

# Zon op Dijken

Openbaar Eindrapport



17 Juli 2023

Projectnummer	TEUE318002
Projecttitel	Zon op Dijken
Penvoerder en mede-aanvragers	TNO (penvoerder) Arcadis Eurorail Energie van Hollandsche Bodem (tot 19 november 2020) NV Afvalzorg Stichting Wageningen Research Instituut WUR Deltares Soltronergy BV STOWA Waterschap Scheldestromen Delmeco
Projectperiode	1 maart 2019 – 30 september 2022
Contactpersoon	Maarten Dörenkämper (TNO)                      email : maarten.dorenkamper@tno.nl

## Samenvatting

De energietransitie is in belangrijke mate een ruimtelijk vraagstuk; waar kunnen de windturbines en zonnestroomsystemen worden geplaatst? Dit geldt met name voor een dichtbevolkt land als Nederland, waar een grote druk bestaat op beschikbare vierkante meters land (en water). Dubbelfunctiegebruik van ruimte biedt daarom vele maatschappelijke en eventueel ook financiële voordelen. Zonnestroomsystemen op dijken zijn een voorbeeld van dubbelfunctiegebruik. In het project 'Zon op Dijken' is onder meer onderzocht of en hoe dit kan worden uitgevoerd zonder de waterkerende functie van de dijk aan te tasten. Binnen het project zijn vier verschillende fotovoltaïsche (PV) systemen ontworpen en gebouwd op twee verschillende dijklocaties:

- 1) Een klassiek PV-systeem op paaltjes, gedeeltelijk met gekleurde panelen (TNO-Eurorail, Spuikom dijk Ritthem, linksboven figuur 1)
- 2) Een systeem in het vlak van de dijk, gebouwd op betonelementen (Delmeco, Spuikom dijk Ritthem, rechtsboven figuur 1)
- 3) Een PV-systeem welk in grote mate "hangt" boven het talud van een dijk (Soltronergy, Knardijk Zeewolde, linksonder figuur 1)
- 4) Een PV-systeem op een verharde dijk, waarbij het gras is vervangen voor een betonachtige fundering (Afvalzorg, Knardijk Zeewolde, rechtsonder figuur 1)



Figuur 1: De vier ontwikkelde dijk-specifieke PV-systemen

De technische onderzoeksvragen gaan over hoe de dijk-specifieke PV-systemen elektrisch presteren en de wijze waarop de PV-systemen de faalmechanismen van dijken beïnvloeden. Dat laatste kan direct (via het lek maken van de afdichtende beschermlaag van een dijk) of indirect (door de afname van de kwaliteit van de grasbekleding door het veranderen van groei- en onderhoudsomstandigheden). Verder is ook onderzocht wat het maatschappelijk draagvlak voor Zon op Dijken is en hoe dit kan worden versterkt.

Tijdens de proefperiode hebben we gezien dat de systemen elektrisch gezien veelal uitstekend functioneerden. Systeem 2 (PV-systeem op betonelementen) kende een tijd, waarin er problemen waren met de elektrische isolatie. Dit is tijdens het project aangestipt als aandachtspunt en is te

verhelpen in een toekomstig systeemontwerp. Ook hebben we geen directe erosievorming geconstateerd. Tijdens de proefperiode hebben we wel gezien dat de kwaliteit van de grasbekleding door systeem 1 (klassiek systeem op paaltjes) wordt aangetast door een gebrek aan zonlicht onder de paneelvlakken. Door een gedeelte van de panelen te verwijderen herstelde de grasmat. Er is geen wateroverslag-test uitgevoerd op het systeem met paaltjes, waardoor hier geen uitspraak kan worden gedaan over het effect van de (vele) paaltjes op de stabiliteit van de waterkering. De graskwaliteit onder systeem 3 (hangende panelen) is ondanks de lichtreductie van 30% niet negatief beïnvloed door het PV-systeem. Dit systeem is echter helaas ernstig beschadigd geraakt tijdens een storm in 2022 en is daarmee niet klaar om op grote schaal ingezet te worden. Uit de studie naar het maatschappelijk draagvlak is o.a. naar voren gekomen dat systemen die weinig zichtbaar zijn (in het vlak van de dijk) het best worden gewaardeerd.

