

**Openbaar eindrapport**

Leeghwaterstraat 44  
2628 CA Delft  
Postbus 6012  
2600 JA Delft

**Modular E-cover for Smart Highway (MESH):  
Ontwikkeling van PV op de geleiderail**

www.tno.nl

T +31 88 866 22 00  
F +31 88 866 06 30

Datum 29 mei 2020

Auteur(s) R.A. Bezemer, TNO  
K.E. Sewalt, TNO  
E.M.B. Heller, Hogeschool van Amsterdam  
D.A. Roosen, Solliance  
A.B. Mink, Provincie Noord-Holland  
V. de Waal, Heijmans  
M. Arnoldy, FemtoGrid

MESH is gesubsidieerd door de iDEEGO (innovatie Duurzame Energie en Energiebesparing Gebouwde Omgeving) regeling van de topsector Energie, gefaciliteerd door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

**Inleiding**

Grootschalige toepassing van zonnecellen (photovoltaic cells, PV) in de gebouwde omgeving is gelimiteerd, mede omdat dakoppervlakken niet volledig benut kunnen worden ten gevolge van de ligging en de aanwezigheid van verstorende elementen als schoorstenen, dakkapellen, daklichten, etc. Het wegennet in Nederland biedt aanknopingspunten voor integratie van PV waarmee nog meer zonlicht omgezet kan worden in elektriciteit. Een terugkerend element in de infrastructuur is de geleiderail (vangrail); alleen al in Nederland staat er 7400 km geleiderail, met een potentie van 700 MWp aan geïntegreerde PV. Op die manier wordt dubbel ruimtegebruik gerealiseerd.

In dit project is dunne film PV toegepast op geleiderails langs de provinciale weg in een modulaire 'E-cover'. De opgewekte stroom is geleverd aan het elektriciteitsnet. De verwachting is dat in de toekomst steeds meer infrastructuur voor verkeersmanagement toegepast wordt in het kader van de transitie naar "smart highways". Dit zal een drijfveer zijn voor toepassing van het modulaire E-cover concept voor de smart highway, met lokale energieopwekking.

**Doelstelling**

Het doel van dit project was om in een pilot een traject met dubbele geleiderails te voorzien van dunne film PV en zo inzicht te krijgen in de optimale configuratie en het functioneren van de gehele opstelling. Op deze manier kan de werking van het principe in de praktijk worden aangetoond.

De configuratie dient zodanig te zijn dat de primaire functie van de geleiderail (veiligheid) niet wordt gehinderd. Dit leidt tot eisen aan de dunne film PV, het bevestigingsconcept (snel monteerbaar en veilig), de power optimizers voor de lijnvormige PV toepassing, DC management en energietransport. Het functioneren van de opstelling omvat energieopbrengst, robuustheid en gevoeligheid voor onder andere vervuiling en vocht.

Een verdere doelstelling was dat de werking voldoende zou zijn aangetoond om in een vervolgpilot de technologie voor commerciële toepassingen op te kunnen schalen.

## Uitvoering en resultaten

Een ontwerpteam is samengesteld, waarin de vijf partners deelnamen. Het project is uitgevoerd in zeven werkpakketten:

### 1. Programma van Eisen (PvE)

De ontwikkeling van het PvE is benaderd vanuit de functies van het uiteindelijke product, waarvan de E-cover (PV met de constructieve elementen voor plaatsing tussen de geleiderail) de kern is. Het ontwerpteam heeft het PvE in een aantal sessies opgesteld: uitgangspunten, eisen en wensen aan ontwerp, productie en installatie, omstandigheden tijdens gebruik, duurzaamheid en demontage aan het einde van de levensduur. Het PvE is iteratief aangescherpt gedurende de ontwikkeling in de volgende werkpakketten.

In het PvE zijn eisen geformuleerd m.b.t. de twee hoofdfuncties van het systeem, voertuiggeleiding en elektriciteitsproductie. Voor voertuiggeleiding worden eisen gesteld aan de afscherpende constructie; bij elektriciteitsproductie spelen met name de veiligheidsaspecten een rol.

