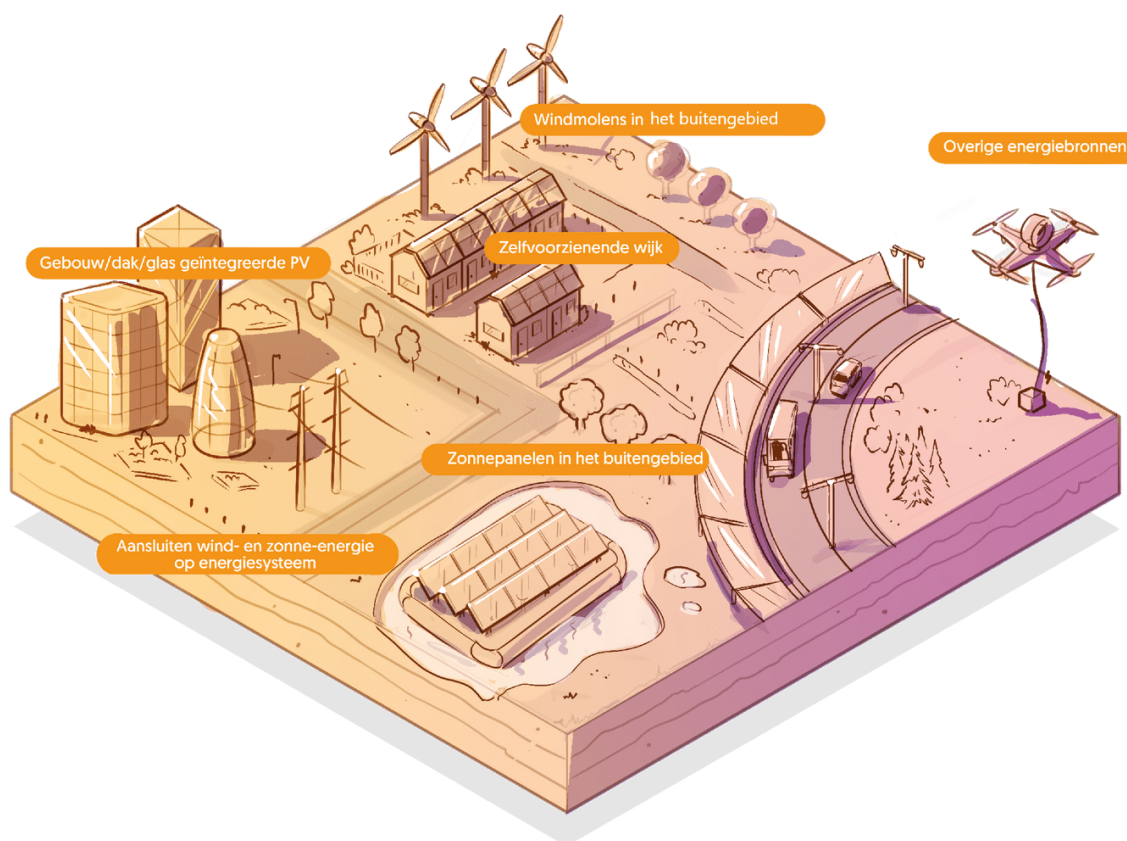


Meerjarig Missiegedreven Innovatie Programma Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving



MMIP2

Versie mei 2021



Inhoudsopgave

Inhoud

Samenvatting	3
Leeswijzer update 2021	5
1. Inleiding	7
1.1 Totstandkoming MMIP	7
1.2 Doel en positionering van het MMIP	8
1.3 Stand van zaken 2021	9
1.4 Korte beschrijving deelprogramma's	11
1.5 Samenhang met andere MMIP's en kennisagenda's	12
1.6 Inhoudelijk kader en uitgangspunten	14
2 Beschrijving van de deelprogramma's	18
2.1 DP 1 Innovaties en breed toepasbare technologische enablers	18
2.2 DP 2a. Zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving	24
2.3 DP 2b. Zonnestroomsystemen in het buitengebied	31
2.4 DP 2c. Windparken in het buitengebied	44
2.5 DP 2d. Overige opties hernieuwbare elektriciteitsopwekking	50
3 Doorsnijdende thema's	51
3.1 Inpassing in het energiesysteem	51
3.2 Energielandschappen	54
3.3 Digitalisering	55
3.4 Kwaliteit en veiligheid	55
3.5 Human Capital	56
3.6 Maatschappelijk verantwoord innoveren	59
3.7 Circulariteit en duurzaamheid	59
4 Opzet van het innovatieprogramma	62
4.1 Meerjarige missiegedreven aanpak	62
4.2 Instrumenten en Financiering	63
4.3 Monitoring en evaluatie	66
4.4 Valorisatie, marktcreatie en wettelijke kaders	67
4.5 Standaardisatie, normering, en certificering	70
4.6 Communicatie en kennisdisseminatie	71
5 Colofon	72



Samenvatting

Elektriciteit speelt een centrale rol in de duurzame energievoorziening van de toekomst. Het wordt wel de nieuwe ‘primaire brandstof’ genoemd. Een van de doelstellingen van het Klimaatakkoord voor opwekking uit hernieuwbare bronnen op land en in de gebouwde omgeving bedraagt minimaal 42 TWh/jr in 2030. Dit betreft minimaal 35 TWh/jr aan duurzame stroom uit grootschalige opwekinstallaties (>15 kWp) op land en minimaal 7 TWh/jr aan duurzame stroom uit kleinschalige opwekinstallaties (<15kWp) in de gebouwde omgeving. Deze ambitie komt overeen met 35% van het totale huidige jaarlijkse elektriciteitsverbruik en impliceert bijna een verviervoudiging van de opwekking met windturbines en zonnestroominstallaties. Voor de periode tot 2050 en daarna wordt een sterke verdere groei voorzien. Dit MMIP 2 ‘Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving’ beschrijft samen met het MMIP 1 ‘Hernieuwbare elektriciteitsopwekking op zee’ de innovatie-uitdagingen voor het realiseren van de missie ‘Een volledig CO₂-vrij elektriciteitssysteem in 2050’.

Hoewel het plaatsingspotentieel voor wind- en zonne-energie op land en in de gebouwde omgeving zelfs de als zeer ambitieus gepercipieerde doelen ruimschoots overtreft, hangt de realisatie hiervan af van innovaties op het gebied van technologie, markt, beleid en andere terreinen. Dit MMIP beschrijft de innovaties in zes onderling samenhangende deelprogramma’s. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen technologische *enablers*, innovaties voor specifieke toepassingsgebieden, en doorsnijdende thema’s:

Enablers en breed toepasbare innovaties op het gebied van technologie			
1a Zonne-energie - 1b Windenergie			
2a. Zonnestroom-systemen in de gebouwde omgeving	2b. Zonnestroom-systemen in het buitengebied	2c. Windparken in het buitengebied	2d. Overige opties voor opwekking op land en in de gebouwde omgeving
Doorsnijdende Thema’s:			
Energetische inpassing – Circulariteit - Digitalisering – Veiligheid - Human Capital - MVI			

Enkele kernboodschappen uit deze deelprogramma’s:

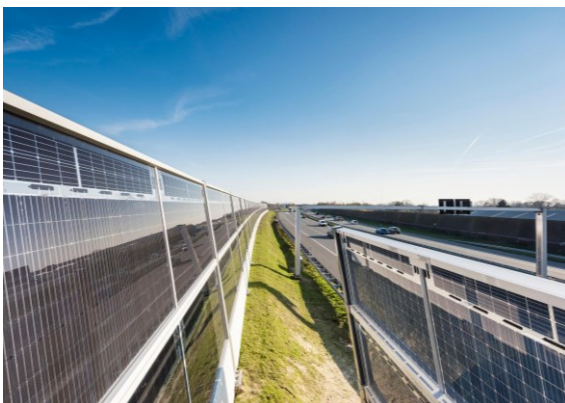
- 1 De benodigde technologieën voor hernieuwbare opwekking van elektriciteit met behulp van wind en zon op land zijn beschikbaar om grootschalig te worden uitgerold, maar ze zijn nog lang niet aan het einde van hun ontwikkeling, wat betreft kosten, opbrengsten en toepassingsmogelijkheden. Het is een gezamenlijke verantwoordelijkheid van wind- en zonnestroomproducenten en netwerkbeheerders om de gewenste grootschalige implementatie van dergelijke hernieuwbare opweksystemen te faciliteren.



- 2a Functionele- en esthetische- integratie van zonnestroomsystemen zijn cruciaal voor grootschalige toepassing in de gebouwde omgeving.
- 2b Ruimtelijke- en ecologische- kwaliteit zijn belangrijke (randvoor)waarden bij de toepassing van zonnestroomsystemen in het buitengebied (land, infra en water).
- 2c Innovaties in technologie en toepassing zijn belangrijk om de uitrol van wind op land verder uit te rollen met behoud van maatschappelijk enthousiasme.
- 2d In dit programma is ook ruimte voor de ontwikkeling van nieuwe bronnen voor duurzame elektriciteitsopwekking (naast zon en wind), op land.

Belangrijke overkoepelende uitdagingen en doelen:

- Energetische inpassing van hernieuwbare opwek: Hoe kan de variabele opwek van elektriciteit uit zon en wind, tegen zo laag mogelijke maatschappelijke uitgaven, het beste worden geïntegreerd in het (toekomstige) energiesysteem? Hoe kan, bij hoge fracties van zon en wind in de opwekmix, de economische waarde van deze elektriciteit worden behouden?
- Human Capital Agenda: Hoe kunnen we, in nauwe samenwerking tussen publieke en private partijen, ervoor zorgen dat er voldoende en goed geschoold personeel op alle niveaus beschikbaar komt voor deze snelgroeiende sector?
- Ruimte en ecologie: Hoe kunnen we grootschalige hernieuwbare elektriciteitsopwekking ontwikkelen met behoud of verbetering van de ruimtelijke en ecologische kwaliteit;
- Implementatie én innovatie: Hoe kunnen we de huidige beschikbare technologieën grootschalig implementeren en tegelijkertijd nieuwe technologieën ontwikkelen en beschikbaar maken?
- Duurzaamheid en circulariteit: Hoe kunnen we deze sectoren ontwikkelen van hernieuwbaar naar volledig duurzaam?
- Stimulering: Hoe zorgen we voor een geschikt stimuleringsinstrumentarium voor het ondersteunen van funderend en toegepast onderzoek en innovatie? Innovaties op het gebied van markt en beleid zijn essentieel om excellente technische bouwstenen snel en op grote schaal te kunnen toepassen en om lage kosten te kunnen combineren met een hoge maatschappelijke waarde.



Solar Highways, A50 Uden



Windpark Bouwdokken, Oosterscheldekering



Leeswijzer update 2021

Dit innovatieprogramma is oorspronkelijk opgesteld in 2019 en heeft in 2021 een update gekregen. De belangrijkste wijzigingen ten opzichte van de originele versie zijn:

Herstructurering van het document

De inleiding is geherstructureerd. De oorspronkelijke hoofdstukken *3 Samenhang van de deelprogramma's* en *5 samenwerking en samenhang* zijn hierin ingebed. Tevens is de totstandkoming en het doel van de MMIP's beter toegelicht en is een sectie *stand van zaken 2021* toegevoegd.

De oorspronkelijke hoofdstukken *4 stand van zaken/overzicht* en *7 beschrijving van de deelprogramma's* zijn samengevoegd tot één nieuw hoofdstuk *2 beschrijving van de deelprogramma's*. Ieder deelprogramma bestaat nu uit een inleiding, gevolgd door een actuele stand van zaken en daarna een beschrijving van de belangrijkste innovatiethema's. Het oorspronkelijke deelprogramma *1b Enablers en breed toepasbare innovaties op het gebied van markt en beleid* is vervallen als deelprogramma en is grotendeels opgenomen onder het nieuwe hoofdstuk *4 opzet van het innovatieprogramma*.

Een aantal thema's die op veel plekken in het MMIP terugkomen is uitgelicht in hoofdstuk *3 Doorsnijdende thema's*.

Het oorspronkelijke hoofdstuk *5 financiering van het MMIP* is met een aantal andere thema's die eerder verspreid stonden samengevoegd tot het hoofdstuk *4 opzet van het innovatieprogramma*.

Inhoudelijke wijzigingen of toevoegingen aan de deelprogramma's en doorsnijdende thema's

DP 1a enablers technologie:

- thema ontwikkelen intelligentie op (sub)modulenniveau toegevoegd
- thema circulair moduleontwerp benadrukt

DP 1b enablers markt en beleid: vervallen en inhoud verplaatst naar hoofdstuk 4

DP 2a Zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving

- Thema's gebiedsgerichte aanpak, nieuwe onderconstructies en installatietechnieken, brandveiligheid en circulariteit zijn toegevoegd en benadrukt

DP 2b Zonnestroomsystemen in het buitengebied



- *Energielandschappen* als toegevoegd als overkoepelend thema van fysieke integratie.
- Noodzaak tot opzetten ecologieprogramma's voor zon in landschap en op water benoemd
- Cumulatieve ecologische effecten toegevoegd als thema
- Robuustheid als thema toegevoegd voor zon op water

DP2c Windparken in het buitengebied

- Cumulatieve ecologische effecten toegevoegd als thema

Doorsnijdende Thema's:

- Energetische inpassing is toegevoegd als doorsnijdend thema. Hierin zijn de uitdagingen uit de deelprogramma's gebundeld en zijn ook de thema's voor inpassing van grootschalige opwek uit MMIP 5 overgenomen
- Energielandschappen is toegevoegd als doorsnijdend thema
- Onder kwaliteit en veiligheid zijn een aantal nieuwe thema's opgenomen zoals brandveiligheid van zonnestroomsystemen en veiligheidsvraagstukken voor geïntegreerde systemen
- Circulariteit is toegevoegd als doorsnijdend thema en flink uitgebreid.



1. Inleiding

1.1 Totstandkoming MMIP

Dit Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma (MMIP) is een gezamenlijk programma van de sectortafels Elektriciteit en Gebouwde Omgeving van het klimaatakkoord. Dit innovatieprogramma bevat een overzicht van technische en niet-technische innovaties die bijdragen aan missie A van de Elektriciteitstafel waarin een CO₂-emissieloos elektriciteitssysteem in 2050 wordt nagestreefd, en aan Missie B van de Gebouwde Omgeving-tafel waarin een CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050 wordt nagestreefd.

Wind- en zonne-energie zijn onmisbaar voor een CO₂-vrije energievoorziening. Het potentieel is enorm en de kosten zijn de laatste jaren spectaculair gedaald.

Het programma richt zich op alle ontwikkelfases, dus van fundamenteel onderzoek tot demonstratie en implementatie. Resultaten uit dit programma kunnen al bijdragen aan de missiedoelen voor 2030, maar het MMIP is ook gericht op het behalen van de 2050 doelen en borgt dus ook dat er na 2030 voldoende innovaties beschikbaar komen.

Het programma is tot stand gekomen door bijdragen van een brede groep van kennisinstellingen, overheidsorganisaties, maatschappelijke organisaties en bedrijven uit de sector. TKI Urban Energy is penvoerder van het programma. De eerste versie van dit MMIP is in 2019 opgesteld. Het programma zal in ieder geval iedere twee jaar een update krijgen op basis van ontwikkelingen in de sector, voortgang op innovatieprojecten en de inbreng van een groep van experts in het Programma Advies College.

In het klimaatakkoord zijn duidelijke doelen gedefinieerd voor 2050. Daarnaast zijn in het klimaatakkoord tussendoelstellingen voor 2030 gedefinieerd. Wind- en zonnestroom zullen een belangrijke rol spelen bij het creëren van een CO₂-emissieloos elektriciteitssysteem en bij het creëren van een CO₂-vrije gebouwde omgeving. Naast deze twee technieken, die een prominente plaats innemen, wordt er in dit MMIP ook gewerkt aan andere technieken die hier aanvullend aan kunnen zijn.

In het klimaatakkoord staat dat de Nederlandse elektriciteitssector zijn CO₂-emissies in 2030 met ten minste 20,2 Mton zal hebben verminderd en dat er jaarlijks minimaal 35 TWh aan elektriciteit uit duurzame bronnen grootschalig op land wordt opgewekt, waarbij grootschalig refereert aan systemen groter dan 15 kW capaciteit. Ook zal er in 2030 jaarlijks minimaal 7 TWh aan elektriciteit uit duurzame bronnen met kleinschalige opweksystemen (dus <15 kW) in de gebouwde omgeving moeten worden opgewekt. De opwekking moet bij voorkeur tegen zo laag mogelijke kosten plaatsvinden (30 tot 60 EUR/MWh in 2030, afhankelijk van projecttype en -grootte, met een perspectief op 20 EUR/MWh in 2050), en op basis van optimale ruimtelijke, ecologische en functionele integratie van het systeem in zijn omgeving.



1.2 Doel en positionering van het MMIP

In 2020 werd in Nederland ruim 18 TWh aan stroom uit duurzame bronnen opgewekt, wat overeenkomt met ruim 15% van het totale elektriciteitsverbruik. Dit is een groei van 50% ten opzichte van 2018. Nederland staat inmiddels ook in de mondiale top 10 wat betreft bijdrage van

Vanuit een sterke kennisbasis worden heel verschillende toepassingsvormen ontwikkeld om het potentieel van wind- en zonne-energie te ontsluiten.

zonnestroom aan het totale elektriciteitsverbruik. De totale hoeveelheid duurzame stroom die in Nederland in het buitengebied wordt opgewekt, kan de komende jaren snel toenemen, tot 35 TWh/jr (de doelstelling) of 70 TWh/jr (meer realistisch scenario) in 2030 en uiteindelijk tot meer dan 300 TWh/jr in 2050. Daarvoor moeten wel de voorwaarden worden gecreëerd – dit MMIP draagt daaraan in belangrijke mate bij. Zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving zullen de in het ontwerp-Klimaatakkoord gestelde 7 TWh/jr per jaar zeker gaan opwekken, en mogelijk aanzienlijk meer.

Het is een grote uitdaging om niet alleen de doelen voor 2030 te halen, maar ook daarna sterk te kunnen blijven doorgroeien. Dat is nodig om niet alleen de relatieve bijdrage van hernieuwbare opwekking verder te vergroten (van ongeveer 70% in 2030 naar 100% op langere termijn), maar ook om de groei van het elektriciteitsverbruik door elektrificatie te dekken. Dit vraagt om ambitieuze innovatie op alle gebieden en om nieuwe oplossingen. Het motiveert funderend en toegepast onderzoek naar opties en concepten in de categorie 'hoog risico, hoge opbrengst', die eventueel pas na 2030 kunnen bijdragen.

Dit innovatieprogramma heeft tot doel om de voor het behalen van de missiedoelen noodzakelijke innovaties te stimuleren en versnellen. Door deze brede set van innovaties te bundelen in één programma kunnen ontwikkelingen optimaal op elkaar afgestemd worden. Een optimale afstemming middels dit programma maakt het ook mogelijk om het overheidsinstrumentarium in alle ontwikkelfases zo effectief mogelijk in te zetten en waar nodig focus aan te brengen of regelingen op elkaar af te stemmen. Dit geldt niet alleen voor het 'traditionele domein' van het topsectorenbeleid van ontwikkeling en demonstratie maar ook voor fundamenteel onderzoek, via NWO regelingen, voor de inzet van TNO-middelen, en implementatieregelingen zoals de SDE++.



1.3 Stand van zaken 2021

In 2020 zijn er ca. 35 innovatieprojecten afgerond op de thema's van het MMIP vanuit de Topsector Energie innovatieregelingen, TSE, PPS-Toeslag, DEI(+) en HER(+), met een totaal subsidiebedrag van ongeveer 20 miljoen euro. In de bijlage van deze rapportage is een totaal overzicht opgenomen.

Een cluster van ca. 15 projecten richtte zich op technologische enablers voor zonnestroom. Deze projecten richten zich vooral op de toepassing van nieuwe materialen en de ontwikkeling van nieuwe devices met als doel het rendement van zonnecellen te verhogen, de specifieke opbrengst van zonnepanelen te verhogen en het mogelijk maken van verdere kostenreducties in de gehele keten. Deze innovaties vinden middels wetenschappelijke publicaties en via machinebouwers hun weg naar de internationale ontwikkel- en productieketen van zonnepanelen. Een directe link van Nederlandse innovatie naar internationale vooruitgang is hierbij slechts sporadisch te leggen, wel behoort Nederland nog steeds tot de internationale top op het gebied van onderzoek en technologieontwikkeling voor zonnepanelen en leidt het geen twijfel dat deze kennis bijdraagt aan de mondiale vooruitgang op dit vlak. Financiering voor nieuwe projecten op dit deelprogramma is slechts beperkt aanwezig en door het stoppen van de TSE-regeling in 2020 flink afgenomen. Er wordt geadviseerd de financiering voor dit deelprogramma beter in regelingen te borgen.

Eind 2020 hebben de op de Nederlandse markt verkochte zonnepanelen typisch een rendement van rond de 20% en zijn tegen een meerprijs panelen tot 22.5% verkrijgbaar. De afgelopen jaar zijn deze rendementen steeds met ca. 0.5-1% absoluut gestegen. Groothandelsprijzen voor zonnepanelen liggen nu tussen de 0.15-30 \$ct per Wp, met een daling van 3-10% in het afgelopen jaar en een voorzetting van de leercurve.

Deze ontwikkelingen, in combinatie met kostendalingen op het gebied van omvormers en mechanische en elektrische installatie, hebben er toe geleid dat de opwekkosten van zonnestroom voor grootschalige toepassingen op land en op daken in 2020 rond de 6€ct/kWh lagen (volgens LCOE berekening). Dit is een significante daling ten opzichte van 2018, toen deze nog rond de 8€ct/kWh lagen en ruimschoots in lijn met de gestelde kostenreductiedoelen voor 2030.

Een tweede cluster van ca. 15 projecten richtte zich op innovatie voor nieuwe toepassingen van zonnestroom, zoals drijvende zonnepanelen, building integrated PV, overkappingen van parkeerterreinen en autonome straatverlichting. Deze projecten bieden zicht op verbeterde functie-integratie van zonnestroom en zijn inspirerende voorbeelden voor de markt. Zo is Nederland binnen Europa absoluut leidend op het gebied van drijvende zonnepanelen met een geïnstalleerd vermogen van 100 MWp en een marktaandeel van ca. 65%. Enkele projecten richten zich ook op offshore solar, waarmee Nederland mondiaal voorop loopt. Een belangrijke mijlpaal hier is het eerste werkende offshore zonnestroomsysteem eind 2019.

Binnen de infrastructuur en de gebouwensector zien we deze innovatieve systemen nog minder goed aansluiting vinden bij de markt. Verbeterde functie-integratie werkt hier meestal kostenverhogend wat betreft de private systeemkosten. De baten zijn veelal van maatschappelijke aard en niet eenvoudig te monetariseren of te internaliseren in de



businesscase. Het belangrijkste instrument voor implementatieversnelling van hernieuwbare opwek, de SDE++ houdt slechts zeer beperkt rekening met de maatschappelijke baten van functie-integratie van zonnestroomsystemen. Gegeven het hoge maatschappelijke draagvlak en het grote beschikbare potentieel van zonnestroom op grote daken wordt geadviseerd de hierop gedefinieerde innovatiethema's prioriteit te geven in regelingen.

Daarnaast zijn er nog enkele projecten afgerond op het gebied van wind op land en waterkracht. Dit betreft veelal innovaties op het gebied van installatie en subcomponenten. Het geringe aantal projecten rond wind op land en overige opwektechnieken is deels te verklaren uit het feit dat regelingen tot voor kort weinig ruimte gaven voor deze technieken.

Verder moet geconstateerd worden dat het maatschappelijk draagvlak voor grootschalige windparken en zonneweiden in 2020 verkleind is. Veel projecten roepen weerstand en bezwaarprocedures op. De voorbeeld projecten waar MMIP2 toe oproept en waar aan gewerkt wordt zijn nog onvoldoende zichtbaar in dit maatschappelijk debat. Hier ligt een belangrijke uitdagingen voor de komende jaren.

Naast deze afgeronde projecten zijn er ca. 50 nog lopende en in 2020 gestarte en beschikte projecten op de thema's van MMIP2, met een totaal subsidiebedrag van ca. 40 miljoen. Binnen deze projecten wordt gewerkt aan een nieuwe generatie hoogrendement zonnecellen zoals tandemmodules met perovskieten, diverse dunne-film en lichtgewicht zonnepanelen, gekleurde zonnepanelen met behoud van rendement en kostprijs en een scala aan verbeteringen qua functie-integratie met gebouwen, water, landbouwgrond en 'nieuwe natuur'. Met deze lopende en gestarte projecten is het te verwachten dat er binnen nu en 5 jaar de volgende innovaties beschikbaar zijn:

- *betaalbare lichtgewicht zonnepanelen*
- *gekleurde zonnepanelen met weinig meerkosten en weinig rendementverlies*
- *een gedragen ecolabel voor zonneparken op voormalig landbouwgrond*
- *diverse nieuwe agri-PV concepten (waarbij landbouw en energieopwek samengaan)*
- *opschaling van offshore solar naar MW schaal*

Daarnaast wordt een overtuigende bijdrage geleverd aan de internationale vooruitgang op het gebied van tandemzonnecellen met voorspelde rendementen van 25 tot meer dan 30%.

Binnen dit portfolio van innovatieprojecten zien we nog weinig aandacht voor de energetische inpassing van hernieuwbare elektriciteit uit zon en wind en het ontwikkelen van circulaire systeemontwerpen. Dit zijn aandachtspunten voor de regelingsfocus van de komende jaren. Met de MOOI-SIGOHE regeling is specifiek budget beschikbaar voor innovaties voor grootschalige hernieuwbare opwek. Hier is blijvende aandacht voor nodig. Er wordt geadviseerd om innovaties rond energetische inpassing en uitgestelde levering van wind en zonnestroom ook te ondersteunen in de opschaling om implementatie te versnellen.



1.4 Korte beschrijving deelprogramma's

De doelstellingen van het programma zijn ambitieus en kunnen alleen bereikt worden als kennisinstellingen, bedrijven en overheden nauw en programmatisch met elkaar samenwerken, en in dialoog gaan met de samenleving (de 'platina vierhoek') om de benodigde innovaties beschikbaar te maken. De meeste van de uitdagingen, belemmeringen en maatschappelijke eisen en wensen moeten worden opgelost voor een specifiek toepassingsgebied. Daarnaast is er ook een aantal generieke thema's dat voor meerdere toepassingsgebieden tegelijk opgelost kan worden. Daarom is dit MMIP onderverdeeld in de volgende deelprogramma's:

Enablers en breed toepasbare innovaties op het gebied van technologie			
1a Zonne-energie - 1b Windenergie			
2a. Zonnestroom- systemen in de gebouwde omgeving	2b. Zonnestroom- systemen in het buitengebied	2c. Windparken in het buitengebied	2d. Overige opties voor opwekking op land en in de gebouwde omgeving
Doorsnijdende Thema's:			
Energetische inpassing – Energielandschappen – Circulariteit Digitalisering – Veiligheid - Human Capital - MVI			

Generieke technologieontwikkelingen worden beschreven in deelprogramma 1. Technologie-, markt- of beleids-gerelateerde ontwikkelingen die specifiek zijn voor een individueel toepassingsgebied worden beschreven in deelprogramma 2a tot en met 2d. Tenslotte worden ook nog een aantal relevante doorsnijdende thema's beschreven.

