zijn in Nederland ruim 35.000 mensen werkzaam in de Zon-PV-sector (constructie, installatie, onderhoud, integratie in het elektriciteitsnetwerk, etc.) en dat aantal zal naar verwachting jaarlijks met 15-30% groeien.²³ Met onze eigen Zon-PV-maakindustrie zal dat aantal sterk toenemen. Hoewel werkgelegenheid in Nederland op het moment van schrijven geen groot punt van zorg is, is dit voor de lange termijn geen vanzelfsprekendheid. Traditionele industriesectoren als olie, gas, chemie en transport, waar Nederland historisch sterk in is geweest, kijken eveneens tegen een transitie aan. Voor mensen die daar hun baan verliezen, biedt de nieuwe duurzaamheidsindustrie perspectieven.

We moeten nú in actie komen

Als Nederland en Europa niet snel in actie komen om een eigen Zon-PV-industrie op te bouwen, is het te laat. De vraag naar materialen, productiemachines en andere cruciale technologie vanuit China, de VS en andere landen zoals India is enorm. Hetzelfde geldt voor de aanzuigkracht op investeringsprojecten, technische expertise en menskracht. Als we nu niet handelen, zullen we in Europa voor toegang tot deze essentiële technologie achter het net vissen. Ook toeleveranciers moeten met grote volumes kunnen opereren om competitief te zijn; een gezond ecosysteem voor Zon-PV-productie is alleen levensvatbaar (kosten-competitief) als het een multi-GW_p-schaal heeft. Door nu concrete actie te nemen, kan Nederland zich in de kopgroep van de Europese Zon-PV plaatsen, wat op de lange termijn een cruciaal economisch en strategisch voordeel oplevert.

Tabel 2 • Geschatte markt voor zonnecellen, -panelen en -folies, etc. op basis van de huidige groeiscenario's in Tabel 1 en een prijs van € 0.30/W_p. De markt voor complete Zon-PV systeem is nog een factor 3-4 groter.

	Huidig (2021)	Doel 2025-2030	Doel 2030-2050
	3 GW _p /jaar	6 GW _p /jaar	6-10 GW _p /jaar
	€ 1 miljard/jaar.	€ 2 miljard/jaar.	2-3 miljard/jaar.
	26 GW _p /jaar	60-70 GW _p /jaar	250-500 GW _p /jaar
	€ 8 miljard/jaar.	€ 20 miljard/jaar.	€ 75-150 miljard/jaar.

Bron: Ref. 22

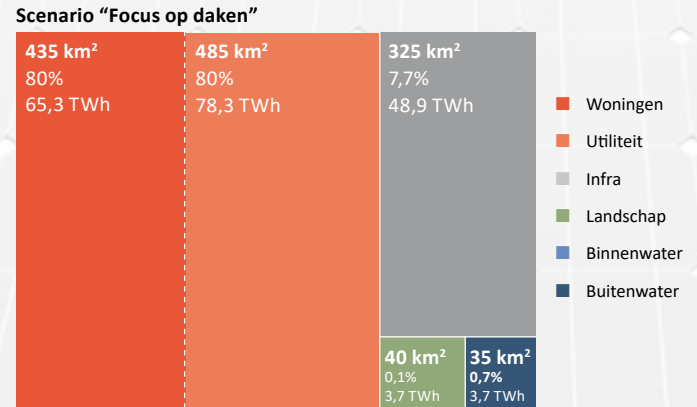
Succesfactoren voor grootschalige implementatie van Zon-PV

De installatie van de voorziene 100-250 GW_p aan Zon-PV capaciteit in het jaar 2050¹⁷ komt overeen met een totaaloppervlak aan zonnepanelen tot wel 1250 km² (35x35km)²⁴ of-ewel 3.0% van ons landoppervlak. Nederland is dichtbevolkt, en de installatie van een dergelijk oppervlak aan Zon-PV vereist een goed doordachte en uitgewerkte strategie waarbij het Zon-PV-oppervlak op een zo natuurlijk mogelijk manier in de bestaande inrichting wordt opgenomen. Een studie van TKI Urban Energy en Generation.Energy²⁵ laat zien dat dit oppervlak voor een groot deel gerealiseerd kan worden door efficiënt gebruik te maken van bestaande daken op gebouwen (Figuur 6).

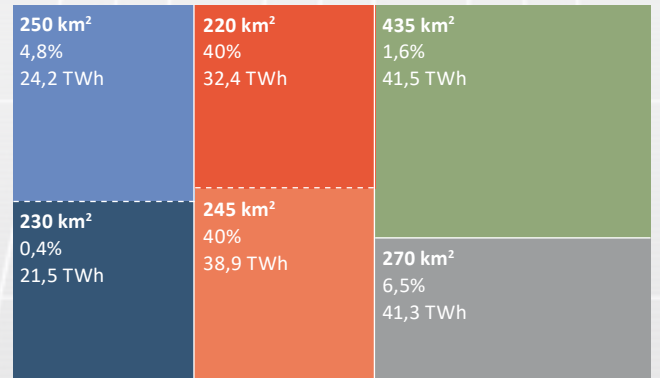
Lichtgewicht en geïntegreerde Zon-PV-technologie. Meer dan de helft van het Nederlandse dakoppervlak is niet geschikt voor de installatie van de standaard zonnepanelen omdat deze qua vorm en formaat niet goed te integreren zijn, of omdat het dak hun gewicht niet kan dragen.²⁶ Ook de verdere (architectonische) integratie van Zon-PV in bouwmaterialen en infrastructuur (wegenbouw, spoor- en waterwegen) vereist Zon-PV-technologie met speciale vorm, kleur en flexibiliteit. Hiervoor zijn de huidige standaardpanelen van silicium niet bruikbaar. Volledig nieuwe typen zonnepanelen en zonnefolies die in dit Groeifondsprogramma worden ontwikkeld kunnen deze markt vraag voor lichtgewicht en geïntegreerde Zon-PV-producten adresseren.

Rendement. Een effectieve strategie om het benodigde oppervlak te verminderen is het verhogen van het rendement van de zonnecellen. De inzet op hoog-rendement HJT-cellen en de succesvolle ontwikkeling van tandem-zonnecellen met een rendement van meer dan 30%, zoals in dit programma wordt voorgesteld, zou het benodigde oppervlak aan Zon-PV met honderden vierkante kilometers verlagen, wat in het dichtbevolkte Nederland een enorm voordeel is (Figuur 7).

Figuur 6 • Ruimtelijk potentieel voor 200 TWh opwekking door Zon-PV per jaar.



Scenario "Brede verdeling": dak, infrastructuur, land, water



km² Ruimtebeslag PV
% Fractie PV bestemming, t.o.v. totaaloppervlak ruimtelijke categorie
TWh Zonnestroom potentieel

Bron: Ref 21

(25-30 jaar) hergebruikt kunnen worden. Op dit moment is dat bij de bestaande standaardtechnologie maar beperkt het geval, wat niet verenigbaar is met het kabinetsdoel om in 2050 een volledig circulaire economie te realiseren. Daarom zet dit Groeifondsprogramma in op *circularity-by-design*, alsmede op minimalisatie of voorkomen van het gebruik van kritische metalen (zilver en indium) en toxische materialen (PFAS, lood).

Energiezuinige productie. De productie van silicium, het basis-materiaal voor de productie van de huidige Zon-PV-technologie, is relatief energie-intensief (NB: de energie-terugverdientijd van een Si is slechts ongeveer een jaar; de levensduur 25-30 jaar). Dit PV-systeem leidt in China door het gebruik van "dirty coal" tot hoge CO₂-emissies van de standaard PV-modules.²⁷ TNO heeft berekend dat deze CO₂-emissies bijna gehalveerd kunnen worden door gebruik te maken van nieuwe technologische fabricage-ontwikkelingen en schonere (Europese) elektriciteit. Door de fabricage van siliciumwafers met energie uit waterkracht te doen (bij Norsun en Norwegian Crystals in Noorwegen) worden de CO₂-emissies nogmaals gehalveerd. De huidige Europese silicium-producenten maken hiervan al gebruik, en zullen deze schonere technologie kunnen opschalen op basis van de grote vraag uit een Europese zonnecel- en module-industrie. De fabricage van perovskiet folies verbruikt nog eens tweemaal minder energie.



Circulariteit. Grootschalige implementatie van Zon-PV vereist materialen voor de fabricage en inbedding van de zonnepanelen. Omdat het voor Nederland om miljoenen kilogram silicium, glas en andere materialen gaat, is dit voor de toekomst een grote uitdaging. Voor een verantwoorde, grootschalige toepassing van Zon-PV is het van groot belang dat de gebruikte materialen aan het eind van de levensduur van de zonnecellen



Figuur 7 • Rendement is essentieel: Grootschalige implementatie van Zon-PV vereist nauwkeurige inzet van de beperkte ruimte in ons land. Iedere procent (absoluut) verhoging van het rendement scheelt ruim 25 km² in het oppervlak dat nodig is om een vermogen van 100 GW_p op te wekken. 25 km² is de oppervlakte van de stad Delft.

Delft

25 km²

Samenvatting probleemstelling en Zon-PV oplossing

De energietransitie

Essentieel voor onze samenleving: nationale klimaatdoelen 2030 & 2050	Essentieel voor onze strategische onafhankelijkheid	Urgentie om doortastend te handelen	Enorme economische kans in de complete waardeketen van Zon-PV	Zon-PV biedt belangrijk deel van de oplossing
---	---	-------------------------------------	---	---

Centrale rol voor Zon-PV

Marktperspectief voor Zon-PV

Vergaande elektrificatie van de maatschappij: transport, industrie, verwarming	Sterke groei van aandeel Zon-PV in de elektriciteitsvoorziening	Nederland en Europa: verdubbeling Zon-PV markt in 2030 ten opzichte van 2021	Mondiaal: groei naar TW-tijdperk voor Zon-PV	Zon-PV markt gedreven door voortgaande technologische innovatie	Zon-PV is een structurerende industrie van de toekomst
--	---	--	--	---	--

Waarom is een eigen Zon-PV maak-industrie waardevol?

- Investeren in eigen industrie = vruchten plukken voor eigen economie
- Strategische, technologische, industriële autonomie, einde aan bijna 100% import
- Controle over circulariteit, CO₂-voetafdruk, ESG-standaard
- Beantwoorden van grote specifieke markt vraag naar geïntegreerde PV-producten voor gebouwen, voertuigen, infrastructuur
- Uitstekende uitgangspositie in Zon-PV: kennisinstututen, brede technologische basis, innovatieve bedrijven, dynamische markt
- Nederland lanceren in de kopgroep van een nieuwe PV-industrie in Europa
- Nederlandse actie verbonden met breder EU perspectief: opbouw van meerdere grootschalige Zon-PV producenten en van een complete Europese aanvoerketen, dankzij versterkt *public policy framework*

Uitdagingen

Concentratie Zon-PV industrie in China/Azië: Nederland en Europa volledig import-afhankelijk

Strategisch en geopolitiek risico: geen controle over aanvoerketen en over behalen nationale klimaatdoelen	Negatieve handelsbalans: tientallen miljarden euro's aan economisch verliesvermogen gaan aan ons voorbij	Slechte CO ₂ -voetafdruk in fabricage en transport, ESG standard, dwangarbeid
--	--	--

Meervoudig marktfalen: geen *level playing field* voor Europese Zon-PV industrie op eigen thuismarkt, publieke bijdrage is nodig

- Dankzij 15 jaar Chinese overheidsbeleid van ruimhartige subsidiëring hebben Chinese PV-producenten wereldwijd markten naar zich toe kunnen trekken: ook vandaag geeft hen dit nog een kostenvoordeel van 10-15%
- Sinds 2 jaar volgen andere landen het Chinese staatssteun-voorbeeld om een eigen nationale PV industrie te gaan opbouwen: VS, India, Turkije, Australië, ...
- CO₂- en ESG-voordelen van Europese PV producenten worden niet vertaald in competitief kostenvoordeel, door ontbreken regelgeving op EU thuismarkt
- Met nieuwe innovaties kan de Europese Zon-PV-industrie de markt betreden, zonder de Aziatische/Chinese producenten direct op hun eigen standaard PERC/TOPCON producten te beconcurreren
- Snel doorgroeien naar multi-GW_p-schaal is nodig om kosten-concurrerend te worden: de hoge kapitaalsinvesteringen daarvoor vragen om publieke financiële steun teneinde private investeringen te ontgrendelen
- Zonder initiële overheidssteun is er geen gelijk speelveld in Nederland / Europa

Succesfactoren voor grootschalige implementatie Zon-PV in Nederland: technologie & product innovaties

- Maatschappelijk draagvlak vereist reductie van ruimtebeslag PV installaties, door ontwikkeling van hoog-rendement cellen en geïntegreerde PV-producten voor industrie, bouw, mobiliteit en landbouw
- Betaalbare geïntegreerde PV-producten bestaan nog nauwelijks en zijn een innovatiekans: licht gewicht, flexibel, variabele (3D-) geometrie
- Noodzaak en innovatiekansen om materiaalgebruik in PV circulair te maken: vermijden groot afvalvolume van *end-of-life* zonnepanelen
- Noodzaak en innovatiekansen om afhankelijkheid van kritieke materialen en van CO₂-intensieve fabricagetechnologie te verminderen
- Synergie in het Nederlandse PV ecosysteem door het leveren van 'lokaal' geproduceerde hoog-rendement HJT-cellen aan 'lokale' module fabrikanten

Oplossing

Met een initiële investering vanuit het Nationaal Groeifonds ontstaat een sterke, innovatieve en competitieve Zon-PV-industrie op multi-GW_p-schaal, waarmee Nederland in de frontlinie van de wereldwijde Zon-PV-technologie komt en die helpt

om ons land robuust en onafhankelijk te maken in onze energievoorziening van de toekomst. De ontwikkelde producten vinden hun weg naar de wereldwijde sterk groeiende Zon-PV-markt en leveren op termijn een zeer groot economisch voordeel op.

2.2 Doelstelling

Het Groeifondsprogramma Zon-PV biedt de oplossingen om bovenstaande uitdagingen aan te pakken: een innovatieprogramma voor het versneld opstarten van een robuuste en diverse Zon-PV-maakindustrie in Nederland, voor de Nederlandse exportmarkten. Het voorstel is gebaseerd op een strategische keuze voor drie innovatieve technologieën waarin Nederland kan excelleren dankzij de bestaande kennisbasis, en die directe competitie met de standaardmodules uit Azië/China vermijden.



Programmalijn 1 We ontwikkelen een nieuw type hoogrendementszonnecellen op basis van silicium 'heterojunctie'-technologie (HJT) met een hoger omzettingsrendement

dan concurrerende technologieën waaronder de standaard PERC-cel. We voeren een innovatieprogramma uit om deze technologie snel rijp te maken voor grootschalige productie en hem vervolgens door te ontwikkelen om een koplopperspositie te behouden. Op basis van deze innovaties bouwen we een silicium-HJT-celfabriek in Nederland en starten grootschalige productie (3 GW_p/jaar) voor de Nederlandse en internationale markt.



Programmalijn 2 We ontwikkelen op basis van het veelbelovende materiaal perovskiet een nieuwe flexibele lichtgewicht Zon-PV-technologie met hoog rendement, dat met

zeer kleine CO₂-voetafdruk en laag materiaalverbruik kan worden gemaakt. We voeren een innovatieprogramma uit op een pilot-productielijn voor perovskietfolies en bouwen met industriële partijen een productiefaciliteit van 1 GW_p/jaar. De nieuwe folies vinden vervolgens toepassing in een groot aantal gebieden waar conventionele vlakke-plaat zonnepanelen op basis van silicium (door onbuigzaamheid, vorm en gewicht) niet geplaatst kunnen worden. Daarmee breiden we het toepassingspotentieel van Zon-PV sterk uit, wat belangrijk is gegeven de schaarse ruimte in ons land.

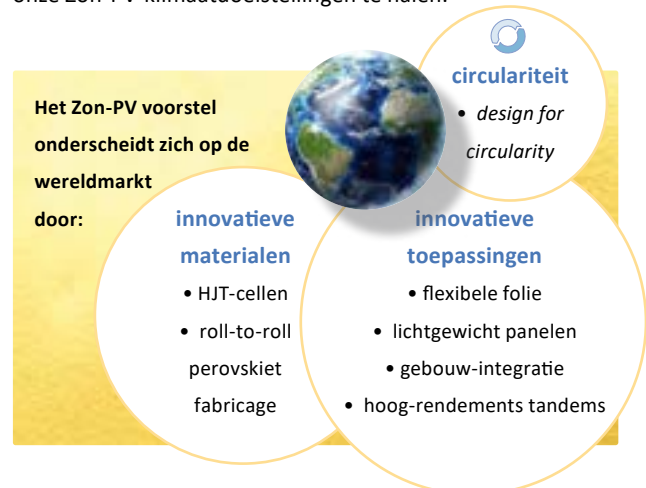


Programmalijn 3 We ontwikkelen innovatieve manieren om Zon-PV te integreren in onze gebouwde omgeving, voertuigen en infrastructuur. Dit wordt gedaan bij Neder-

landse bedrijven die gespecialiseerd zijn in de productie van Zon-PV-modules voor niet-standaardtoepassingen, en die deze producten vervolgens op de markt brengen. De geïntegreerde Zon-PV-producten maken gebruik van de twee zonneceltypen uit Programmalijnen 1 en 2 en beogen ook op te schalen naar multi-GW_p/jaar-niveau. Daarbij ontwikkelen we tevens een "tandemzonnecel" met omzettingsrendement van 35%, ruim boven het huidige record voor enkelvoudige

silicium- of perovskietcellen (25-27%). Hiermee ontstaat een volledig nieuwe Zon-PV-technologie die met minder oppervlak meer energie kan opwekken, wat een groot economisch voordeel oplevert. We bouwen een R&D-pilot-faciliteit voor de assemblage van tandemmodules en verkennen de commercialisatie ervan samen met onze industriële partners.

De drie Zon-PV-technologieën zijn sterk met elkaar verbonden en zijn gericht op marktpositioneringen die groot economisch en maatschappelijk verdienvermogen creëren. Samen maken ze het mogelijk grootschalige Zon-PV op een natuurlijke manier in onze maatschappij te integreren en zo onze Zon-PV-klimaatdoelstellingen te halen.



Nederland heeft een uitstekende positie om deze plannen waar te maken. Ons land heeft een unieke kennispositie op het gebied van Zon-PV: TNO, TUE en TUD presenteren met regelmaat wereldrecords in Zon-PV-technologie. Nederland kent diverse wereldwijd toonaangevende bedrijven die apparatuur ontwikkelen voor de Zon-PV-industrie, en die Zon-PV-modules, zonnepanelen en geïntegreerde Zon-PV-producten ontwikkelen en/of produceren. Nederland en Europa hebben daarbij een sterke positie in de nieuwe HJT-siliciumceltechnologie en in de perovskiet- en tandemcellen met hoog rendement van de toekomst. Daarbij hebben we met de Nederlandse Zon-PV-bedrijven veel ervaring met nieuwe concepten voor integratie van Zon-PV in gebouwen en voertuigen. Ook zijn we sterk in design-for-circularity om zo te voldoen aan strengere eisen voor de milieuprestatie van nieuwe gebouwen (MPG) en toekomstige EU-regelgeving, en in de nieuwste productieprocessen met lage CO₂-uitstoot. Met deze duurzame en circulaire innovaties versterken we onze positie verder en worden we minder afhankelijk van (kritieke) grondstoffen in mondiale waardeketens.

Elk van de nieuw ontwikkelde Zon-PV-producten vindt een competitieve positionering in bepaalde marktsegmenten, bijvoorbeeld dankzij goede prestaties (hoog energieproductieniveau, lage levelized cost of electricity), een goede prijs/

Wat is na afloop bereikt?

☀️ Nederland is een internationale koploper in de ontwikkeling van een gevarieerd portfolio van innovatieve en onderscheidende Zon-PV-producten, gekenmerkt door een hoog rendement, *circularity-by-design*, en een lage CO₂- en materialenvoetafdruk en competitieve kosten.

☀️ Nederland produceert deze innovatieve Zon-PV-producten op grote schaal voor de eigen nationale markt en als exportproduct, en genereert daarmee een grote inkomstenstroom.

☀️ Nederland kan aan zijn klimaatdoelstellingen voldoen, bevrijd van overmatige afhankelijkheid van buitenlandse leveranciers.

☀️ Nederland heeft een sterk Zon-PV-ecosysteem dat fungeert als motor voor nieuwe innovaties in de toekomst, ook na 2031, voor een verder groeiend verdienvermogen.

“The ESMC is highly supportive to this proposal as an exemplary project in the EU to mobilize the structural support measure for the benefit of the European PV industry and economics.” Support letter European Solar Manufacturing Council

prestatie verhouding (€/W_p) of specifieke toepassingsgebieden. Zo openen we nieuwe markten van zeer grote omvang, in eerste instantie op de Nederlandse Zon-PV-markt en vervolgens daarbuiten. De economische opbrengst van de geïndustrialiseerde technologieën is potentieel zeer groot (zie Hoofdstuk 5) en zal via het nieuw gecreëerde nationale ecosysteem van Zon-PV-kennis en -technologie de motor vormen voor toekomstige innovaties en producten op het gebied van Zon-PV. Los van de bestaande Europese Zon-PV-producenten Meyer Burger (Duitsland) en Enel Green Power (Italië) ligt er, voor zover wij weten, in geen ander Europees land op dit moment een completer, krachtiger en meer voldragen voorstel voor Zon-PV-maakindustrie dan dit Groeifondsprogramma. Tegelijkertijd biedt dit voorstel de kans aansluiting te zoeken met Europese initiatieven en de Europese samenwerking te versterken.

2.3 Legitimiteit

Zoals in Hoofdstuk 2.1 beschreven is het van groot belang om in Europa een eigen Zon-PV-industrie op te zetten, zodat Europese landen beter in hun eigen duurzame energie kunnen voorzien en van de grote te behalen inkomsten kunnen profiteren. Tot dusverre kwam deze industrie echter niet van de grond. De oorzaak hiervan is een meervoudig marktfalen dat investeerders afschrikt:

1. Verstoring van vrije, eerlijke concurrentie door jarenlange staatssteun. Overheidssubsidies (kapitaal, land, investeringen, leningen) en operationele uitgaven (elektriciteit, water) worden niet volledig in de prijs van Chinese Zon-PV-producten doorberekend. Dit leidt tot een 10-15% kostenvoordeel voor modules van Chinese Zon-PV-producenten.¹⁸ Soortgelijke vormen van staatssteun zijn onlangs geïntroduceerd in de VS (*Inflation Reduction Act*,²⁸ ca. 20% subsidie op de productiekosten van Zon-PV-modules) en India (Produc-

tion Linked Incentive Scheme). Landen als Turkije, Australië, Zuid-Afrika en de Arabische Golfstaten maken zich op om deze voorbeelden te volgen.

2. Slechte milieuvoetafdruk wordt in Europa niet doorberekend. Geïmporteerde Zon-PV-modules uit China hebben een hoge CO₂-voetafdruk onder meer door fabricage met “dirty coal”. Vertaald naar *Europese carbon credit pricing* zou dit eigenlijk € 0,023/W_p extra moeten kosten wat overeenkomt met zo’n 10% van de prijs van een PV module.¹⁸

3. Environmental, Social and Governance (ESG)-profiel wordt in Europa niet doorberekend. Geïmporteerde Zon-PV-modules hebben een slecht ESG-profiel²⁹ door onder meer dwangarbeid van Oeigoeren in de productie van silicium voor Zon-PV-producten.^{30,31} De Verenigde Staten hebben import van dergelijke producten verboden; in Europa wordt dit binnenkort ook verboden. Recent lanceerde Solar Power Europe het Solar Stewardship Initiative, dat een hoge standaard stelt voor ESG-scores in de Europese Zon-PV-industrie.

Nederland en de Europese Unie kennen op dit moment geen beleidsinstrumenten om dit marktfalen te corrigeren, en de eigen Zon-PV-maakindustrie bevindt zich dus in een zeer moeilijke concurrentiepositie. Door de nieuwe Amerikaanse *Inflation Reduction Act* (IRA wetgeving) dreigt een uittocht van industriële projecten, investeringen en talent naar de VS. Zo hebben de Europese Zon-PV-producenten Meyer Burger, Enel Green Power en REC reeds aangekondigd hun nieuwe investeringen in cel- en modulefabrieken uit Europa naar de VS te verplaatsen.

Om investeringen in Europese Zon-PV-bedrijven aantrekkelijk te maken, is het noodzakelijk ook in Nederland/Europa toegang te krijgen tot ruimere publieke financiële steun. Met de steun van het Nationaal Groeifonds dient zich een unieke kans aan: door de timing en de omvang is het een perfect toegesneden instrument om het marktfalen te corrigeren en

de Nederlandse Zon-PV-maakindustrie over het 'dode investeringspunt' heen te helpen.

Een vierde vorm van marktfalen betreft een gebrek aan *market-pull* voor geïntegreerde Zon-PV producten:

4. Vanwege de druk op de beschikbare open ruimte heeft de Nederlandse Zon-PV-markt als specifiek kenmerk een belangrijke en groeiende vraag naar geïntegreerde Zon-PV-producten: op maat gemaakte en bij voorkeur licht-gewicht Zon-PV-modules die zijn geïntegreerd in de gebouwde omgeving, infrastructuur, voertuigen, etc. Er is in Nederland/Europa echter geen sterke industrie die hierin voorziet, noch in Azië.

Een eenmalige subsidie vanuit het Nationale Groeifonds is ook voor de ontwikkeling van geïntegreerde Zon-PV technologie, die de uitrol van grootschalige Zon-PV in Nederland aanzienlijk zal versnellen, een passend en effectief instrument om een competitieve Zon-PV-maakindustrie in Nederland te initiëren.

2.4 Subsidiariteit

Zonne-energie speelt een sleutelrol in de energietransitie, een problematiek die van het laagste (lokale) tot het hoogste (mondiale) beleidsniveau de aandacht mobiliseert. Dit Groeifondsvoorstel dient de nationale behoefte aan grootschalig toepasbare Zon-PV ten behoeve van de klimaatdoelen, aan strategische autonomie, aan verduurzaming en circulariteit van materiaalgebruik, en aan het opbouwen van toekomstig verdienvermogen voor Nederland. Deze doelstellingen bevinden zich qua aard en reikwijdte op het terrein van de nationale overheid. Hetzelfde geldt voor de benodigde investeringen: deze zijn strategisch van aard met een lange tijdshorizon, betreffen nationale innovatie- en industriepolitiek, en ontstijgen de slagkracht van financiering op regionaal niveau – dat overigens wel een complementaire rol kan spelen. Een groot deel van de baten van dit voorstel, buiten de 'gewone' *return on investment* op de op te bouwen industriële activiteiten, komt ten goede aan de maatschappij in zijn geheel. Ook daarom is een publieke bijdrage op het niveau van de Rijksoverheid passend.

Ook uit oogpunt van uitvoering van het voorgestelde programma is een nationale benadering essentieel. De partijen in het Zon-PV-ecosysteem moeten op nationale schaal samenwerken om oplossingen te ontwikkelen en de internationale positie te versterken. Nationale samenwerking tussen bedrijven, kennisinstellingen, en overheden is essentieel om de complexe zonne-energietransitie goed te doorlopen. Op Europees niveau geldt tenslotte dat de Europese Unie (nog) geen specifiek op Zon-PV gericht beleidsinstrument operati-

oneel heeft gemaakt. Recente ontwikkelingen geven aan dat de Europese Commissie wellicht tot een actievere industriële Zon-PV-politiek zal overgaan.

2.5 Doeltreffendheid

Het overkoepelende doel van dit Groeifondsprogramma is om een grote meetbare invloed te hebben op de implementatie van het Klimaatakkoord voor de energietransitie, om de strategische afhankelijkheid in onze energiemix van andere landen te verminderen, de circulariteit in Zon-PV-technologie aanzienlijk te verbeteren, en een structurerende nationale Zon-PV maakindustrie in de Europese kopgroep te lanceren.

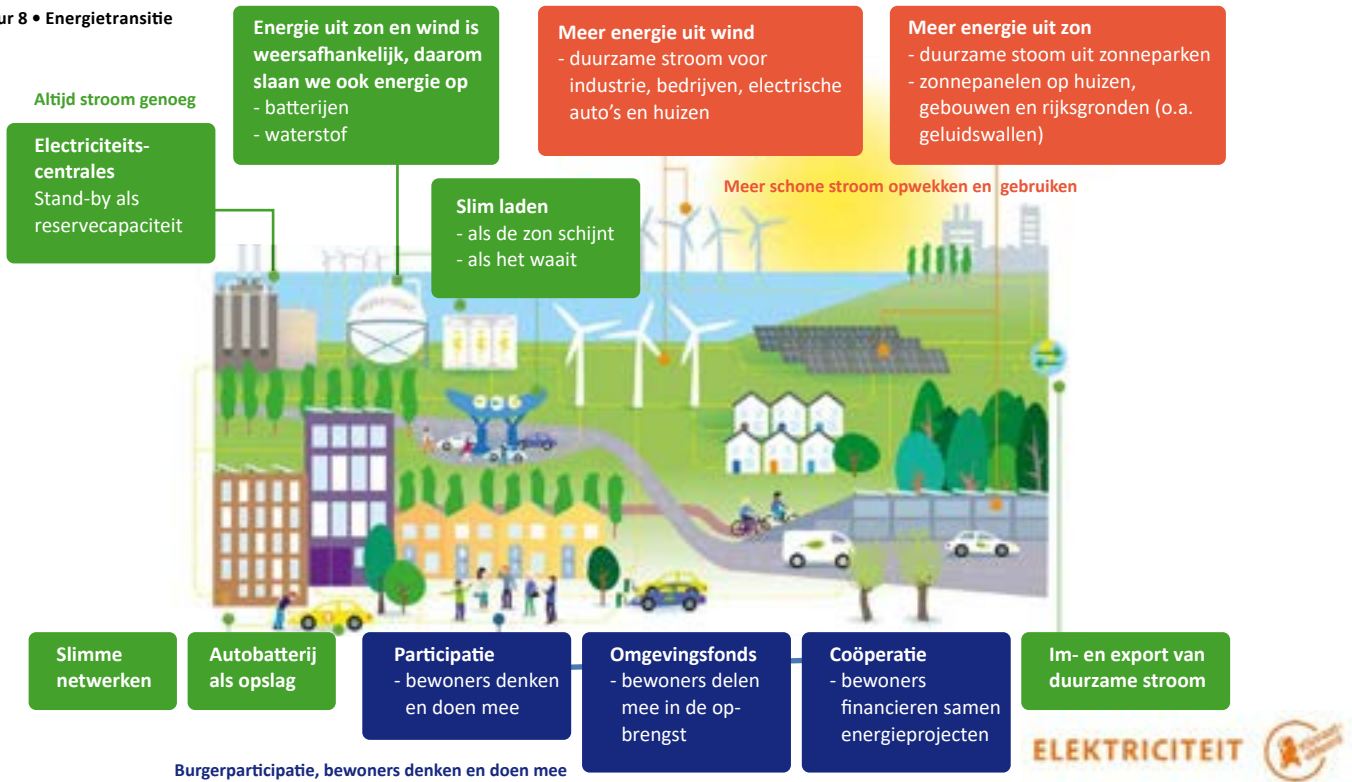
De voorgestelde eenmalige Groeifonds investering leidt tot faciliteiten voor de grootschalige fabricage van Zon-PV in Nederland, gebaseerd op een gevarieerd portfolio van cel- en module technologieën die dankzij het Groeifondsprogramma ontwikkeld zijn en vervolgens tegen competitieve kosten zijn geïndustrialiseerd. Elk van deze technologieën bedient zijn eigen marktsegment, in Nederland en ook internationaal, waaronder de voor Nederland specifieke, onderscheidende en zeer belangrijke toepassingen van geïntegreerde hoogrendements Zon-PV-producten in gebouwen, voertuigen en infrastructuur, en dat tegen lage kosten. Deze producten worden bovendien op basis van circulariteitsprincipes ontworpen en gefabriceerd.

De totale productiecapaciteit die dankzij de Groeifonds-impuls in Nederland tot stand wordt gebracht, groeit tot ruim 13 GW_p/jaar in 2031 (cellen: 9.0 GW_p/jaar; modules: 4.4 GW_p/jaar; de cellen worden deels in de modules gebruikt). Deze basis zal vervolgens worden uitgebouwd tot zo'n 29 GW_p/jaar in Nederland en Europa in 2041. Met zo'n productiecapaciteit kan Nederland in hoge mate voorzien in de eigen vraag naar Zon-PV-technologie (totaal 250 GW_p in 2050, zie Hoofdstuk 2.1). Daarnaast kan Nederland een wereldwijde afzetmarkt opbouwen, door export van in Nederland geproduceerde Zon-PV-producten en fabricagetechnologie.

2.6 Doelmatigheid

De eenmalige Groeifondsinvestering in het Zon-PV-programma creëert een blijvende oplossing in de vorm van een Nederlands Zon-PV-ecosysteem, dat leidend is binnen Europa, met een groot potentieel voor verdere uitbouw en nieuwe innovatiecycli. Met een investering van 311,4 miljoen euro door de overheid, naast private en publieke bijdragen van 586,2 miljoen euro, bouwen we de technologie en het industriële apparaat die nodig zijn voor onze duurzame energie-

Figuur 8 • Energietransitie



voorziening in de komende decennia. Het programma vormt de groeikern voor uitvoering van een groot deel van de in het Klimaatakkoord vastgelegde energietransitie waarin Zon-PV een grote rol speelt (zie Figuur 8). De economische impact van de gevraagde Groeifondsinvesterings is vele malen groter dan de investeringen (zie Hoofdstuk 5). Het bereiken van strategische onafhankelijkheid, deels door dit programma, is moeilijk in geld uit te drukken, daar het bijna alle aspecten van onze maatschappij raakt.

Het programma kent drie Programmalijnen die sterk met elkaar verweven zijn, wat synergie-effecten oplevert in de ontwikkel- en industrialisatiefasen. Het is essentieel dat deze onderling gecoördineerd worden uitgevoerd. Ook het bereiken van de circulariteitsdoelen is het meest doelmatig als deze op een geïntegreerde manier met de ontwikkeling van de Zon-PV-technologie worden aangepakt, zoals in dit Groeifondsprogramma wordt beschreven.

Met het programma wordt een vliegwiel gecreëerd om maximaal resultaat te bereiken: het van de grond krijgen van een competitieve en duurzame Nederlandse Zon-PV-industrie voor de volgende generatie Zon-PV-producten die zijn toegesneden op de Nederlandse marktbehoeften (effectief gebruik van schaarse ruimte), normen/waarden (circulair, laag materiaalverbruik en lage CO₂-voetafdruk, PFAS vrij, geproduceerd zonder dwangarbeid) en veranderde geopolitieke verhoudingen (energie-autonomie).

2.7 Flankerend beleid

Het voorstel geeft invulling aan de in het Klimaatakkoord vastgelegde doelstellingen, in het kader van de energietransitie, voor de grootschalige implementatie van duurzame Zon-PV-technologie in ons land (Figuur 8). In 2019 is de Voorkeursvolg-orde Zon opgesteld, die de noodzaak benadrukt om Zon-PV maximaal te integreren in gebouwen en om maatschappelijk draagvlak te vergroten door esthetisch aantrekkelijke zonnepanelen, waar dit Groeifondsvoorstel sterk op inzet. Ook de komende verplichting (normering) om bij utiliteitsbouw groter dan 250 m² zon-op-dak toe te passen, vereist precies de hoog-efficiënte, geïntegreerde Zon-PV-producten die in dit programma worden ontwikkeld.

Het programma geeft direct invulling aan de innovatievragen van het Meerjarig Missiegedreven Innovatieprogramma “Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land” (MMIP 2)³² met betrekking tot het maatschappelijk en ecologisch inpassen van Zon-PV, integratie in infrastructuur en bouwwerken, creëren van strategische onafhankelijkheid, beperken van het gebruik van strategische en kritische materialen en verbeteren van circulariteit. Het geeft ook invulling aan de Kennis- en Innovatieagenda Circulaire Economie. Het speelt daarnaast in op de aankomende Europese Ecodesign-richtlijn voor zonnepanelen en omvormers, die eisen stelt aan de duurzaamheid en een maximum stelt aan de CO₂-voetafdruk bij de productie. Het inzamelen en recyclen van zonnestroominstallaties is door de

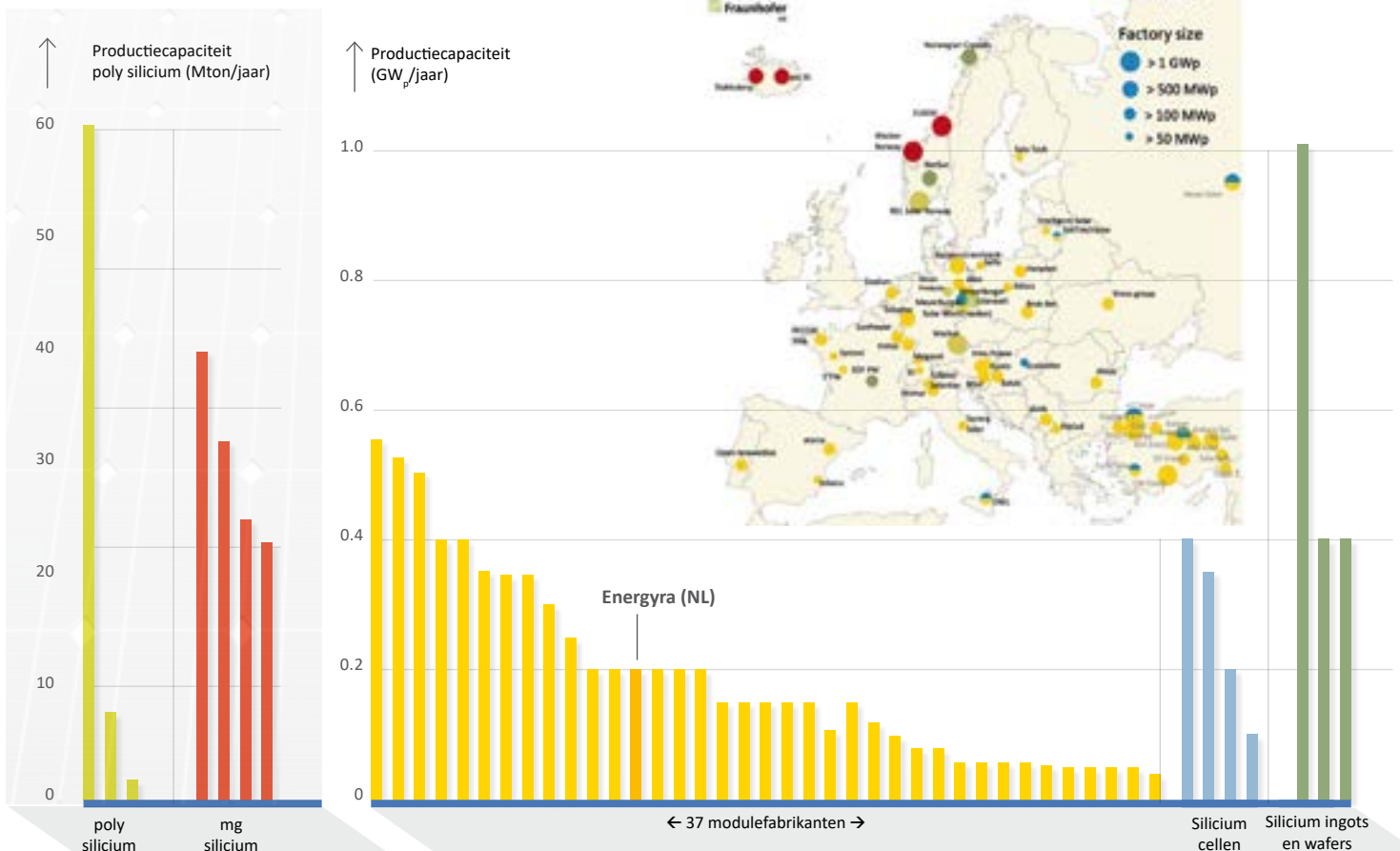
overheid belegd bij de Stichting OPEN.³³ In het aankomende Internationaal Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen convenant hernieuwbare energie³⁴ worden met de Zon-PV-sector afspraken gemaakt over circulariteit inclusief mogelijk gebruik van de Grondstoffen-scanner. Daarbij worden circulaire productpaspoorten ontwikkeld, in lijn met de richtlijn-in-wording van Ecodesign, waar de traceerbaarheid van materialen onderdeel van uitmaakt.

In de onlangs gepubliceerde Nationale Grondstoffenstrategie beschrijft het kabinet de mondiale wedloop om technologisch koploper te worden en een strategische positie te verwerven in de wereldwijde energietransitie. Hiertoe gaat de overheid circulariteitseisen stellen bij haar eigen aanbestedingen van windmolenparken en zonneparken. Voor de grootschalige implementatie van Zon-PV werkt de nationale inkoopgroep duurzame zonnepanelen³⁵ aan een marktvisie, inkoopstrategie en circulaire leidraad om organisaties te helpen met het inkopen van circulaire zonnepanelen. Daarnaast verkent de Europese Commissie de oprichting van een Europese inkoopgroep circulaire Zon-PV-systemen; Nederland is gevraagd om deze mede vorm te geven. Tot slot noemen we dat het opzetten van een sterk nationaal Zon-PV ecosysteem goed aansluit bij het overheidsbeleid dat stelt dat sterke ecosystemen effectief bijdragen aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen om onze welvaart te verhogen.³⁶

2.8 Internationale context

Figuur 9 geeft een overzicht van de jaarlijkse productie van Zon-PV-technologie door bijna 40 Europese kleine modulefabrikanten met productiecapaciteiten tot 500 MW_p/jaar, en samen goed voor zo'n 8 GW_p/jaar,³⁷ grotendeels op basis van zonnecellen uit Azië. De productie van siliciumzonnecellen gebeurt in Europa alleen bij Enel Green Power (Italië) en Meyer Burger (Duitsland), samen goed voor minder dan 1 GW_p/jaar, terwijl er wereldwijd in 2022 een productiecapaciteit van meer dan 260 GW_p/jaar is geïnstalleerd. Turkije kent één grote gemengde cel/module-fabrikant: Kalyon Solar (2,2 GW_p/jaar), die met staatssteun tot stand is gebracht. Nederlandse modulefabrikanten zijn Solarge (0,4 GW_p/jaar vanaf mei 2023), Energyra (0,2 GW_p/jaar), Exasun (0,04 GW_p/jaar) en HyET Solar (0,04 GW_p/jaar vanaf 2023). Samengevat blijft de huidige Zon-PV-productiecapaciteit in Europa ver onder de doelstellingen van de Europese Commissie, namelijk 20 GW_p/jaar in 2025, en 60-80 GW_p/jaar in 2030. Er is dus grote behoefte aan nieuwe initiatieven zoals dit Zon-PV Groeifondsprogramma. De industrie voor Zon-PV-innovaties zoals flexibele zonnefolies, geïntegreerde Zon-PV-producten en tandemcellen met hoog rendement bevindt zich wereldwijd nog in de beginfase. Voor perovskietzonnecellen heeft Europa een sterke kennispositie met startups zoals OxfordPV (Duitsland, niet-buigzame tandemcellen) en Saule (Polen,

Figuur 9 • Zon-PV-productie in Europa. Waardeketen van silicium tot zonnepaneel



perovskietfolies); regelmatig worden nieuwe initiatieven aangekondigd. Nederland heeft een unieke positie met de roll-to-roll fabricagetechnologie die bij TNO-Solliance met VDL ETG is ontwikkeld om deze op flexibele perovskietfolies toe te passen. In Nederland produceert HyET Solar op kleine schaal dunne-film siliciumzonnepanelen (0,04 GW_p/jaar in 2023).

Meerdere kleine Zon-PV-bedrijven in Nederland en Europa ontwikkelen innovatieve Zon-PV-oplossingen voor toepassing in bijvoorbeeld gebouwen of infrastructuur. De Nederlandse bedrijven Solarge, Exasun en Energyra zijn hierin sterk gepositioneerd. De potentiële markt voor deze producten is enorm (tientallen en op termijn honderden GW_p/jaar in Europa) maar wordt op dit moment nauwelijks bediend.

Tot slot noemen we de waardeketen die nodig is om tot een volledig Zon-PV-product te komen. In Europa hebben Wacker (Duitsland) en Norsun en Norwegian Crystals (Noorwegen) fabrieken voor respectievelijk de productie van zuiver *solar grade* silicium en van silicium kristallen en wafers die de basis vormen voor de cellen; de huidige productiecapaciteit van silicium is equivalent aan zo'n 20 GW_p/jaar, die van wafers is rond de 1 GW_p/jaar en zal sterk kunnen groeien naarmate de Europese Zon-PV-industrie groeit. Een gedetailleerde analyse van de Europese markt en de kansen voor Nederland is beschreven in Appendix B.

Europese samenwerking

De Europese Zon-PV-gemeenschap is van oudsher zeer sterk georganiseerd, bijvoorbeeld via Europese R&D-programma's. TNO (inclusief het voormalige ECN) speelt al jaren een coördinerende rol binnen deze programma's. Sinds 1984 brengt de jaarlijkse European Solar Photovoltaics Conference (EU-PVSEC) duizenden onderzoekers, industriële partijen en beleidsmakers bij elkaar. Dit leidde tot de ontwikkeling van de gezamenlijke strategische onderzoeksagenda van het European Technology and Innovation Platform for Photovoltaics. Ook zijn er sterke verbindingen met beleidsmakers van de EU en de nationale overheden. Nederlandse experts spelen, al vanaf de jaren '80, een grote rol in deze netwerken.

Nederlandse Zon-PV-onderzoekers werken daarnaast al decennialang samen met de gerenommeerde technologie-instituten in de ons omringende landen zoals het Fraunhofer-Instituut (Freiburg), het Helmholtz-Zentrum (Berlijn), CEA-INES (Chambery), IMEC/Energy Ville (Leuven en Genk) en met vele universitaire groepen in Europa (bijvoorbeeld EPFL, Zwitserland) en daarbuiten (bijvoorbeeld UNSW en ANU in Australië; NREL en ASU in de VS). Regionaal is er binnen het Solliance-consortium een sterke samenwerking op gebied van dunne-film- en tandemzonnecellen (TNO, IMEC, TUE, TUD, RUG, UT, Universiteit Hasselt, FZ Jülich).

Via onderzoeksprogramma's van Horizon Europe wordt ook veel samengewerkt. Nederland is daarnaast zeer sterk in het verwerven van prestigieuze onderzoeksubsidies van de European Research Council (ERC) op Zon-PV-gebied.

Machinebouw voor de Zon-PV-sector

Een belangrijk element van de Zon-PV-waardeketen zijn de machinebouwers. In de ons omringende landen heeft Duitsland hierin traditioneel een belangrijke positie met bedrijven als Singulus, Rena, Schmid, Von Ardenne, Team Technik en anderen. Het Duits/Zwitserse Meyer Burger heeft zich in 2020 getransformeerd van machinebouwer tot cel- en modulefabrikant op het gebied van HJT-technologie. Het Spaanse Mondragon ontwikkelt machines voor de fabricage van zonnepanelen (onder meer voor de lichtgewicht zonnepanelen van Solarge). Voor de Nederlandse machinebouwers, die hun werkterrein de afgelopen jaren deels naar de halfgeleiderindustrie hebben verlegd, ontstaan met dit Groeifondsprogramma unieke nieuwe kansen. Met hun kennis van geavanceerde technologie voor de depositie van dunne lagen (PECVD, LPCVD, ALD) kunnen Nederlandse bedrijven zoals Levitech, SALD, ASM, Tempress, Demcon en VDL ETG toeleveranciers worden van nieuwe productieapparatuur voor HJT-cellen, perovskietfolies, tandemcellen en modules.

Europees beleid

De Europese Commissie presenteerde eind 2022 de *EU Solar Energy Strategy* met vier vlaggenschipinitiatieven: het *EU Solar Rooftops Initiative*, de *European Solar Photovoltaics Industry Alliance* (ESIA), een pakket om vergunningsverlening te versnellen en het *EU Large-Scale Skills Partnership*. De ESIA stelt zich tot doel in 2025 een productiecapaciteit van 30 GW_p/jaar te realiseren en meer dan 100.000 banen te creëren in de Zon-PV-maakindustrie. Ook *Solar Power Europe* (de branchevereniging van de Europese zonne-energiesector), het *Solar Manufacturing Accelerator*-platform en de *European Solar Manufacturing Council* (ESMC) stellen zich tot doel om grootschalige Zon-PV-industrie in Europa op te zetten. Zij beogen in 2030 minimaal 100 GW_p/jaar Zon-PV-productie in de EU (over de gehele waardeketen) te realiseren. Daartoe wordt gewerkt aan het opzetten van een *Europees Important Project of Common European Interest* (IPCEI) op het gebied van Zon-PV, wat al door diverse landen wordt gesteund; Nederland zal hierover nog besluiten. Deelnemers in dit Groeifondsvoorstel MCPV, Solarge en TNO spelen al geruime tijd een zeer actieve rol binnen dit IPCEI.

Met name door de nieuwe *Inflation Reduction Act* (IRA wetgeving) in de VS is de situatie voor industriële investeringen in Europa kritiek en urgent geworden: door een ongekend pakket steunmaatregelen is lokale productie in de VS nu zo aantrekkelijk geworden dat een grootschalige verplaatsing van Europese industrieën naar de VS dreigt. Specifiek in de PV-sector bijvoorbeeld is recent al de verplaatsing van een geplande modulefabriek (REC) van Frankrijk naar de VS gemeld, terwijl ook

Meyer Burger (Duitsland) en Enel Green Power (Italië) nieuwe fabrieken in de VS hebben aangekondigd, al dan niet in plaats van uitbreiding van hun bestaande fabrieken in Europa. Ook India heeft sinds 2 jaar omvangrijke financiële steunmaatregelen voor de eigen Zon-PV-industrie ingesteld. Europese beleidsmakers erkennen de gevaren van deze trend en de hoop is dat dit op zeer korte termijn zal leiden tot nieuwe EU-beleidsinitiatieven die voor Europa een gelijk speelveld creëren. Nederland staat met dit Groeifondsvoorstel vooraan in deze ontwikkeling.

2.9 Strategische risico's

De innovatieve technologieën waar dit Groeifondsprogramma op inzet, zijn zorgvuldig geselecteerd zodat ze op een kansrijke manier de markt van Zon-PV kunnen betreden, zonder te proberen de dominante Aziatische producenten van standaardmodules van het type PERC op hun eigen terrein te verslaan. Daarmee is voor elk van de Programmalijnen het marktrisico sterk gereduceerd en wordt een goede positionering voor toekomstige verdienvermogen gecreëerd. Het technologierisico verschilt voor de verschillende Programmalijnen en is afhankelijk van de staat van ontwikkeling in van het programma. Appendix B geeft een gedetailleerd overzicht van de strategische risico's voor de drie Programmalijnen.

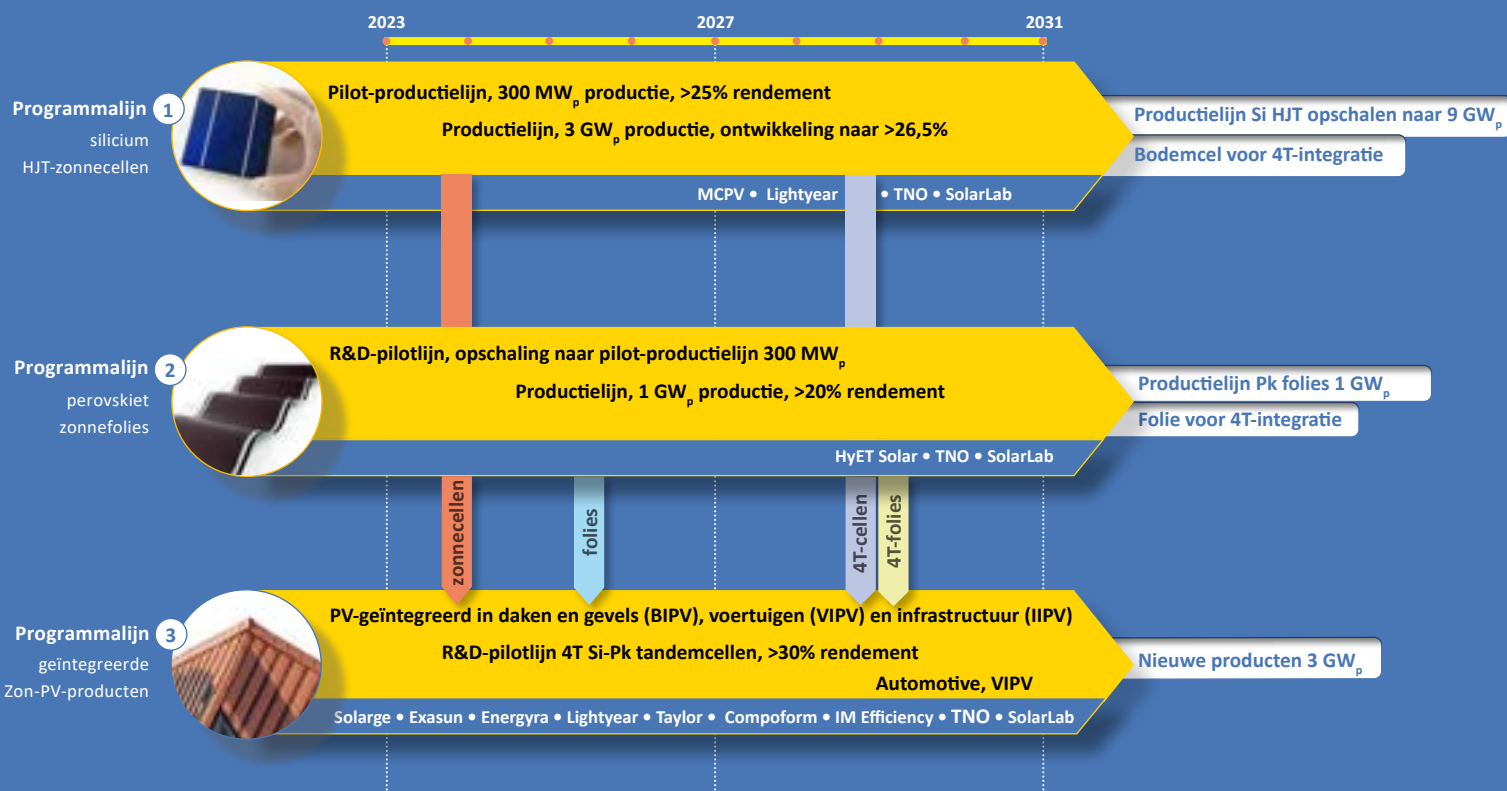
Voor Programmalijn 1 is het technologierisico relatief laag omdat de HJT-celtechnologie is gevalideerd tot het niveau van industriële pilot-productielijnen en van elektriciteitsproductie van de eerste installaties. Omdat de Europese Zon-PV-markt sterk zal groeien, wordt het marktrisico laag ingeschat. De perovskietfolietechnologie in Programmalijn 2 kent een sterke ontwikkelingscomponent wat een technologierisico impliceert. Omdat zonnepanelen andere marktsegmenten aanspreken dan klassieke Zon-PV-modules schatten we het marktrisico in als laag. De ontwikkeling van geïntegreerde Zon-PV-producten in Programmalijn 3 kent een sterk competitief voordeel omdat het direct specifiek toepasbaar is op de Nederlandse markt. Gezien de competenties van de partners wordt het technologierisico als laag beoordeeld. Voor de tandemtechnologie in Programmalijn 3 is het technologierisico hoger omdat deze zich nog in een vroeg ontwikkelingsstadium bevindt. Een extern risico voor het programma is de aantrekkingskracht op investeerders en op technische experts van landen waar Zon-PV door de overheid sterk wordt ondersteund (nu ook de VS, India, etc.). Dit onttrekt investeringen aan de ontwikkeling van nieuwe Zon-PV-technologie in Nederland en Europa. Ook bestaat hierdoor het risico dat machinebouwers naar het buitenland vertrekken. Een krachtig beleid binnen Nederland en de EU is vereist om hieraan het hoofd te bieden en de deelnemers in het programma zijn sterk betrokken bij discussies hierover binnen diverse Europese organisaties.



3 Planuitwerking

3.1 Projectplan

Het Groeifondsprogramma kent 3 Programmalijnen.



Programmalijn 1

Nederlandse productie-faciliteit voor heterojunctiezonnecellen op basis van silicium

Innovatieprogramma voor de ontwikkeling en bouw in Nederland van een pilot-productielijn (300 MW_p/jaar) van hoogwaardige silicium-HJT-zonnecellen (rendement 25% bij aanvang en 26.5% na verdere ontwikkeling), gevolgd door een fabriek met een innovatief concept voor hoogvolume-productie met een capaciteit van 3 GW_p/jaar. Dit creëert de industriële basis voor een verdere opschaling naar 18 GW_p/jaar op locaties in Nederland en elders in Europa. De gefabriceerde HJT-cellen worden toegepast in geïntegreerde Zon-PV-producten van verschillende Nederlandse fabrikanten en in tandemcellen met een rendement van >30%, wat leidt tot de vorming van een sterk Nederlands Zon-PV-ecosysteem.

Om de doelstellingen van het REPowerEU-programma van de Europese Commissie te halen, stelt de EU Solar Energy Strategy als doel om voor 2030 in de EU in totaal 750 GW_{p-DC} aan Zon-PV-modulevermogen te installeren.³⁸ Dit vertaalt zich naar een Europese Zon-PV-modulemarkt van 60-70 GW_p/jaar, een verdubbeling t.o.v. 2021. Om tot een significant Europees marktaandeel te komen ten opzichte van de dominante Aziatische/Chinese concurrentie, zijn in Europa dus meerdere multi-GW_p fabrieken nodig. Zoals in hoofdstuk 2.1 is beschreven, bedraagt de huidige productie van zonnecellen in Europa slechts enkele honderden MW_p/jaar en van Zon-PV-eindproducten enkele GW_p/jaar. Dit laatste betreft voornamelijk module-productie op basis van geïmporteerde zonnecellen: Europa heeft geen noemenswaardige eigen cel- en silicium waferproductie. Onlangs is door een aantal gerenommeerde ondernemers en Zon-PV-experts het Europese bedrijf MCPV opgericht³⁹ dat zich tot doel stelt in Europa een grootschalige cel- en module-productie te creëren met een capaciteit van 15 GW_p/jaar in 2028. MCPV is actief lid van de European Solar Manufacturing Council, van Solar Power Europe

en van het recente Europese PV-IPCEI-initiatief (ook partners TNO en Solarge zijn actief lid van deze organisaties). Steun van het Nationaal Groeifonds voor een industrieel innovatieprogramma maakt het voor MCPV mogelijk de procestechnologie verder te verbeteren op het gebied van omzettingsrendement, kosten en CO₂-voetafdruk/circulariteit en vervolgens de eerste multi-GW_p-fabriek te vestigen in Nederland.

Om sterk differentiërend en competitief te zijn ten opzichte van de huidige standaard Zon-PV-technologie uit Aziatische fabrieken, wordt gekozen voor een innovatief celconcept waarmee we in Europa op gebied van technologieontwikkeling vooroplopen op de concurrentie elders: de siliciumzonnecel op basis van heterostructuurtechnologie (HJT, Figuur 11). Deze HJT-cel onderscheidt zich van de PERC-cel – sinds 2017 in feite de industriestandaard – door het gebruik van innovatieve functionele materialen (amorf silicium, indium-tin-oxide), en verbeterde en zeer nauwkeurig controleerbare fabricagetechnieken (vacuümdepositie). HJT-cellen kunnen in slechts 4 processtappen worden gemaakt bij relatief lage temperaturen (<250 °C), wat een voordeel is ten opzichte van PERC-cellen (8 stappen bij temperaturen tot 900 °C). Dit alles tezamen resulteert in een efficiëntere omzetting van zonlicht in elektrische stroom; het recordrendement van 26,8% voor een zonnecel van silicium is dan ook gevestigd met een HJT-cel. Tevens heeft de HJT-cel een inherent betere tweezijdigheid (bifacialiteit), waardoor ook zonlicht dat op de achterkant van de cel valt efficiënt kan worden omgezet, wat van groot belang is voor gebruik in zonnecentrales op land en water, in agri-PV en in infrastructuur. HJT-cellen zijn uitstekend voorbereid op een uitbreiding naar perovskiet/Si tandemcellen (zie Programmalijnen 2 en 3). De fabricage van de HJT-cellen vergt een minimaal aantal processtappen, waardoor kosteneffectieve productie mogelijk is. Het HJT-concept is zeer geschikt voor toepassing in dunnere siliciumwafers, wat de CO₂-voetafdruk aanzienlijk verbetert.

De superioriteit van de HJT-cel werkt door in alle vier de kengetallen die van belang zijn voor de elektriciteitsproductie van een zonnepaneel:

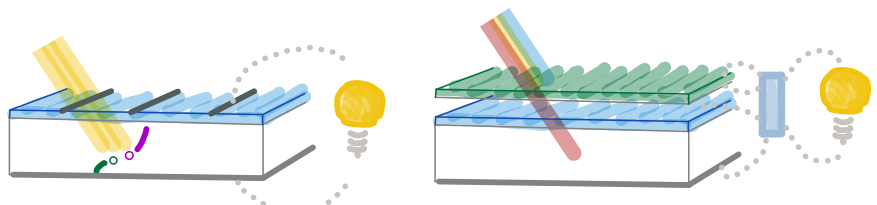
1. een hoger modulevermogen (W_p),
2. een hogere energieopbrengst (kWh/ W_p) over de gehele levensduur van de installatie,
3. een lagere *Levelized Cost of Electricity* (LCOE), en
4. een beter milieuprofiel.

Voor een complete Zon-PV-centrale leidt dit per saldo tot een 10-20% hoger rendement in de elektriciteitsproductie. Ook ten opzichte van de opkomende TOPCON-cel, in Aziatische fabrieken de opvolger van de PERC-cel, houdt de HJT-cel deze voordelen (vooral op gebied van tweezijdigheid), zij het met iets minder afstand.

De eerste validering van HJT-celfabricage is inmiddels gedaan op de schaal van pilot-lijnen, onder meer bij het Franse technologie-instituut CEA-INES, bij 3Sun/ENEL in Italië en bij Meyer-Burger in Duitsland. Daarmee is het moment gekomen om de technologie daadwerkelijk naar industrieel niveau te brengen en vervolgens snel door te schalen naar hoogvolume-productie om een optimale kostenbasis te bereiken. Economische modellen (zie Appendix H) laten zien dat een HJT-cel in kosten (€/W_p) kan concurreren met de Aziatische cellen als deze gefabriceerd wordt met een volume van 3 GW_p/jaar. Het is ook juist nu een gunstig tijdvenster om in HJT-technologie in te stappen, omdat deze gebruik maakt van een ander type productiemachines: Aziatische fabrieken die aanzienlijk hebben geïnvesteerd in PERC- en TOPCON-productielijnen, kunnen in de komende jaren niet zomaar overstappen. Door nu te kiezen voor HJT-celtechnologie, kunnen we in Nederland en Europa vooroplopen in deze *state-of-the-art* industriële Zon-PV-technologie.

De sleutel om tot competitieve industriële productie van HJT-cellen te komen, is een serie essentiële innovaties in het industriële celontwerp en productieproces, in de fabricagemachines en de integratie van de productielijn, en in de digitalisering en informatisering van het hoogvolume-productie-management (Industry 5.0). Als eerste innovatiedoelstelling richt het Groeifondsprogramma zich op deze industriële innovaties, die ontwikkeld en op de juiste schaal gevalideerd

Hoe werkt een zonnecel/folie?



Een zonnecel of zonnefolie (links) zet zonlicht om in elektriciteit. Zonlicht wordt geabsorbeerd in een halfgeleidermateriaal (bijvoorbeeld silicium of perovskiet) en genereert daar elektrische ladingen. De elektrische stroom wordt vervolgens aan de boven- en onderkant van de zonnecel/folie door elektrische draden gecollecteerd en naar

de toepassing geleid. Zonnecellen worden geassembleerd tot een zonnepaneel; zonnefolie wordt aan de rol gefabriceerd. Het rendement van een zonnecel is de verhouding tussen de elektrische energie die wordt opgewekt en de energie van het inkomende zonlicht. Het theoretische maximale rendement voor een silicium zonnecel is 29%.

In een tandemzonnecel (rechts) worden twee actieve lagen op elkaar gestapeld, bijvoorbeeld een laag silicium en een dunne laag perovskiet (groen in de figuur). Hierbij wordt het zonnenspectrum opgesplitst en over de twee cellen verdeeld, wat meer elektrische energie oplevert.

zullen worden, eerst via een pilot-productielijn van 300 MW_p/jaar en vervolgens via een silicium-HJT-celafabriek van 3 GW_p/jaar. De aldus gefabriceerde HJT-cellen zullen breed toepasbaar zijn en door MCPV op de markt gebracht worden, met voorrang voor Nederlandse Zon-PV-modulebedrijven in Programmalijn 3.

De tweede innovatiedoelstelling van het Groiefondsprogramma is om de HJT-technologie voor de toekomst als koploper te versterken én te exploiteren voor de ontwikkeling van de volgende generatie Zon-PV-technologie. Daarvoor wordt parallel aan de eerste industriële fase een innovatieprogramma uitgevoerd door Nederlandse onderzoeksinstituten. Het doel hiervan is om blijvend de leiding te houden in de HJT-technologie, door middel van verbeteringen in celrendement, circulariteit, vervanging van kritische materialen, verlaging van de CO₂-voetafdruk, en kostenreductie. Daarnaast wordt de HJT-cel uit Programmalijn 1 als bodemcel gecombineerd met een topcel van perovskiet in de ontwikkeling van tandemcellen in programmalijn 3, waarmee het omzettingsrendement tot ver boven 30% kan worden verhoogd op substraten met een groot oppervlak. Al deze innovaties samen bieden nu een unieke kans om in Nederland en Europa de HJT- en tandemtechnologie van de toekomst te creëren en daarmee voor lange tijd een koploper te worden in Zon-PV.

HJT-pilot-productielijn en 3 GW_p fabriek

De bouw van de HJT-celafabriek begint met een pilot-productielijn met een capaciteit van 300 MW_p/jaar. De bouw hiervan zal starten in het najaar van 2023; installatie van de productiemachines volgt een jaar later, in 2024. Gegeven de specifieke vacuümdepositieprocessen voor de HJT-cel worden hiervoor specialistische machines opgezet die afwijken van de apparatuur voor standaard silicium-zonnecellen in bestaande fabrieken elders in de wereld. Het innovatieprogramma richt zich op het optimaliseren van de machineconfiguraties, individuele processtappen en procesintegratie, met het oog op maximale productiviteit en een HJT-celrendement van 25% aan het begin van het project. Na validatie en

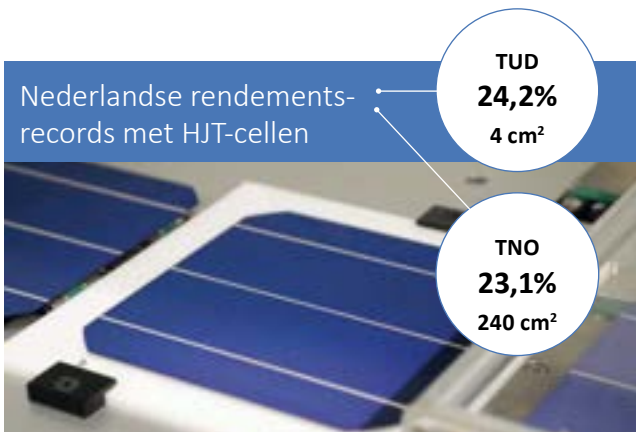
optimalisatie van deze eerste innovatiefase wordt vervolgens de opschaling naar een productiecapaciteit van 3 GW_p/jaar in gang gezet, via de installatie van een serie replica's van de geoptimaliseerde pilot-productielijn. De innovatie in deze fase bestaat uit een nieuw concept van integrale informatisering van alle onderdelen van de productiefaciliteit, conform het Industry 5.0-concept, waarmee het digitale productie-management op een niveau wordt gebracht dat nu in de Zon-PV-wereld nog niet bestaat. Real time monitoring en grootschalige data-analyse maken het mogelijk om alle productie- en onderhoudsprocessen live te optimaliseren, zowel voor de procesmachines als voor alle ondersteunende technische installaties. Niet alleen verhoogt dit het rendement van de HJT-cellen, het levert voor de hele productiefaciliteit ook een efficiëntieslag op van naar schatting 15%, dankzij verhoogde productiviteit van mensen, machines, materialen en energie. Via deze weg is ons doel om in productie minimaal een celrendement van 26.5% te behalen.^{40,41}

De HJT-celafabriek wordt gebouwd in de regio Veendam (Groningen), waar meerdere geschikte bedrijfsterreinen zijn geïdentificeerd. De logistieke verbindingen voor wegtransport naar de Eemshaven en het (inter)nationale snelwegennet zijn kort en van uitstekende kwaliteit, en de regio kent geen restricties voor aansluiting op het elektriciteitsnetwerk (zoals wel het geval is in bijvoorbeeld de regio Eindhoven en in het westen van het land). De economische groei in Groningen en Drenthe is lager dan het landelijk gemiddelde wat minder druk legt op het regionale arbeidsaanbod en gunstig is voor het werven van productiepersoneel voor de fabriek. De regio kent een sterke concentratie van Zon-PV- en windenergie-installaties die de HJT-celafabriek van 100% groene elektriciteit kunnen voorzien, in aanvulling op het gebruik van Zon-PV-installaties op het eigen fabrieksterrein. De fabriek zal tussen de 600 en 700 directe arbeidsplaatsen creëren, en speelt een sterke aanjagersrol voor nieuwe indirecte high-tech werkgelegenheid in de regio en nationaal.



Ecosysteem van Europese toeleveranciers/circulariteit

De HJT-fabriek zal gebruik maken van uitsluitend Europese leveranciers van apparatuur en materialen: dit is een onlosmakelijk onderdeel van het concept van energie-autonomie in Europa. Het houdt de aanvoerlijnen kort, en daarmee de transportkosten laag, en leidt het tot een kleinere CO₂-voetafdruk. Ook vermindert deze Europese aanpak de gevoeligheid voor wereldwijde economische of politieke verstoringen. Het verzekert tevens moderne, maatschappelijk aanvaarde arbeidscondities. Het innovatieprogramma richt zich op het ontwikkelen van productieprocessen die aansluiten bij materialen en productiemachines die door Europese fabrikanten worden geleverd, in het bijzonder voor die enkele materialen waar in eerste instantie een afhankelijkheid van een niet-Europese leverancier niet vermeden kan worden.



Bronnen: Ref. 40, 41

Dit betreft met name de siliciumwafers, waar een overstap zal worden gemaakt van wafers van Chinese origine naar wafers met een lage CO₂-voetafdruk van Europese fabrikanten, dankzij gebruik van hernieuwbare elektriciteitsbronnen zoals energie uit waterkracht in Noorwegen. Daarnaast zal met de Europese partners gewerkt worden aan circulair materiaalgebruik, bijvoorbeeld gerecycled silicium in de wafers en gerecycled zilver en indium in de metaalcontacten. Op basis van de vraag vanuit de 3 GW_p HJT-fabriek kunnen de betrokken Europese bedrijven de benodigde investeringen doen om hun eigen productiecapaciteit op te schalen en tot een competitieve kostenbasis te komen. Door deze synergetische aanpak ontstaat een compleet innovatie- en productie-ecosysteem van Zon-PV-toeleveranciers, ondersteund door een gezonde thuishmarkt, waarmee we in Nederland en Europa op een competitieve manier Zon-PV-producten kunnen maken, nu en in de toekomst. Als actieve deelnemer in de *European Solar Manufacturing Council*, *Solar Power Europe* en het *Europese PV-IPCEI* initiatief, spannen MCPV, Solarge en TNO zich, met dit Groeifondsprogramma, in voor het verwezenlijken van Europese waardeketens voor Zon-PV.

Roadmap rendement & perfectionering HJT-cel

De HJT-celarchitectuur biedt unieke perspectieven voor verdergaande innovatie om het omzettingsrendement verder te verhogen en ook milieuvoordelen te realiseren. Nederlandse Zon-PV-onderzoekers en -specialisten hebben samen met Europese collega's een roadmap opgesteld die deze ontwikkeling beschrijft. Centrale thema's zijn: de ontwikkeling van innovatieve materialen ter verbetering van de optische en de elektrische eigenschappen van de HJT-cel; verdere verbetering van de circulariteit van de HJT-cel door gebruik van gerecyclede en recyclebare materialen; reductie van het materiaalgebruik in het algemeen (bijv. dunnere wafers); reductie en vervanging van kritische metalen; en kostenreductie. Het Nederlandse HJT-celonderzoek binnen de kennisinstututen is van topniveau, wat blijkt uit patentaanvragen en publicaties van celrecords. Deze R&D-gemeenschap zal een innovatieprogramma uitvoeren op de genoemde thema's, met als doel de resultaten te implementeren in het industri-

ele HJT-proces in de 3GW_p productiefaciliteit. Doelstelling is dat het rendement van de industriële HJT-cel op termijn de 26,5% zal passeren. Zo kan de HJT-celproductie zich structureel versterken dankzij een continue innovatiestroom en daarmee ook in de toekomst een leidende positie uitbouwen voor de Nederlandse en Europese Zon-PV-industrie.

HJT als basis voor de tandemcel, de volgende generatie Zon-PV met rendement boven de 30%

Een wereldwijde nieuwe ontwikkeling betreft zonnecellen op basis van het actieve materiaal perovskiet, zoals in Programmalijn 2 in detail zal worden beschreven. Dunne perovskietlagen kunnen als topcel worden aangebracht op een bodemcel van het type silicium-HJT, wat het gecombineerde celrendement in één klap verhoogt naar meer dan 30%. HJT-cellen hebben een voordeel op gebied van rendement in tandemcellen ten opzichte van de PERC- en TOPCON-cellen vanwege hun betere prestaties in het infrarode deel van het zonlichtspectrum. Programmalijn 1 (silicium-HJT-cellen) en Programmalijn 2 (perovskietfolies) ontwikkelen de twee benodigde bouwstenen voor het innovatieprogramma in HJT/perovskiet-tandemmodules met hoog rendement dat in Programmalijn 3 wordt uitgevoerd. Daarbij worden in Programmalijn 1 aanpassingen in het HJT-productieproces ontwikkeld die nodig zijn om de HJT-cellen in de tandemconfiguratie in te passen. Dit betreft aanpassingen in optimalisatie van de licht-inkoppeling in de siliciumcel in een tandemconfiguratie en optimalisatie van het metaalcontactpatroon voor tandemapplicaties.

HJT-cellen voor geïntegreerde Zon-PV-moduleproducten

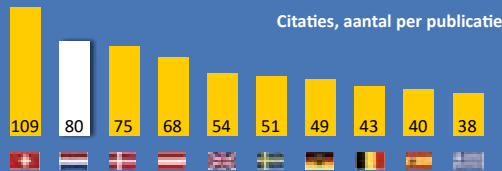
Gezien de grote Europese ambities voor de groei van de Zon-PV-markt zal de orderportefeuille van de nieuwe Nederlandse HJT-celfabriek snel gevuld zijn. Daarbij zullen Nederlandse fabrikanten van Zon-PV-modules en geïntegreerde Zon-PV-producten voorrang krijgen. In Programmalijn 3 ontwikkelen diverse Nederlandse bedrijven Zon-PV-producten voor specifieke toepassing in daken, façades van gebouwen, infrastructuur en voertuigen. Grootschalige toepassing van Zon-PV in ons land is gebaat bij een sterke groei van deze sector. Voor deze opkomende Nederlandse Zon-PV-module-industrie is het een groot voordeel om de huidige afhankelijkheid van Aziatische celleveranciers en van complexe toevoerlijnen in te kunnen ruilen voor betrouwbare toegang tot kosteneffectieve HJT-cellen met hoog rendement van Nederlands fabricaat. Zo kan de nieuwe Nederlandse HJT-fabriek, dankzij de innovatie-impuls van het Groeifondsprogramma,

← Preproductielijn voor HJT-cellen van silicium bij CEA-INES (Chambery, Frankrijk). De MCPV-fabriek die in Nederland wordt gebouwd, is gebaseerd op deze technologie, die de afgelopen jaren met steun van Europese ontwikkelingsfondsen (Horizon Europe) en Europese overheden is ontwikkeld.



Nederland op nummer 2 in citaties Zon-PV

Data obv een Scopuzoekopdracht met zoekwoord "photovoltaic"



Zon-PV cel-records in Nederland

Perovskietcel	23%	TNO
Pb/Sn perovskietcel	20%	RUG
Flexibele perovskietfolie	15%	TNO, 100 cm ²
Perovskiet/CIGS-tandemcel	27%	TNO, 22,0% op 80 cm ²
Perovskiet/perovskiet-tandemcel	23,7%	TUE
Silicium HJT-cel	24,2%	TUD
Silicium/perovskiet-tandemcel	25,6%	TNO, 100 cm ²
Silicium/perovskiet 4T-tandemcel	30,1%	TNO/TUD/TUE/IMEC

Nederlandse bedrijven op het gebied van Zon-PV-integratie-producten helpen om zich stabiel te ontwikkelen. Met een gezamenlijk innovatieprogramma tussen de Programmalijnen worden de aanpassingen in het HJT-productieproces ontwikkeld die nodig zijn om de HJT-cellen in de Nederlandse Zon-PV-producten te verwerken. De voorziene productiecapaciteit van silicium-HJT-cellen van 3 GW_p/jaar komt overeen met een totaal celoppervlak van ruim 10 km²/jaar, waarmee een vergelijkbaar oppervlak aan zonnepanelen en geïntegreerde Zon-PV-producten kan worden gemaakt.

Partners

Programmalijn 1 wordt geleid door het bedrijf MCPV Nederland (zie Appendix L). Voor het ontwerp en de bouw van de productiefaciliteit van 300 MW_p voor HJT-cellen werkt MCPV samen met Nederlandse engineering- en bouwbedrijven. Voor het innovatieprogramma wordt samengewerkt met TNO en de Nederlandse kennisinstellingen die zijn verenigd in het SolarLab consortium (AMOLF, RUG, TUD, TUE, UT, UU, UvA). Voor toepassing van de silicium-HJT-cellen (en later in het project: tandemcellen) in geïntegreerde Zon-PV-producten wordt samengewerkt met Solarge (lichtgewicht PV), Exasun (PV-daksystemen), Energyra (moduleproductie, tandem-PV), en Lightyear (PV-voertuigen). Voor ontwikkeling van de roadmap rondom HJT/perovskiet-tandemcellen wordt samengewerkt met TNO/Solliance (Petten en Eindhoven) en academische partners in het nationale SolarLab onderzoeksconsortium, en voor commerciële toepassing met Energyra.

Programmalijn 1 Wat is in 2031 bereikt?



☀️ Een innovatieve pilot-productielijn voor hoogwaardige silicium-HJT-zonnecellen met een capaciteit van 300 MW_p/jaar en met een celrendement van 25,0% bij aanvang in 2025.

☀️ Ontwerp en realisatie van een silicium-HJT-celfabriek met een capaciteit van 3 GW_p/jaar in 2026, opererend onder een innovatief concept van integrale informatisering, conform de Industry 5.0 principes. Basis voor verdere opschaling naar 18 GW_p/jaar op andere locaties in Nederland of Europa.

☀️ Creatie van 600-700 directe arbeidsplaatsen in de 3 GW_p/jaar HJT-fabriek, en circa viermaal zoveel indirecte arbeidsplaatsen.

☀️ Trekkersrol van de 3 GW_p/jaar HJT-fabriek voor een 100% Europees innovatie- en productie-ecosysteem van Zon-PV-toeleveranciers.

☀️ Innovatieprogramma resulterend in continue industriële innovatie: HJT-celrendement >26,5%, optimalisatie van circulair materiaalgebruik, reductie van kritische materialen, reductie van CO₂-voetafdruk, reductie van productiekosten.

☀️ Hoogwaardige silicium-HJT-cellen als motor van de ontwikkeling van tandemcellen met rendement >30%.

☀️ Hoogwaardige silicium-HJT-cellen als motor van de ontwikkeling van geïntegreerde Zon-PV-moduleproducten door Nederlandse bedrijven (Programmalijn 3).

☀️ Nederland wordt hiermee een belangrijke initiator en leverancier van hoogwaardige Zon-PV-technologie aan markten in Nederland, Europa en daarbuiten.



Programmalijn 2

Nederlandse productie-faciliteit voor zonnepanelen van perovskiet

Ontwikkeling van een productiefaciliteit voor perovskietfolietechnologie voor Zon-PV (pilot-productie 300 MW_p/jaar in 2026, productie 1 GW_p/jaar in 2030; rendement >20%), voor Zon-PV-toepassingen in de gebouwde omgeving, vervoer en infrastructuur.

Zoals in Hoofdstuk 2 is beschreven, is een belangrijk deel van het dakoppervlak in Nederland dat kan worden voorzien van Zon-PV niet geschikt voor installatie van de standaard-zonnepanelen op basis van silicium. Zo zijn veel daken niet ontworpen om het gewicht van de grotere systemen met conventionele panelen te dragen, en zijn in veel gevallen op maat gemaakte oplossingen (vorm, flexibiliteit) vereist om Zon-PV-systemen te integreren. Dunnefilm-zonnecellen op folie, oftewel zonnepanelen, kunnen hier een oplossing bieden, omdat ze op een lichtgewicht, flexibel substraat kunnen worden gefabriceerd en omdat ze op maat kunnen worden gesneden. In het verleden bleven, ondanks intensief onderzoek, de omzettingsrendementen van flexibele zonnecellen echter ver achter bij die van de standaard-siliciumpanelen. Die situatie is radicaal veranderd door de ontwikkeling van perovskietzonnecellen met bewezen potentie qua rendement (Figuur 12).⁴² Nederland bevindt zich in een unieke positie door de combinatie van onderzoek op wereldniveau en de aanwezigheid van een groeiend bedrijf op het gebied van ultra-lichtgewicht zonnepanelen, HyET Solar (Arnhem). Op dit moment zijn deze panelen gebaseerd op amorf silicium, en met dit Groeifondsproject wordt de stap naar de veelbelovende perovskiettechnologie gemaakt.



Perovskietpanelen worden circulair en met laag energieverbruik gefabriceerd.

Perovskiet

Het materiaal perovskiet kan met relatief goedkope methodes op een flexibel substraat worden aangebracht. Het absorbeert zeer goed het zonlicht, zodat een laag van slechts 0,5 - 1,0 micrometer dikte voldoende is om het zonlicht in te vangen. Voordeel van zo'n dunne laag is dat de elektrische stroom die door het zonlicht wordt opgewekt zeer efficiënt uit de cel kan worden geleid en vervolgens gebruikt. De dunne laag vereist daarnaast zeer weinig materiaal (een vierkante meter folie bevat slechts 5 gram perovskiet). Mede daardoor is ook de CO₂-voetafdruk van de fabricage zeer

laag. De flexibiliteit van het materiaal maakt het ook mogelijk een roll-to-roll-productieproces te ontwerpen waarmee de perovskietpanelen met grote snelheid, net als een papierrol in een krantenfabriek, door een machine worden geprint. Met een (voorzien) snelheid van 25 m/min kan een productielijn voor perovskietpanelen sneller produceren dan een veel grotere siliciumcelfabriek (in GW_p/min).

Flexibele panelen

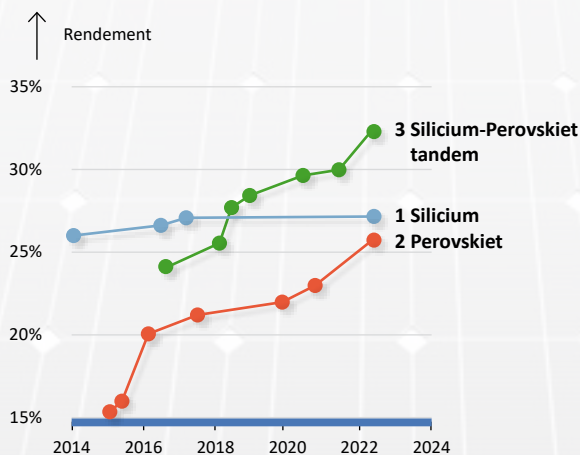
Perovskietpanelen bevinden zich echter nog in een relatief vroeg ontwikkelingsstadium. Op dit moment worden de meeste perovskietzonnecellen gemaakt op een hard substraat (bijv. glas). Het record omzettingsrendement van perovskietzonnecellen op glas staat op het moment van schrijven op 25,7%, voor een kleine cel (0,1 cm²); voor grotere oppervlakken is het rendement lager.⁴² Het record voor een siliciumcel met standaardformaat (180 cm²) is 26,6%. Toch verwachten analisten dat de toepassing van enkelvoudige perovskietcellen niet zal draaien om het "verslaan" van de siliciumceltechnologie. Die kent een decennialange ontwikkeling van technologie en markt, en zal niet snel worden verdrongen door een nieuwe technologie. Bovendien is op dit moment de stabiliteit van perovskietcellen voor langdurig gebruik (meer dan 20 jaar) nog niet gegarandeerd, omdat de perovskietstructuur langzaam verandert in de tijd. Echter, de flexibiliteit van perovskietzonnecellen biedt een groot aantal nieuwe toepassingsmogelijkheden die het potentieel van Zon-PV enorm kunnen uitbreiden. Omdat we in Nederland en de EU grote ambities hebben in het grootschalig installeren van Zon-PV-systemen is dit essentieel. Zo biedt Programmalijn 2, complementair aan Programmalijn 1, de mogelijkheid het potentieel van Zon-PV verder uit te breiden.

Pilot-productie en productielijn

Juist in deze flexibele technologie heeft Nederland een unieke uitgangspositie, na jarenlange zeer succesvolle investeringen bij TNO, het Solliance consortium en diverse academische partners van het SolarLab consortium. Ook heeft Nederland met HyET Solar een van de weinige bedrijven die tegen zeer lage kosten op industriële schaal dunnefilm-zonnecellen op folie kunnen produceren. Het doel van Programmalijn 2 is om de flexibele perovskiettechnologie hoger op de technologieladder te brengen (van TRL 4 naar TRL 8)⁴³ door eerst een pilot-productielijn van 300 MW_p/jaar te ontwikkelen, gevolgd door een 1 GW_p/jaar productielijn. Parallel daaraan wordt de markt voor de nieuwe flexibele perovskietproducten ontgonnen. Omdat Nederland toonaangevend is in de ontwikkeling van perovskietpanelen, ontstaat een unieke kans met deze nieuwe technologie internationale koploper te worden in de productie van Zon-PV-producten op basis van perovskietfolie.

Figuur 12 • Ontwikkeling records zonnecel rendement

Voor zonnecellen op basis van silicium en perovskiet (2014-2022)



Bron: Ref. 42

Silicium versus perovskiet

Analisten verwachten dat door technologieontwikkeling en schaalvergroting binnen 5 jaar de kosten van perovskiet- en siliciumzonnecellen vergelijkbaar worden.

Verwachting voor 2027

- silicium € 160/kW_p
- perovskiet: € 93-154/kW_p

De twee celtypen zijn complementair en hebben verschillende gebruikstoepassingen.

Bron: Ref. 45

Startpunt

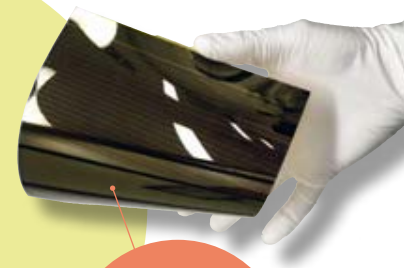
In het ontwikkelingsprogramma is het startpunt enerzijds de roll-to-roll-perovskiettechnologie bij TNO/Solliance in Eindhoven en anderzijds de amorf-siliciumfolieproductie bij HyET Solar in Arnhem. Recent heeft TNO perovskietfolies gedemonstreerd met een rendement van 16% op celniveau⁴⁴ en 13% op module/folieniveau (100 cm²). Hiervoor wordt de perovskietlaag gedeponereerd op een flexibel kunststof/polymeersubstraat, ingebed in een aantal elektrisch geleidende lagen, en daarna met kunststof afgedekt. Bij HyET wordt inmiddels de productie van zonnefolie gebaseerd op amorf silicium opgeschaald van 1 MW_p/jaar naar 40 MW_p/jaar. Deze folies hebben een rendement van 12% en de combinatie met de perovskiettechnologie zal dat rendement aanzienlijk verhogen. Recent is een onderzoeksprogramma gestart tussen TNO, SolarLab en HyET Solar om de eerste stappen van de integratie van perovskiet in de cel/foliestructuur van HyET te zetten.

Onderzoek en ontwikkeling

In deze Programmaliijn voeren we onderzoek en ontwikkeling uit om de stabiliteit en het omzettingsrendement van de folies verder te verhogen (doel: >25%). Dit gebeurt door drie parallelle ontwikkelingen:

De unieke potentie van perovskiet voor zonnecellen

- Ultradun/lichtgewicht
- Flexibel, op maat te snijden
- Lage/negatieve CO₂-voetafdruk
- Snelle roll-to-roll-fabricage
- Hoog rendement: 26%, >30% als tandemzonnecel
- Goedkoop in €/W_p



Flexibele zonnecel van perovskiet ontwikkeld bij TNO/Solliance.

- We ontwikkelen **materialen** die op ook lange termijn stabiel zijn, die niet-giftige ingrediënten bevatten en waarvan de eigenschappen breed aanpasbaar zijn. De intrinsieke stabiliteit wordt verhoogd door de perovskietsamenstelling en -structuur te optimaliseren. We ontwikkelen materialen met opto-elektronische eigenschappen die zijn afgestemd voor toepassing in enkelvoudige en tandem-perovskietcellen. Deze materialen worden zo ontwikkeld dat ze qua materiaalgebruik (oplosmiddelen, loodgehalte) en procestechnologie compatibel zijn met industriële opschaling.⁴⁵

- We onderzoeken nieuwe materialen voor een **optimale cel/foliearchitectuur**. Dit betreft de lagen die de elektrische ladingen uit de cel extraheren, en die stabiel en opschaalbaar zijn. Daarnaast worden de grensvlakken tussen het perovskiet- en extractiemateriaal zo geoptimaliseerd dat de elektrische ladingen zo effectief mogelijk worden verzameld. Parallel daaraan worden de lagen voor volledig dunnefilm-tandemcellen geoptimaliseerd. Hier wordt uitgegaan van zowel een architectuur gebaseerd op een pure perovskietstructuur (perovskiet-perovskiet), en van een architectuur die een inpassing in de HyET Solar celarchitectuur betreft, met amorf silicium als grens- en bescherm laag.

- We ontwikkelen de materialen en procestechnieken zodanig dat ze kunnen worden toegepast in een **roll-to-roll-proces bij hoge snelheid**, bij atmosferische condities en een zo laag mogelijke temperatuur. We optimaliseren daarbij de kristallisatie van perovskieten in het roll-to-roll-proces en het in-line aanbrengen van extractie- en barrière lagen. De laatstgenoemde zijn, naast de samenstelling en structuur van het actieve perovskietmateriaal, belangrijk voor de stabiliteit van de perovskietcellen.

Het onderzoek vindt plaats bij de academische partners van SolarLab en bij TNO/Solliance. Parallel ontwikkelt TNO/Solliance samen met HyET Solar de bestaande roll-to-roll R&D pilotlijn tot een machine die nieuwe stabiele hoogrendementsfolies op pilot-schaal kan fabriceren met een doorvoersnelheid die overeenkomt met 1 MW_p/jaar, en met een proces dat opschaalbaar is tot industriële schaal. Hierbij werken HyET Solar en TNO nauw samen, door overdracht van procestechniek en kennis op het gebied van foliebehandeling van HyET naar TNO, en overdracht

van kennis op het gebied van processing van perovskieten van TNO naar HyET, dat het product op de markt zal brengen. Het uitbouwen van de pilot-faciliteit vereist een aantal technische ontwikkelingen waaronder nieuwe technieken voor de depositie van de perovskietlaag en het aanbrengen van de contactlagen. Deze worden geïnstalleerd en getest, waarbij in-line technieken worden ingebouwd waarmee het roll-to-roll-proces in detail kan worden gevolgd en geoptimaliseerd voor groot-schalige productie. Deze processen worden vervolgens bij HyET Solar geschikt gemaakt voor industriële opschaling in de productielijn (300 MW_p/jaar, later 1 GW_p/jaar. Voor toepassingen in tandemtechnologie (Programmaliijn 3) voeren we een innovatieprogramma uit om de eigenschappen van de perovskietzonnefolie aan te passen zodanig dat in combinatie met een silicium bodemcel een optimaal rendement wordt bereikt. Dit betreft met name aanpassingen aan de transparantie voor infrarood licht van de perovskietlagen.

Marktpotentieel

Parallel aan deze technische ontwikkelingen verkennen we het marktpotentieel voor de nieuwe flexibele perovskietfolies en bepalen we het beste businessmodel om die markt te bedienen. Dankzij de hoge flexibiliteit en voldoende doorvoersnelheid van de pilot-productiemachine bij TNO/Solliance (de productiecapaciteit van 1 MW_p/jaar komt overeen met een folieproductie van 50 km/jaar), kunnen we fabricage van Zon-PV-folie demonstrators voor kleinschalige toepassingen opbouwen. Vervolgens schaaft HyET Solar de productie op naar 300 MW_p/jaar en later 1 GW_p/jaar om zo een grote markt te bedienen. In het tweede deel van het programma vinden de folies, samen met de HJT-cellen die bij MCPV zijn ontwikkeld, toepassing in hoog-rendements cellen met een breed toepassingsgebied.

Circulariteit

Bij het ontwerpen van de nieuwe perovskietfolies wordt nadrukkelijk rekening gehouden met het hergebruik van de materialen na het einde van de levensduur van de folie. We ontwikkelen bij TNO/Solliance een scheidingsinstrument om de lagen te scheiden waarna ze kunnen worden opgelost en gerecycled. TNO, HyET Solar en samenwerkingspartners (onder meer Sabic) ontwikkelen daarvoor specifieke encapsulatie-materialen (module-



Flexibele lichtgewicht Zon-PV folie van HyET Solar op een gekromd dak.

folies) die aan het eind van de levensduur te scheiden zijn. Bij HyET Solar is een recyclingproces voor het zowel het polymeergedeelte (qua gewicht 99% van de module/folie) als de aluminiumfolie ontwikkeld. De combinatie van beide processen maakt de perovskietfolies volledig circulair.

Productielijn

De proces- en materiaaltechnologie uit het onderzoeks- en ontwikkelprogramma wordt bij HyET Solar opgeschaald in een fabriek met een pilot-productievolume van 300 MW_p/jaar in 2026, gevolgd door een tweede stap tot 1 GW_p/jaar in 2030. Dit komt overeen met een folieproductielengte, voor één roll-to-roll-productielijn, van 10.000 km/jaar. Hiervoor zijn verdere innovaties vereist om een foliebreedte van 1,4 m en een doorloopsnelheid van 15 m/min te bereiken. De fabriek wordt gebouwd op de HyET-locatie in Arnhem. Hierbij werkt HyET Solar nauw samen met VDL ETG voor het ontwerp en de bouw van de benodigde machines. Vervolgens wordt het proces getest en gevalideerd, en het product gevalideerd voor grootschalige Zon-PV-integratietoepassingen.

Partners

Deze Programmaliijn wordt geleid door HyET Solar en TNO/Solliance. Voor ontwikkeling van roll-to-roll-machinetechologie wordt samengewerkt met VDL ETG, en voor plasticfolies met Sabic en andere toeleveranciers. Voor toepassing van perovskietfolies in geïntegreerde Zon-PV-producten wordt samengewerkt met Solarge (lichtgewicht Zon-PV), Exasun (Zon-PV-daksystemen), Energyra (moduleproductie, tandemcellen) en Lightyear (Zon-PV-voertuigen). Voor ontwikkeling van de roadmap rondom perovskietceltechnologie wordt samengewerkt met TNO/Solliance en academische partners in het nationale SolarLab onderzoeksortium.

Stabiliteitsrecord TNO/Solliance

Semi-transparante flexibele en glasmodules met enkelvoudige perovskietcellen van TNO/Solliance voldoen aan standaard versnelde IEC tests (<5% degradatie gedurende 1000 uur bij 85 °C in 85% relatieve vochtigheid, en 200 thermische cycli tussen 40 °C en 85 °C).

← Roll-to-roll perovskietfoliemachine bij TNO/Solliance (Eindhoven), ontwikkeld door VDL ETG.



Programmalijn 2 Wat is in 2031 bereikt?



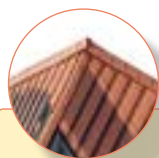
☀ Demonstratie van een roll-to-roll-productieproces met een pilot-productiecapaciteit van 300 MW_p/jaar voor circulaire perovskietzonnecellen met een rendement van tenminste 17%.

☀ Vestiging van een productiefaciliteit voor perovskietfolies met een productiecapaciteit van 1 GW_p/jaar (start in 2029).

☀ Toepassing van de perovskietfolies in geïntegreerde Zon-PV-producten in Programmalijn 3.

☀ Demonstratie van een roll-to-roll-productieproces voor circulaire perovskiet/perovskiet-tandemzonnecellen met een rendement van tenminste 20%.

☀ Versterking van de Nederlandse koploper positie in Zon-PV-technologie op basis van perovskietfolie.



Programmalijn 3

Nederlandse productiefaciliteiten voor geïntegreerde Zon-PV-producten en pilot-productie van tandemzonnecellen met hoog rendement

Realisatie van pilot- en productiefaciliteiten voor circulaire, *mass-customized* en geïntegreerde Zon-PV-elementen voor de gebouwde omgeving, infrastructuur en automotive industrie. Realisatie van R&D-pilot-productie van silicium/perovskiet-tandem zonnecellen met rendement >30%. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de cellen en folies uit Programmalijnen 1 en 2.

Om Zon-PV op de benodigde zeer grote schaal in onze maatschappij te implementeren zullen we alle beschikbare oppervlakken zo effectief mogelijk moeten inzetten. Zo hebben we in Nederland een enorm dakoppervlak beschikbaar, waar alleen al op de platte daken in potentie 60 GW_p aan Zon-PV-vermogen kan worden geïnstalleerd. Echter, zo'n 60% van dit dakoppervlak (250 km²) is niet stevig genoeg om het gewicht van de standaardpanelen te dragen.⁴⁶ Met lichtgewicht Zon-PV-producten ontwikkeld in Programmalijn 3 kunnen wij ook dat potentieel benutten. Hiervoor moeten zonnecellen in flexibele, integreerbare, lichtgewicht vorm worden gefabriceerd, zodat ze kunnen worden ingebouwd in oppervlakken met allerlei vormen, zoals dakpannen op gebouwen. Daarnaast komt er jaarlijks bij woningbouw en -renovatie een oppervlak van 8 km² aan schuine daken beschikbaar voor geïntegreerde zonnepanelen (overeenkomend met 1,5 GW_p/jaar). Ook kunnen Zon-PV-producten in gevelelementen geïntegreerd worden, waarmee nog meer oppervlak benut kan worden. De integratie van Zon-PV in gebouwen staat bekend als *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV). Nóg meer oppervlak komt beschikbaar als we Zon-PV-systemen kunnen toepassen in infrastructuur zoals langs snelwegen (*Infrastruc-*

ture-Integrated PV, IIPV) en in voertuigen als auto's, bussen, trailers en trucks (*Vehicle-Integrated PV*, VIPV). Integratie in gekromde oppervlakken kan met zowel stijve Zon-PV-elementen (bijvoorbeeld gebaseerd op silicium) als met flexibele zonnepanelen plaatsvinden. Voor de grootschalige implementatie van Zon-PV die we in ons land voorzien, is het gebruik van al deze oppervlakken essentieel.

Echter, de technologie voor deze geïntegreerde oplossingen is in de meeste gevallen nog niet goed ontwikkeld voor grootschalige uitrol. Programmalijn 3 richt zich op de ontwikkeling van nieuwe innovatieve productieconcepten en -faciliteiten voor Zon-PV-producten die onzichtbaar of op een esthetisch aantrekkelijke manier kunnen worden ingebouwd. Vijf Nederlandse bedrijven met wereldwijd toonaangevende innovatieve Zon-PV-producten voeren dit innovatieprogramma uit: Energyra, Exasun, Solarge, Lightyear en Taylor. Solarge werkt samen met materiaalontwikkelaar Compoform en VIPV-integrator IM Efficiency. Nederland kent daarnaast een groot aantal start-ups en scale-ups die bij het programma zullen worden betrokken en die zullen profiteren van de ontwikkelde innovaties.

Integratie van Zon-PV in gebouwen en infrastructuur

De (onzichtbare) integratie van zonnepanelen in gebouwen (BIPV) en infrastructuur (IIPV) heeft belangrijke voordelen.

- **Verlaging van kosten.** Geïntegreerde zonnepanelen vervullen een dubbelfunctie: ze zijn dak-element én Zon-PV-systeem in één. Dat verhoogt de snelheid van de (woning)bouw en voorkomt de dubbele kosten van het eerst bouwen van een dak, en daarna het aanschaffen en installeren van de panelen. Zo kan Zon-PV al in de bouw een bijna gratis toevoeging worden aan het gebouw en geeft het aanzienlijke hogere waarde aan het bouwelement in het gebouw.

- **Esthetisch aantrekkelijke oplossing.** Een geïntegreerde oplossing kan onzichtbaar in een gebouw worden verwerkt, dan wel worden gefabriceerd als een aantrekkelijk (gekleurd) architectonisch object dat het aanzien van het gebouw verfraait.

- **Circulair ontwerp.** Het ontwerp van een nieuw type geïntegreerd zonnepaneel maakt het mogelijk dit volledig circulair te doen en het paneel op te bouwen uit materialen met een lage CO₂-voetafdruk. Ook de multifunctionaliteit van het met Zon-PV geïntegreerde constructie/bouwelement draagt bij aan een verdere verlaging van de totale CO₂-voetafdruk (het bouwelement heeft ook een verpakkingsfunctie voor het Zon-PV-deel). Zo ontstaat een aanzienlijk duurzaamheidsvoordeel ten opzichte van de conventionele panelen die veelal worden gemaakt met een hoge CO₂-voetafdruk en beperkte opties voor recycling. Dit is belangrijk in de bouwwereld, ook omdat de overheid recent strengere eisen heeft gesteld voor de milieuprestatie van nieuwe gebouwen (MPG-regels). Zo kan de integratie van zonnepanelen soms in de ontwerpfase al afvallen omdat het negatieve duurzaamheidspunten scoort.

Lichtgewicht zonnepanelen

Als eerste nieuwe element in ons portfolio van geïntegreerde Zon-PV-oplossingen ontwikkelen Solarge en Energyra circulaire zonnepanelen met lage CO₂-voetafdruk waarin de zonnecellen worden ingebed in een lichtgewicht kunststofmatrix. Hiervoor wordt door Solarge samengewerkt met Compoform dat lichtgewicht polymeerpanelen ontwikkelt die in combinatie met glasvezelversterkte lagen een gewicht (per m²) hebben dat 50% lager is dan dat van de standaard siliciumpanelen. We ontwikkelen een productiefaciliteit



Productielijn (houtskeletbouw) zoals die door Solarge zal worden gebruikt voor de productie van geïntegreerde lichtgewicht zonne-panelen/dakelementen.

waarin de zonnecellen (eerst van een externe partij, later ook van Programmalijnen 1 en 2) in een paneel worden geassembleerd, verpakt en geïntegreerd met een elektrische schakeling. Doel is deze halffabricaten “integratie-klaar” te maken door de bijbehorende elektrotechnische installatie en aansluitsystemen direct in het paneel te integreren. Het paneel van Solarge is reeds circulair, echter de nieuwe “integratie-klaar” halffabricaten dienen ook circulair te worden ontwikkeld. Naast het basisformaat van de lichtgewicht panelen (1x2 m²) ontwikkelen we speciale lastechnieken en randafwerkingen om een grotere maat (3x12 m²) te fabriceren. Daarmee wordt het mogelijk meerdere panelen te combineren in een groot-formaat zonneward of -dak voor woningbouw, utiliteitsbouw en vervoersector.

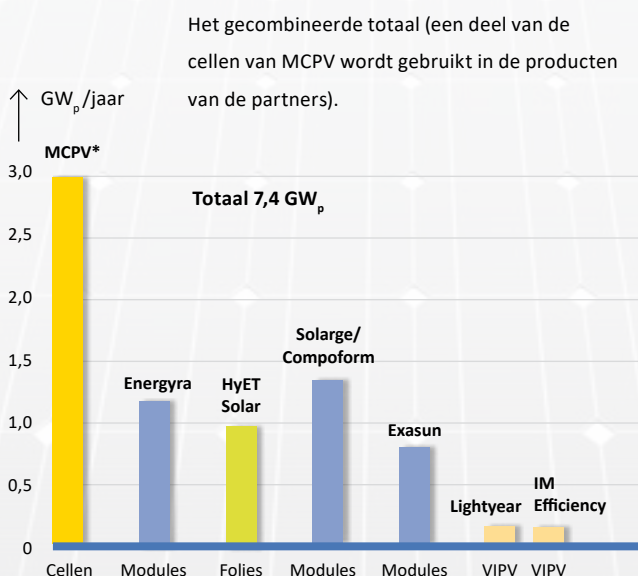
Specifiek richten we ons op:

- **Woningbouw, utiliteitsbouw:** de halffabricaten worden in de prefab dak- en gevelfabrieken van een aantal bouwbedrijven geïntegreerd met houtskeletbouwelementen van bijvoorbeeld 2x5 meter. Ook de aansluitingen om het dak volledig circulair te kunnen afbouwen, zoals boeiboorden, nokvorsten en dergelijke utiliteitsbouw worden ontwikkeld.
- **Agrisector:** de Zon-PV-dakelementen overbruggen de nokgootafstand en zullen worden voorzien van een isolatielaag.
- **Infrastructuur:** Zon-PV-elementen langs autowegen, waterwegen en spoorlijnen.

Het innovatieprogramma richt zich op de integratie, door Solarge, van

1. **polymeerpanelen** die worden ontwikkeld en gefabriceerd door Compoform,
2. **zonnecellen/folies** die worden ontwikkeld en gefabriceerd door MCPV/HyET, en
3. **encapsulanten** die worden ontwikkeld en gefabriceerd door Sabic.

Figuur 13 • Voorziena Zon-PV productiecapaciteit in Nederland aan het einde van de Groeifondsperiode (2031).



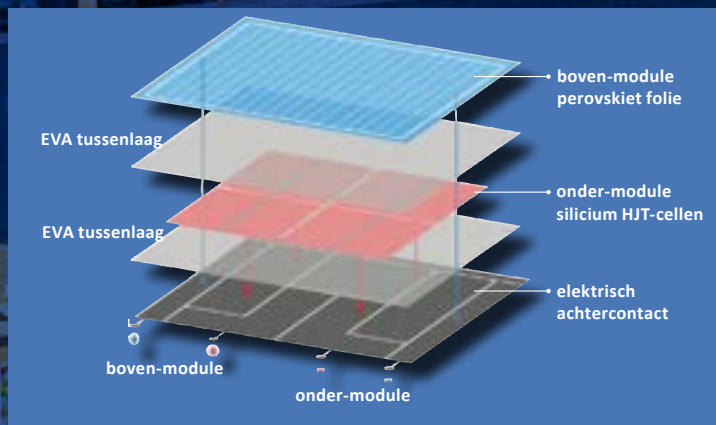
* Eerste doel Groeifondsprogramma 2031, exclusief verdere opschaling naar 9 GW_p/jaar in Nederland.

Programmalijn 3

Product-marktcombinaties en de bedrijven in dit programma die eraan bijdragen.

	Niet geïntegreerd		Geïntegreerd			
	op-dak schuin	op-dak plat	in-dak schuin	in-dak plat	pre-fab	facade / verticaal
Utiliteitsbouw kantoren		Energyra Solarge HyET	Exasun Solarge Energyra HyET			Exasun Solarge Energyra HyET
Industrieel vastgoed distributie hallen		Energyra Solarge HyET				Exasun Solarge Energyra HyET
Infra geluidswallen						Exasun Energyra HyET
Woningbouw seriematig en residentieel	Solarge Energyra	Energyra Solarge HyET	Exasun Solarge Energyra HyET		Exasun Solarge Energyra HyET	Exasun Solarge Energyra HyET
Agri - kassen	Energyra		Exasun Solarge Energyra HyET			Exasun Solarge Energyra HyET
Agri - stallen	Energyra Solarge HyET		Exasun Solarge Energyra HyET		Solarge Energyra	
Personenvervoer				Energyra Solarge HyET Lightyear	Energyra Solarge Lightyear	Energyra Solarge HyET Lightyear
Wegtransport		Energyra Solarge HyET		Energyra Solarge HyET IM Efficieny	Energyra Solarge HyET IM Efficieny	Energyra Solarge HyET IM Efficieny

Figuur 14 • Schema van 4T-tandemmodule-integratie



Door het toepassen van loodvrije interconnectie tussen de cellen in het Zon-PV-product en het toepassen van PFAS-vrij modulemateriaal verbeteren we het milieuprofiel en vergroten we de mogelijkheden voor recycling. Door afstemming van de productiefaciliteiten en -capaciteiten binnen het consortium ontstaat bij Solarge en Energyra een productiecapaciteit voor lichtgewicht zonnepanelen van 2-6 GW_p/jaar, wat overeenkomt met een oppervlak van 7 km²/jaar.

Geïntegreerde zonnepanelen

Als tweede nieuwe element in ons portfolio van geïntegreerde Zon-PV-oplossingen ontwikkelt Exasun circulaire Zon-PV-oplossingen met een innovatieve kleurtechnologie die het mogelijk maakt Zon-PV op een natuurlijkere manier te integreren in daken en andere bouwelementen. Op deze manier breiden we het toepassingsgebied voor Zon-PV aanzienlijk uit, naar alle daken en specifiek voor gebouwen waarvoor de conventionele panelen door hun vorm en kleur om architectonische of technische redenen niet toepasbaar zijn. Bovendien levert de integratie een groter geïnstalleerd vermogen per dak op, vervangt het conventionele bouwmaterialen met een hoge CO₂-voetafdruk zoals dakpannen, en wordt met snelle installatie ingespeeld op schaarsheden van gekwalificeerde arbeid. Hiervoor wordt een pilot-productiestraat (200 MW_p/jaar) ontwikkeld. Dit wordt gevolgd door een tweede pilot-productiestraat (200 MW_p/jaar) die zich richt op het on-the-fly produceren van steeds wisselende paneelformaten en -kleuren van panelen ten behoeve van de integratie van Zon-PV in gevels en geluidschermen. Dit zal de opmaat zijn naar grotere commerciële productielijnen met een capaciteit van 800 MW_p/jaar. Doelstellingen zijn om geïntegreerde Zon-PV-producten te ontwikkelen met een levensduur >50 jaar en de milieu-impact van het productieproces te minimaliseren (LCA, gifvrije materialen). Omdat Exasun nu al levert aan de top 10 bouwondernemingen in Nederland en reeds exporteert naar heel Europa via haar distributiepartner Wienerberger AG, zullen de nieuwe innovaties snel hun weg kunnen vinden naar een groot scala van toepassingen dat tientallen km² aan Zon-PV omvat. Exasun ontwikkelt nieuwe productietechnieken om een release-encapsulant te integreren. Hiermee kunnen de zonnecellen, folies en glas na einde gebruik worden gescheiden en in nieuwe zonnepanelen hergebruikt dan wel op een verantwoorde manier verwerkt. Het gebruik van HJT-cellen met lage CO₂-voetafdruk uit Programmalijn 1 leidt direct tot een verlaagde milieu-impact van de nieuwe geïntegreerde Zon-PV producten. Het toekomstig gebruik van perovskietfolies uit Programmalijn 2 zal de milieu-impact nog verder verlagen.

Op-maat gemaakte lichtgewicht zonnepanelen voor dak- en gevelintegratie

De derde integratieoplossing voor geïntegreerde Zon-PV zijn lichtgewicht panelen die op maat kunnen worden gemaakt.

Energyra voert een innovatieprogramma uit waarmee de toepassingsmogelijkheden sterk worden uitgebreid en het huidige productievolume van 150 MW_p/jaar wordt opgeschakeld naar 1,2 GW_p/jaar.

Energyra "rigide PV-folies", lichtgewicht panelen die in een grote hoeveelheid vorm, kleur en samenstelling gemaakt worden zijn. Deze werden zo ontwikkeld dat ze op grote schaal kunnen worden geproduceerd, met behoud van de klantspecifieke toepassingsmogelijkheden. Daarnaast wordt het Energyra paneel aangepast om flexibel gebruik te kunnen maken van andere celtypen, zoals dubbelzijdige cellen en HJT cellen van PL1. Dit innovatieprogramma vereist nieuwe elektrische interconnectie architecturen en innovatieve laminatie oplossingen. Om de productie van de op-maat gemaakte panelen commercieel schaalbaar te maken ontwikkelt Energyra met het innovatieprogramma nieuw procestechnieken. Dit omvat contactvrij solderen met milieuvriendelijke materialen en nieuwe milieuvriendelijke backsheets en lijm- en laminaatlagen. Hierdoor wordt het productieproces geschikt gemaakt voor vrijwel alle beschikbare silicium- en tandemcellen, en kunnen panelen met grote snelheid en tegen competitieve kosten op maat worden gemaakt.

In een later stadium van het project zal integratie van Zon-PV in gebouwen en infrastructuur plaatsvinden met tandemcellen, de combinatie van silicium-HJT-cellen met perovskiet-zonnepanelen in een enkelvoudig module. Dit levert veel hogere omzettingrendementen (>30%). Meer details worden later onder Programmalijn 3 beschreven.

Integratie van Zon-PV in voertuigen

Een aanzienlijk oppervlak voor het opwekken van zonne-energie kan worden gevonden in de vervoerssector. Integratie van Zon-PV in vrachtwagentrailers, bussen en auto's levert een waardevolle vorm van elektriciteit voor het opladen van batterijen, koeling, verwarming, etc. Nederland kent een aantal innovatieve bedrijven die deze technologie ontwikkelen. Lightyear ontwikkelt auto's waarin gekromde zonnepanelen, al dan niet door middel van folies, in het chassis worden geïntegreerd. De eerste ontwikkelingen van chassis-geïntegreerde zonnepanelen, dus gekromde Zon-PV, en daarbij behorende prototyping, zijn



Lightyear Layer produceert geïntegreerde PV-oplossingen voor auto's.

door TNO met siliciumcellen gedaan. IM Efficiency (Helmond) ontwikkelt geïntegreerde Zon-PV-oplossingen voor vrachtwagentrailers.

Voor integratie in voertuigen is een laag gewicht van het Zon-PV-systeem essentieel. Lightyear, Solarge en Compoform ontwikkelen in dit Groeifondsprogramma samen met TNO een lichtgewicht paneel met een dubbel-gebogen vorm dat in een voertuig wordt geïntegreerd. Het innovatieplan richt zich op het ontwikkelen van een aangepaste materiaalsamenstelling en oppervlaktecompositie van de Solarge/Compoform matrix om het geometrisch geschikt te maken voor VIPV-toepassingen, en op het ontwikkelen van een elektrische interconnectiesysteem dat in het voertuig kan worden geïntegreerd. Het innovatieplan richt zich tevens op de integratie van de HJT-cellen uit Programmalijn 1. Zo ontstaat voor Lightyear met dit Groeifondsprogramma leveringszekerheid van de siliciumcellen, die tot op heden voornamelijk uit Azië komen. In een latere fase worden, afhankelijk van omzettingsrendement en kostenstructuur, de perovskietfolies van Programmalijn 2 of de in Programmalijn 3 ontwikkelde tandemcellen geïntegreerd. Om de productie bij Lightyear geschikt te maken voor verschillende celtypen wordt voor de pilot-productielijn een flexibele machinearchitectuur ontwikkeld voor een efficiënt geautomatiseerd assemblageproces. Lightyear heeft een ambitieus bedrijfsplan dat voorziet in een toekomstige productie van meer dan 100.000 auto's per jaar. Dit komt overeen met een Zon-PV-productiecapaciteit van 156 MW/jaar; hierin kan binnen de capaciteit van MCPV (3 GW_p/jaar) en HyET (1 GW_p/jaar) goed worden voorzien. De integratie van cellen, folies of tandems in lichtgewicht panelen voor VIPV-producten betekent ook voor Solarge, Compoform en Sabic een aanzienlijke uitbreiding van het productievolume.

Een nieuwe opkomende markt voor Zon-PV-producten betreft de integratie in vrachtwagentrailers. Op dit moment worden zonnepanelen veelal op het dak van de trailer gelijmd, en dus niet geïntegreerd. Daarnaast bieden de zijwanden een groot nuttig oppervlak dat ook voor Zon-PV zou kunnen worden gebruikt. De ultralichte panelen (eerst siliciumcellen, later tandemcellen) en folies die in Programmalijnen 2 en 3 worden ontwikkeld, deels met cellen uit Programmalijn 1, zullen hiervoor worden ingezet. IM Efficiency ontwikkelt met Solarge en Compoform een geïntegreerde oplossing voor toepassing in vrachtwagens. De lichtgewicht sandwichplaten van Compoform bieden de mogelijkheid Zon-PV over de gehele daklengte te intereren en zo de elektrische opbrengst te maximaliseren. Deze bijzondere toepassing vereist innovatieve oplossingen in het elektrisch management: de voortdurende variaties in hoe het zonlicht op een rijdende vrachtwagen valt, vereisen speciale vermogenselektronica, in combinatie met speciale batterij- en energiemanagementsystemen. Bij stilstand kunnen

“elektrisch slimme” Zon-PV-vrachtwagens aan het elektriciteitsnetwerk worden gekoppeld en door hun hoge vermogensopbrengst en -opslag bijdragen aan stabiliteit van het stroomnet. Voor de bovengenoemde toepassingen zijn innovaties op gebied van procestechnologie en materialen nodig, terwijl de lay-out van de Zon-PV-producten beperkte aanpassingen behoeft. Voor volledige integratie van Zon-PV in bouw- en constructie-elementen en voertuigen is ontwikkeling van fabricage-op-maat essentieel.

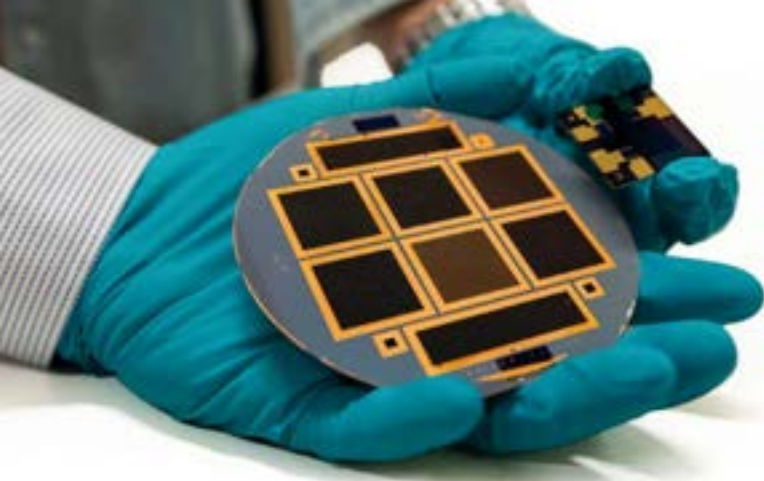
Mass customization (MC)

Mass customization is de ontwikkeling van grootschalige (mass) productietechnieken die continu kunnen worden aangepast voor een specifieke toepassing (customization) binnen een cluster van marktsegmenten. Het startpunt is de ontwikkeling van een halffabricaat met een specifieke gewenste vorm dat bestaat uit een lichtgewicht laminaat van commercieel-verkrijgbare silicium of dunne-film zonnecellen, dat in grote volumes tegen lage kosten en met weinig afval of andere milieu-impact (circulair) kan worden vervaardigd. De halffabricaten kunnen vervolgens volledig worden geïntegreerd in een eind-product zoals een dak, gevel, geluidsscherm of autochassis. Het halffabricaat heeft de optimale Zon-PV-functionaliteit (hoog rendement, kleur, schaduwtolerantie, geïntegreerde elektronica) maar is nog niet geïntegreerd in het doelsysteem of -product.

 **Met de kennis uit Programmalijnen 1, 2 en 3 realiseren we een tandem-zonnepaneel met een rendement van meer dan 30%.**

Het innovatieprogramma richt zich op het bundelen van de vereisten van meerdere gebruikerssegmenten om zo celontwerp en fabricagemethoden te ontwikkelen die aan deze vereisten voldoen en daardoor een grote markt tegen lage kosten te kunnen bedienen. Op deze manier breiden we de markt voor Zon-PV verder uit naar toepassingen waar afwijkende afmetingen of niet-vlakke vormen vereist zijn, terwijl het mass customization concept de kosten laag houdt. We ontwikkelen mass-customized technologie die compatibel is met meerdere typen zonnecellen om zo flexibel aan te sluiten op producten van gebruikers in BIPV, IIPV en VIPV. We ontwikkelen deze technologie in de open-innovatieomgevingen van TNO in Eindhoven en Petten en voeren daar innovaties uit voor gebruikers vanuit onder meer woningbouw en utiliteitsbouw (daken, gevels), infrastructuur (geluidsschermen) en automotieve sector (vrachtauto's) voor het uittesten van mass customization voor hun producten en een kostenreductie aan te tonen.

De elementen met mass customized Zon-PV worden ontworpen voor circulair gebruik. Energyra ontwikkelt deze mass-



Silicium/perovskiet 'vier-terminal' tandem zonnecel van Nederlandse bodem (TNO, TUD, TUE, IMEC) met een record rendement van 30.1% (WCPEC 2022, Milaan, september 2022).

customized producten voor zowel rigide glaspanelen als een flexibel gelamineerd lichtgewicht paneel dat geheel uit herbruikbare kunststoffen wordt samengesteld. Startpunt is de silicium back-contact-cel technologie die door TNO is ontwikkeld. In een volgende fase van het innovatieprogramma worden de half-fabrikaten bij Energyra geschikt gemaakt voor HJT-cellen. In een latere fase worden ook de perovskietfolies (Programmaliijn 2) en tandemcellen (Programmaliijn 3) gebruikt.

Tandemzonnepaneel met rendement >30%

De kennis die we opbouwen op het gebied van de integratie van Zon-PV maakt het mogelijk een compleet nieuw type zonnepaneel te ontwikkelen: het tandemzonnepaneel met een omzettingsrendement ver boven de 30%. We voeren een innovatieprogramma uit om het tandemceldesign te ontwerpen en optimaliseren om zo een optimale integratie van de bodem- en top-cel te creëren, zoals al in Programmaliijnen 1 (voor de siliciumcel) en 2 (voor het perovskietfolie) is beschreven. Het hogere rendement levert per kWh opgewekte zonnestroom lagere *balance-of-system* kosten en maakt het mogelijk met minder (schaars) oppervlak meer elektrisch vermogen op te wekken, wat het bij uitstek geschikt maakt voor dichtbevolkte regio's zoals Nederland. Het tandempaneel wordt opgebouwd uit de combinatie van een silicium- (onder/bodem) en een perovskietcel (boven/top, Figuur 14). Wereldwijd wordt het silicium/perovskiet-tandempaneel gezien als een enorme kans om Zon-PV-technologie verder op te schalen en toe te passen. In het tandempaneel komen de celfabricagetechnieken uit Programmaliijnen 1 en 2 direct samen. Nederland loopt in deze technologie voorop: in september 2022 presenteerden TNO, TUD, TUE en IMEC (België) een gezamenlijk gefabriceerde silicium/perovskiet-tandemzonnecel met een recordrendement van 30.1%.⁴⁷ Het bijzondere aan het Nederlandse ontwerp is dat de topcel en bodemcel (met ieder een afzonderlijke elektrische plus- en minpool) op elkaar

gestapeld zijn, en dus hun eigen elektrische contacten hebben (een four-terminal (4T)-schakeling). De tandemmodule bestaat op deze manier uit 2 submodules: een top-submodule bestaande uit perovskietzonnecellen en een bodem-submodule bestaande uit silicium-HJT-cellen. Voordeel van de 4T-geometrie is dat de cellen van de afzonderlijke submodules met aparte, geoptimaliseerde, fabricageprocessen kunnen worden gefabriceerd, de submodules min of meer onafhankelijk van elkaar werken, en de cellen onder realistische weersomstandigheden meer elektrische energie kunnen genereren dan de zogenaamde 2T-tandems (een directe serie-geschakelde stapeling van twee typen cellen). Voor de 2T-geometrie werd in december 2022 een record van 32.5% gerapporteerd, wat aangeeft hoe snel dit technologiegebied in ontwikkeling is.⁴⁸ De 4T-tandemmodule moet voorzien worden van een speciale elektrische schakeling (hardware en software) die het elektrisch uitgangsvermogen van de top- en bodem-submodules combineert en die de energieopbrengst op ieder moment van de dag en het jaar maximaliseert. De ontwikkeling van deze geavanceerde power optimizers zal door Taylor uitgevoerd worden. Taylor heeft samen met TNO een succesvolle eerste verkenning afgerond in het nationale project Power4T.

Nu het concept van de hoog-efficiënte 4T-tandemzonnecel succesvol in het laboratorium is aangetoond, is de uitdaging deze technologie op te schalen naar een praktische Zon-PV-module, en vervolgens naar een product dat op de markt kan worden gebracht. Hiertoe ontwikkelt TNO een R&D-pilot-productielijn voor hybride tandem-Zon-PV-modules met geïntegreerde slimme elektronische *power optimizers* samen met Taylor. De ontwikkeling van een geïntegreerde tandemmodule bouwt voort op de leidende positie die TNO heeft op het gebied van Zon-PV-moduleontwikkeling. Het innovatieprogramma omvat de optimalisatie van de productieprocessen van de HJT-bodemcellen (Programmaliijn 1) en perovskiet-topfolies (Programmaliijn 2) voor toepassing in de tandemgeometrie. De open R&D-innovatielijn bij TNO staat open voor gebruikers die de tandems willen toepassen in BIPV, IIPV en VIPV met Exasun, Solarge en Energyra als eerste potentiële gebruikers. Energyra start een innovatieprogramma voor het ontwikkelen van een productieproces voor assemblage van de tandem subcellen in een module op basis van een 4T aansluiting. Daarbij wordt zowel een rigide tandem-glaspaneel ontwikkeld als een gelamineerd halffabriicaat voor integratie in BIPV, IIPV en VIPV.

Het tandemconcept biedt uiteraard tevens interessante perspectieven voor MCPV, HyET en andere industriële gebruikers die met het hoge rendement de marktwaarde van hun producten enorm kunnen laten groeien. Het tandemconcept maakt het mogelijk in de toekomst het paneelrendement nóg verder te laten groeien. De combinatie van twee verschillen-



☀️ Demonstratie van productie-faciliteit en van Zon-PV-geïntegreerde lichtgewicht basispanelen (1,4 GW_p/jaar), dak- en gevelgeïntegreerde zonnepanelen (0,8 GW_p/jaar) en lichtgewicht flexibele panelen (1,4 GW_p/jaar) in 2031.

☀️ Ontwikkeling van productie-technologie voor integratie van Zon-PV-producten in auto's (tot 156 MW_p/jaar en vrachtwagens (15 MW_p/jaar).

☀️ Demonstratie van een *mass customization* R&D-pilot-productielijn op basis van circulaire Zon-PV-modules waarbij technologie opschaalbaar is naar GW_p/jaar.

☀️ Demonstratie van een R&D-pilot-productie 4T-tandemmodule-lijn met een modulerendement van 30%.

☀️ Technologie-koppositie voor Nederland in geïntegreerde Zon-PV-producten (exportproducten) en consolidatie van positie als wereldleider in 4T-tandemtechnologie.

de perovskietlagen met een siliciumcel, d.w.z. een stapeling van drie celstructuren, opent de weg naar een rendement >30%. Zo vormt de tandeminnovatie een motor voor de Zon-PV-innovaties van de toekomst. Hierbij kan gedacht worden aan grootschalige toepassing in zonnepelden, BIPV, IIPV en VIPV van Zon-PV met zeer hoog rendement, op de lange termijn zelfs richting 40%.

Partners

Deze Programmalijn wordt geleid door Solarge (lichtgewicht Zon-PV) en TNO/Solliance (mass customization en tandemtechnologie). BIPV en IIPV-innovaties worden ontwikkeld door Exasun (moduleproductie en Zon-PV-daksystemen) en Energyra (moduleproductie). Solarge werkt samen met Sabic (plastic folies) en Heijmans (bouwintegratie). VIPV-innovaties worden ontwikkeld door Lightyear (voertuigen) en IM Efficiency (vrachtwagentrailers) samen met Solarge. Innovaties voor tandemmoduleproductie worden ontwikkeld door Solarge, Energyra en Taylor in samenwerking met TNO. Voor de ontwikkeling en toepassing van *mass customized* innovaties werkt TNO samen met een groot aantal paneelproducenten en integratoren, en talloze bedrijven die machines, elektronica-componenten, software, backsheets, encapsulanten, etc. ontwikkelen voor geïntegreerde Zon-PV (zie Appendix N) zodat het programma ook voor hen een motor voor nieuwe economische groei gaat worden. De tandemtechnologie met hoog rendement wordt ontwikkeld in samenwerking tussen MCPV (silicium-HJT-cellen), HyET (perovskietfolies), TNO/Solliance (innovaties in module-integratie), Energyra (modules) en de andere Zon-PV-fabrikanten binnen het consortium als gebruikers. Voor ontwikkeling van de Zon-PV-integratie- en tandemtechnologie wordt samengewerkt met partners in het nationale SolarLab onderzoeksconsortium en landelijke consortia zoals Zon-op-Gebouw en Zon-Infra met tientallen actieve industriële leden die zich bezighouden met BIPV en IIPV.

Synergiën tussen de programmalijnen

Programmalijn 1 voedt Programmalijn 3 met silicium-HJT-cellen voor innovatieve geïntegreerde Zon-PV-producten voor BIPV, IIPV en VIPV. Programmalijn 1 voedt Programmalijn 3 tevens met (innovaties in) HJT-bodemcellen voor de ontwikkeling van HJT/perovskiet-tandemcellen en -modules en de voorbereiding van de industrialisatie daarvan. Programmalijn 2 voedt Programmalijn 3 met perovskietfolies voor innovatieve geïntegreerde Zon-PV-producten (BIPV, IIPV, VIPV), en voedt Programmalijn 3 met (innovaties in) topcellen-/folies voor de ontwikkeling van HJT/perovskiet-tandemcellen en -modules. Programmalijn 3 zorgt voor een lokale vraag voor cellen uit Programmalijn 1 en 2. Programmalijn 3 zorgt ervoor dat Programmalijnen 1 en 2 competitief blijven. Circulariteit is een overkoepelend thema dat alle Programmalijnen sterk verbindt. Daarnaast richten alle Programmalijnen zich op (aspecten van) Zon-PV-technologie en vormen de partners daarmee een uniek Zon-PV ecosysteem waar de som veel meer is dan de delen en alle partijen voortdurend profiteren van elkaars expertise. Tot slot is het funderend onderzoek bij de academische partners van SolarLab, uitgevoerd in nauwe samenwerking met de industriële partners, een sterke verbindende factor en relevant voor alle programmalijnen.

Dit voorstel ontwikkelt nieuwe innovatieve zonnecellen, folies en geïntegreerde producten waarin duurzaam materiaalgebruik centraal staat, in de fabricage, tijdens de levensduur en aan het

Circulariteit van Zon-PV

Realisatie van *circularity-by-design* in Zon-PV-technologie voor silicium-HJT-cellen, perovskietfolies, tandemcellen en producten voor BIPV, IIPV en VIPV. Vermindering van het gebruik van schaarse materialen, gebruik van Europese materiaal-waardeketens, en ontwikkeling van nieuwe recyclingtechnieken specifiek voor Zon-PV.



einde van de levensduur. We richten ons daarbij op *circularity-by-design*, dus gebruik van materialen en processen die ervoor zorgen dat nieuwe producten efficiënt zijn in gebruik en op een eenvoudige manier hoogwaardig gerecycled kunnen worden. Het gebruik van giftige en kritieke stoffen wordt zoveel mogelijk voorkomen. Ook worden materialen gebruikt en processtappen ontwikkeld waarbij de CO₂-voetafdruk aanzienlijk lager is dan die van conventionele processen.^{49,50}

CO₂-voetafdruk

Het verwerken van kwartszand tot siliciumwafers en vervolgens zonnecellen en -panelen is een energie-intensief proces. Bij de fabricage van silicium-HJT-cellen wordt gestreefd naar het gebruik van siliciumwafers die in Europa met energie uit waterkracht worden gefabriceerd; en sterk voordeel ten opzichte van de siliciumwafers uit Azië die veelal met energie van vervuilende kolencentrales worden gefariceerd. Het toepassen van dunnere siliciumwafers (120 micrometer) voor HJT-celproductie zal de CO₂-voetafdruk van Zon-PV verder verlagen. De energievoorziening van de HJT-fabriek zal duurzaam worden opgewekt. Doel is om voor het volledige HJT-celproduct een energierugverdiertijd van minder dan een jaar te realiseren, wat zich goed verhoudt tot de verwachte levensduur van cellen en panelen van 30 jaar. Solarge heeft reeds een paneel gerealiseerd dat de laagste CO₂-voetafdruk ter wereld heeft met kristallijne celtechnologie, door vermeden verbruik van aluminium en glas. Deze waarden zijn erkend bij het Franse Certisolis en in de NMD database in Nederland. De footprint

zal echter nog verder worden verlaagd door inzet van biobased kunststoffen in de eerste jaren van de Groeifonds periode. De lage CO₂-voetafdruk sluit goed aan bij Europese regelgeving die de komende tijd zal worden ingevoerd. De fabricage van perovskietfolies is door het gebruik van zeer dunne materiaal-lagen in zichzelf een zeer efficiënt proces waarbij aanzienlijk minder energie verbruikt wordt dan voor de fabricage van siliciumcellen.

Gebruik van kritische materialen

In alle programmalijnen richt het innovatieprogramma zich op het ontwikkelen van Zon-PV-concepten waarbij het gebruik van kritische materialen zoveel mogelijk wordt voorkomen. Voor HJT-cellen wordt gezocht naar alternatieven voor het gebruik van zilver en indium. Daarnaast wordt onderzocht of het mogelijk is hoogwaardige silicium-HJT-cellen te produceren met gerecycled silicium, en met hergebruik van silicium dat uit het zaagproces van de siliciumwafers overblijft.

Giftige stoffen

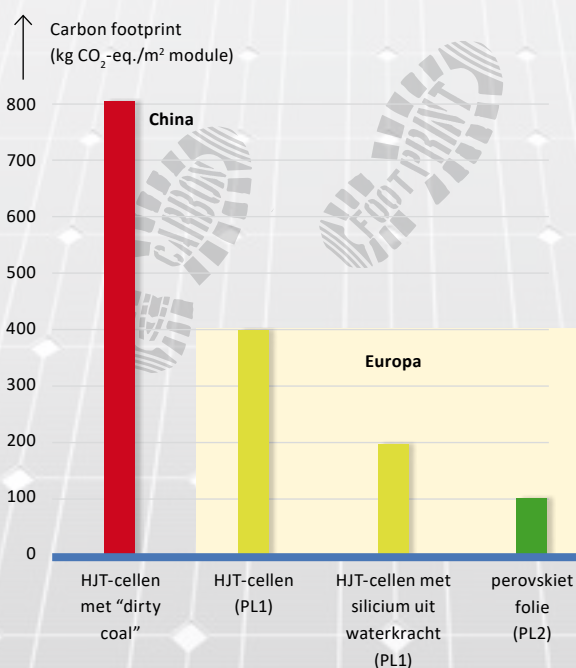
In de Zon-PV toepassingen voor BIPV, IIPV en VIPV wordt het gebruik van loodhoudende soldeer en PFAS-houdende kunststoffen vermeden. Bij het elektrisch verbinden van de cellen van de modules wordt het gebruik van lood en bismut uitgesloten en alternatieve verbindingstechnologieën ontwikkeld. De panelen van Energyra hebben reeds loodvrije cel-interconnectie. Bij het gebruik van loodhoudende perovskieten wordt gezocht naar alternatieven (lood vervangen door tin), terwijl parallel effectieve encapsulatieprocessen worden ontwikkeld.

Recycling

Uitgangspunt is ontwerp voor volledige recyclebaarheid (*circularity-by-design*) van de zonnepanelen/foilies en het complete Zon-PV-systeem volgens de R-ladder: *Reduce, Re-use, Repair, Refurbish, Remanufacturing* en *Repurpose, Recycling* (verminderen, hergebruiken, repareren, opknappen, reviseren en hergebruiken). De daadwerkelijke inzameling en recycling van gebruikte panelen valt buiten de scope van het Groeifondsvoorstel; goede recyclebaarheid van de panelen inclusief het herwinnen van grondstoffen wordt echter vanuit de ontwerp-fase ondersteund. Stichting OPEN is verantwoordelijk voor de recycling van zonnepanelen; grootschalige recycling vindt pas ruim na de looptijd van het Groeifondsprogramma plaats. Om het recyclingproces mogelijk te maken, worden encapsulatiematerialen ontwikkeld die aan het eind van de levensduur van de panelen eenvoudig te scheiden zijn. Voor silicium-HJT-cellen is het doel bij recycling zowel het silicium en als het zilver uit de metaalcontacten op een hoogwaardige manier te hergebruiken, bij voorkeur in nieuwe zonnecellen.

Voor perovskietfolies wordt de lagenstructuur (plastic, actieve lagen, extractielagen en metallisatie) zo ontwikkeld dat de

Figuur 15 • Vergelijking van carbon footprint voor siliciumcellen in China en Europa



Bronnen: Ref. 49,50



Tabel 3 • Milieuwinst & Circulariteit van Zon-PV.

Realisatie van circularity-by-design in Zon-PV-technologie voor silicium-HJT-cellen, perovskietfolies, tandemcellen en producten voor BIPV, IIPV en VIPV. Vermindering van het gebruik van schaarse materialen, gebruik van Europese materiaal-waardeketens, en ontwikkeling van nieuwe recyclingtechnieken specifiek voor Zon-PV.

Programmalijn	Materiaalgebruik minimaliseren	CO ₂ -voetafdruk verlagen	Giftige stoffen en kritieke materialen vermijden	Recycling eenvoudiger maken
<p>1</p>  <p>Silicium-HJT-cellen</p>	<p>Dikte siliciumwafer verlagen van 160 naar 120 micrometer</p> <ul style="list-style-type: none"> • MCPV • TNO • SolarLab 	<p>Cel-productie met duurzame energie, siliciumwafers gemaakt met waterkracht; dünnere wafers, wafers van recycled silicium</p> <ul style="list-style-type: none"> • MCPV • TNO • SolarLab 	<p>Zilver vervangen door koper, indium-tin-oxide vervangen door bijvoorbeeld zink-oxide</p> <ul style="list-style-type: none"> • MCPV • TNO • SolarLab 	<p>Indium, zilver, silicium recyclen</p> <ul style="list-style-type: none"> • MCPV <p>Recyclebare plastic folie</p> <ul style="list-style-type: none"> • HyET
<p>2</p>  <p>Perovskietfolies</p>	<p>Dunne folies: laag materiaalgebruik</p> <ul style="list-style-type: none"> • HyET • TNO <p>Gebruik bio-based plastics</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solarge • SolarLab 	<p>Dunne folies: laag energieverbruik bij fabricage</p> <ul style="list-style-type: none"> • HyET • TNO <p>Dunne folies: minder energieverbruik recycling</p> <ul style="list-style-type: none"> • HyET • TNO 	<p>Gebruik van oplosmiddel DMSO in plaats van DMF</p> <ul style="list-style-type: none"> • HyET • TNO • SolarLab <p>Gebruik van tin in plaats van lood, waar mogelijk</p> <ul style="list-style-type: none"> • HyET • TNO • SolarLab 	<p>Scheidingsproces polymeer en aluminium</p> <ul style="list-style-type: none"> • HyET <p>Proces en instrumentatie voor scheiding van lagen en terugwinning materialen</p> <ul style="list-style-type: none"> • TNO • HyET
<p>3</p>  <p>Zon-PV integratie tandemcellen</p>	<p>Gebruik geïntegreerde Zon-PV-producten als bouwelementen verlaagt materiaalgebruik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energyra • Exasun • Solarge • TNO <p>Glasvezel 'skins' maken Zon-PV producten 50% lichter</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compoform • Solarge <p>Gebruik gerecycled glas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exasun <p>Efficiënter produceren met minder materiaal-reststromen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lightyear • TNO 	<p>Gebruik HJT-cellen, perovskietfolies en tandem-cellen met lage CO₂-voetafdruk</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solarge • Energyra • Exasun • IM Efficiency • Lightyear • TNO • SolarLab <p>Verlengen levensduur (>50 jr); duurzame materialen met betere LCA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exasun • TNO • SolarLab <p>Productie met lagere CO₂-voetafdruk t.o.v. reguliere auto's</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lightyear <p>Elektrisch rijden verlaagt CO₂-emissies, integratie Zon-PV verlaagt druk op elektriciteitsnet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lightyear • IM Efficiency 	<p>PFAS-vrije folies</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solarge • Exasun <p>Loodvrije interconnectie van de cellen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exasun • Energyra • TNO 	<p>Release encapsulant integreren</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exasun • TNO <p>Herverwerking Li-batterijen</p> <ul style="list-style-type: none"> • IM Efficiency <p>Materiaalpaspoort bij panelen en systemen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exasun • Solarge • Energyra <p>Demontabele Zon-PV-integratie voor optimale recycling en hergebruik duurzame montage systemen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exasun

lagen gescheiden en apart gerecycled kunnen worden. We ontwikkelen daarvoor een speciaal scheidingsstool om de perovskietfolies uit elkaar te halen. Het perovskiet wordt vervolgens opgelost in oplosmiddelen zoals water en DMSO; de plastic lagen worden gescheiden en ook de overige actieve lagen worden apart in oplosmiddelen teruggewonnen en opnieuw gebruikt om zonnepanelen te maken. Ook in de ontwikkeling van BIPV-, IIPV- en VIPV-systemen is het

gebruik van duurzame materialen alsmede het scheiden en terugwinnen van de hoogwaardige materialen het uitgangspunt. *Circularity-by-design* geldt voor het complete geïntegreerde eindproduct op Zon-PV systeemniveau. Ook voor de combinatie van perovskietfolies en silicium-HJT-cellen in tandempanelen worden materialen toegepast die goed gescheiden moeten kunnen worden voor recycling, aansluitend op het circulaire ontwerp van de beide (sub)modules.

ESG-regelgeving

Tot slot noemen we de Environmental, Social en Governance (ESG) regelgeving die in 2025 wordt ingevoerd en bedrijven in hun periodieke rapportages verplicht tot een duurzaamheidsrapportage. Waar alle deelnemende bedrijven zich richten op duurzame technologie, spreekt het voor zich dat zij in alle aspecten van hun bedrijfsvoering sterk geïmmiteerd zullen zijn aan verantwoorde implementatie van ESG-aspecten. Hieronder verstaan we ook de zorgelijke situatie van het gebruik van dwangarbeid in de productie van silicium voor Zon-PV onder de Oeigoerse bevolking in China.^{51,52} Doel van dit programma is om op termijn dit gebruik geheel uit te bannen, en silicium van Europese fabrikanten betrekken. Zolang de Europese capaciteit nog niet voldoet zullen we, mede aan de hand van de rapporten^{51,52} de Chinese toeleveranciers zo kiezen dat de producten (zoveel mogelijk) dwangarbeid-vrij zijn. Dit gaat veelal gepaard met hogere kosten, wat een aspect is van het marktfalen dat in Sectie 2.3 is beschreven. Omdat circulariteit in alle Programmalijnen een kernrol speelt stellen we een Circulariteitsadviesraad in die zich doorsnijdt door de Programmalijnen zal richten op het scherp definiëren van het begrip circulariteit binnen het voorstel, het meetbaar maken van circulariteit van de ontwikkelde innovaties, en het coördineren van de overkoepelende circulariteitsstrategieën. Details zijn vermeld in Appendix I.

3.1.2 Praktische uitvoerbaarheid

Planspecifieke risico's

Het voorstel is gebaseerd op realistische basisscenario's. Desalniettemin zijn de technologieontwikkeling en valorisatie daarvan voor de maatschappij complexe processen waarin resultaten kunnen tegenvallen of geplande routes anders kunnen verlopen dan voorzien. De bouw van infrastructuur kan vertraging oplopen en innovatieprogramma's kunnen te maken krijgen met tegenvallers. Bij opschaling van de nieuwe technologie kan vertraging optreden in de ontwikkeling van de productietechnologie en logistiek. Ook kunnen wijzigingen in overheidsbeleid (in Nederland en de EU), zowel in wetgeving als in investeringsklimaat, de voortgang van het programma beïnvloeden. Zoals bij ieder programma dat is gebaseerd op ontwikkeling van *state-of-the-art*-technologie, is daarom voortdurende monitoring van resultaten essentieel. Hiervoor dienen de vooraf vastgestelde mijlpalen en KPI's als referentie. Zo kunnen de bouw en innovatieplannen steeds worden bijgestuurd om het einddoel te bereiken. Deze monitoring vindt maandelijks plaats via de bijeenkomsten van Programmalijnen en Programmabestuur. Ook naar aanleiding van de gedetailleerde midterm review kan het programma worden bijgestuurd. Met de geïntegreerde opbouw van het programma, met kennis- en technologiepartners rond de

hele TRL-keten, worden de risico's geminimaliseerd. Daarbij is het belangrijk dat het voorstel als integraal ecosysteemprogramma wordt gefinancierd en uitgevoerd, omdat de onderlinge samenhang tussen investeringen, ecosysteemspelers, faciliteiten en talent zeer sterk is. Voor de bouw van infrastructuur zijn bouwvergunningen, milieuvergunningen en andere vergunningen vereist. Hiermee bestaat bij de partners ervaring, die zal worden ingezet. Voor het uitvoeren van het programma is een aanzienlijke hoeveelheid personeel vereist. Met een Human Capital Plan leiden we dit personeel op.



Human Capital

Analyse: nieuwe werkgelegenheid, arbeidsbehoefte van het Zon-PV-Groefondsprogramma

Voor Programmalijn 1 wordt in Veendam (provincie Groningen) een zonnecelfabriek gevestigd die 600 à 700 banen creëert voor mbo-, hbo- en wo-geschoold personeel als operators, technici, procesengineers en managers. Voor Programmalijn 2 worden voor de opschaling van de fabriek van HyET Solar in Arnhem ca. 150 banen gecreëerd. Voor Programmalijn 3 zullen bij bedrijven in de regio's Brabant en Noord- en Zuid-Holland ca. 500 extra banen worden gecreëerd. De opschaling van de faciliteiten in de drie Programmalijnen leidt ook tot nieuwe werkgelegenheid bij toeleveranciers van materialen, apparatuur en technische services, geschat op ca. 1.000 banen voor mbo- en hbo-geschoold personeel, verspreid over het land. Tijdens de bouw van de verschillende faciliteiten zal de arbeidsvraag tijdelijk hoger liggen, bij bouwbedrijven, installateurs en leveranciers van machines. Het technologisch onderzoek bij TNO zal werk bieden aan ca. 16 technisch geschoolde engineers. Het funderend onderzoek bij de academische partners wordt uitgevoerd door 40 promovendi in twee opeenvolgende fases van het programma. Er zal nauw worden samengewerkt en regelmatig uitwisseling plaatsvinden tussen de werknemers bij de bedrijven, TNO, hogescholen en academische partners.

Het ligt in de verwachting dat uit het programma een aanzienlijk aantal startups zal voortkomen die werk bieden aan avontuurlijke jonge technologie-experts. Ook zal via deze route de nieuwe Nederlandse Zon-PV-maakindustrie een belangrijke aanjager worden van werkgelegenheid voor midden- en hooggekwalificeerde werknemers die een belangrijke extra bijdrage zullen leveren aan de regionale en landelijke economie.

Op het moment van schrijven kent de arbeidsmarkt krapte in veel sectoren. Op de langere termijn zal door economische fluctuaties de druk op de arbeidsmarkt ook weer

kunnen afnemen. Bovendien zal de werkgelegenheid in een aantal bestaande ‘fossiele’ industrietakken structureel teruglopen als gevolg van de energietransitie. Met de nieuwe Zon-PV-technologie ontstaat een aantrekkelijke nieuwe arbeidseconomie rond duurzame energie hightech. De nieuwe Zon-PV-industrie is zodoende dus van groot strategisch belang als nieuwe groeisector. Nederland kan met het uitvoeren van dit programma een leidende rol verwerven in Europa door hier snel en strategisch op in te zetten. Om het programma te versterken zullen de aangesloten hbo-opleidingen met specifieke Zon-PV-modules en in *living labs*, studenten voorbereiden op werk in de sector. Verder zullen de deelnemende bedrijven een groot aantal stageplekken aanbieden aan mbo’ers en hbo’ers, en zo intern personeel opleiden. Binnen het SolarLab-consortium worden jaarlijks tientallen promovendi en honderden masterstudenten opgeleid met expertise in Zon-PV, die vervolgens werk kunnen vinden bij de deelnemende bedrijven. Een gedetailleerde analyse en planbeschrijving staat in Appendix F.

Interventie en samenwerking

Om voldoende werknemers met passend kwalificaties te kunnen werven, sluiten we zoveel mogelijk aan bij bestaande initiatieven:

- Aanvalsplan Techniek⁵³ dat een gecoördineerd actieplan uitvoert om in 10 jaar tijd 60.000 technische vacatures in te vullen.
- Platform Talent voor Technologie⁵⁴, een centrum dat technologisch onderwijs en arbeidsmarkt met elkaar verbindt.
- FastSwitch⁵⁵, het landelijk platform voor innovatieve omscholingstrajecten bij hbo-opleidingen.
- Hbo-initiatief Be an Engineer⁵⁶.
- Het netwerk Leven Lang Ontwikkelen (LLO), dat door de Sociaal Economisch Raad (SER) in kaart is gebracht⁵⁷.
- Diverse BSc- en MSc-opleidingen met Zon-PV-curriculum bij de aangesloten kennisinstellingen.

Ieder van deze initiatieven en organisaties heeft een gedetailleerd uitgewerkt actieplan dat direct aansluit bij de behoeftes aan technisch geschoold personeel in het Groeifondsprogramma. We zullen als consortium in gesprek gaan met deze initiatieven en de arbeidsvraag uit dit programma onder de aandacht brengen. Bovenstaande initiatieven werken in brede zin aan de arbeidskrachte voor technisch geschoold personeel. Om daarnaast te zorgen dat de beschikbare arbeidskrachten passende kennis en vaardigheden bezitten specifiek op het gebied van de Zon-PV-technologie, zullen we de volgende gerichte interventies uitvoeren:

1. Curriculumontwikkeling. Op hbo-niveau zullen we specifiek Zon-PV-curriculum ontwikkelen. Daarnaast koppelen we praktijkgericht onderzoek en onderwijs in *living labs* bij vier hogescholen (Hanzehogeschool, HvA, Saxion en Zuyd). Voor brede afstemming zullen we samenwerken met het lectorenplatform Urban Energy en het Regieorgaan SIA. Met de MBO Raad verkennen we de mogelijkheden om binnen mbo-onderwijs met steun van het Groeifondsprogramma de aandacht voor Zon-PV-specifieke technische opleidingen te versterken. De universitaire Zon-PV-onderzoeksgroepen die aan het Groeifondsprogramma deelnemen, verzorgen bachelor- en master-onderwijs op gebied van Zon-PV. De capaciteit hiervan, en het aantal studenten dat wordt opgeleid (honderden per jaar), is voldoende om de vereiste 40 promotieplekken en andere banen voor wo-geschoold personeel binnen het programma te kunnen invullen (zie Appendix F).

2. Stageplekken. De deelnemende bedrijven hebben al goede relaties met de lokale hogescholen en Regionale Opleidingscentra (ROC's) en bieden met regelmaat stageplekken en afstudeeropdrachten aan. In het Groeifondsprogramma zullen de deelnemende bedrijven een groot aantal nieuwe stageplekken creëren om zo studenten de kans te geven de voor de bedrijven belangrijke vaardigheden verder te ontwikkelen. Veel van de stagiairs zullen vervolgens werk kunnen vinden bij de Zon-PV-bedrijven. Gedurende de looptijd van het voorstel zal jaarlijks aan 40 mbo-, 40 hbo- en 40 wo-afstudeer- en stageplekken worden aangeboden.

3. Living labs. We gebruiken de Roadmap Human Capital van de Topsectoren⁶⁰ die effectieve vormen van samenwerking beschrijft tussen beroeps- en hoger onderwijs, bedrijfsleven en onderzoeksinstituten. Hier doen studenten en onderzoekers kennis op die direct aansluit bij de Zon-PV-arbeidsmarkt. Ook sluiten we aan bij het eerder gehonoreerde Groeifondsvoorstel ‘Opschaling van publiek-private samenwerkingen in het beroepsonderwijs’. We financieren vier specifiek op Zon-PV gerichte *living labs* bij hogescholen die erkende expertise hebben op het gebied van Zon-PV en gerelateerde materiaalkunde (Hogeschool Zuyd, Hogeschool van Amsterdam en Hogeschool Saxion en Hanzehogeschool Groningen).





4. Zij-instroom. De nieuwe Zon-PV-arbeidsmarkt biedt interessante mogelijkheden voor mensen met moeilijke toegang tot de arbeidsmarkt (jonge schoolverlaters, werkloze 50-plussers, asielzoekers met een verblijfsvergunning en mensen met een arbeidsbeperking). Exasun, een van de deelnemende bedrijven, heeft uit deze poule met succes een groot aantal werknemers geworven. We volgen dit voorbeeld en streven ernaar om binnen het Groeifondsprogramma jaarlijks 20 van de benodigde banen in te vullen via deze route.

5. Plan Noord-Nederland. Voor de grote arbeidsvraag van de MCPV-fabriek in Groningen, ontwikkelen we met de Noordelijke Ontwikkelingsmaatschappij (NOM) een plan voor werving en bijscholing van personeel. Binnen Programmabestuur en -bureau zal de human capital portefeuille duidelijk belegd worden, zodat het opstarten en uitvoeren van bovenstaande interventies effectief kan worden uitgevoerd.

Valorisatie

Het Zon-PV programma mobiliseert de nationale PV gemeenschap om de grenzen in het funderend en technologisch Zon-PV onderzoek te verleggen, de geselecteerde technologieën door te ontwikkelen tot in de industrialisatie fase, substantiële omzet te creëren via producten en diensten, en vervolgens weer nieuwe innovaties te ontwikkelen. Alle geplande innovatie-activiteiten op de verschillende TRL niveaus in de drie Programmalijnen dragen bij aan een industriële bestemming.

De valorisatie strategie van het Zon-PV Groeifondsprogramma is opgebouwd als een drietraps-raket. Als eerste trap heeft iedere Programmalijn al in de eerste helft van het Groeifondsprogramma een goed gedefinieerde industrialisatie- en opschalings-doelstelling. Deze wordt voor iedere programmalijn door een van de industriële consortium partners gerealiseerd, op basis van een of meer van de technologieën die in de eerste innovatieprogramma's worden ontwikkeld. Voortbouwend op deze initiële technologieën, en daarnaast gevoed door het funderend innovatieprogramma van het SolarLab programma en toegepast onderzoek bij TNO, hebben deze ondernemingen vervolgens de elementen voor een tweede trap van industriële en productinnovatie in de tweede helft van het Groeifondsprogramma. De technologieën voor deze tweede innovatiegolf zijn al duidelijk geïdentificeerd en het ontwikkelwerk hiervoor is binnen het Groeifondsprogramma gepland. De termijn waarop deze technologieën worden gecommercialiseerd ligt verder weg en is op dit moment minder scherp te bepalen. De derde trap wordt gevormd door het nieuwe valorisatie potentieel dat voortkomt uit het groeiende brede PV ecosysteem dat gaandeweg dankzij het Groeifondsprogramma wordt opgebouwd. Het programma vormt zo de motor voor nieuwe innovaties in de toekomst, ook na de Groeifondsperiode. Precieze innovatieprojecten en producten kunnen nu nog niet gedefinieerd worden, maar het is de sterke verwachting dat een groot aantal nieuwe initiatieven en kansen zullen ontstaan voor innovatieve technologieën en producten, start-ups

en scale-ups, en business development door bestaande bedrijven in de machinebouw- en de Zon-PV-sector, in het bijzonder ook het mkb.

Voor het benutten van valorisatie-kansen in de Zon-PV maakindustrie zullen we actief samenwerken met bestaande organisaties, met name de Regionale Ontwikkelings Maatschappijen (ROM) en Invest-NL, die over de sterke expertise, netwerken en financiële middelen beschikken. Ook start-up incubators rond de kennisinstellingen zullen hierbij een rol spelen. De Brabantse BOM heeft al sinds jaren een focus op Zon-PV en heeft al meerdere startups in de sector actief ondersteund, vaak in relatie met TNO dat een belangrijke partner in ons Groeifonds consortium is. De Noordelijke NOM is in onderhandeling om een participatie in de start-up fase van MCPV te nemen met het oog op de te bouwen 3 GW_p/jaar fabriek voor HJT cellen in Programmaliijn 1. Ook Invest-NL richt een focus op de Zon-PV sector en is reeds actief met partners uit het Zon-PV consortium: in september 2022 heeft Invest-NL een investering in Lightyear gedaan, en op het moment van indienen van dit Groeifondsprogramma is Invest-NL in onderhandeling over een investering in MCPV. Invest-NL is zo een belangrijke partner in het programma die ook in de toekomst, daar waar dat voor alle partijen opportuun is, betrokken kan worden in investeringen in nieuwe innovaties en bedrijven. De rol van InvestNL is apart beschreven in Appendix D.

Ook 'publieke valorisatie', door middel van communicatie over de voortgang en resultaten van het Zon-PV programma via de diverse media en nieuwskanalen, krijgt sterke aandacht binnen het programma. Dit gebeurt via de communicatiekanalen van de individuele consortiumpartners en via een specifiek voor het programma ontwikkelde communicatie strategie van het Programmabureau. Het doel is om in de publieke ruimte een overkoepelend en evenwichtig beeld van de Zon-PV technologie te creëren met aandacht voor de technische/wetenschappelijke vooruitgang, de ontwikkeling van de bedrijvigheid, en algemene bewustwording over de energietransitie en de plaats van Zon-PV daarin.

Monitoring en evaluatie

Voor het voorstel zijn *Key Performance Indicators* (KPI's) gedefinieerd om voortgang en succes te meten. De KPI's volgen de *Theory of Change* categorieën: *output - intermediate outcome - outcome* en zijn in detail vermeld in de Appendices. De impact die vervolgens wordt gegenereerd wordt beschreven in Hoofdstuk 5. Het Programmabestuur, ondersteund door het Programmabureau, is verantwoordelijk voor monitoring en bijsturing en heeft daarmee verantwoordelijkheid en invloed op de sturing. Door gebruik te maken van mijlpalen kan het programmabestuur over de toekenning van middelen beslissen en hierdoor de voortgang scherp bewaken.

3.2 Samenwerking en governance

3.2.1 Deelnemende partijen

Het initiatief voor dit voorstel, ingediend door het ministerie van EZK, is genomen door een kernteam dat deels voortkomt uit het Platform MaterialenNL, dat een groot aantal stakeholders binnen het bedrijfsleven, kennisinstellingen en overheid op het gebied van materialen bij elkaar heeft gebracht. Dit kernteam is aangevuld met initiatiefnemers vanuit MCPV, Solarge en TNO. Het kernteam heeft vervolgens een aantal mkb- en grotere bedrijven in de Zon-PV-sector benaderd die het voorstel konden versterken. Via een workshop bij het ministerie van EZK zijn bedrijven geïnformeerd over het doel van het programma en in de gelegenheid gesteld innovatieplannen in te dienen. Vervolgens heeft het kernteam na een tweede workshop besloten welke partijen het voorstel zouden versterken en zijn de gezamenlijke plannen verder met elkaar geïntegreerd. Een criterium daarbij was dat partijen minimaal 5 miljoen euro uit eigen middelen zouden bijdragen aan de innovatieprogramma's. Het zo gevormde consortium van bedrijven omvat de volledige keten van ontwikkeling van nieuwe technologie, productie en implementatie van nieuwe Zon-PV-producten.

 **Met een innovatieprogramma kunnen we in Nederland silicium-HJT-zonnecellen produceren die op prijs concurreren met de Aziatische cellen.**

MCPV is een start-up team van gerenommeerde ondernemers en Zon-PV-experts dat zich tot doel stelt grootschalige cel- en module-productiecapaciteit te realiseren. HyET Solar ontwikkelt flexibele zonnepanelen en bouwt daarvoor een fabriek in Arnhem. Solarge/Compofarm, Energyra en Exasun vertegenwoordigen sterke Nederlandse expertise in innovatieve BIPV-technologie. Lightyear en IM Efficiency passen de ontwikkelde technologie toe in Zon-PV-voertuigen. Vanwege bijzondere expertise in de elektrische integratie voor tandemzonnecellen is Taylor tot het consortium toegevoegd, met als enige een eigen bijdrage kleiner dan 5 miljoen euro. Alle bedrijven behalve Lightyear zijn formeel mkb, en met dit voorstel zullen zij allen op korte termijn aanzienlijk groeien.

Deze bedrijven/organisaties hebben een steunbrief aangeleverd.

BEDRIJVEN

- MCPV
- HyET Solar
- Solarge
- Compoform
- Exasun
- Energyra
- IM Efficiency
- Lightyear
- Taylor

ONDERZOEKS-ORGANISATIES

- TNO
- NWO

SOLARLAB R&D ORGANISATIE

- NWO-Instituut AMOLF
- Rijksuniversiteit Groningen
- Technische Universiteit Eindhoven
- Technische Universiteit Delft
- Universiteit Twente
- Universiteit Utrecht
- Universiteit van Amsterdam

HOGESCHOLEN

- Hanzehogeschool
- Zuyd Hogeschool
- Hogeschool van Amsterdam
- Saxion

ONDERSTEUNDE NATIONALE ORGANISATIES

- Holland Solar
- European Solar Manufacturing Council
- Nationale Consortia Zon-op-Gebouw / Infra
- Nederlandse Vereniging voor Duurzame energie
- Alliance for Solar on Mobility
- Netherlands Energy Research Alliance
- Platform MaterialenNL
- Stichting OPEN
- TKI Urban Energy
- BIPV Nederland

REGIONALE ONTWIKKELINGS-MAATSCHAPPIJE

- NOM
- BOM
- Brainport Development

ZON-PV ECOSYSTEEM

APPARATUURBOUWERS

- Tempress
- VDL ETG
- Levitech
- ASM
- Demcon
- D&M
- Maan
- SALD
- InnPlate
- Morphotonics

ECOSYSTEEM VAN BEDRIJVEN DIE HET VOORSTEL STEUNEN

MATERIAAL-LEVERANCIERS

- Sabic
- Endurans
- Yparex
- Norkem
- Akzo Nobel

MEETSISTEMEN

- ReraSolution
- Eternal Sun
- Duflex
- DoMicro
- BoschRexroth

BOUWBEDRIJVEN, BOUWLEVERANCIERS

- Heijmans
- Wienerberger
- Dijkstra Draisma
- Trespa
- Knauf

START-UPS, SCALE-UPS

- ZigZagSolar
- SolarVisuals
- Solinso
- Kameleon
- Stiels
- Asat Technologies
- Sunchip
- Enfoil
- RC panels

INVESTEERDERS

- Groenleven
- Sunrock

INTERNATIONALE PV ORGANISATIES

- Cambridge University
- CEA-INES
- Fraunhofer ISE

De academische partijen in SolarLab (AMOLF, RUG, TUD, TUE, UT, UU, UvA) en TNO hebben een wereldwijd erkende leidende kennispositie en meerdere records op gebied van omzettingsrendement voor de innovatieve technologieën die het hart vormen van dit Groeifondsvoorstel.

De rol van iedere deelnemende partij is in Tabel 2 weergegeven en in detail beschreven in Appendices L, M en N voor de drie Programmaliijnen. Een korte beschrijving van iedere partner staat in Appendix C. Samen vormen deze partijen een zeer sterk ecosysteem voor Nederlandse zonneceltechnologie.

Door middel van een open call bij RVO, direct bij de start van het programma (2024), worden mkb-bedrijven in de BIPV-sector uitgenodigd aan het programma deel te nemen. Zo'n 20 mkb bedrijven hebben via een brief hun steun aan het voorstel uitgesproken en een deel heeft interesse getoond voor de RVO call. Via een open call bij NWO (2026) worden academische groepen uitgenodigd om nieuwe onderzoeksplannen in te dienen die het programma versterken.

Hoewel vanwege concurrentieoverwegingen geen buitenlandse partijen aan het consortium deelnemen, is de verwevenheid van het programma met het Europese Zon-PV-ecosysteem zeer sterk. MCPV, Solarge en Exasun zijn nauw betrokken bij initiatieven voor opzetten van Zon-PV-industrie in Europa. MCPV werkt met Europese partners aan het opzetten van een complete Zon-PV-waardeketen, van siliciumbasismateriaal tot panelen, in Europa. Meerdere deelnemers aan het programma zijn betrokken bij Europese

Zon-PV-programma's (Horizon Europe) rond silicium Zon-PV, perovskiet Zon-PV, BIPV en circulariteit en hebben sterke onderzoeksamenwerkingen met de leidende Zon-PV-organisaties in Europa.

Governance-structuur

De governance-structuur is ontworpen om transparantie en onafhankelijkheid te borgen en om doelmatig te sturen op de in het voorstel beschreven resultaten en impact (Figuur 16). Het programma wordt geleid door een Programmabestuur (PB) met ondersteuning van een Programmabureau dat verantwoordelijk is voor de praktische uitvoering. Tevens wordt een Programma-adviesraad (PA) voor inhoudelijke sturing ingesteld en een Raad van Toezicht (RvT). Om de voortgang in initiatieven rond circulariteit te bewaken, wordt een Circulariteit Adviesraad (CA) ingesteld. Een Human Capital Adviesraad (HCA) bewaakt de arbeidsmarktinitiatieven benodigd om het Groeifondsvoorstel te voorzien van voldoende personeel met de juiste kwalificaties.

De specifieke verantwoordelijkheden van deze organen zijn als volgt:

- **Het Programmabestuur (PB)** vormt het dagelijks bestuur van het programma en is eindverantwoordelijk voor de realisatie en uitvoering daarvan. Het PB heeft door die integrale verantwoordelijkheid een direct sturende en inhoudelijke rol. Het PB delegeert taken aan een fulltime operationeel directeur die de dagelijkse leiding van het programma voor diens rekening neemt. Het PB komt tweewekelijks bijeen en rapporteert aan de Raad van Toezicht.

Tabel 4 • Highlights uit de KPI tabellen in Appendices L, M en N, samengevat voor het gehele programma.

64 nieuwe Zon-PV producten	3 spin-outs	64 Zon-PV product innovaties	104 patenten	245 internationale Zon-PV publicaties
274 gebruikers van innovatie-infrastructuur	52 business cases	43 circulariteits innovaties	Gebruik Nederlandse zonnecellen in modules	79 proefschriften
2.300 banen	216 gezamenlijke innovatieprojecten	129 publicaties voor niet-specialisten	11,6 GW _p tot 2031	119 master studenten
87 mkb kennisuitwisselingen		38 workshops	500 presentaties/lezingen	Omzet van de fabricage-infrastructuur 6.754 M€
20 nieuwe Europese grants		72 nieuwe PPS samenwerkingen		214 opgeleide duurzaamheidsexperts

- **De Programma-adviesraad (PA)** geeft inhoudelijk advies aan het PB en beoordeelt tevens de voortgang in de Programmalijnen. De PA brengt kennis in over materialen, technologieontwikkeling, toepassingsgebieden, opschaling naar de markt, overheidsbeleid, internationale ontwikkelingen en het starten en ontwikkelen van nieuwe bedrijvigheid. De PA bestaat uit vertegenwoordigers van bedrijven (grote ondernemingen en mkb), wetenschap, hogescholen, Topsector Energie, Invest-NL, missieteam, brancheorganisaties en relevante overheidsorganen. De PA komt ieder kwartaal bijeen en rapporteert aan het PB en de Raad van Toezicht.

- **De Raad van Toezicht (RvT)** houdt toezicht op de uitvoering, voortgang en resultaten van het programma. Leden zijn op persoonlijke titel lid van de RvT en zijn vertegenwoordigers van bedrijven, toegepast-onderzoeksorganisaties, universiteiten en relevante overheidsorganen. De RvT legt verantwoording af aan het ministerie van EZK en komt ieder kwartaal bijeen.

- **De Circulariteitsadviesraad (CA)** geeft inhoudelijk advies aan het PB over alle aspecten rond duurzaamheid en circulariteit om zo de verwevenheid van circulariteitsdoelen in het hele programma te helpen borgen. Leden zijn experts op dit gebied uit bedrijven, wetenschap en relevante overheidsorganen. Ook de CA komt ieder kwartaal bijeen en rapporteert aan de PB en de Raad van Toezicht.

- **De Human Capital Adviesraad (HCA)** coördineert de activiteiten bij hogescholen en regionale ontwikkelingscentra (mbo) voor het opzetten van nieuwe onderwijsprogramma's, leertrajecten en onderzoeksprojecten rond Zon-PV en duurzame energie. Ook de HCA komt ieder kwartaal bijeen en rapporteert aan de PB en de Raad van Toezicht.

Het PB heeft beschikking over een Programmabureau met uitvoerende capaciteit op verschillende gebieden. Het Programmabureau ondersteunt bij de uitvoering van het programma, het maken van financiële rapportages, het identificeren en verzilveren van nieuwe financieringskansen, het organiseren van workshops en bijeenkomsten, het actief lobbyen bij de EU voor de Europese Zon-PV-waardeketen, en het verzorgen van communicatie met actief gebruik van sociale en traditionele media. Ook biedt het Programmabureau juridische ondersteuning rondom contracten en intellectueel eigendom. Het Programmabureau organiseert een jaarlijkse conferentie die alle partijen in het programma bij elkaar brengt om kennis te delen, nieuwe verbindingen te leggen, business-ontwikkeling te stimuleren en toetreding van nieuwe partijen te faciliteren. Jaarlijks wordt de voortgang van het programma door de PA geëvalueerd en worden de bevindingen gedeeld met de RvT. Halverwege de looptijd van het programma zal, onder leiding



Installatie van Solarge licht-gewicht zonnepanelen voor dak- en gevelintegratie

van de PA, een uitgebreide midterm review plaatsvinden waarvoor de PA eenmalig verder wordt uitgebreid om een onafhankelijke evaluatie te borgen. Op basis van deze review kan het PB samen met de RvT het programma zo nodig bijsturen. Het ministerie van EZK benoemt een waarnemer die aanwezig is bij vergaderingen van het PB. Appendix E geeft een gedetailleerd overzicht van de personele invulling van de bestuursorganen en verantwoordelijkheden.

Doelen SMART gedefinieerd

De doelen voor het programmamanagement zijn allen SMART gedefinieerd:

- **Specific** – Het programma richt u op een specifiek doel: het ontwikkelen en op de markt brengen van nieuwe Zon-PV-producten in Nederland die de energietransitie helpen versnellen en daarbij economisch en maatschappelijk verdienvermogen creëren.
- **Measurable** – De voortgang van het programma wordt gemeten aan de hand van scherp gedefinieerde milestones en deliverables, met key performance indicators (KPI's) voor ieder programmaonderdeel.
- **Assignable** – De verschillende taken in het programma zijn op een helder gestructureerde manier belegd bij Programmbestuur, Programmalijnleiders en -kernteams. Er is een heldere rapporteringsstructuur. Elke mijlpaal kent een unieke eigenaar.
- **Realistic** – Met het begrote budget is het realistisch te verwachten dat de verwachte resultaten (output, outcomes, KPI's) worden gehaald.
- **Time-related** – Het bereiken van specifieke resultaten is vastgelegd in heldere tijdslijnen voor aparte Programmalijnen en -fases.

Tabel 5 • Deelnemende partijen en hun rol in het programma

Rol in het programma



Programmalijn 1

Programmalijn 2

Programmalijn 3

HJT celtechnologie en fabricage

Perovskietfolie pilotproductie

Geïntegreerde PV producten, tandem zonne-panels/folies

Doelstelling Groeifonds-programma

Doelstelling industrieel productieniveau

Bedrijf Product

MCPV

Silicium HJT zonnecellen

Ontwikkeling en productie van HJT cellen

Leverancier van HJT cellen voor PL3

300 GW_p/jaar pilot-productielijn HJT cellen

3 GW_p/jaar productielijn; 5x3 GW_p/jaar productielijnen in Nederland/Europa

HyET Solar

Perovskietfolies

Ontwikkeling en productie van perovskietfolies

• Ontwikkeling en productie van PV (tandem) folie
• Leverancier van perovskietfolies voor PL3

300 MW_p/jaar pilot-productielijn perovskietfolies (1400 mm web)

1 GW_p/jaar productielijn

Solarge

Lichtgewicht PV-elementen

Gebruiker van HJT cellen in lichtgewicht PV panelen in PL3

Gebruiker van perovskietfolies in lichtgewicht PV panelen in PL3

Ontwikkeling en productie van lichtgewicht PV-panelen

1 GW_p/jaar productielijn

Compoform

Composiet plaatmateriaal voor PV Integratie

Ontwikkeling en productie van polymeer-backsheets voor lichtgewicht Solarge panelen

1 GW_p/jaar productielijn: 5 miljoen m² backsheets

Exasun

Dakgeïntegreerde PV panelen

Gebruiker van HJT cellen in PV producten in PL3

Gebruiker van perovskietfolies in PV producten in PL3

Ontwikkeling en productie van geïntegreerde PV systemen

• Pilot verbetering circulariteit
• Pilot toepassing nieuwe markten
• Pilot nieuwe productielijn circulaire PV producten

300-400 MW_p/jaar productielijn

Energyra

PV panelen en klant-specifieke PV-laminaten

Gebruiker van HJT cellen in lichtgewicht PV producten in PL3

Gebruiker van perovskietfolies in lichtgewicht PV producten in PL3

• Ontwikkeling en productie van Si/perovskiet tandem-laminaten
• Scale-up van mass-customization pilot productie naar industrialisatie

Pilot-productielijn

1, 2 GW_p/jaar

IM Efficiency

Kunststof-panelen voor PV-integratie in voertuigen

Innovaties HJT cellen voor VIPV toepassing in PL3

Innovaties perovskietfolies voor VIPV toepassing in PL3

Ontwikkeling en productie van geïntegreerde Zon-PV toepassing in vrachtwagen trailers

Pilots voor inpassing PV in vrachtwagen trailers

• 2025: 1.000 trailers/jaar (1 MW_p/jaar)
• 2030: 10.000 trailers/jaar (15 MW_p/jaar)
• 2035: 50.000 trailers/jaar (150 MW_p/jaar)

Lightyear

Geïntegreerde PV- auto's

Gebruiker van HJT cellen in Zon-PV-auto's in PL3

Gebruiker van perovskietfolies in Zon-PV-auto's in PL3

Ontwikkeling en productie van geïntegreerde Zon-PV-auto's

• MCPV/Lightyear cel-integratie (TRL 6)
• SolarLab/Lightyear paneel (TRL 6) en pilotproductie van 5x6 Zon-PV-auto's
• Opschaling productielijn

• 36-72 MW_p/jaar auto's met HJT cellen
• 5-15 MW_p/jaar autos met dubbelgebogen modules Solarge panelen
• 156 MW_p/jaar opschaling technologie voor hoogwaardige VIPV-modules (200.000 voertuigen/jaar)

Taylor Technologies

Smart-electronica voor Zon-PV integratie

Ontwikkeling gespecialiseerde electronica

Ontwikkeling gespecialiseerde electronica

Integratie in producten van partners

TNO

Technologie ontwikkeling

Ontwikkeling HJT cel technologie

Ontwikkeling pilot-productie voor perovskietfolies

Ontwikkeling pilot-productie voor
• mass customization
• integratie 4T tandempanelen

Ontwikkeling innovaties; kennis- en technologie-overdracht naar commerciële partners

Kennis- en technologie-overdracht naar commerciële partners

SolarLab

Funderend onderzoek

Funderend onderzoek tbv PL1

Funderend onderzoek tbv PL2

Funderend onderzoek tbv PL3

Innovaties voor alle programmalijnen

NVT

Bemensing

Programmabestuur (PB)

Het PB bestaat uit 6 ervaren leden die in hun eigen organisatie een leidende rol op hoog niveau vervullen. Zij vormen samen een goede vertegenwoordiging van de bij het programma betrokken bedrijven, universiteiten, TNO en het Nederlandse Zon-PV/duurzame energie-landschap. Lidmaatschap van het PB is een parttime bezoldigde functie (0,2 fte). Om hun bestuurlijke, sturende en inhoudelijke taken goed te kunnen uitvoeren, zijn de volgende competenties in het PB vertegenwoordigd:

- Internationaal erkende expertise op het gebied van Zon-PV
- Verbindend leiderschap, intern in het programma én naar de buitenwereld (overheid, politiek, industriekennisinstellingen)
- Een sterk netwerk in Nederland en in Europa
- Maatschappelijke betrokkenheid alsmede kennis van en affiniteit met verduurzaming

Op basis van deze uitgangspunten wordt het PB als volgt samengesteld:

- Dr. Dick Heslinga (Vice-president operations, MCPV)
- Maria Fennis, MSc (Co-CEO, HyET Solar)
- Prof. Dr. Gerard de Leede (CTO, Solarge)
- Drs. Harm Jeeninga (Director market, TNO Energy Transition & Materials Transition)
- Prof. Dr. Albert Polman (Programmaleider, NWO-Instituut AMOLF)
- NN (met brede kennis van het Nederlandse duurzame energie-veld)

Van ieder van de PB-leden is een kort cv opgenomen in Appendix E. De Programma-adviesraad (PA) wordt na eventuele honorering van het voorstel samengesteld. Het ministerie van EZK benoemt de leden van de Raad van Toezicht (RvT).

Governance van de Programmalijnen

De uitvoering van het programma vindt plaats via drie Programmalijnen. Voor iedere Programmalijn wordt een Programmalijnleider aangesteld die de integrale leiding over de Programmalijn heeft. De Programmalijnleiders zijn verantwoordelijk voor de organisatie en uitvoering van het onderzoek binnen de Programmalijnen en zorgen voor voortdurende dialoog en afstemming tussen alle partners. Zij zijn tevens verantwoordelijk voor de onderlinge afstemming en kennisuitwisseling met de andere Programmalijnen. Ook dragen zij de verantwoordelijkheid voor afstemming met overige Zon-PV-initiatieven in Nederland en Europa. Per Programmalijn is de programmalijnleider voorzitter van een kernteam met daarin vertegenwoordigers van alle in de programmalijn deelnemende partijen. De programmalijnleiders hebben een belangrijke uitvoeringsverantwoordelijkheid. Zij vertegenwoordigen de volgende kenmerken:

Figuur 16 • Governance-structuur



- Expertise op het gebied van Zon-PV vanuit zowel technologie- als methodologieontwikkeling
- Erkend organisatievermogen, ervaring met sturing op voortgang en resultaten binnen afgesproken budgetten
- Commercieel inzicht voor valorisatie van de resultaten
- Verbindend leiderschap, intern in het programma en naar de buitenwereld (overheid, politiek, industrie, kennisinstellingen)
- Een sterk netwerk in Nederland en in Europa

De namen van de programmalijnleiders en de leden van de kernteams zijn vermeld in Appendix E.

Dwarsverbanden: SolarLab funderend onderzoek, Human Capital en Circulariteit

Naast de drie programmalijnen verzorgen drie verbindende programma's activiteiten die sterke synergie creëren tussen de programmalijnen.

- **Het SolarLab -programma** voor funderend onderzoek vindt plaats in onderzoeksprojecten die direct met de drie programmalijnen verbonden zijn. De SolarLab -programmaleider heeft tot taak de academische onderzoekers met elkaar te verbinden door:
 - Stimuleren van effectieve onderlinge samenwerking en delen van kennis tussen de academische onderzoekers.
 - Coördinatie van de bijsturing van het onderzoekprogramma zodat het te allen tijde goed aansluit bij ontwikkelingen in de Programmalijnen.



Mogelijke kleinschalige commerciële toepassingen van perovskietzonnepanelen.

- Bewaking dat het onderzoekprogramma goed gepositioneerd is ten opzichte van internationale ontwikkelingen.
- Afstemming van het gebruik van onderzoeksinfrastructuur.
- Coördinatie van fondsenwerving in Nederland en bij de EU (Horizon Europe).
- Coördinatie van de open call van NWO (2026).
- Het bewaken van de realisatie van de Deliverables en KPI's van het SolarLab.

- nieuwe initiatieven ter verrijking van het programma
- Verbinden van technologische, maatschappelijke en marktpartijen op het thema circulaire economie
- Bewaken dat de circulariteitsstrategieën goed gepositioneerd zijn ten opzichte van internationale ontwikkelingen
- Aansluiting borgen bij Europese en Nederlandse beleidsontwikkeling op het gebied van circulariteit.

De namen van de programmaleiders en de leden van deze dwarsverbandprogramma's zijn vermeld in Appendix E.



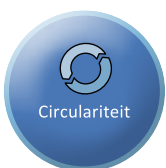
Human Capital

• **Het Human Capital-programma** heeft tot doel de arbeidsbehoefte die nodig is voor de uitvoering van het Groeifondsprogramma te voorzien van voldoende personeel met de juiste kwalificaties. De programmaleider Human Capital heeft tot taak:

- Het borgen van de aansluiting van de activiteiten uit het Human Capital programma met de ontwikkelingen van de programmalijnen.
- Het stimuleren van effectieve samenwerking tussen de deelnemende bedrijven en (regionale) kennisinstellingen.
- Het stimuleren van effectieve samenwerking tussen de deelnemende bedrijven en relevante overheidsinstellingen op het gebied van zij-instroom van arbeidskrachten.
- Het bewaken van de realisatie van de Deliverables en KPI's van de Human Capital Agenda.

Programmabureau

Het Programmabureau ondersteunt het Programmabestuur en draagt zorg voor de algehele coördinatie van het programma. Het verzorgt ondersteuning van bestuursleden, financiële rapportages en juridische overeenkomsten, en organiseert workshops, meetings, pr en marketing. Het Programmabureau wordt in de opstartfase gehuisvest bij NWO-Instituut AMOLF in het Science Park Amsterdam en later in een Innovation Center van Matrix NV, eveneens op het Amsterdam Science Park. AMOLF heeft jarenlange ervaring met het leiden en managen van grote (inter-)nationale programma's en heeft een flexibele ondersteuningsinfrastructuur die voor dit programma kan worden ingezet. Het bureaupersoneel wordt zoveel mogelijk via detachering samengesteld uit medewerkers van de deelnemende organisaties, zoals NWO, RVO, TNO en PPS-organisaties. Zo kan het bureau flexibel en efficiënt voortbouwen op bestaande relevante kennis en ervaring, met korte lijnen naar bestaande organisaties. Voor details van de bemensing van het bureau, zie Appendix E.



Circulariteit

• **Het Circulariteitsprogramma** verbindt nieuwe concepten voor circulair materiaalgebruik en circulair productontwerp die in ieder van de Programmalijnen worden ontwikkeld.

De circulariteitsprogrammaleider heeft tot taak:

- Het coördineren van de circulariteitsstrategieën van de verschillende partners
- Het signaleren van nieuwe kansen en het initiëren van

Inclusiviteit

Binnen het Groeifondsprogramma moet iedereen zich thuis voelen en gelijke kansen krijgen om zichzelf te ontplooiën, ongeacht gender, religie, geaardheid, culturele achtergrond,

nationaliteit of lichamelijke beperking. We streven naar een werkomgeving en organisatiestructuur waarin we gebruik maken van onderlinge verschillen om creativiteit, innovatie en talentontwikkeling maximaal te stimuleren. Gedurende de looptijd van het programma zal bij het invullen van leidinggevende posities rekening worden gehouden met de bevordering van de vertegenwoordiging van minderheden in de wetenschap en technologie, en wordt er gestreefd naar een gebalanceerde genderverdeling in alle organisatieonderdelen van het programma.

3.2.4 Stakeholders

De belangrijkste stakeholder in dit voorstel is de Nederlandse samenleving. De energietransitie is een van de grootste uitdagingen van onze tijd en de grootschalige implementatie van Zon-PV technologie is daarvan een majeur onderdeel. Belangrijke publieke stakeholders zijn voor het klimaatbeleid het ministerie van EZK en voor circulariteit het ministerie van I&W. Strategische onafhankelijkheid raakt aan de ministeries van EZK en Defensie en Zon-PV onderzoek en human capital betreft het ministerie van OCW. Naast de indienende partijen zal een groot aantal private stakeholders profiteren van de ontwikkeling van de nieuwe Zon-PV technologie, als leverancier en/of ontwikkelaar van materialen, machines en meetsystemen. Het voorstel is tevens van belang voor bouwbedrijven die de nieuwe Zon-PV producten implementeren; met een aantal van hen wordt in de innovatiefase al samengewerkt. De door MCPV ontwikkelde cellen vinden toepassing in de producten van de partners in het programma en komen ook op de markt voor Europese modulefabrikanten die zo belangrijke stakeholders zijn; via hen vinden de PV panelen hun plek in het elektriciteitssysteem. Tenslotte zal dit voorstel ook bestaande en nieuwe generaties kenniswerkers opleiden die de komende decennia de transitie naar duurzaamheid en circulariteit zullen vormgeven. Representanten van deze grote groep stakeholders hebben al aangegeven het programma te steunen (zie Appendix Q voor een overzicht van steunbrieven).

3.2.5 Intellectueel eigendom

De wereldwijde Zon-PV-industrie vertegenwoordigt een jaaromzet van meer dan € 100 miljard. Intellectueel eigendom kan dus potentieel een grote waarde hebben. De deelnemende partijen hebben allen ervaring met de bescherming van *know-how* en met aanvragen, exploitatie en licentie van patenten. We maken onderscheid tussen achtergrond- en voorgrondkennis. Voorafgaand reeds bestaande achtergrondkennis van elke partner waarop het voorstel voortbouwt (*background*), blijft eigendom van de betreffende partner. Voor binnen het programma nieuw ontwikkelde kennis (*foreground*) geldt het basisprincipe van *inventor-ownership*, waarbij het intellectueel eigendom van de uitvindingen berust bij de entiteit die ze heeft gecreëerd. De consortiumovereenkomst tussen de partners van het programma gaan uit van standaardmodellen zoals toegepast binnen PPS-projecten. Hierin worden rechten, plichten en modaliteiten van de samenwerking tussen de deelnemende partners vastgelegd, onder andere voor intellectueel eigendom. Daarnaast worden ook passende afspraken vastgelegd over gezamenlijk ontwikkelde kennis (*joint foreground*). Uitgangspunt is dat de partners elkaar toegangsrechten *royalty-free* verlenen op *foreground* en geïdentificeerde *background*, voor zover noodzakelijk voor gebruik voor de uitvoering van de innovatieprogramma's. Indien toegang tot intellectueel eigendom noodzakelijk is voor commerciële exploitatie van eigen *foreground*, wordt daarvoor een marktconforme vergoeding afgesproken. Voor nieuw intellectueel eigendom voortbouwend op werk op de onderzoeksinfrastructuren zullen de voorwaarden te zijner tijd worden overeengekomen. Voor alle intellectueel eigendom aspecten zullen gebruikelijke geheimhoudingsbepalingen van toepassing zijn, zie bijvoorbeeld het DESCA-model van *Horizon Europe*. Het Programmabestuur zal een sterke intellectueel eigendom positie bevorderen door het genereren van patenten en *know-how* actief te volgen en waar nodig initiatieven te nemen om exploitatie te stimuleren.



“We moeten de PV-productie terugbrengen naar Europa en de [Europese] Commissie is bereid alles te doen wat nodig is om dit voor elkaar te krijgen”

Eurocommissaris voor Energie Kadri Simson bij de opening van de SolarPower Summit, 31-3-2022



4 Financiële onderbouwing

4.1 Begroting

De totaalbegroting van het Groeifondsprogramma bedraagt 898,3 miljoen euro voor de periode van 2024 tot en met 2031. Het programma wordt gefinancierd door private bijdragen voor een totaalbedrag van 586,3 miljoen euro, en vraagt daarnaast een bijdrage van 312 miljoen euro van het Nationaal Groeifonds. Deze gevraagde bijdrage betreft 35% van de totale begroting, wat een goede ambitie laat zien voor een programma dat zich over de gehele TRL-keten uitstrekt. De begroting is opgebouwd uit kosten voor innovatieprogramma's en investeringen in de drie programmalijnen, fundamenteel onderzoek, open calls bij RVO en NWO, en het Human Capital-programma. Daarnaast zijn kosten voor programma-management en uitvoeringskosten bij EZK begroot.

Parallel aan de activiteiten in de NGF-begroting stellen de academische partijen en TNO voor in totaal 181 miljoen euro aan eigen (private) investeringen in apparatuur, infrastructuur en eigen bijdragen in gerelateerde onderzoeksprojecten beschikbaar ter ondersteuning van het voorstel.

In de Appendices is voor iedere Programmalijn per deelnemende partij een aparte begroting opgenomen met een uitsplitsing naar kosten voor personeel, materialen, gebruik apparatuur, kosten derden en bouw infrastructuur. Het Human Capital-programma is begroot op 6,3 M€. De uitvoeringskosten van RVO en NWO voor de open calls zijn 6%. De uitvoeringskosten van EZK zijn 662 k€ en betreffen de begeleiding van het programma door EZK, en kosten van tussen- en eind-evaluaties. Het programmamanagement is begroot op 9,3 M€.

De gedetailleerde begroting die apart in EXCEL wordt aangeleverd laat zien dat de focus in de eerste drie jaar ligt op het opbouwen van de pilot-innovatie-infrastructuren en het aanschaffen van de benodigde apparatuur en technologie. Gedurende de looptijd van het programma worden personele uitgaven gedaan voor het uitvoeren van de innovatieprogramma's. Overige kosten bestaan voornamelijk uit gebruik van apparatuur, onderhoudskosten en kosten voor verbruiksgoederen. In de begroting is door de betrokken partijen in alle programmalijnen een passende inflatiecorrectie⁶² toegepast.

4.2 Optimale begrotingsmix

De activiteiten in de drie Programmalijnen en de open calls van RVO en NWO bestaan uit experimentele ontwikkeling (25% subsidie), industrieel onderzoek (50%), niet-economische activiteiten (werkzaamheden bij TNO, 100%) en fundamenteel onderzoek (100%).

Het totaalbedrag dat binnen de drie Programmalijnen en de open calls wordt besteed (898,3 M€) is opgebouwd uit experimentele ontwikkeling (584,5 M€), industrieel onderzoek (167 M€), niet-economische activiteiten (90,7 M€) en fundamenteel onderzoek (45,4 M€). Dit laat een goede verhouding zien voor een innovatieprogramma, waarin de bestede middelen oplopen naarmate het innovatieonderzoek dichter bij de commerciële toepassing komt.

Het programma is op twee manieren additioneel aan bestaande Nederlandse innovatiesubsidieregelingen zoals de MOOI-, DEI+, HER+, en PPS-toeslag-regelingen en incidentele thematische NWO-regelingen. Ten eerste door de omvang: het Groeifondsprogramma overstijgt het gezamenlijke budget van deze regelingen met een factor 5-10. Het is juist de schaalgrootte die het programma de slagkracht geeft een effectief, internationaal competitief, ecosysteem op te bouwen. Ten tweede door de samenhang: de hiervoor genoemde instrumenten richten zich ieder op een specifiek deel van de ontwikkelfase en hebben allen verschillende looptijden, indieningsmomenten en eisen. Daardoor is het niet mogelijk een veelomvattend gecoördineerd programma over alle ontwikkelfases uit deze instrumenten te financieren. Het is juist deze coördinatie en gezamenlijke aanpak die het Groeifondsprogramma in staat stelt een innovatieprogramma uit te voeren over de gehele TRL keten.

4.3 Zekerheid over bijdragen

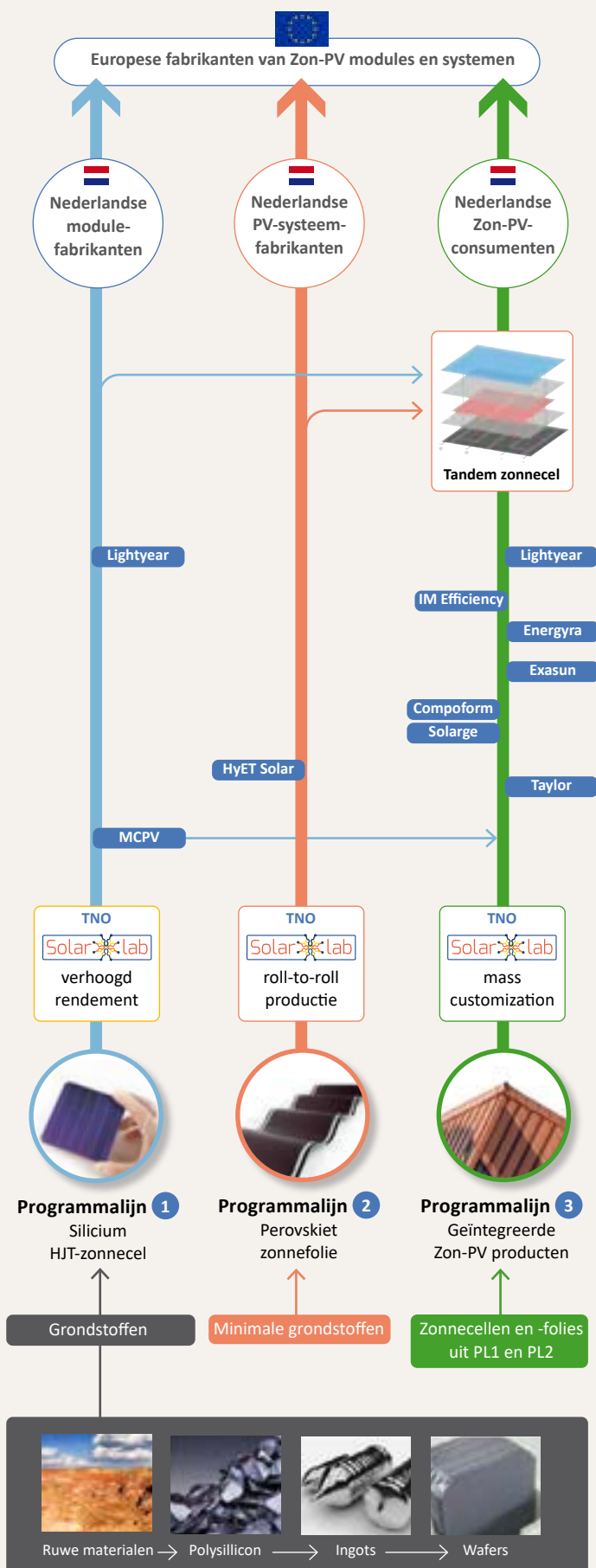
De indienende partijen hebben zich aan de uitvoering van dit programma gecommitteerd middels een intentieverklaring met een specificatie van de private eigen bijdrage. Een aantal bedrijven heeft middels een steunbrief aangegeven deel te willen nemen aan de open call via RVO.

4.4 Niet structureel

De bijdrage van het Nationale Groeifonds aan het programma is nadrukkelijk een impulsfinanciering en resulteert in een blijvende versterking van het nationale Zon-PV-ecosysteem en het

Programmalijnen

van ruwe materialen tot eindproducten voor Zon-PV



verdienvermogen voor Nederland. De impact is ook na de subsidieperiode verzekerd door verankering op drie verschillende niveaus:

- **Verankering in een duurzaam verdienmodel** De Groeifondsmiddelen zijn investeringen in onderzoek en infrastructuur die worden gebruikt voor het opschalen van Zon-PV-innovaties van het laboratorium- naar pilotschaal naar industriële/commerciële productie. Met de uitvoering van de innovatieprogramma's worden de pilotlijn-infrastructuren ontwikkeld, getest en verder verbeterd, en wordt hun waarde bewezen. Vervolgens worden de resultaten van de Zon-PV-innovatieprogramma's door de deelnemende bedrijven opgeschaald tot commerciële schaal, met een duurzaam verdienmodel tot gevolg.

- **Zon-PV-innovaties van de toekomst** De partners zijn gecommiteerd om de opgebouwde faciliteiten in te zetten en verder op te schalen en uit te breiden voor de ontwikkeling van de Zon-PV-innovaties van de toekomst. Daarmee ontstaat een motor voor nieuwe ontwikkelingen waar bedrijven en kennisinstellingen binnen en buiten het Groeifondsprogramma van profiteren. Zo ontstaat ook voor de langere termijn een pijplijn van nieuwe gebruikers van de opgebouwde infrastructuur, met nieuwe Zon-PV-innovaties en in vervolg daarop economisch verdienvermogen tot gevolg.

- **De investeringen** worden deels opgebouwd in bestaande faciliteiten van bedrijven, onderzoeksinstituten en TNO die vaak weer onderdeel zijn van grotere innovatieclusters en regionale centra. Waar mogelijk worden de infrastructuur opgesteld voor derden, waarbij voor gebruik (inclusief het bieden van diensten) een vergoeding wordt gevraagd. Op termijn, na 2031, kunnen vanuit de gebruiksvergoedingen (fee-for-service-opbrengsten) operationele kosten alsook vervangingsinvesteringen van de pilot-infrastructuren worden gedekt.

4.5 Open calls en aanbestedingen

Een deel van het programma betreft innovaties voor kleinschalige producten voor BIPV, een gebied waarin in Nederland een groot aantal (kleinere) bedrijven actief is. Met een speciale open call voor BIPV-innovaties (via RVO, in 2024) wordt deze bedrijven de kans geboden om in te schrijven op gespecialiseerde onderzoekprogramma's op dit terrein. Dit geeft startups en scale-ups de kans hun positie te versterken en verder te groeien. Voor het funderend onderzoek wordt halverwege het programma (in 2026) een open call bij NWO uitgezet. Deze is bedoeld voor funderend onderzoek aan thema's die tegen die tijd van groot belang zijn voor de Zon-PV-innovaties van dat moment, maar die nu nog niet kunnen worden voorzien.



Dit voorstel wil een positieve impact leveren op het duurzame verdienvermogen van Nederland door bij te dragen aan de ontwikkeling van een aantal Europese waardeketens voor Zon-PV-systemen (photovoltaïcs ofwel zonnepanelen) met een stevige productievoetafdruk in Nederland. In iedere stap binnen die waardeketens wordt continu geïnnoveerd met een essentiële rol voor Nederland. Ieder van de drie Programmalijnen in dit voorstel doet dit voor een andere Zon-PV-waardeketen – silicium-HJT-cellen (PL1), perovskietfolies (PL2) en geïntegreerde Zon-PV-producten (PL3) – die elkaar ook weer voeden en versterken. Zo ontwikkelt dit voorstel een Zon-PV-ecosysteem in Nederland en Europa dat economische en maatschappelijke waarde creëert.

De economische en maatschappelijke effecten (kwalitatief en kwantitatief) van dit voorstel zijn uitgewerkt middels een *Theory of Change* model. Een volledige uitwerking van de *Theory of Change* voor dit voorstel en de details van de berekeningen zijn gegeven in Appendix H. Dit hoofdstuk beschrijft op hoofdlijnen de economische effecten (sectie 5.1) en de maatschappelijke effecten (sectie 5.2) van het voorstel.

5.1 Onderbouwing economische effecten

In iedere Programmalijn investeren private en publieke partners tezamen met het NGF in een set van activiteiten rondom een Zon-PV-waardeketen die resulteren in:

- **Fabrieken** die op significante schaal (meerdere GW_p /jaar) Zon-PV-producten gaan leveren
- **Producten en machines** (en door te ontwikkelen concepten) in de vorm van zonnecellen, folies, toepassingen (geïntegreerde Zon-PV-producten/panelen), materialeninnovaties en productiemachines
- **Innovatie-infrastructuren** waarmee nieuwe producten/machines kunnen worden uitgetest op verschillende schalen (van proof of concept naar pilot-productie)

De fabrieken voor Zon-PV-producten vormen de ankers van Europese Zon-PV-waardeketens. Zij worden met NGF-middelen in Nederland gebouwd en verder opgeschaald in Nederland en in Europa, inspelend op de grote en groeiende behoefte aan Zon-PV – de ambitie is in 2051 in Europa een productiecapaciteit te hebben van 48 GW_p /jaar, waarvan 19 GW_p /jaar in Nederland – en met omzet van en toegevoegde waarde door deze Nederlandse (of in Nederland gevestigde) fabrikanten als gevolg.

Hightech- en materialentoeleveranciers uit Nederland en

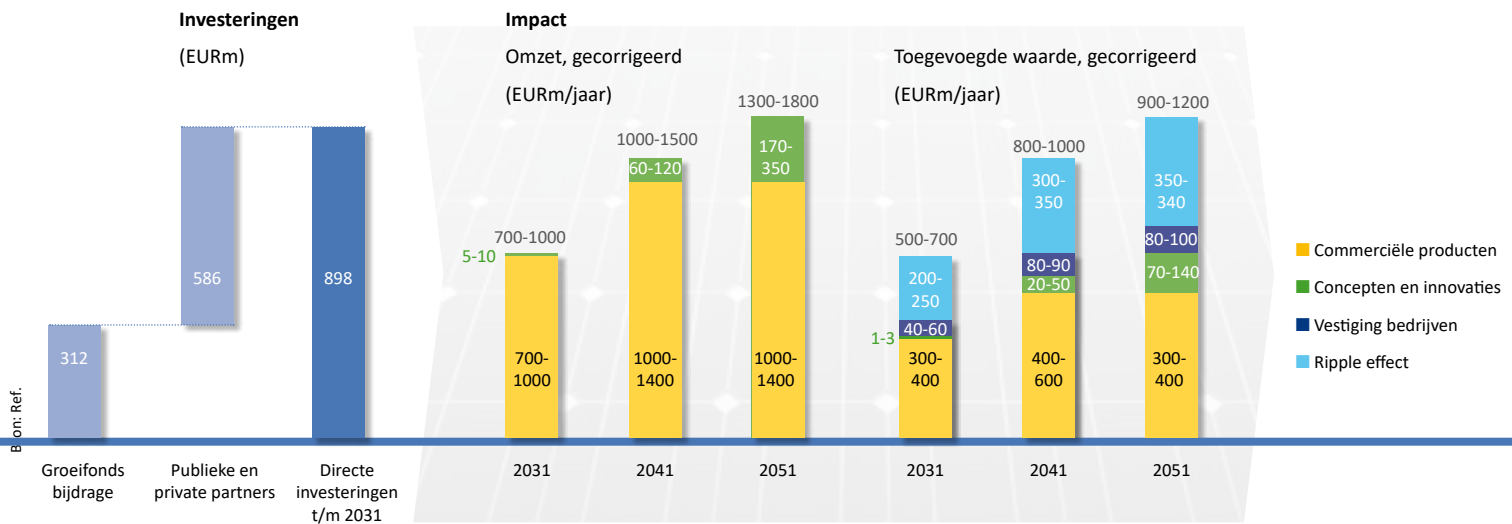
Europa gaan de fabrieken bedienen. Samen blijven zij doorinnoveren om de zonnecellen en hun productie nog beter te maken. Met toepassingsbedrijven ontwikkelen zij nieuwe, geïntegreerde Zon-PV-producten. Dit NGF-voorstel levert innovatieve producten en machines (en concepten daarvoor) die een stevig basisportfolio vormen en innovatie-infrastructuren die nieuwe innovaties blijven aanjagen. Deze producten en machines worden mede vermarkt door Nederlandse innovatieve bedrijven (bestaande bedrijven en spin-outs/startups), die daarmee in Nederland toegevoegde waarde creëren. Zo groeit een sterke Europese Zon-PV-waardeketen met in iedere schakel (toelevering van materialen en machines – productie van zonnecellen – toepassing van zonnecellen) een innovatieketen waarin nieuwe innovaties en bedrijvigheid blijven ontstaan, met een significante rol voor Nederland in productie en innovatie. Dat trekt weer partijen uit het buitenland aan om te participeren in het Zon-PV-ecosysteem in Nederland. Een uitgebreide *Theory of Change* is gegeven in Appendix H.

Kwantitatieve onderbouwing, Theory of Change

De economische effecten zijn aanzienlijk. In 2051, 20 jaar na het einde van dit voorstel, wordt verwacht dat dit voorstel bijdraagt aan 1.300-1.800 miljoen euro extra omzet per jaar, equivalent aan 900-1.200 miljoen euro extra toegevoegde waarde per jaar voor economische sectoren in Nederland (Figuur 17). Dit telt op tot een totale cumulatieve toegevoegde waarde tot en met 2051 van 20-25 miljard euro. Tegelijkertijd creëren de productiefaciliteiten in Nederland alleen al een directe werkgelegenheid van 1.000-1.500 banen (ten opzichte van het nul-alternatief en gecorrigeerd voor de slagingskans). Deze effecten worden geïnitieerd door 898 miljoen euro aan directe investeringen van het NGF en de publieke/private partners tot en met 2031 (Figuur 17), en worden versterkt door het door-investeren van private partijen in de opschaling van de productie (waarvoor concrete plannen reeds aanwezig zijn) en investeringen in nieuwe toepassingen, machines en materialen voor Zon-PV.

De economische impact is ingeschat o.b.v. vier elementen (zie Appendix H voor details van de berekeningen):

1. omzet en toegevoegde waarde van commerciële producten uit de verschillende, opgeschaalde Zon-PV-fabrieken in Nederland;
2. omzet en toegevoegde waarde van concepten en innovaties in machines, materialen en geïntegreerde producten;
3. de aanzuigende werking op bedrijven die zich vestigen in het ecosysteem; en
4. een zogeheten *ripple-effect* op de economie.



Figuur 17 • Investerings en verwachte jaarlijkse omzet en toegevoegde waarde van het voorstel

Nul-alternatief en externe afhankelijkheden

In de bovenstaande inschatting van extra omzet en toegevoegde waarde, is gecorrigeerd voor risico's en het zogenoemde nul-alternatief. Het nul-alternatief bestaat uit ontwikkelingen die naar verwachting ook zullen plaatsvinden zonder de investering van het NGF. In het nul-alternatief wordt ervan uitgegaan dat de partijen achter dit NGF-voorstel ook zonder investering uit het NGF doorgaan met hun individuele ambities en dat ook fabrieken en innovaties (en bijbehorende spin-outs) tot stand komen – zij het met vertraging, een lagere slagingskans, een kleiner volume en een lagere realisatie van effecten in Nederland.

De impact die dit voorstel helpt genereren, is logischerwijs afhankelijk van enkele externe trends, zoals de ontwikkeling van concurrentie buiten Europa (waaronder Chinese en Amerikaanse productie en innovatie), de ontwikkeling van toeleveranciers in Europa (die nodig zijn voor een Europese waardeketen) en het investeringsklimaat voor spin-outs. Dergelijke trends kunnen leiden tot bijvoorbeeld lagere prijzen voor Nederlandse Zon-PV-producten, minder productie in Nederland, minder spin-outs en/of vertrek van spin-outs – en dus een lagere impact. De ranges in de impactcijfers zoals hierboven gegeven, reflecteren het potentiële effect van dergelijke externe afhankelijkheden. Details van de analyses zijn gegeven in Appendix H.

Toekomstbestendigheid en groeipotentieel

Het groeipotentieel voor zonne-energie is enorm. Wereldwijd draagt zonne-energie nog slechts 2% bij aan de totale energieopwekking. Om de internationale doelstellingen te halen, moet de jaarlijkse wereldwijde productie van zonnepanelen significant stijgen. Dit is een enorme uitdaging maar biedt ook unieke economische kansen voor Nederland. Volgens ramingen van de International Renewable Energy Agency (IRENA), zal de geïnstalleerde Zon-PV-capaciteit wereldwijd

oplopen naar circa 8.500 GWp in 2050. Dit betekent dat in de periode 2022-2050 circa 7.500 GWp aan Zon-PV-capaciteit zal moeten worden bijgeplaatst. De wereldwijde jaarlijkse toevoegingen zullen oplopen naar circa 370 GWp in 2051. In Europa komen de doelstellingen (uitgesproken door RePowerEurope) overeen met de installatie van 60-70 GWp/jaar in 2030, een verdubbeling t.o.v. 2021. Dit voorstel speelt in op die enorme en toekomstbestendige marktpotentie en de geambieerde productievolumes passen binnen de kaders van deze marktontwikkeling.

5.2 Onderbouwing maatschappelijke effecten

Maatschappelijke baten

De impactpaden die zijn uitgewerkt in de *Theory of Change* leiden naast economische waarde ook tot significante maatschappelijke waarde (zie Appendix H voor details en berekeningen):

- **Strategische onafhankelijkheid in energievoorziening:** De Nederlandse/Europese fabrieken en Europese waardeketens zorgen ervoor dat Nederland en Europa beter kunnen voorzien in de eigen behoefte aan Zon-PV en voor de energietransitie en energiezekerheid minder afhankelijk worden van buitenlandse, m.n. Chinese, toeleveranciers. De totale productiecapaciteit die met dit voorstel wordt gerealiseerd – gecorrigeerd voor dubbeltellingen en slagingskansen – komt overeen met 20-25% van de Europese behoefte aan te installeren Zon-PV-capaciteit in het jaar 2051.
- **Voorkomen van het gebruik van dwangarbeid:** Gezaghebbende rapporten schatten het aantal dwangarbeiders in China op 0,8-2,6 miljoen mensen; een schrijnende situatie. Voor de Zon-PV-waardeketen geldt dat dwangarbeid met name plaats-



vindt in de siliciumproductie. De realisatie van Europese Zon-PV-waardeketens, mede door dit voorstel, maakt dat minder Zon-PV-producten uit China hoeven te worden geïmporteerd en de daarmee gemoeide dwangarbeid van – gecorrigeerd voor dubbeltellingen en slagingskansen – naar schatting circa 4.000 mensen voorkomen.

- **Milieuwinst door vermeerderd gebruik zonne-energie:**

Met perovskietfolies, lichtgewicht panelen en geïntegreerde Zon-PV-producten kan zonne-energie worden opgewekt op oppervlakken waar dit nu niet kan. Bijvoorbeeld op constructies die niet stevig genoeg zijn voor een paneel of op oppervlakken die qua vorm (grootte, ronding, etc.) niet geschikt zijn voor standaardpanelen. Deze innovaties maken dus dat zonne-energie op meer plekken kan worden opgewekt dan nu het geval is met de huidige panelen, en daarmee een groter aandeel in de energiemix kan krijgen. Dit voorstel ambieert bij te dragen aan de productie van 26 GWp/jaar in 2051 (niet gecorrigeerd voor slagingskansen) die wordt gebruikt op oppervlakken waarvoor de huidige panelen niet geschikt zijn. De CO₂-uitstoot die over de gehele levensduur wordt vermeden met de in 2051 geïnstalleerde capaciteit voor Zon-PV-producten (t.o.v. grijze energie) bedraagt 110-130 mt CO₂-eq. (gecorrigeerd voor dubbeltellingen en slagingskansen).

- **Milieuwinst door duurzame waardeketen:** Bij de productie van zonnepanelen en de grondstoffen daarvoor, en door de rest van de waardeketen en logistieke keten, komt CO₂ vrij. De Zon-PV-waardeketen bevindt zich momenteel nog voor een groot deel in China, waar nog veel wordt gewerkt met milieuvervuilende oplossingen, zoals dirty-coal. Door Zon-PV-waardeketens in Europa te realiseren en te gebruiken – van materialen tot machines tot panelen – kunnen zij een stuk duurzamer worden gemaakt. Bijvoorbeeld door silicium te produceren met hydro-elektriciteit en gebruik van dirty-coal te voorkomen. Met de in dit voorstel voorziene productiecapaciteit wordt – gecorrigeerd voor dubbeltellingen en slagingskansen – een CO₂-uitstoot vermeden van 15-20 mt CO₂-eq. In 2051.

- **Milieuwinst door circulair recycelen en minder materiaalgebruik:** De nieuwe generatie Zon-PV in dit voorstel zal zo worden ontworpen dat ze kunnen worden gemaakt met minder materialen, die aan het einde van de levenscyclus binnen de eigen waardeketens kunnen worden gerecycled. Zo

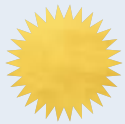
wordt een belangrijke stap gezet richting een circulair Zon-PV-ecosysteem. De voorziene productie van HJT-cellen bespaart bijvoorbeeld circa 3 kt silicium per jaar in 2051 t.o.v. huidige alternatieven (gecorrigeerd voor dubbeltellingen en slagingskansen) en vervangt schaarse en milieubelastende materialen. Lichtgewicht panelen van Solarge induceren een vermindering in materiaalgebruik van circa 75 kt in 2051 per jaar na correctie voor dubbeltellingen en slagingskansen en de perovskietfolies en geïntegreerde producten zijn zeer materiaalzuinig vormgegeven. Tegelijkertijd worden de Zon-PV-producten ontworpen voor recycling, waarbij geambieerd wordt om aan het eind van de NGF-periode al 30% gerecycled silicium te gebruiken. Zo draagt dit voorstel bij aan de ontwikkeling van een toekomstige circulaire en materiaalarme waardeketen.

Maatschappelijke kosten

Naast bovenstaande maatschappelijke baten, voorzien we enkele maatschappelijke risico's waarmee dit voorstel mogelijk gepaard gaat (zie Appendix H voor details). Zo zal de aanleg van zonnevelden (bijvoorbeeld langs snelwegen) schaarse ruimte in beslag nemen en eventueel leiden tot negatieve visuele effecten voor omwonenden. Door het feit dat dit voorstel juist op geïntegreerde Zon-PV-producten inzet, die weinig tot geen extra ruimte in beslag nemen, worden deze risico's beperkt. Ook kan de opschaling van het gebruik van zonne-energie tot toenemende belasting op het energienet leiden. Zonne-energie is echter een cruciaal element in de succesvolle energietransitie en zal moeten groeien en ontwikkelen met het toenemende gebruik. Omdat de installatie van zonnepanelen door particulieren een investering vergt en een groot dakoppervlak, zal de toegang hiertoe en het rendement hiervan ongelijk verdeeld kunnen zijn over de bevolking; toegang wordt wel steeds beter door dit voorstel. Ten slotte is er CO₂-uitstoot verbonden aan de productie van Zon-PV-producten. Netto levert de verplaatsing van de productie naar Europa echter een enorme CO₂-besparing op, niet alleen door de duurzamere productie maar ook door de toenemende circulariteit van de Nederlandse/Europese Zon-PV-producten.

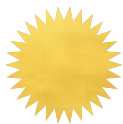
Generatietoets

Dit voorstel heeft positieve maatschappelijke effecten voor alle generaties (zie Appendix H voor details). Voor alle generaties draagt dit voorstel bij aan een verbetering van klimaat & duurzaamheid door de duurzame productie en het gebruik van innovatieve Zon-PV-producten. Daarnaast creëert dit voorstel directe werkgelegenheid wat de kansen op de arbeidsmarkt vergroot voor de werkende generaties. Ten slotte wordt Zon-PV en de daarmee verbonden financiële voordelen door de nieuwe innovaties, die met dit voorstel worden ontwikkeld, toegankelijker voor een breder deel van de bevolking en resulteren dus in inkomenswinst (rendement) voor de generaties die huizen bezitten en kunnen investeren in Zon-PV.



Referenties

- Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2021).
- Energieopwek.nl, onderdeel van het Klimaatakkoord.
- BloombergNEF, <https://about.bnef.com/blog/cost-of-new-renewables-temporarily-rises-as-inflation-starts-to-bite/>, geraadpleegd 20-1-2023.
- Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst, Coalitieakkoord (2021)
- Fit-for-55, the EU plan for a green transition, Europese Commissie (2021).
- De energieproductie van een Zon-PV-systeem wordt uitgedrukt in GWp, het vermogen in gigawatt (miljard watt) dat wordt opgewekt in volle zon (subscript 'p' staat voor 'piek') onder gestandaardiseerde condities. De jaarlijkse elektriciteitsproductie wordt uitgedrukt in TWh (terawatt-uur: biljoen watt-uur). De energieproductie uit variabele bronnen als zon en wind varieert over het jaar. Gemiddeld kan worden gesteld dat in Nederland met 1 GWp/jaar. aan opgesteld Zon-PV-vermogen jaarlijks 0,8-0,9 TWh aan elektriciteit wordt opgewekt. Zie ook: Begrippenkader RES, wind-op-land en zon-op-land, VIVET (2022).
- Uitvoeringstafel Elektriciteit, Alles uit de kast – eindrapportage werkgroep extra opgaven (2022).
- Het vereiste vermogen in 2050 is uiteraard niet precies bekend; naar verwachting neemt het energieverbruik in de komende decennia nog toe. De Transform and Adapt Scenario's van TNO schatten de jaarlijkse elektriciteitsvraag in 2050 op 300-600 TWh, bij een totale energievraag van 1000 TWh. De verdeling van energieopwekking uit zon en wind wordt in Nederland deels vastgesteld via beleidsvorming in de Regionale Energie Strategieën (RES).
- Scenario's voor een klimaatneutraal energiesysteem (TNO, 2022).
- Ruimtelijk Potentieel zonnestroom in Nederland, Generation.Energy in opdracht van TKI Urban Energy (2021).
- In sommige internationale scenario's neemt de bijdrage van Zon-PV zelf toe tot meer dan 60% in 2020; M. Ram, et al., Global energy system based on 100% renewable energy (Lappeenranta University of Technology, 2019), ISBN: 978-952-335-339-8.
- Monitor Zon-PV (RVO, 2022), <https://www.rvo.nl/nieuws/zonne-energie-ruim-30-procent-gestegen,geraadpleegd-op-15-01-2023>.
- De GWp waarden voor Nederland in 2030 en 2050 in Tabel 1 zijn berekend uit de TWh voorspellingen volgens 1 GWp = 0.8 TWh, zie Ref. 6.
- Zon-PV-systemen gaan 25 jaar mee. Bij 100 GWp geïnstalleerd Zon-PV-vermogen in 2050 zal de vervangingsvraag 4 GWp per jaar bedragen.
- Dit gewenste Zon-PV-vermogen voor 2030 is gegeven voor gelijkstroom (DC): 750 GWp-DC.
- Referenties voor de getallen in de Tabel 1: 18 GWp: Nationaal Solar Trendrapport (2022); 25-50 GWp: Klimaat- en Energieverkenning (Planbureau voor de Omgeving, 2021), respectievelijk suggestie van minimaal noodzakelijk om klimaatdoelen te halen door Holland Solar; 100-250 GWp/80-200 TWh: Diverse bronnen: TNO (Transform & Adapt Scenario's, 2022), I13050 scenario's netbeheerders, 100% Renewable Europe, LUT, respectievelijk Ambitie uitgesproken in whitepaper 'Zonpositief', TNO energy transition; 750 GWp: Ambitie genoemd in REPowerEU; 1100 GWp: persbericht SolarPowerEurope, 2022; 7500 GWp: IEA Net Zero 2050 scenario; 20.000-60.000 GWp: IEA Net Zero 2050 scenario respectievelijk Wereldwijd energysysteem gebaseerd op 100% hernieuwbare energie (LUT, 2019).
- Net zero by 2050 – a global roadmap for the global energy sector, International Energy Agency (2022).
- R. Way et al., Empirically grounded technology forecasts and the energy transition, Joule 6, 1 (2022).
- C. Breyer et al., Reflecting the energy transition from a European perspective and in the global context—Relevance of solar photovoltaics benchmarking two ambitious scenarios. Prog Photovolt Res Appl. 1 (2022).
- Photovoltaics Report, Fraunhofer ISE (2022).
- Rebuilding Europe's solar supply chain (McKinsey, 2022).
- De prijs van een Zon-PV-module is ongeveer € 0.30/Wp (najaar 2022), International Technology Roadmap for Photovoltaics (ITRPV).
- Kamerbrief 13-01-2023 Ontwikkelingen Chinabeleid: een verschuiving van de balans.
- Solar Jobs Report, Solar Power Europe (2022).
- Uitgaande van een state-of-the-art omzettingrendement van 20% komt 1 GWp komt overeen met een oppervlak van de panelen 5 km². In grootschalige zonneweides is extra omliggende ruimte vereist. Voor geïntegreerde Zon-PV producten is dit meestal niet het geval.
- TKI Urban Energy & Generation.Energy, Ruimtelijk potentieel van zonnestroom in Nederland (2021).
- Systemiq, Constructieve beperkingen voor zon op dak in de utiliteitsbouw (2021).
- CO₂-emissie voor fabricage van PV systemen op basis van PERC-technologie uit China: ong. 55 g-CO₂-eq/kWh, in de EU ong. 29 g CO₂-eq/kWh. Geïntegreerde perovskiet- folies: ong. 8 g CO₂-eq/kWh. Zie white paper TNO.
- Inflation Reduction Act: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/08/15/by-the-numbers-the-inflation-reduction-act/>
- ESG staat voor Environmental, Social & Governance. Het houdt in dat factoren als energieverbruik, klimaat, beschikbaarheid van grondstoffen, gezondheid, veiligheid en goed ondernemingsbestuur op een verantwoorde manier in de bedrijfsvoering worden mee gewogen.
- L.T. Murphy and N. Elima, In broad daylight, Uyghur forced labour and global solar supply chains, Helena Kennedy Center for International Justice, Sheffield Hallam University (2021).
- J. Cockayne, E. Rodriguez Huerta, and O. Burcu, The energy of freedom, solar energy, modern slavery and the just transition, University of Nottingham (2022).
- Meerjarig Missiegedreven Innovatie Programma Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving, Topsector Energie (2022).
- Zie: <https://www.stichting-open.org/>
- <https://www.imvoconvenanten.nl/nl/hernieuwbare-energie>
- Zie: <https://www.pianoo.nl/nl/themas/maatschappelijk-verantwoord-inkopen/buyer-groups/energie/buyer-group-duurzame-zonnepanelen>
- Kabinetstrategie Versterken van onderzoeks- en innovatie-ecosystemen (2020).
- Photovoltaics report, Fraunhofer ISE (2022), figuur status 23-8-2022
- https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131
- <https://mcpv.eu>.
- Y. Zhao et al., Effects of (i)a-Si:H deposition temperature on high-efficiency silicon heterojunction solar cells, Prog. Photovolt. Res. Appl. 1-11 (2022), <https://doi.org/10.1002/pip.3620>
- G. Coletti et al., 23% Efficiency metal wrap through silicon heterojunction solar cells, Proc. 32nd EU-PVSEC, 20-24 June 2016, Munich, p. 715-717, DOI:10.4229/EUPVSEC20162016-2AV.2.18.
- M. A. Green et al., Solar cell efficiency tables (version 61), Prog. Photovolt: Res. Appl. 31, 3 (2022).
- TRL staat voor Technology Readiness Level, een internationale maat voor het stadium van technologieontwikkeling. Hoe hoger de TRL, hoe meer de technologie zich technisch en functioneel al heeft bewezen en dus hoe sneller deze (grootschalig) toepasbaar is.
- Galagan et al., Roll-to-roll slot die coated perovskite for efficient flexible solar cells, Adv. Energy Mater. 8, 1801935 (2018).
- L.A. Zafoschnig et al., Race for lowest costs of electricity production, IEEE J. of Photovolt. 10, 1632 (2020).
- Ruimtelijk potentieel van zonnestroom in Nederland, Generation.Energy, in opdracht van TKI Urban Energy (2021)
- <https://www.solliance.eu/2022/four-terminal-perovskite-silicon-pv-tandem-devices-hit-30-efficiency/>.
- <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>.
- Tian et al., Life cycle energy use and environmental implications of high-performance perovskite tandem solar cells, Sci. Adv. 6, eabb0055 (2020).
- N.J. Bartie et al., Resources, The resources, exergetic and environmental footprint of the silicon photovoltaic circular economy: Assessment and opportunities, Conservation and Recycling 169, 105516 (2021).
- L. Murphy, and N. Elimä, In broad daylight, Uyghur forced labour and global solar supply chains, Sheffield Hallam University Helena Kennedy Centre for International Justice (2021).
- J. Cockayne, E. Rodriguez Huerta, and O. Burcu, The Energy of Freedom? Solar energy, modern slavery and the just transition, University of Nottingham (2022).
- Aanvalsplan Arbeidsmarkttekorten Techniek, Bouw en Energie, https://www.vno-ncw.nl/sites/default/files/aanvalsplan_techneik_versie_voor_website.pdf.
- Platform Talent voor Technologie, <https://ptvt.nl>.
- FastSwitch, <https://fastswitch.nl/>
- Be an Engineer: betaald leren en werken op hbo-niveau, <https://beanengineer.nl>.
- Sectoraal en regionaal Leven Lang Ontwikkelen netwerk, <https://www.ser.nl/nl/thema/leven-lang-ontwikkelen/regionale-projecten>.
- Lectorenplatform Urban Energy, <https://smartsustainablecities.nl/home/lectorenplatform/default.aspx>
- Regieorgaan SIA, <https://regieorgaan-sia.nl/>.
- Roadmap Human Capital 2020-2023, <https://www.topsectoren.nl/human-capital/>.
- Nota bene: Een aantal belangrijke EU steunkaders, zoals de AGVV, worden nu herzien door de Europese Commissie. WJZ heeft nog niet kunnen toetsen aan de hand van deze geactualiseerde kaders omdat ze nog niet zijn vastgesteld door de Europese Commissie. Bij verlening echter zal hier wel rekening mee moeten worden gehouden.
- Voor 2023 en 2024 is resp. uitgegaan van 4,9% en 5,0% op basis van ramingen van DNB (zie: https://www.dnb.nl/media/vkljvt4q/dnb-eov-dec-2022_def.pdf). Voor 2025 en verder is uitgegaan van circa 2% inflatie op basis van Eurozone-brede inflatieverwachtingen van DNB en ECB (zie: https://www.ecb.europa.eu/pub/project-ions/html/ecb.projections202212_eurosystemstaff~6c1855c75b.en.html#toc7 en https://www.ecb.europa.eu/stats/ecb_surveys/survey_of_professional_forecasters/html/ecb.spf2022q4~eb4b9aa2c2.en.html).



Indieners, kernteam, schrijfteams en advies

Dit voorstel is samengesteld onder leiding van een kernteam met bijdragen van onderstaande schrijfteams en advies van de volgende personen (namen op alfabetische volgorde). De Programmalijnen zijn samengesteld door vertegenwoordigers van bedrijven, TNO, en academische partijen.



Hoofdindieners

Marc Rechter is ondernemer en mede-oprichter en CEO van MPCV. Hij is oprichter van het bedrijf Resilient Hydrogen en het Zon-PV demonstratie- en innovatie platform Enercoutim, en mede-initiatiefnemer van de waterstofprojecten H2Sines.RDAM en Hydrogenizing Barcelona. Rechter is een actieve voorvechter van de implementatie van de energietransitie en al jaren actief in het Europese beleidsdebat. Hij is mede-oprichter van de European Clean Hydrogen Alliance, de European Solar Manufacturing Council en, in december 2022, van de European Solar Industry Alliance. Hij heeft een actieve communicatie met de Europese Commissie, Europees Parlement, en verschillende EU overheden. Voordat hij ondernemer werd werkte Rechter dertien jaar voor ABN AMRO, onder meer als lobbyist in Brussel.

Gerard de Leede is sinds 2018 Chief Technology Officer en mede oprichter van Solarge. Vanuit deze functie neemt hij actief deel aan de lobby van de solar industrie in de EU, o.a. op het gebied van de IPCEI regeling en duurzaamheidscriteria voor Zon-PV applicaties (circulariteit, CO₂ footprint, toxiciteit, geen dwangarbeid). De Leede is tevens parttime hoogleraar bij de TUE op het gebied van smart energy. In het verleden werkte hij voor Philips en TNO, waarna hij succesvol een tweetal distributie- en installatiebedrijven voor zonnepanelen in België en Nederland startte. Gedurende de periode 2014-2017 was hij Chief Technology Officer bij het beursgenoteerde bouwbedrijf Heijmans. De Leede is mede houder van een viertal octrooien op het gebied van zonnepanelen.

Albert Polman leidt het Zon-PV onderzoekprogramma van NWO-Instituut AMOLF (Amsterdam) en is hoogleraar photovoltaics bij de Universiteit van Amsterdam. Hij heeft een actieve onderzoeksgroep en zijn onderzoeksresultaten worden internationaal zeer veel geciteerd. Polman is lid van de Koninklijke Academie voor Wetenschappen en won diverse internationale prijzen waaronder de prestigieuze ENI Renewable Energy Award en driemaal een ERC Advanced Grant. Hij is co-founder van de succesvolle microscopie startup Delmic BV. Polman was directeur van AMOLF van 2006-2013, heeft diverse bestuurs- en adviesfuncties en leidde de totstandkoming van de nationale agenda Materialen - Accelerating Materials Technologies, waaruit dit Groeifondsprogramma mede is voortgekomen.

Kernteam

- **Albert Polman** AMOLF, Materialenplatform
- **Arthur Weeber** TNO
- **Bruno Ehrler** AMOLF, SolarLab
- **Dick Heslinga** MCPV
- **Diederik Apotheker** InvestNL
- **Gerard de Leede** Solarge
- **Guus Dubbink** InvestNL
- **Harald Kerp** TNO
- **Harm Jeeninga** TNO
- **Johann Jansen van Rensburg** HyET Solar
- **Marc Rechter** MCPV
- **Micha Rots** Ministerie van EZK
- **Pim van Leeuwen** Ministerie van EZK
- **Robin Quax** TKI Urban Energy
- **Ruben Prins** Ministerie van EZK
- **Willemijn Meltzer** Ministerie van EZK

Samenstelling Programmalijn 1

- **Dick Heslinga** MCPV - trekker
- **Arthur Weeber** TNO
- **Laurens van Erp** Lightyear Layer

Samenstelling Programmalijn 2

- **Bruno Ehrler** AMOLF - trekker
- **Johann Jansen van Rensburg** HyET
- **Sjoerd Veenstra** TNO

Samenstelling Programmalijn 3

- **Gerard de Leede** Solarge - trekker
- **Harald Kerp** TNO - trekker
- **Marc Koetse** TNO
- **Bart Geerligts** TNO
- **Jan-Jaap van Os** Exasun
- **Maria Loi** RUG
- **Rein Westerdijk** Taylor
- **Laurens van Erp** Lightyear Layer
- **Rebecca Saive** UT
- **Ruud Derks** IM Efficiency

Samenstelling academisch

onderzoeksprogramma (SolarLab nationaal PV-netwerk)

- **Bruno Ehrler** AMOLF - trekker
- **Arthur Weeber** TNO
- **Jorik van de Groep** UvA
- **Maria Anotonietta Loi** RUG
- **Olindo Isabella** TUD
- **René Janssen** TUE
- **Wilfried van Sark** UU

Advies overheid: Ministerie EZK, OCW, Topsector Energie, NWO, NERA, RVO

- **Agneta Kindt** Ministerie van OCW
- **Bart Jeroen Bierens** RVO/Buyer Group Duurzame Zonnepanelen
- **Bas Warmenhoven** Ministerie van I&W
- **Eefke Schramade** Provincie Zuid-Holland
- **Eline Fleur Specklé** Ministerie van EZK, circulariteit
- **Jacqueline Scherpen** RUG, Topsector HTSM
- **Mattheüs van de Pol** Ministerie van EZK
- **Mark Bonenschanscher** TUE, NERA
- **Mark Schmets** Ministerie van EZK/ Topsector Chemie
- **Michiel Mensink** RVO/Buyer Group Duurzame Zonnepanelen
- **Sandra de Keijzer** NWO, Topsector Energie
- **Richard van de Sanden** Topsector Energie
- **Wijnand van Hooff** Holland Solar
- **Tom van Rens** Topsector Energie

Advies Human Capital

- **Joyce ten Holten** Platform Talent voor Techniek
- **Marsha Wagner** Topsector Energie

Juridisch advies

- **GertJan van den Bosch** Ministerie van EZK
- Advies regionale ontwikkelingsmaatschappijen**
- **Annemiek Bles** Brainport Development
 - **Paul Gosselink** BOM, namens NOM, OostNL, LIOF, BOM, BPD, RomInWest, IQ

Advies internationale samenwerking

- **Diverse innovatieattachés**
- Ondersteuning en economische analyse**
- **Roland Berger consulting**

Tekstredactie

- **DBAR tekst en redactie**

Ondersteuning

- **Tom Veeken**

Eindredactie en coördinatie

- **Albert Polman**

Circulaire geïntegreerde hoog-rendements zonnepanelen





Summary in English

Problem and proposed solution

Our energy supply is changing dramatically and quickly, and in this transition, ecological necessity meets economic opportunity. The transition to renewable energy sources is necessary to evolve into sustainable economies and mitigate climate change. It also requires and creates vast opportunities for technological innovation and business creation – which this Nationaal Groeifonds proposal intends to grasp. Electricity from sunlight (photovoltaics, PV) will play a major role in the energy transition and is poised to grow worldwide to the ‘terawatt’ scale. In the Netherlands, the installed capacity is set to grow from 18 GW_p today to 100-250 GW_p in 2050. Hence, PV is a crucial ‘industry of the future’. This Groeifonds proposal aims to create the necessary innovative PV technologies and industrial basis in the Netherlands to capture economic value of billions of euros for decades to come. In addition, this ‘local manufacturing’, using short lines from supply to markets, will generate multiple environmental benefits and reinforce strategic autonomy in our energy supply. On all these points, the proposal is fully aligned with the currently accelerating momentum towards new industrial public policies on EU level.

The program targets to develop and industrialize three innovative PV technologies selected for their potential to be competitive in their respective markets alongside the incumbent mainstream PV: high-efficiency silicon heterojunction ‘HJT’ cells, flexible perovskite foils, and custom-integrated PV products for buildings and automotive. In each of the corresponding program lines, we have organized a comprehensive innovation channel connecting research, technology and product development, industrialization and ramp-up to scale. We will implement a ‘design-for-circularity’ principle in each of our technologies and products, to have the built-in potential for recycling and minimizing the use of critical materials.

Reaching the scale required for a competitive new PV industry requires an initial investment that the international market fails to provide. The National Growth Fund can solve this market failure by signaling strong public support and attracting private investors into the PV business ventures. The fruits of the investment will be a new and dynamic PV ecosystem in the Netherlands, which in turn will fuel further PV innovations in years to come.

Plan of activities and results

The activities are organized in three program lines corresponding to the selected technologies.

In the first line, we will initiate innovative industrial manufacturing of state-of-the-art silicon heterojunction ‘HJT’ solar cells with an efficiency starting at 25%. We first build a 300 MW_p/yr pilot production line in 2024 and scale it up to 3 GW_p/yr full capacity by 2026. Parallel academic research will help increase cell efficiency to 26.5%, and reduce cost and use of critical materials. Once operational, the HJT gigafactory will be replicated at other locations in the Netherlands and Europe to reach a total manufacturing capacity of 18 GW_p/yr by 2031 - 20-25% of the yearly European PV installation needs in utility and rooftop markets.

In the second line, we will develop unique roll-to-roll manufacturing technology for perovskite-PV foils. These lightweight foils target applications where conventional silicon solar panels cannot be used because they are too heavy or not flexible. We will bring the perovskite foil to 20% efficiency using production-compatible technology. This will be transferred to a 300 MW_p/yr pilot production line to be built in 2028, followed by a full-scale 1 GW_p/yr production facility in 2031.

In the third line, we will develop lightweight PV products that can be integrated into buildings or vehicles. These are alternative PV markets with a strong growth potential as they unlock newly accessible surfaces for installation of PV. We will build a pilot production line followed by several manufacturing lines with a total capacity of 3.4 GW_p/yr. In parallel, we will develop mass customization techniques to run tailored small-scale PV products on a flexible production line, expanding the application potential of PV even further.

Finally, we will combine the results of the program lines into a novel “tandem” PV technology with a very high efficiency surpassing 30%. We will also initiate the industrialization of this tandem solar panel and foil technology.

A shared feature of all our new PV technologies is their design for circularity. Manufacturing PV products in Europe, using local supply chains, and expanding the generation of PV electricity will avoid generating over 100 megatons CO₂ each year.

Program partners

The consortium partners span the entire PV R&D and industry range. MCPV will drive the silicon heterojunction innovation program and build the new HJT cell factory in Veendam (Groningen). HyET Solar will develop the perovskite foil manufacturing technology; Solarge, Exasun and Energyra develop

new PV products for building integration, Lightyear Layer and IM Efficiency for use in cars and trucks. Taylor Technologies creates specialty electronics to enable the new PV integration concepts. TNO will carry out technology research and build two R&D-pilot lines to provide key technical input to the industrial partners. Underpinning academic research will be carried out by the Dutch SolarLab consortium, composed of NWO-Institute AMOLF and the universities of Amsterdam, Delft, Eindhoven, Groningen, Utrecht and Twente. A human capital program mobilizes applied (mbo, hbo) and academic educational institutions to train the skilled workers needed across the growing national PV ecosystem. A tailored governance structure with a central program office will connect all partners and stimulate cross-fertilization between the program lines.

The industrial program partners have strong records in PV technology development and manufacturing. MCPV is a start-up carried by internationally renowned PV experts; HyET has made roll-to-roll PV manufacturing its specialty since many years. The Dutch building-PV companies have an excellent record of small-scale production of tailored products poised to scale up. TNO has a decades long international standing in PV technology development. The academic PV research is of very high level and well connected to Horizon Europe and other international initiatives. The participating universities have strong educational programs in PV and energy technology. Consortium members also play key roles in creating European PV roadmaps and policies.

The program will bring this national solar PV ecosystem to a new level of innovation and economic impact. Other opportunities for PV start-ups and scale-ups are expected to emerge and will be developed with active participation of Invest-NL and regional development agencies. Moreover, the program will make a major contribution to achieving the national climate objectives for 2030 (55% less CO₂) and 2050 (Netherlands climate neutral). The Ministry of Economic Affairs supports and coordinates this proposal in regard to these objectives.

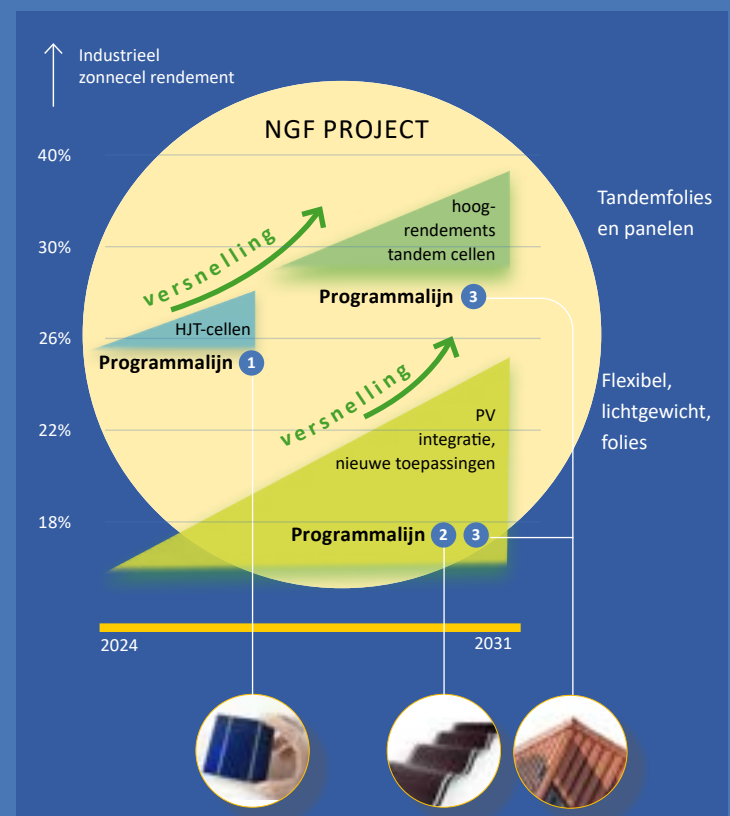
Budget

The total program budget amounts to 898.3 million euro, of which 586.3 million euro is covered by private financing. The requested National Growth Fund subsidy is 312.0 million euro (35%). The academic partners and TNO have acquired parallel public investments that will strongly benefit the program to a total amount of 181 million euro.

The program is designed along precise and SMART milestones and deliverables, and has a detailed time planning for each individual partner. In this way we can track progress, manage risks, and trigger adjustment and corrective action if necessary. Three Program Line Leaders will have first-line responsibility in this. They in turn report to the Program Board, which will meet on a frequent basis, remains close to the operational execution and steers the overarching strategy. A mid-term evaluation will be conducted based on an independent review of the results of the first phase of the program. Progress will be measured along the KPIs defined for the program, and the plan for the second phase will be assessed and adjusted as necessary.

As to the effectiveness of the National Growth Fund subsidy, an economic analysis by Roland Berger consultancy shows that the program will lead to an expected additional added value for economic sectors in the Netherlands of 500-700 million euro/year in 2031 and cumulatively to 20-25 billion euro in 2050. The societal benefits of the program are multiple and include strategic independence for our energy supply, production under responsible working conditions in Europe, environmental benefits through the use of more sustainable value chains, circularity approaches such as recycling, reduced use of materials, and strong reduction of CO₂ emissions.

Technology evolution 2024-2031





Analyse internationale context en strategische risico's

1. China: de huidige mainstream in Zon-PV, en hoe zich ten opzichte daarvan te positioneren

De dominante positie van Chinese Zon-PV-producenten op de gehele waardeketen, van materiaal (silicium), wafers, cellen tot modules, is in het hoofddocument beschreven. Deze dominantie is tot stand gekomen door jarenlange staatssteun door de Chinese overheid, opschaling naar multi-GW-fabrieken en door agressieve prijscompetitie, met als gevolg een non-level playing field voor Europese Zon-PV-producenten op de eigen thuismarkt.

De vraag is dus hoe initiatieven voor Zon-PV-productie in Europa hiermee kunnen concurreren. De sleutel daartoe ligt in de technologiestrategie. Dankzij hun capaciteitsoverwicht zijn de Chinese producenten erin geslaagd om een de facto technologiestandaard voor de Zon-PV-industrie te definiëren, die over het afgelopen decennium is geëvolueerd van Al-BSF via PERC naar TOPCON voor wat betreft de celarchitectuur, en van p-type multi-Si via p-type mono-Si naar n-type mono-Si voor wat betreft het actieve materiaal. Deze technologie-migratieroute volgde de weg van de laagste kapitaalsinvesteringen in apparatuur voor de celproductie: een PERC-lijn kon een bestaande Al-BSF-lijn hergebruiken met een minimale extensie in de vorm van nieuwe apparatuur; hetzelfde geldt voor de recente ontwikkeling van een TOPCON-lijn vanuit een PERC-lijn. Ondanks de duidelijke voordelen voor de Chinese Zon-PV-producenten brengt deze strategie hen uiteindelijk onder de wet van de remmende voorsprong: een bedrijf dat sterk geïnvesteerd heeft in deze mainstream productielijnen is gehouden deze gedurende vele jaren uit te nutten, en kan het zich niet veroorloven om in dezelfde periode sterk te investeren in nieuwe celtechnologieën die op radicaal andere productieapparatuur berusten. Dat laatste is precies de strategie die daardoor open ligt voor bij de nieuwe Zon-PV-initiatieven in Europa en die wij in dit Groeifondsprogramma in Programmalijn 1 en 2 volgen.

Naast de celtechnologie is er op module-niveau nog een andere belangrijke technologie-as waarlangs een differentiërend vermogen wordt opgebouwd t.o.v. de Chinese producenten. Dit betreft het ontwikkelen van alternatieven voor het conventionele paneel dat is opgebouwd uit een glasplaat en een aluminium frame door een composieten kunststof. Flexibele folies, lichtgewicht en geïntegreerde PV producten zoals die worden ontwikkeld door Solarge, Exasun en Energyra hebben hier een groot potentieel. Deze lijn wordt gevolgd

in Programmalijn 3 en heeft een enorm schalingspotentieel, omdat op de lange duur, bij voldoende hoge volumes, dit tot lagere materiaalkosten leidt dan bij een klassiek moduleontwerp.

De innovatieve technologieën waarop dit Groeifondsprogramma inzet, zijn alle zorgvuldig geselecteerd teneinde op een kansrijke manier de Zon-PV-markt te kunnen betreden, zonder te proberen de dominante Chinese producenten van standaard PERC- en TOPCON-modules op hun eigen terrein te verslaan. De strategie is om zo voor elk van de Programmalijnen het marktrisico sterk te reduceren en een goede en verdedigbare positionering voor het toekomstige verdienvermogen te creëren. De drie Programmalijnen doen dat op de volgende manier:

- **Programmalijn 1:** De positionering van de HJT-technologie in de markt is die van het hoogste cel-rendement (25,0 => 26,5%) en de hoogste jaarlijkse energieopbrengst t.o.v. andere Si cel-technologieën, inclusief de Chinese mainstream technologieën PERC (~23%) en TOPCON (~24,5%). Deze superioriteit van HJT in termen van Wp en kWh/kWp/jaar maakt het vervolgens mogelijk om kostencompetitief te zijn in termen van €/Wp, en uiteindelijk de laagste LCOE in termen van €/kWh te bereiken, zowel voor kleinschalige rooftop installaties als voor grootschalige utility Zon-PV-centrales. Met een Europese Zon-PV-markt, waarvan de omvang tot 2030 geschat wordt op 60-70 GW_p/jaar, wordt het marktrisico van HJT verder verlaagd.
- **Programmalijn 2:** De positionering van flexibele perovskietfolies in de markt is die van een (initieel) 15-20%-rendement low-cost alternatief voor zonnepanelen van silicium, met een laag gewicht en flexibiliteit als extra value propositions. Aangezien de rigide Chinese mainstream Zon-PV-modules op basis van glasplaten dit marktsegment niet kunnen penetreren, ontsnapt de perovskietfolie aan de gebruikelijke competitieve €/Wp-druk en kan het zijn eigen prijspunt vinden.
- **Programmalijn 3:** De positionering van de innovatieve geïntegreerde moduletechnologieën op de markt is die van een specifiek voor dakintegratie geconfigureerd alternatief dat superieur is aan het standaard silicium Zon-PV-aanbod in termen van laag gewicht, esthetiek en recyclebaarheid, en bovendien is het specifiek toegesneden op de Nederlandse markt. Hiervoor geldt een vergelijkbaar mechanisme als voor de perovskietfolies uit PL2: aangezien de Chinese mainstream Zon-PV-modules op basis van glasplaten van standaardafme-

tingen dit marktsegment niet kunnen penetreren, ontsnappen de geïntegreerde moduleproducten aan de gebruikelijke competitieve €/W_p-druk en kunnen ze hun eigen prijspunt vinden. Het resulterend perspectief is niet zozeer een markt-risico, maar eerder sterke en goed verdedigbare marktposities met hoge toetredingsdrempels voor eventuele nieuwkomers. Hooguit is het lastig om de precieze omvang en groei van deze markten te voorspellen.

De kracht van onze benadering is dat deze ook standhoudt tegenover steeds verdere schaalvergroting van de Chinese mainstream Zon-PV. Waar de Chinese top-10 producenten een paar jaar geleden capaciteitsuitbreidingen van meerdere GW's lanceerden, is dat in 2022/23 opgelopen tot tientallen GW's per project over de gehele silicium-Zon-PV-waardeketen. Dit laat onverlet dat de hierboven geschetste positionering van onze Zon-PV-technologieën verdedigbaar blijven.

Wat betreft het technologierisico is de situatie gedifferentieerd per Programmalijn, afhankelijk van de staat van ontwikkeling aan het begin van het project. Dit wordt verder uitgewerkt in de paragraaf 'Strategische risico's' hieronder.

2. Europa – bestaande Zon-PV-moduleproducenten

In Europa is de industrie van verticaal geïntegreerde Si-wafer-cel-module producenten in het afgelopen decennium verdwenen. Geen enkele producent heeft de (multi-) GW-schaal bereikt op enig punt van de silicium-waardeketen. In het bijzonder is de PV-celproductie vrijwel geheel verdwenen; de enige nog actieve celproducenten zijn Meyer Burger (Duitsland, HJT), 3SUN/ENEL (Italië, HJT) en FuturaSun (Italië, IBC), die in de volgende paragraaf worden behandeld. Daarnaast kent Europa een aantal relatief kleinschalige Zon-PV-modulefabrikanten die geen van allen een grotere capaciteit dan 500 MWp/jaar halen. Ook zijn er bedrijven die zowel cel- als modulefabricage aan China/Azië uitbesteed hebben en zelf in Europa alleen een installatie-activiteit hebben – deze vallen buiten het kader van deze analyse.

De kleinschalige Europese modulefabrikanten opereren allemaal volgens het businessmodel waarin de mainstream Si PERC-cellen vanuit China/Azië worden geïmporteerd en de modules in Europa in eigen beheer worden geassembleerd. Al deze modulebedrijven hebben dezelfde strategische problematiek:

- **Afhankelijkheid van import van cellen uit Azië**, geen controle over technologie-roadmap, prijsstelling, leveringszekerheid
 - **Onvoldoende capaciteit** om schaalvoordelen te realiseren, productiekosten niet competitief, bedrijf te weinig rendabel
 - **Onmogelijk om vanuit deze positie door te groeien** naar GW-schaal of technologieleiderschap
- Vanuit deze gehandicapte positie proberen deze bedrijven verschillende strategieën te volgen om zich toch te ontwikkelen:
- **Geleidelijk investeren** om toch langzaam in capaciteit door te groeien: voorbeeld is het bedrijf Voltec (Frankrijk) dat in 2023 naar 500 MWp/jaar gaat
 - **Eigen moduleproductie afschalen**, herpositionering downstream op Zon-PV-systemen/installaties: voorbeeld is het bedrijf Solarwatt (Duitsland), dat overweegt zijn 600 MWp/jaar-moduleproductie uit te besteden
 - **Migreren naar zonnecellen met hoog rendement** ter vervanging van PERC: voorbeelden zijn de bedrijven Luxor (Duitsland) en RECOM (Duitsland)
 - **Overname zoeken** door een andere Zon-PV-fabrikant die meer schaalgrootte heeft: voorbeelden zijn het bedrijf EDF-Photowatt (Frankrijk) en Sillia (Frankrijk) dat aan RECOM verkocht is.
 - **Bedrijf stoppen** wegens te klein productievolume: recente voorbeelden zijn de bedrijven SunPower Maxeon (Frankrijk) en VMH (Frankrijk).

Het totaalbeeld is dat er voor deze populatie van kleinschalige Zon-PV-modulebedrijven met een ongedifferentieerd product geen goede weg is naar multi-GW-schaal en/of technologieleiderschap. Om dat te bereiken, is binnen Europa een radicaal andere benadering nodig.

3. Europa – initiatieven voor een nieuwe Zon-PV-maakindustrie op multi-GW-schaal

Erkennend dat de ontwikkeling van Zon-PV in Europa een versnelling behoeft, heeft de Europese Commissie in 2022 een reeks beleidsmaatregelen genomen:

- Mei 2022: uitrol van de RePower Europe Strategie
- Mei 2022: lancering IPCEI (Important Project of Common European Interest) voor de Zon-PV-sector
- December 2022: lancering van de European Solar Industry Alliance (ESIA)

Onder toenemende druk om adequaat te reageren op de Inflation Reduction Act (IRA) in de VS, geeft de EC ook in begin 2023 sterke signalen af dat meer en krachtiger industriebeleid op korte termijn zal volgen. Concreet is zeer recent door EC-voorzitter Van der Leyen al aangekondigd:

- Januari 2023: Net Zero Industry Act

Dit alles heeft als doel om de reshoring van een Zon-PV-maakindustrie in Europa te bevorderen. Het beginpunt van waaruit dat moet gebeuren, bestaat uit slechts twee cel- en module-producenten die onderweg zijn om de 1 GW_p/jr-drempel te overschrijden:

1. Meyer Burger (Duitsland): 400 MWp/jr in 2021, uitbreiding gaande naar 1.4 GW_p/jr (celcapaciteit) en 1.0 GW_p/jr (modulecapaciteit) in 2023. De eerstvolgende uitbreiding daarna (400 MWp/jr modulecapaciteit) is gepland in de VS. Meyer Burger gebruikt een HJT-technologie van eigen ontwerp, gebaseerd op productiemachines van eigen makelij. Hoewel machinebouw historisch het métier van Meier Burger was, is de onderneming mid-2020 een andere weg ingeslagen door zijn eigen technologie in exclusiviteit zelf in productie te nemen en verkoopt het zijn machines niet meer aan andere partijen.

2. 3Sun (Italië): dochteronderneming van de nationale elektriciteitsgigant ENEL Green Power die van zonnecellen op basis van dunne lagen amorf silicium is overgestapt op HJT. Na een eerste pilot-lijnfase op basis van machines van Meyer Burger, is 3Sun noodgedwongen overgestapt op Applied Materials-apparatuur en is doende daarmee een productiecapaciteit op te bouwen voor cellen en modules via 400 MWp/jr in 2023 naar 3 GW_p/jr in 2024. Ook ENEL heeft aangekondigd een eventuele volgende capaciteitsuitbreiding in de VS te plannen.

Het is duidelijk dat deze twee industriële projecten alleen ver achterblijven bij de EU-doelstelling van 30 GW_p/jr aan Zon-PV-cel- en modulecapaciteit in 2025, en ook slechts aan een klein percentage van de Europese PV markt zullen kunnen bedienen.

Het PV-IPCEI-project is het instrument dat een sleutelrol kan spelen in het financieel en organisatorisch faciliteren van industriële projecten waarvoor op de Europese markt nog volop plaats is. De onderstaande tabel toont de zes projecten die in eerste aanleg voor het PV-IPCEI zijn geselecteerd. De eerste 3 GW_p/jaar-HJT-celafabriek van MCPV in Nederland correspondeert met Programmalijn 1 in het Groeifonds voorstel. Het is de ambitie van MCPV om vervolgens zo snel mogelijk door te groeien naar een capaciteit van 18 GW_p/jaar voor cellen en modules op Europese schaal. Hiermee is het

No.	Project title	Project targets
1	MCPV: Industrializing heterojunction cell and module technology on the Gigawatt scale	Establish within the next 7 years, 15 Gigawatt (GW) of PV cell and module manufacturing in Europe, on the basis of the highly efficient Heterojunction Technology (HJT). The first stage of the project will be the implementation of innovative HJT PV cell and module manufacturing pilot lined during 2022, ramping up cell manufacturing to 15 GW in NRW under the MCPV project by 2027.
2	GIGA PV: Manufacturing of TOP-Con PV cells and silver paste	Extend the European PV value chain by local manufacturing of silver paste and novel PV cells. The innovation will focus on reduction of cost of silver contacts on silicon TOPCon cells, without compromising the advantages of the technology.
3	OXFORD PV: Industrializing Tandem PV technology to the Gigawatt scale	To bring Tandem Silicon-Perovskite PV technology at industrial maturity and Gigawatt scale production establishing a production of 3 GW of PV cells and modules in Europe Tandem technology will allow to overcome Silicon cell power efficiency conversion exceeding 30% and to lower Levelized Cost of Energy.
4	SOLITEK: PV Integrated solutions	Develop and establish large-scale Europe based production of innovative integrated PV solutions. For applications in buildings (BIPV), infrastructure (IIPV), vehicles (VIPV) and agriculture (Agro-PV).
5	REC SOLAR: Circular PV production	To ensure that PV would be the best-in-class of environmental technologies on sustainability by minimizing the environmental impact from PV manufacturing and end-of-life.
6	ISC KONSTANZ: Industrializing IBC technology to GW scale	To create European R&D experience for n-type bifacial PV ingot, wafer, cell and module technology and to develop it to the industrial GW scale.

MCPV-project veruit het grootste van de PV-IPCEI-lijst. Giga PV bijvoorbeeld mikt op 1 GW_p/jaar, Solitek op 2,5 GW_p/jaar en ISC Konstanz op 5 GW_p/jaar.

4. Verankering van het innovatieprogramma binnen Europa

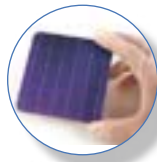
Het innovatieprogramma is goed verankerd in het internationale onderzoeks- en innovatielandschap. De commerciële en academische partners hebben een groot aantal internationale samenwerkingen, vooral binnen Europa. Dit wordt onder andere duidelijk door de grote hoeveelheid Europese onderzoeks- en samenwerkingsprogramma's (Horizon2020, Horizon Europe, etc.) op het gebied van Zon-PV waarin partners van het SolarLab consortium en TNO deelnemen. Samen vertegenwoordigen deze Europese programma's op het moment van schrijven een volume van 95 miljoen euro. Gedurende de loop van het Groiefonds programma zullen het Programmabestuur en de SolarLab programmalijnleiding verdere samenwerkingen met Europese Zon-PV groepen binnen Horizon Europe en andere programma's actief stimuleren, waarbij het programmabureau een actieve rol speelt in het identificeren van nieuwe mogelijkheden. Zo gebruiken we het Groiefondsprogramma als hefboom voor het verwerven van nieuwe Europese subsidies. Voor het innovatieprogramma bij TNO en de commerciële partners zoeken we aansluiting bij de *ziar* en verschillende Europese technologieprogramma's (*Sunergy*, *Processes4Planet*, etc.). Met het consortium zijn we tevens nauw betrokken bij (het opzetten van) nieuwe initiatieven die op dit moment in Brussel worden voorbereid, zoals de *REPower Europe* strategie, IPCEI (Important Project of Common European Interest) voor de Zon-PV-sector en de *European Solar Industry Alliance* (ESIA).

5. VS en India

De recente financiële stimuleringsprogramma's ter bescherming van de eigen nationale Zon-PV-maakindustrie in India (Production Linked Incentive scheme, PLI) en in de VS (Inflation Reduction Act, IRA) zijn in dit document al eerder beschreven. Deze vormen een bedreiging voor het behalen van de Europese doelen voor een eigen maak-industrie op het gebied van Zon-PV, doordat ze een aanzuigende werking hebben op investeringen, projecten en talenten uit Europa. De effectiviteit van deze industriepolitiek van overheidswege voor het eigen nationaal belang van deze landen kan niet onderschat worden: gegeven recente aankondigingen van nieuwe industriële projecten, zijn beide landen op koers naar een Zon-PV productiecapaciteit van vele tientallen GW_p/jaar. De vraag kan worden gesteld of een opkomende Zon-PV-maakindustrie in de VS en India in de komende jaren op de Europese markt zou gaan concurreren met (nieuwe) Europese Zon-PV-producenten, c.q. of de Europese Zon-PV-markt zich vanuit de VS of India zou kunnen laten bevoorraden? Het antwoord hierop is dat dit in het geheel niet te verwach-

ten is: de financiële stimuleringsmaatregelen in deze landen zijn gericht op het bevorderen van lokale Zon-PV-productie voor installatie in eigen land. Een bedrijf in de VS of India dat zijn Zon-PV-modules naar Europa zou exporteren, zou een deel van zijn nationale financiële voordelen en marktbescherming kwijtraken, wat tegenstrijdig is met het stimuleringsmechanisme. Ook zullen de lokale markten in India en de VS snel groeien en de lokale productie volledig kunnen absorberen. De consequentie is dat opkomende Zon-PV-productie in deze landen geen factor is voor het bedienen van de Europese markt: alle kansen voor een eigen Europese Zon-PV-maakindustrie blijven intact.

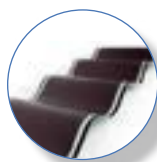
6. Strategische risicoanalyse voor de drie Programmalijnen Zoals hierboven onder 1. is uiteengezet, is voor elk der Programmalijnen het marktrisico sterk gereduceerd door de technologiekeuzes die de dominante Chinese producenten van standaard PERC- en TOPCON-modules niet direct op hun eigen terrein beconcurreren. Wat betreft het technologierisico kan de volgende gezegd worden per Programmalijn:



Programmalijn 1 De HJT-celtechnologie is de afgelopen jaren gevalideerd tot het niveau van industriële pilot-productielijnen en van elektriciteitsproductie van de eerste instal-

laties. Het technologierisico is daarmee sterk gereduceerd: de volgende stap is stabiele productie van grote volumes (meerdere GW_p/jaar) tegen een competitief kostenniveau; dit is de doelstelling van Programmalijn 1. De HJT-cel differentieert zich bij uitstek door een hoge elektriciteitsproductie (kWh) en een lage elektriciteitsprijs (LCOE), waarnaar sterke vraag is vanuit vooral grootschalige Zon-PV-installaties. Met een Europese Zon-PV-markt geschat op 60-70 GW_p/jaar wordt het markt-

risico van HJT als laag ingeschat. De perovskiet/HJT-tandemcel staat nog aan het begin van zijn technologische ontwikkeling. De innovatiesprong die hier beoogd wordt, betreft dus een "hoog risico, hoog rendement"-strategie, die zeer goed binnen het Groiefondsprogramma past omdat de twee bouwstenen van de tandemcel, de HJT-cel en de perovskietfolie, in Programmalijn 1 en Programmalijn 2 worden ontwikkeld.



Programmalijn 2 Omdat de Zon-PV-module op basis van perovskietfolie nog een sterke technologische ontwikkelingscomponent heeft, is eerst een onderzoeksfase gepland.

Dit impliceert een technologierisico, waarvan de keerzijde overigens is dat er een reëel potentieel voor technologische differentiatie is. Het Nederlandse perovskietonderzoek staat wereldwijd op hoog niveau en heeft daarmee een uitstekende uitgangspositie om deze technologie door te ontwikkelen tot de commerciële fase. Het uiteindelijke product zal een

flexibele, lichtgewicht Zon-PV-module zijn met een rendement van 20%, op een vergelijkbaar prijsniveau (in €/W_p) als standaardmodules. Deze perovskietfolie spreekt andere marktsegmenten aan dan de klassieke Zon-PV-modules. Dit is de reden waarom het marktrisico als laag wordt ingeschat.



Programmaliijn 3 De focus van Programmaliijn 3 ligt op de ontwikkeling van een veelheid van geïntegreerde producten op basis van Zon-PV-modules voor speciale toepassingen die complementair zijn aan die van klassieke Zon-PV-modules. De kracht hiervan is dat deze toepassingen vaak specifiek zijn voor de Nederlandse markt (bijvoorbeeld integratie in gebouwde omgeving) en/of sterk differentiërend (bijvoorbeeld integratie in voertuigen). Het competitieve voordeel wordt nog verder versterkt door de toepassing van circulariteit in materialen en producten. Het resulterend perspectief is niet zozeer een marktrisico, maar eerder buitengewoon sterke en goed verdedigbare marktposities met hoge toetredingsdrempels voor eventuele nieuwkomers. Hooguit is het lastig om de precieze omvang en groei van deze markten te voorspellen. Ook het technologierisico wordt voor deze programmaliijn als laag beoordeeld: de deelnemende partijen beschikken daarvoor over de benodigde competenties op het gebied van zowel Zon-PV als toepassingen daarvan.

Externe risico's: Naast de besproken technologie- en marktrisico's kan ook een aantal externe risico's voor de drie Programmaliijnen geïdentificeerd worden.

Prijscapetitie

Om het risico van een nieuwe prijscompetitie, vooral door Chinese/Aziatische concurrenten te taxeren, is het belangrijk te analyseren welke factoren hierbij het afgelopen decennium aan het werk zijn geweest:

- Schaalvergroting van productiecapaciteiten: in de periode 2010-2016 heeft de Europese Zon-PV-industrie deze dynamiek in China niet kunnen volgen. Vanuit de huidige multi-GW schaal van Zon-PV-fabrieken zijn eventuele verdergaande economies of scale nu aanzienlijk veel kleiner dan in die periode. In het Groeifondsprogramma is derhalve voor alle Programmaliijnen voorzien om de geïndustrialiseerde technologieën zo snel mogelijk op te schalen naar GW-schaal.
- Verbetering van het zonnecelrendement: in de periode 2017-2022 is rendement de belangrijkste driver achter de verdere kostenreductie in €/W_p geweest. Het Groeifondsprogramma wordt niet door deze dynamiek bedreigd: enerzijds loopt de HJT-technologie in PL1 juist voorop in celrendement, anderzijds hebben de perovskietfolies in PL2 en de geïntegreerde moduleproducten in PL3 een bredere value proposition die een race to the bottom in prijs vermijdt.

- 10-15% kostenvoordeel dankzij staatssteun door de Chinese overheid: de Groeifondssubsidie, en naar verwachting verruimde Europese regelgeving voor staatssteun die van kracht zal kunnen worden in de eerste helft van 2023, zullen effectief kunnen zijn om dit aspect van het playing field in evenwicht te brengen. Verdere correcties zou kunnen zijn een bescherming van de Europese markt voor modules die met dwangarbeid zijn geproduceerd, en een beprijzen van de CO₂-voetafdruk bij de productie van zonnepanelen.
- De recente sterke prijsdalingen van zonnecellen en -modules in januari 2023 zijn het gevolg van nieuwe productiecapaciteit voor poly-Si in China, waardoor een tijdelijke siliciumschaarste op de markt wordt opgelost. In feite komen de prijzen voor Zon-PV weer terug naar het niveau van ca. 1½ jaar geleden, voordat de prijsopdrijving door de siliciumschaarste op gang kwam. Overigens raakt een prijsvariatie in Si materiaal alle Zon-PV-producenten in gelijke mate, of ze in China of elders op de wereld gebaseerd zijn: het is dus geen signaal van prijsconcurrentie.

Samenvattend kan gesteld worden dat geen van de historische mechanismen achter sterke neerwaartse prijsdruk opnieuw zal kunnen optreden. De enige manier waarop Europese Zon-PV-fabrikanten onder dergelijke druk zouden kunnen worden gezet, is als buitenlandse concurrenten onder de kostprijs zouden gaan verkopen. Voor dat geval is de eerste verdediging van een Europese Zon-PV-fabrikant om zo snel mogelijk op (multi-) GW-capaciteitsschaal te komen, zodat hij zijn eigen schaalvoordelen heeft – zoals in het Groeifondsprogramma gepland is. De tweede verdediging zou zijn om tot een grotere verticale integratie over de silicium-waardeketen over te gaan, dit kan op wat langere termijn gerealiseerd worden.

Technologiecapetitie

Een extern risico kan zijn dat concurrenten sneller voortgang boeken in de ontwikkeling van hoogrendement-technologieën dan de Groeifondspartners.

Dat dit zou gebeuren met een geheel andere celtechnologie dan de mainstream of de HJT- en perovskietfamilie, lijkt uiterst onwaarschijnlijk, want een dergelijke alternatieve technologie is op dit moment niet bekend. Sinds lang is al bekend dat GaAs zonnecellen ook het potentieel hebben voor een rendement van ca. 30%, maar deze technologie zit al sinds jaren vast op een veel te hoog kostenniveau vanwege de intrinsiek lage productiviteit van de fabricagetechniek (epitaxiale groei in vacuüm).

Dat een concurrent sneller vooruit zou gaan in de voor het Groeifondsprogramma gekozen technologieën, is een risico dat niet uitgesloten kan worden. Zon-PV-technologie is een competitief veld met kwalitatief hoogstaande onderzoeksinstituten in vele landen, en multi-GW-bedrijven die hun eigen innovatiekracht steeds verder versterken. Het Groeifondsprogramma

gebruikt de sterke Nederlandse uitgangspositie in de gekozen technologieën om in deze race in de kopgroep te blijven.

- In HJT-cellen heeft Europa lange tijd een voorsprong gehad, maar uiteindelijk zal deze technologie ook door nieuwkomers elders in de wereld ter hand worden genomen. Het is dus zaak om de HJT-cellen zo snel mogelijk in productie te brengen, en wel vanuit een solide technologiebasis. Dit is precies de strategie van het Groeifondsprogramma in PL1.
- Perovskietcellen zijn een thema waar door iedere zichzelf respecterende Zon-PV-partij in de wereld aan gewerkt wordt, maar het overgrote merendeel doet dit op basis van vaste substraten. Slechts een kleine minderheid, waaronder het bedrijf Saule Technologies (Polen) en EMC (VS) die pilotlijn-aspiraties hebben, werken aan perovskietfolies, zodat deze keuze binnen het Groeifondsprogramma aan veel minder concurrentie onderhevig is. Dit geldt zeker ook voor de ontwikkeling van perovskiet/perovskiet-tandemcellen binnen PL2.
- Ook aan de silicium/perovskiet-tandemcel wordt door zeer veel partijen op de wereld gewerkt en de ontwikkelingen hierin zijn dynamisch. Binnen Europa lijkt het bedrijf Oxford PV (Duitsland) het verst gevorderd in de richting van een pilotlijn. Opnieuw is de Groeifondsstrategie met gebruikmaking van perovskietfolies in de tandemcel een originele benadering die juiste weinig concurrentie kent, met name de 4T combinatie, gebruik makend van een roll-to-roll of roll-to-sheet proces.

Toeleveranciers

Een extern risico kan zijn dat de opbouw van een volledig Europese waardeketen van toeleveringsbedrijven zich langzamer ontwikkelt dan gepland of met gaten blijft zitten. Dit zal o.a. afhangen van vele beslissingen van individuele bedrijven in verschillende landen; het risico laat zich derhalve moeilijk kwantificeren. Wel is het een essentiële risicobeperkende omstandigheid dat op geen enkel kritisch punt van de supply chain bij nul hoeft te worden begonnen: de volgende bestaande bedrijven opereren nu nog met beperkte productiecapaciteiten, maar beschikken over hoogwaardige technologie en hebben de ambitie om door te groeien naar (multi-) GW-schaal zodra er voldoende vraag ontstaat vanuit de Europese thuismarkt van nieuwe Zon-PV-producenten. Verre van volledig, noemen we hier alleen de Europese toeleveranciers van kritische materialen die onmisbaar zijn voor de opschaling van het Europese Zon-PV-ecosysteem:

- **Wacker (Duitsland) – poly-Si ingot:** Wacker is een silicium-fabrikant met een lange traditie in de halfgeleider- en Zon-PV-sectoren. Wacker is het enige Zon-PV-bedrijf in Europa dat een significant wereldwijd marktaandeel (5-10%) heeft, maar verkoopt zijn gehele silicium-productie in China; het zou zijn verkopen naar Europa kunnen verleggen indien daar vraag van nieuwe Zon-PV-producenten zou opkomen. Wacker

beschikt over hoogwaardige technologie en claimt een 50% lagere voetafdruk in kg-CO₂/kg-Si dan zijn Chinese concurrenten.

- **NorSun (Noorwegen) – Si ingots & wafers:** NorSun heeft een lange traditie in producten van hoge kwaliteit n-type silicium, die van oudsher geleverd werden voor de hoogrendement cellen geproduceerd door Sunpower (IBC-cel) en Sanyo/Panasonic (1e generatie HJT-cel). De CO₂-voetafdruk van het silicium van NorSun is zeer laag dankzij 100% gebruik van hydro-elektriciteit in de productie. NorSun zit sinds lange tijd gevangen in de vicieuze cirkel van kleine productiecapaciteit (< 1 GW_p/jr) – hoog kostenniveau – kleine clientèle, maar heeft de plannen voor opschaling naar 5-6 GW_p/jr al klaarliggen zodra een toename van de vraag binnen Europa dat mogelijk zou maken.

- **Norwegian Crystals (Noorwegen) – Si ingots & wafers:** Norwegian Crystals is in veel opzichten vergelijkbaar met Norsun, al bestaat het sinds minder lange tijd. Ook Norwegian Crystals zit nog op een kleine productiecapaciteit van 0,5 GW_p/jr en heeft de ambitie om op te schalen naar 4-6 GW_p/jr. Een eerste stap daarnaartoe is onlangs gezet door het afsluiten van een meerjarig leveringscontract met Meier Burger voor diens eigen capaciteitsgroei. Dit is een perfect voorbeeld van hoe producenten en afnemers van Zon-PV-materialen in samenhang de groei naar multi-GW-schaal kunnen organiseren.

- **Nexwafe (Duitsland) – Si wafers:** Nexwafe is een technologiestartup vanuit het Fraunhofer ISE instituut (Freiburg) die een doorbraak hoopt te creëren met een innovatief proces van epitaxiale groei van dunne siliciumwafers, zgn. direct gas-to-wafer. Deze techniek belooft grote voordelen in termen van Si materiaalgebruik, CO₂-voetafdruk en productiekosten. Nexwafe is in een industriële pilotlijnfase (700 MWp/jr) en nog niet in productie, maar in geval van succes liggen ook hier de ambities voor opschaling naar een capaciteit van 3 GW_p/jr al klaar.

• AGC (Duitsland) en Interfloat (Duitsland) – glasplaten voor Zon-PV:

HJT-moduleproductie maakt geen deel uit van dit Groeifondsprogramma, maar omdat glas voor Zon-PV-modules een kritisch materiaal is dat zeer grootschalige productie-eenheden vereist, noemen we ze hier toch kort. Zowel AGC als Interfloat hebben een lange traditie in glasfabricage, maar ook zij zitten gevangen in de vicieuze cirkel van kleine productiecapaciteit – hoog kostenniveau – kleine clientèle binnen Europa. Ook voor hen is het ontstaan van een multi-GW-vraag binnen Europa een voorwaarde om zelf naar dat niveau op te kunnen schalen en nieuwe fabrieken te stichten. AGC bijvoorbeeld verkoopt op dit moment slechts 5% van zijn glasproductie in de Zon-PV-sector. Interfloat is in 2022 overgenomen door het Indiase bedrijf Borosil, in de expliciete verwachting de activiteiten binnen Europa de komende jaren te kunnen uitbreiden.



Beschrijving partners



MCPV is een Europese startup in de Zon-PV-maakindustrie met sterke Nederlandse wortels, opgericht in 2019. MCPV heeft een uniek Europees team van internationale topexperts opgebouwd met kennis op het gebied van de siliciumzonnecellen van het heterojunctietype, sterke ervaring in de maakindustrie en procestechnologie, alsmede markt- en beleidskennis. Voor een uitgebreide beschrijving: zie Appendix D en www.mcpv.eu



Solarge International BV, een bedrijf uit de HTSM-sector, is begin 2018 gestart met de ontwikkeling van lichtgewicht Zon-PV-modules, vanuit een initiatief van bouwbedrijf Heijmans, TNO, kennisinstituut Solliance en SABIC. Solarge is leverancier van nieuwe Zon-PV-technologie en maakt gebruik van vezelversterkte polymeren en een speciaal door SABIC ontwikkelde set materialen. De panelen hebben een circulair ontwerp en een zeer lage carbon footprint. Solarge is gevestigd in Weert en heeft 18 medewerkers in dienst. In dit project brengt Solarge knowhow en technische kennis in voor de ontwikkeling van een zeer groot en lichtgewicht kunststof Zon-PV-paneel en ontsluit direct een nieuwe en potentieel zeer grote markt.

www.solarge.com



TNO, de Nederlandse organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek, heeft tot doel om kennis toepasbaar te maken voor bedrijven en overheden. Als publiekrechtelijke organisatie heeft TNO een onafhankelijke positie.

TNO kent zeven units waarvan de unit Energy & Materials Transition onder meer de expertisegroepen Solar Energy en Solar Technologies & Applications omvat die zijn gevestigd in geavanceerde Zon-PV-innovatielabs in Petten en Eindhoven. TNO heeft ruim 3.000 werknemers en een jaaromzet van ruim 500 miljoen euro.

www.tno.nl



SolarLab is het nationale netwerk van Zon-PV-onderzoekers. Het kent een gezamenlijke onderzoeksagenda voor het realiseren van stabiele, duurzame zonnecellen met hoog rendement en vormt een krachtig ecosysteem met een sterke stem voor het Nederlandse Zon-PV-onderzoek in binnen- en buitenland. SolarLab heeft tot doel de Zon-PV-samenwerking in Nederland te versterken, faciliteiten te delen en financieringsstromen te coördineren. SolarLab omvat ruim 50 onderzoeksgroepen met zo'n 160 promovendi en postdocs bij 5 hoofd-hubs AMOLF, RUG, TUD, TUE en UT, satellietgroepen bij UU, RUN en UvA, en daarnaast zo'n 60 technologieonderzoekers bij TNO.

www.SolarLab-nl.org



Compoform BV, gevestigd te Ospel, is een dochteronderneming van Giant Leap Composites B.V. (GLC), dat in maart 2021 is ontstaan uit een samenwerking tussen Compo-Group en Dutch Composites. GLC beschikt over ruim 40 jaar ervaring in het ontwikkelen van composietstructuren. Het is gespecialiseerd in het ontwikkelen van lichtgewicht (organo-)sandwichpanelen, waarbij de nadruk ligt op duurzaamheid, recycling en sterke materiaaleigenschappen. Op basis van klantvragen worden passende ontwerpen geleverd, ondermeer voor lichtgewicht zonnepanelen. Compoform is de handelsnaam van GLC en actief in de bouw- en automotive-markten.

www.giantleapcomposites.com



Energyra Europe BV (Westknollendam) is een familiebedrijf en scale-up met zo'n veertig werknemers. Het bedrijf richt zich op de ontwikkeling, productie, levering en wereldwijde export van specifieke Zon-PV-oplossingen als zonnepanelen voor toepassing in de bebouwde omgeving en halffabricaten voor ontwikkelaars van producten in bouw, infrastructuur en mobiliteit. De huidige technologie van Energyra is gebaseerd op de door TNO ontwikkelde 'back contact technology', die door Energyra is doorontwikkeld voor toepassing, productie en applicatie in Zon-PV-producten. De productiecapaciteit van Energyra is op dit moment zo'n 150 MW_p en zal groeien tot ongeveer 1,2 GW_p in 2030.

www.energyra.com



Exasun is producent van geïntegreerde zonnepanelen met hoog rendement. Haar R&D en productontwikkeling richt zich op verdere integratie, esthetische verbetering, lage milieuschade en circulariteit van haar producten. De productie van Exasun is sinds 2016 gevestigd in Den Haag/Ypenburg. Het bedrijf kent 50 medewerkers en een jaaromzet van 6 miljoen euro (2022). Bij de werving van personeel werkt Exasun nauw samen met Gemeente Den Haag en de IND om mensen uit de bijstand of statushouders een kans te geven op werk.

www.exasun.com



HyET Solar (Arnhem) ontwikkelt Zon-PV-technologieën op basis van dunne films die commercieel levensvatbare, grootschalige toegang tot decentrale hernieuwbare energiebronnen mogelijk maken. De flexibele dunnefilm-zonnetechnologieën van HyET Solar maximaliseren het zonnepotentieel van alle oppervlakken om de laagste elektriciteitskosten op te leveren, waarmee HyET Solar een nieuwe standaard zet voor fofovoltaïsche energieopwekking. HyET Solar voert een actief beleid om toepassingen van zijn technologieën te ontwikkelen die ecologisch duurzame economische ontwikkeling en armoedebestrijding in de wereld ondersteunen.

www.hyetsolar.com



IM Efficiency is opgericht in 2016 en heeft vestigingen in Helmond en Heerlen. IM Efficiency heeft een zonne-energiesysteem ontwikkeld dat commercieel transport verduurzaamt door trailers te voorzien van dunne zonnepanelen, een lithiumbatterij en een energiemanagementsysteem. De specifieke kennis van IM Efficiency zit in een gepatenteerd energiemanagementsysteem. IM Efficiency verkoopt het compleet geïnstalleerde systeem als eindproduct aan vervoerders. IM Efficiency heeft een sterke R&D innovatiefocus om commercieel transport verder te verduurzamen.

www.imefficiency.com



Lightyear Layer B.V. is een dochtermaatschappij van Atlas Technologies Holding B.V. dat sinds 2016 actief is als ontwikkelaar van zonneauto's. Het bedrijf is voortgekomen uit het Solar Team Eindhoven. Lightyear Layer B.V. heeft een eigen faciliteit in Venray waar zonnedaken worden ontwikkeld en geproduceerd voor de brede VIPV markt. Lightyear Layer ontwikkelt complete solar systemen (zonnepanelen, elektronica en bijbehorende user interface software applicaties) aan een brede groep klanten waaronder original equipment manufactureres (OEMs) in de automotive industrie, Tier-1 suppliers aan automotive OEM en bedrijven in de maritieme industrie, naast de toepassing in de Lightyear 2 auto.

www.lightyear.one

Noot betreffende de deelname van Lightyear Layer B.V.: Lightyear Layer B.V. (ontwikkeling zonnedaken voor VIPV) en Atlas Technologies B.V. (ontwikkeling Lightyear 0 auto) zijn dochtermaatschappijen van Atlas Technologies Holding B.V. Ten tijde van het gereedkomen van dit voorstel werd het faillissement bekend van dochtermaatschappij Atlas Technologies B.V.. Het bedrijf Lightyear Layer B.V. zet zijn werkzaamheden voort en richt zich op de ontwikkeling van geïntegreerde zonnepanelen zoals hierboven beschreven. Het innovatieprogramma voor deze technologie past in het hart van programmalijn 3 (BIPV, VIPV).

taylor.

Taylor Technologies B.V. (Eindhoven) is in 2017 opgericht als spin-off van de TUE en ontwikkelt en vermarkt micro-elektronica en software voor de Zon-PV-industrie. Taylor is gespecialiseerd in cell-string-optimalisatietechnologie en levert gespecialiseerde elektronica aan zonnepaneelfabrikanten en gateways en software aan Zon-PV-installateurs. Taylor werkt voor de productie samen met gerenommeerde industriële partijen zoals Amphenol en leverde tot op heden 34.000 eenheden aan gerenommeerde zonnepaneelfabrikanten.

www.taylor.solar



Beschrijving MCPV team, expertise, investeringsplan

Geschiedenis en ervaring

MCPV is een Europese startup in de Zon-PV-maakindustrie met sterke Nederlandse wortels. Het is in 2019 opgericht door Eicke Weber, Marc Rechter en Natalie Samovich. Rechter en Samovich zijn tevens oprichters van Resilient Group Holding BV, een energietransitie-incubator gevestigd in Groningen met internationale activiteiten in groene waterstof en digitalisatie. MCPV heeft een uniek Europees team van internationale topexperts opgebouwd met kennis op het gebied van heterojunctiezonnecellen van silicium, sterke ervaring in de maakindustrie en procestechnologie, en markt- en beleidskennis.

Het MCPV-team heeft een eigen blauwdruk ontworpen voor een zonnecelfabriek op basis van heterojunctietechnologie, gebaseerd op de gezamenlijke kennis en samenwerking met leidende partijen uit de digitalisatie en original equipment manufacturing (OEM) sector. MCPV zal met deze blauwdruk in 2023/2024 een 300 MW_p zonnecellen-pilotfabriek opbouwen, gevolgd door opschaling in 2025 naar een 3 GW_p fabriek, de eerste in zijn soort. Deze zal vervolgens worden gerepliceerd in Nederland en andere Europese landen, met als een doel in 2030 een totale zonnecellenproductiecapaciteit te realiseren van 15 GW_p. Een sterk punt van de blauwdruk van MCPV is dat deze een innovatieve heterojunctieproductielijn zal neerzetten die duurzaam concurrerend zal zijn (ook in vergelijking met vergelijkbare Chinese producten) en tegelijkertijd een acceptabel technologie-risicoprofiel heeft.

MCPV, en met name haar twee medeoprichters Weber en Rechter, spelen een actieve rol in het Europese beleidsdebat in Brussel. Zo hebben Weber en Rechter bijgedragen aan het oprichten en verder uitbouwen van de European Solar Manufacturing Council. Ook hebben zij samen met de Europese Zon-PV-maakindustrie bijgedragen aan het initiëren, in 2022, van een *Important Project of Common European Interest* (IPCEI) voor Zon-PV. Tevens speelden zij een actieve rol in de oprichting van de European Solar Industry Alliance, die in december 2022 in Brussel is gelanceerd. Met deze initiatieven is MCPV nu een leidende partij in de zich snel ontwikkelende Europese Zon-PV-maakindustrie. Met dit Groeifondsinitiatief bouwt MCPV in Nederland een van de eerste GW_p zonnecellenfabrieken in Europa. Dit trekt een breed ecosysteem van gerelateerde bedrijven aan en geeft de Nederlandse kennisinstellingen de mogelijkheid hun ontwikkelde kennis in Zon-PV-technologie in Nederland toe te passen.

Het Groeifonds is voor MCPV een essentieel financieringsinstrument om het GW_p-project in Nederland van de grond te krijgen, ook gezien de sterke competitie van staatssteun via de in 2022 in werking getreden Inflation Reduction Act in de Verenigde Staten. Het Groeifondsprogramma zal waarschijnlijk worden aangevuld met complementaire steuninstrumenten die momenteel in Brussel worden besproken als reactie op deze staatssteun. De timing van het MCPV-project en het Groeifondsproject is daarmee ideaal.

Management



Eicke Weber is medeoprichter en directielid van MCPV in 2019 en één van de wereldwijd meest voorstaande wetenschappers op het gebied van Zon-PV-technologie. Hij was van tot 2016 directeur van het gerenommeerde Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE (Freiburg). Weber is vicevoorzitter van de International Solar Energy Society (ISES) en medevoorzitter van de European Solar Manufacturing Council (ESMC). Van 2015 tot 2017 was hij voorzitter van de Association of European Renewable Energy Research Centers (EUREC). Weber publiceerde meer dan 600 peer-reviewed papers, die meer dan 42.000 keer werden geciteerd. Weber is wereldwijd een van de toonaangevende pleitbezorgers voor het versnellen van de energietransitie en actief deelnemer aan discussies rond Zon-PV-beleid in Duitsland en de Verenigde Staten.



Marc Rechter is ondernemer en medeoprichter en CEO van MPCV. Hij is oprichter van het bedrijf Resilient Hydrogen en het Zon-PV-demonstratie- en innovatieplatform Enercoutim, en mede-initiatiefnemer van de waterstofprojecten H2Sines.RDAM en Hydrogenizing Barcelona. Rechter is een actieve voorvechter van de implementatie van de energietransitie en al jaren actief in het Europese beleidsdebat. Hij is medeoprichter van de European Clean Hydrogen Alliance, de European Solar Manufacturing Council en, in december 2022, van de European Solar Industry Alliance. Hij heeft een actieve communicatie met de Europese Commissie, Europees Parlement en verschillende Europese overheden. Voordat hij ondernemer werd, werkte Rechter dertien jaar voor ABN AMRO, onder meer als lobbyist in Brussel.



Benjamin Strahm is CTO en directielid van MCPV sinds 2021. Met een achtergrond in plasmafysica, heeft Strahm als hoofd van R&D over een periode van elf jaar voor het bedrijf Roth & Rau (later overgenomen door Meyer Burger) de hetero-junctie-zonneceltechnologie ontwikkeld tot de massaproductie-status die het vandaag heeft bereikt. Strahm is daardoor een van de wereldwijde top-technologie-experts op het gebied van deze technologie. Strahm speelde een leidende rol in de implementatie van de eerste hetero-junctieproductielijnen in Europa van ENEL Green Power en REC, alsook de R&D-lijnen voor hetero-junctietechnologie bij onderzoeksinstituten zoals CEA-Ines en TNO.



Natalie Samovich, MBA, is CIO en mede-oprichtster van MCPV. Zij is tevens mede-oprichter van Enercoutim en Resilient Hydrogen. Zij is specialist in digitale industrie, en werkte sinds 2000 bij digitale consultant Viant in de Verenigde Staten, het biotechnologiebedrijf Genzyme en IT consultants Altran (nu Capgemini). Samovich is verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de Industry 5.0-strategie van MCPV en heeft samen met specialisten op het gebied van hetero-junctietechnologie en leidende externe partijen de digitale productieblauwdruk van MCPV ontworpen. Hiermee staat MCPV voorop in de ontwikkeling van de digitale maakindustrie op het gebied van hetero-junctietechnologie, en verwacht hiermee een groeiend concurrentievoordeel op te bouwen.



Dick Heslinga, is Vice President Operations van MCPV en is verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de Nederlandse hetero-junctiecelafabriek. Heslinga promoveerde in 1991 aan de RUG en maakte carrière bij Philips Semiconductors waar hij meewerkte aan de ontwikkeling, bouw en exploitatie van halfgeleider-/chipfabrieken in Nederland, Frankrijk en de Verenigde Staten. Sinds 2007 richt Heslinga zich op onderzoek en industrialisering van silicium-hetero-junctiezonneceltechnologie bij het Franse CEA-Ines instituut waar hij Director of Strategic Marketing PV Industrialisation is. Heslinga combineert zo diepgaande kennis op het gebied van hetero-junctieceltechnologie met ervaring met ontwikkeling, bouw en operatie in de halfgeleidermaakindustrie, wat direct van toepassing is op de silicium-hetero-junctietechnologie.

Aanvullend team

Voor ontwikkeling van de MCPV-fabriek is het MCPV-team uitgebreid met de volgend specialisten:

- **Guenter Grabosch** PhD
expert op het gebied van plasma's en productietechniek
- **Simon Haenni** PhD
expert op het gebied van Zon-PV-moduleontwerp en productie
- **Thomas Mysik** MBA
expert op het gebied van Zon-PV, energieopslag, marketing en sales

MCPV speelt een initiërende en leidende rol in onderstaande initiatieven:

ESMC	Zon-PV	IPCEI
alliantie van Europese maakindustrie op het gebied van Zon-PV	op hoog niveau op de publieke agenda	Europese publiek-private industriële strategie voor Zon-PV

Important Projects of Common European interest (IPCEI)

- Projects of EU strategic importance relating to innovation in resource-intensive core market segments
- Promotes innovative industrial deployment, facilitating policy and private-public joint partnerships
- Existing IPCEI projects
 - Battery value chain
 - Microelectronics
 - European batteries innovation
- Solar PV next

European Commission launches consultation ahead of solar strategy reveal

By Luke O'Neil | January 27, 2022

The European Commission has launched a public consultation on solar energy of the continent as it prepares proposals to push its solar strategy over the next year.

The European Commission has launched a public consultation on solar energy of the continent as it prepares proposals to push its solar strategy over the next year.

The consultation process is one of its greatest aims to address policy objectives that may be required to reach these specific objectives, namely the acceleration of solar deployment through increased state resources, supply side measures exploring the supply of affordable and sustainable PV products and the potential to increase socio-economic benefits associated with solar.



Governance

Gehanteerde uitgangspunten

Voor het vaststellen van een passende, evenwichtige en werkbare governance zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De governance is ontworpen om transparante en onafhankelijke uitvoering van het programma te borgen en tegelijk zo doelmatig mogelijk te sturen op resultaten en impact
- Om snel en slagvaardig van start te kunnen gaan is ervoor gekozen om het programmabestuur en de adviesraden al grotendeels in te vullen met gekwalificeerde vertegenwoordigers van de belangrijkste bij het programma betrokken bedrijven en kennisinstellingen
- Bij start uitvoering stelt het programmabestuur, in samenwerking met vertegenwoordigers van de adviesraden en EZK, de Raad van Toezicht (RvT) aan. Hierbij zal worden gestreefd naar een gezaghebbende én diverse afspiegeling van het nationale veld: bedrijven, kennisinstellingen, maatschappelijke en overheidsorganisaties
- Na installatie van de RvT stelt het programmabestuur in overleg met de RvT een profiel op voor de Operationeel Directeur, waarin diens taken en verantwoordelijkheden helder staan omschreven. Werving zal plaatsvinden in een transparant proces; vervolgens zal de RvT de Operationeel Directeur benoemen als eerst verantwoordelijke voor de dagelijkse programmaleiding
- Gedurende de looptijd van het programma wordt ruimte geboden aan nieuwe toetreders; bijvoorbeeld door middel van roulerende functies in de Raad van Toezicht en voor de Operationeel Directeur.
- Er wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van mensen van bestaande organisaties (Lean); middelen worden zoveel mogelijk via bestaande instrumenten ingezet ter voorkoming van nieuwe overhead. De besluitvormingsprocedures zijn transparant, met heldere escalatielijnen en goede checks and balances. Deze procedures worden bij start uitvoering nader uitgewerkt. Daarbij wordt ook uitgewerkt welke beslissingen en onderwerpen op programmaboardniveau, en welke onderwerpen/beslissingen door programmalijnleiders worden genomen, zodat een integrale sturing op de resultaten en impact van het programma ten alle tijden is gegarandeerd.

Korte cv's van de leden van het Programmabestuur

Dick Heslinga is Vice President Operations van MCPV en verantwoordelijk voor de ontwikkeling van de Nederlandse hetero-junctiecel-fabriek. Heslinga promoveerde in 1991 aan de RUG en maakte carrière bij Philips Semiconductors waar hij meewerkte aan de ontwikkeling, bouw en exploitatie van halfgeleider-/chipsfabrieken in Nederland, Frankrijk en de Verenigde Staten. Sinds 2007 richt Heslinga zich op onderzoek en industrialisering van silicium-hetero-junctiezonnecel-technologie bij het Franse instituut CEA-Ines waar hij Director of Strategic Marketing PV Industrialisation is. Heslinga combineert zo diepgaande kennis op het gebied van silicium-hetero-junctie technologie met ervaring met ontwikkeling, bouw en operatie in de halfgeleidermaakindustrie, wat direct van toepassing is op PV fabrieken. Heslinga is medehouder van een drietal octrooien op het gebied van zonnepanelen.

Maria Fennis is CEO van HyET Hydrogen en Co-CEO van HyET Solar. Ze studeerde scheikunde bij de UU, werkte een aantal jaren in de product ontwikkeling bij HyET Solar en haalde vervolgens haar master in Science en Business Management bij de UU. Ze werkte bij een aantal bedrijven, waaronder Nedstack waar ze voor het eerst in contact kwam met waterstof, en kwam vervolgens weer terug bij HyET om HyET Hydrogen en HyET Solar verder op te bouwen en vervolgens samen met Rombout Swanborn de HyET Groep propositie verder te ontwikkelen. Cruciaal hierbij zijn de samenwerkingsprojecten met de universiteiten, het vinden van strategische partners, het vinden van de juiste mensen en ervoor zorgen dat er voldoende kapitaal is om verder te blijven groeien.

Harm Jeeninga is als Directeur Markt bij TNO Energie en Materialen Transitie, een unit van circa 900 fte, verantwoordelijk voor de onderzoeksprogrammering en de verwerving van derden opdrachten op het gebied van duurzame energie (zon, wind) alsmede het sociaal-wetenschappelijke onderzoek. Met een achtergrond in de experimentele natuurkunde en milieukunde is hij binnen TNO, voorheen ECN, reeds 25 jaar in diverse posities actief op het gebied van de energietransitie, zowel vanuit een technologische als beleidsmatig perspectief. Als lid van de Elektriciteitstafel van het Klimaatakkoord was hij een van de auteurs van de innovatie-paragraaf.

Gerard de Leede is sinds 2018 Chief Technology Officer en medeoprichter van Solarge. Vanuit deze functie neemt hij actief deel aan de lobby van de zonne-energie-industrie in de EU, o.a. op het gebied van de IPCEI-regeling en duurzaamheidscriteria voor Zon-PV-toepassingen (circulariteit, CO₂-voetafdruk, toxiciteit, geen dwangarbeid). De Leede is tevens parttime hoogleraar bij de TUE op het gebied van smart energy. In het verleden werkte hij voor Philips en TNO, waarna hij succesvol een tweetal distributie- en installatiebedrijven voor zonnepanelen in België en Nederland startte. Gedurende de periode 2014-2017 was hij Chief Technology Officer bij het beursgenoteerde bouwbedrijf Heijmans. De Leede is medehouder van een viertal octrooien op het gebied van zonnepanelen.

Albert Polman leidt het Zon-PV-onderzoekprogramma van NWO-Instituut AMOLF (Amsterdam) en is hoogleraar photovoltaics bij de Universiteit van Amsterdam. Hij heeft een actieve onderzoeksgroep en zijn onderzoeksresultaten worden internationaal zeer veel geciteerd. Polman is lid van de Koninklijke Academie voor Wetenschappen en won diverse internationale prijzen waaronder de prestigieuze ENI Renewable Energy Award en driemaal een ERC Advanced Grant. Hij is medeoprichter van de succesvolle microscopiestartup Delmic BV. Polman was directeur van AMOLF van 2006 tot 2013, heeft diverse bestuurs- en adviesfuncties en leidde de totstandkoming van de nationale onderzoeksagenda "Materialien – *Accelerating Materials Technologies*", waaruit dit Groiefondsprogramma mede is voortgekomen.

Leden van de Programmalijnkernteams

Programmalijn 1

- *Ad interim*: Dr. Dick Heslinga (MCPV), Programmalijnleider, voorzitter
- Laurens van Erp, MBA (Lightyear)
- Prof. dr. Arthur Weeber (TNO)
- Prof. dr. Olindo Isabella (TUD, SolarLab)

Programmalijn 2

- Johann Jansen van Rensburg, MSc (HyET Solar), Programmalijnleider, voorzitter
- Dr. Sjoerd Veenstra (TNO)
- Prof. dr. René Janssen (TUE, SolarLab)

Programmalijn 3

- Drs. Jan-Jaap van Os (Exasun), Programmalijnleider, voorzitter
- Drs. Huib van den Heuvel (Solarge)
- Max Hamm (Compoform)
- John van Veen (Energyra)
- Laurens van Erp (Lightyear)
- Ir. Ruud Derks (IM Efficiency)
- Drs. Rein Westerdijk (Taylor Technologies)
- Dr. Bart Geerligs (TNO)
- Dr. Rebecca Saive (UT, SolarLab)

Dwarsverbandprogramma SolarLab

- Prof. dr. Bruno Ehrler (AMOLF), voorzitter
- Prof. dr. Olindo Isabella (TUD)
- Prof. dr. René Janssen (TUE)
- Prof. dr. Maria Loi (RUG)
- Dr. Rebecca Saive (UT)
- Prof. dr. Arthur Weeber (TNO)

Human Capital Adviesraad

- Dr. Renée Heller (HvA), voorzitter

Circulariteitsadviesraad

- Dipl. Ing. Martin Späth (TNO), voorzitter

Bemensing programmabureau

Functie	Taken	fte
Programma-directeur	Werkt in opdracht van het Programmabestuur, stimuleert samenwerking, valorisatie, ecosysteemontwikkeling; geeft leiding aan Programmabureau	1,0
Programma-secretaris	Ondersteuning Programmabestuur en -directeur, voorbereiding bestuursvergaderingen, link naar NWO en RVO	1,0
Financiële/juridische ondersteuning	Financiële rapportages voor het gehele programma, juridische overeenkomsten, IP-beleid, uitvoeren penvoerderschap SolarLab	0,5
Communicatie-specialist	Organisatie van workshops, communicatie, outreach, website, digitale nieuwsbrief	0,4
Secretariële ondersteuning	Ondersteuning programmadirecteur, programmasecretaris, financieel/juridisch specialist, communicatiespecialist	1,0
Verbinder Zon-PV-waardeketen EU	Legt verbindingen naar Europese Zon-PV-programma's (Horizon Europe), neemt initiatieven voor Europese waardeketen, verbindt met Europese politieke discussie	0,4
Totaal		4,3

Programmalijnen 1,2,3	Niet-economische activiteiten (100%)	Totaal
Personeel	€ 4.275.216	€ 4.275.216
Materialen	€ 560.000	€ 560.000
Gebruik apparatuur	-	-
Kosten van derden	€ 4.457.400	€ 4.457.400
Bouw infrastructuur	-	-
Totaal	€ 9.292.616	€ 9.292.616
Subsidie (€)	€ 9.292.616	€ 9.292.616



Human Capital

Arbeidsbehoefte en opleidingscontext



Het Human Capital Plan heeft tot doel de arbeidsbehoefte die voor de uitvoering van het Groeifondsvoorstel is vereist te voorzien van voldoende personeel met de juiste kwalificaties. Dit betreft dit in totaal ca. 1.300 arbeidsplaatsen voor mbo, hbo en wo-geschoold personeel als operators, technici, ingenieurs en managers bij de deelnemende bedrijven en nog eens 1.000 banen bij toeleveranciers van materialen, apparatuur en technische services. Daarnaast zijn zo'n 16 technisch geschoolde ingenieurs en wetenschappers bij TNO en 40 academische onderzoekers (promovendi) benodigd gedurende de looptijd van het programma.

De belangrijkste bron voor deze werknemers zijn mbo- en hbo-opleidingen in het brede techniekdomein en de wo-opleidingen met een technische of natuurwetenschappelijke focus. Jaarlijks behalen ca. 25.000 mbo-studenten, 15.000 hbo-studenten en 10.000 wo-studenten een diploma in deze sectoren.

Regionale Ontwikkelingscentra (ROC's) investeren sterk in het opzetten van nieuwe opleidingen die direct aansluiten bij werk dat relevant is voor de energietransitie. Ze verhogen zo de kennis en vaardigheden van professionals die werk kunnen vinden in de Zon-PV-industrie. Het betreft onder meer procestechniek, fysische/chemische analyse en elektrotechniek, die alle relevant zijn voor de arbeidsvraag van het Groeifondsprogramma. In de regionale opleidingsinfrastructuur wordt leren, innoveren en toepassen simultaan vormgegeven. Daarnaast ontwikkelen de ROC's omscholings- en zij-instroomprojecten om zo meer arbeidskrachten op te leiden voor de energiesector. Het onderwijs speelt ook een belangrijke rol in het bevorderen van het bewustzijn bij met name mkb over de kansen die de energietransitie hen biedt. Binnen dit programma wordt verkend in hoeverre de huidige ontwikkelingen in het mbo al voorzien in de arbeidsbehoefte en gezochte kennis en vaardigheden van het consortium en welke aanvullende interventies noodzakelijk zijn.

Hogescholen investeren in praktijkgericht onderzoek en onderwijs naar duurzame oplossingen in de hele energieketen, van opwekking en distributie tot gebruik. Daarbij wordt altijd een sterke relatie gelegd tussen het onderwijs en de beroepspraktijk. Er worden nieuwe onderwijsinhouden en

-vormen ontwikkeld in samenhang met kennis en vaardigheden die voor de werkvloer relevant zijn. Voorbeelden van hogescholen die erkende expertise hebben op het gebied van Zon-PV en gerelateerde materiaalkunde zijn Hogeschool Zuyd (Duurzame Energie), Hogeschool van Amsterdam (Energie en Innovatie) en Hogeschool Saxion (Smart Industry – Lichtgewicht Construeren) en Hanzehogeschool Groningen.

De (technische) universiteiten van Amsterdam, Utrecht, Delft, Groningen, Eindhoven en Twente bieden specifieke opleidingsprogramma's aan waarin aspecten van Zon-PV-technologie zijn opgenomen, en waar studenten de mogelijkheid krijgen een onderzoeksstage te volgen in gerenommeerde Zon-PV-onderzoeksgroepen. Jaarlijks volgen ruim 300 wo-studenten cursussen met voor dit consortium relevante kennis en vaardigheden. De universitaire onderzoeksgroepen vervullen internationaal een sterke voortrekkersrol en zijn daarmee ook een magneet voor het aantrekken van personeel uit het buitenland. De ervaring leert tevens dat door de overheid gefinancierde Zon-PV-onderzoekprogramma's leiden tot een netto influx van hoogopgeleide buitenlanders die vervolgens een baan vinden in de Nederlandse duurzaamheidssector.

Activiteitenplan

Activiteit 1: Curriculumontwikkeling. We ontwikkelen vier specifiek op Zon-PV gerichte onderwijsprogramma's die aansluiten bij de opleidingen van Hogeschool Zuyd, Hogeschool van Amsterdam, Hogeschool Saxion en Hanzehogeschool Groningen. Dit zijn bijvoorbeeld een minor en specialisatie vakken. Voor iedere hogeschool is hiervoor een bedrag van € 200.000 begroot. Daarnaast verkennen we in overleg met de MBO Raad en Mensen Maken de Transitie welke nieuwe initiatieven in het mbo-onderwijs kunnen worden genomen aan de hand van specifieke vragen vanuit bedrijven van het Groeifondsprogramma. Zo is voor een aantal belangrijke specifieke procestechnieken, zoals vacuümprocessen, de opleiding beperkt. Gedacht wordt aan de ontwikkeling van een aantal keuzedelen die op meerdere ROC's aangeboden kunnen worden. Voor de ontwikkeling hiervan is voor twee ROC's een bedrag van €200.000 begroot.

Activiteit 2: Stageplekken. Gedurende de looptijd van het voorstel zullen jaarlijks ca. 40 mbo-, 40 hbo- en 40 wo-afstudeer- en stageplekken bij de projectpartners worden aangeboden.

Activiteit 3: Living labs. We ontwikkelen vier specifiek op Zon-PV gerichte onderzoeksprogramma's die worden uitgevoerd in living labs. De onderzoeksthema's betreffen:

- Circulaire zonnepanelen, outdoor en versnelde levensduur testen, hergebruik en herontwerp (Hogeschool Zuyd)
- Opschaling, fabricageoptimalisatie met digital twinning en kwaliteitscontrole, integratie van PV in daarvoor bedachte producten (Hogeschool van Amsterdam)
- Duurzame mass customization-technieken, composieten en integratie (Hogeschool Saxion)
- (Hanzehogeschool Groningen)

Voor het ontwikkelen van ieder living lab is één docent-onderzoeker per hogeschool betrokken met praktijkgericht onderzoek en daarnaast is een totaalbedrag van € 240.000 in de begroting opgenomen voor het aanschaffen, opzetten en onderhouden van de apparatuur en het verbruik van materialen voor een periode van 8 jaar.

Activiteit 4: Zij-instroom. We bouwen voort op de succesvolle werkwijze van Exasun dat de afgelopen jaren in nauwe samenwerking met de Immigratie en Naturalisatiedienst (IND) en de gemeente Den Haag een aanzienlijk aantal mensen in dienst heeft genomen die moeite hadden de arbeidsmarkt binnen te komen. Het betreft onder meer jonge voortijdig

schoolverlaters zonder startkwalificatie, werkloze 50-plusers, asielzoekers met een verblijfsvergunning, en mensen met een arbeidsbeperking. Binnen dit voorstel verkennen we hoe deze aanpak uitgebreid kan worden naar de andere bedrijven. Zo creëren we arbeidsplaatsen voor bijvoorbeeld procesoperators voor pick-and-place machines, flashers voor kwaliteitscontrole, laminatoren en soldeerapparatuur. Het doel is om jaarlijks 20 van de benodigde banen via deze route in te vullen.

Activiteit 5: Plan Noord-Nederland. Voor de grote arbeidsvraag van de MCPV-fabriek in Groningen ontwikkelen we samen met de Noordelijke Ondernemingsmaatschappij (NOM) een plan voor werving van personeel. We inventariseren aan welke vaardigheden behoefte is en waar de knelpunten zitten. We sluiten dan aan bij de in de hoofdstuk genoemde initiatieven Platform Talent voor Technologie¹, FastSwitch², en *Be an Engineer*³. Ook maken we gebruik van het netwerk Leven Lang Ontwikkelen (LLO) dat door de Sociaal Economisch Raad (SER) in kaart is gebracht.⁴ Ieder van deze initiatieven en organisaties heeft een gedetailleerd uitgewerkt actieplan dat direct aansluit bij de wens voor technische geschoold personeel in het Groeifondsprogramma.

Tabel F1 • Overzicht van een aantal voor Zon-PV relevante opleidingen bij mbo, hbo en wo en het aantal directe en indirecte arbeidsplaatsen dat dient te worden vervuld voor het Groeifondsvoorstel.

Opleiding	Duurzame energie en Circulariteit en Materialen	Duurzame energie, Fabricageprocessen en Productontwikkeling	Duurzame energie en toepassingen	Overig	Aantal directe en indirecte arbeidsplaatsen
Mbo	<ul style="list-style-type: none"> • Chemie, • Chemisch fysisch analist • Lerarenopleiding 	<ul style="list-style-type: none"> • Werktuigbouw • Elektrotechniek • Procesoperator • Procestechiek • ICT • Lerarenopleiding 	<ul style="list-style-type: none"> • Werktuigbouw • Elektrotechniek • Lerarenopleiding 	<ul style="list-style-type: none"> • ICT 	1300
Hbo	<ul style="list-style-type: none"> • Applied Science • Engineering 	<ul style="list-style-type: none"> • Engineering • Elektrotechniek • Werktuigbouw • ICT • Lerarenopleiding 	<ul style="list-style-type: none"> • Technische bedrijfskunde • Engineering • Gebouwde omgeving • Lerarenopleiding 	<ul style="list-style-type: none"> • Finance en control • Sales en marketing • ICT 	700
Wo	<ul style="list-style-type: none"> • Natuurkunde • Chemie • Materiaalkunde • Sustainable Energy Technology 	<ul style="list-style-type: none"> • Werktuigbouw • Natuurkunde • Chemie • Sustainable Energy Technology • Materiaalkunde 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustainable Energy Technologie • Bouwkunde • industrieel ontwerp 	<ul style="list-style-type: none"> • (Technische) Bedrijfskunde 	300

1 Platform Talent voor Technologie, <https://ptvt.nl>

2 FastSwitch, <https://fastswitch.nl/>

3 *Be an Engineer*: betaald leren en werken op hbo-niveau, <https://beanengineer.nl>

4 Sectoraal en regionaal Leven Lang Ontwikkelen netwerk, <https://www.ser.nl/nl/thema/leven-lang-ontwikkelen/regionale-projecten>

Governance

Het Human Capital-programma wordt geleid door een kernteam gevormd door:

- Dr. Renée Heller, lector Energie en Innovatie bij Hogeschool van Amsterdam
- Dr. Zeger Vroon, bijzonder lector Duurzame Energie bij Hogeschool Zuyd
- NN, Saxion Hogescholen
- NN, Hanzehogeschool Groningen
- NN, mbo-instelling
- NN, SolarLab

Het Human Capital-kernteam is verantwoordelijk voor het initiëren voor de programma-activiteiten bij de vier hogescholen en het overleg met de MBO Raad over het mbo-curriculum. Het ondersteunt alle partners in het Groeifondsprogramma bij het invullen van stageplekken en houdt daarvoor direct contact met de betrokken instellingen bij mbo, hbo en wo. De Hogeschool van Amsterdam fungeert als penvoerder voor het Human Capital-programma en verdeelt de middelen volgens de begroting over de partners.



Valorisatie

Zoals in de Hoofdttekst is beschreven is de valorisatiestrategie rond de technologie die in het programma wordt ontwikkeld opgebouwd uit drie trappen. Deze worden in deze Appendix toegelicht.

Eerste trap • initiële industrialisatie en opschaling van drie technologieën

Programmalijn 1 is vanaf de start gericht op het zo snel mogelijk commercialiseren van HJT-zonnecellen. De positionering van deze technologie in de markt is die van het hoogste cel-rendement (25,0 => 26,5%) en de hoogste jaarlijkse energieopbrengst t.o.v. andere Si-cel-technologieën. Vanuit de bestaande kleinschalige technologiebasis, wordt door MCPV een industriële versie gedefinieerd op een 300 MW_p/jaar-pilot-productielijn, waarna direct wordt doorgeschaald naar de volle productiecapaciteit van 3 GW_p/jaar. Op dat punt, dat volgens planning wordt bereikt in de eerste helft van 2026, is een schaalgrootte bereikt die op kosten concurrerend is en een winstgevend exploitatie mogelijk maakt. Het valorisatiepotentieel van de 3 GW_p/jaar-fabriek wordt lopende het Groeifondsprogramma verder versterkt dankzij de constante innovatiestroom van procesverbeteringen vanuit het SolarLab funderend innovatieprogramma.

Programmalijn 2 is gericht op het commercialiseren van perovskietfolies op een flexibel substraat. Deze technologie wordt in de markt gepositioneerd voor een groot toepassingsgebied waar conventionele siliciumpanelen niet voldoen, en biedt een laag gewicht en flexibiliteit als extra value propositions. Hieraan vooraf gaat een belangrijke technologieontwikkelingsfase door SolarLab programma en TNO, waarin innovaties worden ontwikkeld om het rendement en de stabiliteit van de perovskietcellen te optimaliseren. Vervolgens wordt een opschaalbaar industrieel fabricage-procédé gedefinieerd. De start van de industriële productie van perovskietfolies door HyET is volgens planning voorzien in Q1 2026, en zal in 5 jaar worden opgeschaald naar de volle productiecapaciteit van 1 GW_p/jaar.

Programmalijn 3 is in de eerste fase gericht op een innovatieprogramma voor het ontwikkelen en opschalen van innovatieve Zon-PV-moduleproducten voor integratie van Zon-PV op daken. Deze technologieën positioneren zich op de markt als een specifiek voor dak-integratie geconfigureerd alternatief dat superieur is aan de standaard silicium panelen

door een laag gewicht, aantrekkelijke esthetiek en recyclebaarheid. Drie consortiumpartners, Solarge, Exasun en Energyra, voeren hier innovatieprojecten uit, waarna de eerste van de productielijnen volgens planning in 2025 operationeel zal zijn. Ook de ontwikkeling en opschaling van de fabricage van circulaire modulematerialen door Compoform maakt deel uit van deze eerste valorisatiefase.

Tweede trap • uitbouw van de drie technologieën naar hoger rendement en productdiversificatie

De tweede valorisatietrap voor **Programmalijn 1** komt voort uit twee ontwikkelingen. Ten eerste breiden we de business uit vanuit de eerste 3 GW_p/jaar-fabriek van HJT-cellen: we schalen de HJT-celcapaciteit op met nieuwe 3 GW_p/jaar-eenheden. We realiseren downstream-integratie op de waardeketen door het ontwikkelen van een eigen HJT-modulebusiness met bijpassende productiefabrieken en de internationalisatie, in eerste aanleg binnen Europa, maar wellicht ook daarbuiten. De combinatie van deze initiatieven vertegenwoordigt een zeer grote valorisatiewaarde voor MCPV. Ten tweede open we nieuwe markten voor de HJT-cellen. We passen de HJT-celconfiguratie aan voor de HJT/perovskiet-tandemcel en voor toepassing in VIPV door Lightyear (Programmalijnen 1 en 3). Dit zal worden uitgevoerd op de productiemachines van de 3 GW_p/jaar-fabriek. Met het verwachte succes van de nieuwe tandemzonnecel en van Lightyear, vertegenwoordigt dit opnieuw een grote toekomstige valorisatiewaarde.

In **Programmalijn 2** effent een geslaagde technologie- en productontwikkeling van de perovskietfolie op natuurlijke wijze de weg voor een tweede innovatie- en valorisatiegolf via twee geavanceerde Zon-PV-cel/modulestructuren waaraan we in het programma werken. Ten eerste de ontwikkeling van een perovskiet/perovskiet-tandemcel, opnieuw op flexibel substraat, die moet leiden tot een tweede generatie producten met een hoger rendement voor dezelfde markten als de eerste generatie perovskietfolies. Deze perovskiet/perovskiet-tandemcellen worden door HyET geïndustrialiseerd. Ten tweede de ontwikkeling van de HJT/perovskiet-tandemcellen die binnen Programmalijn 3 ontwikkeld worden, zoals hieronder wordt beschreven.

Programmalijn 3 heeft meerdere ontwikkellijnen die in de tweede golf tot valorisatie zullen komen. De VIPV-toepassingen van Lightyear (HJT-celintegratie) en IM Efficiency hebben een

initieel ontwikkeltraject en zullen in 2027/2028 de productiefase ingaan. Ook voor Solarge en Exasun zal de integratie van de HJT-cel in hun Zon-PV-moduleproduct een tweede valorisatiegolf vertegenwoordigen. De ontwikkeling van de mass-customisation-technologie door TNO op pilotlijnniveau opent de mogelijkheid voor de innovaties van fabricage van een scala aan nieuwe toepassings specifieke Zon-PV-moduleproducten, zowel door de consortiumpartners als door nieuwe partijen die actief zijn in producten voor de BIPV-, VIPV- of agri-PV-sectoren, of voor integratie in andere infrastructuren. Tenslotte is ook het innovatiewerk aan de HJT/perovskiet-tandemcel een speerpunt van de tweede valorisatiegolf in Programmalijn 3. Deze tandemcel wordt ontwikkeld met gebruikmaking van de HJT-cellen uit Programmalijn 1 en de perovskietfolies uit Programmalijn 2. Het is expliciet de doelstelling om ook deze tandemconfiguratie met hoog rendement (>30%) vanuit het Groeifondsprogramma te commercialiseren: meerdere consortiumpartners hebben hiervoor reeds interesse getoond.

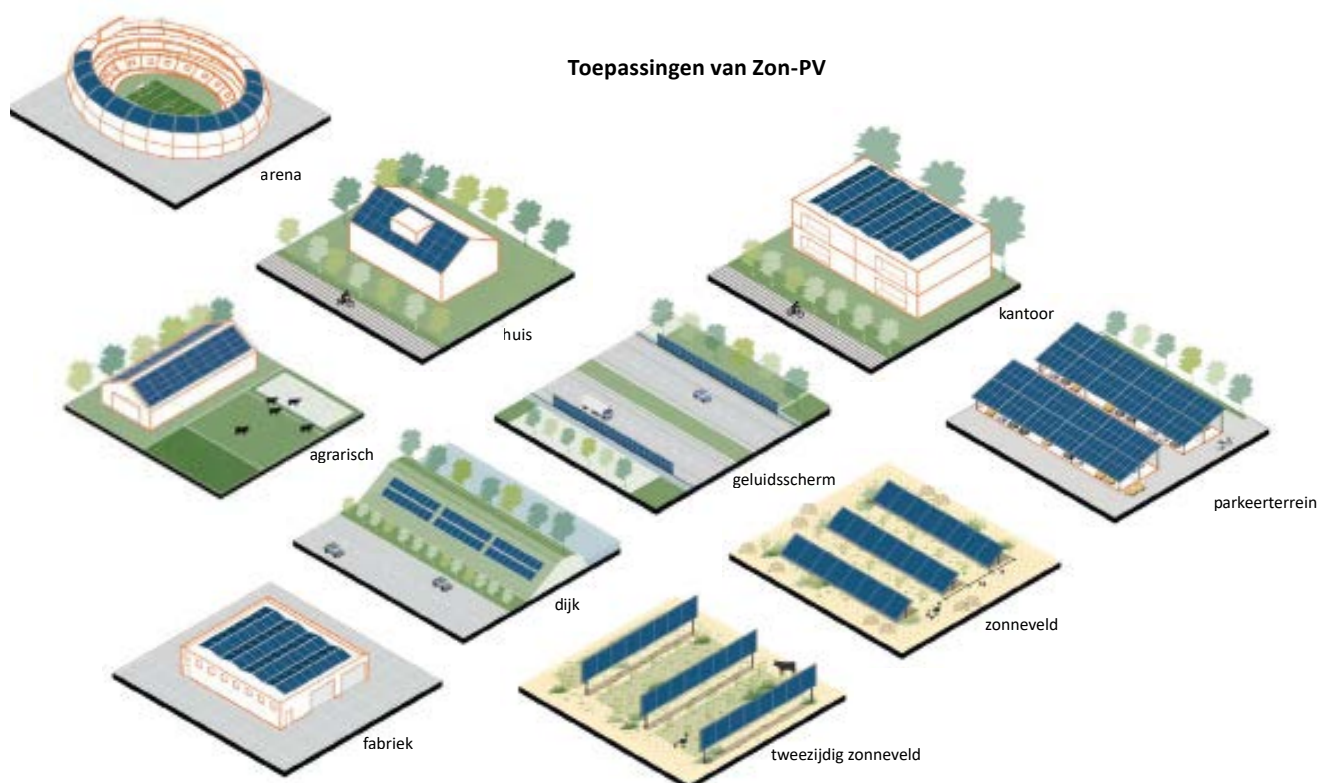
Derde trap • vliegwielerwerking vanuit een groeiend ecosysteem

Het Zon-PV-programma verenigt in brede zin Nederlandse kennisinstellingen, producenten, private investeerders, toeleveranciers, machinebouwers en afnemers, die dankzij het Groeifonds elk individueel en door onderlinge interactie sterker worden, en die gezamenlijk een dynamisch en compleet Zon-PV-ecosysteem vormen. Het ecosysteem zal beschikken over nieuwe kennis, een breed scala aan technische competenties, netwerken en financieringsmogelijkheden. Dit

zijn de essentiële kenmerken die nodig zijn om effectief kennis vanuit de verschillende expertisecentra over te brengen naar bestaande bedrijven of nieuwe startups. Daardoor stopt de valorisatie van het Groeifondsprogramma niet na de eerste en tweede trap, maar zal er een derde trap zijn in de vorm van nieuwe technologieën, nieuwe toepassingen en nieuwe initiatieven, die deze nieuwe, nationale economische groeimachine ook op langere termijn zullen laten draaien.

Het is de sterke verwachting dat ook andere bedrijven dan de originele consortiumpartners een plaats zullen vinden in dit ecosysteem om zo hun eigen innovaties te ontwikkelen. Dit zijn bijvoorbeeld bedrijven van buiten de Zon-PV-sector die, dankzij de innovaties die in het programma worden ontwikkeld, nieuwe markten zien ontstaan. Ook verwachten we de vorming van een groot aantal nieuwe startups die kansrijke technologische niches exploiteren. Daarnaast zullen gedurende het programma veel nieuwe kansen ontstaan voor Nederlandse machinebouwers: de industrialisatie van een nieuwe technologie vereist bijna altijd de ontwikkeling van nieuwe productiemachines. De internationale uitstraling van een bloeiende Nederlandse Zon-PV-sector zal buitenlandse bedrijven kunnen motiveren om ook in Nederland te gaan investeren. Tenslotte zal het nieuwe dynamische, hightech Zon-PV-ecosysteem een grote aantrekkingskracht hebben op jonge talenten in vele disciplines.

Op centraal niveau zal het Programmabestuur systematisch aandacht geven aan het bevorderen van deze derde valorisatiegolf. Het ontstaan van nieuwe, nog niet in het programma voorziene valorisatiekansen zal actief worden gemonitord, en waar nodig zullen initiatieven worden genomen om innovatief ondernemerschap te stimuleren.





Uitwerking *theory of change*

Deze Appendix is geschreven door Roland Berger Consulting

Kwalitatieve beschrijving van de impact met het *Theory of Change* model

Deze bijlage beschrijft de *Theory of Change* (ToC) van het voorstel. Het voorstel realiseert impact door bij te dragen aan de ontwikkeling van een aantal Europese PV-waardeketens. In iedere stap binnen die waardeketens wordt continu geïnnoveerd met een essentiële rol voor Nederland. Ieder van de drie programmalijnen in dit voorstel doet dit voor een andere PV-waardeketen – HJT cellen (PL1), perovskiet PV-folies (PL2) en geïntegreerde zon-PV-producten (PL3) – die elkaar ook weer voeden en versterken. Zo wordt een ecosysteem ontwikkeld voor PV in Nederland en Europa. Aan de hand van het *Theory of Change* model wordt hieronder eerst het algemene impactmodel beschreven dat geldt voor alle programmalijnen. Vervolgens is dit per programmalijn in meer detail beschreven.

Algemeen impact model

In iedere programmalijn investeren private en publieke partners tezamen met het NGF (input voor ToC, zie Figuur H1, deel 1) in een set van activiteiten rondom een PV waardeketen die resulteren in:

- **Fabrieken** die op significante schaal (meerdere GW_p/jaar) zon-PV-producten gaan leveren
- **Producten en machines** (en door te ontwikkelen concepten) in de vorm van PV cellen, folies, toepassingen (geïntegreerde PV producten/panelen), materialeninnovaties en productiemachines, electronica- en automatiseringsconcepten
- **Innovatie-infrastructuren** waarmee nieuwe producten/machines kunnen worden uitgetest op verschillende schalen (van *proof of concept* naar pilot productie)

Deze resultaten leiden vervolgens tot de doorontwikkeling en opschaling van de waardeketens en de ontwikkeling en toepassing van nieuwe innovaties in die waardeketens (zie deel 2 van Figuur H1). De fabrieken voor zonnecellen worden verder opgeschaald (*intermediate outcome*) inspelend op de grote en groeiende behoefte aan PV-producten, terwijl de innovatieketen nieuwe typen verbeterde PV-cellen blijft ontwikkelen. Dit is mogelijk omdat de innovatie-infrastructuren die dit voorstel realiseert weer voor nieuwe innovaties worden gebruikt, aangejaagd door de conceptproducten die ook uit dit voorstel komen. Opschaling van de fabrieken en innovatie jaagt een innovatief cluster aan van toepassers,

machinebouwers en toeleveranciers, en vice versa (de *outcome*). Dit komt

1. door beschikbaarheid van hoog-efficiënte zonnecellen, folies en geïntegreerde PV-producten;
2. door de behoefte aan productieapparatuur voor PV;
3. door de nieuwe mogelijkheden die innovaties creëren rondom hogere efficiëntie, lagere kosten en mogelijkheden voor integratie in eindproducten (waardoor PV kan worden toegepast op oppervlakken waar het nu om technische of economische redenen niet kan) en
4. door de mogelijkheden die de nieuwe innovatie-infrastructuren creëren om innovatieve machineconcepten te piloten en geïntegreerde producten kleinschalig te testen en produceren.

De outcomes drijven de uiteindelijke impact die kan worden onderverdeeld in zeven elementen:

- **BBP-effect van productie en vermarketing van zon-PV-producten & machines**, zowel nationaal als internationaal. De PV-fabrieken leveren aan Nederland en Europa, terwijl de PV-toepassingen en -machines voor productie van Nederlandse bedrijven zelfs wereldmarkten kunnen aanboren.
- **BBP-effect van nieuw gevestigde partijen**: het ontstaan van de verschillende PV-clusters in Nederland zal bedrijven aantrekken die gaan investeren in innovatie en productie in Nederland.
- **Strategische onafhankelijkheid in energievoorziening**: de Nederlandse fabrieken en Europese waardeketens zorgen ervoor dat Nederland en Europa beter in de eigen behoefte van PV kunnen voorzien en minder afhankelijk worden van buitenlandse, m.n. Chinese, toeleveranciers.
- **Voorkomen van het gebruik van dwangarbeid**: de zon-PV-producten en -materialen zullen in Europa worden geproduceerd onder eerlijke arbeidsomstandigheden, zonder dwangarbeid (zoals dit nog veel gebeurt in China). Dit leidt tot een traceerbare waardeketen, onafhankelijker van ESG-risico's.
- **Milieuwinst door vermeerderd gebruik zonne-energie**: door de nieuwe generatie zonnecellen, panelen en mogelijkheden voor integratie zal er meer bruikbaar oppervlak beschikbaar komen voor PV (daar waar de huidige panelen niet passen). Tevens zal het paneelrendement stijgen.
- **Milieuwinst door duurzame waardeketen**: door materialen en machines in Nederland en Europa te kopen, wordt de PV-waardeketen een stuk duurzamer. Producten worden

niet meer vanuit Azië geïmporteerd en materialen worden duurzaam in Europa gemaakt (bijv. silicium-'wafer'-productie met hydro-elektriciteit).

- **Milieuwinst door circulair recycleren en minder materiaalgebruik:** de nieuwe generatie zonnepanelen zal zo worden ontworpen dat ze kunnen worden gemaakt met minder materialen die aan het einde van de levenscyclus op circulaire wijze binnen de eigen waardeketens kunnen worden gerecycled. Zo wordt er een belangrijke stap gezet richting een circulair PV-ecosysteem.

Uitgewerkte Theory of Change Programmalijn 1 (zie Figuur H2)

Input-activiteiten-output

Zoals te zien in deel 1 van Figuur H2, zet MCPV in Programmalijn 1 een fabriek voor silicium heterostructuur-zonnecellen neer met een capaciteit van 3 GW_p/jaar. De fabriek wordt middels een innovatieprogramma conform *Industry 5.0* integraal geïnformatiseerd. Tevens wordt een netwerk van Europese toeleveranciers opgezet. De fabriek zal Si-HJT-zonnecellen gaan produceren die, middels een innovatieprogramma van MCPV in samenwerking met Nederlandse onderzoeksinstituten, stelselmatig worden verbeterd op rendement, circulariteit, CO₂-voetafdruk en gebruik van kritische materialen. MCPV zet tevens een 300 MW_p/jaar pilotproductielijn op die zal blijven bestaan en fungeren als testlijn voor nieuwe innovatieprogramma's uit de laboratoria.

Output-outcomes-impact

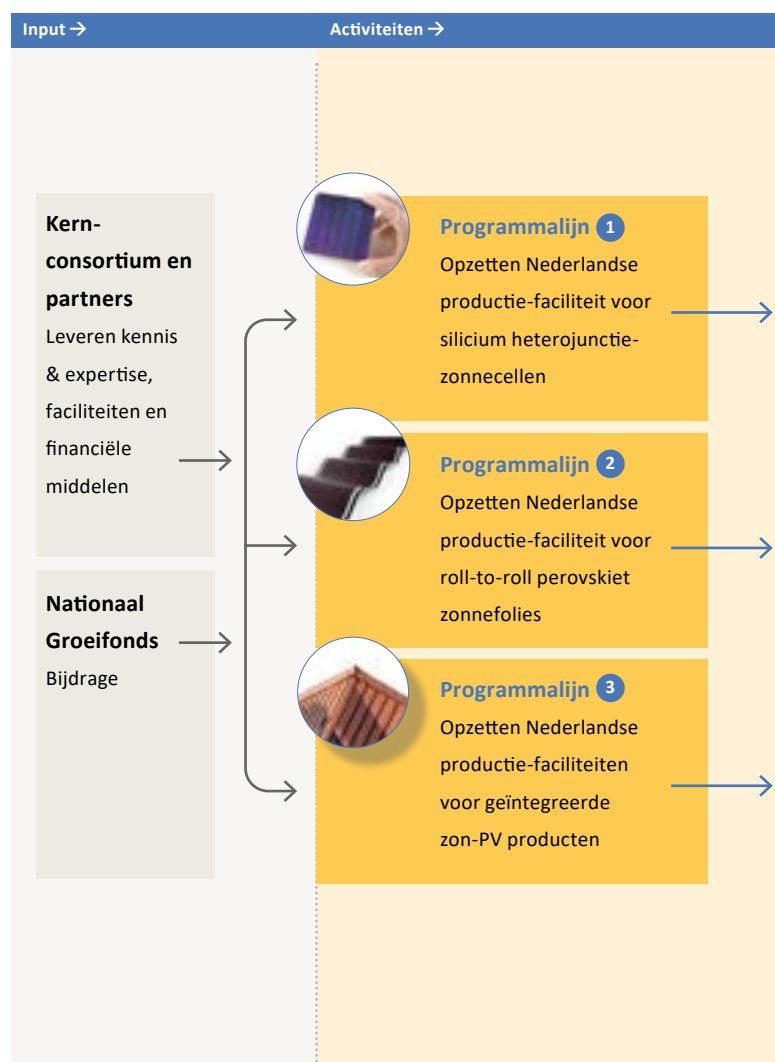
In deel 2 van Figuur H2 worden de *outcomes* en impact beschreven die door de *outputs* ontstaan. In de loop van de groeifondsperiode zal de Si-HJT-zonnecellenproductie door MCPV verder worden opgeschaald naar 18 GW_p/jaar in Europa, met een verwacht zwaartepunt in Nederland, en het anker en de aanjager vormen van een Europese PV-HJT-waardeketen en een HJT-zonnecellen-innovatieketen in Nederland. De Nederlandse zonnecellen-innovatieketen zal de Si-HJT-cellen verder doorontwikkelen – mede op basis van concepten ontwikkeld in dit groeifondsvoorstel, zoals de Si-HJT-perovskiet-tandemcellen uit Programmalijn 3 – en opschaling van productie van die innovaties piloten in de HJT-pilotproductielijn die is opgebouwd tijdens de groeifondsperiode. De opgeschaalde HJT-fabriek levert steeds meer en betere zonnecellen aan

1. Nederlandse bedrijven die de zonnecellen zullen integreren in integratieklare lichtgewicht panelen en eindproducten zoals auto's en elementen gebruikt in de bouw (PL3) en
2. nieuwe panelenproducenten in Europa die zich waarschijnlijk zullen vestigen dichtbij de Europese eindmarkten, ook gegeven de minder kennisintensieve aard van het moduleproductieproces.

De groeiende HJT-zonnecelproductie en de *Industry 5.0* Si-HJT-productieapparatuur die is ontwikkeld in dit groeifondsvoorstel, kan op termijn de basis gaan vormen voor een Nederlands PV-machinebouwcluster en -innovatieketen, die *hightech* machines gaat doorontwikkelen en nationaal en internationaal gaat vermarkten om de opschaling van de Si-HJT-zonnecellenproductie te faciliteren. Hierdoor wordt een nog sterker en innovatief ecosysteem voor HJT-zonnecellen gecreëerd in Nederland dat op termijn leidt tot verdere opschaling van de productie van zonnecellen – ook door andere bedrijven dan MCPV – om daarmee te voldoen aan de groeiende Europese vraag naar zonnecellen en andere zon-PV-producten.

De impact van PL1 op het Nederlandse verdienvermogen wordt enerzijds gedreven door het BBP-effect van de vermarkting van Si-HJT-zonnecellen (zowel aan Nederlandse bedrijven zoals producenten van geïntegreerde PV-producten in PL3 als aan Europese bedrijven zoals de panelenfabrieken) en de

Figuur H1 • Algemene Theory of Change



“We need to bring manufacturing back to Europe, and the Commission is willing to do whatever it takes to make it happen... Part of this is looking at possible financing options,”

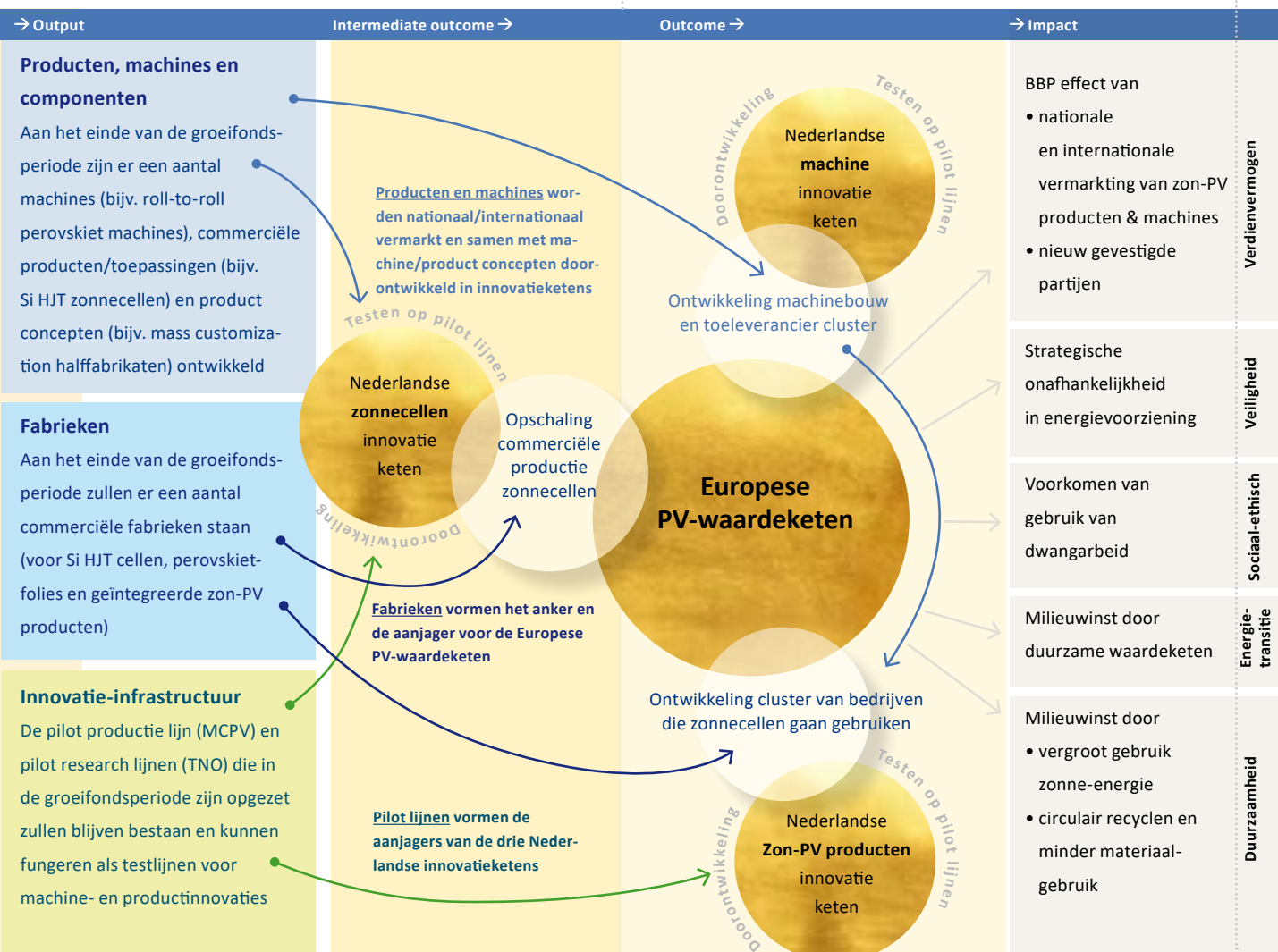
Kadri Simson - Commissioner for Energy

machines om die fabrieken te kunnen realiseren; en anderzijds door het BBP-effect dat volgt uit investeringen van bedrijven die zich in Nederland gaan vestigen om onderdeel te worden van het PV-machinebouwcluster.

De ontwikkeling van een duurzame Europese waardeketen voor HJT-PV zorgt zowel voor een sterke vermindering in de afhankelijkheid van Azië als het gaat om zonnecellen (minder import) als milieuwinst omdat silicium in Europa op een duurzamere wijze zal worden geproduceerd, PV-fabricage in Europa minder energie zal verbruiken en materialen minder ver zullen moeten worden getransporteerd.

Tevens zullen de Si-HJT-cellen en -materialen (bijv. silicium) in Europa worden geproduceerd onder eerlijke arbeidsomstandigheden, zonder dwangarbeid (zoals dit in China gebeurt). De volledige PV-waardeketen zal traceerbaarder worden en tevens onafhankelijker van ESG-risico's. De vermarkting en het gebruik van de nieuwe generatie circulaire en hoog-rendement Si-HJT-zonnecellen zal de Nederlandse energietransitie vooruit drijven (door vergroting van het aandeel zonne-energie in onze totale energiemix) en zorgen voor verminderd (kritisch) materiaalgebruik en meer gebruik van gerecyclede materialen.

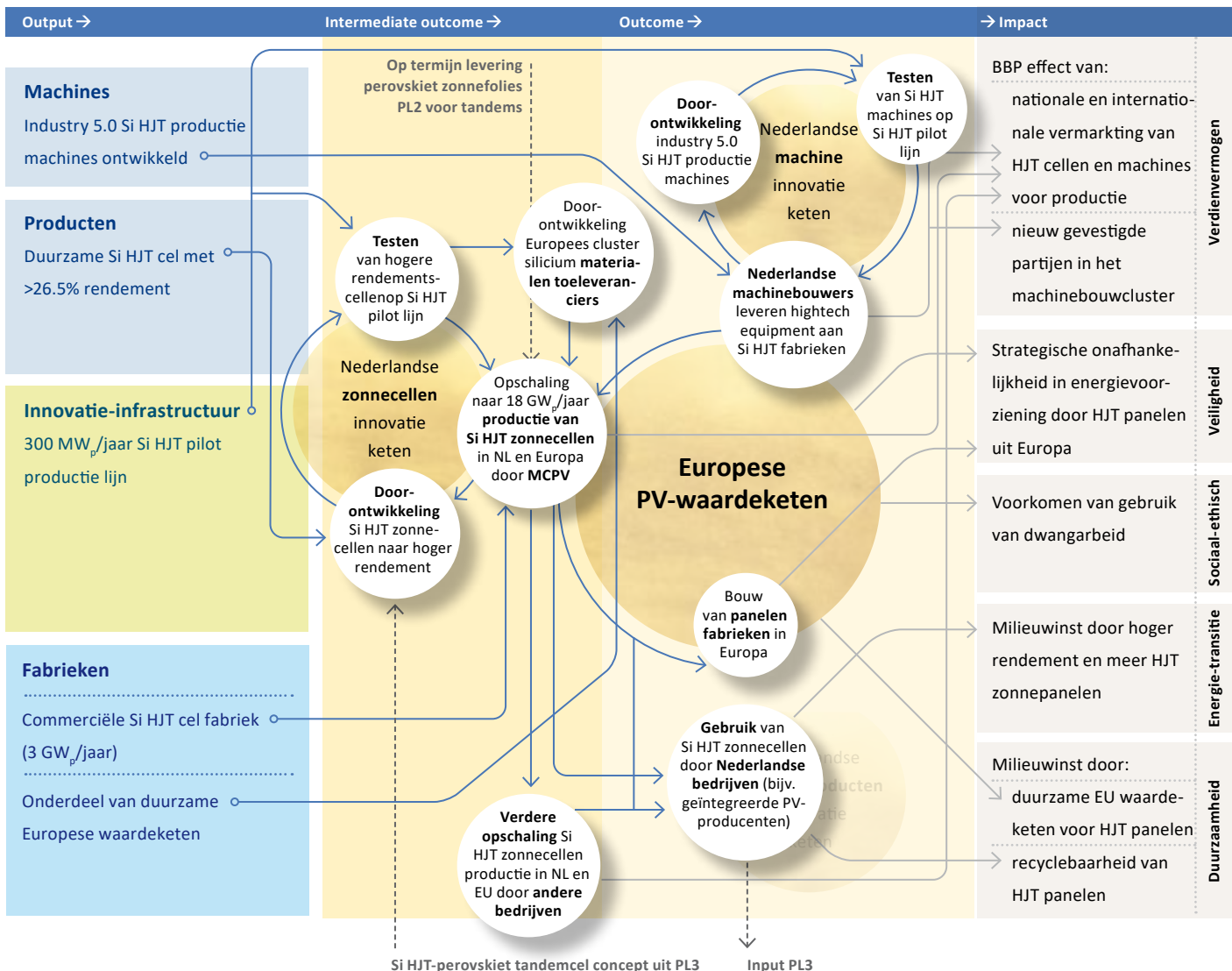
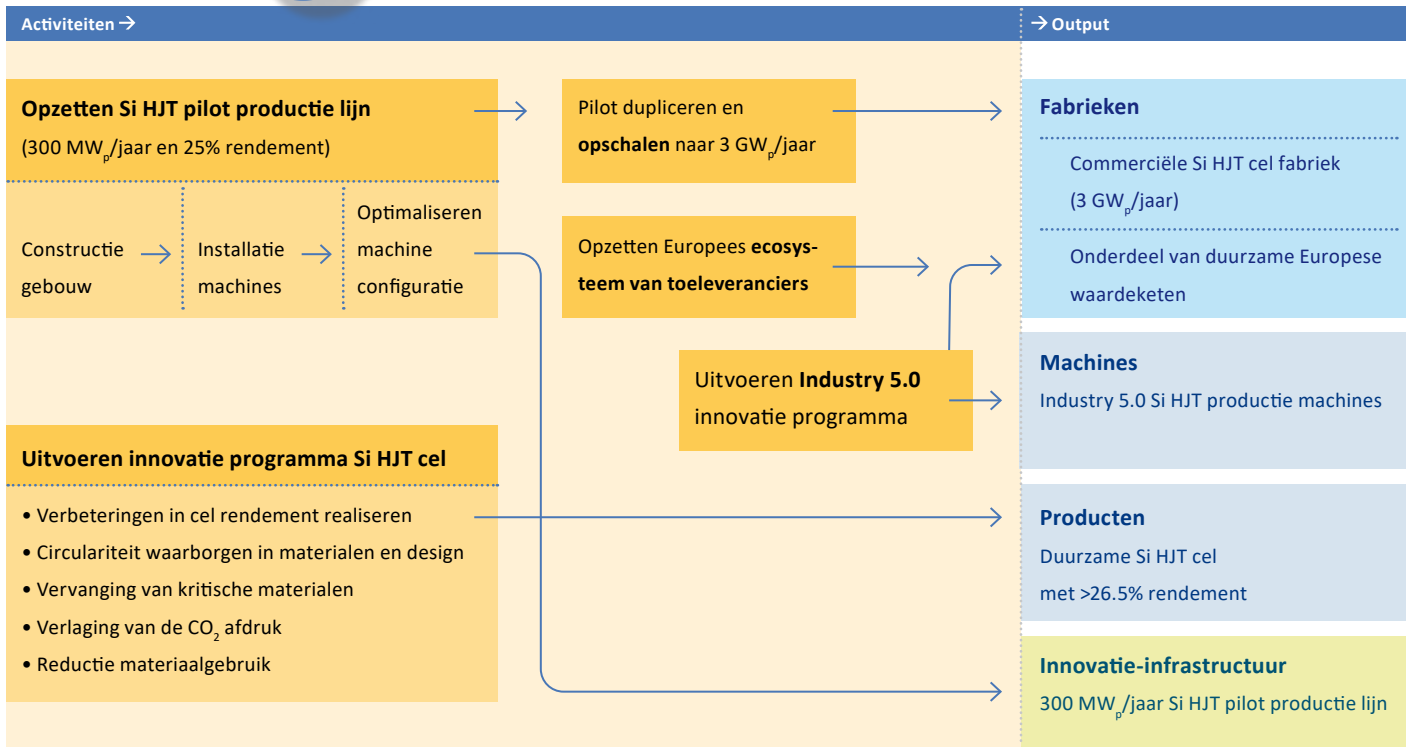
Externe invloeden: Ontwikkeling van internationale concurrentie, onvoldoende ontwikkeling van de Europese PV waardeketen, achterop rakend investeringsklimaat voor tech spin-outs in Nederland en Europa



Programmaliijn 1



Figuur H2 • Theory of Change



Uitgewerkte *Theory of Change* Programmalijn 2 (zie Figuur H3)

Input-activiteiten-output

Zoals te zien in deel 1 van Figuur H3, bouwt HyET in samenwerking met TNO in Programmalijn 2 een 1 GW_p/jaar fabriek voor *roll-to-roll* perovskiet zonnecellen. HyET en TNO zullen samenwerken om de *roll-to-roll* perovskiet productietechnologie te ontwikkelen met als uitgangspunt de amorf-siliciumlijn van HyET. De fabriek zal *roll-to-roll* perovskiet zonnecellen produceren die, middels een innovatieprogramma van HyET in samenwerking met Nederlandse onderzoeksinstituten stelselmatig worden verbeterd op rendement, levensduur, circulariteit en gebruik van kritische metalen. Onderdeel van dit innovatieprogramma is ook het ontwikkelen van een hoog-rendements perovskiet-perovskiet tandemcel. TNO gaat parallel haar bestaande *roll-to-roll* perovskiet pilotlijn upgraden en gebruiken voor het uitwerken en testen van eerste kleinschalige toepassingen van perovskiet folie. Tevens zal de pilot lijn blijven fungeren als testlijn voor nieuwe innovatieprogramma's.

Output-outcomes-impact

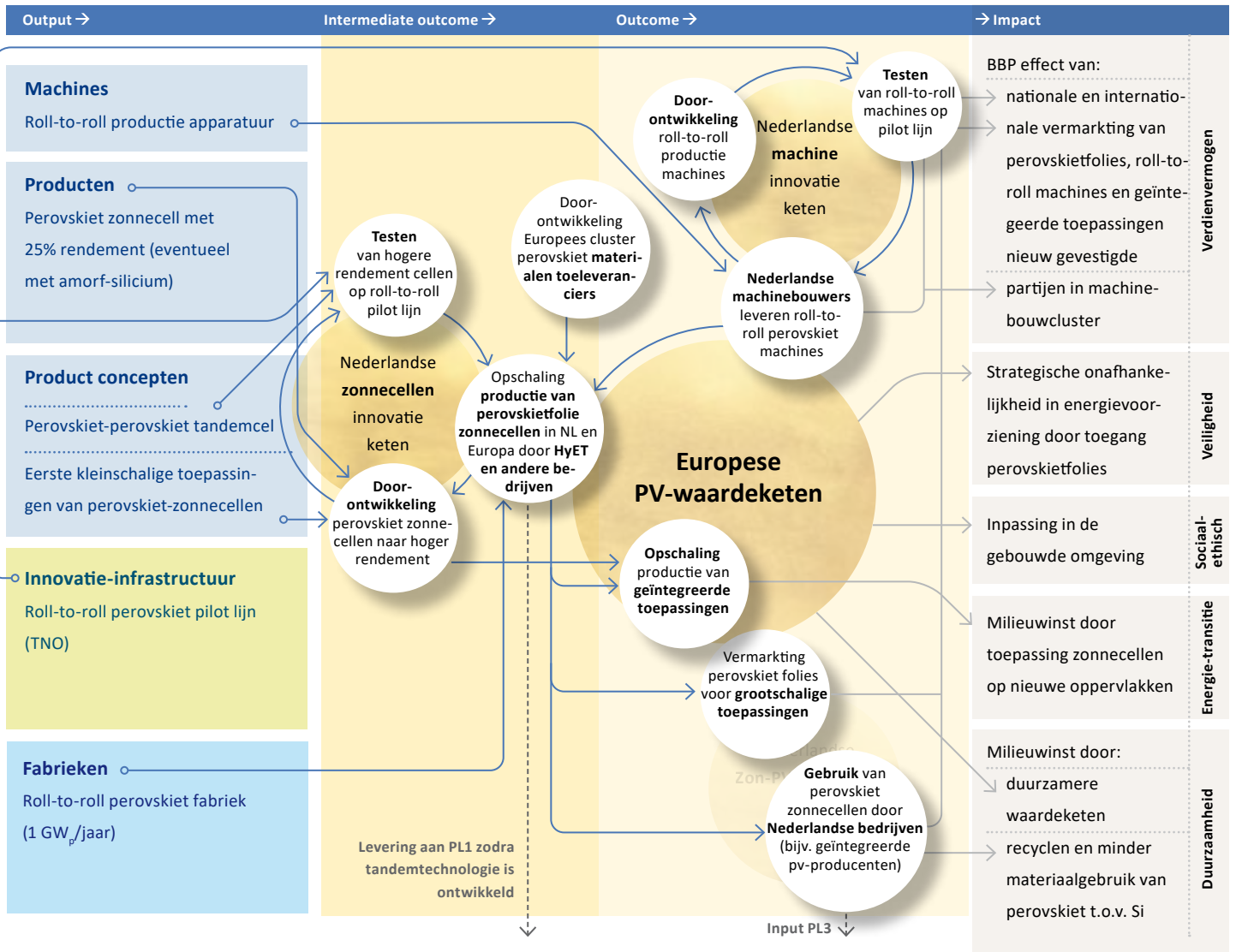
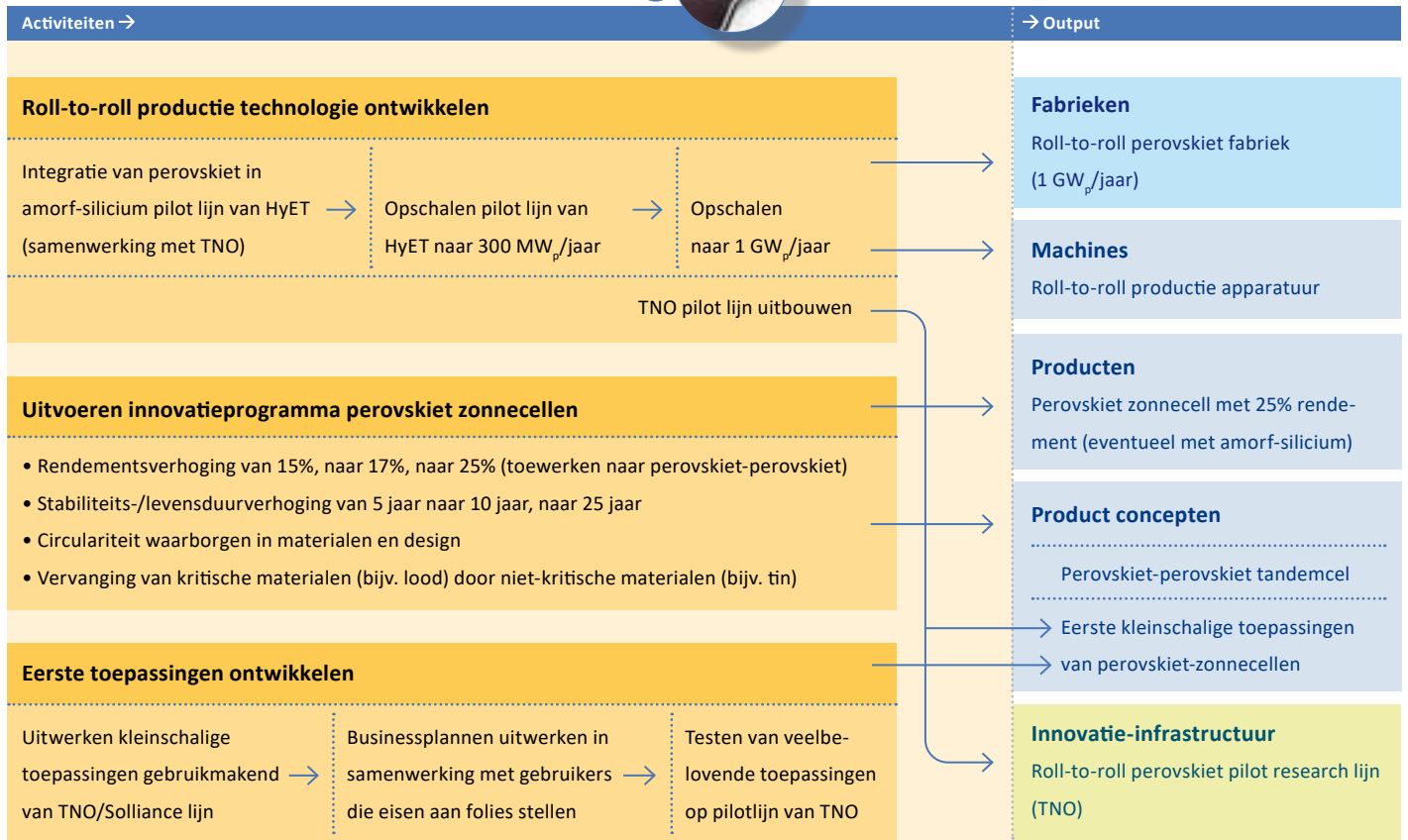
In deel 2 van Figuur H3 worden de *outcomes* en impact beschreven die door de *outputs* ontstaan. Na afloop van de groeifondsperiode zal de perovskiet-folie-productie verder worden opgeschaald door HyET en andere bedrijven (met zwaartepunt in Nederland) en samen met de Si-HJT-zonnecelfabrieken het anker en de aanjager vormen van een Europese perovskiet PV-waardeketen. De perovskiet zonnecellen zullen in eerste instantie worden geleverd aan Nederlandse bedrijven die de zonnecellen zullen integreren in integratieklare lichtgewicht panelen en nieuwe eindproducten. Dit betreft toepassingen die met de huidige generatie silicium zonnepanelen niet kunnen worden gerealiseerd (bijvoorbeeld omdat huidige zonnepanelen te zwaar of inflexibel zijn). Zodra de Si-HJT-perovskiet tandemtechnologie is ontwikkeld zullen de perovskiet-folie-zonnecellen tevens worden geleverd aan MCPV (PL1) waar de tandems geproduceerd zullen gaan worden.

De commerciële fabriek voor perovskiet folie, de pilotlijn en de nieuwe perovskiet cellen – allen ontwikkeld in dit voorstel – faciliteren de doorontwikkeling en productie van nieuwe generaties perovskiet zonnecellen met steeds hogere rendementen. Tegelijkertijd wakkert de opschaling van de perovskiet-folie-productie en de pilotlijn voor *roll-to-roll* productie het ontwikkelen en leveren aan van volgende generatie machines voor productie van perovskiet folie, wat de productie weer competitiever maakt door kostenverlaging. Deze machines worden wereldwijd vermarkt.

Door deze steeds verdere verhoging van rendement en verlaging van kosten, zullen op termijn de perovskiet zonnecellen ook kunnen worden vermarkt voor toepassingen op grote oppervlakken (bijvoorbeeld bedekken van velden) en direct concurreren met traditionele silicium zonnepanelen. De kosten van transport en installatie voor folies op grote oppervlakken zijn namelijk veel lager dan die van panelen. Zo wordt de vraag naar perovskietfolie nog veel groter en wordt de productiecapaciteit in Nederland verder opgeschaald en de machineverkoop verder aangewakkerd. De impact van PL2 op het Nederlandse verdienvermogen wordt enerzijds gedreven door het BBP-effect van de vermarkting van perovskiet folies (zowel aan de lichtgewichtpaneelproducenten en integreerders in PL3 als aan de grootschalige toepassers van perovskiet zonnepanelen), geïntegreerde toepassingen en machines; en anderzijds door het BBP effect dat volgt uit investeringen van bedrijven die zich in Nederland gaan vestigen in het PV-machinebouwcluster en -toepassingscluster.

De ontwikkeling van een duurzame Europese waardeketen zorgt zowel voor een sterke vermindering in de afhankelijkheid van Azië als het gaat om zonnecellen (minder import) als ook milieuwinst omdat materialen op een duurzamere wijze zullen worden geproduceerd en minder ver moeten worden getransporteerd. Ook zal het gebruik van dwangarbeid worden voorkomen omdat de perovskietfolies en materialen onder eerlijke arbeidsomstandigheden worden geproduceerd in Nederland en Europa.

De vermarkting en het grootschalige gebruik van de nieuwe generatie circulaire en hoog-rendement perovskiet zonnecellen zal de Nederlandse energietransitie vooruit drijven omdat meer en grotere oppervlakken kunnen worden gebruikt voor zonne-energie en zorgen voor verminderd materiaalgebruik – perovskiet folies zijn veel dunner dan silicium cellen – en meer gebruik van gerecyclede materialen.



Uitgewerkte *Theory of Change* Programmalijn 3 (zie Figuur H4)

Input-activiteiten-output

Zoals te zien in deel 1 van Figuur H4, bouwt Solarge, met Compoform als belangrijke toeleverancier, in Programmalijn 3 een 1 GW_p/jaar lichtgewichtpanelenfabriek die in twee gelijke fasen wordt opgebouwd en uiterlijk in 2026 gereed moet zijn (samen met de 400 MW_p/jaar faciliteit bedraagt de totale capaciteit dan 1,4 GW_p/jaar). De fabriek zal volledig zijn gerobotiseerd en geautomatiseerd en integratieklare lichtgewicht circulaire zonnepanelen leveren, die kunnen worden geïntegreerd in gebouwen en infrastructuur. De geïntegreerde zon-PV-producten worden ontwikkeld samen met Energyra, Exasun, Lightyear en IM Efficiency. Energyra (1,2 GW_p/jaar) en Exasun (0,8 GW_p/jaar) bouwen elk een fabriek waar de geïntegreerde zon-PV-producten voor BIPV en IIPV op commerciële schaal zullen worden geproduceerd. Om het toepassingsgebied van zon-PV, naast de bovengenoemde toepassingen, verder te verbreden, ontwikkelt TNO middels een open innovatieprogramma een mass customization (MC) halffabrikaat en bijbehorende

fabricagemethodes. De uitkomst hiervan is een mass customization pilotresearchlijn (inclusief productieapparatuur) en een prototype van een halffabrikaat dat op grote schaal kan worden geproduceerd en aansluit bij de vereisten van meerdere gebruikerssegmenten. TNO gaat tevens een pilot-researchlijn ontwikkelen voor hybride tandem PV-modules bestaande uit een Si-HJT-bodemcel (uit PL1) en perovskiet top-module (uit PL2).

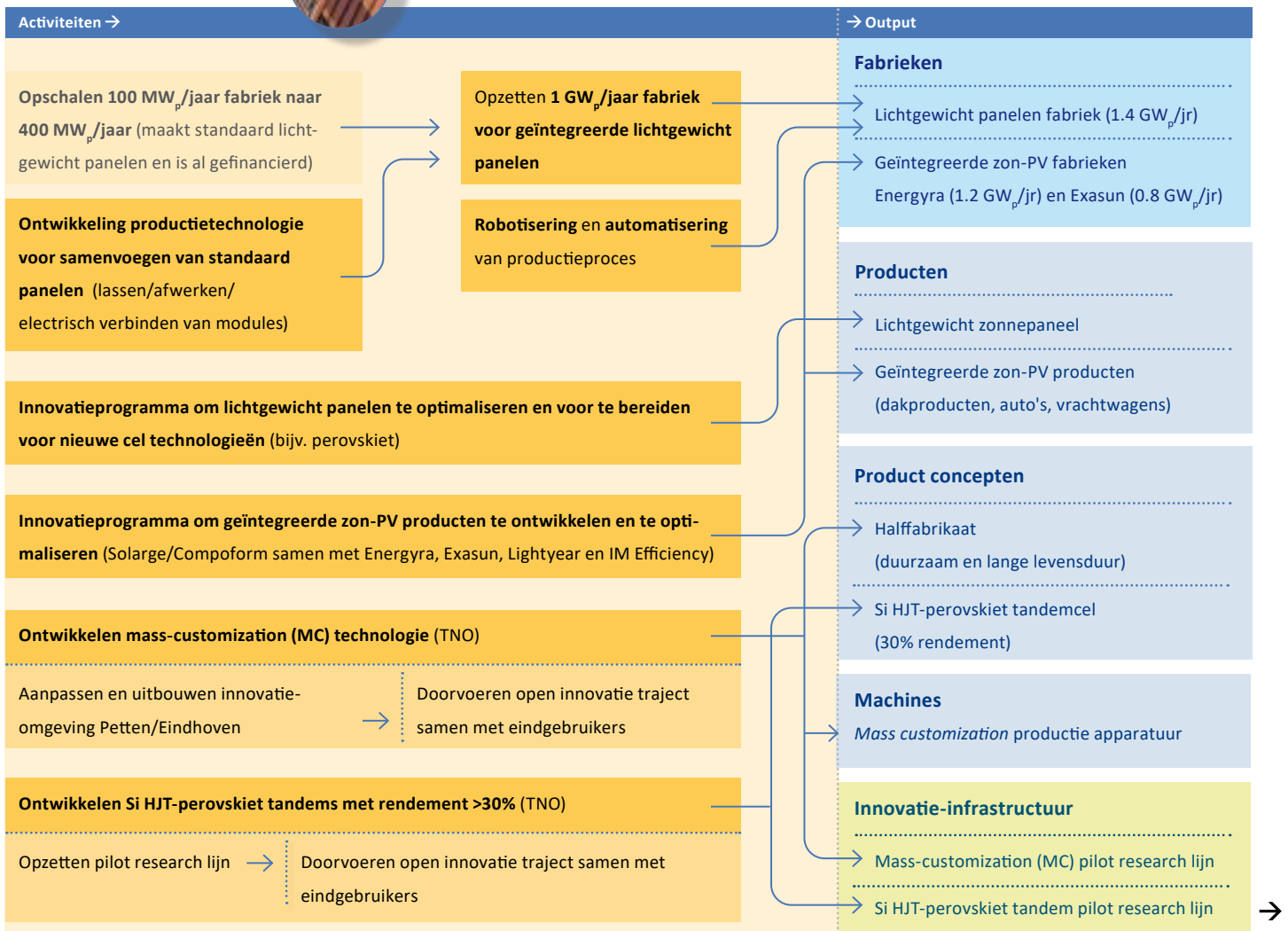
Output-outcomes-impact

In deel 2 van Figuur H4 worden de *outcomes* en impact beschreven die door de *outputs* ontstaan. Gedurende de groeifondsperiode zal de productie van integratieklare lichtgewicht zonnepanelen worden opgeschaald door Solarge/Compoform en eventuele licentiepartners. De zonnecellen voor de panelen zullen komen uit PL1 en PL2 (op termijn zullen er ook Si-HJT-perovskiet tandemcellen worden geleverd door MCPV). De commerciële productie van geïntegreerde zon-PV-producten zal worden opgeschaald door Energyra en Exasun. Rondom de commerciële fabrieken zal een Nederlandse innovatieketen ontstaan waar geïntegreerde

Programmalijn 3



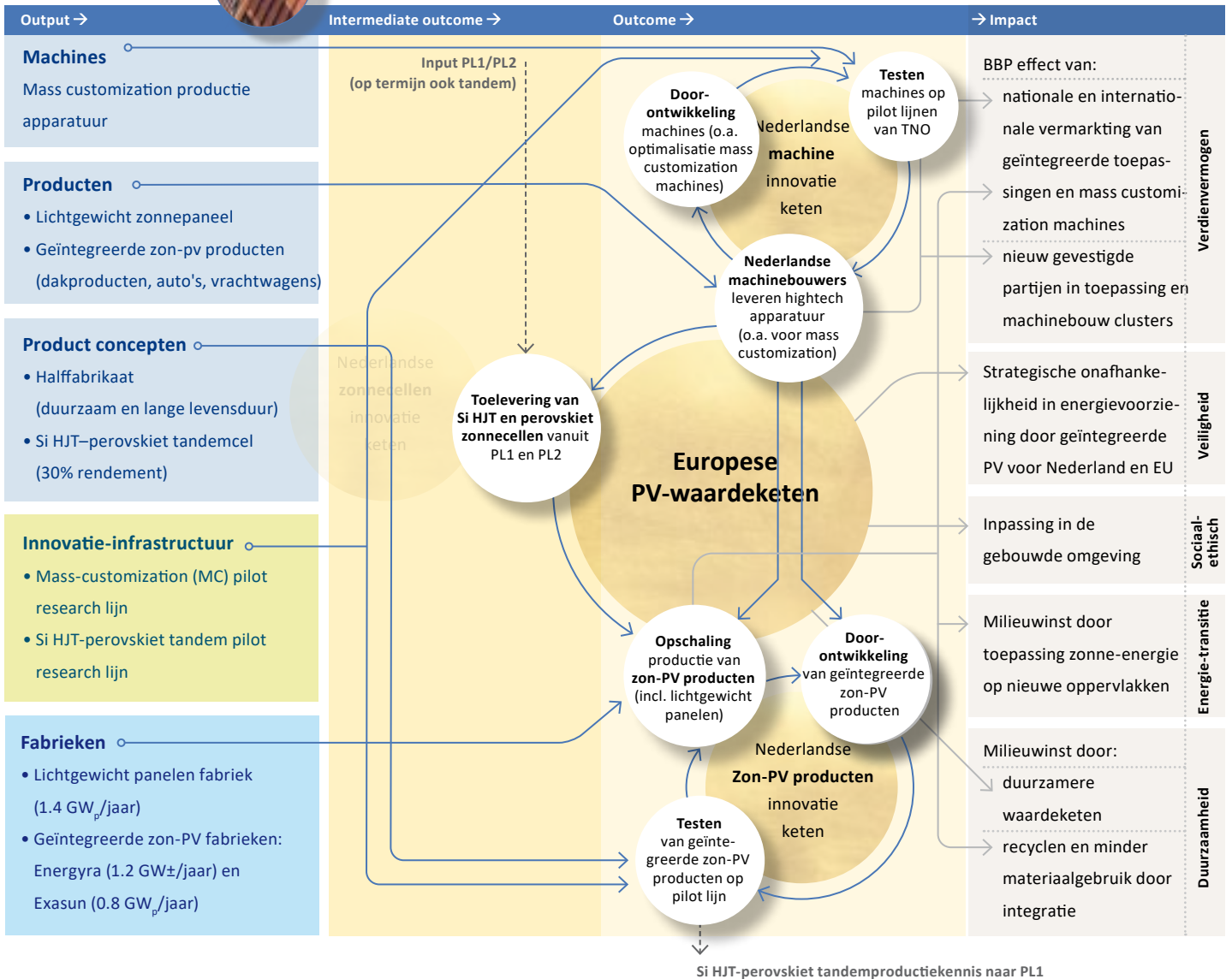
Figuur H4 • *Theory of Change*



→ Programmalijn 3



Figuur H4 (vervolg) • Theory of Change



zon-PV-producten worden doorontwikkeld en getest op de pilotlijnen van TNO. In deze innovatieketen zal ook de Si-HJT-perovskiet tandemcel worden ontwikkeld die vervolgens in de commerciële fabrieken van MCPV (PL1) zal worden getest en commercieel geproduceerd. De *mass customization* apparatuur die is ontwikkeld door TNO zal verder worden getest en geoptimaliseerd in de Nederlandse machine-innovatieketen en uiteindelijk worden geleverd aan geïntegreerde zon-PV-fabrieken in Nederland en over de wereld, inclusief de toepassing van *mass customization* in de fabriek van Solarge/Compofom.

De impact van PL3 op het Nederlandse verdienvermogen wordt enerzijds gedreven door het BBP-effect van de vermarkting van geïntegreerde zon-PV-producten en *mass customization* machines; en anderzijds door het BBP-effect dat volgt uit investeringen van bedrijven die zich gaan vestigen in het PV-machinebouwcluster en -toepassings-cluster.

De ontwikkeling van een duurzame Europese waardeketen zorgt zowel voor een sterke vermindering in de afhankelijkheid van Azië door minder benodigde import en PV-integratie die specifiek op de Nederlandse en Europese situatie is geënt, als voor milieuwinst omdat materialen op een duurzamere wijze zullen worden geproduceerd en minder ver moeten worden getransporteerd. Ook deze programmalijn zal bijdragen aan de reductie van het gebruik van dwangarbeid door enerzijds de Nederlandse productiecapaciteit voor geïntegreerde zon-PV-producten en anderzijds de Europese materialentoeleveranciers, die onder eerlijke arbeidsomstandigheden produceren.

De vermarkting en het grootschalige gebruik van de geïntegreerde zon-PV-producten zal de Nederlandse energietransitie vooruit drijven door vergroting van het aandeel zonne-energie in de energiemix (want zal PV nu op plekken komen waar het eerst niet kon/rendabel was), verminderd materiaalgebruik doordat PV is geïntegreerd in toepassingen en meer gebruik van gerecyclede materialen.

Kwantitatieve onderbouwing van de economische impact

Met het hierboven uiteengezette *Theory of Change* model is een kwantitatieve inschatting van de economische en maatschappelijke effecten van dit voorstel gemaakt. Deze sectie beschrijft de berekening van de economische impact.

De economische impact is tweeledig, zie de *Theory of Change*: (1) effect van productie en vermarkting van zon-PV-producten en -machines, zowel nationaal als internationaal, en (2) effect van nieuw gevestigde partijen die worden aangetrokken naar Nederland om hier te investeren in innovatie en productie. Deze effecten zijn gekwantificeerd door de resultaten van de drie programmalijnen bij elkaar op te tellen in vier inschattingen van de toegevoegde waarde van:

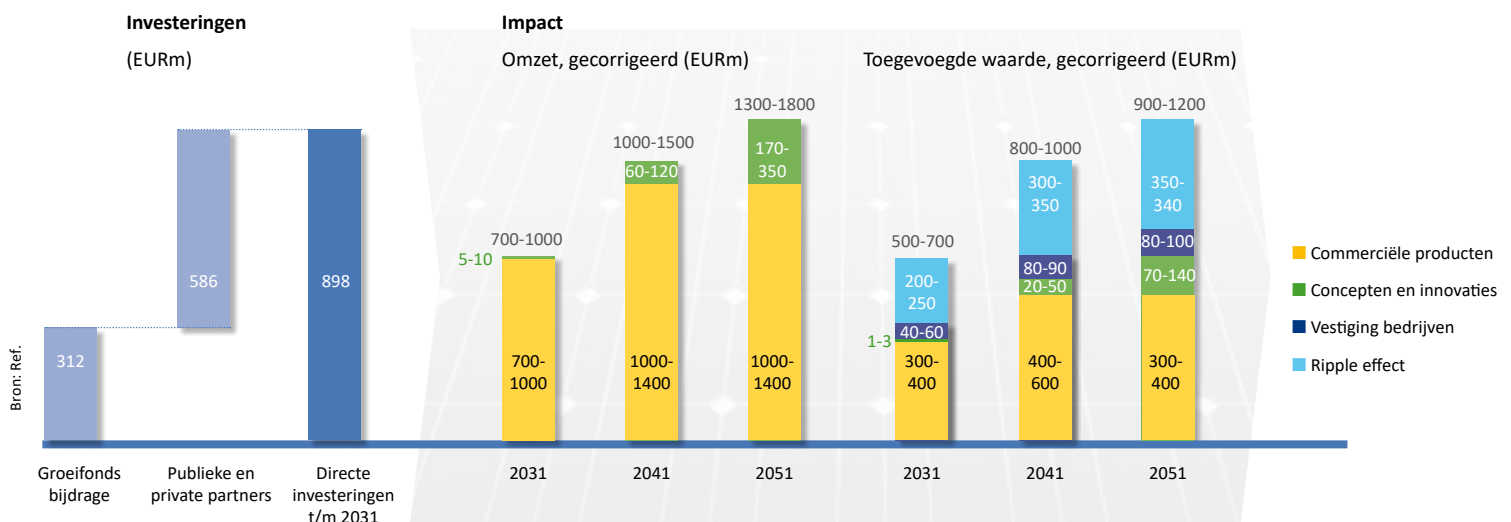
- 1. De vermarkting in Nederland van commerciële producten** vanuit de fabrieken die in dit NGF-voorstel worden gerealiseerd voor vijf PV-producten (Si-HJT-cellen, perovskietfolies, lichtgewicht panelen, modules en zon-PV dak-/bouwelementen)
- 2. De doorontwikkeling en vermarkting van concepten & innovaties** in machines, geïntegreerde producten, materialen, electronicacomponenten en automatiseringsconcepten; dit betreft bedrijvigheid in Nederland direct voortkomend uit de innovaties in dit voorstel alsmede in de toekomst ondersteund door de innovatie-infrastructuren van dit voorstel
- 3. De vestiging van internationale bedrijven** die worden aangetrokken naar het ecosysteem en in Nederland nieuwe PV activiteiten gaan ontplooiën
- 4. Het zogeheten ripple effect:** bovenstaande activiteiten leiden ook tot economische ontwikkeling in aanpalende sectoren, zoals dienstensectoren.

De uitkomst van de berekening geeft aan dat in 2051, twintig jaar na einde van dit voorstel, het voorstel naar schatting bijdraagt aan in totaal 1.300–1.800 miljoen euro extra omzet per jaar, equivalent met 900–1.200 miljoen euro toegevoegde waarde per jaar voor economische sectoren in Nederland (Figuur H5). Dit telt op tot een totale cumulatieve toegevoegde waarde tot en met 2051 van 20–25 miljard euro. In deze inschatting is gecorrigeerd voor het zogenaamde nul-alternatief: ontwikkelingen die naar verwachting ook zonder de investering van het NGF zullen plaats vinden. Tegelijkertijd creëren de productiefaciliteiten in Nederland alleen al een directe werkgelegenheid van 1.000–1.500 banen (gecorrigeerd voor het nul-alternatief en slagingskans). Deze effecten worden geïnitieerd door de directe investeringen van het NGF en de publieke/private partners van 873 miljoen euro tot en met 2031 en worden versterkt door het doorinvesteren van private partijen in de opschaling van de productie (waarvoor concrete plannen reeds aanwezig zijn) en investeringen in nieuwe toepassingen, machines en materialen voor PV.

1. Kwantificering van toegevoegde waarde van de vermarkting van commerciële producten vanuit de fabrieken die in dit NGF voorstel worden gerealiseerd

Er zijn vijf producten die in de groeifondsperiode worden gecommmercialiseerd en op grotere schaal geproduceerd: Si-HJT-cellen (PL1 door MCPV), perovskiet folies (PL2 door HyET), lichtgewicht panelen (PL3 door Solarge), modules (PL3 door Energyra) en zon-PV-dak-/bouwelementen (PL3 door Exasun). Deze producten zullen nationaal en internationaal worden vermarkt en omzet genereren. Aan de hand van deze omzet, het aandeel van de productiecapaciteit in Nederland en de gemiddelde toegevoegde waarde van de zon-PV-industrie, is de toegevoegde waarde van deze productie

Figuur H5 • Investeringen en verwachte jaarlijkse omzet en toegevoegde waarde van het voorstel



voor Nederland berekend (zie Kader H1). Na correctie voor het nul-alternatief (zie Kader H2) zorgt dit voor een ingeschatte 1.000-1.400 miljoen euro omzet (400-600 miljoen euro toegevoegde waarde) per jaar in 2051 die mogelijk

wordt gemaakt door dit voorstel. Tegelijkertijd creëren deze productiefaciliteiten in de Groeifondsperiode een directe werkgelegenheid van 1.000-1.500 banen, gecorrigeerd voor het nul-alternatief en de slagingskans.

Kader H1 • Aannames voor kwantificering toegevoegde waarde vermarking commerciële producten - Basisraming

De toegevoegde waarde is bepaald door 1) de productiecapaciteit van MCPV, HyET, Solarge, Energyra en Exasun in Nederland te vermenigvuldigen met 2) de verkoopprijzen, 3) de kans dat de producten succesvol worden ontwikkeld en gecommmercialiseerd en 4) de gemiddelde toegevoegde waarde van de Nederlandse zon-PV industrie. Daarnaast is gecorrigeerd voor de leveringen van de partijen aan elkaar (MCPV en HyET leveren cellen aan Solarge Energyra & Exasun). Elke component van de berekening wordt hieronder in detail belicht:

1. Productiecapaciteit in Nederland: in de basisraming is er vanuit gegaan dat MCPV zes fabrieken van 3 GW_p/jaar gaat bouwen in Europa waarvan er drie zullen staan in Nederland (fabriek 1 start productie in 2027, fabriek 2 in 2029 en fabriek 3 in 2031). HyET bouwt één fabriek van 1 GW_p/jaar in Nederland die gaat produceren

vanaf 2031 en wordt opgeschaald tot 3 GW_p/jaar in 2033. Twee verdere 3 GW_p/jaar fabrieken worden gebouwd in andere Europese landen. Solarge bouwt naast de 400 MW_p/jaar faciliteit ook één fabriek van 1 GW_p/jaar in Nederland die gaat produceren vanaf 2031 en die wordt opgeschaald tot 3 GW_p/jaar in 2033. Twee verdere 3 GW_p/jaar fabrieken worden in andere Europese landen gebouwd. Energyra bouwt één fabriek van 1,2 GW_p/jaar in Nederland die gaat produceren vanaf 2031 en die wordt opgeschaald tot 2 GW_p/jaar in 2033. Twee verdere 2 GW_p/jaar fabrieken worden gebouwd in andere Europese landen. Exasun bouwt één fabriek van 0,8 GW_p/jaar in Nederland die gaat produceren vanaf 2031 en die wordt opgeschaald tot 2 GW_p/jaar in 2033. Twee verdere 2 GW_p/jaar fabrieken worden gebouwd in andere Europese landen.

Productiecapaciteit (GW_p/jaar)

Naam	Nederland			Andere landen in Europa			Totaal		
	2031	2041	2051	2031	2041	2051	2031	2041	2051
MCPV	9	9	9	9	9	9	18	18	18
HyET	1	3	3	0	6	6	1	9	9
Solarge	1,4	3	3	2	6	6	3,4	9	9
Energyra	1,2	2	2	0	4	4	1,2	6	6
Exasun	0,8	2	2	0	4	4	0,8	6	6
Totaal	13,4	19	19	11	29	29	24,4	48	48

2. Verkoopprijzen: in de basisraming is er vanuit gegaan dat Si HJT cellen worden verkocht voor 0,16 EUR/W_p, perovskietfolies voor 0,20 EUR/W_p, lichtgewicht panelen voor 0,30 EUR/W_p, modules voor 0,25 EUR/W_p en zon-PV dak-/bouwelementen voor 0,35 EUR/W_p. Deze prijzen zijn gebaseerd op inschattingen van marktpartijen.

3. Slagingskansen: in de basisraming is rekening gehouden met de kans dat één of meer producten niet succesvol kunnen worden ontwikkeld en/of gecommmercialiseerd. Immers, er zijn technologische risico's voor de producten en commerciële risico's voor de verkoop. De verwachte omzet is daarom voor deze technologische en commerciële risico's gecorrigeerd. Hiervoor wordt de verwachte omzet per product vermenigvuldigd met de slagingskans. De slagingskans voor Si HJT cellen, lichtgewicht panelen, modules en zon-PV dak-/bouwelementen is ingeschat op 50-60%. De slagingskans van perovskietfolies is lager ingeschat, namelijk op 30-40%, gegeven het hoger technologisch risico.

4. Toegevoegde waarde: in de basisraming is uitgegaan van een gemiddelde toegevoegde waarde van 39% van de omzet. Hiervoor is gebruik gemaakt van de toegevoegde waarde en productiewaarde van het product profiel Zon PV - Fotovoltaïsch (uit CBS tabel Economische ontwikkelingen van de energievoorziening).

5. Dubbeltellingen in de toegevoegde waarde: MCPV en HyET leveren cellen aan Energyra, Exasun en Solarge. Er wordt er van uitgegaan dat 50% van de cellen van Energyra, Exasun en Solarge wordt geleverd door MCPV en HyET. Er is gecorrigeerd voor een mogelijke dubbeltelling in toegevoegde waarde door 50% van de capaciteit van de toepassers (Energyra, Exasun en Solarge) evenredig af te trekken van de productie van MCPV en HyET.

Deze berekening leidt tot een ingeschatte toegevoegde waarde van ~500 miljoen euro per jaar in 2031 en ~700 miljoen euro per jaar in 2041 en in 2051

Kader H2 • Aannames voor kwantificering toegevoegde waarde vermarking commerciële producten – Nul-alternatief

In het nul-alternatief – het NGF investeert niet – wordt er vanuit gegaan dat MCPV, HyET, Solarge, Energyra en Exasun niet opgeven en wel producten gaan ontwikkelen en productiecapaciteit proberen neer te zetten. Zij zullen hierdoor echter later kunnen starten, met minder middelen en geïsoleerder. Dit levert vertraging op in de tijd, een lagere verwachte output in capaciteit, met een kleinere kans van slagen en met grotere kans op opschaling/realisatie buiten Nederland. Voor het nul-alternatief zijn daarom de volgende aannames aangepast:

1. Productiecapaciteit in Nederland: MCPV gaat slechts drie 3 GW_p/jaar fabrieken bouwen in Europa waarvan er maar één in Nederland staat die pas in 2031 gaat produceren. HyET en Solarge bouwen beide hun eerste kleinere faciliteiten (0,04 en 0,4 GW_p/jaar) in Nederland en schalen deze ook op (elk naar 1 GW_p/jaar) maar de constructie is drie jaar vertraagd (start productie in 2034) en de duplicatie/opschaling met 3 GW_p/jaar zal plaatsvinden in andere Europese landen. Ook Energyra en Exasun bouwen beide de eerste fabriek wel in Nederland, maar ook hier is de constructie 3 jaar vertraagd (start productie in 2034), bedraagt de capaciteit slechts 0,4 GW_p/jaar per fabriek en zal de duplicatie/opschaling van beide fabrieken met 2 GW_p/jaar plaatsvinden in andere Europese landen.

Productiecapaciteit (GW_p/jaar)

Naam	Nederland			Andere landen in Europa			Totaal		
	2031	2041	2051	2031	2041	2051	2031	2041	2051
MCPV	3	3	3	6	6	6	9	9	9
HyET	0,04	1	1	0	3	3	0,04	4	4
Solarge	0,4	1	1	0	3	3	0,4	4	4
Energyra	0	0,4	0,4	0	2	2	0	2,4	2,4
Exasun	0	0,4	0,4	0	2	2	0	2,4	2,4
Totaal	3,44	5,8	5,8	6	16	16	9,44	21,8	21,8

2. Slagingskansen: Door het wegvallen van een groot deel van de investeringen, is de slagingskans in het nul-alternatief lager dan in de basisraming. De slagingskans voor Si-HJT-cellen, lichtgewicht panelen, modules en zon-PV-dak-/bouwelementen is ingeschat op 40-50%, de slagingskans van perovskiet folies op 20-30%.

Deze berekening leidt tot een ingeschatte toegevoegde waarde van ~100 miljoen euro per jaar in 2031 en ~200 miljoen euro per jaar in 2041 en in 2051.

2. Kwantificering van de toegevoegde waarde van de doorontwikkeling en vermarking van concepten & innovaties in machines, geïntegreerde producten en materialen

De innovatiestructuren die in de groeifondsperiode worden ontwikkeld, worden tijdens en na de groeifondsperiode gebruikt om conceptproducten (bijv. de perovskiet-perovskiet cel, de Si-HJT-perovskiet tandemcel, het *mass customization* halffabriek) en conceptmachines (bijv. *mass customization* productiemachines, industry 5.0 machines) door te ontwikkelen. Tegelijkertijd komen partijen ook naar Nederland om nieuwe concepten te ontwikkelen door de leveringszekerheid die de fabrieken van cellen en folies bieden.

Innovatieve concepten worden door bestaande en nieuwe bedrijven (*spin-outs*) gecommmercialiseerd en nationaal en

internationaal vermarkt. Concrete voorbeelden van zulke bedrijven, die in de groeifondsperiode al hieraan werken, zijn Lightyear en IM Efficiency. Lightyear ontwikkelt auto's waarin gekromde zonnepanelen, al dan niet door middel van folies, in het chassis worden geïntegreerd. IM Efficiency werkt aan een oplossing om de zon-PV-producten uit dit voorstel te integreren in vrachtwagentrailers. Naast de integratie van zon-PV-producten in voertuigen (VIPV) verwachten we ook veel nieuwe bedrijvigheid binnen integratie van PV in de bouwsector. Aan de hand van de kans dat deze producten succesvol zijn, de omzet van succesvolle producten en de toegevoegde waarde van de zon-PV-industrie, is de toegevoegde waarde van deze bedrijven/spin-outs voor Nederland berekend (zie Kader H3). Na correctie voor het nul-alternatief (zie Kader H4) zorgt dit voor een ingeschatte 170-350 miljoen euro omzet (70-140 miljoen euro toegevoegde waarde) per jaar in 2051 die mogelijk wordt gemaakt door dit voorstel.

Kader H3 • Aannames voor kwantificering toegevoegde waarde vermarking concepten & innovaties - Basisraming

De doorontwikkeling van en investeringen in de *spin-out* technologieën/producten zijn ingeschat aan de hand van een *Venture Capital proces*, met slagingskansen, tijdlijn en gemiddelde investeringen als gerapporteerd in de onderstaande tabel. Nieuwe concepten zullen niet alleen worden doorontwikkeld via *spin-out* bedrijven die worden gefinancierd door *Venture Capital* maar ook door bestaande bedrijven. Het *Venture Capital* model is gebruikt als proxy omdat het typisch is gebaseerd op een bedrijf met een lead product en er informatie beschikbaar is voor de PV-sector.

Er is aangenomen dat vanaf 2026 (begin van de opschalingsfase) tot en met 2031 (einde groeifondsperiode) jaarlijks vier *spin-outs* de seed ronde bereiken: in totaal 24 *spin-outs* vanuit de drie programmalijnen tezamen zoals opgenomen in de KPI-tabel. In de periode 2032-2051 zullen de innovatieclusters verder worden versterkt en constant nieuwe *spin-outs* genereren met gebruik van de innovatie-infrastructuren. Voor deze jaren is uitgegaan van vijf *spin-outs* per jaar die de seed ronde bereiken. Van de *spin-outs* die de drie financieringsrondes doorlopen gaat 80% uiteindelijk omzet genereren voor een periode van 15 jaar.

	Slagingskans (%)	Duur (jaar)	Gemiddelde investering (EUR m)
Seed	80%	1	0,9
Serie A	50%	2	3,7
Serie B	50%	2	5,9

De verwachte jaarlijkse omzet per succesvolle *spin-out* is geraamd op 48 miljoen euro. Hiervoor gaan we ervan uit dat alle gemaakte investeringen (voor zowel geslaagde als gefaalde concepten/innovaties) plus rendement (10% ROI) terugverdiend moeten worden vanuit de winsten van de succesvolle *spin-outs*. Hierin wordt gerekend met een winstmarge van 20%, een terugverdienperiode van 10 jaar en een aanlooperperiode van drie jaar, waarin de omzet 50% is van de uiteindelijke jaarlijkse omzet. In de berekening van de economische impact wordt aangenomen dat één van de succesvolle *spin-outs* doorgroeit naar een jaarlijkse omzet gelijk aan 10 keer de omzet van

de overige *spin-outs*, dus 480 miljoen euro. Verder gaan we ervan uit dat 50% van de activiteiten in Nederland gaat plaatsvinden en/of hier economisch neerslaat. Om de toegevoegde waarde te berekenen, wordt de omzet vermenigvuldigd met 39% (gebaseerd op het product profiel Zon PV - Fotovoltaïsch uit CBS tabel Economische ontwikkelingen van de energievoorziening).

Deze berekening leidt tot een ingeschatte toegevoegde waarde van ~3 miljoen euro per jaar in 2031, ~60 miljoen euro per jaar in 2041 en ~200 miljoen euro per jaar in 2051.

Kader H4 • Aannames voor kwantificering toegevoegde waarde vermarking concepten & innovaties – Nul-alternatief

In het nul-alternatief, waarin het NGF niet investeert, zullen significant minder *spin-outs* ontstaan. Het nul-alternatief neemt aan dat een deel van de investeringen door partijen wel wordt gedaan.

We gaan ervan uit dat zonder de NGF-middelen:

- De investeringen in nieuwe concepten/producten 50% lager zijn (in Nederland) en 50% minder effectief zijn dan met de NGF-financiering en het ecosysteem en innovatie-infrastructuren die daarmee worden opgebouwd; daardoor ontstaan in het nul-alternatief slechts 25% van de *spin-outs*.

- De slagingskans voor succesvolle doorontwikkeling en vermarking door die *spin-outs* 50% lager is doordat zij geen toegang hebben tot de innovatie-infrastructuren en het sterke ecosysteem dat afhankelijk is van de NGF-financiering.
- De meest succesvolle *spin-out* doorgroeit naar een jaarlijkse omzet gelijk aan 3 keer (i.p.v. 10 keer) de omzet van de overige *spin-outs*.

Deze berekening leidt tot een ingeschatte toegevoegde waarde van ~1 miljoen euro per jaar in 2031, ~15 miljoen euro per jaar in 2041 en ~50 miljoen euro per jaar in 2051.

3. Kwantificering van de toegevoegde waarde van de vestiging van internationale bedrijven

De fabrieken die in de groeifondsperiode worden gebouwd en opgeschaald vormen het anker en de aanjager voor de Europese PV-waardeketen met meerdere Nederlandse PV-clusters. In het ecosysteem zijn kennis, talent en partners te vinden en daarmee oefent het een aantrekkingskracht uit op buitenlandse partijen die activiteiten in het ecosysteem en dus in Nederland komen ontplooiën. Om de deze additionele toegevoegde waarde te kwantificeren, wordt een 'vestigings-effect-multiplier' toegepast op de toegevoegde waarde die wordt gecreëerd met bovenstaande twee effecten (de fabrieken en de *spin-outs*). Aangenomen is dat de investeringen van internationale bedrijven die zich vestigen in de verschillende PV-clusters leiden tot een additionele toegevoegde waarde gelijk aan 10-20% van de toegevoegde waarde die wordt gecreëerd door de PV-fabrieken (onderdeel 1 hierboven) en de concepten & innovaties vermarkt door bedrijven/*spin-outs* (onderdeel 2 hierboven). Na correctie voor het nul-alternatief zorgt de vestiging van internationale bedrijven voor 80-100 miljoen euro toegevoegde waarde per jaar in 2051.

4. Kwantificering van de toegevoegde waarde door het *ripple effect*

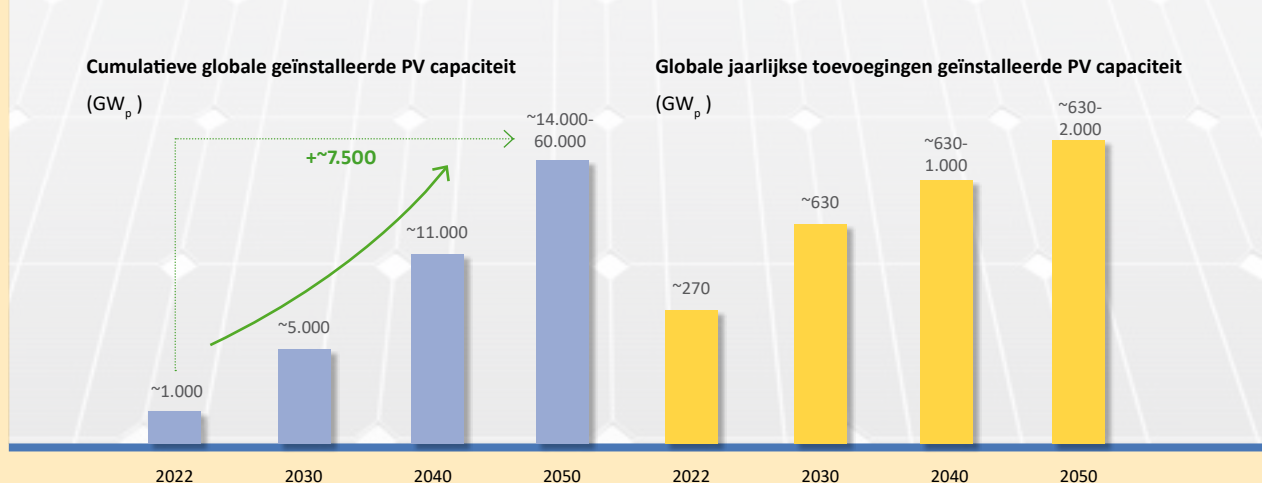
De 1) vermarkting van commerciële producten, 2) vermarkting van concepten & innovaties en 3) vestiging van internationale bedrijven leiden tot een totaal effect van 550-850 miljoen euro toegevoegde waarde voor de sector per jaar in 2051 in het basisscenario (gecorrigeerd voor het nul-alternatief). Dit leidt tot een *ripple effect* voor de Nederlandse economie van naar schatting 300-400 miljoen euro per jaar in 2051. Dit *ripple-effect* geeft een schatting van de mate waarin directe outputveranderingen in een afzonderlijke bedrijfstak doorwerken op de output in de gehele Nederlandse economie, als gevolg van additionele activiteit in andere industrieën. Wij rekenen met de output multiplier van 1,5 voor de productie van elektrische apparatuur.¹

Kader H5 • Toekomstbestendigheid en groeipotentieel

Het groeipotentieel voor zonne-energie is enorm. Wereldwijd draagt zonne-energie nog slechts 2% bij aan de totale energie-opwekking. Om de internationale doelstellingen te halen moet de jaarlijkse wereldwijde productie van zonnepanelen significant stijgen; een enorme uitdaging. Dit biedt unieke economische kansen voor Nederland. Volgens ramingen van de International Renewable Energy Agency (IRENA), zal de wereldwijd geïnstalleerde PV-capaciteit oplopen naar circa 8.500 GW_p in 2050. Dit betekent

dat in de periode 2022-2050 circa 7.500 GW_p aan PV capaciteit zal moeten worden bijgeplaatst. De wereldwijde jaarlijkse toevoegingen zullen oplopen naar circa 370 GW_p in 2051. In Europa komen de doelstellingen uitgesproken door REPowerEU overeen met de installatie van 60-70 GWp/jaar in 2030, een verdubbeling t.o.v. 2021. Dit voorstel speelt in op die enorme en toekomstbestendige marktpotentie en de geambieerde productievolumes passen binnen de kaders van deze marktontwikkeling.

Figuur H6 • Cumulatieve globale geïnstalleerde PV capaciteit en globale jaarlijkse toevoegingen



1 Scottish Government (2022), <https://www.gov.scot/publications/about-supply-use-input-output-tables/pages/user-guide-multipliers/>

Externe afhankelijkheden

Bovenstaande berekeningen zijn afhankelijk van externe trends, die de uiteindelijk impact van dit groeifondsvoorstel kunnen beïnvloeden. Dergelijke risicofactoren zijn:

- **Ontwikkeling van (internationale) concurrentie:** er bestaat een risico dat buitenlandse bedrijven (bijvoorbeeld de Chinese of US PV-producenten) een verdere technologische sprong maken en cellen/panelen gaan vermarkten die nog goedkoper/beter zijn dan de cellen/panelen die in dit voorstel worden ontwikkeld. Buitenlandse overheden kunnen dit risico nog vergroten door middel van het bedrijven van een industriepolitiek die PV-producenten in het zadel helpt.
- **Onvoldoende ontwikkeling van de Europese PV waardeketen:** de impact van dit voorstel leunt op de verdere ontwikkeling van Europese toeleveranciers in bijvoorbeeld materialen en machines aan de Nederlandse PV-fabrieken. Er bestaat een risico dat materialen- of andere toeleveranciers zich onvoldoende kunnen ontwikkelen in Europa, bijvoorbeeld omdat andere PV-clusters in Azië of de VS attractiever zijn en Europese toeleveranciers aantrekken om zich daar verder te ontwikkelen.
- **Investeringsklimaat voor technologische spin-outs raakt achterop:** er bestaat een risico dat het investeringsklimaat voor 'tech' *spin-outs* in Nederland en Europa steeds meer verslechtert ten opzichte van regio's zoals de VS en Azië, m.n. als het gaat om de toegang tot groeikapitaal voor die bedrijven. Hierdoor zouden innovatieve *spin-outs* zich minder goed kunnen ontwikkelen in of vertrekken uit Nederland/Europa.

Om de gevoeligheid van de resultaten voor deze factoren te bepalen, beschouwen we vier verschillende scenario's. Tabel 1 toont het effect van deze scenario's op de toegevoegde waarde van dit voorstel.

- **Lagere prijzen voor zon-PV-producten:** de verkoopprijzen van de vijf commerciële producten zijn 30% lager dan oorspronkelijk geraamd; bijvoorbeeld door concurrentie uit andere landen (zoals China) die met nieuwe (productie/cel) technologie een nieuwe generatie zonnecellen goedkoper kunnen produceren.
- **Minder productie in Nederland:** de productiecapaciteit van MCPV, HyET, Solarge, Energyra en Exasun in Nederland is 30% lager dan oorspronkelijk geraamd doordat buitenlandse zon-PV-producten de Europese markt overspoelen en/of doordat zich onvoldoende toeleveranciers in Nederland/Europa hebben gevestigd om de opschaling van de productie te kunnen faciliteren en productie zich daarom elders heeft gevestigd.
- **Minder spin-outs:** 40% minder spin-outs worden gecreëerd die de seed ronde van het VC-proces ingaan in Nederland dan oorspronkelijk geraamd, doordat de toeleverende kant van de waardeketen (bijvoorbeeld high-tech

materialen en productiemachines) zich onvoldoende ontwikkelt in Nederland en Europa en minder spin-outs voortbrengt en/of omdat het investeringsklimaat achterblijft en spin-outs vroeg vertrekken uit Nederland/Europa om hun producten te ontwikkelen.

- **Minder activiteiten in Nederland van spin-outs:** slechts 25% van de activiteiten van succesvolle *spin-outs* (met producten op de markt) vindt in Nederland plaats en/of creëert toegevoegde waarde voor Nederland; bijvoorbeeld omdat succesvolle spin-outs voor toegang tot groeikapitaal om hun productie/verkoop op te schalen meer activiteiten naar het buitenland verplaatsen.

Tegelijkertijd zijn er externe ontwikkelingen die de beraamde resultaten van dit groeifondsvoorstel juist significant zouden kunnen verbeteren. Zo komt er binnenkort waarschijnlijk een nieuw en gunstiger EU beleid voor de productie van PV, dat de ingezette ontwikkeling met dit voorstel een boost kan geven.

Tabel H1 • Totale toegevoegde waarde van dit voorstel voor verschillende scenario's, gecorrigeerd voor nul-alternatief

Toegevoegde waarde (EUR m)	2031	2041	2051
Basisraming	~700	~1.000	~1.200
Lagere prijzen voor zon-PV-producten	~500	~800	~900
Minder productie in Nederland	~500	~800	~900
Minder spin-outs	~700	~1.000	~1.100
Minder activiteiten in Nederland van spin-outs	~700	~1.000	~1.100

Kwantitatieve onderbouwing van de maatschappelijke impact

Maatschappelijke baten

Op maatschappelijk vlak zullen met de uitvoering van dit Groeifondsvoorstel ten minste vijf effecten worden gerealiseerd (zie *Theory of Change*):

1. Strategische onafhankelijkheid in energievoorziening
2. Voorkomen van het gebruik van dwangarbeid
3. Milieuwinst door vermeerderd gebruik zonne-energie
4. Milieuwinst door duurzame waardeketen
5. Milieuwinst door circulair recyclen en minder materiaalgebruik

Kader H6 • Aannames voor kwantificering van de strategische onafhankelijkheid in energievoorziening – Basisraming en nul-alternatief

De strategische onafhankelijkheid in energievoorziening is uitgedrukt als verhouding tussen de voorziene PV-productiecapaciteit van dit voorstel in Europa en de jaarlijkse behoefte aan toevoegingen van PV-capaciteit in Europa. De berekening gaat uit van de volgende elementen en aannames:

1. De cumulatieve Europese productiecapaciteit van MCPV, HyET, Solarge, Energyra & Exasun bedraagt 24,4 GW_p/jaar in 2031 en wordt opgeschaald naar 48 GW_p/jaar in 2051 zoals beschreven in Kader H1. In het nul-alternatief is deze ontwikkeling later en lager namelijk 9,44 GW_p/jaar in 2031 en 21,8 GW_p/jaar in 2051 zoals beschreven in Kader H2.

2. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor dubbelstellingen (zie kader 1) omdat MCPV en HyET immers cellen leveren aan Energyra, Exasun en Solarge en de GW_p/jaar aan eindproducten van deze partijen daarom niet zo maar kan worden opgeteld. Er is

gecorrigeerd voor deze dubbeltelling door 50% van de capaciteit van de toepassers (Energyra, Exasun en Solarge) evenredig af te trekken van de productie van MCPV en HyET.

3. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor de slagingskansen (zie Kader H1) omdat er immers een kans bestaat dat één of meer producten niet succesvol kunnen worden ontwikkeld en gecommercialiseerd. In de basisraming bedraagt de slagingskans voor Si HJT cellen, lichtgewicht panelen, modules en zon-PV dak-/bouwelementen 50-60% en de slagingskans voor perovskietfolies 30-40%. In het nul-alternatief bedraagt de slagingskans voor Si HJT cellen, lichtgewicht panelen, modules en zon-PV dak-/bouwelementen 40-50% en de slagingskans voor perovskietfolies 20-30%. De verwachte Europese productiecapaciteit bedraagt na correctie voor dubbeltelling en slagingskansen in de basisraming 19,9 GW_p/jaar in 2051 en in het nul-alternatief 7,5 GW_p/jaar in 2051 (zie onderstaande tabel).

Productiecapaciteit (GW_p/jaar)

Europese productiecapaciteit (GW _p /jaar)	Basisraming			Nul-alternatief		
	2031	2041	2051	2031	2041	2051
MCPV	18	18	18	9	9	9
HyET	1	9	9	0,04	4	4
Solarge	3,4	9	9	0,4	4	4
Energyra	1,2	6	6	0	2,4	2,4
Exasun	0,8	6	6	0	2,4	2,4
Totaal	24,4	48	48	9,44	21,8	21,8
Correctie dubbeltelling	2,4	10,5	10,5	0,1	4,4	4,4
Eindproductie (productie gecorrigeerd voor dubbeltelling)	22,1	37,5	37,5	9,3	17,4	17,4
Eindproductie gecorrigeerd voor slagingskansen	12,1	19,9	19,9	4,2	7,5	7,5

4. De jaarlijkse toevoegingen in de geïnstalleerde Europese PV-capaciteit (Europese behoefte) zijn berekend op basis van de doelstelling van REPowerEU in 2030 60-70 GW_p/jaar in Europa te installeren. Er is er vanuit gegaan dat de Europese PV-installaties een vergelijkbare groei zullen hebben als de wereldwijde. Daarom zijn de Europese installaties voor de jaren 2031-2051 berekend door het

wereldwijde groeipercentage van de PV-installaties zoals geraamd door de International Renewable Energy Agency (IRENA) toe te passen op de 2030 doelstelling van REPowerEU.

De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in onderstaande tabel.

Productie van PV in Europa gefaciliteerd door dit voorstel, als percentage van de Europese behoefte (% in jaar)

Basisraming			Nul-alternatief			Basisraming, gecorrigeerd voor nul-alternatief		
2031	2041	2051	2031	2041	2051	2031	2041	2051
15-20%	20-25%	20-25%	4-6%	8-10%	8-10%	8-12%	10-15%	10-15%

1. Strategische onafhankelijkheid in energievoorziening

De Nederlandse/Europese fabrieken en Europese waardeketens zorgen ervoor dat Nederland en Europa beter kunnen voorzien in de eigen behoefte aan PV en minder afhankelijk worden van buitenlandse, m.n. Chinese, toeleveranciers. De totale voorziene productiecapaciteit (basisraming) in dit voorstel in Europa is 48 GW_p/jaar in 2051. Gecorrigeerd voor dubbeltellingen (omdat partijen aan elkaar leveren) en de slagingskansen van deze productie komt dit overeen met 3-5% van de in 2051 benodigde voorziene productiecapaciteit in de wereld en 20-25% van de Europese behoefte aan te installeren PV-capaciteit in het jaar 2051. Daarmee wordt Europa een meer significante speler en kan het voor een aanzienlijk deel – er zal import en export met andere regio's blijven plaatsvinden – in de eigen behoefte voorzien. Gecorrigeerd voor het nul-alternatief ondersteunt dit voorstel de totstandkoming van een extra productiecapaciteit in Europa in 2051 die overeenkomt met 10-15% van de behoefte aan te installeren PV-capaciteit in 2051 in Europa. In Kader H6 zijn de aannames van de berekening nader beschreven.

2. Voorkomen van het gebruik van dwangarbeid

Er zijn veel problemen met dwangarbeid in de Chinese industrie. Een rapport van de Amerikaanse overheid schat het aantal dwangarbeiders in China op 0,8-2 miljoen mensen.² Het Helena Kenedy Centre for International Studies komt in het rapport “In Broad Daylight” zelfs uit op 2,6 miljoen.³ Het precieze aantal is moeilijk te bepalen, maar dat het een schrijnende situatie is en om een grote groep gaat staat buiten kijf. Voor de PV-waardeketen geldt dat dwangarbeid met name plaatsvindt in de siliciumproductie.

De realisatie van Europese PV-waardeketens in dit voorstel maakt dat er minder PV-producten uit China hoeven te worden geïmporteerd om onze energiedoelstellingen te halen en de dwangarbeid die daarmee zou zijn gemoeid wordt voorkomen. De totale voorziene productiecapaciteit (basisraming) in dit voorstel in Europa is 48 GW_p/jaar in 2051. Gecorrigeerd voor dubbeltellingen, de slagingskansen en het aandeel dat hiervan anders in China was geplaatst kan de groei van Europese PV-productie door dit voorstel de dwangarbeid van circa 4.000 mensen voorkomen; gecorrigeerd voor het nul-alternatief is dit circa 2.500 mensen.

Kader H7 • Aannames voor kwantificering van het voorkomen van het gebruik van dwangarbeid – Basisraming en nul-alternatief

Het voorkomen van de hoeveelheid dwangarbeid is ingeschat door een inschatting te maken van het aantal dwangarbeiders in de Chinese PV industrie per GW_p PV productie. Daarnaast is aangenomen dat indien er geen productiecapaciteit in Europa wordt gerealiseerd, een aanzienlijk deel van die productie uit China zal moeten komen (gelijk aan het huidige marktaandeel van China) om toch te voorzien in de behoefte aan PV producten in Europa. De berekening gaat uit van de volgende elementen en aannames:

1. De cumulatieve Europese productiecapaciteit (zie Kader H6)
2. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor dubbeltellingen (zie kader 6)
3. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor de slagingskansen (zie kader 6)
4. De gecorrigeerde productie wordt dan nog vermenigvuldigd met het aandeel van China in de wereldwijde productie van PV (circa 80% in 2022)⁴

5. Het aantal dwangarbeiders in de Chinese industrie is volgens rapporten 0.8-2.6 miljoen mensen.^{2,3} Wij gaan uit van een gemiddelde van 1.4 miljoen mensen. Wij nemen aan dat 5% van deze mensen (m.n. in silicium productie) werken in de PV waardeketen, in totaal circa 70.000 dwangarbeiders. De totale Chinese PV productie is circa 270 GW_p/jaar in 2022.⁵ Het aantal dwangarbeiders per GW_p/jaar productiecapaciteit is daarmee 200-300 mensen. Deze capaciteit komt ongeveer overeen met het aantal FTE per GW_p in een Europese fabriek en lijkt daarmee een goede benadering. Het lijkt redelijk aan te nemen dat de productie in een PV-fabriek niet arbeidsintensiever is dan de productie van grondstoffen voor die fabriek (waarvan de dwangarbeid voornamelijk plaatsvindt in China). De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in onderstaande tabel.

Jaarlijkse vermeden dwangarbeid in China door Europese productie (# dwangarbeiders)

Basisraming			Nul-alternatief			Basisraming, gecorrigeerd voor nul-alternatief		
2031	2041	2051	2031	2041	2051	2031	2041	2051
~2.500	~4.000	~4.000	~900	~1.500	~1.500	~1.600	~2.500	~2.500

2 US Government (2018), https://www.foreign.senate.gov/imo/media/doc/120418_Busby_Testimony.pdf

3 Helena Kennedy Institute (2021), <https://www.shu.ac.uk/helena-kennedy-centre-international-justice/research-and-projects/all-projects/in-broad-daylight>

4 International Energy Agency (2022), <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains/executive-summary>

5 PV Tech Consultants (2022), <https://marketresearch.solarmedia.co.uk/reports/pv-manufacturing-technology-quarterly-report-5/>

3. Milieuwinst door vermeerderd gebruik zonne-energie

Met de perovskiet folies, lichtgewicht panelen en geïntegreerde PV-producten, kan zonne-energie worden opgewekt op oppervlakken waar dit nu niet kan. Bijvoorbeeld op constructies die niet stevig genoeg zijn voor een bestaand paneel – maar wel voor een lichtgewicht – of op oppervlakken die qua vorm (grootte, ronding, etc.) niet geschikt zijn voor standaardpanelen. Deze innovaties maken dus dat zonne-energie op meer plekken kan worden opgewekt dan nu, met huidige panelen het geval is. Tevens zorgt dit voorstel voor hogere rendementen voor PV, en daarmee ook een vermeerderde opwekking en dus gebruik van zonne-energie.

In dit voorstel wordt 26 GW_p/jaar in 2051 aan PV-producten geproduceerd in Europa die op andere oppervlakten kunnen worden gebruikt dan de huidige panelen (basisraming). Zelfs na correctie voor dubbelstellingen en de slagingskansen

van de productie, neemt het aandeel zonne-energie in de energiemix hierdoor significant toe en kan het aandeel van energie uit grijze bronnen dus worden verlaagd. Voor de berekening van de milieuwinst is gekeken naar de vermeden CO₂-uitstoot door het opwekken van zonne-energie over de gehele levensduur van de geïnstalleerde PV-capaciteit. De CO₂-uitstoot die wordt vermeden met de toevoegingen aan de geïnstalleerde PV-capaciteit in 2051 bedraagt 110-130 mt CO₂-eq. Gecorrigeerd voor het nul-alternatief bedraagt dit 70-90 mt CO₂-eq. door het mogelijk maken van gebruik van zonne-energie op andere (nu niet toegankelijke) oppervlakken. Er bestaat echter nog wel een kans dat een deel van de delta tussen de geïnstalleerde capaciteit in de basisraming en nul-alternatief wordt opgevuld met PV uit het buitenland. In dat geval zou de CO₂-besparing door dit voorstel relatief lager zijn.

Kader H8 • Aannames voor kwantificering van de milieuwinst door vermeerderd gebruik zonne-energie – Basisraming en nul-alternatief

Milieuwinst door vermeerderd gebruik van zonne-energie is ingeschat door te kijken naar de hoeveelheid PV-capaciteit die wordt gerealiseerd op plaatsen waar dit nu niet kan en die te vergelijken (in CO₂-uitstoot) met opwekking van energie in de huidige energiemix. Om precies te zijn is gekeken naar de vermeden CO₂-uitstoot door het opwekken van zonne-energie over de gehele levensduur van geïnstalleerde PV-capaciteit. De berekening gaat uit van de volgende elementen en aannames:

1. De cumulatieve Europese productiecapaciteit (zie Kader H6)
2. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor dubbelstellingen (zie Kader H6)
3. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor de slagingskansen (zie Kader H6)

4. De gecorrigeerde productie wordt dan nog vermenigvuldigd met het aandeel dat niet concurreert met conventionele panelen omdat de nieuwe producten op andere oppervlakken worden geplaatst. Dat is 100% van de perovskietfolies en geïntegreerde producten, en 50% van de lichtgewicht panelen.

5. De energie die deze PV capaciteit opwekt op jaarbasis; daarvoor is de Nederlandse situatie aangenomen waar met 1 GW_p circa 875 GWh kan worden opgewekt per jaar.⁶⁾

6. De levensduur van een zonnepaneel bedraagt 25 jaar.⁷⁾

7. De CO₂-besparing die kan worden gerealiseerd met het opwekken van energie met zon-PV in plaats van met fossiele brandstoffen (grijze stroom) bedraagt circa 0,52 kg CO₂-eq. / kWh.⁸⁾

De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in onderstaande tabel.

Vermeden CO₂ uitstoot door het opwekken van zonne-energie over de gehele levensduur van geïnstalleerde PV capaciteit (mt CO₂-eq.)

Basisraming				Nul-alternatief				Basisraming, gecorrigeerd voor nul-alternatief			
2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051
20-25	110-130	110-130	1.900-2.100	0-1	30-40	30-40	600-700	20-25	70-90	70-90	1.300-1.400

4. Milieuwinst door duurzame waardeketen

Bij de productie van zonnepanelen en de grondstoffen daarvoor, en door de rest van de waardeketen en logistieke keten, komt CO₂ vrij. De PV-waardeketen bevindt zich momenteel nog voor een groot deel in China, waar nog veel wordt gewerkt met milieuvriendelijke oplossingen, zoals *dirty-coal*.

Door PV-waardeketens in Europa te realiseren en te gebruiken – van materialen tot machines tot de panelen, kunnen zij een stuk duurzamer worden gemaakt. Bijvoorbeeld door silicium te produceren met hydro-elektriciteit en gebruik van *dirty-coal* te voorkomen.

6 Holland Solar (2015), <https://www.hollandsolar.nl/u/files/holland-solar-rapport-ruimte-voor-zonne-energie-2015web.pdf>

7 Essent (2022), <https://www.essent.nl/kennisbank/zonnepanelen/hoe-werken-zonnepanelen/levensduur-zonnepanelen>

8 CE Delft (2022), <https://www.co2emissiefactoren.nl/wp-content/uploads/2022/01/23-CE-Delft-Ketenemissies-elektriciteit-2022.pdf>

Dit voorstel gaat die duurzame Europese waardeketens realiseren. De productie (inclusief materialentoelevering) van PV in Europa kan met de voorgenomen technologie en waardeketen met 75% minder CO₂-uitstoot dan in China. Met de in dit voorstel voorziene productiecapaciteit (basisraming)

gecorrigeerd voor de slagingskansen en het aandeel hiervan dat anders in China was geplaatst, wordt daarmee een CO₂-uitstoot vermeden van 50-60 mt CO₂-eq. in 2051; gecorrigeerd voor het nul-alternatief is dit 30-40 mt CO₂-eq.

Kader H9 • Aannames voor kwantificering van de milieuwinst door duurzame waardeketens – Basisraming en nul-alternatief

Voor de berekening van de milieuwinst door duurzame waardeketens is gekeken naar de CO₂-besparing die kan worden gerealiseerd door de beoogde productie in dit voorstel te plaatsen in Europa in plaats van in China. De berekening gaat uit van de volgende elementen en aannames:

1. De cumulatieve Europese productiecapaciteit (zie Kader H6)
2. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor dubbeltellingen (zie Kader H6)
3. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor de slagingskansen (zie Kader H6)

4. De gecorrigeerde productie wordt dan nog vermenigvuldigd met het aandeel van China in de wereldwijde productie van PV (zie Kader H7)
5. De CO₂-uitstoot van zon-PV-waardeketen in China bedraagt circa 400 kg CO₂-eq./m² module; equivalent met circa 2 mt CO₂-eq./GW_p (er is er vanuit gegaan dat 5 km² zon-PV nodig is voor het opwekken van 1 GW_p).
6. De CO₂ uitstoot van de zon-PV waardeketen in Europa is 75% lager dan in China.

De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in onderstaande tabel.

CO₂ besparing door zon-PV waardeketen in Europa in plaats van China (mt CO₂-eq. / jaar)

Basisraming				Nul-alternatief				Basisraming, gecorrigeerd voor nul-alternatief			
2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051
9-11	15-20	15-20	300-350	2-3	5-7	5-7	110-130	5-7	9-11	9-11	180-200

5. Milieuwinst door circulair recyclen en minder materiaalgebruik

De nieuwe generatie zonnepanelen in dit voorstel zal worden ontworpen dat ze kunnen worden gemaakt met minder materialen en die aan het einde van de levenscyclus binnen de eigen waardeketens kunnen worden gerecycled. Zo wordt er een belangrijke stap gezet richting een circulair PV ecosysteem.

Qua materiaalgebruik wordt in de HJT-zonnecellen een dunne silicium *wafel* gebruikt, wat een aanzienlijke materialenverlaging betekent. Tegelijkertijd wordt het gebruik van zilver – een schaarse grondstof – vermindert en wordt indium-tin-oxide vervangen door zinkoxide. Zilver en indium zijn niet alleen schaarse grondstoffen, indium is ook nog erg belastend voor het milieu. De totale vermindering in materiaalgebruik die hierdoor wordt gerealiseerd bedraagt circa 5 kt in 2051. Gecorrigeerd voor het nul-alternatief bedraagt de vermindering circa 3 kt in 2051 (zie Kader H10).

In de lichtgewicht panelen van Solarge vindt een grote vermindering van materiaalgebruik plaats t.o.v. huidige alternatieven. Door de vervanging van de glazen back plate met een *back plate* bestaande uit polymeren stijgt weliswaar het gebruik van polymeren met circa 2 kg/m² maar daalt het gebruik van glas significant, met meer dan 7 kg/mv. Daarnaast vermindert het gebruik van aluminium met circa 1 kg/m². De totale vermindering in materiaalgebruik die hierdoor wordt gerealiseerd bedraagt circa 75 kt in 2051. Gecorrigeerd voor het nul-alternatief bedraagt de vermindering circa 50 kt in 2051 (zie Kader H10).

Voor de perovskiet folies en geïntegreerde producten zijn de huidige panelen geen alternatieven. Zij worden op andere oppervlakken gebruikt. Er vindt dus theoretisch geen vermindering plaats van het materiaalgebruik, maar de oplossingen zijn zeer materiaalzuinig vormgegeven. De perovskietlaag in PV-producten is meer dan 1.000x zo dun als een siliciumlaag in een huidig paneel – en integratie is materiaal-efficiënt: zo wordt bijvoorbeeld een geïntegreerd paneel gebruikt als dak van een huis i.p.v. dat een oplossing wordt gezocht met een paneel én een dak (en dus meer materialen).

Kader H10 • Aannames voor kwantificering van de milieuwinst door minder materiaalgebruik – Basisraming en nul-alternatief

Voor de berekening van de milieuwinst door minder materiaalgebruik is gekeken naar de totale gewichtsbesparing van de zon-PV-producten waarvoor momenteel een alternatief bestaat met meer materiaal (Si-HJT-cellen en lichtgewicht panelen). De berekening gaat uit van de volgende elementen en aannames:

1. De cumulatieve Europese productiecapaciteit (zie Kader H6)
2. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor de slagingskans (zie Kader H6)
3. De gecorrigeerde productie wordt dan nog vermenigvuldigd met het aandeel waarvoor er een alternatief is met een hoger materiaalgebruik en waar dus op materiaalgebruik kan worden gespaard; dit is 100% voor Si-HJT-cellen en 50% voor lichtgewicht panelen
4. De materiaalbesparingen zijn als volgt:
 - Si HJT cellen (inschattingen gebruikt van TNO):
 - Vermindering van silicium met 0,466 kt/GW_p door dunner laag (120 i.p.v. 160 um)

- Vermindering van indium met 0,003 kt/GW_p door vervangen indium-tin-oxide (ITO) door zink-oxide
 - Vermindering van zilver met 0,003 kt/GW_p door vermindering gebruik
 - Lichtgewicht panelen (inschattingen gebruikt van Solarge):
 - Vermindering van aluminium gebruik met 0,95 kg/m² equivalent met circa 5 kt/GW_p (er is er vanuit gegaan dat 5 km² zon-PV nodig is voor het opwekken van 1 GW_p)
 - Vermeerdering van polymeer gebruik met 2,05 kg/m² equivalent met circa 10 kt/GW_p (er is er vanuit gegaan dat 5 km² zon-PV nodig is voor het opwekken van 1 GW_p)
 - Vermindering van glas gebruik met 7,10 kg/m² equivalent met circa 35 kt/GW_p (er is er vanuit gegaan dat 5 km² zon-PV nodig is voor het opwekken van 1 GW_p)
- De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in onderstaande tabellen.

Gewichtsbesparing Si HJT-cellen (kt/jaar)

Besparing	Basisraming				Nul-alternatief				Basisraming, gecorrigeerd voor nul-alternatief			
	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051
Minder silicium	~5	~5	~5	~100	~2	~2	~2	~40	~3	~3	~3	~60
Minder indium	~0,03	~0,03	~0,03	~0,60	~0,01	~0,01	~0,01	~0,20	~0,02	~0,02	~0,02	~0,40
Minder zilver	~0,03	~0,03	~0,03	~0,60	~0,01	~0,01	~0,01	~0,20	~0,02	~0,02	~0,02	~0,40
Totaal	~5	~5	~5	~100	~2	~2	~2	~40	~3	~3	~3	~60

Gewichtsbesparing lichtgewicht panelen (kt/jaar)

Besparing	Basisraming				Nul-alternatief				Basisraming, gecorrigeerd voor nul-alternatief			
	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051
Minder aluminium	~5	~10	~10	~200	0	~5	~5	~75	~5	~5	~5	~125
Minder polymeren	(~10)	(~25)	(~25)	(~450)	(~1)	(~10)	(~10)	(~160)	(~10)	(~15)	(~15)	(~300)
Minder glas	~35	~90	~90	~1.600	~3	~30	~30	~550	~30	~60	~60	~1.000
Totaal	~30	~75	~75	~1.400	~3	~25	~25	~465	~25	~50	~50	~900

Recycling van panelen is een nieuwe ontwikkeling, waarop dit voorstel inzet. Het is technologisch en economisch nog uitdagend en onzeker. De ambitie van dit voorstel is om aan het eind van de NGF-periode 30% gerecycled silicium te

gebruiken, daarna toenemend naar 50-100% in 2051. Dit zou betekenen dat volgens de basisraming circa 25 kt gerecycled silicium wordt gebruikt in 2051. Gecorrigeerd voor het nul-alternatief bedraagt deze hoeveelheid circa 15 kt.

Kader H11 • Aannames voor kwantificering van de milieuwinst door circulair recycelen – Basisraming en nul-alternatief

Voor de berekening van de milieuwinst door circulair recycelen is gekeken naar de verwachte hoeveelheid gerecycled silicium in de geraamde productie van de zon-PV-producten in dit voorstel (uitgezonderd van de perovskietfolies die geen silicium bevatten).

De berekening gaat uit van de volgende elementen en aannames:

1. De cumulatieve Europese productiecapaciteit (zie Kader H6)
2. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor dubbelstellingen (zie Kader H6)
3. De verwachte productie wordt gecorrigeerd voor de slagingskans (zie Kader H6)

4. Het gebruik van silicium per zon-PV-product is als volgt:

- Si-HJT-cellen: 1,398 kt (GW_p (inschatting gebruikt van TNO)
- Lichtgewicht panelen, modules en geïntegreerde dak-/gevelelementen: 0,40 kg/m² equivalent met circa 2 kt/ GW_p (er is er vanuit gegaan dat 5 km² zon-PV nodig is voor het opwekken van 1 GW_p)

5. Het aandeel gerecyclede silicium bedraagt 1% in 2022, 30% in 2031 en stijgt naar 50-100% in 2051.

De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in onderstaande tabel.

Gebruik gerecycled silicium (kt/jaar)

Product	Basisraming				Nul-alternatief				Basisraming, gecorrigeerd voor nul-alternatief			
	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051	2031	2041	2051	Cumulatief tot 2051
Si HJT cellen	~4	~5	~7	~110	~2	~2	~3	~50	~2	~3	~4	~60
Lichtg. panelen	~1	~5	~7	~90	0,1	~2	~3	~30	~1	~3	~5	~60
Modules	~0,4	~3	~5	~60	0	~1	~2	~20	~0,4	~2	~3	~40
Dak-/gevel producten	~0,3	~3	~5	~60	0	~1	~2	~20	~0,3	~2	~3	~40
Totaal	~6	~16	~25	~320	~2	~6	~10	~120	~4	~10	~15	~200

Maatschappelijke kosten

Naast bovenstaande maatschappelijke baten, voorzien we enkele maatschappelijke risico's die mogelijk gepaard gaan met dit voorstel, waaronder:

- Het gebruik van zonnepanelen, bijvoorbeeld in zonnevelden langs snelwegen, neemt ruimte in beslag. Nederland is een dichtbevolkt land met schaarse ruimte; en ruimte voor zonnepanelen kan ook anders worden ingezet, bijvoorbeeld voor recreatie of landbouw. Ook kunnen zonnepanelen of zonnevelden invasief zijn op de leefomgeving door negatieve visuele effecten voor omwonenden. Dit voorstel zet tegelijkertijd in op de integratie van PV in andere producten – juist omdat de ruimte in Nederland schaars is en visuele effecten belangrijk zijn. Immers zullen cellen of folies, die bijvoorbeeld geïntegreerd zijn in een auto, vrachtwagendak of dakgevel, weinig additionele ruimte in beslag nemen en in mindere mate leiden tot negatieve visuele effecten.
- De opschaling in het gebruik van zonne-energie in Nederland leidt tot toenemende belasting van het energienet. Zon-PV is nu eenmaal een hernieuwbare bron van energie, een energiebron die variabel is, en zowel pieken als dalen kent in het opwekken van energie. Zonne-energie is echter wel een bron die nodig is om de energietransitie succesvol te

maken en het Nederlandse energienet zal dus mee moeten groeien en ontwikkelen met het toenemende gebruik.

- Dit voorstel zorgt ervoor dat er meer zon-PV-producten in Nederland beschikbaar komen, maar er is er wel een kans dat deze producten ongelijk worden verdeeld (rijkere mensen kunnen immers vaak eerder de benodigde investering maken dan armere mensen en hebben gemiddeld grotere dakoppervlakken en daarmee eerder en hoger financieel rendement), wat kan bijdragen aan ongelijke verdeling in de maatschappij. Dit voorstel zorgt er echter ook voor dat prijzen van Nederlandse zon-PV-producten juist zullen gaan dalen naarmate de productie verder wordt geautomatiseerd en opgeschaald. Daar komt bij dat de geïntegreerde zon-PV-producten (bijvoorbeeld zon-PV dakelementen) ervoor zorgen dat zon-PV beter toepasbaar wordt op kleinere oppervlaktes waar het eerst beperkt kon (bijvoorbeeld op daken van kleine huizen). Dit zorgt ervoor dat zon-PV-producten toegankelijker worden voor een diversere groep mensen.
- Met de productie van zon-PV-producten gaat een aanzienlijke CO₂ uitstoot gepaard; een noodzakelijk kwaad aangezien de zon-PV in gebruik veel meer uitstootbesparing oplevert dan het in de productie uitstoot en dus over de gehele

levenscyclus een zeer duurzame optie is. De productie van zon-PV-producten in Europa is weliswaar veel duurzamer dan de productie in China, echter is er wel een lokale CO₂ uitstoot verbonden aan de productie die nog niet kan worden vermeden. Netto levert de verplaatsing van de productie echter een enorme CO₂ besparing op, niet alleen door de duurzamere productie, maar in de toekomst ook doordat er wordt ingezet op de ontwikkeling naar circulaire productie in Nederland/Europa.

Generatietoets

De verwachte maatschappelijke effecten van het voorstel zijn geduid middels een generatietoets. Voor alle generaties draagt dit voorstel bij aan een verbetering van klimaat & duurzaamheid door de duurzame productie en het gebruik van innovatieve zon-PV-producten, waardoor zon-PV toeneemt in de energie-mix, minder materiaal wordt gebruikt en meer grondstoffen worden gerecycled. De fabrieken die in Nederland worden gebouwd zorgen tevens voor een directe werkgelegenheid van circa 200 banen per GWp geïnstalleerde productiecapaciteit en hebben dus een positief effect op de generaties die actief zijn op de arbeidsmarkt. Ten slotte wordt zon-PV en de daarmee verbonden financiële voordelen door de nieuwe innovaties, die met dit voorstel worden ontwikkeld, toegankelijker voor een breder deel van de bevolking en resulteren dus in inkomenswinst (rendement) voor de generaties die huizen bezitten en kunnen investeren in zon-PV.

Tabel H2 • Matrix voor Generatietoets

Vul de verwachte effecten over 10 tot 20 jaar in de matrix in	Leeftijdscategorieën < 24 jaar	Leeftijdscategorieën 24-67 jaar	Leeftijdscategorieën >67 jaar
1. Inkomen	+/-	+	+
2. Onderwijs	+/-	+/-	+/-
3. Klimaat & Duurzaamheid	+	+	+
Indien relevant voor het voorstel			
4. Arbeidsmarkt	+	+	+/-
5. Woningmarkt	+/-	+/-	+/-
6. Gezondheidszorg	+/-	+/-	+/-
7. Democratie & Participatie	+/-	+/-	+/-

- + Positief effect voor de betreffende generatiecategorie
- +/- Geen effect voor de betreffende generatiecategorie
- Negatief effect voor de betreffende generatiecategorie



Circulariteit

In dit voorstel ontwikkelen we een nieuwe generatie zonnestroomproducten en de productietechnologie om deze producten op grote schaal tegen lage kosten in Nederland te produceren. Circulair gebruik van materialen is daarbij een sleutelbegrip. We hanteren de bekende R-ladder voor circulariteitsstrategieën van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), met daarin zes strategieën voor circulariteit, gerangschikt naar grondstofzuinigheid:¹

R1. Refuse and rethink

afwijzen en heroverwegen

R2. Reduce

verminderen

R3. Re-use

hergebruiken

R4. Repair, refurbish, remanufacture and repurpose

repareren, opknappen, reviseren en hergebruiken

R5. Recycle

R6. Recover

terugwinnen



Verspreid over het Groeifondsvoorstel wordt het circulariteitsaspect beschreven. In de Planuitwerking in de hoofdttekst (**Sectie 3.1.1, p. 33**) staan specifieke strategieën voor circulair materiaalgebruik en het gebruik van kritische materialen, alsmede voor het verlagen van de CO₂-voetdruk in fabricage van Zon-PV-producten en het omgaan met en voorkomen van het gebruik van giftige stoffen. De tabel op pagina 34 geeft specifieke doelen die hiervoor binnen de Programmalijnen zijn gesteld. In Appendices L, M en N wordt voor ieder van de Programmalijnen beschreven welke strategieën voor circulair materiaalgebruik worden gevolgd. Ook het SolarLab-programma voor funderend onderzoek (Appendix O) richt zich ook op circulariteitsaspecten, inclusief een Life Cycle Analysis (LCA) studie. Daarnaast geeft de analyse van Roland Berger (Hoofdstuk 5 in de hoofdttekst) een gedetailleerde beschrijving van de milieuwinst als gevolg van het gebruik van duurzame waardeketens, circulair recyclen en vermindering van materiaalgebruik. Zie voor het onderwerp recycling

van Zon-PV-producten ook het recente TNO-rapport.² Het flankerend overheidsbeleid op het gebied van circulariteit is beschreven in Sectie 2.7 van de hoofdttekst.

Naast de circulariteitsaspecten voor de Zon-PV-materialen, -cellen, -folies en -panelen, alsmede voor geïntegreerde Zon-PV-producten, zijn de circulariteitsaspecten van de gehele Zon-PV-systemen van groot belang. Dit betreft onder meer de omvormers, aansturing, constructie en bekabeling, die deels “e-waste” vormen met hun eigen recycling-aspecten. Ook het onderhoud tijdens de levensduur en de verwerking aan het einde van de levensduur zijn onderdeel van een integrale visie op circulariteit. In de innovatieactiviteiten van de deelnemende partijen spelen al deze factoren een belangrijke rol.

Met dit brede scala aan circulariteitsactiviteiten bij de deelnemende partijen is het belangrijk om goede coördinatie te borgen. Om dat te bereiken stellen we een Stuurgroep Circulariteit in. Deze stuurgroep bestaat uit vertegenwoordigers van partners in het voorstel, aangevuld met externe experts, en wordt voorgezeten door Dipl. Ing. Martin Späth (TNO).

De stuurgroep komt vier keer per jaar bijeen en heeft de volgende doelen:

- Het coördineren van de circulariteitsstrategieën van de verschillende partners binnen de drie Programmalijnen.
- Het stimuleren van het delen van kennis op circulariteitsgebied binnen de drie Programmalijnen.
- Het ontwikkelen van een geïntegreerde visie op circulariteit voor complete Zon-PV-systemen, analyse van de herkomst van materialen, nieuwe methodes om de gebruiksfase te verlengen.
- Het meetbaar maken van circulariteit van de producten en verbeteringen hierin door Life Cycle Analyses (LCA's).
- Het ontwikkelen van circulaire businessmodellen.
- Het organiseren van een ecosysteem voor de ontwikkeling en aanschaf van circulaire grondstoffen.
- Het aansluiting zoeken bij andere (Groeifonds)programma's rond kritische materialen.
- Het borgen van de aansluiting bij Europese en Nederlandse beleidsontwikkelingen op het gebied van circulariteit, zowel reactief als agenderend.

1. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/r-ladder>

2. M. Späth, S. Wieclawska, P. Sommeling, F. Lenzmann, Balancing costs and revenues for recycling end-of-life PV panels in the Netherlands' (TNO, Stichting OPEN); <https://circulairekennis.nl/onderzoek/kosten-en-opbrengsten-bij-recycling-van-zonnepanelen/>



Open calls RVO en NWO

Open call RVO 2024

Ontwikkeling van innovatieve geïntegreerde PV-producten

Bij honorering van het voorstel zal in 2024/2025 door RVO een open call worden uitgeschreven. Doel van deze call is om ook andere bedrijven, eventueel in samenwerking met kennisinstellingen (waarbij bedrijven het merendeel van de kosten maken), in de gelegenheid te stellen onderdeel te worden van het Groeifondsprogramma en vanuit hun specifieke expertise een bijdrage te leveren. De call zal zich richten op integratie en toepassing van hoog-rendements zon-PV oplossingen in onder meer de gebouwde omgeving (BIPV), automotive sector (VIPV) en overige toepassingen met substantie. Projecten worden bij voorkeur uitgevoerd in samenwerking met de vraagzijde van de markt (vraaggericht ontwikkelen). De precieze invulling van de call (zoals type activiteiten en voorwaarden) en daarmee de afweging of een bestaande regeling zoals de DEI+ of MOOI of een nieuwe regeling hiervoor opengesteld moet worden, zal gedaan worden na toekenning van het voorstel.

Context open call RVO

Naast de grote markt voor standaard rigide zonnepanelen ontstaat er de komende jaren een grote vraag naar producten voor geïntegreerde, flexibele, en lichtgewicht PV toepassingen. Deze producten zijn essentieel om het toepassingspotentieel van PV in Nederland, met onze beperkte ruimte, uit te breiden tot de vereiste opwekkingscapaciteit van tientallen

Op maat gemaakte gekleurde zonnepanelen van Exasun.

Het innovatieprogramma richt zich op het verbeteren van het fabricageproces met volledig circulaire technieken.



en mogelijk honderden GW_p/jaar. De laatste jaren is de bedrijvigheid in Nederland rond deze markt van geïntegreerde PV sterk toegenomen. Integreerbare, esthetisch aantrekkelijke producten zijn echter door de vaak beperkte productieschaal, gebruik van speciale materialen en ophangsystemen kostbaarder dan de standaard zonnepanelen, wat een remmend effect heeft op groei van deze markt. Grootste uitdaging vormt op dit moment, voor zowel BIPV als VIPV toepassingen, de opschaling van geïntegreerde PV om tot kostenreductie te komen. Voor deze opschaling is innovatie nodig, bijvoorbeeld middels optimalisering van het productieproces (gebruik halffabrikaten in plaats van individuele cellen, PV-integratie in prefab bouwproducten). Daarnaast liggen er echter ook nog diverse innovatieuitdagingen op het gebied van materialen, productieprocessen, recyclebaarheid, systeemelektronica, bevestiging en verbeterde esthetiek.

Onderzoeksthema's

Procesinnovatie en productie-innovatie ten behoeve van opschaling en kostenreductie:

- Gebruik van halffabrikaten
- Industry 5.0 methodes
- Flexibilisering van de productiestappen
- Verdere integratie in (prefab) bouwproducten

Gebruik van nieuwe innovatieve materialen voor:

- Verbeterde recyclebaarheid
- Lichtgewicht
- Verlengde levensduur
- Verhoogde esthetische waarde

Oplossingen voor verbetering en flexibilisering van het elektrische systeem:

- Speciale omvormers
- Slimme oplossingen voor elektrische aansluiting en verbinding tussen de individuele panelen
- Intrinsiek veilige oplossingen
- Nieuwe oplossingen voor ophangsystemen voor daken en gevels

Governance

De call wordt uitgeschreven onder verantwoordelijkheid van het Programmabestuur, dat de inhoud van de calltekst bepaalt. Uitvoering van de call vindt plaats door RVO dat verzorgt: aankondiging call, indieningsprocedure, beoordeling door onafhankelijke experts, besluitvorming, toewijzing middelen, communicatie met indieners.

Open call NWO 2026

Funderend onderzoek Groeifondsvoorstel Circulaire geïntegreerde hoogrendements zonnepanelen

Bij honorering van het voorstel zal in 2026 door NWO een open call worden uitgeschreven. Doel van deze call is om nieuwe onderzoeksactiviteiten van kennisinstellingen te financieren die de innovatieprogramma's in de Programmaliijnen 1, 2 en 3 verder kunnen versterken. In de loop van de uitvoering van het programma kunnen nieuwe uitdagingen ontstaan in de ontwikkeling van HJT cellen, perovskietfolies, en geïntegreerde Zon-PV producten. In de loop van 2025 zal in overleg met de Programmaliijnleiders worden bepaald op welke specifieke onderwerpen aanvullend onderzoek vereist is. Op deze thema's wordt vervolgens een open call uitgeschreven door NWO. Binnen deze call kunnen middelen worden aangevraagd voor promovendi, postdocs, materiaalbudget (incl. reiskosten, publicatiekosten) en cleanroomkosten, volgens de bij NWO geldende richtlijnen.

Governance

De call wordt uitgeschreven onder verantwoordelijkheid van het Programmabestuur, dat de inhoud van de calltekst bepaalt. Uitvoering van de call vindt plaats door NWO dat verzorgt: aankondiging call, indieningsprocedure, beoordeling door onafhankelijke experts, besluitvorming, toewijzing middelen, communicatie met indieners.