We concluderen dat PV-systemen die op een dijkverharding in het dijkvlak worden aangebracht en die goed in te passen zijn in de huidige dijkenbouwpraktijk (bijvoorbeeld tijdens een dijkversterkingsoperatie), zonder veel aanvullend onderzoek kunnen worden toegepast op dijken. Systemen waarbij de grasbekleding grotendeels worden beschaduwd door het PV-systeem zijn vanuit waterveiligheidsoogpunt vooralsnog niet geschikt gebleken.

## Inleiding

We staan aan de vooravond van een grootschalige uitrol van hernieuwbare energiebronnen zoals wind en zon. Het gebruik van landbouwgebied voor het plaatsen van zonneparken ligt voor de hand, maar maatschappelijke afwegingen maken dat Nederland landbouwgebied zo veel als mogelijk willen ontzien. Het klimaatakkoord benadrukt daarom dat bijzondere inspanningen nodig zijn om zonnestroom of PV-installaties te integreren met gebouwen en de infrastructuur. Dat was de aanleiding voor STOWA en de verschillende lokale Waterschappen in Nederland om te onderzoeken welke dijken kunnen worden benut voor de opwekking van hernieuwbare energie<sup>1</sup>. Nederland heeft ongeveer 17.000 km aan dijken en een voorstudie heeft uitgewezen dat deze dijken een potentieel bieden van 11 GWp aan PV-systemen<sup>2</sup> zonder dat dit ten koste hoeft te gaan van landbouwgebied.

De PV-systemen mogen echter onder geen beding de primaire waterveiligheidsfunctie van de dijken aantasten. Zowel niet tijdens de bouwfase, als tijdens de operationele fase van de PV-systemen. Daarnaast vormen dijken veelal cultuurhistorische landschappelijke elementen, waar o.a. ook gerecreëerd wordt middels fiets- of wandeltochten.

Dit geheel was aanleiding voor de partijen binnen het Zon op Dijken projectconsortium om onderzoek te doen naar de vraag hoe PV-systemen het best kunnen worden gebouwd en beheerd op een dijk. De waterschappen Zuiderzeeland en Scheldestromen waren beide bereid om een stuk dijk met een laag risicoprofiel ter beschikking te stellen, waar twee proeflocaties zijn gerealiseerd. Op deze twee proeflocaties zijn door de PV-systeembouwers (Delmeco, Afvalzorg, Eurorail-TNO en Soltronergy) vier verschillende systemen gerealiseerd, waarmee zowel technische (waterveiligheid en elektrische performance) als sociaal-maatschappelijke vraagstukken (hoe worden de systemen ervaren door passanten en omwonenden) worden behandeld.



Figuur 2: Artistieke impressie van een PV-systeem op de Knardijk<sup>1</sup>

- 1 <https://www.stowa.nl/publicaties/zon-op-dijken-verkennend-en-ontwerpend-vooronderzoek>
- 2 <https://www.uu.nl/sites/default/files/roadmap-pv-systemen-en-toepassingen-final.pdf>