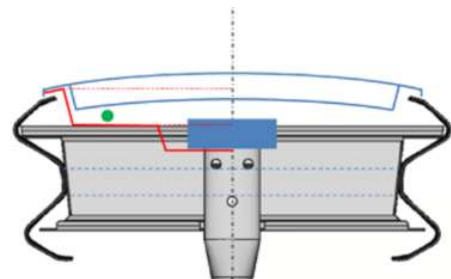
In het PvE zijn veel invloedsfactoren geïdentificeerd zoals op het gebied van calamiteiten, gebruik/misbruik en klimatologische omstandigheden. Een aantal factoren zijn meegenomen in het ontwerp en andere factoren zijn in de pilot nader bekeken.

De ontwikkeling van het PvE is gelijk opgegaan op met de conceptontwikkeling en ontwerpdefinitie, namelijk van een kwalitatief naar een meer kwantitatief karakter.

### 2. Ontwikkelen E-cover concept

Het ontwerpteam heeft in een serie werksessies ontwerp oplossingen gegenereerd met het PvE als basis. Een morfologisch overzicht is opgesteld waarmee voor verschillende functies en ontwerpaspecten deel oplossingen in kaart gebracht zijn. Door verschillende deel oplossingen te combineren zijn ontwerprichtingen voor de E-cover bepaald, die vervolgens getoetst zijn aan de (hoofd)criteria uit het PvE.

Bij de conceptontwikkeling is een breed scala aan ontwerptools ingezet, onder andere handschetsen, CAD-modellen, 3D-printen van schaalmodellen en experimenteel uitproberen van vormen en oplossingen op ware grootte op een stuk geleiderail. Daarna is een opstelling van 12 meter geleiderail geplaatst (de lengte van 3 maal de standaard modulemaat), waarop naast de uitvoering van de E-cover in kunststof ook metalen uitvoeringen onderzocht zijn.



Op basis van een uitvoerige risicoanalyse en twee inhoudelijke sessies met een expertpanel is uiteindelijk gekozen voor een volledige kunststof variant. Het panel was samengesteld uit consortiumpartners en andere partijen, zoals Rijkswaterstaat, wegbeheer van de Provincie Noord-Holland, een producent van geleiderail en een specialist in botstesten.

Op basis van het conceptontwerp zijn drie ontwerp opdrachten uitgevoerd door studenten aan de Hogeschool van Amsterdam en één opdracht door studenten van ROC Mondriaan te Delft. Hoofdonderwerpen: bevestigingssysteem aan geleiderail met aandacht voor veiligheid en constructieve aspecten, autonoom / plug-and-play PV-systeem met focus op energie-aspecten en veiligheid.

### 3. Dunne PV film

In het project zijn drie typen dunne film PV-modulen voor toepassing in de pilot onderzocht, twee CIGS-modulen van leveranciers MiaSolé en Global Solar en één amorf Si-module van leverancier HyET Solar, met onderstaande specificaties.

#	Leverancier	Type	Vermogen	Lengte
1	MiaSolé	FLEX 120N	30V5@3A93 (120W )	2598 mm
2	Global Solar	PowerFLEX BIPV	16V5@5A4 (90W)	2017 mm
3	HyET Solar	Powerfoil	17V@1A25 (22W)	1230 mm



Samples van deze drie typen zijn PV-technisch beoordeeld en op de 12 meter proefopstelling beoordeeld op installatietechnische aspecten (aanbrengen, aansluiten, kabeldoorvoer en kabelaansluitingen). Uiteindelijk is gekozen om met de CIGS-modulen van MiaSolé en Gopal Solar door te gaan. Belangrijkste criteria hierbij waren het vermogen per strekkende meter, mechanische robuustheid, verkrijgbaarheid en de mogelijkheid om de junction box aan de achterzijde van de module te monteren.

### 4. Engineering

Een multidisciplinair team vanuit Heijmans, TNO en Femtogrid heeft detailanalyses uitgevoerd en omgezet in een detailontwerp. Belangrijke aspecten waren de vorm van de dragende constructie, bevestigingen, flexibiliteit van materialen en de configuratie van alle componenten. Tevens zijn onder leiding van Provincie Noord-Holland criteria opgesteld voor een pilotlocatie en is een locatie gevonden die daaraan voldeed.



Het definitieve ontwerp voor de **E-cover** is opgebouwd uit drie delen van slagvast polycarbonaat: een bodemdeel op de afstandshouders van de geleiderail, een deksel en een afdekkap. Het bodemdeel en de deksel vormen samen de onderconstructie voor de PV-modulen, die op de bovenkant van het deksel worden gekleefd. De junction box met kabels steekt door een gat in het deksel. De transparante, getextureerde

afdekkap is later in het ontwerp toegevoegd tegen impact, mogelijk vandalisme en schitteringen voor passerend verkeer.