Voor het realiseren van het potentieel van hernieuwbare opwektechnieken is de parallelle ontwikkeling van meerdere marktsegmenten en toepassingen nodig. Deze zijn voor dit MMIP onderverdeeld in de volgende categorieën:

- *Zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving*: systemen in en op daken en gevels van gebouwen met een kleinverbruikersaansluiting (Zon op Gebouw - KVA) en systemen in en op daken en gevels van gebouwen met een grootverbruikersaansluiting (Zon op Gebouw - GVA);
- *Zonnestroomsystemen in het buitengebied*: zonneparken in het landschap en op (voormalige) landbouwgronden (Zon in Landschap), systemen op binnenwateren (Zon op Water), systemen in en langs rail-, weg- en waterwegen en systemen op dijken, wallen en vuilstortplaatsen (Zon op Infra);
- *Windparken in het buitengebied*: grootschalige windparken in het buitengebied (Wind op Land – grootschalig) en solitaire turbines, respectievelijk kleinschalige windparken dichtbij, maar niet in de gebouwde omgeving (Wind op Land - kleinschalig);
- *Overige oplossingen om elektriciteit uit duurzame bronnen op land op te wekken*: bijvoorbeeld zonnestroomsystemen verwerkt in de huid van voer- en vaartuigen

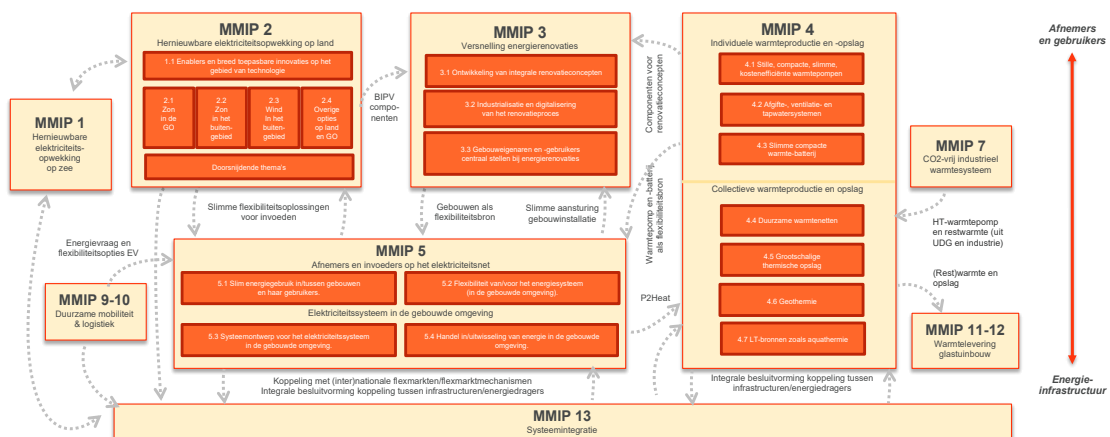


(Zon op Mobiliteit) en geheel andere opties zoals blue energy, ultra high altitude wind power (vligers) en thermo-elektriciteit.

In de doorsnijdende thema's komen technische en niet-technische thema's aan bod die voor alle toepassingen relevant zijn.

1.5 Samenhang met andere MMIP's en kennisagenda's

MMIP2 is onderdeel van een structuur van meerdere MMIP's die allemaal hun eigen bijdrage leveren aan het behalen van de klimaatdoelstellingen. In onderstaande figuur is weergegeven hoe de verschillende MMIP's met elkaar samenhangen.



- MMIP 1 (hernieuwbare elektriciteitsopwekking op zee) richt zich op de uitdagingen van het opwekken van elektriciteit uit zon en wind op zee. Windparken op zee vallen dus binnen de scope van MMIP 1 en windparken op land binnen de scope van MMIP 2. Ten aanzien van zonnestroomsystemen valt de ontwikkeling van drijvende zonnestroomsystemen op binnenwateren binnen de scope van MMIP 2, terwijl drijvende zonnestroomsysteem op zee binnen de scope van MMIP 1 vallen. In het ontwikkeltraject van drijvende zonnepanelen van binnenwater naar zee werken MMIP1 en MMIP2 nauw samen. Veel van de innovaties die in MMIP1 gedaan worden voor wind op zee zijn ook bruikbaar voor wind op land. MMIP2 richt zich daarom met name op de specifieke uitdagingen voor wind op land.
- In MMIP 3 (Versnelling energierenovaties in de gebouwde omgeving) worden duurzame renovatiepakketten voor verschillende bouwtypen ontwikkeld, opgeschaald en ingepast. Waar de focus in MMIP-3 ligt op de ontwikkeling van integrale renovatiepakketten ligt de focus in MMIP-2 op de ontwikkeling van BIPV(T)-componenten voor deze renovatiepakketten. Omdat een integraal renovatieconcept met zonne-energie-opwekfunctie alleen succesvol kan worden ontwikkeld in een integraal proces is dit thema in beide MMIP's opgenomen. Het slim aansturen van deze componenten om flexibiliteit te ontsluiten en tot waarde te maken wordt in MMIP5 ontwikkeld.



- In MMIP 5 (Elektrificatie van energiesysteem in de gebouwde omgeving) worden oplossingen ontwikkeld voor een betrouwbaar, efficiënt, betaalbaar, slim, integraal en maatschappelijk gedragen systeem van opwek, opslag, conversie, transport en gebruik van elektriciteit in de gebouwde omgeving. Een gedeelte van de elektriciteit die in het buitengebied en in de gebouwde omgeving wordt opgewekt, zal worden ingevoerd in het elektriciteitssysteem. Daarbij gebruikt MMIP 2 oplossingen vanuit MMIP 5, zoals opslag, conversie en *demand-side management*, die de waarde van de opgewekte elektriciteit vergroten en zorgen voor een goede inpassing in het lokale energiesysteem.
- MMIP 13 (Systeemintegratie) richt zich op de transitie van het huidige, grotendeels op fossiele brandstoffen gebaseerde energiesysteem naar een hybride (2030) en duurzaam (2050) en maatschappelijk gedragen geïntegreerd energiesysteem. Collectieve warmtenetten kunnen worden ingezet om het elektriciteitsnet te balanceren. Op momenten dat er een overschot aan elektriciteit is, kunnen warmtepompen worden aangestuurd en grootschalige seizoenbuffers voor warmte-opslag worden geladen. Het is van belang dat deze optie wordt meegenomen en wordt afgezet tegen andere alternatieven zoals H₂-productie.

Hernieuwbaar opgewekte elektriciteit voedt de energietransitie in andere sectoren. Dat geeft kansen voor vruchtbare samenwerkingen.

Samenhang met andere kennisagenda's

Er vindt nauwe afstemming plaats tussen dit MMIP en de Vraaggestuurde Programma's (VP's) van TNO. Daartoe stelt TNO jaarlijks VP-plannen op, die worden besproken met (in dit geval) TKI Urban Energy en TKI Wind op Zee en met het Ministerie van EZK. Na eventuele bijstellingen geven deze plannen richting aan de acquisities van TNO in nationale en Europese programma's en de inzet van de daarvoor benodigde matching uit eigen middelen en aan besteding van de eventueel resterende middelen binnen de zogenaamde Kennis Investerings Projecten (KIP's). De VP-plannen, alsmede de VP-jaarverslagen worden in verkorte vorm ook openbaar gemaakt via publicatie op de TNO-site.

Met NWO vind er op dit moment voor individuele calls afstemming met het MMIP plaats over de thema's.

Afstemming met Europese onderzoekprogramma's en in het bijzonder Horizon Europe vindt vooralsnog informeel plaats, onder meer via Nederlandse deelname aan Het European Technology and Innovation Platform for Photovoltaics (ETIP PV) en de Nederlandse inbreng in de European Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA), via deelname aan de SET Plan Implementation Working Group (IWG) PV en aan EERA (mede via NERA). Op die wijze is ook afstemming tussen de SRIA voor het komende Clean Energy Transition Partnership (CETP) onder Horizon Europe en het MMIP georganiseerd. Omgekeerd worden de inzichten en prioriteiten uit Europese organisaties en programma's ingebracht bij de discussies rondom het MMIP (bijvoorbeeld in het Programma Advies College).



1.6 Inhoudelijk kader en uitgangspunten

Wereldwijd maken zonnestroom en windenergie een enorme groei door. Het opgestelde vermogen van zowel zonnestroom als windenergie is inmiddels meer dan 0,7 terawatt (TW, 1 terawatt = 1.000.000 megawatt). Daarmee wordt in totaal ongeveer 10% van de wereldwijde

Wind- en zonne-energie dekken nu samen 10% van de wereldwijde elektriciteitsvraag, en in Nederland al bijna 20%. Dat aandeel zal de komende jaren snel groeien.

elektriciteitsvraag gedekt. Ook in Nederland is sprake van een sterke groei. Eind 2020 was het geïnstalleerd vermogen voor de opwek van duurzame elektriciteit toegenomen tot 4,2 GW wind en 10,1 GWp zon. Het opgesteld vermogen aan wind op land is daarmee de afgelopen 10 jaar verdubbeld. Voor zonnestroom is er zelfs sprake van een verhonderdvoudiging van het opgesteld vermogen in de afgelopen 10 jaar. Wind en zon dekken daarmee samen inmiddels bijna 20% van de Nederlandse elektriciteitsvraag.

In de komende decennia wordt verwacht dat zon en wind sterk zullen blijven groeien en daarmee ontwikkelen zij zich tot belangrijkste pijlers onder de energievoorziening van de toekomst. Toonaangevende scenario's positioneren elektriciteit als 'primaire brandstof' van de toekomst en verregaande elektrificatie wordt gezien als een cruciale ontwikkeling voor de verduurzaming van de energievoorziening en een drastische reductie van CO₂-emissies¹.

Voor zonne-energie zal de groei in ieder geval tot 2030 vooral onshore (in de gebouwde omgeving en in het buitengebied) plaatsvinden, voor windenergie is dat een combinatie van onshore (in het buitengebied) en offshore (op zee). Het potentieel voor zonnestroom en windenergie op land en in de gebouwde omgeving is heel groot. Uit een recente studie van onder andere POSAD en Generation.Energy, blijkt dat het potentieel voor wind op land 50 GW is, waarmee jaarlijks 200 TWh aan elektriciteit kan worden opgewekt. Uit een inschatting van TKI Urban Energy en Generation.Energy blijkt dat in Nederland, met slechts een beperkt ruimtebeslag, in potentie ruim 200 GWp aan zonnestroomcapaciteit geïnstalleerd kan worden. Daarmee kan jaarlijks ongeveer 200 TWh aan elektriciteit opgewekt worden. Ter vergelijking: het huidige elektriciteitsverbruik in Nederland is 115 TWh/jr en het totale energie-eindverbruik is ongeveer 600 TWh/jr.

Het is dus niet de vraag of 'hernieuwbaar op land' een grote rol gaat spelen in het nieuwe energiesysteem, maar hoe we het nieuwe energiesysteem moeten inrichten naar aanleiding van deze snelle ontwikkeling. Innovatie is hiervoor cruciaal. Mede om maatschappelijk enthousiasme te behouden, is het de verwachting dat er in de nabije toekomst meer of scherpere eisen worden gesteld aan de impact op natuurwaarde, ruimtelijke inpassing en multifunctioneel ruimtegebruik. Deze eisen zullen, zeker in het begin, een kostenverhogend effect hebben waardoor de business case op korte termijn moeilijker of zelfs onmogelijk wordt. Daarom richt dit MMIP zich nadrukkelijk op het

¹ Zie bijvoorbeeld: Global Energy Transformation: a Roadmap to 2050 (IRENA, 2019), Global Energy System based on 100% Renewable Energy: Power, Heat, Transport and Desalination Sectors (LUT/EnergyWatchGroup, 2019), Sky Scenario (Shell, 2018) and Terawatt-scale Photovoltaics: Transform Global Energy (Nancy Haegel et al., Science 364 (2019) 836).



ontwikkelen van innovatieve oplossingen die aan de gestelde wensen en eisen voldoen én die voldoende lage kosten hebben en/of voldoende hoge meerwaarde genereren.

Meer informatie over lopende en afgeronde innovatieprojecten, is te vinden in:

De projectenapplicatie en de 'projectencatalogus PL0 t/m PL2' onder 'Projecten' op de website van TKI Urban Energy: <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/tki-urban-energy-projecten>. Voor zover beschikbaar zijn ook publieke eindrapporten van deze projecten te downloaden via deze app of website. Daarnaast is enige achtergrondinformatie te vinden op: <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisbank>.

Alle innovatieactiviteiten dienen gericht te zijn op het creëren van een energiesysteem dat duurzaam, betaalbaar, schaalbaar, ruimtelijk inpasbaar en energetisch inpasbaar en betrouwbaar is. Deze aspecten samen zullen samen bepalen of er maatschappelijk draagvlak is voor de ontwikkelde innovatie en voor de verdere verduurzaming van de elektriciteitsmix. Innovatieactiviteiten kunnen focussen op één of enkele van deze doelstellingen, maar mogen nooit blind zijn voor effecten op de andere doelstellingen. Ook steden en provincies stimuleren een dergelijke integrale aanpak en zoeken naar instrumenten hiervoor, zoals de povi en de novi. Deze integrale aanpak zal steeds meer terugkomen in innovatieprojecten. We schetsen hier kort de voornaamste uitgangspunten.

Duurzaam energiesysteem

Door fossiele brandstoffen te vervangen door elektriciteit uit hernieuwbare bronnen en daaruit afgeleide producten neemt de CO₂-emissie van het energiesysteem af. Echter om tot een emissie-vrij energiesysteem te komen zal aanhoudende focus nodig zijn op het verhogen van omzettingsrendementen en het maximaliseren van opbrengstfactoren. Daarnaast is er aandacht nodig voor het zorgvuldig omgaan met *virgin* materialen en herbruikbare materialen, het verlengen van levensduur door het mogelijk maken van reparaties en vervangen van subcomponenten en mogelijk maken van hoogwaardig hergebruik en verbeteren van recycling. Dit geldt niet alleen voor de primaire opwek door voornamelijk zon en wind, maar ook voor de technologie die ingezet wordt bij opslag en conversies. In deelprogramma 1 en doorsnijdend thema 3.5 Circulariteit wordt hier verder op ingegaan.

Betaalbaar/ economisch haalbaar energiesysteem

Om een betaalbaar/ economisch haalbaar energiesysteem te realiseren zijn in eerste instantie de opwekkosten van de primaire energiebronnen, voornamelijk zon en wind, relevant. Deze kosten dienen voldoende laag te zijn om de overstap van fossiele brandstoffen naar deze nieuwe energiebronnen als maatschappij te kunnen dragen.

De kosten van zonnestroom (*Levelized Cost of Electricity*, LCoE) uit grote 'standaard' zonneparken (>250 kWp) in Nederland, liggen op dit moment rond de 60 EUR/MWh². Uit een studie van Ecofys/Navigant in opdracht van de NVDE blijkt dat deze kosten naar verwachting in 2030 zullen zijn gedaald naar 50 EUR/MWh (spreiding 40-60). Voor 2050 is het kostenperspectief 20-30 EUR/MWh³.

² CE Delft 2020, kosten zontoepassingen

³ Op basis van de verwachting dat LCoE in zonnige gebieden naar (minder dan) 10 EUR/MWh zal dalen.



De gemiddelde kosten (LCoE) van stroom uit windparken op land in Nederland liggen nu op ongeveer 65 EUR/MWh (spreiding 54-86). De verwachting is dat deze kosten in 2030 zijn gedaald tot 40-60 EUR/MWh en in 2050 tot 30-50 EUR/MWh.

Ten opzichte van de huidige gemiddelde marktprijs voor elektriciteit van ca. 50 EUR/MWh worden zon en wind dus snel betaalbaar. Echter, naast de opwekkosten zal betaalbaarheid in toenemende mate gaan om bijvoorbeeld het beperkt houden van aanvullende investeringen in de elektrische infrastructuur, het efficiënt opslaan en omzetten van stroom uit zon en wind en het slim kunnen opvangen van langere periodes met verminderd aanbod. En ook het beheersbaar houden van *soft-costs* zoals juridische bezwaarprocedures, verzekeringen en vergunningen verdient aandacht. Sociale acceptatie speelt hier een belangrijke rol.

Om deze opbrengstverliezen en kostenverhogingen op te vangen dienen de kosten aanzienlijk verder te dalen dan de genoemde 50 EUR/MWh. In elk van de deelprogramma's van dit MMIP komt kostenreductie dan ook terug als thema.

Schaalbaar energiesysteem

De toepassingen die in dit MMIP ontwikkeld worden moeten voldoende schaalbaar zijn om een significante bijdrage aan de energietransitie te kunnen leveren. Hoewel alle beetjes helpen, zal de meeste innovatiekracht moeten gaan naar de toepassingen met het grootste potentieel voor wat betreft de totale hoeveelheid duurzaam op te wekken elektriciteit, voor wat betreft de mogelijke implementatiesnelheid, de mogelijke kostendalingen en de maatschappelijke acceptatie.

Ruimtelijk inpasbaar

Om de doelstellingen van dit MMIP te kunnen bereiken is ruimte essentieel. Door slechts een klein gedeelte (een paar procent) van het oppervlak van Nederland mede te bestemmen voor de opwekking van duurzame elektriciteit, kunnen de genoemde hoeveelheden reeds worden gerealiseerd.

Om het maatschappelijk enthousiasme voor de aanleg en exploitatie van wind- en zonneparken te vergroten is het cruciaal om ook voldoende aandacht te blijven besteden aan de eisen en wensen van omwonenden. Vroegtijdig betrekken van omwonenden, het toepassen van innovatieve participatiemodellen en het landschappelijk inpassen van zonneparken met behoud of verbetering van de natuurwaarde, zijn voorwaarden om het benodigd maatschappelijk enthousiasme voor een zonnepark te behouden. Het ontwikkelen van goede voorbeelden kan hierbij een belangrijke katalysator zijn.

Daarnaast is de Nederlandse zonnestroomsector gebaat bij een breed palet aan technisch volwassen en betaalbare systeemtypologieën zodat lokaal maatwerk geleverd kan worden en optimaal gebruik kan worden gemaakt van de ruimte. Multifunctioneel ruimtegebruik zal steeds belangrijker worden. Voorbeelden hiervan zijn Agri-PV, zonnecellen in geluidsschermen, solar carports, drijvende systemen op waterbekkens en zandwinplassen en de combinatie van zonnestroom en recreatie. Ruimtelijke inpassing komt in de toepassingsgebieden uit deelprogramma 2 in dit MMIP terug.



Energetisch inpasbaar

Het inpassen van hernieuwbare elektriciteit uit variabele bronnen zoals zon en wind is een grote uitdaging. Invoeden in het elektriciteitsnet is tot een gering aandeel in de mix goed mogelijk. Daarboven neemt zowel de druk op de elektrische infrastructuur toe als de profieffecten van de bronnen op de waarde van de stroom. Beide effecten zijn op dit moment zichtbaar in Nederland. Netbeheerders staan onder grote druk om voldoende aansluit- en transportcapaciteit te realiseren en dit leidt nu al tot vertraging bij projecten. Op de langere termijn is het essentieel dat de waarde van stroom uit hernieuwbare bronnen behouden blijft. Energetische inpassing is daarmee één van de grootste uitdagingen voor een energiesysteem op zon en wind. Oplossingen liggen in het ontwerp van zonneparken, opslag in batterijen en conversie naar warmte en gas en in het (lokaal) afstemmen van opwek en gebruik. Dit komt terug in ieder van de toepassingsgebieden in deelprogramma 2 en in doorsnijdende thema's 3.6 Energetische inpassing en 3.2 Veiligheid.

Integrale benadering

Ruimtelijke inpasbaarheid (waaronder ecologie, ruimtegebruik, omwonendendialoog en biodiversiteit), kosteneffectiviteit en energetische inpasbaarheid leiden niet altijd tot dezelfde ontwerpeisen voor hernieuwbare energieopwekking op land. Derhalve dienen de verschillende aspecten niet in isolatie maar in samenhang bekeken te worden..

Maatschappelijk draagvlak

Een belangrijk doel van dit MMIP is om grootschalige toepassing van wind- en zonne-energie mogelijk te maken en te versnellen door het creëren van maatschappelijk draagvlak. Wat daarvoor nodig is, is nog niet scherp genoeg gedefinieerd. Een bijkomende vraag is om dit te objectiveren en te kwantificeren. Alleen dan kunnen instrumenten en oplossingen gericht worden ontwikkeld, en kan de energietransitie optimaal worden versneld. Relevante vragen in dit kader zijn bijvoorbeeld:

- Welke factoren hebben invloed op de acceptatie van noodzakelijke veranderingen om de energietransitie te stimuleren? Het gaat hierbij zowel om de acceptatie van duurzame energiebronnen, duurzame energie-infrastructuur, duurzame energietechnologie en energiebeleid.
- Hoe kan het draagvlak voor de veranderende landschappen als gevolg van de energietransitie (in stad en land) worden vergroot?
- Hoe en wanneer kunnen burgers goed betrokken worden bij besluitvorming over de energietransitie, zodat de ontwikkeling van energie infrastructuur versnelt? En welk effect heeft dat op het draagvlak en maatschappelijk enthousiasme?
- Welke rol kan financiële of andere participatie van burgers spelen en in welke fase van de planning en projectontwikkeling zou dit kunnen?
- Wat wordt er door bewoners als esthetisch aantrekkelijk ervaren?
- Hoe kun je kosten en waarden/opbrengsten goed afwegen (monetair, landschappelijk, cultuurhistorisch, ecologisch, etc.)?
- Hoe kunnen lusten en lasten van een duurzaam energiesysteem rechtvaardig worden verdeeld?
- Hoe kan er op een slimme manier van elkaar geleerd worden zodat successen op het gebied van participatie navolging vinden en uit mislukkingen de juiste lessen getrokken worden?



2 Beschrijving van de deelprogramma's

2.1 DP 1 Innovaties en breed toepasbare technologische enablers

Stand van zaken 2021

Uit de projecten portfolioanalyse van TKI Urban Energy 2021, die alle projecten uit het topsector energie instrumentarium omvat (DEI+, HER+, MOOI, TSE-GO, PPS-toeslag) volgt dat er in de afgelopen twee jaar 23 innovatieprojecten beschikt zijn met een totaal subsidiebedrag van bijna 11 miljoen euro voor de ontwikkeling van zonnestroomtechnologieën. In 2019 en 2020 is de meeste publieke financiering naar dit deelprogramma gegaan. Hierbij moet opgemerkt worden dat het aantal projecten dat in 2020 gestart is een stuk lager is dan in 2019 door het wegvallen van de TSE regeling voor dit thema.

Uit analyse blijkt dat een aantal thema's beter vertegenwoordigd zijn. Er zijn veel projecten die als doel hebben om het omzettingsrendement van zonnecellen te verhogen door gebruik van nieuwe materialen en processen en het maken van nieuwe devices. Een voorbeeld hiervan is het doorontwikkelen van perovskiet, o.a. toegepast in een tandemcel. Daarnaast zijn er verscheidene projecten met expliciet het doel om de CAPEX en de zogenoemde 'levelized cost of energy (LCOE) te verlagen van zonnestroomsystemen. Echter, er zijn ook een aantal thema's relatief onderbelicht gebleven. Zo zijn er nauwelijks projecten op het thema productiesystemen en (slechts) drie projecten die expliciet als doel hebben om functie-integratie te verbeteren. Een kanttekening hierbij is dat een aantal projecten onder MMIP3 zijn ingedeeld, waarbij het BIPV-element onderdeel is van een volledig renovatie arrangement.

Op het thema windenergietechnologieën is afgelopen 2 jaar slecht één project gestart. Dat betekent niet dat er geen innovatie op het gebied van windenergietechnologieën plaatsvindt want veel innovaties vinden plaats in het 'wind op zee' domein en zijn ook voor 'wind op land' bruikbaar. Maar knelpunten die typerend zijn voor wind op land, zoals maatschappelijk draagvlak, blijven hiermee ongeadresseerd. Het aanjagen van een innovatie-ecosysteem voor 'wind op land' is noodzakelijk om de gewenste voortgang te boeken



2.1.1 Zonnestroomtechnologieën

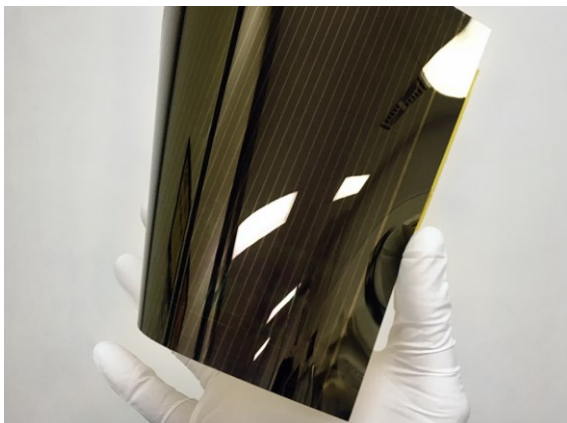
De kennispositie van Nederland op het gebied van PV-technologie is al decennialang zeer goed; van funderend onderzoek naar nieuwe materialen en *devices* tot de ontwikkeling van geavanceerde technologieconcepten. Nederland behoort op verschillende gebieden al jaren tot de wereldtop, onder andere op het gebied van lichtmanagement, geavanceerde dunne lagen voor zeer efficiënte zonnecellen, nanomaterialen en -structuren, tandemtechnologie en *roll-to-roll* processen voor ultrasnelle productie van innovatieve zonnecellen.

Technologieën voor hernieuwbare opwekking van elektriciteit uit wind en zon zijn beschikbaar om te worden uitgerold, maar zijn nog lang niet aan het einde van hun ontwikkeling.

Ook speelt ons land een vooraanstaande rol op het gebied van nieuwe uitvoeringsvormen en geïntegreerde toepassingen van PV. De positie van Nederland (en Europa) in de mondiale PV-(maak) industrie is de afgelopen tien jaar echter sterk veranderd. China domineert het productielandschap voor commerciële PV-

technologieën, en bouwt ook ambitieus aan zijn positie op het gebied van PV-productieprocessen en -apparatuur. Ondanks deze felle concurrentie is een aantal Nederlandse apparatuur- en materiaalleveranciers in staat om een sterke positie te behouden, en zijn er initiatieven voor een nieuwe high-end productie van PV-panelen in Europa. Onderzoek en innovatie op het gebied van PV-technologie is belangrijk om dat succes te prolongeren, en om een voedingsbodem voor nieuwe initiatieven te creëren. Het is echter ook essentieel om nieuwe, geïntegreerde toepassingen en de daarvoor benodigde componenten beschikbaar te maken. Dat raakt aan het hart van de deelprogramma's 2a en 2b. Fundamentele innovaties waarbij Nederland een belangrijke rol speelt, zoals tweezijdig werkende panelen, zonnefolies, driedimensionaal vormbare panelen en design- en gekleurde PV zijn bij uitstek *enablers* voor nieuwe, geïntegreerde toepassingen.

In dit MMIP wordt, behalve op verdere kostenverlaging en opbrengstverhoging, sterk



Zonnefolie (foto: Solliance)

ingezet op het mogelijk maken van nieuwe, geïntegreerde toepassingen: *Beyond one size fits all*. Flexibiliteit in vorm, maat, uiterlijk, materiaal, gewicht en lichtdoorlatendheid, alsmede nieuwe systeemconfiguraties en circulariteit, zijn enkele van de bijbehorende thema's. De ambitie is om de bestaande innovatie-ecosystemen verder te ontwikkelen en daarmee

de economische vruchten te plukken van dit internationale groeigebied.





Programmatistische aanpak

De innovatie-opgave op het gebied van zonnestroomtechnologieën kan worden onderverdeeld in de volgende, onderling samenhangende thema's:

- A. Nieuwe materialen en processen voor lichtabsorberende lagen en functionele coatings en structuren voor een hoog rendement en nieuwe eigenschappen;
- B. Ontwerp en testen van geavanceerde zonnecellen, tandemstructuren, panelen en folies (samen: 'devices');
- C. Productieconcepten, -processen en -systemen voor zonnecellen, halffabricaten, panelen en folies (*batch* en *roll-to-roll*);
- D. Functie-integratie van opwekking van zonnestroom in objecten en elementen ten behoeve van gebouwen, infrastructuur, landschap, water, vaar- en voertuigen, etc.
- E. Ontwikkelen van intelligentie op cel- en (sub-)modulenniveau voor het bevorderen van energetische inpassing, opbrengstmaximalisatie en veiligheid.

Nieuwe materialen en processen (A) betreffen onder meer perovskieten als lichtabsorberend materiaal, passiverende lagen en encapsulanten. Bij het ontwikkelen van nieuwe device-ontwerpen zoals tandems (B), ligt de nadruk op het bereiken van een hoog tot zeer hoog rendement, en op het realiseren van extra eigenschappen die nodig zijn voor nieuwe toepassingen, zoals lichtdoorlatendheid, uiterlijk en flexibiliteit in vorm, maat, etc.

Wat betreft productieprocessen en integratie (C en D), richten de doelen zich op procesbeheersing op nanometerschaal voor een snelle en kosteneffectieve massaproductie van flexibel vorm te geven halffabricaten, op maat gesneden multifunctionele componenten (voor bouw en constructie) en processen en apparatuur met een lagere ecologische voetafdruk. Levensduur, betrouwbaarheid en veiligheid vereisen onder meer kennis en beheersing van degradatieprocessen, maar ook het ontwikkelen van versnelde tests voor met name gecombineerde belasting en specifieke toepassingen. Duurzaamheid, ten slotte, vraagt om het gebruik van nieuwe materialen, ontwerpen en concepten die eenvoudiger en vollediger hergebruikt kunnen worden aan het einde van hun levensduur.



C en D (en de stap daarna) zijn verbonden via het concept van *mass customization*, waarmee volume en lage kosten in een minder complex fabricageproces kunnen worden gecombineerd met maximale flexibiliteit in de toepassing. Betrouwbaarheid, levensduur, duurzaamheid en circulariteit zijn randvoorwaarden, respectievelijk doorsnijdende thema's bij de ontwikkeling.

Indicatieve 2030 doelen voor deelprogramma 1a zijn:

- Kostenreductie van panelen/folies tot 0,10 EUR/Wp of minder in 2030;
- Rendementsverhoging van panelen/folies tot 25%-30% in 2030 en 40% of meer op lange termijn;
- Levensduurverlenging van panelen/folies tot 35 jaar of meer.

Niet alle doelen zijn van toepassing of relevant voor alle toepassingen, dus maatwerk bij de ontwikkeling is geboden. Naast de genoemde specifieke doelen zijn er meer generieke ontwikkelingsdoelen:

- Zonnestroomtechnologie moet (waar relevant) integreerbaar zijn om zo toegevoegde waarde te leveren aan objecten en elementen (zie thema D). Aspecten daarbij zijn esthetiek, multifunctionaliteit, verbeterde eigenschappen ten opzichte van *add-on*-systemen en standaardisatie.
- Hoge eisen ten aanzien van betrouwbaarheid en veiligheid. Zie ook doorsnijdend thema 3.2 Veiligheid
- Oplossingen moeten integraal duurzaam zijn: beperkte ecologische voetafdruk, efficiënt materiaalgebruik, *design for recycling*. Dit deelprogramma werkt aan de materialen en samenstelling van modules en daarom moet de oplossing voor een echt circulair zonnepaneel binnen dit deelprogramma ontwikkeld worden. Zie ook doorsnijdend thema 3.5 Circulariteit

Samenwerking door stakeholders en actoren

Dit deelprogramma bouwt voort op het TKI Urban Energy programma van de Topsector Energie, de roadmap Solar Energy van TNO, het nationale onderzoeknetwerk SOLARLab (dit omvat ECN part of TNO, SEAC en Solliance, de academische groepen bij AMOLF, RUG, TUD, TU/e, UT, UU, UvA, VU en WUR en de hogescholen Zuyd en Amsterdam Academy of the Arts) en de partners in het publiek-private samenwerkingsverband Solliance (TNO, imec, FZ Jülich, TU/e, TUD, UT, RUG, UHasselt). De betrokken ecosystemen omvatten de hele keten van producenten van materialen (zoals DSM, Sabic, Tata, Eternit, Trespas), machines (zoals VDL ETG, Tempres, Smit Thermal Solutions, Meyer Burger, Eurotron), materialen (zoals Hanergy, HyET, Avancis), integrators (Kameleon Solar, Exasun, Solarge, dak- en gevelelementen, infrastructuur, water), bouw- en constructiebedrijven en architectenbureaus. Via deze consortia is aansluiting gevonden bij de Europese brancheorganisatie Solar Power Europe en Europese roadmaps (ETIP PV, EERA, SET-plan PV). Tevens werken de consortia nauw samen met vrijwel alle kennisinstellingen en producenten in Europa op het gebied van kristallijn-silicium en dunne-films (CIGS, PSC, OPV, aSi, III-V) in contractresearch, partnerprogramma's, Horizon2020, ERANET, Horizon Europe, Interreg en KIC-EIT. Tenslotte participeren deze consortia ook in diverse taakgroepen van de International Energy Agency (onder andere op het gebied van zonnestroomtechnologie, integratie, levensduur en kwaliteit).



Daarnaast dient er voor dit deelprogramma verkend te worden hoe er het best kan worden aangesloten bij het recente Europese initiatief om meer maakindustrie voor zonnestroom te realiseren in Europe, de ‘Solar Manufacturing Accelerator’.

Extra aandacht is nodig voor het laten opschalen en doorstromen van innovatieve producten vanuit start-ups en scale-ups. Bekendheid bij opdrachtgevers en implementatiepartijen is hiervoor een voorwaarde. Het initiatief Uptempo! Van TKI Urban Energy kan hier een rol bij spelen alsook een nauwe samenwerking tussen de netwerken van TKI Urban Energy en Holland Solar en NWEA.

Naast energiegerelateerde initiatieven wordt ook nadrukkelijk de samenwerking gezocht met andere sectoren zoals de chemiesector (integratie met elektrochemie, waterstof, power to gas), de agrarische sector (gewasteelt en -monitoring, biodiversiteit), de creatieve sector (inpassing in het landschap, inpassing in de gebouwde omgeving, perceptieonderzoek), en met de KIA Circulaire Economie (materiaalgebruik, circulariteit, etc.).

Innovaties zullen plaatsvinden bij het multifunctioneel integreren van de opwekfunctie van wind- en zonnestroom (ruimtelijk, functioneel, ecologisch, elektrisch, economisch, etc.), bijvoorbeeld op het raakvlak met chemie (integratie met elektrochemie, waterstof, power to gas), agro (gewasteelt en -monitoring, biodiversiteit), infrastructuur (multifunctioneel landgebruik), de creatieve sector (inpassing in het landschap, inpassing in de gebouwde omgeving, perceptieonderzoek), en de KIA Circulaire Economie (materiaalgebruik, circulariteit, etc.).

2.1.2 Windenergietechnologieën

Ondanks dat er volop windturbines in Nederland worden geplaatst is de doelstelling van 6 GW op land in 2020 niet gehaald. De toepassing van windenergie op land vereist met name verbeterde inpassing in de omgeving en maatschappelijk draagvlak. Hiervoor is het noodzakelijk om onderzoek uit te voeren naar de ontwikkeling van turbines die minder impact hebben op de leefomgeving zoals verminderde geluidsproductie en verminderde zichtbaarheid.

Windenergie speelt een sleutelrol in de energietransitie. Innovaties op het gebied van de technologie én de wijze waarop die wordt toegepast zorgen voor lagere kosten en een hogere maatschappelijke waarde en zijn daarmee essentieel voor grootschalige toepassing.

Al meer dan veertig jaar worden er windturbintetechnologieën in Nederland ontwikkeld. Het windenergie-onderzoek heeft zich de afgelopen jaren vooral gericht op de ontwikkeling van offshore windvermogen. Veel innovaties voor offshore windvermogen worden ook toegepast voor gebruik op land. Zo is ook voor onshore windenergie de grootte van de turbines toegenomen, de efficiëntie

vergroot en de robuustheid van de technologie toegenomen. Het onderzoek naar een verbeterde circulariteit van windturbines, zodat onder andere rotorbladen kunnen worden gerecycled, staat nog in de kinderschoenen.



Programmatistische aanpak

Nederland behoort op belangrijke onderdelen tot de wereldtop in onderzoek naar windturbine-technologie, windpark-technologie, onderhoud, installatie en logistiek. Ondanks dat er nauwelijks grote Nederlandse windturbinefabrikanten zijn, hebben grote buitenlandse fabrikanten vestigingen in Nederland (zoals GE, Vestas en Siemens), en zijn Nederlandse partijen belangrijke toeleveranciers van windturbinecomponenten. Er is in Nederland een grote sector bestaande uit adviesbureaus en bedrijven die zich richten op de ontwikkeling en bouw van windparken.

Doel van dit deelprogramma is het ontwikkelen van technische innovaties, proces- en systeeminnovaties en publiek engagement om de implementatie van windenergie in het buitengebied te faciliteren en te vergroten. De focus van dit deelprogramma ligt op uitdagingen die specifiek voor Wind op Land gelden en in mindere mate voor wind op zee. Het gaat hierbij met name om het ruimtelijk inpassen van windturbines, waarbij de impact op natuur en omgeving moeten worden verlaagd. Door multifunctionaliteit, esthetiek, functie-integratie, verbeterde betrouwbaarheid en veiligheid en een gereduceerde ecologische voetafdruk moet de toegevoegde waarde worden verhoogd. Een verminderde ecologische voetafdruk wordt bereikt door een meer circulair ontwerp door verminderd materiaalgebruik en toepassing van minder schaarse of schadelijke materialen, design voor recycling en het verbeteren van de recycling van de huidige generatie turbinebladen. Zie ook hoofdstuk 3.5 Circulariteit. Daarnaast moet windenergie beter worden ingepast in het energiesysteem, zie hoofdstuk 3.1 energetische inpassing

Samenwerking door stakeholders en actoren

Dit deelprogramma bouwt voort op het TKI Wind op Zee programma van de Topsector Energie en de roadmap Wind Energy van ECN part of TNO. Onderzoek voor wind op land heeft de afgelopen jaren in Nederland weinig ruimte gekregen. Maar de leden van de Nederlandse Wind Energie Associatie (NWEA) geven aan dat er grote behoefte is aan innovaties omdat de doelstellingen van de overheid anders niet worden gehaald. Belangrijke onderzoekpartners zijn TNO, KNMI, TU Delft, CWI, WUR en Rijksuniversiteit Groningen. De kennissector in Nederland werkt nauw samen met Europese kennisinstellingen via EERA en de industrie in Europa via ETIP-Wind.



2.2 DP 2a. Zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving

De laatste jaren is het aantal zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving in Nederland zeer snel gestegen. Ook het aantal zogenaamde BIPV-systemen (*Building Integrated Photovoltaics*), is aanzienlijk gestegen. In zo'n systeem worden primaire gebouwschilfunctionaliteiten zoals stijfheid en sterkte, wind- en waterdichtheid, dak- en gevelbekleding gecombineerd met de opwekking van zonnestroom. Ook bieden BIPV systemen meestal meer mogelijkheden voor volledige dakbedekking en zijn esthetisch goed in te passen.



Dak-geïntegreerde zonnestroomsystemen
(foto: AERspire/Heijmans)

In Nederland zijn verschillende (nationale en internationale) bedrijven aanwezig om deze snelgroeende markt te voorzien van mooie gebouwgeïntegreerde zonnestroom systemen. In het veldtest-laboratorium SolarBEAT van TNO Energy Transition) zijn de afgelopen jaren nieuwe producten van meer dan vijftig bedrijven getest in een praktijkomgeving, in hun laatste stap richting marktintroductie. Via het Nationaal Consortium Zon op Gebouw en de

stichting BIPV Nederland wordt meer bekendheid gegeven aan deze nieuwe en nog relatief onbekende mogelijkheid. Meer innovatie is nog nodig op de volgende gebieden: flexibiliteit in vorm, maat, kleur en transparantie tegen acceptabele kosten, bij voorkeur beschikbaar als prefab oplossing voor nieuwbouw- en renovatieprojecten.

Naast residentieel vastgoed, is er ook veel maatschappelijk vastgoed zoals overheidsgebouwen en commercieel vastgoed zoals schuren, loodsen en kantoren in Nederland beschikbaar. De implementatie van zonnestroomsystemen op residentieel vastgoed in Nederland

ontwikkelt zich heel snel, de ontwikkeling van agrarische daken loopt redelijk, maar de ontwikkeling van commerciële daken verloopt beduidend minder snel. Nu de onduidelijkheid over de salderingsregeling is wegenomen, is de belangrijkste beleidsbeperking voor residentieel vastgoed de aangepaste EPC⁴/BENG⁵-eis.

Voor het agrarisch vastgoed is de SDE+-regeling samen met de regeling voor het vervangen van asbestdaken een goede stimulans om te versnellen. Voor eigenaren van klein commercieel vastgoed is de SDE+ vaak niet toepasbaar en zijn overige stimuleringsmaatregelen onbekend of te ingewikkeld. Ook is een sluitende businesscase voor MKB-bedrijven met een kleinverbruikersaansluiting vaak lastig te maken. Voor het plaatsen van een zonnestroomsysteem op groot commercieel vastgoed (met een grootverbruikersaansluiting) is wel SDE+ beschikbaar en is de business case vaak wel te maken. Daar zijn de belangrijkste issues: split-incentives waarbij de eigenaar van het

Functionele en esthetische integratie van zonnestroomsystemen is een sleutel voor grootschalige toepassing in de gebouwde omgeving.

⁴ Energie Prestatie Coëfficiënt

⁵ Bijna Energie Neutraal Gebouw



pand niet de gebruiker is (de baten komen dan dus niet terecht bij de investeerder), onvoldoende draagvermogen van de daken van de loodsen om een zonnestroomsysteem op te plaatsen en problemen met het aansluiten aan het net. Ook wordt zon op commercieel vastgoed nu veelal pand voor pand benaderd. Een gebiedsgerichte aanpak, bijvoorbeeld per bedrijventerrein kan veel effectiever zijn. Bij elkaar opgeteld zorgen deze issues bij sommige partijen voor de perceptie dat zon op grote daken veel 'gedoe' is. Dit totaalbeeld is een remmer van groei en verdient gerichte aanpak in dit MMIP.

Een van de complexiteiten voor een snelle groei van zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving is een behoorlijk conservatieve bouwketen. Architecten willen wel, maar geven nog te vaak de voorkeur aan esthetiek zonder energieopwekking. Op dit moment zijn er voor aannemers en installateurs

De gebouwde omgeving leent zich bij uitstek voor grootschalige toepassing van zonnestroomsystemen. Het potentieel is groot en meervoudig gebruik van de ruimte is inherent.

onvoldoende incentives om aanvullende functies van het gebouw (zoals energieopwekking) in overweging te nemen. Zij beperken zich vaak tot de minimale eisen die de overheid aan gebouwen stelt (EPC, BENG). Woningcorporaties willen vanuit hun maatschappelijke functie wel graag een bijdrage leveren aan de energietransitie, maar hebben daarvoor in veel gevallen niet de financiële ruimte. Samenwerking tussen verschillende brancheorganisaties in de bouwketen is essentieel om systemen, arbeidskrachten en integraties te optimaliseren.

Stand van zaken 2021

Uit de projecten portfolioanalyse van TKI Urban Energy 2021, die alle projecten uit het topsector energie instrumentarium omvat (DEI+, HER+, MOOI, TSE-GO, PPS-toeslag) volgt dat er in de afgelopen twee 11 projecten beschikt die betrekking hebben op zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving met een subsidiebedrag van ongeveer 8 miljoen euro. Er is veel aandacht voor ontwikkeling van esthetische en geïntegreerde panelen. Innovaties voor de grotere systemen op bedrijfsgebouwen, zoals lichtgewicht systemen of kostenbesparingen op de installatie komen nog weinig terug, al is er recent een MOOI project op dit thema gestart. Met de invoering van SCOPE12 heeft de sector een belangrijke stap gezet in het waarborgen van de kwaliteit van installaties.

Samenwerking van stakeholders en actoren

Bij het ontwikkelen van innovatieve systeemcomponenten ontmoeten burgers, bouwbedrijven, installateurs, architecten, leveranciers van bouwproducten en de zonnestroomsector elkaar. Het bijeenbrengen van al deze partijen is een van de redenen geweest voor de oprichting van het Nationaal Consortium Zon op Gebouw en BIPV Nederland. Deze initiatieven zullen nadrukkelijk de samenwerking zoeken met productontwerpers in CLICK-NL, de materiaalkundigen in de KIA Circulaire Economie en partijen actief in MMIP3 (de bouw- en installatiesector). In dit deelprogramma worden systeemcomponenten ontwikkeld die in MMIP3, in integrale renovatieconcepten, worden toegepast. Voor het onderzoeken van de benodigde markt- en beleidsinnovaties wordt



nauw samengewerkt met Holland Solar, NVDE, Techniek Nederland en Bouwend Nederland.

2.2.1 Zon op woningen

Dit thema wordt in nauwe samenspraak met MMIP 3 en MMIP 5 vormgegeven

Programmatische aanpak

Om de ontwikkeling van residentiële daken verder te versnellen zal meer aandacht moeten worden gegeven aan het voorlichten van eigenaren van woningen, zal de overheid het plaatsen van een zonnestroomsysteem moeten blijven stimuleren, en zullen de 'juiste' producten op de markt beschikbaar moeten komen. Dit MMIP richt zich, samen met MMIP3, met name op dit laatste punt.

De belangrijkste innovatie-uitdagingen voor zonnestroomsystemen op woningen zijn:

A. Multifunctioneel ruimtegebruik, functie-integratie, en esthetische inpassing

Een van de belangrijkste doelstellingen bij het ontwikkelen van nieuwe zonnestroomsystemen voor in de gebouwde omgeving, is dat de zonnestroomfunctie optimaal esthetisch en functioneel wordt geïntegreerd in een bouwelement. Er worden drie fases van integratie onderscheiden:

- (1) het stapelen van de zonnestroomfunctie op een bouwelement (geen integratie),
- (2) het toevoegen van een zonnestroomlaminaat aan de buitenkant van een bouwelement (enkelvoudige integratie), en
- (3) het volledig integreren van de zonnestroomfunctie in een bouwelement (meervoudig ruimtegebruik).

De belangrijkste innovatie-uitdagingen om van fase 1 naar fase 3 te komen zijn:

- ontwerpkeuzes wat betreft de levensduur;
- materiaalgebruik;
- kleur-, textuur-, vorm- en maatflexibiliteit;
- het optimaal integreren van de opwekfunctie met klassieke functies zoals isolatie, stijfheid, sterkte, wind- en waterdichtheid;
- proceskeuzes wat betreft de productie, installatie en demontage;
- schaarste, ecologische voetafdruk en circulariteit van de gebruikte materialen.
- Ontwerpen van elektronica ((sub-)module level power electronics) om gebouw geïntegreerde PV elementen van verschillende vormen, groottes en onder verschillende schaduwomstandigheden met elkaar in strings te integreren

Zie tevens MMIP 3, versnelling energetische renovaties

B. Verlagen van de kosten en het verbeteren van de business-case

De kosten voor het integreren van de zonnestroomfunctie in een bouwelement zijn een belangrijk onderdeel van het verder verlagen van de systeemkosten (de kosten voor het produceren van cellen en laminaten zijn onderdeel van deelprogramma 1a). De



belangrijkste innovatie-uitdaging is het verlagen van de kosten voor het produceren en assembleren van het bouwdeel, inclusief zonnestroomfunctie. Daarnaast moet er aandacht zijn voor de transport en installatiekosten van het systeem, de kosten voor exploitatie en onderhoud, en de kosten voor ontmanteling en hergebruik van (onderdelen van) het systeem. In deze fase van ontwikkeling is het noodzakelijk om rekening te houden met aanloopkosten en moet worden ingeschat wat de kosten zullen zijn na de opschaling. Om de markt door de 'valley of death' te helpen en om het opschalingsproces te versnellen, moet een aantal marktstimuleringsmaatregelen worden genomen.

Voor het optimaliseren van de baten van een zonnestroomsysteem in de gebouwde omgeving, is het natuurlijk van belang dat gedurende de levensduur van het systeem zoveel mogelijk stroom wordt opgewekt (rendement, conversiefactor, levensduur). Een groot gedeelte van de hiervoor benodigde innovaties wordt ontwikkeld in deelprogramma 1a. Echter, doordat de zonnestroomfunctie wordt geïntegreerd in een bouwelement en door gedeeltelijke schaduwwerking, kan het rendement van het systeem negatief worden beïnvloed. Dat kan ook door mechanische- en thermische effecten (als gevolg van het integreren in het bouwelement), en door speciale eisen en wensen ten aanzien van de kleur, textuur, vorm- en maatflexibiliteit. Bij het ontwerpen is het dus de uitdaging om negatieve onderlinge invloeden te beperken of mitigeren, en om optimaal gebruik te maken van onderlinge invloeden die rendement of levensduur juist verhogen.

Maar de waarde van zonnestroom is niet alleen in geld uit te drukken. Het gaat bijvoorbeeld ook om de toegevoegde waarde voor de energietransitie, de waarde voor de gebruiker die onafhankelijk wil zijn van een energieleverancier, de esthetische waarde van een zonnestroomsysteem, etc. In dit MMIP wordt daarom ook gezocht naar een nieuwe manier om de waarde van zonnestroom uit te drukken en daarmee aan te tonen dat de business case van zonnestroom veel positiever is dan op dit moment in veel gevallen wordt aangenomen

C. Optimale integratie in het energiesysteem en lokale flexibiliteitsoplossingen

Omdat de stroom niet altijd wordt opgewekt op een moment dat er ook voldoende vraag is, kan het zijn dat de waarde op dat moment heel laag of zelfs negatief is, en dat er additionele kosten moeten worden gemaakt om de onbalans tussen vraag en aanbod op te vangen. Dit kan betekenen dat de zonnestroom op dat moment beter niet kan worden opgewekt (curtailment) of dat de elektriciteit het beste kan worden opgeslagen (in een batterij) of worden geconverteerd naar een andere energiedrager (bijvoorbeeld waterstof). Al deze maatregelen verhogen de kosten of verlagen de baten van het systeem. Het verlagen van de kosten van opslag en conversie zal de business case sterk verbeteren. Zie hiervoor ook doorsnijdend thema 3.1 Energetische inpassing.

En zie tevens MMIP 5, elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving. Hier wordt uitgebreid ingegaan op de wisselwerking van zonnestroomsystemen met andere apparatuur bij woningen zoals elektrische auto's, thuisbatterijen en warmtepompen via gebouwbeheersystemen. Daarbij worden zowel de technische uitdagingen als de koppeling met energiemarkten beschreven.



D. Het garanderen van de kwaliteit en (brand)veiligheid van het systeem

Om het potentieel van zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving optimaal te benutten moet een aanzienlijke versnelling van het implementatieproces worden doorgevoerd, met behoud, en waar mogelijk, verbetering van de installatiekwaliteit. In dit proces is een belangrijke rol weggelegd voor de opleidingsinstituten, namelijk door het ontwikkelen van passende opleidingscurricula en het aanbieden van voldoende opleidingsplaatsen door heel Nederland. Zie hiervoor ook doorsnijdend thema 3.3 Human Capital.

E. Integrale duurzaamheid en recycling

In het ontwerpproces en bij de materiaalkeuze moet al rekening worden gehouden met integrale duurzaamheidsaspecten zoals beschikbaarheid, herbruikbaarheid en de ecologische voetafdruk van de gebruikte materialen en het uiteindelijke systeem (design for sustainability). Zie ook doorsnijdend thema 3.5 Circulariteit. Tenslotte zullen de producten gecertificeerd moeten worden en in de meest gangbare BIM-systemen opgenomen moeten worden, zodat architecten ermee kunnen ontwerpen. Ook moeten de producten industrieel worden geproduceerd zodat de montage en installatie op de bouwplaats eenvoudig, snel en met weinig fouten verloopt.

2.2.2 Zon op utiliteitsgebouwen

Programmatische aanpak

Om het enorme potentieel van zonnestroomsystemen op utiliteitsgebouwen te kunnen benutten is het belangrijk om eigenaren van utiliteitsgebouwen te betrekken bij de energietransitie in Nederland. Informatievoorziening bijvoorbeeld in de vorm van een 'energiebericht,' kan helpen om de betrokkenheid en bereidheid om actief te participeren in dit deel van de transitie verder te vergroten.

Veel gebouweigenaren zien het investeren in een zonnestroominstallatie niet als een prioriteit bij het beheer van hun pand. Daarom wordt het merendeel van de commerciële daken ontwikkeld door projectontwikkelaars middels verhuur van het dak of middels een leaseconstructie. Een knelpunt van leaseconstructies is dat een leveringscontract voor zelfconsumptie met de gebruiker van de stroom op kWh-basis op dit moment niet is toegestaan. Door het verbruik als zelfconsumptie aan te merken hoeft er geen energiebelasting te worden betaald over de afgenomen stroom. Als dit probleem in de wet wordt opgelost zal het potentieel van grote commerciële daken veel sneller worden benut.

Verder zullen de zonnestroomsector, de installatiesector en de bouwsector veel nauwer moeten gaan samenwerken om gezamenlijk klanten te informeren over de innovatieve oplossingen die op de markt beschikbaar zijn en de voordelen die deze oplossingen bieden. Hierbij dient ook actief gezocht te worden naar koppelkansen met de verduurzaming van het gebouwenbestand. Een energetische renovatie van een gebouw opent vaak mogelijkheden voor het toepassen van een zonnestroomsysteem.