## Doelstelling

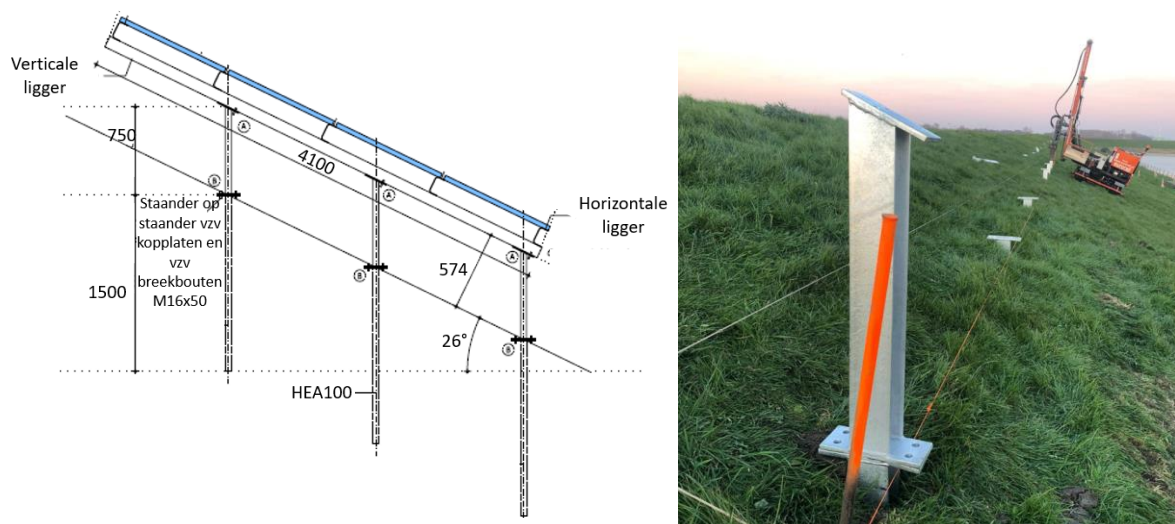
In het project *Zon op Dijken* stelden de projectpartners zich ten doel om te onderzoeken onder welke omstandigheden zonnestroomsystemen kunnen worden geplaatst op dijken, zonder dat er concessies worden gedaan aan de waterveiligheid. Naast het aspect veiligheid speelt ook de landschappelijke inpassing een belangrijke rol. We hebben onderzocht hoe de PV-systemen moeten worden gebouwd en eventueel aangepast om aan de waterveiligheidseisen te voldoen. De systemen zijn opgebouwd en onderzocht in een proeftuin op 2 verschillende dijklocaties die door de Waterschappen ter beschikking zijn gesteld.

## Systeemontwerpen en productie van de PV-systemen

Er zijn vier verschillende PV-systemen ontworpen en gebouwd door de systeembouwers: TNO-Eurorail, Delmeco, Soltronergy en Afvalzorg. Het ontwerp van een deel van deze systemen is aangepast na overleg met waterveiligheidsexperts binnen het consortium. Hieronder een beschrijving van deze systemen.

### TNO-Eurorail:

Kenmerkend element van dit systeem is dat het geplaatst is op een draagconstructie die rust op palen. Hierbij heeft Eurorail het ontwerp en bouw van de draagconstructie voor haar rekening genomen. De palen zijn geheid tot een diepte van anderhalve meter. Voor de Spuikom dijk in Ritthem, waar dit



Figuur 3: Tekening van de draagconstructie van Eurorail (links) en het heien van de palen in de dijk (rechts).

proefstelsel is geplaatst voldoet dit. Wanneer dit type systeem zou worden geplaatst op een dijk met een klei toplaag moet rekening worden gehouden met de dikte van deze klei toplaag, zodat de palen niet door de gehele kleilaag penetreren. Eventueel zouden dan meer palen moeten worden toegepast. Op de geheide paal is een kopplaat bevestigd, waarop een bovengrondse staander is bevestigd. Tussen de standers zijn (net boven het maaiveld) breekbouten bevestigd. In een situatie met een hoge (water)druk zouden deze bouten moeten breken, zodat de palen geen grote schade toebrengen aan de dijk. De verschillende draagconstructies vormen uiteindelijk 9 verschillende “tafels” van 9x4 meter, waarop de PV-panelen zijn bevestigd. Tussen het dijkvlak en de onderkant van de PV-panelen zit een ruimte van 80-100cm. Door de ruimte hebben de schapen de mogelijkheid om te grazen onder de panelen, en is er zicht op het dijkvlak zelf voor inspectie. Er is gekozen om geen regengootjes toe te passen. Om elementen te testen die de landschappelijke inpassing kunnen verbeteren en eventueel het maatschappelijke draagvlak kunnen vergroten, zijn 2 tafels voorzien van gekleurde patronen (camouflage, golven) en 1 tafel vormt zelfs een spectaculaire afbeelding van het schilderij “Michiel de Ruyter” van schilder Ferdinand Bol hangend in het Rijksmuseum in Amsterdam. Dit ontwerp is gekozen door het waterschap na overleg met de dorpsraad. