



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

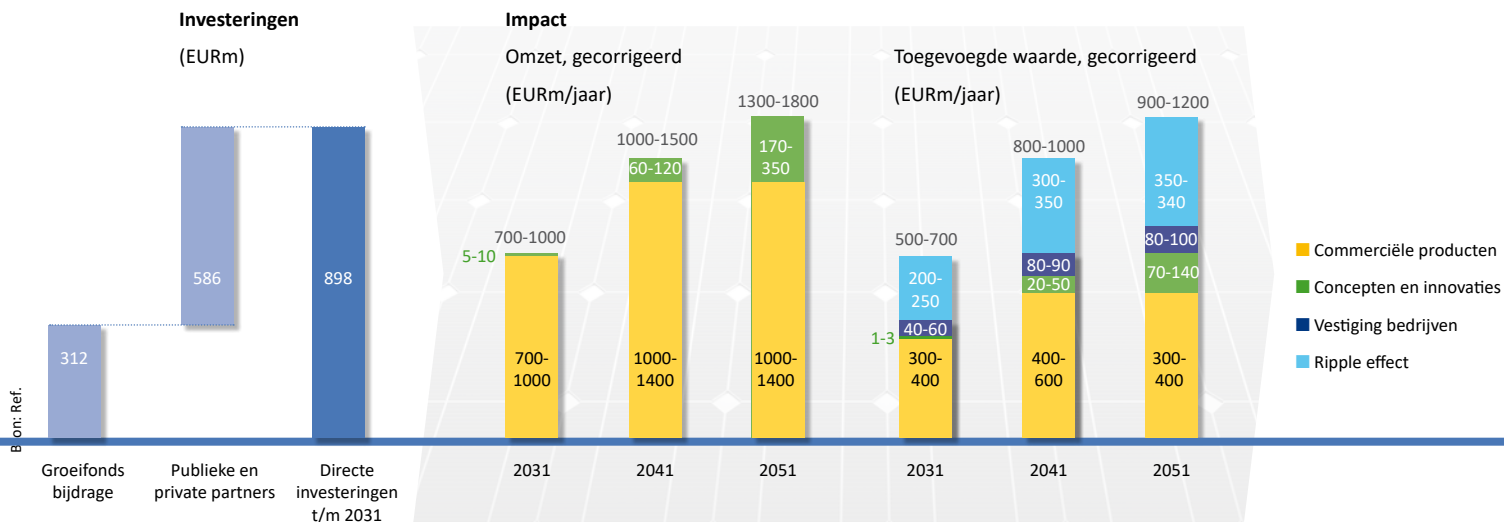
Europa gaan de fabrieken bedienen. Samen blijven zij doorinnoveren om de zonnecellen en hun productie nog beter te maken. Met toepassingsbedrijven ontwikkelen zij nieuwe, geïntegreerde Zon-PV-producten. Dit NGF-voorstel levert innovatieve producten en machines (en concepten daarvoor) die een stevig basisportfolio 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-



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**



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 geïnoveerd 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 recyclen 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

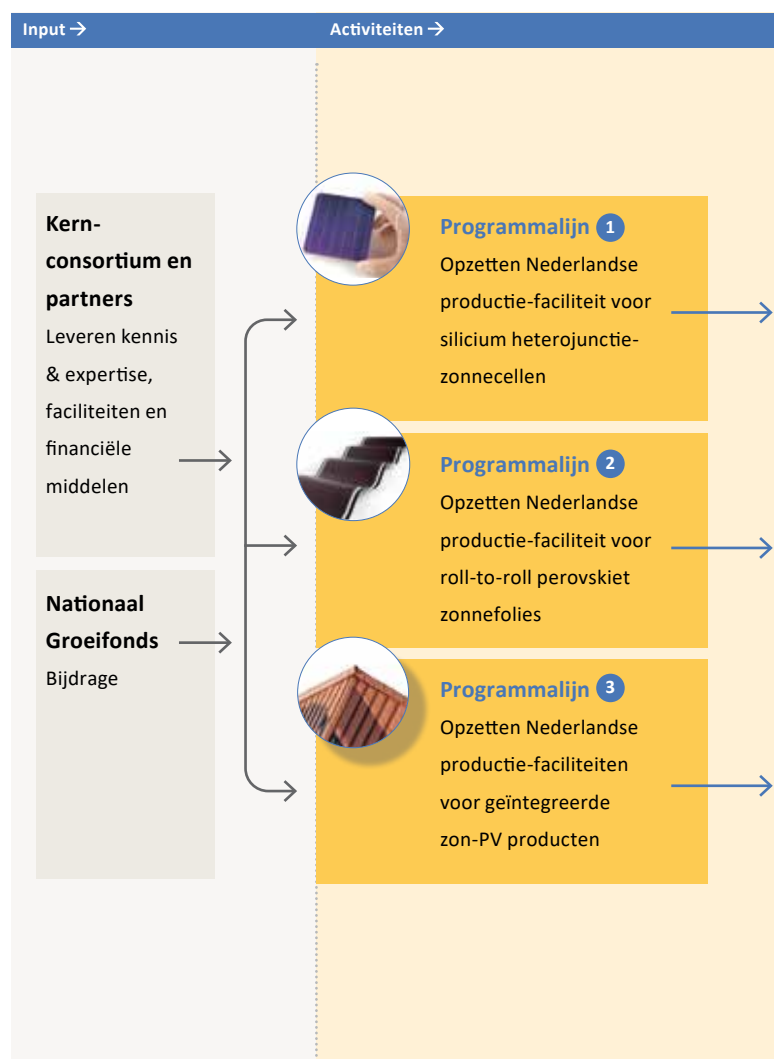
In deel 2 van Figuur H2 worden de *outcomes* en impact beschreven die door de *outputs* ontstaan. In de loop van de groeifondsperiode zal de Si-HJT-zonnecellenproductie door MCPV verder worden opgeschaald naar 18 GW_p/jaar in Europa, met een verwacht zwaartepunt in Nederland, en het anker en de aanjager 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,”

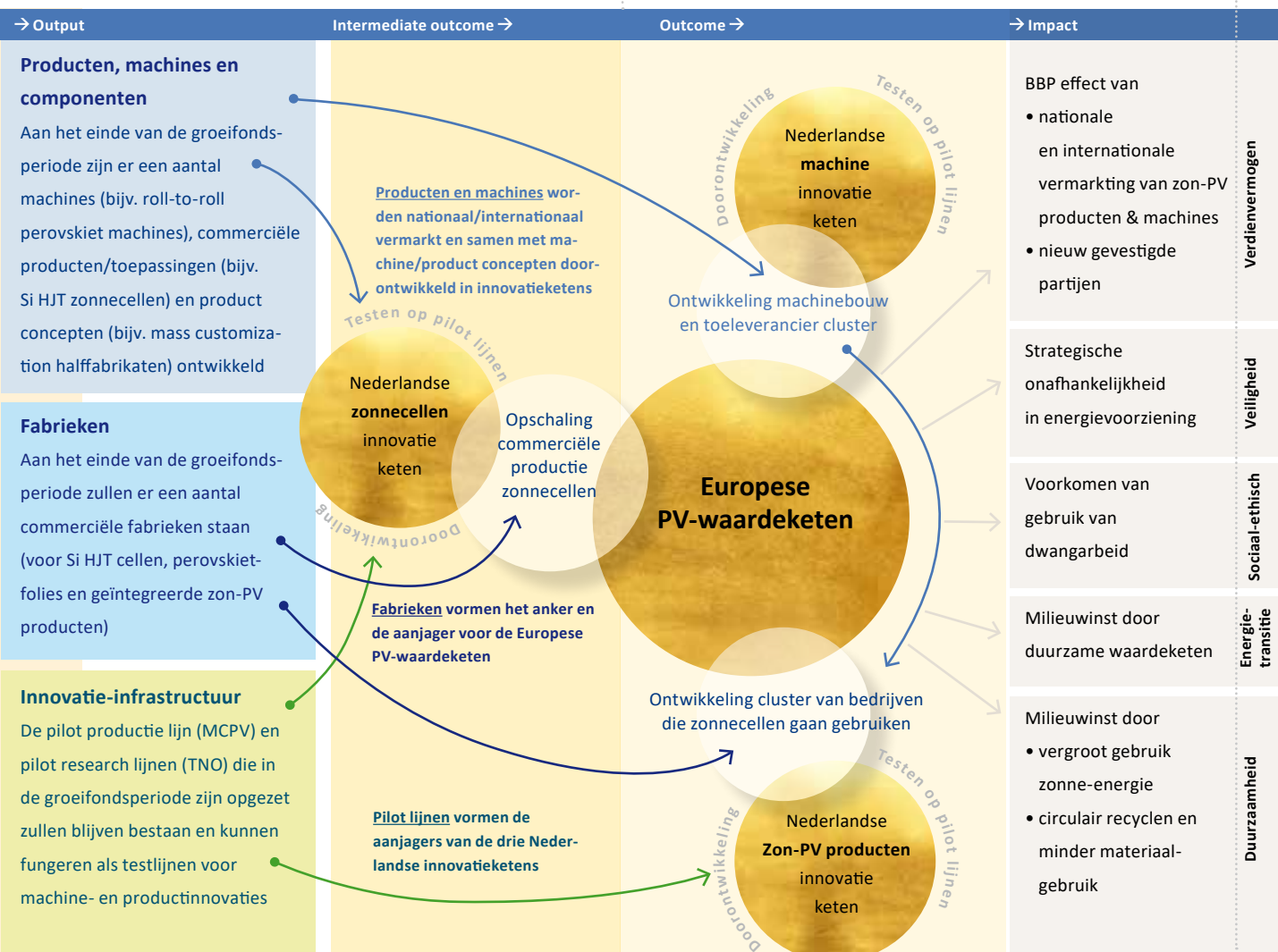
Kadri Simson - Commissioner for Energy

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.

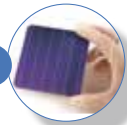
De ontwikkeling van een duurzame Europese waardeketen voor HJT-PV zorgt zowel voor een sterke vermindering in de afhankelijkheid van Azië als het gaat om zonnecellen (minder import) als milieuwinst omdat silicium in Europa op een duurzamere wijze zal worden geproduceerd, PV-fabricage in Europa minder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

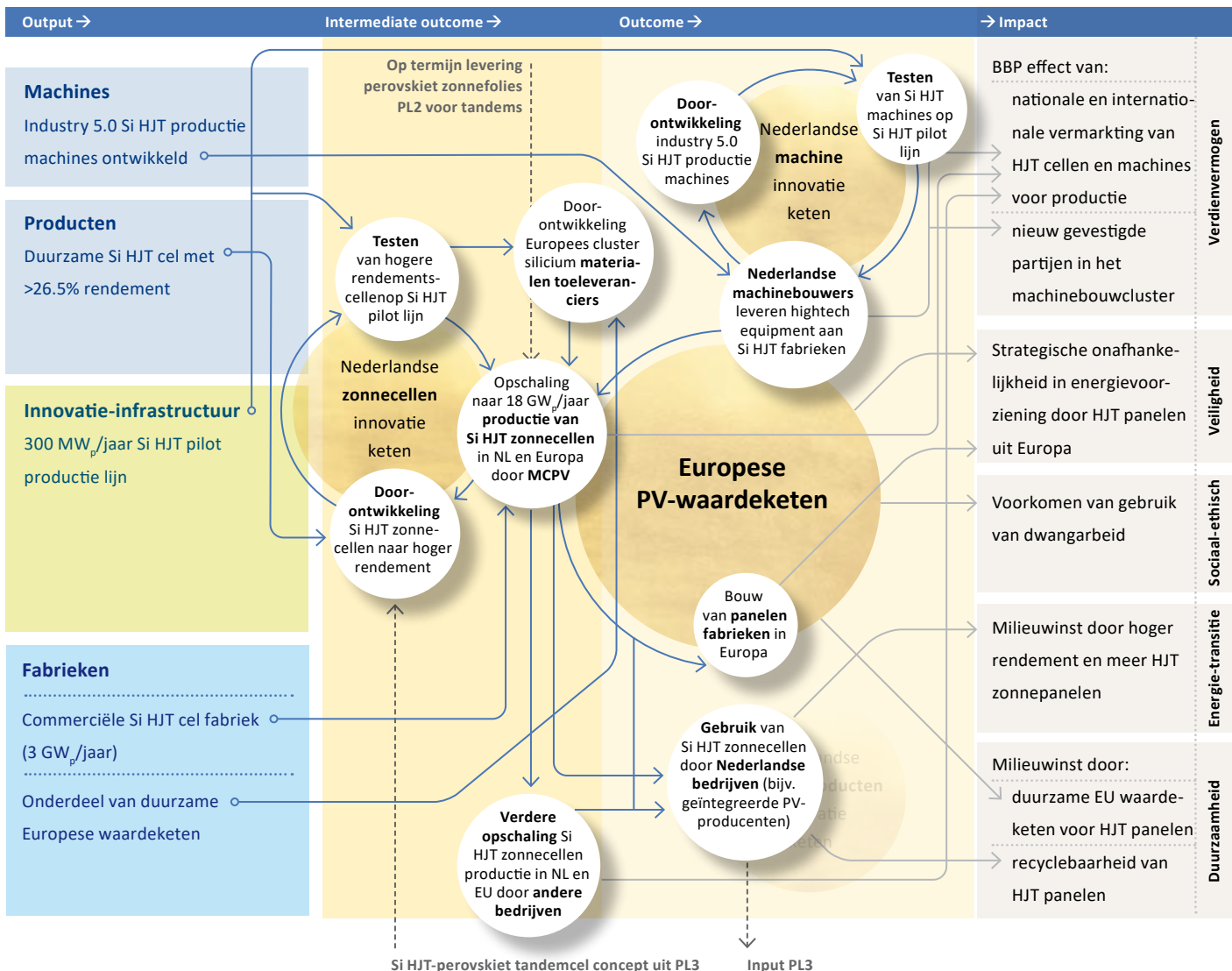
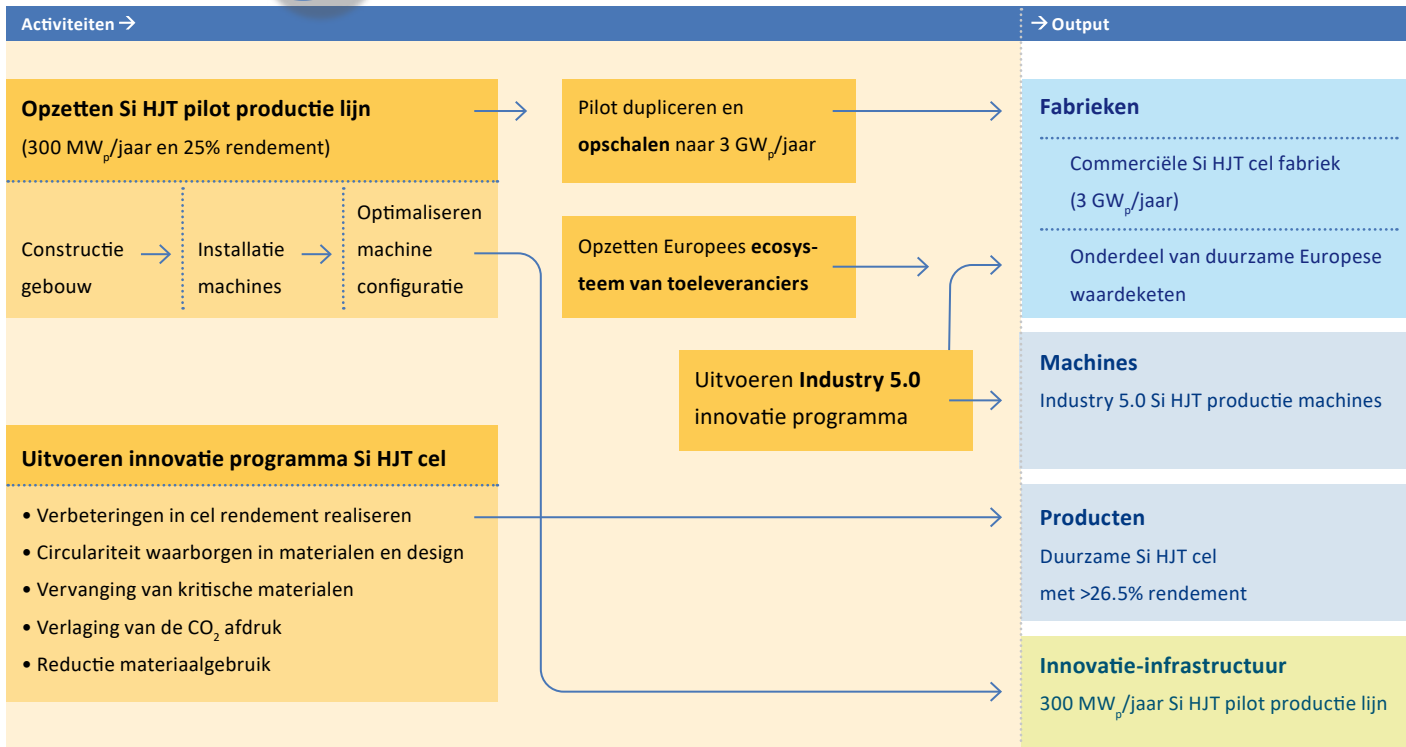
Externe invloeden: Ontwikkeling van internationale concurrentie, onvoldoende ontwikkeling van de Europese PV waardeketen, achterop rakend investeringsklimaat voor tech spin-outs in Nederland en Europa



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

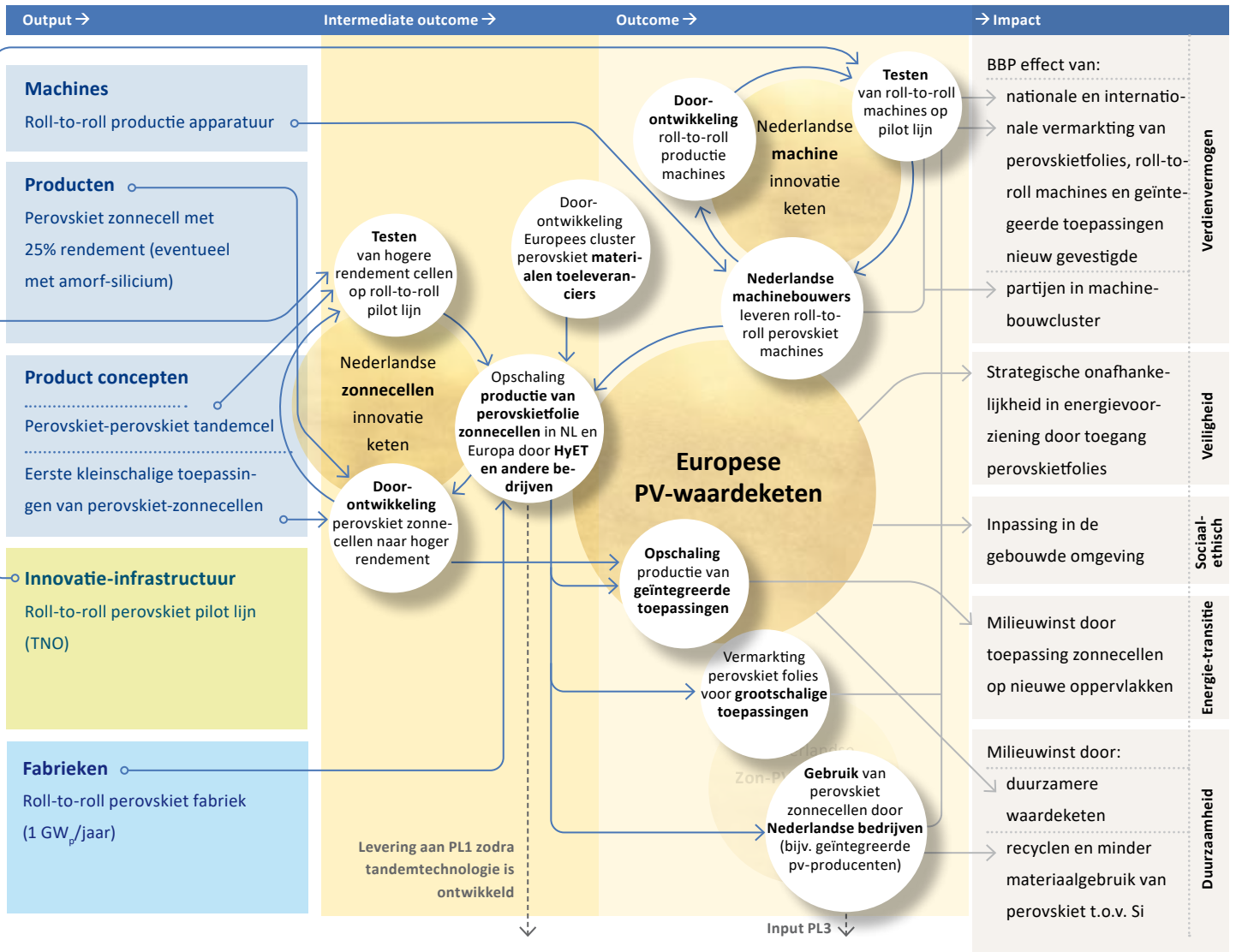
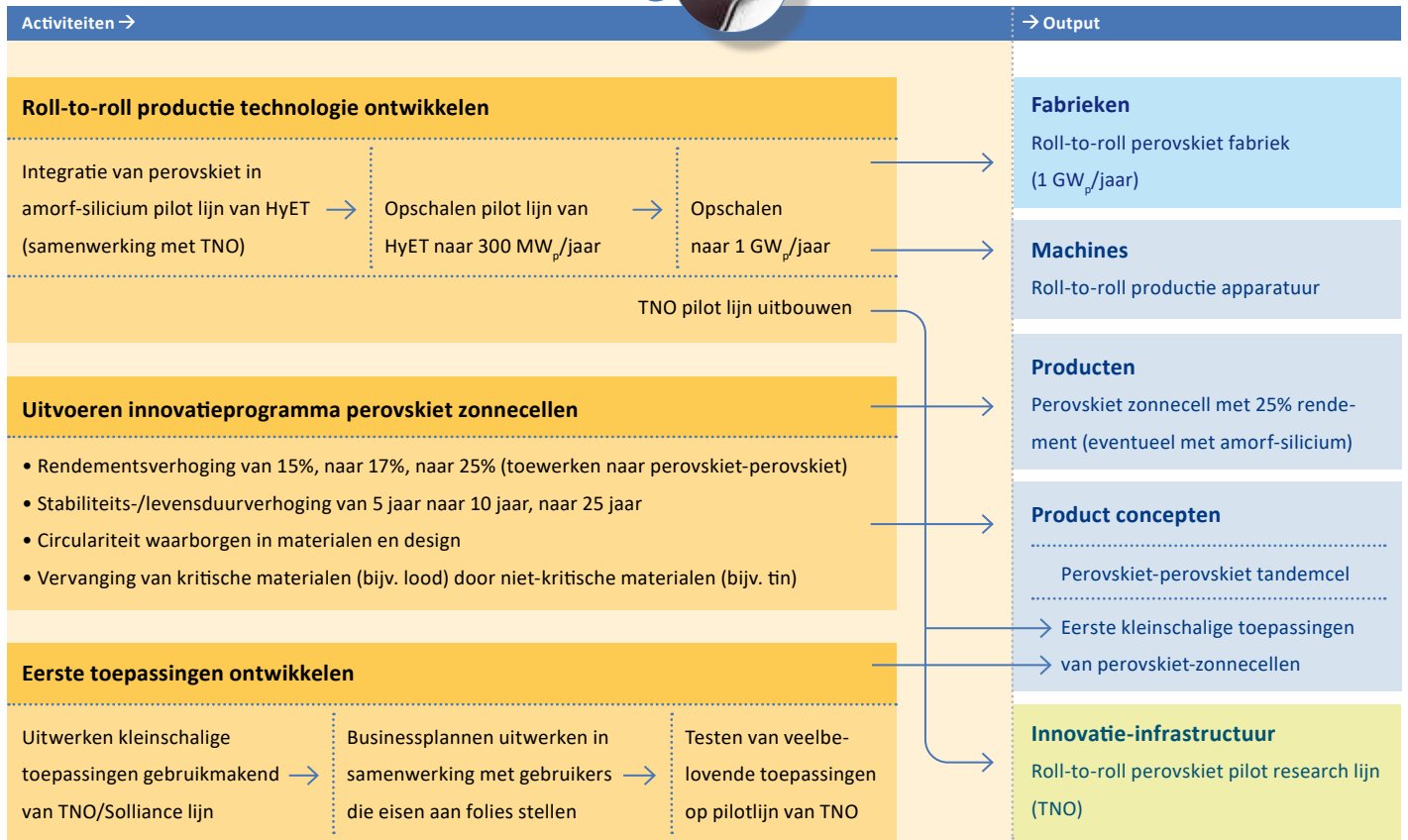
In deel 2 van Figuur H3 worden de *outcomes* en impact beschreven die door de *outputs* ontstaan. Na afloop van de groeifondsperiode zal de perovskiet-folie-productie verder worden opgeschaald door HyET en andere bedrijven (met zwaartepunt in Nederland) en samen met de Si-HJT-zonnecelfabrieken het anker 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).

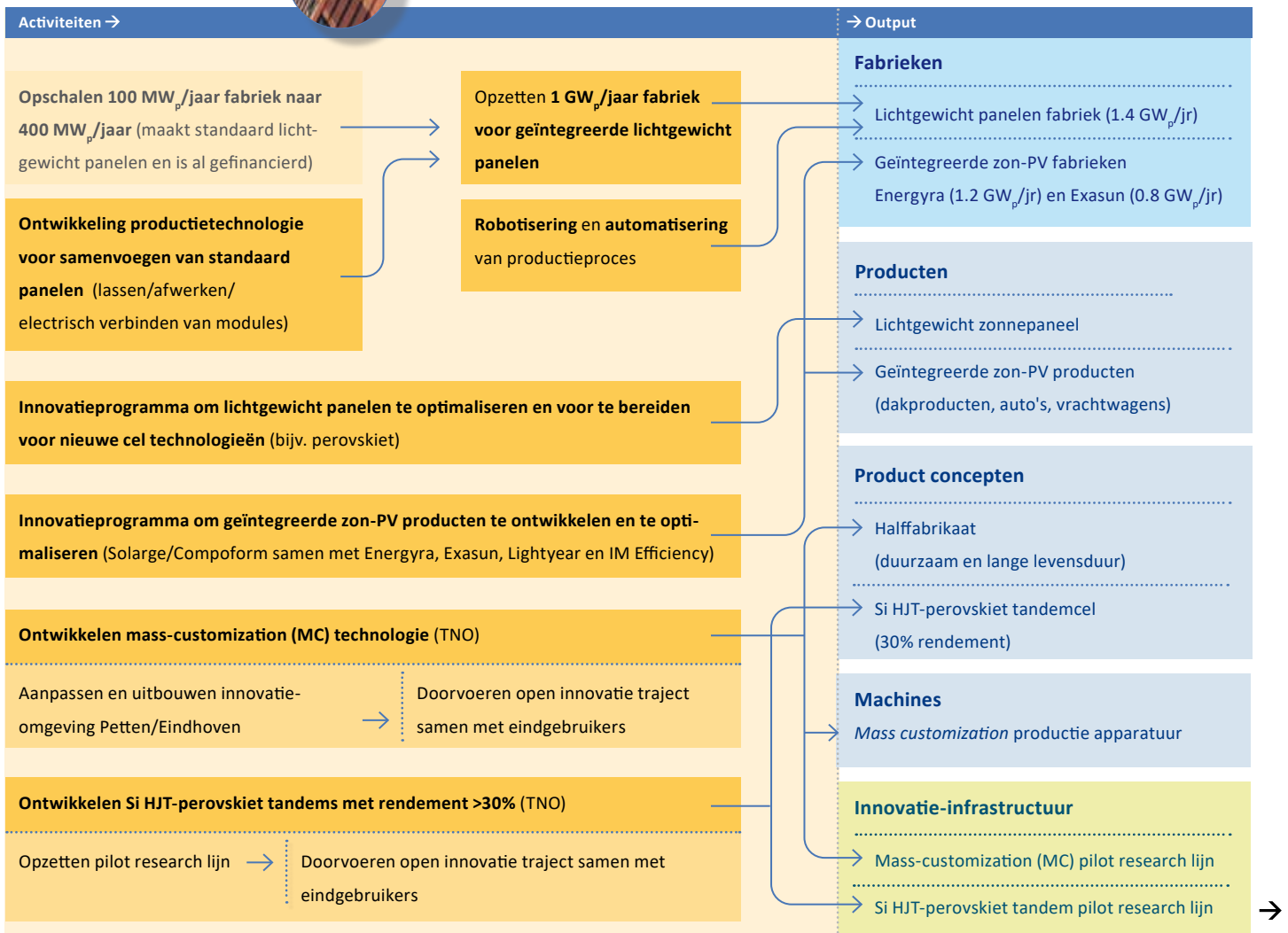
Output-outcomes-impact

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



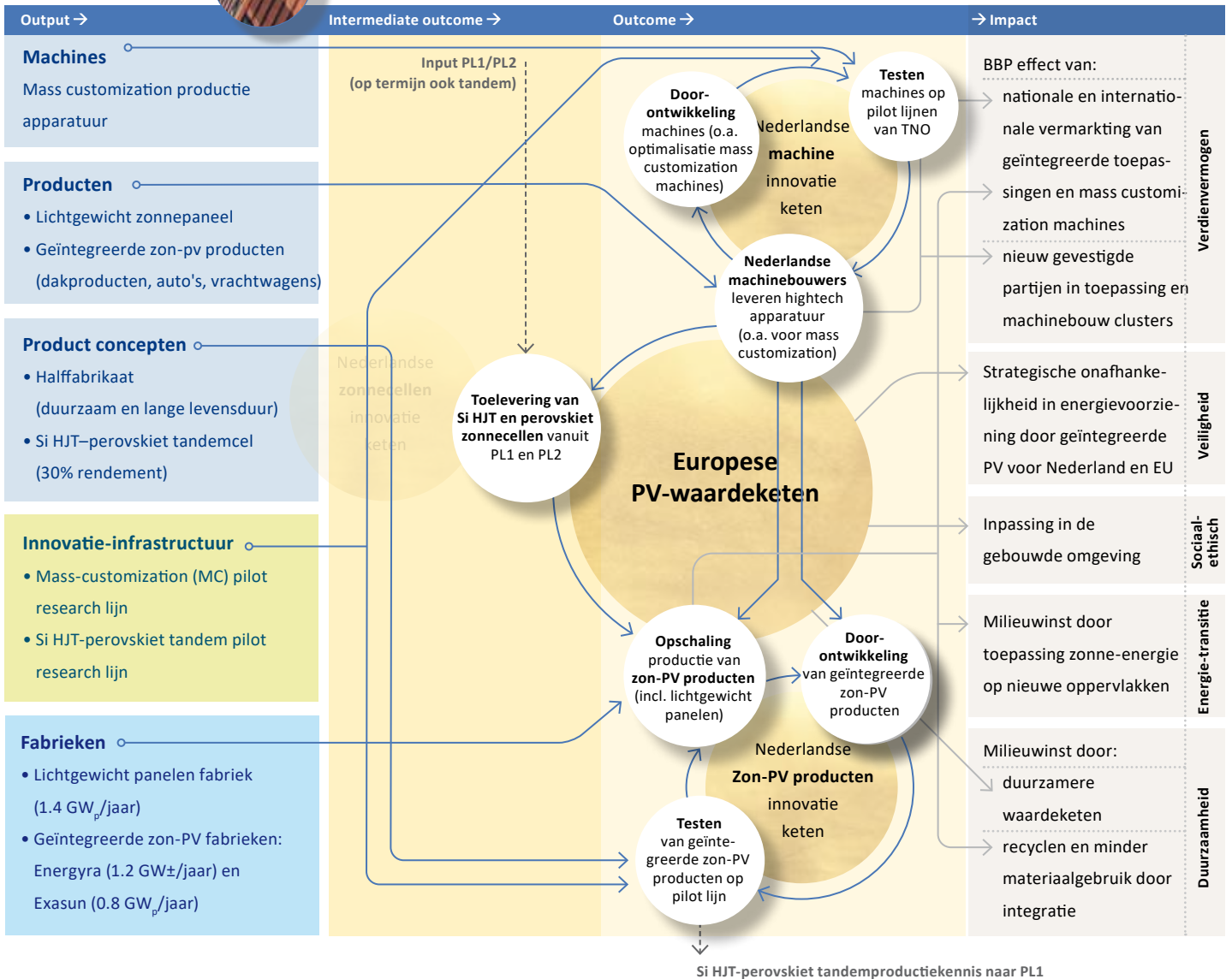
Figuur H4 • *Theory of Change*



→ 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:

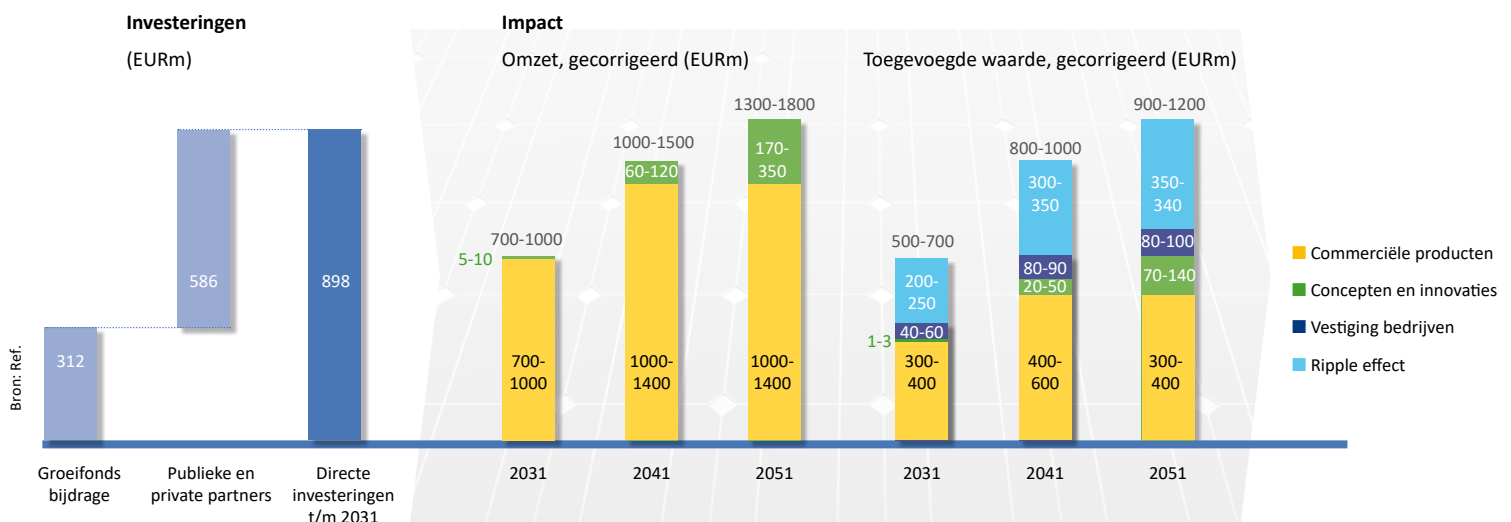
- 1. De vermarkting in Nederland van commerciële producten** vanuit de fabrieken die in dit NGF-voorstel worden gerealiseerd voor vijf PV-producten (Si-HJT-cellen, perovskietfolies, lichtgewicht panelen, modules en zon-PV dak-/bouwelementen)
- 2. De doorontwikkeling en vermarkting van concepten & innovaties** 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 vermarkting 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*

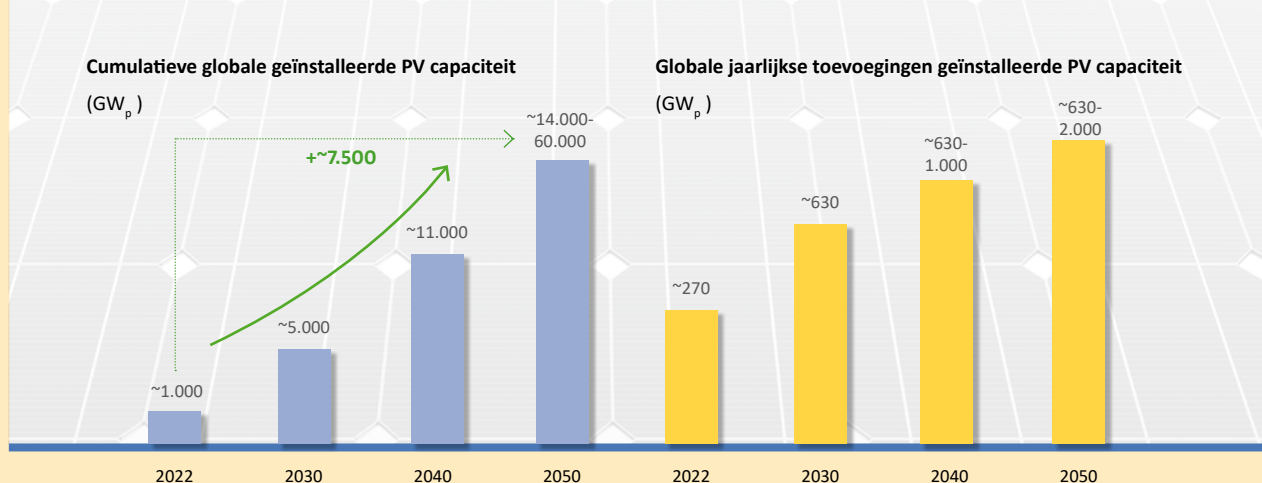
De 1) vermarkting van commerciële producten, 2) vermarkting van concepten & innovaties en 3) vestiging van internationale bedrijven leiden tot een totaal effect van 550-850 miljoen euro toegevoegde waarde voor de sector per jaar in 2051 in het basisscenario (gecorrigeerd voor het nul-alternatief). Dit 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 dubbelellingen (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 Kennedy 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 zo 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 *wafer* 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

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