Het **elektrisch systeem** bevat Solar Power Optimizers en DC-AC Inverters. De optimizers verhogen de gelijkspanning naar 380 VDC. De inverters in een straatkast vormen om naar 230 VAC wisselspanning.

Het systeem kent een eigen veiligheidsoptie: bij doorbreken van de trunk-kabel (bij door de geleiderail schieten van een voertuig) schakelt het systeem af. Daarnaast bevat de geleiderail enkele tiltsensoren die bij kanteling van de geleiderail t.o.v. de verticaal (onder andere bij een aanrijding) het systeem uitschakelen.

Gedurende de concept- en de detailleringfase is **veiligheid** beoordeeld via een Failure Mode and Effect Analysis en door twee inhoudelijke sessies met een expert-panel vanuit onder meer Rijkswaterstaat, wegbeheer van de Provincie Noord-Holland, een producent van geleiderail en een specialist automotieve botstesten. De belangrijkste overwegingen waren mechanische en elektrische veiligheid bij calamiteiten. Dit heeft geleid tot drie besluiten, waarvan de laatste de grootste consequenties had:

- De onderconstructie wordt een volledige kunststof variant in plaats van metaal;
- In de geleiderail worden tiltsensoren opgenomen;
- De optimizers worden niet in de onderconstructie geplaatst, maar achter de geleiderail. Er is voor gekozen de optimizers niet boven, maar onder het maaiveld te plaatsen. Dit laatste komt voort uit het maaibeeld van de wegbeheerder.

Een eerste versie van de **businesscase** is na het eerste ontwerp in 2017 opgesteld. Deze heeft meegewogen in de Go/No-go beslissing voorafgaand aan realisatie van de pilot (zie 5. *Prototyping en beproeving*). Om de elektriciteitskosten te kunnen vergelijken met andere producten die elektriciteit leveren, is gekozen om de "Levelized Cost of Electricity (LCoE)"<sup>1</sup> als methode te hanteren. Uitgangspunten zijn een discontovoet van 0%, een levensduur van 20 jaar en het niet beprijzen van CO<sub>2</sub>-uitstoot gezien de lage prijs. De businesscase kent drie mijlpalen: pilot 2017, 1 km MESH-opstelling in 2018 en 100 km MESH-opstelling in 2020. Voor de Go/No-go beslissing is als referentie een LCoE van € 0,12 per kWh genomen (LCoE-schattingen voor PV op woningen is € 0,09-0,13 per kWh<sup>2</sup>). De projectpartners hebben de MESH-kosten en de toekomstige energieopbrengst ingeschat. De resultaten voor de eerste businesscase zijn als volgt:

	72m (pilot)	1km (2018)	100km (2020)
<b>Investing (€/m)</b>	<b>763</b>	<b>425</b>	<b>235</b>
<b>Onderhoud (€/jr/m)</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Opbrengst (kWh/jr/m)</b>	<b>73,8</b>	<b>88,5</b>	<b>118</b>
<b>LCoE (€/kWh)</b>	<b>0,621</b>	<b>0,288</b>	<b>0,120</b>
<b>Terugverdiëntijd (jr)</b>	<b>623</b>	<b>67</b>	<b>20</b>

Door de verwachte kostendaling bij een groter project daalt de LCoE, onder andere door goedkopere productietechnieken en een verwachte hogere PV-efficiëntie. Na opschaling is de terugverdiëntijd van 20 jaar ongeveer gelijk aan de verwachte levensduur.

Op basis van deze informatie was er bij de projectpartners voldoende vertrouwen in een positieve business case op termijn.

### 5. Prototyping en beproeving

Op het terrein van Heijmans in Rosmalen is een opstelling van 12 meter geleiderail geplaatst waarop zowel kunststof als metalen uitvoeringen van de E-cover onderzocht zijn. Op de verschillende E-covers zijn de drie typen geselecteerde PV-modulen gemonteerd en is bekabeling aangesloten om installatieaspecten, kabeldoorvoer en het algemeen technisch functioneren te kunnen beoordelen. De PV-modulen leverden geen energie.

De technische werkgroep heeft besloten om de opstelling vooral te gebruiken voor het beoordelen van mechanische aspecten (zoals de montagemethode) en het optimaliseren



<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change, 5th Assessment report WP3, 2014.

<sup>2</sup> ECN, MKEA zon en wind op land, 2016.

van installatietechnische aspecten (PV-modulen aanbrengen en aansluiten, connectoren en bekabeling).

De proefopstelling heeft een belangrijke rol gespeeld bij de keuze voor het type PV en selectie van materialen. Bij de tweede veiligheidssessie met het expertpanel is definitief gekozen voor een volledige kunststof uitvoering van de E-cover.

Een belangrijk onderdeel in deze fase van het project betrof de besluitvorming inzake de Go/No-go beslissing voor uitvoering van de pilot. Drie voorwaarden waren daarbij leidend:

1. Het expert panel vindt de beheersmaatregelen uit de risicoanalyse voldoende om de pilot veilig te kunnen uitvoeren;
2. De projectpartners hebben voldoende vertrouwen in een positieve businesscase;
3. Iedereen onderschrijft een serie pilotafspraken, waarin kosten, taken en verantwoordelijkheden vastgelegd zijn.



Aan deze voorwaarden is uiteindelijk voldaan, zodat de pilot van start kon gaan.

**6. Pilot**

Voor de pilotbouw zijn vergunningen aangevraagd en is afgestemd met de weg- en de gebiedsbeheerder. Voor de start zijn afspraken gemaakt over eventuele vervanging van defecte elementen en de verdeling van bijbehorende kosten. In de zomer van 2018 is de pilot in Heerhugowaard opgebouwd aan de nieuwe provinciale weg N194, als onderdeel van renovatieproject N23 Westfrisiaweg. De pilot heeft een lengte van 72 meter, waarvan iedere 12 meter samengesteld is met 2 modulen Global Solar (ieder 2,00 m x 50 cm, vermogen 90 Wp) en drie modulen MiaSolé (ieder 2,60 m x 37 cm, vermogen 120 Wp). Het gemiddelde vermogen is dus ca. 45 Wp/m<sup>1</sup>.

Per 24 meter geleiderail zijn de optimizers voor dat deel in een putkast ondergebracht. Elke putkast bevat één optimizer voor elke module MiaSolé, één optimizer voor elk paar in serie geschakelde modulen Global Solar en een Raspberry Pi voor communicatie via ZigBee met optimizers in de put en de apparatuur in de straatkast. Onderstaand staat een schematische weergave van de eerste 24 meter van de pilot en foto's.

Met de aanleg van de pilot is tegelijkertijd het monitoringssysteem geïnstalleerd: camera's,

afstanden	10-24m	12m	12m				
				100Wp		120Wp	120Wp
							
							350VDC
							350VDC
							LAN

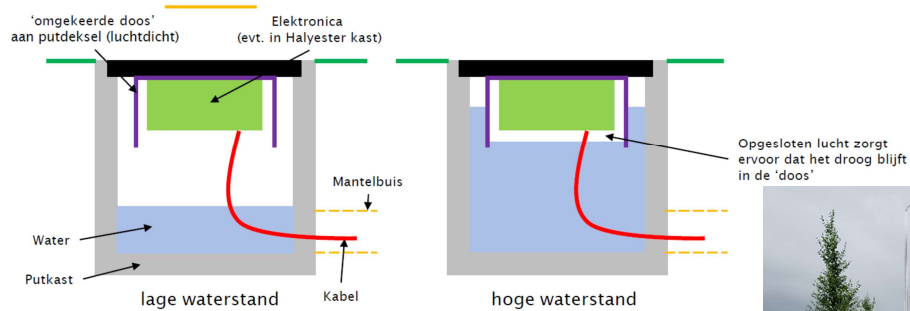
weerstation en monitoringsapparatuur (zie onder).

Doordat de netbeheerder de eindaansluiting op het net eerst moest verzwaren en van een aparte energiemeter voorzien, is pas in december 2018 de netkoppeling gerealiseerd.



Bovendien heeft in die tijd hevige regenval ertoe geleid dat een meer dan verwachte hoeveelheid water in de putkasten kwam, waardoor de optimizers in 2 van de 3 putkasten tijdelijk onder water kwamen te staan en uitvielen. Het systeem is toen afgeschakeld. De putkasten en het montagerek voor de optimizers zijn vervolgens aangepast volgens het principe van de duikklok, zie onderstaand figuur.

### Principe Duikklok MESH



Tegelijkertijd zijn de aangetaste optimizers vervangen, visueel geïnspecteerd en opnieuw geïnstalleerd. Twee optimizers leverden geen bruikbare signalen meer. De pilot werd daardoor ingegaan met 10 modulen Global Solar (i.p.v. 12) en 17 modulen MiaSolé (i.p.v. 18). Na deze aanpassingen heeft de pilot van 18 maart 2019 tot 19 maart 2020 gefunctioneerd zonder calamiteiten, incidenten of benodigd onderhoud. De problemen met waterindringing hebben zich niet meer voorgedaan.



### 7. Monitoring en energieopbrengst

Een monitoringsplan is opgesteld met als doelen het MESH-systeem te evalueren (veiligheid en opbrengst), technische verbetermogelijkheden te inventariseren en de businesscase aan te scherpen.

Luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, luchtdruk en zoninstraling zijn doorlopend gemeten en twee infraroodcamera's observeerden de straatkast en de locatie om eventuele calamiteiten te registreren. Deze hebben echter niet plaatsgevonden. Regelmatig is visueel geïnspecteerd op vervuiling en algemene staat van de gehele opstelling. Gedurende de monitoringsperiode is de opstelling niet gereinigd.

Temperaturen in de E-cover zijn met 12 thermokoppels gemonitord via een draadloos netwerk. In aanvang functioneerde dit goed, maar na verloop van tijd niet meer. Dit probleem is niet verholpen, omdat het geen cruciale parameter is en omdat herstel teveel inspanning zou vergen, namelijk het aanleggen van een bedraad netwerk. Daardoor zijn slechts beperkt E-cover-temperaturen beschikbaar.

M.b.v. het simulatieprogramma SAM (System Advisor Model) van National Renewable Energy Laboratory (NREL) is een indicatieve jaaropbrengst berekend voor het MESH systeem. Oorspronkelijk (12 modulen Global Solar en 18 modulen MiaSolé) was de verwachte jaaropbrengst ca. 2.600 kWh. Na herinstallatie (10 modulen Global Solar en 17 modulen MiaSolé) was de verwachte jaaropbrengst ca. 2.350 kWh. Rekening houdend met 20-25 % verlies door afdekkap en vervuiling was de verwachting jaarlijks ca. 1.800 kWh te kunnen leveren.

Vanaf dat de aansluiting op het energienet in maart 2019 was gerealiseerd tot maart 2020 bedroeg de gemeten levering totaal 1.200 kWh, dus ca. 67% van de verwachte 1.800 kWh.

Er is onderzoek gedaan naar mogelijke oorzaken door de verkregen gegevens te analyseren. Op basis van dit onderzoek kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Individuele PV-modulen en/of systeemcomponenten hebben niet afwijkend gefunctioneerd t.o.v. de verwachtingen;
- De drempelwaarde van de optimizers waaronder geen energie wordt geleverd, is te laag om een deel van het verschil te kunnen verklaren;
- De Performance Ratio van de PV-modulen is relatief laag: gemiddeld rond 40% (is gemiddeld 77% voor PV-systemen op daken); dat is in lijn met wat verwacht zou worden op basis van de lage energieopbrengst;
- Uit de vermogensmetingen blijkt dat transportverliezen enige invloed hebben gehad, tot ca. 10%;
- De afdekkap had meer effect dan het ingeschatte verlies van ~20-25 %.

Dit laatste lijkt de meest waarschijnlijke hoofdoorzaak van de relatief lage opbrengst. Bij toekomstige opschaling kan een afdekkap vervallen door het toepassen van een robuuste mee-gelamineerde frontsheet op de PV-modulen.

## Verbetermogelijkheden

De MESH-opstelling is van maart 2019 tot maart 2020 als pilot-opstelling gemonitord. Op basis van de bevindingen in de ontwikkel- en de pilot-/monitoringfase zijn verbetermogelijkheden geïnventariseerd.

### 1. Integratie in de geleiderail?

Het integreren van PV met de primaire functie van de geleiderail (botsveiligheid) is complexer gebleken dan vooraf voorzien. In het oorspronkelijke ontwerp – alle elektronica tussen de geleiderails – was onderbouwd dat de bots- en elektrische veiligheid gewaarborgd zouden zijn. Het ontwerp bleek echter niet houdbaar vanuit de veiligheidsfilosofie van provincie en wegbeheerder. Het resultaat was een kostentechnisch en esthetisch minder aantrekkelijk ontwerp: het plaatsen van de elektronica achter de geleiderail. In de pilot is dat gebeurd in ondergrondse putten, omdat bovengrondse kastjes niet pasten bij het maaibeeld van de wegbeheerder. Twee alternatieve oplossingen:

- Elektronica achter de geleiderails in een kast plaatsen. Dit is elektrisch veilig en minder kostbaar, terwijl de apparatuur watervrij gehouden wordt. Het maaien wordt hiermee echter arbeidsintensiever.
- De elektronica wordt alsnog in de onderconstructie geïntegreerd zonder negatieve invloed op de bots- of elektrische veiligheid. Mechanische veiligheid (loskomen van componenten) en elektrische veiligheid (afschakelen van het systeem bij impact) moeten dan door botsproeven worden aangetoond.

### 2. Constructieve aspecten

De opstelling met elektronica onder het maaiveld in een 'duikersklok' is elegant en effectief. Er bestaat een risico dat door opwaartse druk water kan indringen in het geval van kleine lekken door bijvoorbeeld scheurtjes; daarop kan getest worden. Om dit risico te voorkomen is een alternatief het gebruik van bovengrondse kastjes nabij de geleiderail. Die zijn bovendien goed bereikbaar, bijvoorbeeld voor onderhoud. Nadeel is echter dat het maaien arbeidsintensiever wordt.

De kunststof onderconstructie waarop de PV-modulen zijn bevestigd, kan waarschijnlijk vereenvoudigd worden als de elektronica niet tussen de geleiderails geplaatst wordt.

De harde afdekkap tegen beschadigingen en schitteringen functioneert goed, maar neemt ook licht weg. Mogelijk kan de deze lichter uitgevoerd worden en optisch gekoppeld worden met de PV-folie in één robuuste beschermlaag.

### 3. Productie, aanleg, onderhoud

Productie en assemblage van het bodemdeel van de E-cover ging gepaard met veel handwerk. Bij een seriematige aanpak en mechanisatie is het proces te vereenvoudigen en te verkorten. De installatie op locatie kostte veel tijd. Dat is te beperken door constructieve vereenvoudigingen, mechanisatie van de montage en lokale (DC) toepassing van het opgewekte vermogen. Een vervolgotwerp moet rekening houden met plug & play vervanging van elementen in de geleiderail om onderhoudskosten te minimaliseren.

### 4. Energieopbrengst

De PV-modulen kunnen meer vermogen per strekkende meter opwekken door a) toepassing van nieuwere types PV-cellen met hogere efficiëntie, b) optimale PV-breedte tussen de geleiderails en c) integreren van de afdekkap en de beschermingslaag tot een laag die zo min mogelijk licht wegneemt. Daarmee is de verwachting dat de energieopbrengst verhoogd kan worden van de gerealiseerde 18 kWh/m/jr naar 80 kWh/m/jr. Het energieverlies kan verder beperkt worden door bekabeling te minimaliseren, onder ander door lokale DC-toepassing voor de infrastructuur of nabijgelegen gebouwen. Dan wordt energie opgeslagen in lokale batterijen. Deze toepassingen zijn gemakkelijk schaalbaar afhankelijk van de lokale toepassing.



### Vernieuwde businesscase

De businesscase die vóór de pilot is opgesteld, is bijgewerkt op basis van de gemaakte en benodigde kosten voor de MESH-opstelling, de werkelijke energieopbrengst en de toekomstig mogelijke energieopbrengst als de verbeteringen in de energieopbrengst zouden worden doorgevoerd. Met de overige parameters gelijk aan de eerste businesscase is de bijgewerkte businesscase als volgt:

LCoE (eenvoudige methode, IPCC 2014)	Proto design	Proto realised	1km (2020)	100 km (2022)	1000km (2025)
Investering (€/m)	763	1800	1700	1302	1302
Onderhoud (€/m/jr)	8	8	8	8	8
Opbrengst (kWh/m/jr)	36	18	80	98	108
LCoE (€/kWh)	1,27	5,85	1,16	0,74	0,67

De LCoE van het MESH systeem is hoog vergeleken met de gewenste 0,12 €/kWh. Ook de hierboven geschetste toekomstige verbeteringen in PV-toepassing en opschaling geven nog een hoge LCoE. Verdere verlaging van de LCoE vraagt een verlaging van de investering, vooral de aanlegkosten.

### Conclusies

De MESH-opstelling is in juli 2018 gebouwd en heeft vanaf maart 2019 gedurende 12 maanden goed gefunctioneerd. De constructie is in die tijd robuust gebleken: er is geen achteruitgang geconstateerd en er was geen onderhoud of vervanging van elementen nodig.

Er is veel nieuwe kennis verzameld over dit ontwerp en de praktische implementatie van flexibele PV-cellen gekoppeld aan de infrastructuur. Deze praktijkproef heeft inzicht gegeven in welke problemen kunnen optreden en waar oplossingen liggen.

De levering is totaal 1.200 kWh geweest, ca. 67% van de verwachte 1.800 kWh.

Als deze toepassing vergeleken moet worden met netstroom is de LCoE van het MESH-systeem nu te hoog. Als de waardering ook kan zitten in vermijden van installeren van windmolens of zonneparken op schaarse grond kan de discussie een andere dimensie krijgen. Deze is echter nog niet in geld uit te drukken.

Andere denkrichtingen zijn het plaatsen van PV direct achter de geleiderail of als autonoom systeem voor mobiele barriers, waarbij de PV zorgt voor additionele functionaliteit. Lessen van MESH met betrekking tot toegepaste materialen en het ontwerp kunnen hierbij worden toegepast.

### **Kennisverspreiding en PR tijdens en na het project**

Op diverse manieren is bekendheid gegeven aan MESH: door studentenprojecten, conferentiepresentaties en persberichten met daaropvolgende publiciteit.

#### Studentenprojecten

- Sept. 2016 – jan. 2017: Vier HvA-studenten hebben een systeem ontwikkeld voor de bevestiging van een zonnepaneel op de geleiderail, met veel aandacht voor veiligheid van personen en robuustheid van de opstelling (weer, verkeer, chemische stoffen, vandalisme).
- Nov. 2016 – febr. 2017: Een aantal studenten van ROC Mondriaan (Delft) hebben een voorlopig ontwerp gemaakt, gericht op de mechanische aspecten van de onderconstructie op de geleiderail.
- Febr. – jun. 2017: Drie HvA-studenten hebben een plug-and-play PV-systeem ontworpen op geleidebarriers (dus geen geleiderails), waarvan de energieopbrengst lokaal toegepast kan worden langs autowegen, met veel aandacht voor energieopbrengst en -opslag.
- Sept. 2017 – jan. 2018: Vier HvA-studenten hebben een ontwerp gemaakt van een veilig, autonoom elektrisch systeem voor op een geleidebarrier, met de nadruk op het energiemodel in relatie tot de PV-cellen.

#### Presentaties

- 10 nov. 2017: Presentatie op de netwerkbijeenkomst Delft Energie Neutraal 2050. Deelnemers waren onder andere de wethouder, ambtenaren en Delftse bedrijven.
- 21 mrt. 2018: Presentatie op de internationale beurs Solar Solutions International, Haarlemmermeer.
- 24 sept. 2018: Presentatie *Integration of PV modules in Road Restraint Systems* op de internationale conferentie EU PVSEC 2018, Brussel.
- 7-11 sept. 2020: Presentatie *Outdoor performance and future potential of infra integrated PV* op de internationale conferentie EU PVSEC 2020, Lissabon (abstract ingediend).

#### Persberichten en publiciteit

- 19 jul. 2018: Persbericht *Flexibele zonnecellen in de vangrail – Eerste proef ter wereld*
- Tot sept. 2018: Dit persbericht is overgenomen op websites van de projectpartners en in de media (NH Nieuws, lokale dagbladen, AD, De Ingenieur, nog minimaal 13 specifieke web-/nieuwssites)
- 10 sept. 2018: Artikel *Can solar panels save motorcyclists' lives?*, website van The Federation of European Motorcyclists' Associations FEMA
- Juni 2020: Persbericht: *Zonnecellen op vangrail: eerste fase unieke praktijkproef afgerond*