De belangrijkste innovatie-uitdagingen voor zonnestroomsystemen op utiliteitsgebouwen zijn:

A. Bevestiging van het systeem en constructieve beperkingen van het gebouw

Ook bij commercieel vastgoed met een grootverbruikersaansluiting is BIPV een relevant thema. Aanleiding om de zonnestroomfunctie te integreren in de dak- of gevelbekleding is in dit geval echter niet zozeer de esthetische kant, maar vooral om een oplossing te ontwikkelen voor daken met een beperkt draagvermogen of om het zonnestroomsysteem op goedkopere of kwalitatief betere wijze te bevestigen. Om die reden worden in dit deelprogramma innovatieve bevestigingsconstructies en installatietechnieken ontwikkeld voor losse panelen en geïntegreerde dak- en gevelelementen waarmee tevens zonnestroom kan worden opgewekt. Voor gevelelementen zijn uiteraard ook esthetische aspecten van belang.

B. Verlagen van de kosten en het verbeteren van de business-case

Voor het verder verlagen van de kosten van grote zonnestroomsystemen op daken liggen er, naast prijsdaling en rendementsverhoging van de panelen en omvormers, is het verder verlagen van de mechanische en elektrische installatiekosten belangrijk. Nieuwe installatietechnieken en onderconstructies die met behoud van mechanische stabiliteit, verbeterd gemak van installeren inclusief vereffenen, verbeterd kabelmanagement al of niet door middel van gemechaniseerd of geautomatiseerd leggen mogelijk maken, kunnen hier aan bijdragen. Ook kan een gebiedsgerichte aanpak projectkosten per pand reduceren. Door lokaal verbruik te stimuleren, bijvoorbeeld via laadpleinen voor werknemers, kan het eigen verbruik verhoogd worden en daarmee de waarde van de opgewekte stroom

C. Optimale integratie in het energiesysteem en lokale flexibiliteitsoplossingen

Op dit moment is een van de belangrijkste belemmeringen voor een versnelling van de uitrol van grootschalige zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving de aansluit- en transportcapaciteit van het elektriciteitsnet in Nederland. Met stimulerende maatregelen om zelfconsumptie, opslag en conversie te bevorderen, kan deze belemmering het snelste uit de weg worden geruimd.

Een van de belangrijkste voordelen van commercieel vastgoed met een grootverbruikersaansluiting is dat er vaak veel ruimte beschikbaar is om zonnestroom op te wekken, en dat er ter plekke ook een gebruiker van deze zonnestroom is. Een van de grootste uitdagingen bij het aanleggen van dergelijke systemen is dat het zonnestroomsysteem soms niet aangesloten kan worden, vanwege beperkte aansluit- en transportcapaciteit van het lokale elektriciteitsnetwerk - of in ieder geval dat de overtollige stroom niet aan het net kan worden geleverd op het moment dat de vraag van de gebruiker laag is of opwek heel hoog is. Een belangrijk ontwikkelthema is daarom om oplossingen te ontwikkelen om zelfconsumptie te vergroten (smart energy management) en om vraag en aanbod te kunnen ontkoppelen, bijvoorbeeld middels opslag of conversie. Een gebiedsgerichte aanpak kan ook hier grote voordelen bieden. Zie ook doorsnijdend thema 3.1 Energetische inpassing en MMIP 5.



D. Het garanderen van de kwaliteit en (brand)veiligheid van het systeem

Om het potentieel van zonnestroomsystemen in de gebouwde omgeving optimaal te benutten moet een aanzienlijke versnelling van het implementatieproces worden doorgevoerd, met behoud, en waar mogelijk, verbetering van de installatiekwaliteit. In dit proces is een belangrijke rol weggelegd voor de opleidingsinstituten, namelijk door het ontwikkelen van passende opleidingscurricula en het aanbieden van voldoende opleidingsplaatsen door heel Nederland. Zie hiervoor ook doorsnijdend thema 3.3 Human Capital.

E. Integrale duurzaamheid en recycling

In het ontwerpproces en bij de materiaalkeuze moet al rekening worden gehouden met integrale duurzaamheidsaspecten zoals beschikbaarheid, herbruikbaarheid en de ecologische voetafdruk van de gebruikte materialen en het uiteindelijke systeem (design for sustainability). Zie ook doorsnijdend thema 3.5 Circulariteit. Tenslotte zullen de producten gecertificeerd moeten worden en in de meest gangbare BIM-systemen opgenomen moeten worden, zodat architecten ermee kunnen ontwerpen. Ook moeten de producten industrieel worden geproduceerd zodat de montage en installatie op de bouwplaats eenvoudig, snel en met weinig fouten verloopt.



2.3 DP 2b. Zonnestroomsystemen in het buitengebied

Zonnestroomsystemen op grote schaal in het buitengebied plaatsen kan alleen als het systeem (1) betaalbaar is, (2) functioneel, esthetisch en ecologisch geïntegreerd is en (3) op maatschappelijk enthousiasme kan rekenen (draagvlak). Dit betekent dat er dus nieuwe concepten

Ruimtelijke en ecologische kwaliteit zijn belangrijke (randvoor)waarden bij de toepassing van zonnestroomsystemen in het buitengebied.

en oplossingen ontwikkeld en gedemonstreerd moeten worden voor het ontsluiten van nieuw areaal in Nederland en daarbuiten. Dat nieuwe areaal betreft onder andere gronden die bestemd zijn of waren voor landbouw of veeteelt, binnenwateren (inclusief het IJsselmeer) die ook gebruikt worden voor recreatie, binnenvaart en visserij, spaarbekkens die ook gebruikt worden voor opslag en zuivering van drinkwater, zandwingebieden, vuilstortlocaties, dijken, wallen, wegen, spoorbanen, bermen en geluidsschermen. Hierbij is steeds de uitdaging om de functie van stroomopwekking effectief en efficiënt te combineren met de primaire functie van het areaal (zoals landbouw, veeteelt, bescherming tegen water, geluidswering, drinkwater, wegverkeer, recreatie, etc.).

Doordat Nederland een relatief dichtbevolkt land is, is de druk op de beschikbare ruimte altijd al hoog geweest. Hierdoor is er een goede thuismarkt ontstaan voor zonnestroominnovaties op het gebied van ruimtelijke integratie en meervoudig ruimtegebruik. Sinds kort is hier een belangrijk aspect bijgekomen, namelijk de vraag hoe een zonnestroomsysteem ook ecologisch optimaal is in te passen in zijn omgeving. Wereldwijd is er nog relatief weinig kennis beschikbaar over de impact van een zonnestroomsysteem op de natuurwaarde, zowel op land als op water. Mede dankzij haar uitstekende startpositie zal Nederland, ook internationaal, een belangrijke rol spelen bij het nader invullen van dit kennishiaat. De recente vorming van de Nationale Consortia Zon in Landschap, Zon op Water en Zon op Infra, waarin vele tientallen stakeholders samenwerken op het gebied van innovatie en implementatie, is zowel uniek in de wereld als tekenend voor de integrale aanpak die ons land op dit gebied hanteert

De kosten van zonnestroom (*Levelized Cost of Electricity*, LCoE) uit grote 'standaard' zonneparken (>250 kWp) in Nederland, liggen op dit moment gemiddeld ongeveer op 60 EUR/MWh. Uit een studie van Ecofys/Navigant in opdracht van de NVDE blijkt dat deze kosten naar verwachting in 2030 zullen zijn gedaald naar 50 EUR/MWh (spreiding 40-60). Voor 2050 is het kostenperspectief ruwweg 20-30 EUR/MWh⁶.

⁶ Op basis van de verwachting dat LCoE in zonnige gebieden naar (minder dan) 10 EUR/MWh zal dalen.



Stand van zaken 2021

Uit de projecten portfolioanalyse van TKI Urban Energy 2021, die alle projecten uit het topsector energie instrumentarium omvat (DEI+, HER+, MOOI, TSE-GO, PPS-toeslag) volgt dat er in de afgelopen twee jaar 9 projecten zijn gestart gerelateerd aan zonnestroomsystemen in het buitengebied met een subsidiebedrag van ongeveer 7 miljoen euro. Een groot deel van dit bedrag gaat naar projecten waarbij de ruimtelijke en ecologische inpassing centraal staat. Dit komt tevens door de focus van de MOOI regeling in 2020. Daarnaast zijn er verscheidene projecten met het doel om de technische haalbaarheid te verhogen en de CAPEX, OPEX en/of de zogenoemde 'levelized cost of energy (LCOE) te verlagen van zonnestroomsystemen. 3 van de projecten gaat over zon op water, 5 over zon in landschap en slechts één project richt zich op zon in de infrastructuur. Daarnaast wordt geconstateerd dat circulariteit en energetische inpassing nagenoeg geen rol spelen in de beschikte projecten.

2.3.1 Zon in landschap

Op dit moment worden de meeste zonneparken in het buitengebied zodanig ontwikkeld dat het areaal alleen maar wordt gebruikt om zonnestroom op te wekken. Slechts in een beperkt aantal gevallen wordt er geëxperimenteerd met meervoudig landgebruik waarbij het areaal naast de functie van zonnestroomopwekking ook nog een andere functie heeft, zoals recreatie, landbouw of veeteelt. Er is in de markt grote behoefte aan bruikbare informatie over de relatie tussen de energieopbrengst van het zonnepark en de esthetiek, de natuurwaarde, de gewasopbrengst en het beheer. Denk aan relevante (herhaalbare) en inspirerende voorbeelden en kennis over veel verschillende zaken zoals geslaagde integratie van zonne-energie in het landschap, het proces van participatieve planvorming (hoe zijn bewoners en anderen betrokken), (randvoorwaarden voor) biodiversiteit en bodemkwaliteit en gewasgroei, mogelijkheden om CO₂-emissies uit bijvoorbeeld veengebieden te voorkomen door waterhuishouding, gebruik van duurzamere materialen voor onder andere de constructie van de zonneparken, financiële consequenties (LCOE, €/kWh) van keuzes in proces/ontwerp en beheer van zonneparken en behulpzame of juist belemmerende wet- en regelgeving.

Er is vaak sprake van tegengestelde eisen en wensen: hoge opbrengst, meervoudig landgebruik, landschappelijke inpassing, behoud of verhogen van de natuurwaarde en enthousiasme onder omwonenden. Bij de besluitvorming voor het afgeven van een vergunning is er grote behoefte aan handvatten en richtlijnen om voor specifieke locaties tot een optimale afweging te komen van deze kwaliteiten. Maar het is ook belangrijk om de keuze voor een zonnepark af te laten hangen van de locatie in plaats van de locatie zoveel mogelijk aan te laten sluiten op het geplande zonnepark.





Solarpark De Kwekerij, Hengelo (foto: Henk-Jan van der Veen)

Programmatische aanpak

De algemene doelstelling van dit deelprogramma is het ontwikkelen van methoden en technieken om landschappelijk geïntegreerde zonnestroomparken te realiseren, om investeringskosten te verlagen en zowel de als maatschappelijke waarde van het zonnestroomsysteem te verhogen.

De belangrijkste innovatie-uitdagingen voor het ontwikkelen van zonnestroomsystemen in het landschap zijn:

A. Kostenreductie en het verbeteren van de business case

Voldoende lage (netto) kosten van zonnestroom zijn een voorwaarde voor het realiseren van een aantrekkelijke business case en voor grootschalige toepassing van 'zon in landschap'. Een deel van de benodigde kostenreductie voor zonnestroomsystemen in het landschap wordt gerealiseerd door de ontwikkeling van innovatieve

Het buitengebied biedt grote mogelijkheden voor toepassing van zonnestroomsystemen met maatschappelijk enthousiasme, als de vele mogelijkheden voor integratie en functiecombinatie worden benut.

zonnestroomtechnologieën zoals beschreven in deelprogramma 1a, aangevuld met bifacial paneeltechnieken en zon-volgtechnieken. Een ander deel is echter direct gekoppeld aan de specifieke toepassingsvorm en wordt daarom in dit deelprogramma beschreven. Belangrijke onderzoeksvragen in dit deelprogramma zijn: Wat zijn optimale systeemontwerpen? Hoe kan de energieopbrengst worden gemaximaliseerd binnen de randvoorwaarden van esthetiek, natuurwaarde, meervoudig ruimtegebruik, duurzaamheid, etc.? Er zal speciale aandacht worden besteed aan het ontwikkelen van een eenduidige methodiek om meervoudige businesscases te evalueren. Hoe kan de waarde van opgewekte stroom worden gemaximaliseerd door bijvoorbeeld combinaties met windenergie, energieopslag, -conversie en/of -management, door modificaties aan



het systeemontwerp, door directe koppeling met afnemers of het leveren van (betaalde/financieel gewaardeerde) ecosysteemservices? Wat zijn optimale strategieën voor onderhoud en beheer van het zonnestroomsysteem? Hoe kunnen de kosten voor installatie worden teruggebracht door bijvoorbeeld toepassing van robots?

B. Multifunctioneel ruimtegebruik en functie-integratie

Het streven is om een zonnestroomsysteem waar mogelijk juist een positieve ruimtelijke impact te laten hebben. Onderzoeksvragen betreffen onder meer: Welke andere functies met meerwaarde zijn mogelijk en op welke schaal? Hoe kunnen agrarische ondernemers produceren in combinatie met de opwekking van zonnestroom (eventueel tijdelijk)? Welke mogelijkheden zijn er om tegelijkertijd de natuurwaarde en de biodiversiteit te vergroten (zie ook volgende paragraaf)? Welke functiecombinaties kunnen worden gemaakt met waterbeheer en waterbuffering?

Het realiseren van aansprekende en representatieve proef- en voorbeeldprojecten vormt een essentieel onderdeel van dit deelprogramma. Dit kan echter alleen door inclusief te ontwerpen waarbij zoveel mogelijk rekening wordt gehouden met het kunnen uitvoeren van de andere functies op het areaal. Het is daarom essentieel om al tijdens het ontwerpen nauw samen te werken met de andere gebruikers van het areaal om uiteindelijk tot een goed ontwerp te komen. Succesvolle concepten waarbij meerwaarde praktisch is aangetoond zullen als icoonprojecten worden gepresenteerd. Zie ook doorsnijdend thema Energielandschappen

Het is mogelijk om het zonnepark zo veel mogelijk aan het oog te onttrekken of om het zonnepark esthetisch zo te ontwerpen dat het optimaal past in zijn omgeving. Denk hierbij aan het gebruik van kleur, afbeeldingen, nieuwe ritmes of juist afwisseling. Een nauwe samenwerking tussen ontwikkelaars van nieuwe technologieën, productontwerpers en landschapsarchitecten is essentieel om tot een passende oplossing te komen. Hierbij wordt nadrukkelijk de samenwerking gezocht met CLICKNL, stimuleringsfonds CI, BNA en landschapsarchitecten.

Er dient ook aandacht besteed te worden aan het concept tijdelijkheid: voor hoe lang wordt een zonnepark en de bijbehorende netinfra verwacht te bestaan? Is het mogelijk semi-verplaatsbare installaties te ontwikkelen? Wat is de invloed hiervan op het maatschappelijk draagvlak?

Behalve optimale ruimtelijke en ecologische inpassing op een bepaalde locatie is ook de locatiekeuze zelf een belangrijk thema. Daarbij spelen de al dan niet beschikbare netinfrastructuur en de capaciteit daarvan, de eventuele aanwezigheid van gebruikers, van windturbines, etc. een rol. 'Optimale integratie' vraagt dus een aanpak langs verschillende dimensies. Het afwegen van zeer verschillende waarden en belangen vraagt een kader dat nog niet kant-en-klaar beschikbaar is, maar waaraan inmiddels door verschillende partijen wordt gewerkt met de RES's en NP RES als belangrijke spelers.

C. Biodiversiteit en natuurwaarde optimalisatie



De natuurwaarde rond het zonnestroomsysteem moet zo min mogelijk negatief beïnvloed worden en het streven is zelfs om een positieve impact op de natuurwaarde hebben. De invloed van het systeem op de belichting en bewatering eronder en op de biodiversiteit en bodemkwaliteit zijn van groot belang. Een relevante definitie van 'natuurwaarde' zal moeten worden opgesteld en vertaald naar meetbare eigenschappen. Daarbij horen ook het opstellen toepassen van meetprotocollen (voor en na installatie) om het effect op de natuurwaarde te bepalen. Langjarige monitoring van zonneparken met variaties in systeemontwerpen, arealen en natuurbeheerstrategieën, zal uiterst waardevolle en bruikbare informatie opleveren. Speciale aandacht dient uit te gaan naar cumulatieve effecten op ecologie. Van windparken en zonneparken op dezelfde plek, of van nabijgelegen andere zonneparken of windparken. Op dit moment is hierover nog weinig kennis beschikbaar maar in dit MMIP wordt een groot gedeelte van de hiervoor benodigde kennis gegenereerd. Nu de eerste projecten op dit thema van start zijn gegaan wordt duidelijk dat een gedegen ecologieprogramma het projectniveau overstijgt. Er is behoefte aan langjarig programma met zekere financiering. Dit geldt niet alleen voor zon in landschap, maar ook voor zon op water, zon op infra waar het groene bermen en dijken betreft en wind op land. Het WOZEP (Wind op zee ecologisch programma) kan daarbij als voorbeeld dienen.

D. Energetische inpassing

Op dit moment is een belangrijke belemmering voor een versnelling van de uitrol van grootschalige zonnestroomsystemen in Nederland de aansluit- en transportcapaciteit van het elektriciteitsnet. Met stimulerende maatregelen om opslag en conversie te bevorderen, kan deze belemmering het snelste uit de weg worden geruimd. In doorsnijdend thema 3.1 wordt hier uitgebreid op ingegaan. Voor zon in landschap is speciale aandacht nodig voor het spanningsveld tussen ruimtelijke integratie en energetische inpassing. Een keuze voor extensieve parken met ruimte voor natuur gaat gepaard met een lagere paneeldichtheid, relatief hogere grondkosten en vaak wordt voor een zuid-opstelling gekozen op de opbrengst per paneel te optimaliseren. Dit leidt echter tot hogere productiepieken dan bijvoorbeeld een oost-west opstelling. Een integrale afweging van deze factoren is belangrijk om tot het juist systeemontwerp te komen

E. Integrale duurzaamheid en recycling

Het zonnestroomsysteem moet van een zo hoog mogelijke kwaliteit zijn, waarbij strenge eisen worden gesteld aan materiaalkeuzes (zo min mogelijk schaarse materialen gebruiken) en aan circulariteit (de gebruikte materialen moeten zo veel mogelijk herbruikbaar zijn). Hiervoor wordt nadrukkelijk de samenwerking gezocht met de KIA Circulaire Economie. Daarnaast dient bij het ontwerpen van het zonnestroomsysteem ook aandacht te worden besteed aan veiligheid, robuustheid en betrouwbaarheid. In het MMIP zullen bestaande normen en certificeringseisen als uitgangspunt worden genomen of, indien nog niet beschikbaar, zal worden bijgedragen aan de totstandkoming ervan, zodat concreet kan worden gewerkt aan de ontwikkelingen en innovaties die nodig zijn eraan te voldoen.

F. Maatschappelijke draagvlak



Alle bovenstaande integratie-aspecten zijn van belang om enthousiasme te creëren en te behouden bij alle betrokken partijen (grondeigenaar, beheerder, projectontwikkelaar, exploitant, omwonenden, etc.). Het is van groot belang dat alle informatie op de juiste manier met alle betrokkenen wordt gecommuniceerd en dat betrokkenen invloed kunnen uitoefenen op het ontwerp van een park. Dit zou bijvoorbeeld middels co-creatiesessies kunnen worden gedaan. Het ontwikkelen van de juiste communicatie-strategieën om alle betrokkenen optimaal te betrekken in het proces en enthousiast te krijgen en te behouden is ook onderdeel van dit MMIP. Ondanks aandacht in het programma en het bijbehorende instrumentarium voor dit thema blijkt het in de praktijk weerbarstig om burgers te enthousiasmeren voor hernieuwbare opwek projecten in het buitengebied. Er is behoefte aan succesverhalen en voorbeeldprojecten die betrokkenen kunnen inspireren.



Samenwerking van stakeholders en actoren

Een groot aantal partijen die op dit moment actief zijn (of willen worden) op het gebied van zonnestroomparken in het landschap, hebben recent hun krachten gebundeld in het Nationaal Consortium Zon in Landschap (een initiatief van ECN part of TNO). Dit netwerk van organisaties bestaat uit partijen uit de platina vierhoek van bedrijven (projectontwikkelaars, adviseurs, ontwerpers, financiële instellingen, etc.), kennisinstellingen (op het gebied van duurzame energie, landschap en natuur), NGO's (brancheorganisaties, natuur- en milieuorganisaties, landbouworganisaties, etc.) en overheidsinstellingen (landelijk, regionaal en lokaal). Dit nationale consortium heeft als doel om de grootschalige toepassing van zonne-energie in Nederland te ondersteunen. Dit doet het door te stimuleren dat de integratie van zonne-energie in het landschap als ontwerpogave wordt gezien en door ervoor te zorgen dat de uitvoering ervan zorgvuldig en verantwoord – met bewoners en andere stakeholders – plaatsvindt. Het consortium doet dit onder meer door kennisdeling en communicatie, door het ontwikkelen van nieuwe kennis, door het uitwisselen van best practices en het opzetten van innovatieprojecten. Het consortium staat open voor elke partij die deze doelen onderschrijft en vormt een uitstekende basis voor het verder uitwerken en uitvoeren van dit deel van het MMIP.

Voor het succesvol implementeren van dit deelprogramma is een nauwe samenwerking tussen de zonnestroomsector, verschillende land- en tuinbouworganisaties, netwerkbeheerders, opstellers van wet- en regelgeving en de creatieve industrie essentieel. Daarom zal bij het uitvoeren van dit programma nadrukkelijk de samenwerking worden gezocht met MMIP5 en MMIP13, met Netbeheer Nederland, met LTO Noord en Zuid, en met CLICK-NL, de TKI van de Topsector Creatieve Industrie. De RES-regio's en het ondersteuningsprogramma NP-RES vormen ook een belangrijk netwerk om innovaties op het gebied van zonnepark ontwerp, ontwikkeling en



participatie te laten landen. Daarnaast zal op het gebied van materiaalissues en circulair ontwerpen de samenwerking worden gezocht met de Kennis & Innovatie Agenda Circulaire Economie.

2.3.2 Zon op water

Japan en China lopen wereldwijd voorop ten aanzien van het aantal geïnstalleerde drijvende zonnestroominstallaties en het cumulatief geïnstalleerd vermogen van drijvende zonneparken. Deze systemen zijn veelal gebouwd op ondiepe wateren met weinig golven. Nederland loopt daarentegen voorop als het gaat om innovatieve systemen voor moeilijkere wateren (wat betreft golf- en windbelasting), en in onderzoek naar aspecten zoals ecologie, waterkwaliteit en multifunctionaliteit. De oprichting van het Nationaal Consortium Zon op Water heeft hier een grote bijdrage aan geleverd en zal zorgen dat Nederland zich snel verder zal ontwikkelen op dit gebied.



Drijvend zonnepark op zandwinplas, Tynaarlo (foto: Groenleven)

Inmiddels is er in Nederland voor meer dan 100 MWp aan commerciële drijvende zonnestroomprojecten gerealiseerd. Daarnaast wordt er in een groot aantal pilotprojecten (ongeveer 300 kWp) in korte tijd veel kennis opgedaan over de prestatie van diverse configuraties van drijvende zonnestroomsystemen, en over de interactie van deze systemen met hun omgeving. De pijplijn voor drijvende projecten bedraagt meer dan 500 MWp. De ambitie is om in 2023 voor meer dan 2 GWp aan drijvende zonnestroominstallaties in Nederland te hebben geïmplementeerd⁷.

In het programma 'Hernieuwbare Energie op Rijksgronden' heeft Rijkswaterstaat, in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, samen met de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en het Rijksvastgoedbedrijf (RVB) een tiental arealen aangewezen voor uitgifte voor zonne-energieprojecten. Drie daarvan zijn

⁷ Bron: Nationaal Consortium Zon in Landschap



drijvende projecten. De uitgifte daarvan zal leiden tot een nieuwe boost voor drijvende zonne-energie in Nederland. Daarnaast is er een toenemende aandacht voor initiatieven zoals zonne-energie op het IJsselmeer en in het Markerwadden gebied.

Programmatische aanpak

De waterbeheerders binnen het Nationaal Consortium Zon op Water hebben in 2018 op eigen kosten een studie laten uitvoeren naar de vergunbaarheid van drijvende zonneparken in Nederland. Dit heeft geleid tot een ‘Handreiking Vergunningverlening’ die inmiddels door de betrokken overheden wordt gehanteerd.

Verdere ontwikkeling van deze markt en technologie geeft goede perspectieven voor de export (‘Nederland waterland’). In dat kader is het van belang om in Nederland het voortouw te nemen met bijvoorbeeld Zon op IJsselmeer en uiteindelijk ook Zon op Zee. Afgelopen jaar werd een belangrijke mijlpaal bereikt met het realiseren van het eerste testsysteem op de Noordzee. Daarnaast is in een recente tender van het windpark Hollandse kust Noord opgenomen dat er een demonstratie zonnestroomsysteem van minimaal 500 kWp gerealiseerd zal worden tussen de windmolens. Er lopen op dit moment veel ontwikkelingen rond Zon op water, zowel op binnenwateren als op zee. Er is nauwe samenwerking tussen MMIP1 en MMIP2 op dit thema om deze stap van binnenwater naar *offshore* goed te kunnen maken. Dit uit zich door regelmatige kennisuitwisseling tussen TKI Wind op Zee en TKI Urban Energy en het actief verbinden van de verschillende stakeholders, bijvoorbeeld in het Zon op Water consortium.

Een nuttige parameter om de voortgang van dit deelgebied te volgen is de golfslagcategorie (GC). De meeste ervaring is nu opgedaan op GC1; wateren met relatief weinig golfslag en windbelasting. Bepaalde technologieën voor GC1 zijn nu bancaire financierbaar te noemen, alhoewel er nog veel mogelijkheden zijn om verdere verbeteringen door te voeren. Voor GC2 zijn de eerste pilotstudies gedaan, die tot veel leerervaringen, maar nog niet tot een bewezen concept, hebben geleid. Het onderzoek voor GC3 (bijvoorbeeld IJsselmeer) en GC4 (zee) staat nog in de kinderschoenen. Onderstaande figuur toont een prognose van de TRL-ontwikkeling per golfslagcategorie voor Zon op Water.

TRL		Jaar															
		2017	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32
Golfslagcategorie	1	8			9												
	2	5	6	7	8		9										
	3	3	4		5		6	7	8		9						
	4	2		3	4		5		6	7	8			9			

Er is systematisch en modelmatig onderzoek nodig om tot grootschalige uitrol van zon op water te komen, en om tot een routekaart Zon op Zee te komen. De belangrijkste innovatie-uitdagingen voor het ontwikkelen van drijvende zonnestroomsystemen zijn:

A. Verlagen van de kosten en het verbeteren van de business case



Er zijn enkele eerste onderzoeksresultaten bekend over de opbrengstverschillen op water vergeleken met zonnestroomsystemen op land. Het uiteindelijke doel is om vanuit ontwerp en locatie de opbrengst te kunnen voorspellen. En andersom: om het ontwerp te kunnen optimaliseren naar opbrengst en locatie. Het gaat daarbij om instraling, albedo effect, koeling, vervuilingaspecten en de effecten van golfbewegingen op de opbrengst. Andere uitdagingen wat betreft de betaalbaarheid van zon op watersystemen zijn de kosten van logistiek, transport, installatie en onderhoud.

B. Multifunctioneel ruimtegebruik en functie-integratie

Drijvende zonneparken kunnen een bijdrage leveren aan het tegengaan van verdamping en vervuiling van het water, en daardoor multifunctionele meerwaarde leveren. Een andere optie is de combinatie met algen- of oesterteelt. Ook kan gedacht worden aan beluchting van het water om de groei van blauwalg tegen te gaan. Hierbij zijn verankering, drijfvermogen, transparantie, kustbeveiliging, ruimte voor waterrecreatie, scheepvaart, visserij, etc. van belang. Omgevingsveiligheid en ruimte voor andere functies zijn hier cruciaal.

C. Biodiversiteit en natuurwaarde verhogen

Daarnaast zal onderzoek moeten worden uitgevoerd naar de effecten van drijvende zonneparken op de ecologie en de waterkwaliteit en naar het natuurinclusief ontwerpen van zonneparken op water. Door atol-achtige zandeilanden om zonneparken heen te leggen, hoeven ze minder bestendig te zijn tegen golven en ijsschuif en wordt een beschermde habitat voor vogels en vissen gecreëerd. Dit is van groot belang voor het maatschappelijke enthousiasme voor zon op water op korte termijn en voor de vergunbaarheid van dergelijke parken op de iets langere termijn. Waterbeheerders hebben aangegeven dat het van groot belang is om kennis te ontwikkelen over de wisselwerking tussen drijvende zonnestroomsystemen en de aquatische ecologie. Zonder deze kennis kan niet goed getoetst worden of een drijvend zonnepark passend is binnen de geldende beheerrichtlijnen. Dit is een belemmering voor verdere groei van zon op water. Een start is gemaakt door in 2020 een meetadvies voor drijvende zonneparken te ontwikkelen en voor onderzoeksprojecten in te zetten. Ook hier is een langjarig ecologieprogramma met zekere financiering noodzakelijk.

D. Levensduur, betrouwbaarheid en robuustheid verhogen

Over de levensduur en betrouwbaarheid van drijvende zonnestroomsystemen is nog relatief weinig bekend in vergelijking met toepassing op land en gebouwen. Simulaties, versnelde testen en veldopstellingen zijn noodzakelijk om verdere kennis te ontwikkelen over mogelijke faalmechanismen die zich specifiek voordoen voor zon op water.

E. Integrale duurzaamheid en circulariteit

Daarnaast is de verbetering van de circulariteit van de systemen een onderzoeksthema (zowel design for recycling als het ontwikkelen van een recyclingproces). Voor alle



zonnestroomtoepassingen geldende circulariteitsvraagstukken zijn uiteengezet in doorsnijdend thema 3.5. Voor zon op water is echter specifieke aandacht voor circulariteit nodig met betrekking tot de drijvers en het voorkomen van uitlogen en oplossen van stoffen uit het systeem in het aquatisch milieu.

Samenwerking van stakeholders en actoren

Het Nationaal Consortium Zon op Water (een initiatief van TNO en RWS) bevordert innovatie en implementatie van zonnestroomsystemen op of in binnenwateren en uiteindelijk ook op zee, met maatschappelijk enthousiasme en oog voor ecologische waarden als belangrijke randvoorwaarden. Het Nationaal Consortium Zon op Water streeft ernaar om projecten te initiëren en uit te laten voeren zodat ...

- ... Nederland zich ontwikkelt tot wereldwijd leider op het gebied van innovatie, kennisontwikkeling en -disseminatie en implementatie van drijvende zonnestroomsystemen;
- ... Innovatie, kennisontwikkeling en -disseminatie en de implementatie van zonnestroomsystemen op of in het water in Nederland worden versneld (2GWp in 2023).

Binnen het Nationaal Consortium Zon op Water werken overheden (nationaal, regionaal, en lokaal), belangenorganisaties, kennisinstututen, eigenaren en beheerders van water, projectontwikkelaars, adviseurs, installateurs en ingenieurs, investeerders en netbeheerders samen aan een versnelling van innovatie en implementatie van zon op water in Nederland. In de uitvoering zal het Nationaal Consortium Zon op Water zo veel mogelijk de samenwerking opzoeken met vergelijkbare nationale consortia zoals het NC Zon op Infra, Zon in Landschap, en Zon op Gebouw.

Verschillende stakeholders met verschillende invalshoeken zijn vertegenwoordigd. Zij worden meegenomen in de ontwikkelingsrichting van de innovatie en de uitrol. Dit betreft financieel-economische aspecten, maar ook ecologie, ruimtelijke kwaliteit en maatschappelijk draagvlak.

Het is van belang om deze niet-financiële waardecomponenten te vertalen in adequate stimuli richting de markt, zie de bespreking in Hoofdstuk 4.



2.3.3 Zon op infra

De fysieke infrastructuur biedt een groot, maar tegelijk divers en vaak complex potentieel aan oppervlak voor de plaatsing van zonnestroomsystemen. 'Functiecombinatie' en 'integratie' zijn inherent aan dit segment, aangezien de primaire functie van de infrastructuur altijd behouden moet blijven. Op dit moment wordt de toepassing vooral gekenmerkt door pilots en demonstraties; grootschalige uitrol moet feitelijk nog van start gaan.

De oprichting van het Nationaal Consortium Zon op Infra is bedoeld om in dit segment snelheid en volume te realiseren. Enkele in het oog springende voorbeelden van toepassingen zijn: geluidschermen met zonne-energie zoals langs de A50 (Solar Highways), zonneparken in de berm van weg- en railinfrastructuur zoals langs de A37 en de A6, wegdek met zonnestroomfunctie zoals bij Krommenie, Spijkenisse en Schiphol, overkappingen van onder andere parkeerplaatsen met zonnestroom-opwekfunctie zoals bij de Beatrix International Airport op Aruba en zonneparken op stortplaatsen, dijken en wallen zoals bij Middelburg.



Proefvak SolaRoad bij Spijkenisse

Programmatiese aanpak

Zon op Infra richt zich specifiek op zonnestroomsystemen in en langs rail-, weg- en waterwegen (inclusief geluidschermen), overkappingen van onder andere parkeerplaatsen met een zonnestroom-opwekfunctie en zonnestroomsystemen op dijken, wallen en vuilstortplaatsen. Bij Zon op Infra worden twee sectoren gecombineerd die tot nu toe (praktisch) gescheiden opereren.

Een raakvlak tussen beide sectoren is ook de laadvoorziening voor rijden op elektriciteit en waterstof. Deze nieuwe laadvoorzieningen zullen extra energie-infrastructuur nodig hebben, zoals zware elektriciteitskabels naar de elektrische oplaadpunten. Door bij de weg- en waterwegen ook zonnestroomsystemen te plaatsen, zal het mogelijk zijn om de zware elektriciteitskabels dubbel te gebruiken: voor het afvoeren van zonnestroom en voor het toevoeren van stroom voor het laden van voertuigen. Een ander voorbeeld is een zonnestroomsysteem langs een vaarweg, waarbij stroom wordt omzet in waterstof die kan worden geleverd aan binnenvaartschepen. Daarmee heeft MMIP 2 raakvlakken met de MMIP's 9 en 10 (over duurzame mobiliteit).

Voor grootschalige implementatie van Zon op Infra zal een reeks aan juridische aspecten aan de orde komen en moeten worden aangepast. Verder is van belang dat overheden, als beheerders van infrastructuur of mobiliteitsproviders, ook enablers worden van duurzame energieopwekking. Hiervoor zullen nieuwe kaders en een (financieel)



instrumentarium moeten worden ontwikkeld en getoetst. Maatschappelijke legitimatie is daarbij gelegen in het efficiënt gebruik van de openbare ruimte en de maatschappelijke waarde van de openbare ruimte.

Zon op Infra-oplossingen realiseren de opwekking van duurzame stroom door dubbel gebruik van het oppervlak, dus zonder een beslag te leggen op schaarse ruimte. Als de kosten aanvaardbaar zijn, kunnen deze oplossingen naar verwachting bijna zeker rekenen op maatschappelijk enthousiasme. De uitdaging ligt vooral in de verdere ontwikkeling van technologie gericht op ontwerp, productie, aanleg en installatie van betaalbare, robuuste en betrouwbare oplossingen met een lange levensduur. Kostprijsverlaging wordt onder andere bereikt door een beheerste vraaggroei zodat schaalgrootte wordt bereikt. Het uitvoeren van praktijktesten zijn cruciaal in dit proces.

A. Verlagen van kosten en het verbeteren van de business case

Optimaliseren van de businesscase met oog voor de wensen, eisen en randvoorwaarden die volgen uit de primaire functie van de betreffende infrastructuur, zoals geluidswering, waterkering, afdekking, esthetiek, ecologie, interactie met omliggende natuur, etc. Een gedoseerde toename van de marktomvang zal leiden tot integrale kostprijsverlagingen en een groeiend aantal innovatieve toepassingscategorieën en ontsloten locaties. Op basis van deze aanpak zal Zon op Infra dan ook snel interessant worden voor projectontwikkeling en private projectfinanciering. Echter: bij deze toepassing zal het niet alleen maar om kosten gaan; andere maatschappelijke waarden zijn van doorslaggevend belang. Daarom is er behoefte aan een andere vorm van businesscase-ontwikkeling gebaseerd op financiële en niet-financiële parameters.

B. Multifunctioneel ruimtegebruik en functie-integratie

Voor toepassing van zonnestroomsystemen in de infrastructuur gelden hoge eisen aan het mede ruimtegebruik. De primaire functie van de betreffende infrastructuur mag niet in het geding komen. Voor systemen in bermen gelden met name ecologische en esthetische integratie. Voor systemen in bijvoorbeeld geluidsweringen dient ook rekening gehouden te worden met de gewijzigde geluidswaerkaatsing door de panelen. En voor integratie binnen het voor voertuigen berijdbare terrein, in het wegdek of als overkapping gelden hoge eisen op alle vlakken.

C. Levensduur, betrouwbaarheid en robuustheid verhogen

Het verlengen van de levensduur van het systeem door het verminderen van de kwetsbaarheid voor externe invloeden. Belangrijkste innovatie-uitdagingen hierbij: het beperken van levensduur-verkortende omstandigheden zoals mechanische belasting (bij gebruik in het wegdek), corrosie (waterdichtheid), thermische belastingen (koeling), en vandalisme.

D. Het garanderen van de kwaliteit en veiligheid van het systeem

Het garanderen van de veiligheid bij installatie en gebruik. Zo moet de veiligheid van weggebruikers worden geborgd, bijvoorbeeld door het voorkomen van hinderlijke



lichtreflectie (schittering) door de zonnepanelen. Ook moet de betrouwbare werking worden geborgd van huidige en toekomstige (IT)-systemen langs de rail-, weg- en waterwegen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan detectielussen en matrixborden. Deze systemen mogen geen hinder ondervinden van de elektrische en magnetische velden die zonnestroomsystemen kunnen opwekken. Ook de veiligheid van gebruikers en hulpdiensten bij calamiteiten is van groot belang. Voor het zonnewegdek is het belangrijk dat de remweg niet langer wordt, dat de afwatering goed is en dat het bandengeluid niet toeneemt.

Samenwerking van stakeholders en actoren

De energietransitie zal in toenemende mate ook een ruimtelijk vraagstuk worden, waarin de diverse geledingen van de maatschappij een rol zullen spelen, denk aan wonen, landbouw, recreatie etc. Zon op Infra is een ruimte-efficiënte oplossing door meervoudig gebruik van oppervlak. Dit kan een belangrijke bijdrage leveren aan de ruimtelijke implicaties van de energieopgave. Voor de betrokken bedrijven is de maatschappelijke meerwaarde de reden om in deze technologie te investeren. Dat geldt ook voor overheden die hiermee experimenteren, ervaring opdoen en de mogelijkheid bieden voor proefprojecten en pilots.

In Zon op Infra komen meerdere sectoren bij elkaar (zie ook vorige paragraaf) die samen vormgeven aan een functioneel geïntegreerde oplossing. De samenwerking op dit snijvlak vraagt andere, nader te ontwikkelen spelregels dan in elk van de sectoren afzonderlijk gebruikelijk is. De ontwikkeling van deze samenwerking bevindt zich nog in een vroeg stadium. Het nationaal consortium Zon op Infra speelt een belangrijke rol in het verbinden van alle betrokken partijen en het gezamenlijk ontwikkelen van de juiste oplossingen.

Het Nationaal Consortium Zon op Infra (een initiatief van SEAC en RWS) is een samenwerkingsverband van (nationale, regionale, en lokale) overheden, bedrijven, kennisinstellingen en belangenorganisaties. Een belangrijke activiteit van het consortium is het initiëren en uitvoeren van innovatieprojecten waarbij de opwekking van zonnestroom wordt geïntegreerd in de infrastructuur. Hierbij is het van belang om samen beter en gericht kennis te delen rondom de technische, economische en juridische mogelijkheden van (geïntegreerde) zonne-energiesystemen in de publieke infrastructuur.



2.4 DP 2c. Windparken in het buitengebied

De gemiddelde kosten (LCoE) van stroom uit windparken op land in Nederland lagen in 2019 op ongeveer 65 EUR/MWh (spreiding 54-86). Deze kosten zijn grofweg als volgt opgebouwd:

- ontwikkelingskosten: 2,5 EUR/MWh;
- financieringskosten: 7 EUR/MWh;
- participatiekosten: 1 EUR/MWh;
- investeringskosten: 44 EUR/MWh;
- operationele kosten: 15 EUR/MWh;
- ontmantelingskosten: 1,5 EUR/MWh.

Innovaties in technologie en toepassing ondersteunen de uitrol van wind op land, met behoud van maatschappelijk enthousiasme.

De verwachting is dat deze kosten in 2030 zijn gedaald tot 40-60 EUR/MWh en in 2050 tot 30-50 EUR/MWh.

Opschaling, efficiënter onderhoud en bedrijfsvoering, verlenging van de levensduur, en slimmere netaansluitingen vormen de belangrijkste drivers voor deze kostprijsreductie. De voornaamste methode om een lokale kostenbesparing te realiseren, is het aanbesteden van uitgewerkte projecten. Dat verlaagt de aanloopkosten namelijk, omdat initiatienemers hierdoor minder voorbereidingskosten hebben en de onderlinge concurrentie wordt aangewakkerd.

Het is wel belangrijk dat er een tender wordt uitgeschreven gericht op de laagste projectkosten (en niet op hoogste grondopbrengst), en dat er geen plankosten in rekening worden gebracht, want dit geeft een goede prikkel om de plankosten laag te houden. Wind en Zon samen tenderen levert ook een kostprijsreductie op. De inpassing in de omgeving (denk aan geluid en zicht) kan worden verbeterd door turbines stiller te krijgen. Tegelijkertijd kan de productie per turbine worden vergroot, ook bij lagere windsnelheden. Voor het verhogen van de maatschappelijke acceptatie van windparken moeten nieuwe participatiemodellen ontwikkeld worden.



Windturbines in de Wieringermeer



Bij de plaatsing van windturbines op land is omgevingsveiligheid van groot belang. Op dit vlak worden in de windenergiesector geen concessies gedaan. De faalfrequentie, de kans dat een windturbine-onderdeel geheel of gedeeltelijk losraakt, kan sterk worden verbeterd met nauwgezet onderzoek. Hiermee kan de omgevingsveiligheid nog nauwkeuriger worden geborgd. Een mogelijkheid is het in de praktijk in kaart brengen van de faalfrequenties per model windturbine. Stillere turbines zijn ook belangrijk om de beschikbare ruimte optimaal te gebruiken. Ontwerp van bladtechnologie voor stillere turbines vereist aerodynamisch onderzoek en de demonstratie van innovaties. Overigens is de geluidspropagatie sterk afhankelijk van de atmosferische situatie (windrichtingsprofiel, stabiliteit van de atmosfeer, etc.).

Vanwege de exponentiële toename van de energieopbrengst bij een toenemende rotordiameter, worden windmolens steeds groter en hoger. Inmiddels komen nieuwe windmolens ruim boven de 200 meter tiphoogte uit. Daarmee worden ze ook meer zichtbaar in het landschap. Ruimtelijke inpassing is essentieel voor grootschalige implementatie van windenergie op land. Windparken hebben invloed op sommige vogel- en vleermuissoorten, zowel direct (slachtoffers die worden geraakt door turbines) als indirect (aantasting van de leefomgeving). Vanwege een gebrek aan kennis over diverse soorten, onderkennen diverse partijen dat het een uitdaging is om natuur en de energietransitie met elkaar in evenwicht te brengen. Veel onderzoek is nog nodig om de landschaps- en natuurwaarde in relatie tot windmolens op waarde te schatten. Wat betreft de inpassing van windparken in de luchtvaart, spelen zowel obstakelverlichting als radarverstoring een grote rol. Bij turbines met een tiphoogte boven de 150 meter is obstakelverlichting voor de luchtvaart verplicht. De rode nachtverlichting leidt op veel plekken tot weerstand bij de omgeving. Het gevolg is dat overheden regelmatig hoogtebeperkingen opleggen, zodat windprojecten niet hoger worden dan 150 meter waardoor er (veel) minder efficiënte turbines kunnen worden geplaatst. Die hoogtebeperking zorgt voor een veel lagere energieopbrengst, een slechtere businesscase en suboptimale benutting van geschikte windlocaties.

Windturbines kunnen verstoring teweegbrengen bij de weerradars, bij andere meetinstrumenten van het KNMI en bij de radarsystemen die de luchtverkeersleiding en Defensie gebruiken om het Nederlandse luchtruim te controleren. Verbetering van de radardekking op Nederlands grondgebied is daar de oplossing voor. Er worden om die reden al nieuwe radarstations gebouwd. Mogelijke knelpunten die er in de toekomst kunnen ontstaan moeten nader geïnventariseerd worden. Onduidelijkheid over de indeling van het luchtruim leidt tot vertraging in de besluitvorming over windparken en leidt ook tot vermindering van het te realiseren vermogen door minder en/of lagere turbines.

Het verkrijgen van vergunningen voor een windpark op land kost meestal veel tijd en expertise. De besluitvorming is vaak traag en niet transparant, ook voor de omwonenden. Anterieure afspraken met het bevoegd gezag en onduidelijkheid over de verantwoording van de te heffen leges spelen hier ook mee. De regionale energiestrategieën (RES'en) en het daaropvolgende proces waarbij overheden locaties aanwijzen en vaststellen middels provinciale en gemeentelijke omgevingsvisies (POVI's en GOVI's), omgevingsplannen en omgevingsvergunningen spelen hier een belangrijke rol bij.



Door de groei van de windsector neemt het gebruik van grondstoffen sterk toe. Het is belangrijk dat de beschikbaarheid van deze grondstoffen in de toekomst geborgd is, en dat zij op een verantwoorde manier gewonnen, verwerkt en gerecycled worden. Om dit te realiseren is inzicht nodig in de keten; waar zitten de risico's?

Om het potentieel van windenergie in het buitengebied te benutten zijn begrip van de interactie tussen mens, omgeving, natuur en techniek en het benutten van bijbehorende innovaties essentieel.

Momenteel wordt hiermee door de windsector een begin gemaakt middels een convenanttraject. In dit traject wordt, onder leiding van de SER, de voortbrengingsketen in kaart gebracht. De turbines moeten zodanig worden ontworpen dat recycling en hergebruik worden vergemakkelijkt. Op dit thema zal samenwerking gezocht moeten worden met sectoren die met gelijke materialen werken en tegen vergelijkbare problemen in de keten aanlopen. Levensduurverlenging vereist goede kennis van de beschikbare levensduur van componenten na een lange gebruiksperiode. Monitoringtechnologie in combinatie met modellen voor veroudering zijn daarvoor essentieel.

Stand van zaken 2021

De afgelopen twee jaar zijn er nauwelijks innovatieprojecten gestart op dit thema binnen nationale innovatieregelingen. Dat betekent niet dat er helemaal geen innovatie plaatsvindt, omdat veel innovaties vanuit het wind op zee domein ook voor wind op land bruikbaar zijn. Maar knelpunten die typerend zijn voor wind op land, zoals maatschappelijk enthousiasme, blijven hiermee ongeadresseerd. Het aanjagen van een innovatie ecosysteem voor wind op land is noodzakelijk om de gewenste voortgang te boeken.

Programmatische aanpak

De belangrijkste innovatie-uitdagingen voor windparken op land zijn:

A. Kostenreductie en het verbeteren van de business case

Kostprijsreductie moet op alle aspecten worden bereikt – van planning, installatie en operatie tot recycling. Daarbij spelen maatschappelijke uitdagingen, technologieontwikkeling en inpassing in het energiesysteem belangrijke en samenhangende rollen. Voor de investeringskosten zijn met name aansluiting, fundatie en turbinekosten belangrijk. Er is onderzoek nodig voor innovaties aan turbines door gebruik van nieuwe technologie en materialen. Operationele kosten zijn vooral gerelateerd aan onderhoud en bedrijfsvoering. Innovaties voor een effectieve monitoring en betere inschatting van onderhoudsbehoeften leidt tot het verminderen van onderhoudsactiviteiten. Er is nog veel onderzoek nodig naar het verbeteren van procedures voor het uitvoeren van onderhoud en het introduceren van technologie zoals robotica voor onderhoud op afstand en autonoom onderhoud. Ook onderzoek naar de effecten voor de LCOE van innovatieve onderhoudsoplossingen (die nu al in de markt te vinden zijn) is van belang om te kiezen voor de meest kostprijsreducerende oplossingen



en de uitrol daarvan. Er is systematisch en modelmatig onderzoek nodig naar levensduurverlenging van turbines en naar een efficiënte methode om LCOE te verlagen.

B. Maatschappelijke draagvlak

Tijdens de ontwikkelfase is er regelmatig weerstand tegen windenergie. Zodra definitief besloten is dat er windmolens komen te staan of zodra ze zijn gebouwd, neemt de zichtbare weerstand af. Er zijn signalen dat de weerstand daadwerkelijk afneemt, maar dit is nooit systematisch onderzocht. De vraag is dus: neemt de weerstand daadwerkelijk af? En zo ja, wat is daarvan de oorzaak? Leggen mensen zich er (morrend) bij neer of vinden ze de overlast uiteindelijk toch meevallen? Daarnaast is er grote behoefte aan het meten van de effectiviteit van de verschillende in gebruik zijnde participatiemodellen. In hoeverre verbeteren zulke modellen de acceptatie daadwerkelijk? Welke vorm van participatie leidt daadwerkelijk tot de hoogste acceptatiegraad en zijn hier regionale of anderszins ruimtelijke verschillen bij te herleiden? Hierbij gaat het zowel om planparticipatie- als om financiële participatie, of om een combinatie daarvan. De uitkomsten van dergelijk onderzoek kunnen goed gebruikt worden voor het ontwikkelen van nieuwe participatiemodellen.

C. Kwaliteit en veiligheid

Er is systematisch en modelmatig onderzoek nodig naar veiligheidsaspecten:

- cyber security en veiligheid van het energiesysteem;
- veiligheid van personeel en het aanscherpen van handleidingen;
- veiligheid van de omgeving van de windturbine.

Ook is onderzoek nodig naar de veiligheid van werken in de windsector. In 2019 is voor het eerst een arbo-catalogus opgeleverd, specifiek gericht op veilig werken in de windsector. In die catalogus worden maatregelen beschreven die de kans op een ongeval zoveel mogelijk verkleinen en er wordt aangegeven welke beheersmaatregelen relevant zijn in het geval dat er toch een ongeval plaatsvindt. Grondige evaluatie van de effectiviteit van de beschreven maatregelen strekt tot de aanbeveling. Daarnaast is belangrijk om te weten of de arbo-catalogus daadwerkelijk in de praktijk wordt gebruikt. Onderzoek naar de toegankelijkheid en gebruiksvriendelijkheid van de arbo-catalogus kan van grote waarde zijn voor het gebruik ervan.

In 2019 is ook het Handboek Omgevingsveiligheid Windturbines herzien. Door gebrek aan middelen is de vernieuwing zeer oppervlakkig gebleken en kon de input van een expertgroep slechts in zeer beperkte mate worden omgezet in een beter handboek. Grondig onderzoek en een investering in een verbeterd handboek leiden tot een significant betere inschatting van risico's voor de omgevingsveiligheid en daarmee tot een wezenlijk betere beoordeling of een locatie al dan niet geschikt is voor het plaatsen van een windturbine.

Er dient onderzoek te worden uitgevoerd naar de indeling van het luchtruim en de impact van windturbines op vlieggedrag van vliegtuigen. Daarnaast moet met de



luchtverkeersleiding en Defensie onderzocht worden wat oplossingen zijn om het Nederlands luchtruim goed te kunnen blijven controleren als er meer windparken worden gebouwd.

D. Reduceren van geluidshinder

Turbines zijn de afgelopen jaren al veel stiller geworden, maar er is nog veel ontgonnen gebied op het vlak van technische innovatiemogelijkheden. Voor stillere turbines en meer aerodynamische add-ons op bladen zijn nieuwe ontwerpen van bladen nodig. Dat vereist aerodynamisch onderzoek en de demonstratie van innovaties. Ook is onderzoek vereist om bij steeds grotere rotorbladen en bij lagere windsnelheden steeds grotere capaciteitsfactoren te krijgen zonder vergroting van de geluidshinder. Naast het stiller maken van de turbines, is er onderzoek nodig om geluidscontouren van windparken verder te minimaliseren. Dit kan door middel van sector management (curtailment als functie van de windrichting, gebruikmakend van de richtingsafhankelijkheid van het windturbinegeluid) en door control-maatregelen om de geluidsvariaties in de tijd te reduceren.

E. Ruimtelijke inpassing

Windturbines worden steeds groter en hoger vanwege de exponentiële toename van de energieopbrengst bij het toenemen van de rotordiameter. Inmiddels komen nieuwe windmolens ruim boven de 200 meter tiphoogte uit. Daarmee worden ze ook meer zichtbaar in het landschap. Steeds vaker speelt deze 'hoogte-angst' een rol bij de discussie over windenergieprojecten. Vanwege het grote belang van een hoge capaciteitsfactor voor de kostprijzreductie, is het noodzakelijk om goede afwegingen te maken tussen de hoogte en de maatschappelijk geaccepteerde ruimtelijke inpassing. Naar de relatie tussen de hoogte van windturbines en de beleving hiervan in het landschap is nog nagenoeg geen onderzoek gedaan, en dat is wel hoognodig. Vragen die hierbij spelen zijn:

- Welke aspecten bepalen de perceptie van een windturbine en hoe zijn deze gerelateerd aan de dimensies van de windturbine?
- In welke landschapstypen heeft het bestaande onderzoek plaatsgevonden en in hoeverre heeft dit invloed op de beleving van schaal?
- Wat zijn de relevante landschapstypen van Nederland voor dit vraagstuk?
- Van welke Nederlandse landschapstypen is iets bekend over de relatie tussen hoogte en perceptie van windturbines en waar ontbreekt nog kennis?

Zie ook doorsnijdend thema Energielandschappen.

F. Ecologische inpassing

Onderzoek naar diverse diersoorten (zoals verspreiding en gedrag) is nodig, om regelgeving aan te kunnen scherpen, maar ook om ervoor te zorgen dat de wettelijk vereiste verzamelde data uniform genoeg is voor wetenschappelijk onderzoek, en om de kosten voor monitoringseisen omlaag te brengen. Om dit te bewerkstelligen is de ontwikkeling van een landelijk dekkend systeem om vogels en vleermuizen te monitoren nodig, evenals de monitoring van mortaliteit, verstoring en barrièrewerking van soorten bij windturbines. Daarnaast is er veel te winnen aan innovatieve oplossingen om vogels



en vleermuizen bij turbines uit de buurt te houden en aanvaringen te voorkomen. Ook ondersteuningsprogramma's zijn nodig om de natuur(wetgeving) en de energietransitie voor de komende periode goed samen te laten gaan. Beide helpen zowel locatiemogelijkheden van plaatsing van windturbines te vergroten als de mortaliteitsgraad van desbetreffende soorten te verlagen. Speciale aandacht dient uit te gaan naar cumulatieve effecten op ecologie. Van windparken en zonneparken op dezelfde plek, of van nabijgelegen andere zonneparken of windparken.

G. Obstakelverlichting

Er moet nader onderzoek worden verricht naar het mitigeren van de impact van windmolens op omwonenden. Dit betreft zowel onderzoek naar technische oplossingen als innovaties op het gebied van wet- en regelgeving. Deze onderzoeken moeten gekoppeld zijn aan demonstratieprojecten van nieuwe mogelijkheden op full-scale turbines, in combinatie met monitoring van de impact op omwonenden. Daarnaast is onderzoek naar oplossingen buiten Nederland en internationale afstemming en -ontwikkeling broodnodig, vanwege de gevolgen voor het vliegverkeer bij (en draagvlak bij de luchtvaart voor) aanpassing van de regelgeving.

H. Integrale duurzaamheid en circulariteit

Ontwikkel inzicht in de supply chain met betrekking tot de beschikbaarheid van materialen. Er is nader onderzoek nodig naar alternatieve leveranciers of materialen om arbeidsomstandigheden bij de ontginning van de benodigde delfstoffen te verbeteren, en om depletie van delfstoffen te voorkomen. Dit is niet iets dat vanzelf door marktpartijen wordt opgepakt, omdat er momenteel een race to the bottom gaande is, mede ingegeven door het huidige overheidsbeleid en ontwikkelingen bij Wind op Zee. Onderzoek naar recycling van windturbines, met name de bladen, en naar design for circularity waarbij componenten een nieuwe levenscyclus krijgen in een volgende turbine, zijn van belang in het kader van de voetafdruk van wind op land, maar ook voor een kostprijsreductie. Levensduurverlenging verlaagt ook de kostprijs en vereist extra onderzoek naar de beschikbare levensduur van componenten na een lange gebruiksperiode. Monitoring van technologie in combinatie met modellen voor veroudering zijn daarvoor essentieel.

Samenwerking van stakeholders en actoren

In het deelprogramma 'Windparken in het buitengebied' komen meerdere sectoren bij elkaar die samen vorm moeten geven aan een functioneel geïntegreerde oplossing. Bij de ontwikkeling van windparken op land moet met een aantal aspecten rekening worden gehouden: de benodigde subsidie zal in toenemende mate moeten afnemen, er is systeemintegratie nodig om het windvermogen op het energiesysteem aan te sluiten, en het ruimtelijke vraagstuk moet worden geadresseerd. Diverse geledingen van de maatschappij spelen hierbij een rol. De ontwikkeling van de windsector op land levert economische activiteit en werkgelegenheid op met meerwaarde voor het bedrijfsleven. Technische en sociale ontwikkelingen vinden plaats in samenwerking met bedrijfsleven, maatschappelijke organisaties, onderzoeksinstituten en universiteiten.



2.5 DP 2d. Overige opties hernieuwbare elektriciteitsopwekking

Hoewel wind- en zonne-energie naar verwachting mondiaal en in Nederland een hoofdrol zullen spelen in de energietransitie, zijn er ook andere opties die een bijdrage kunnen leveren en economische kansen bieden. Op dit moment is dit feitelijk beperkt tot biomassa (bij- en mestook), wat geen thema is in dit MMIP. Op langere termijn zouden echter misschien ook andere technologieën een significante bijdrage kunnen leveren. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om *blue energy* (bijvoorbeeld *salinity gradient electricity generation*), *ultra high altitude wind energy* (bijvoorbeeld vliegers) en ultradiepe geothermie. Deze bevinden zich momenteel in een vroeg stadium van ontwikkeling en hebben een laag tot zeer laag TRL. In het recent opgeleverde rapport 'stroom uit water' door TNO zijn de technische potentiëlen voor 8 opwektechnieken met water onderzocht, enkele hiervan hebben ook betrekken op binnenwateren. Op basis van dit onderzoek is geconcludeerd dat de potentiëlen klein zijn in verhouding tot zon en wind en is besloten deze opwektechnieken slechts beperkt te ondersteunen.

We blijven op zoek naar nieuwe bronnen op land en in de gebouwde omgeving (naast zon en wind) voor duurzame elektriciteitsopwekking.

Voor andere opwektechnieken zoals vliegers of diepe geothermie zijn zowel de potentiëlen als de technische haalbaarheid nog erg onduidelijk en onzeker. Ook deze technieken worden slechts beperkt ondersteund.

Jaarlijks wordt dit deelprogramma herijkt op basis van de nieuwste inzichten en worden eventuele veelbelovende technieken geagendeerd.

Stand van zaken 2021

De afgelopen twee jaar zijn er nauwelijks innovatie projecten gestart binnen dit deelprogramma in nationale innovatieregelingen. Er zijn enerzijds weinig partijen actief en anderzijds is ervoor gekozen dit thema uit te sluiten bij de MOOI-regeling 2020, de grootste onderzoek en ontwikkel regeling voor hernieuwbare opwek, om focus en massa te creëren.



Proefinstallatie 'blue energy' op de Afsluitdijk (foto: Fujifilm)



3 Doorsnijdende thema's

Stand van zaken 2021

Uit de projecten portfolioanalyse van TKI Urban Energy 2021, die alle projecten uit het topsector energie instrumentarium omvat (DEI+, HER+, MOOI, TSE-GO, PPS-toeslag) volgt dat er in de afgelopen twee jaar drie projecten zijn gestart waarin een doorsnijdende thema centraal staat. Hiermee is een totaal subsidiebedrag gemoeid van 1.038.195 uit de PPS toeslag en de TSE regeling. Dit gaat om nieuwe datagedreven weersvoorspellingen waarmee het zon- en windopbrengst inzichtelijk gemaakt kan worden en de ontwikkeling van circulaire zonnepanelen. Het thema systeemintegratie in de gebouwde omgeving, waar opwek deel van uit maakt, komt ook in MMIP 5 aan bod. Op dat thema zijn het afgelopen jaar een aantal grote projecten vanuit de MOOI-regeling gestart, met een subsidiebedrag van ca 30 miljoen. Daarnaast is er in 2021 de MOOI-SIGOHE regeling opengesteld met een budget van 13 miljoen euro. Deze regeling richt zich specifiek op inpassing van grootschalige hernieuwbare opwek.

3.1 Inpassing in het energiesysteem

Het is een gezamenlijke verantwoordelijkheid van wind- en zonnestroomproducenten en netwerkbeheerders om de gewenste grootschalige implementatie van dergelijke hernieuwbare opweksystemen te faciliteren.

Hernieuwbare opwek door zon en wind speelt en groeiende rol in de elektriciteitsvoorziening. Daardoor ontstaan economische kansen en nieuwe businessmodellen, maar er moeten ook barrières worden geslecht. Bijvoorbeeld wat betreft de aansluit- en transportcapaciteit van het Nederlandse elektriciteitsnet en de afstemming van aanbod (opwekking/levering) en vraag. Deze problemen moeten deels door de netbeheerders worden opgelost, maar de zonne- en windenergiesectoren kunnen zelf ook bijdragen

aan het ontwikkelen van oplossingen. Een belangrijke innovatievraag is welke oplossingen kunnen bijdragen aan het beperken van de benodigde aansluitingscapaciteit van zonne- en windparken, het verbeteren van de inpassing in het energiesysteem en het verhogen van de waarde van de opgewekte stroom. Door stroom te leveren op momenten dat er veel vraag is, wordt de waarde van de opgewekte stroom in zijn algemeenheid hoger. Zo heeft de configuratie van een zonnepark (zuidgeoriënteerd versus oost-west georiënteerd) invloed op de tijden van opwekking en daarmee op de waarde van de zonnestroom. Ook het combineren van zonnestroomparken met windparken, met de voorspelling van opwekking (*forecasting*), het terugregelen van vermogen (*curtailment*), elektriciteitsopslag en conversie naar andere energiedragers (*Power to X*), kan bijdragen aan kostenverlaging of waardeverhoging. Waar mogelijk kan het direct (dat wil zeggen lokaal) koppelen van vraag en aanbod interessant zijn, zoals bij (langgerekte) systemen in de verkeersinfrastructuur en in het algemeen bij toepassing in de gebouwde omgeving.



Extra aandacht is nodig voor de rol van *power electronics* in het mogelijk maken van de gewenste aansturingen en conversies.

Een van de argumenten om zonne-energie decentraal op gebouwen op te wekken is dat daarmee het aanbod dichtbij de vraag wordt gebracht waardoor investeringen in het elektriciteitsnet beperkt worden. Als het aantal elektrische auto's in onze samenleving verder toeneemt en er warmtepompen worden gebruikt voor de verwarming van gebouwen, dan ontstaat er in de tijd een grote onbalans tussen opwekking en verbruik. Vraagsturing, andere oriëntaties van PV-systemen, batterijen op gebouw- of wijkniveau of bi-directioneel gebruik van autobatterijen, kunnen een gedeelte van de onbalans oplossen. Maar of daarvoor een business case ontstaat, hangt sterk af van variabele tariefstellingen en vergoedingen, en daarmee van beleid en marktinstrumenten. Iets soortgelijks geldt voor maatregelen om de onbalans over seizoenen heen op te lossen, zoals grootschalige opslag of conversie naar andere energiedragers. De voorliggende innovatievraag betreft het identificeren en optimaal combineren van al deze oplossingen, onder meer met het oog op kosten en betrouwbaarheid. Dit vraagstuk vraagt om een integrale benadering van opwek én inpassing van hernieuwbare opwek.

Bij alle hiervoor genoemde onderwerpen spelen digitalisering, ICT en het verzamelen, analyseren en gebruiken van (*big*) data een centrale rol. Het energiesysteem, inclusief het *smart grid* van de toekomst, ontleent zijn werking, veiligheid en betrouwbaarheid in belangrijke mate aan de complexe en stuurbare interactie tussen opwekking, transport, conversie, opslag en gebruik van energie, op decentraal en centraal niveau. Vanuit dit MMIP zal daarom nauw worden samengewerkt met (minimaal) de MMIP's 1, 5 en 13. Het 'onderwerp energetische inpassing van zonnestroom in de gebouwde omgeving' is opgenomen in MMIP 5, deelprogramma's 2 en 4. Het betreft zowel oplossingen op gebouwniveau als op wijkniveau. Binnen MMIP 2 gaat de focus met name uit naar grootschalige opwek in het buitengebied en op grote daken.

Programmatistische aanpak

Inzet flexibiliteit voor (tijdelijk) verlagen van (piek)belasting elektriciteitsnet
Flexibiliteitsoplossingen kunnen worden ingezet om piekproductie van een wind- of zonnepark te verminderen, waardoor deze met een kleinere aansluiting gerealiseerd kan worden. Elektriciteitsoverschotten kunnen verkleind worden via *curtailment* (het tijdelijk verlagen van de opwek), opslag van elektriciteit of conversie naar een andere energiedrager, zoals waterstof of warmte. Inmiddels zijn er diverse projecten op dit vlak opgestart en gerealiseerd. Het is nu van belang om de diensten op grotere schaal uit te bouwen en te implementeren. De demonstratie en implementatie van nieuwe flexibiliteitsoplossingen – curtailment, opslag en conversie – is nodig om aan te tonen hoe dit kan bijdragen aan verbeterde aansluitmogelijkheden met behoud van economisch rendement. Vervolgens is het belangrijk om onderzoek te doen naar publieke acceptatie van deze verschillende oplossing. Er is bijvoorbeeld nog weinig bekend over acceptatie van opslag en waterstof.

Cable pooling

Cable pooling maakt het mogelijk om nabijgelegen wind- en zonneparken slim te koppelen: de energiebronnen worden dan op één netaansluiting aangesloten. Het



aansluiten van meerdere leveranciers op één aansluiting is in Nederland sinds 2018 toegestaan. Cable pooling is nog geen algemeen geaccepteerde en breed toegepaste oplossing. Er komen allerlei technische, organisatorische, juridische en financiële aspecten bij kijken. Zeker wanneer er sprake is van twee of meer eigenaren van de installaties op één aansluiting. Inmiddels zijn er wel diverse inspirerende projecten opgestart en gerealiseerd. Verdere ontwikkeling, demonstratie en implementatie is nodig om cable pooling bredere bekendheid te geven en beter te laten aansluiten op de wensen van gebruikers. Daarbij is aandacht nodig voor het achterliggende businessmodellen, bijvoorbeeld op het vlak van financiële garanties en risico's.

Elektrische opslagsystemen

Toepassing van elektrische opslagsystemen in een gebouw (thuisbatterij) maakt het mogelijk om een gebouw enkele uren tot zelfs dagen van elektriciteit te voorzien. Zo wordt het mogelijk om minder afhankelijk van het elektriciteitsnet te worden, piekverbruik te verlagen en zelfconsumptie te verhogen. Toepassing van batterijen bij grootschalige hernieuwbare opwek maakt het mogelijk om de invoeding op het net te verplaatsen van piekuren met hoge opwek naar daluren met weinig opwek. Hiermee wordt de waarde van de opgewekte energie vergroot en kan een kleinere netaansluiting gebruikt worden. Op technisch vlak is er behoefte aan de doorontwikkeling van deze opslagsystemen op het vlak van de interoperabiliteit van het batterijsysteem, de eenvoud van installatie en ingebruikname en de veiligheid van het systeem. Ook integratie van batterijen op module niveau is daarbij een interessante mogelijkheid. Met een opwek-opslag combinatie kan het aantal vollast-uren op de aansluiting op het elektriciteitsnet in potentie flink verhoogd worden. Hier dient een integrale afweging te worden gemaakt welke configuraties tot de laagste maatschappelijke kosten leiden (zie volgende thema). De ontwikkeling van nieuw opslagmaterialen en -technologieën is geen onderdeel van dit MMIP.

Nieuwe kaders voor inzet flexibiliteit bij hernieuwbare opwek

Bij het aansluiten van een zon- of windpark verkennen netbeheerders of het elektriciteitsnet voldoende ruimte biedt om de binnen een project opgewekte elektriciteit te transporteren. Dat betekent echter niet dat de elektriciteitsnetten continu overbelast zijn. Diverse ontwikkelaars van hernieuwbare opwekprojecten geven aan dat zij bereid zijn om (geautomatiseerd) hun opwek real-time tijdelijk terug te schakelen om de elektriciteitsnetten te ontzien, als dit kan betekenen dat zij hun project toch kunnen aansluiten. Dit wordt nu tegengehouden door de wettelijke kaders.

Die transitie vraagt echter om nieuwe oplossingsrichtingen, verdienmodellen en afsprakenstelsels. Zie ook deelprogramma 2.1 van MMIP 5 voor een bredere beschrijving van de onderzoeksvragen op dit gebied. Een belangrijk aandachtspunt voor succes is dat verschillende (soms tegenstrijdige) operationele, maatschappelijke en economische belangen van netbeheerders en projectontwikkelaars voldoende op elkaar zijn afgestemd.

Stakeholders & actoren

De stakeholders van dit deelprogramma zijn zeer divers en begeven zich in verschillende marktsegmenten. Het betreft lokale afnemers en opwekkers van energie, ontwikkelaars en exploitanten van hernieuwbare opweksystemen waaronder energiecoöperaties,



ontwikkelaars en exploitanten van laadinfrastructuur en ontwikkelaars en exploitanten van stationaire batterijsystemen. Verder spelen dienstenleveranciers een rol, zoals aggregators voor de inzet van flexibiliteit en netbeheerders voor de behoefte aan deze flexibiliteit. Verschillende sectoren worden door de energietransitie aan elkaar gekoppeld, waar die voorheen maar weinig met elkaar te maken hadden. Denk hierbij aan de raakvlakken die ontstaan tussen de auto-industrie, elektriciteitsleveranciers, IT-bedrijven en OEM'ers (Original Equipment Manufacturers).

3.2 Energielandschappen

Het Nederlandse landschap is van oudsher een productielandschap, dat op grote schaal is ingezet voor de productie van voedsel en het ontginnen van grondstoffen. Dit bestaande productielandschap gaat de komende jaren sterk veranderen. De winning uit hernieuwbare energiebronnen moet flink worden opgeschaald om de Europese klimaatdoelstellingen te behalen. Verschraving van landbouwgrond en afname van biodiversiteit vraagt om nieuwe vormen van voedselproductie. Tegelijkertijd neemt de behoefte aan natuurrecreatie toe. Dit alles legt een grote claim op de landschappelijke inrichting van Nederland en vraagt meer ruimte dan beschikbaar is in ons land. De complexiteit van de transitieopgave van het landschap is dan ook groot.

Economische, technologische, maatschappelijke, cultuurlandschappelijke en ruimtelijke aspecten grijpen sterk op elkaar in. Dat maakt een nieuwe, meer integrale aanpak noodzakelijk, waarin organisaties uit diverse sectoren samenwerken. Koppeling van verschillende opgaven en multifunctioneel landgebruik kunnen tot nieuwe inzichten leiden.

Het streven is om opwekinstallaties waar mogelijk juist een positieve ruimtelijke impact te laten hebben. Onderzoeksvragen betreffen onder meer: Welke andere functies met meerwaarde zijn mogelijk en op welke schaal? Hoe kunnen agrarische ondernemers produceren in combinatie met de opwekking van zonnestroom en windenergie (eventueel tijdelijk)? Welke mogelijkheden zijn er om tegelijkertijd de natuurwaarde en de biodiversiteit te vergroten. Welke functiecombinaties kunnen worden gemaakt met waterbeheer en waterbuffering?

Door actief op zoek te gaan naar koppelkansen met andere maatschappelijke uitdagingen in het buitengebied ontstaan nieuwe mogelijkheden. Hierbij kan gedacht worden aan de verwachte groei van kringlooplandbouw, het reduceren van de stikstofuitstoot rond natuurgebieden en CO₂-emissiereductie in veengebieden. Hoe kunnen win-winsituaties worden gecreëerd? Het realiseren van aansprekende en representatieve proef- en voorbeeldprojecten vormt een essentieel onderdeel van dit doorsnijdende thema. Dit kan echter alleen door inclusief te ontwerpen waarbij zoveel mogelijk rekening wordt gehouden met het kunnen uitvoeren van de andere functies op het areaal. Het is daarom essentieel om al tijdens het ontwerpen nauw samen te werken met de andere gebruikers van het areaal om uiteindelijk tot een goed ontwerp te komen. Succesvolle concepten waarbij meerwaarde praktisch is aangetoond zullen als icoonprojecten worden gepresenteerd.



3.3 Digitalisering

Digitalisering vormt een belangrijke *enabler* voor de energietransitie, maar op onderdelen ook een aandachtspunt. Hierbij zien we onder meer de volgende uitdagingen en oplossingsrichtingen:

- *Veiligheid*: Ontwerprichtlijnen, bewustwording bij installateurs, gerichte innovaties stimuleren. Onder veiligheid valt ook installatiekwaliteit en het tegengaan van interferentie van omvormers.
- *Betrouwbaarheid*: Opleiden en bewustwording voor kwaliteit creëren bij installateurs, onderzoek naar faalmechanismen, inzicht in risico's, kennisdeling en samenwerking op internationaal vlak. Voor het managen van de toenemende complexiteit moet er ook steeds meer aandacht zijn voor de ontwikkeling van controle- en monitoringssystemen.
- *Voorspelling*: Ruimte bieden aan ontwikkeling en demonstratie van *forecasting*-technologie. Bundelen van stromen satellietdata, meteodata, weermodellen, klimaatverandering, resource assessment (wind en zon), *realtime* netwerk- en verbruiksgegevens, onder meer om energieproductie en -vraag effectief en optimaal af te stemmen.
- *Ontwerp en visualisatie*: Ontwikkeling van ontwerptools en het gebruik van visualisatiesoftware stimuleren. Het opzetten van verbindingen tussen de zonne- en windenergiesectoren, de creatieve industrie en ontwikkelaars van ontwerptools.
- *Metten*: Toepassing van onder meer *remote* en *realtime* meettechnieken.
- *Intelligente componenten*: Door intelligentie op component niveau toe te voegen kunnen systemen ontwikkeld worden die veiliger zijn, beter energetisch inpasbaar zijn en een hoger opbrengt hebben. Zie ook deelprogramma 1a.

3.4 Kwaliteit en veiligheid

Het Nederlandse energiesysteem kent een hoge standaard op het gebied van veiligheid en betrouwbaarheid. De transitie naar hernieuwbare opwekking met energie uit zon en wind dient te gebeuren in het licht van deze hoge standaard. Op het gebied van veiligheid is brandontwikkeling bij zonnestroomsystemen een aandachtspunt. Kennisontwikkeling is nodig op het gebied van het begrijpen van faalmechanismen, kwaliteitscontrole en foutdetectie, early warning methodes en het realiseren van intrinsieke veiligheid door bijvoorbeeld het onderzoeken van alternatieve dakisolatie materialen en systeemshakelingen. Door intelligentie op het niveau van individuele zonnepanelen te ontwikkelen is een veiligheid nog beter te waarborgen.

Ook bij het verder integreren van zonnestroomsystemen met andere typen ruimtegebruik is aandacht voor veiligheid nodig. Bij integratie in de infrastructuur gaat dit bijvoorbeeld om het voorkomen van schittering van panelen en het garanderen van elektrische veiligheid voor personen bij beschadigingen door bijvoorbeeld verkeersongevallen of werkzaamheden. En ook bij het openstellen van zonneparken voor recreatie of (wilde) dieren is het belangrijk te onderzoeken hoe dit veilig kan.



Vergelijkbare veiligheidsvraagstukken doen zich voor bij het toenemende gebruik van grootschalige batterijsystemen

Op dit moment is er behoefte aan het doen van vooronderzoek waarin wordt uitgezocht wat de mogelijke problemen zijn. Dit zou moeten resulteren in een handboek veiligheid en zonering voor geïntegreerde systemen van hernieuwbare opwek naar het voorbeeld van windenergie

Betrouwbaarheid gaat in de context van het energiesysteem vooral om een hoge leveringszekerheid. Door het variërende aanbod dat inherent is aan zon en wind zal het toekomstige energiesysteem er volledig anders uit gaan zien dan de goed regelbare centrale opwek door kolen- en gascentrales. Betrouwbaarheid is niet alleen afhankelijkheid van de zonnestroom- en windenergiesystemen, maar ook van de inpassing in het grotere energiesysteem. MMIP5 en MMIP13 richten zich specifiek op deze onderwerpen.

Binnen de zonnestroom- en windenergiesystemen is innovatie gewenst op verbeterde opbrengstmodellen. Het is belangrijk dat er betere verwachtingen komen aan de hand van meteorologische parameters, zodat er meer zekerheid is over de te verwachte opbrengsten voor de korte, middellange en lange termijn én per locatie. Ook veranderingen ten gevolge van klimaatverandering moeten daarin worden meegenomen. Daarbij is monitoring ten behoeve van validatie (en ontwikkeling) van de modellen noodzakelijk.

Gegevens over opbrengst van zonnestroomsystemen zijn nu versnipperd en bij vele eigenaren ondergebracht. Een opensource database van systeemopbrengsten kan snel inzicht geven in (afwijkende) systeemprestaties en daarmee foutdetectie versnellen.

3.5 Human Capital

De komende jaren zal de vraag naar arbeidskrachten met specifieke competenties voor de wind- en zonne-energiesectoren enorm toenemen. De uitdaging is om deze werkgelegenheid in een internationale markt te vullen en om Nederlandse arbeidskrachten met een hoogwaardige opleiding daarin een belangrijke rol te laten vervullen. Gezien het algehele tekort aan technisch personeel in ons land, en de beperkte opleidingscapaciteit op alle onderwijsniveaus, is dit geen vanzelfsprekendheid. Voeg hier het innovatieve en uitdagende karakter van de wind- en zonne-energiesectoren aan toe, en de omvang van de uitdaging wordt duidelijk. Technische opleidingen in Nederland zullen moeten opschalen en zich moeten voorbereiden op toekomstige ontwikkelingen in nauwe samenwerking met het bedrijfsleven om aan de toekomstige vraag naar gekwalificeerde arbeidskrachten te kunnen voldoen. Gebeurt dit niet, dan zullen werkgelegenheid en economische activiteiten worden ingevuld door mensen en bedrijven uit omringende landen en zal de kennis op den duur verdwijnen. De energietransitie zal in dat geval door een tekort aan personeel worden vertraagd. Het opstellen van, en investeren in, een sectorbrede Human Capital Agenda is van groot



belang om de beschikbaarheid van voldoende arbeidskrachten ook in de toekomst te borgen.

Voor een duurzame elektrificatie van ons energiesysteem zijn onder andere de volgende competenties nodig:

- Het ontwerpen van multifunctionele gebouwschillen en gebouwenergiesystemen (met opwekking, opslag/conversie en gebruik);
- Het ontwikkelen van energiemanagement-oplossingen en het faciliteren van het gebruik van big data uit duurzame elektriciteitsopwekkingssystemen;
- Het combineren en integreren van zon- en windtechnieken met opslag- en conversietechnieken;
- Het installeren van zowel elektrotechnische als bouwtechnische oplossingen (E-instalateur + aannemer/ bouwvakker);
- Het vormgeven van multifunctionele ruimtelijke inpassing van energietechnieken en het ontwerpen van energielandschappen;
- Het verbinden van (onder meer) elektrotechniek, mechanica (stijfheid en sterkte), materiaalkunde en productontwerp;
- Over de grenzen van een sector heen kunnen kijken en waardeketens kunnen hervormen.
- Het automatiseren en robotiseren van installatiewerk om het aantal benodigde arbeidsuren te reduceren

Hierbij zullen we tegen de volgende uitdagingen aanlopen:

Uitdaging 1: Aangepaste opleidingscurricula om experts op te leiden met bovengenoemde capaciteiten → aanpassen bestaande curricula en opzetten nieuwe opleidingscurricula

Vanuit de sector zal een werkgroep moeten worden opgericht om de bovengenoemde capaciteiten te expliciteren. Daarna moet in overleg met roc's, hogescholen en universiteiten worden bepaald wat er in de opleidingscurricula moet worden gewijzigd om dit te faciliteren.

Uitdaging 2: Optimale aansluiting van opleidingen aan behoeften van bedrijven → opleidings- en stageplaatsen

Het ontwikkelen van een passend opleidingscurriculum is de verantwoordelijkheid van opleidingsinstituten, maar de vragende partij, de bedrijven, bepalen of zij het goed hebben gedaan. Om de opleidingsinstituten van de juiste feedback te kunnen voorzien, zullen de bedrijven opleidings- en stageplaatsen moeten aanbieden of anderszins actief moeten participeren in het onderwijs zodat de kwaliteit van de opleiding getoetst kan worden. Ieder moet dus zijn verantwoordelijkheid in deze keten moeten nemen, met de branchevereniging als regisseur.

Uitdaging 3: Omscholing experts uit andere sectoren → taskforce omscholing

Om de energietransitie te kunnen laten slagen zijn er heel erg veel vakmensen nodig. Die kun je niet alleen maar werven uit de pool van nieuwe toetreders (lees: jongeren die beginnen op de arbeidsmarkt). Er zal dus ook actief geworven moeten worden in andere sectoren. Met behulp van *mass customized* omscholingstrajecten, moeten de benodigde



experts de mogelijkheid worden geboden om toe te treden tot de duurzame energiesector. Een taskforce omscholing duurzame energiesector, samen met de brancheverenigingen en de opleidingsinstituten, zullen deze opportunity nader vorm moeten geven.

Uitdaging 4: Bestaande installateurs en bouwvakkers om- of bijscholen → kwaliteitskeurmerk en bijbehorende opleidingen

Vanuit de sector moet een bindend kwaliteitskeurmerk worden ontwikkeld waaraan iedereen moet voldoen die een zonnestroomsysteem installeert. Uiteraard is het onvoldoende om alleen een dergelijk keurmerk te ontwikkelen. Er moet namelijk ook een opleiding worden ontwikkeld en aangeboden voor hen die nog niet aan de minimale kwaliteitseisen voldoen. Hiermee zouden er voldoende gekwalificeerde installateurs beschikbaar moeten komen om de rol van zonne-energie in de energietransitie te faciliteren. Het betrekken van bestaande opleidingspartijen is hiervoor essentieel.

Uitdaging 5: Voorlichting op scholen → taskforce voortgezet onderwijs

Om uiteindelijk voldoende jongeren te verleiden om te kiezen voor een baan in de energiesector is het belangrijk om hen op jonge leeftijd kennis te laten maken met wat er voor mooi werk te kiezen is in deze branche. Daarom moet er een 'taskforce voortgezet onderwijs' opgezet worden om hier concreet invulling aan te geven middels voorlichtingscampagnes, projecten op scholen, etc.

Uitdaging 6: Nieuwe vormen van informeren en opleiden → ontwikkelen innovatieve tools

Er zullen zo spoedig mogelijk nieuwe vormen van onderwijs en nieuwe tools moeten worden aangeboden, om iedereen die is geïnteresseerd in een carrière in de duurzame energiesector te informeren en te ondersteunen bij het gaan werken in deze sector.

Na de eerste jaren van missiegedreven innovatiebeleid kan geconcludeerd worden dat het niet eenvoudig is om de hierboven genoemde human capital uitdagingen te adresseren in innovatieprojecten. Er zou hier gericht gezocht moeten worden naar stimuleringsmogelijkheden. Zo zou bijvoorbeeld mogelijk moeten zijn curriculumontwikkeling te ondersteunen vanuit innovatieprojecten en zou het beschikbaar stellen van extra stageplekken bij kennisinstellingen en bedrijven aangemoedigd kunnen worden door dit te laten meetellen in de score van een project. Ook het betrekken van *learning communities* kan aangemoedigd worden in projecten. Financiering van deze ideeën is een aandachtspunt

Samenwerking van stakeholders en actoren

Holland Solar, NWEA en NVDE zijn in dit deelprogramma de belangrijkste regisseurs. Voor onderdelen van dit deelprogramma zal de samenwerking worden gezocht met andere instanties. Voor de Human Capital Agenda wordt samenwerking gezocht met de MBO-raad, de HBO-raad, de VNSU, het lectorenplatform Urban Energy, met het HCA-team van de Topsector Energy en met andere MMIP's. Voor specifieke marktontwikkelingen zal samenwerking worden gezocht met BIPV NL, Techniek Nederland, Bouwend Nederland, Nederlandse Vereniging Toeleveranciers Bouw, de Bond van Nederlandse Architecten, etc. Voor de ontwikkeling van passende tools en instrumenten om de markt verder te stimuleren wordt de samenwerking gezocht met



desbetreffende ministeries (EZK, BZK, I&W, O&W) en relevante uitvoeringsorganisaties zoals RWS, RVB en RVO.

3.6 Maatschappelijk verantwoord innoveren

In de inleiding zijn een aantal vragen geformuleerd die van invloed zijn op het maatschappelijk draagvlak van de energietransitie en de groei van hernieuwbare opwekinstallaties. Het is van belang deze vragen waar mogelijk terug te laten komen in innovatieprojecten zodat de maatschappelijke dimensie van vernieuwingen in een vroeg stadium onderzocht wordt.

Over de noodzaak van de energietransitie is het grootste gedeelte van de Nederlandse bevolking het wel eens, maar over de manier waarop die in Nederland vorm moet of kan krijgen heerst nog veel onduidelijkheid en ook verschil van mening. Velen kunnen de mogelijke impact van de energie-transitie niet overzien omdat die als te groots en ingewikkeld wordt ervaren. Daarnaast verwacht een deel van de Nederlandse bevolking dat de transitie kostbaar zal zijn en daarom onze welvaart kan aantasten (overigens: niks doen zal nog veel kostbaarder zijn). Het is daarom van groot belang om voldoende aandacht te geven aan onzekerheden en zorgen, en duidelijk te maken dat de energietransitie ons ook welvaart en welzijn zal kunnen brengen. Ook op professioneel en institutioneel vlak zal de energietransitie grote veranderingen met zich mee brengen, en ook daar is het belangrijk om te laten zien dat de transitie grote kansen biedt – en niet alleen in economische zin.

Natuurlijk is het klimaatprobleem iets dat alleen op wereldschaal opgelost kan worden, maar individuele overheden, landen, regio's, steden, bedrijven en individuen spelen een cruciale rol in dit proces. Dit MMIP richt zich daarom mede op het ontwikkelen van oplossingen zodat elk van deze groepen een optimale bijdrage aan de energietransitie kan én wil leveren. Daarbij gaat het onder meer om instrumenten en methoden, kaders, rolverdeling en mensen.

'De 'game changer' voor de succesvolle transitie naar een duurzame en zekere energievoorziening, is een integrale aanpak van technologische, maatschappelijke, economische, juridische en ruimtelijke uitdagingen, waardoor excellente bouwstenen snel en op grote schaal worden toegepast.' (Nationale Wetenschapsagenda, 2016).

3.7 Circulariteit en duurzaamheid

Op alle individuele thema's van dit MMIP moeten veranderingen plaatsvinden om circulariteit te bewerkstelligen. Zo vraagt circulaire, hernieuwbare energieopwekking in de gebouwde omgeving of in het buitengebied om het opzetten van andere serviceconcepten en businessmodellen, alsmede aangepaste of nieuwe technologieën en end-of-life behandelingen. Een kernvraag is: Hoe kan het ontwikkelen van een goed werkend circulair systeem een gezamenlijke verantwoordelijkheid worden van alle stakeholders? Over het algemeen zal de fabrikant van de producten of de leverancier



van de diensten van grote invloed zijn, omdat die 'aan de knoppen zit', en eventueel noodzakelijke innovaties kan implementeren. Maar wellicht zijn er andere modellen mogelijk of gewenst. Technologische innovaties zijn nodig omdat het begrip 'circulariteit' op dit moment vaak niet meer omvat dan een vorm van hergebruik van materialen. Daarbij is voor een aanzienlijk deel van het materiaalstromen eerder sprake van *downcyclen* dan van recyclen, laat staan van *upcyclen*, reparatie of hergebruik. Met andere woorden: teruggewonnen materialen worden hergebruikt in laagwaardiger toepassingen dan waar ze vandaan komen. Dat kan zijn omdat de teruggewonnen materialen zich met de huidige stand van de techniek niet lenen voor hoogwaardig hergebruik, of omdat er geen business case of verplichting is om geschikte technieken in te zetten. Overigens kan de business case soms aanzienlijk verbeteren door hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken. Circulariteit vraagt daarom om 'ontwerp voor duurzaamheid/recycling' van producten en daarop aangepaste diensten, hetgeen vaak ingrijpende innovaties vraagt en consequenties heeft. Dit MMIP zal daarom ruimte bieden aan de ontwikkeling van de benodigde nieuwe service- en businessmodellen, regelgeving/normering (*eco-labeling*), productontwerpconcepten en materialen. Concreet zien we de volgende aan circulariteit gerelateerde innovatievragen:

Ontwerp voor duurzaamheid en hergebruik

Voor zonnepanelen geldt dat in het cel- en module-ontwerp materiaal- en proceswijzigingen moeten worden gedaan die een hoogwaardige terugwinning en hergebruik van materialen mogelijk maakt. Hierbij kan gedacht worden aan het zoeken naar alternatieve encapsulatiematerialen die scheiding van frontsheet (glas/polymeer), cellen en backsheet (glas/polymeer) mogelijk maakt.

Voor windmolens heeft vooral het beter recyclebaar maken van de turbinebladen aandacht nodig, alsook het sluiten van materiaalkringlopen voor de zeldzame elementen die in de generatoren worden gebruikt

Verlengen levensduur nieuwe installaties

Door systemen steeds langer mee te laten gaan wordt het materiaal verbruik per eenheid opgewekte energie lager. Dit thema komt terug in deelprogramma's 1 en 2

Verlengen levensduur bestaande systemen

Ook bij de systemen die al in het veld geïnstalleerd zijn kan het verlengen van de bruikbare levensduur grote winst opleveren in termen van materiaalgebruik. Hoe wordt bepaald of een systeem 'einde-levensduur' is? Wil de gebruiker een minimale opbrengst, wordt het toenemende risico op storingen (met mogelijke gevolgschade) te groot? Of rendeert het niet meer om bepaalde componenten te vervangen? Dit zal per technologie, type systeem en leeftijdscategorie verschillen. Er is daarom behoefte aan 'APK'-keuringsconcepten voor systemen op leeftijd waarbij de levensduur met een vaste periode verlengd wordt tot een volgende keuring. Ook het mogelijk maken van reparatie van systeemonderdelen, bijvoorbeeld losse panelen of elementen in een façade moet zoveel mogelijk gestimuleerd worden. Tevens zouden stimuleringsregelingen in het algemeen moeten aansturen op een zo lang mogelijke levensduur van systemen en moet voorkomen worden dat systemen vroegtijdig uit de lucht gehaald worden en



vervangen door nieuwere technologie, eventueel tenzij er een hoogwaardige vervolgttoepassing in beeld is. De economische levensduur van 15 jaar dit de SDE++ hanteert is in dat kader kort en zou verlengd moeten worden naar 20 of 25 jaar. Daarmee aanverwante vragen zijn bijvoorbeeld of er markt voor tweedehands systeemcomponenten kan ontstaan waarbij kwaliteit en veiligheid geborgd zijn.

Verbeteren recyclingmogelijkheden bestaande panelen en windmolens

Tot slot dient er onderzoek gedaan te worden naar verbeterde recyclingmogelijkheden van bestaande technologie. Er staan al veel systemen in het veld en de generatie van echt circulaire zonnepanelen en windmolens zal nog even op zich laten wachten. Hoe recycelen we de systemen die tot die tijd geïnstalleerd worden het beste. Zijn er hoogwaardiger toepassingen mogelijk dan de huidige 'gedowncycled' producten. In dat verband kunnen ook nieuwe processen om materialen in hoogwaardige vorm van elkaar te scheiden een belangrijke bijdrage leveren. Denk bijvoorbeeld aan silicium en zilver.



4 Opzet van het innovatieprogramma

4.1 Meerjarige missiegedreven aanpak

De MMIP's en daaruit voortvloeiende innovaties zijn een middel om maatschappelijke opgaves van het Klimaatakkoord en de daarin geformuleerde missies op termijn te realiseren. Missiegedreven innovatiebeleid richt zich op het aanpakken van maatschappelijke uitdagingen en op het benutten van de economische kansen.

Voor het realiseren van de (tussen)doelen voor 2030 uit het Klimaatakkoord zullen we in dit MMIP vooral de kennis en innovaties moeten ontwikkelen die al voorbij de laagste *technology readiness levels* (TRL's) zijn. Ook moeten we doorbouwen op de kennis die al is opgedaan en ontwikkelingen die al zijn gestart. Tegelijkertijd zijn geheel nieuwe innovaties op fundamenteel niveau van belang om invulling te geven aan de missies voor 2050. In elk deelprogramma worden kennis- en innovatie-vraagstukken benoemd, waarbij een onderscheid wordt gemaakt tussen drie verschillende fases:

- 1 Onderzoeken (TRL 1-4);
- 2 Ontwikkelen (TRL 4-7);
- 3 Demonstreren en implementeren (TRL 7-9).

Daarnaast bevat elk deelprogramma een aantal niet-technologische thema's waarop kennisontwikkeling dient plaats te vinden. Deze zijn niet te vatten in een TRL-fase en worden als 'doorsnijdende' thema's gezien.

De verschillende kennis- en innovatievraagstukken in elk deelprogramma zijn gekozen vanwege hun beoogde bijdrage aan het bereiken van het missiedoel en de belangrijke tussendoelen in 2030. Daarnaast wordt er ruimte geboden voor disruptieve ontwikkelingen en wordt er onderzoek gedaan naar het potentiële effect van nieuwe ontwikkelingen waarvan de impact nog onbekend is.



4.2 Instrumenten en Financiering

Het MMIP is geen subsidieregeling en heeft geen eigen budget. Verschillende subsidieregelingen leveren gezamenlijk een bijdrage aan het MMIP door innovaties in een deel van de innovatieketen een stapje verder te helpen. Om de missie van dit MMIP te realiseren, wordt gebruik gemaakt van een breed scala aan instrumenten en activiteiten, namelijk:

Fundamenteel en toegepast onderzoek vragen een gebalanceerde combinatie van publieke en private financiering en een geschikt stimulerings-instrumentarium.

- Financiële middelen en instrumenten voor consortia en MKB innovatoren;
- Kennisdeling; door middel van o.a. kennisdossiers, whitepapers en evenementen
- Deelnemen en initiëren van overlegstructuren op het vlak van normering, certificering en standaarden;
- Signaleren en analyseren van belemmeringen en knelpunten qua wet- en regelgeving.

Daarbij hoort ook een gebalanceerde inzet van financiële middelen over de gehele innovatieketen, van funderend en toegepast onderzoek tot pilots en demo's.

De volgende instrumenten zijn met name relevant zijn voor het bereiken van de missie⁸:

- 1 Onderzoeken (TRL 1-4): Kennis- en Innovatieconvenant (KIC), Open competitie middelen NWO, PPS-fonds en de Nationale Wetenschapsagenda (NWA). Deze instrumenten richten zich met name op fundamenteel onderzoek en industrieel onderzoek. Voor investeringen die benodigd zijn voor onderzoek is het instrument Investeringen NWO-Groot relevant.
- 2 Ontwikkelen (TRL 4-7): 'Vrije' middelen van TNO (SMO middelen), de MOOI-regeling, de Urban Energy-subsidieregeling van de Topsector Energie, de Hernieuwbare Energietransitie (HER+) en het PPS-toeslag instrument. Deze instrumenten richten zich met name op industrieel onderzoek, experimentele ontwikkeling en het uitvoeren van pilots.
- 3 Demonstreren en implementeren (TRL 7-9): Hernieuwbare Energietransitie (HER+), diverse categorieën van de Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+). Deze instrumenten richten zich met name op experimentele ontwikkeling en het uitvoeren van pilots en demonstratieprojecten.

De instrumenten vallen onder auspiciën van verschillende organisaties (het ministerie van EZK, RVO, TKI, TNO en NWO).

⁸ Sommige instrumenten richten zich op een breder domein dan alleen de gebouwde omgeving of zelfs de energiesector.



4.2.1 Huidige budgetten

Onderstaande tabel toont een overzicht van het huidige publieke budget, met een totaal van € 124 miljoen dat definitief is ingezet ten behoeve van MMIP 2 tot en met 5. Het budget is uitgesplitst naar verschillende instrumenten en TRL-niveaus en is (uitgedrukt in miljoenen euro's). Een aantal projecten dat is ingediend in 2020 is nog niet definitief beschikt, waardoor dit bedrag van €124 miljoen niet het volledige beschikte subsidiebedrag betreft dat definitief is ingezet ten behoeve van MMIP 2 tot en met 5. Het budget is uitgesplitst naar verschillende instrumenten en TRL-niveaus en is (uitgedrukt in miljoenen euro's).

GO 2020 (publiek) (per jaar)	NWO*	TNO	Topsector Energie (RVO, TKI Urban Energy)								TOTAAL
	Diversen	Diversen	MOOI	PPS	TSE GO	DEI+ energie-innovatie en efficiëntie	DEI+ flex	DEI+ ruimte	DEI+ aardgasloos	HER	
TRL 1-4	14,0										14,0
TRL 4-7		13,3	63,4	2,2	2,9					1,7	83,5
TRL 7-9						13,3	8,7	0,5	3,6	0,0	26,1
	14,0	13,3	63,4	2,2	2,9	13,3	8,7	0,5	3,6	1,7	123,6

De inschatting van NWO-middelen is een gebaseerd op de middelen die in vorige KICs beschikbaar waren en die in voorgaande jaren zijn ingezet voor projecten op het GO-domein. Beschikbare middelen bestaan o.a. uit NWA (108 miljoen in 2019), KIC (100 miljoen in 2019), open competitie (127 miljoen), Zwaartekracht (115 miljoen voor 2018-2019).

Rekening houdend met verschillende maximum subsidiepercentages en private cofinancieringseisen, is een schatting gemaakt van de jaarlijkse totale projectomvang voor het 'Urban Energy' domein in 2020 (inclusief de ontwikkeling van zonne-energie, maar exclusief windenergie). Deze bedraagt ongeveer €244 miljoen in totaal.

GO 2020 (totaal) (per jaar)	NWO	TNO	Topsector Energie (RVO, TKI Urban Energy)								TOTAAL
	Diversen	Diversen	MOOI	PPS	TSE GO	DEI+ energie-innovatie en efficiëntie	DEI+ flex	DEI+ ruimte	DEI+ aardgasloos	HER	
TRL 1-4	14,0										14,0
TRL 4-7		14,5	100,0	3,3	4,4					3,4	125,6
TRL 7-9						53,2	34,8	2,0	14,4	0,0	104,4
	14,0	14,5	100,0	3,3	4,4	53,2	34,8	2,0	14,4	3,4	244,0

Publiek / privaat: DEI+: 25%/75%, HER: 50%/50%, PPS en TSE GO: 66%/33%, TNO: 90% /10%, NWO: 100% publiek

Europese en regionale budgetten (zoals Horizon 2020, ERA-net, INTERREG) en de MIT-regeling zijn in deze opzet buiten beschouwing gelaten, maar dragen vanzelfsprekend ook bij aan de missie van de MMIP's. Het is wenselijk om het



organiserend vermogen van de verschillende MMIP's ook op deze instrumenten te richten.

4.2.2 Budgetten 2021-2024

Om de doelen van het MMIP te bereiken is een goede synergie nodig tussen de verschillende subsidie-instrumenten. Voor het realiseren van de (tussen)doelen voor 2030 uit het Klimaatakkoord zullen vooral de kennis en innovaties benut moeten worden die al voorbij de laagste TRL's zijn. We zien dat in 2020 bij een aantal subsidieregelingen de beschikbare budgetten zijn overvraagd.

- In februari 2020 opende de MOOI-regeling waarbij €27 mln subsidie beschikbaar werd gesteld voor de gebouwde omgeving en €10,9 mln subsidie beschikbaar werd gesteld voor hernieuwbare elektriciteit op land. Op Prinsjesdag 2020 werd bekend dat het budget voor de gebouwde omgeving verruimd werd tot €57 mln. Uiteindelijk zijn er 87 vooraanmeldingen geweest voor de MOOI regeling en hebben 40 consortia een definitieve subsidieaanvraag ingediend. Hiervan zijn 16 projecten gehonoreerd. Daarnaast waren er vier projecten met een positieve beoordeling, maar deze vier projecten zijn afgewezen op basis van beschikbaar budget. Grofweg had er dus 25% extra subsidie aan innovatieprojecten besteed kunnen worden, die significant hadden bijgedragen aan missie B.
- Voor de TSE GO was een bedrag van €2,7 mln beschikbaar, waarvoor er 10 projecten zijn gehonoreerd. Er waren 32 aanmeldingen die voor €10,4 mln hebben ingediend.
- Voor de PPS-toeslag 2020 zijn 14 projecten gehonoreerd die niet-concurrerend hebben ingediend. Vanaf 2021 worden alle PPS-voorstellen in concurrentie ingediend. Dit heeft in PPS-toeslag 2021 ertoe geleid dat 28 voorstellen zijn ingediend met een gemiddeld budget van €310.000, terwijl het beschikbare budget €3,6 mln is voor 2021. Dit betekent dat 11 á 12 voorstellen gehonoreerd kunnen worden.

In 2021 zal minder innovatiebudget beschikbaar zijn dan in 2020. In 2022 is juist weer een hoger beschikbaar innovatiebudget te verwachten, mits de MOOI-regeling en TSE GO doorgaan zoals verwacht. Daarmee is het jaarlijks beschikbare subsidiebudget sterk fluctuerend voor indieners, wat kan leiden tot vertraging voor het beschikbaar komen van innovatieve oplossingen in de markt. Met name het ontbreken van de TSE GO in 2021 zorgt voor een gebrek aan stimulering voor gerichte innovatie door mkb. Daarnaast zien we met de MOOI regeling dat de nadruk van de innovatieregelingen meer richting de hogere TRL's is opgeschoven. Dit veroorzaakt in de praktijk een gat tussen beschikbare budgetten tussen innovatieprojecten in de lagere TRL's en innovatieprojecten in de hogere TRL's. Dit werkt remmend voor de doorontwikkeling van innovaties die vanuit de meer fundamentele onderzoeksprojecten gestart zijn.

Dit pleit ervoor om elk jaar de MOOI en TSE GO regelingen open te stellen voor innovatieve consortia. Hiermee kunnen onderzoekers en bedrijven meer gelijkmatig werken aan innovaties wat ook de snelheid van de ontwikkeling ten goede zal komen.



Nauw betrokkenen bij de MMIP's hebben jaarlijks de beschikking over een 'eigen' onderzoeksbudget. Door middel van korte studies of onderzoeken kunnen ze snel en gericht ondersteuning bieden aan de programmavoorstellen die door marktpartijen worden ingediend.

Er wordt ook instrumentarium ontwikkeld om de energietransitie te versnellen en de marktvaart te stimuleren. Denk bijvoorbeeld aan de 'Startmotor' of de Renovatieversneller waarin corporatiebezit gebundeld wordt aangeboden aan marktpartijen. Een ander voorbeeld is het door TKI Urban Energy en CLICKNL geïnitieerde programma Uptempo!, waarin op gestructureerde wijze aanbiedende en vragende partijen met elkaar worden verbonden. De ervaringen die in dit programma worden opgedaan zullen vervolgens in het proces van opschaling van de energietransitie worden ingezet.

4.3 Monitoring en evaluatie

Het ontwikkelen van innovaties is geen lineair proces. Het is nodig om te toetsen of ontwikkelde oplossingen afdoende beantwoorden aan het bereiken van de missie. Bovendien kunnen ontwikkelde innovaties tegelijkertijd weer leiden tot nieuwe uitdagingen. Daarnaast speelt wet- en regelgeving een rol; deze bepalen de richting en snelheid waarmee oplossingen worden ontwikkeld. Door kaders aan te passen of juist gelijk te houden, kan de behoefte aan bepaalde oplossingen veranderen.

Monitoring en effectmeting zijn voor het welslagen van het missiegedreven innovatiebeleid van groot belang. We zullen communiceren hoe men de effecten meet en doelen denkt te realiseren, zodat consortia hierin de uitvoering rekening mee kunnen houden. Door het dynamische karakter van het MMIP zal er behoefte zijn aan herijking en bijstelling van het programma. Hierbij is een balans nodig tussen langjarig commitment en flexibele bijsturing. Lessen vanuit innoverende consortia, onderzoek naar de effectiviteit van de ontwikkelde innovaties, ontwikkelingen in de markt en (mogelijke) aanpassing van belemmerende wet- en regelgeving zullen de ingrediënten aanreiken voor dit iteratieve proces.

Per deelprogramma worden de belangrijkste innovatiethema's beschreven en Key Performance Indicators (KPI's) bepaald. Deze KPI's, afgeleid van de missies uit het klimaatakkoord en de daaruit afgeleide missies voor dit MMIP, vormen de basis om periodiek een deelprogramma te evalueren en de voortgang te monitoren. Speciaal hiervoor wordt een Innovatie Monitoring Unit opgericht die de hiervoor benodigde tools en methodieken ontwikkelt zodat de voortgang onafhankelijk kan worden getoetst. Deze Monitoring Unit voert de toetsing ook daadwerkelijk uit en doet aanbevelingen om de uitvoering van het MMIP te verbeteren. Implementatie van de aanbevelingen is aan het team dat verantwoordelijk is voor het MMIP-programmamangement.

Het is belangrijk om te nauw samen te werken en te leren van ervaringen in Nederland en het buitenland. Daarom zullen in Nederland in ruimte mate proeftuinen en fieldlabs moeten worden opgezet, waar innovatieve zonnestroomsystemen en windparken in praktijkomstandigheden worden onderzocht en beproefd. Een voorbeeld van een



succesvol *fieldlab* in Nederland is SolarBEAT in Eindhoven. Daarnaast moet er een nationaal monitoringsprogramma worden opgezet waarin data uit ontwikkelprojecten, proefprojecten, fieldlabs, pilot- en demo-projecten en ook uit commerciële projecten centraal worden verzameld en geanalyseerd. Zo kunnen we optimaal leren van alle ontwikkelingen en implementaties. De opzet van een dergelijk programma is essentieel om de gewenste versnelling in kennisontwikkeling en implementatie in Nederland te kunnen bereiken. Omdat prestatiemetingen van met name ecologische parameters vaak pas na lange tijd bruikbare resultaten opleveren, moet op zo kort mogelijke termijn worden begonnen met het ontwikkelen van meetprotocollen, het opzetten van de benodigde infrastructuur en met het uitvoeren van nulmetingen.

4.4 Valorisatie, marktcreatie en wettelijke kaders

4.4.1 Valorisatie en marktcreatie

Vanwege het missiegedreven karakter van dit MMIP is het van belang om ook aandacht te besteden aan valorisatie (aanbods timulering) en marktcreatie (vraagstimulering). Missies worden immers pas gerealiseerd als innovaties toegepast worden, want dan ontstaat economische en maatschappelijke waarde. Voor valorisatie worden vier sporen geïdentificeerd: het stimuleren van startups, het ontwikkelen van kennis richting marktintroductie (testen, demonstreren, valideren, implementeren), het verspreiden van nieuwe kennis en de ontwikkeling van menselijk kapitaal. Voor marktcreatie worden ook vier sporen voorgesteld: het aankoopbeleid van de overheid, financiële en fiscale prikkels, regelgeving en normering en gedragsbeïnvloeding.

Qua valorisatie wordt voortgebouwd op activiteiten die reeds lopen in de topsectoren. TKI's zullen blijvend kennisverspreiding blijven organiseren. Voor een versnelling op het gebied van valorisatie zal de Topsector Energie ook meer aandacht geven aan private financieringsmogelijkheden om bedrijven in staat te stellen om meer en sneller te innoveren.

Innovaties op het gebied van markt en beleid zijn essentieel om excellente technische bouwstenen snel en op grote schaal te kunnen toepassen, en om lage kosten te kunnen combineren met hoge maatschappelijke waarde.

Binnen de verschillende instrumenten wordt gezocht naar consortia die expliciet aandacht hebben voor ontwikkelingen in de markt en (mogelijke) veranderingen van wettelijke kaders. Ook worden projecten aangemoedigd onder de regeling 'experimenten elektriciteitswet', waardoor ook buiten de bestaande kaders geïnnoveerd kan worden. Van grotere consortia en voorstellen, met name bij de MOOI-regeling, wordt verwacht dat zij een transitiepad schetsen voor verdere uitrol, met aandacht voor markt en wettelijke kaders. Projectvoorstellen moeten inzichtelijk en aannemelijk maken hoe hun oplossingen bijdragen aan het bereiken van de MMIP-missies.

Consortia die actief zijn binnen dit MMIP worden tevens betrokken bij het signaleren en analyseren van belemmeringen en knelpunten qua wet- en regelgeving. Daarmee



organiseren we structurele input waarmee we aansluiting zoeken bij de verschillende gremia die zich richten op (het maken van voorstellen voor) de aanpassing van wettelijke kaders. Er wordt gestreefd naar een actieve dialoog met het ministerie van EZK om oplossingen te vinden om deze belemmeringen en knelpunten weg te nemen.

Voor het stimuleren van de markt voor gebouwen met een goede energieprestatie, is het van belang om de regelgeving doorlopend maar voorspelbaar en consistent aan te scherpen en te handhaven. Denk daarbij aan een jaarlijkse aanscherping van het BENG-beleid voor nieuwbouw en de regelgeving voor energieprestatie verbeterende renovaties. Dit zal voor verdere innovatie en kostprijzdaling van bijvoorbeeld BIPV-systemen en PV-thermische (PVT)-systemen zorgen. Verdieping van het onderzoek naar de effectiviteit van deze regelgeving is noodzakelijk om de vereiste snelheid en het volume te kunnen realiseren. Bij commercieel vastgoed met een grootverbruikersaansluiting, speelt het probleem dat het huidige bouwbesluit/ EPC/ BENG te weinig prikkels geeft aan gebouweigenaren en bouwpartijen om optimaal gebruik te maken van het enorme potentieel voor zonnestroomsystemen. Het is van groot belang om met alle stakeholders goede afspraken te maken hoe deze toepassing optimaal gestimuleerd kan worden. Ook is het belangrijk dat er meer informatie beschikbaar komt over de toepassing van duurzame opweksystemen voor investeerders en gebruikers.

Langjarige contracten tussen specifieke opwekkers of leveranciers en afnemers van elektriciteit zijn een bewezen effectief instrument voor de stimulering van hernieuwbare opwekking van elektriciteit, in ieder geval in de initiële fase van de transitie. Power Purchase Agreements (PPA's) geven zekerheid aan investeerders en hebben mede geleid tot de wereldwijde sterke daling van opwekkosten van elektriciteit uit zon en wind de afgelopen jaren. De vraag is nog welke kwantitatieve bijdrage PPA's kunnen leveren aan de volumedoelstellingen van hernieuwbare opwekking op land en in de gebouwde omgeving in Nederland, en tot welke bijdrage van zon en wind ze effectief zouden kunnen worden ingezet. Een andere vraag is welke sectorkoppelingen of koppelingen met individuele bedrijven hiermee kunnen worden gemaakt.

De salderingsregeling en de SDE+ hebben onmiskenbaar hun waarde en effectiviteit bewezen in het versnellen van de implementatie van opwekinstallaties voor elektriciteit uit duurzame bronnen. De SDE+(+) is gericht op het stimuleren van oplossingen met de laagste kosten. In de toekomst zal het belang van ruimtelijke en ecologische integratie moeten worden toegevoegd aan het totaalpakket van marktstimulerings- en innovatie-instrumenten en randvoorwaarden. Hoe dit het beste kan gebeuren moet nader worden onderzocht. Een mogelijkheid is om locatie specifieke ruimtelijke en ecologische situaties en benodigde innovaties te vertalen naar generieke verplichtingen en normen. Een andere oplossing is om aparte innovatiegelden te koppelen aan een reguliere SDE+(+)-beschikking, wanneer het desbetreffende project voldoet aan de criteria (die daarvoor in een aparte regeling moeten worden opgesteld). Zo'n constructie zou wellicht ook kunnen werken voor nieuwe toepassingen, zoals bijvoorbeeld zon op en in infrastructuur. Zulke toepassingen zullen aanvankelijk een aanzienlijk hogere kostprijs hebben maar zijn wel gewenst het grote potentieel en het maatschappelijk enthousiasme.



Speciale aandacht is nodig voor de 'post-SDE++' en de 'post-salderingsperiode' van de energietransitie. Hoewel die periode weliswaar als 'subsidievrij' kan worden gekenschetst, hoeft hij niet 'incentive-vrij' of 'beleidsonafhankelijk' te zijn. Op land en op zee kan er potentieel veel meer dan 100% van de vraag naar elektriciteit worden opgewekt. Bij zulke toenemende penetratiegraden van wind en zon zijn alleen lage opwekkosten onvoldoende voor de benodigde aanhoudende marktgroei. De vraag is op welke wijze de geproduceerde elektriciteit voldoende waarde kan krijgen om een aantrekkelijke business case te geven en daarmee private investeringen uit te lokken. Over het daarvoor benodigde marktmodel met bijbehorende regelgevingsaspecten én technologie is veel discussie, maar er is nog geen consensus. Dit is een belangrijk onderwerp voor multidisciplinair onderzoek, samen met MMIP 1, MMIP 5 en MMIP 13.

4.4.2 Wettelijke kaders

Grootschalige decentrale hernieuwbare opwekking van elektriciteit brengt niet alleen grote fysieke en ruimtelijke veranderingen met zich mee, maar heeft ook ingrijpende consequenties voor de rolverdeling van partijen die met energie te maken hebben of in die sector actief zijn: overheden en overheids-gerelateerde organisaties, projectontwikkelaars, burgers, energie- en netwerkbedrijven, landbouworganisaties en agrariërs, natuurorganisaties en meer. De transitie zorgt voor verschuivingen van verantwoordelijkheden en mandaten en biedt nieuwe economische kansen. Dat vraagt omgekeerd ook om aanpassingen van de juridische en regelgevingskaders. De innovatievraag die beantwoord moet worden is, kort gezegd, welke rolverdeling en kaders nodig zijn om de energietransitie optimaal te laten verlopen, wat betreft kosten, snelheid, draagvlak, impact, etc.

Elke gemeente, provincie, waterschap, etc. werkt op dit moment binnen regio's samen met diverse belangenorganisaties aan een Regionale Energie Strategie (RES). De RES is een instrument om gezamenlijk te komen tot keuzes voor de verduurzaming van het energiesysteem in een bepaalde regio en, daaraan gekoppeld, tot een beter beleid en vergunningsprocedures. Om binnen de afzonderlijke RES'en goede keuzes te kunnen maken, is goede, onafhankelijk geverifieerde kennis nodig over de verschillende technische mogelijkheden per type areaal, zoals gebouwen, land, infra en water. Het is daarom belangrijk om gedegen onderzoek te doen naar de verschillende waardecomponenten van deze opties. Denk aan financiële en niet-financiële waarden zoals esthetiek, maatschappelijke acceptatie, effecten op ecologie en biodiversiteit en de te verwachten kosten. Dit type breed opgezette maatschappelijke kosten-batenanalyses (MKBA) kan een doorlopende input zijn voor de ontwikkeling of jaarlijkse bijstelling van de RES'en. Bij het opstellen van RES'en is gedetailleerde, regio- en locatie specifieke informatie over bijvoorbeeld instraling, windregime, temperatuur en albedo belangrijk om de juiste keuzes te kunnen maken.

De besluitvorming voor het afgeven van vergunningen vindt plaats op gemeentelijk en provinciaal niveau. Daar is behoefte aan handvatten en richtlijnen om voor specifieke locaties tot een optimale afweging en vergunningsverlening te komen. Soms zijn er tegenstrijdige kwaliteiten en belangen zoals duurzame elektriciteitsopwekking, meervoudig landgebruik, esthetische beleving, natuurwaarde en biodiversiteit. Onderzoeksvragen waarop een antwoord wordt gezocht zijn: hoe kunnen zonneparken



een integraal onderdeel van het landschap worden? Welke afwegingen moeten er nu worden gemaakt om toekomstige duurzame energielandschappen en aanpassingen van nieuwe en bestaande zonnestroomparken te stimuleren? Hoe kunnen uiteenlopende en mogelijk tegenstrijdige criteria daadwerkelijk worden afgewogen? Op deze en gerelateerde onderzoeksvragen wordt in dit MMIP een antwoord gegeven. Rondom de vergunningverlening speelt een duidelijk afwegingskader een belangrijke rol. Dit kader zal toepasbaar moeten zijn op specifieke locaties, moet gevuld zijn met recente en objectieve kennis en moet begrijpelijk zijn voor niet-technische gebruikers.

4.5 Standaardisatie, normering, en certificering

Standaardisatie draagt bij aan de impact van innovaties in dit MMIP. Binnen dit MMIP wordt voorzien in een integrale aanpak voor standaardisatie ten dienste van onderzoek, ontwikkeling en innovatie. Dit richt zich op alle fasen van innovatie: van projectidee, uitvoering en evaluatie tot disseminatie. Deze samenhang tussen innovatieprojecten en (internationale) standaardisatie is weergegeven in de onderstaande figuur. Oog voor standaardisatie via in alle verschillende fasen is een randvoorwaarde voor projecten binnen dit MMIP.



4.6 Communicatie en kennisdisseminatie

Resultaten uit de projecten worden actief gedeeld via uitgebreide rapportages, publieke samenvattingen, presentaties tijdens bijeenkomsten, afstemming met en leren van andere MMIP's en meer. Het streven is om interactie tussen verschillende innovatoren op gang te brengen, waarbij de overheid en de markt expliciet worden betrokken om kennis te nemen van de nieuwste ontwikkelingen. Dat geeft een versnelling aan het realiseren, inbedden en vermarkten van de ontwikkelde innovaties.

Met de oprichting van een aantal Nationale Consortia (Zon op Gebouw, Zon in Landschap, Zon op Water, Zon op Infra) en het reeds bestaande 'PV-TKI' -netwerk beschikt Nederland op alle toepassingen over een sterk ecosysteem dat op regelmatige basiskennis met elkaar uitwisselt. Doordat de Nationale Consortia worden gevormd door partijen uit het 'platina vierkant' (bedrijven, kennisinstellingen, NGO's en overheden), komen alle oplossingen die in het MMIP worden ontwikkeld tegemoet aan zowel commerciële als maatschappelijke eisen en wensen. Overigens, deze Nationale Consortia hebben geen statisch karakter en ze staan open voor elke organisatie in Nederland die op een bepaald toepassingsgebied actief is, of wil worden. Het is de verwachting dat de Nationale Consortia in de komende periode nog verder zullen uitbreiden.

Gedurende het jaar organiseert elk Nationaal Consortium ten minste één kennis-evenement en aan het einde van het kalenderjaar wordt door Holland Solar, TKI Urban Energy, TNO, NWO en RVO gezamenlijk het SundayNL-congres georganiseerd. In dit congres, met een bescheiden toegangsprijs, komen alle deelprogramma's samen in één evenement. Door deze set van kennisbijeenkomsten is het uitwisselen van kennis efficiënt en effectief georganiseerd en zal de implementatie op deze toepassingsgebieden een versnelling doormaken.



5 Colofon

Elk jaar worden innovatieprojecten afgerond, worden nieuwe projecten opgestart, worden projectconsortia bezocht of nader bestudeerd en worden er onderzoekopdrachten opgeleverd. De hiermee opgedane kennis en inzichten geven in meer of mindere mate aanleiding tot herziening van de innovatieprogramma's. Het proces van terugblikken, analyseren en het herzien van innovatieprogramma's is een continu proces dat door TKI Urban Energy wordt uitgevoerd onder de noemer 'permanente portfolioanalyse'⁹.

In nauwe samenwerking met RVO is in 2020 de cyclus van de portfolioanalyse (inclusief data- en informatieverzameling) voor het eerst volledig doorlopen. In samenwerking met de Programma Advies Colleges (PAC) zijn er van elk MMIP herziene versies tot stand gekomen. De herziene versies zijn mede namens de voorzitters van de PAC's voorgelegd aan de Missie Innovatieteams Gebouwde Omgeving en Elektriciteit. De MI-teams hebben de herziene versie in juni 2021 vastgesteld. Het herziene MMIP staat (wederom) aan de basis van innovatieregelingen voor hernieuwbare elektriciteitsopwekking op land en in de gebouwde omgeving.

Het Programma Adviescollege van MMIP2 bestaat uit de volgende personen: Wim Sinke (voorzitter), Miro Zeman (TU Delft), Peter Eecen (TNO), Gerrit Jan Schaeffer (Dutch Solar Energy), Rik Jonker (RWS), Marieke Rietbergen (Design Innovation Group), Ruben Prins (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat), Bert Janson (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland), en Peter Paul Weeda (Groenleven).

Dit document is tot stand gekomen onder coördinatie en eindredactie van Wijnand van Hooff (TKI Urban Energy), Robin Quax (TKI Urban Energy) en Wim Sinke (NERA). In het kernteam ten behoeve van de totstandkoming van dit document zaten: Rianne Post (Min EZK), Bert Janson (RVO.nl), Marco Kolkman (RVO.nl) en Karen Kooi (NWEA).

In het ondersteunende schrijfteam van dit document zaten de volgende experts: Peter Eecen (ECN part of TNO), Ruud Derks (BIPV Nederland), Wiep Folkerts (ECN part of TNO/SEAC), Mattijs Erbeveld (Rijkswaterstaat), Hans de Neve (ECN part of TNO/Solliance), Rik Jonker (RWS), Ad van 't Zelfde (BAM), Sten de Wit (SolaRoad), Arthur Weeber (ECN part of TNO/TU Delft), Bastiaan Vader (NWEA), Ando Kuypers (ECN part of TNO/Solliance), Kay Cesar (ECN part of TNO), Lenneke Slooff (ECN part of TNO).

Van de volgende experts hebben we individuele feedback op concepten van het document ontvangen, waarmee we het document op belangrijke punten hebben kunnen verbeteren:

Martine Roza (Min EZK), Marc Londo (NVDE), Gerrit Jan Schaeffer (Dutch Solar Energy), Corline Koolhaas (KNMI), Hans Welschen (Innovative Energy Concepts), Alex

⁹ De methodiek van de permanente portfolioanalyse wordt nu ook voor en met de andere sub-TKI's van TKI Energie uitgewerkt en toegepast. Tevens wordt met RVO verbinding gelegd met de ministeries ten behoeve van de 'monitoring en effectmeting'.



Schotman (WUR), Albert Polman (AMOLF), Sven Stremke (WUR), Wilma Eerenstein (Renergize), Gerard de Leede (Solarge/ JADS), Jadranka Cace (Rencom), Linda Steg (RUG), Goda Perlaviciute (RUG), Ivo Booijink (RWS), Roland Valkenburg (ECN part of TNO/SEAC), Wilfried van Sark (UU), Robin Quax (HyET Solar), Bouwe Meijer (TKI Urban Energy), Rogier Groeneveld (TKI Urban Energy), Rik te Raa (TKI Urban Energy), Maarten de Vries (TKI Urban Energy), John Post (TSE), Mari van Dreumel (Min I&W), Joost Koch (RVO.nl), Sandra de Keijzer (RVO.nl), Eelco van der Eijk (Min EZK), Marcel Hoek (NWO), Laetitia Ouillet (TU/e), Harm van der Beek (Min EZK), Lennert Goemans (Min EZK) en Reinier Romein (UVW).

Gedurende het proces is een vijftal bijeenkomsten georganiseerd om te discussiëren over, en feedback te ontvangen op, de inhoud van het conceptdocument op specifieke onderdelen. Aan deze bijeenkomsten hebben de volgende experts deelgenomen:

Zon op Water: Joop Andreae (GroenLeven), Bram van der Beek (Waterschap Rivierenland), Willem Biesheuvel (GroenLeven), Erwin de Bruin (WML), Humfrey Disco (SolarEdge), Arnoud van Druten (Floating Solar B.V.), Denis Dullaart (Gemeente Rotterdam), Joost van Eekhout (Praxiz Solar Sustainable Projects), Mattijs Erbeveld (Rijkswaterstaat), Wiep Folkerts (ECN part of TNO/SEAC), Roelof Gort (Waterschap Drents Overijsselse Delta), Edward Groenewoud (Fontis Watertechniek), Mark de Groot (Waternet), Nynke Hermelink (RVO.nl), Allard van Hoeken (Oceans of Energy), B. Hofs (Evides), Wijnand van Hooff (TKI Urban Energy), Bert Janson (RVO.nl), Minne de Jong (ECN part of TNO/SEAC), P.E. de Jong (Provincie Overijssel), Johan Jonker (HHNK), Alexander Keijser (Gemeente Rotterdam), Roland Van der Klauw (Wocozon), Marco Kolkman (RVO.nl), Sven Kramer (DAREL), Jan Kroon (ECN part of TNO), Basil van Laake (SolarEdge), Hans Lambrechts (Sunprojects), Sibren Loos (Deltares), Dirk Mathijssen (Evides), P. van der Meij (ALFEN), Donald Mollee (PWN), Nico Pattiwael (Gemeente Rotterdam), Rob Portielje (RWS), Bjorn Prudon (Waterschap Rivierenland), Ronald Rense (Rijkswaterstaat WVL), Bob Roessink (RWS), Maarten Romijn (HydroPV Technologies), Otwin van Saane (Provincie Zuid-Holland), Puck Sanders (Vattenfall), Marco van Schaik (Stowa / Unie van Waterschappen), Nicol Schermer (Texel4trading bv), Sassan Shaidary (O-Matrix Expertise), Wim Sinke (ECN part of TNO/NERA), Piet Sinke (RVO.NL), Wim Soppe (ECN part of TNO/Solliance), Mark Straver (Lightsource BP), Michelle Talsma (STOWA), Lex Tholen (Holt Holding BV), Pieter Veltman (HyET Hydrogen BV), Willem Vermeulen (Sunfloat), Rudi Visser (O-Matrix Expertise), Kees Vlak (Rijkswaterstaat).

Zon op Infra: Ronn Andriessen (TNO-Soliance), Jaap Baarsma (1954), Peter Boon (provincie Noord-Holland), Anne ten Brummelhuis (Omgevingsdienst Veluwe IJssel), Hans De Neve (TNO-SEAC), Humfrey Disco (Solaredge), Denis Dullaart (gemeente Rotterdam), Mattijs Erbeveld (Rijkswaterstaat), Ronalt Folbert (Heijmans), Nynke Hermelink (RVO.nl), Wijnand van Hooff (TKI Urban Energy), Bert Janson (RVO.nl), Minne de Jong (ECN part of TNO/SEAC), Peter de Jong (Provincie Overijssel), Johan Jonker (HHNK), Alexander Keijser (Gemeente Rotterdam), Bernadet Keijsper (Provincie Zuid-Holland), Mark van Kerkhof (provincie Brabant), Marco Kolkman (RVO.nl), Basil van Laake (SolarEdge), Simon Lubach (Rijkswaterstaat), Donald Mollee (PWN), Nico Pattiwael (Gemeente Rotterdam), Maarten Romijn (HydroPV Technologies), Paul Rutte (Provincie Noord Holland), Puck Sanders (Vattenfall), Marco van Schaik (Unie van



Waterschappen), Nicol Schermer (Texel4trading bv), Wim Sinke (ECN part of TNO/NERA), Wim Soppe (ECN part of TNO/Solliance), Mark Straver (Lightsource BP), S.P Taam (de Zoncorporatie), Pieter Veltman (HyET Solar), Siebe Visser (gemeente Ermelo), Sten de Wit (SolaRoad), Ad van t' Zelfde (BAM).

Zon op Gebouw: Bart Allard (Solinso BV), Jan Bakker (ZEP B.V.), Peter Blokker (ECN part of TNO), Rene Borro (Rebor BV), Jadranka Cace (RenCom), Raoul Comuth (Beausolar.b.v), Menno van den Donker (Solarge), Wiep Folkerts (ECN part of TNO/SEAC), Stan Gerrits (Autarco), Nynke Hermelink (RVO.nl), Tatjana Jansen (Rebor bv), Egon Janssen (TNO), Paul de Jong (Solinso BV), Josco Kester (ECN part of TNO), Benno Klein Goldewijk (Viridian Solar), Wijnand van Hooff (TKI Urban Energy), Stan Klerks (TNO), Marco Kolkman (RVO.nl), Ando Kuypers (ECN part of TNO/Solliance), Machteld Lamers (Technische universiteit Delft), Roel Loonen (TU/e), Tjeerd van Loosbroek (ScaleUp Heroes), Jan-Jaap van Os (Exasun), Wilfried van Sark (Universiteit Utrecht), Wim Sinke (ECN part of TNO/NERA), Jannes van Slooten (ZEP BV), Peter Spelt (Van Wijnen Eibergen), Rianne Vreman (Van Wijnen), Henny Welleman (ECN Part of TNO), Hans Welschen (Innovative Energy Concepts), Eugène Widlak, Eric Willems (Huygen Ingenieurs&Adviseurs BV), Rubel Yilmaz (SunChip Projects), Peter van der Zijde (Zonnecomfort B.V.), Han van Zwieten (Han van Zwieten architect BNA).

Zon in Landschap: Spyros Bousios (Brite Solar Technologies), Jan Brands (Praxiz Develop Solar Technology), Wouter Bron (Geophix), Anne ten Brummelhuis (Omgevingsdienst Veluwe IJssel), Kay Cesar (ECN part of TNO), Lieke Dreijerink (ECN part of TNO), Joost van Eekhout (Praxiz Solar Sustainable Projects), Wilma Eerenstein (Renergize), Sonja der Eijk (ASN Bank), Hans Elzenga (PBL), Mattijs Erberfeld (Rijkswaterstaat), Bart Geerligs (ECN part of TNO), Floor Govers (Design Innovation Group), Wouter Guliker (Astronergy), Inez 't Hart (RWS), Diederik Hazenberg (Vattenfall), Merel Hondebrink (Louis Bolk Instituut), Wijnand van Hooff (TKI Urban Energy), Rob Jacobs (H2ARVESTER), Bert Janson (RVO.nl), T. Keuzenkamp, van Emmerik (Provincie Zuid-Holland), Marco Kolkman (RVO.nl), Rene Kroes (a.s.r.), Rob Kursten (Engie), Nick Laan (Ten Have Seeds), Toine Morel (RWS), Dirk Oudes (Wageningen Universiteit / Academie van Bouwkunst), Jan Pieter Peijs (Staatsbosbeheer), Ruben Peuchen (ECN part of TNO), Gillian Phair (Leafteasers B.V.), Marc van de Pol (KiesZon), Lianne Polinder (Design Innovation Group), Marieke Rietbergen (Design Innovation Group), Mark van Rij (Ventolines), Mariëtte van Rooij (ProRail), Martine Roza (Min EZK), Gerrit Jan Schaeffer (Dutch Solar Energy), Stephan Schorn (Eelerwoude), Alex Schotman (Wageningen Environmental Research), Wim Sinke (ECN part of TNO/NERA) Lenneke Slooff (ECN part of TNO), Jeroen Slujsmans (Wageningen University & Research), Wouter van Strien (ECN part of TNO), Eric Tonnaer (Vattenfall), Martine Uyterlinde (PBL), Chris de Visser (WUR-OT), Marcel Vroom (H2ARVESTER), Henny Welleman (ECN part of TNO), Willemieke van Wijlen (Omgevingsdienst Veluwe IJssel), Richard Witte (Bureau Endemica).

PV-technologie: Bas van Aken (ECN part of TNO), Paula Bronsveld (ECN part of TNO), Anna Carr (ECN part of TNO), Bart Geerligs (ECN part of TNO), Nicolas Guillevin (ECN part of TNO), Erik Haverkamp (ReRa Solutions BV), Wijnand van Hooff (TKI Urban Energy), Marlies Kamp (ECN part of TNO), Marco Kolkman (RVO.nl), Michiel Koorn (ECN part of TNO), Jan Kroon (ECN part of TNO), Jochen Löffler (ECN part of TNO),



Bas van de Loo (Tempress Systems), Bart Macco (TU Eindhoven), Jimmy Melskens (TU Eindhoven), M. Shakori (Eternal Sun), Mark Steltenpool (Levitech BV), Maciej Stodolny (ECN part of TNO), Roel Theeuwes (TU Eindhoven), Sjoerd Veenstra (ECN part of TNO/Solliance), Arthur Weeber (ECN part of TNO/TU Delft), Henny Welleman (ECN part of TNO), G. Yang (TU Delft), Otto Bernsen (RVO.nl).

Contact

Bij vragen over dit document of indien er behoefte is aan een toelichting dan kan contact worden opgenomen met Robin Quax, robin@tki-urbanenergy.nl.



TKI Urban Energy

Arthur van Schendelstraat 550D
3511 MH Utrecht

T +31 30 747 00 27

E info@tki-urbanenergy.nl

T www.tki-urbanenergy.nl

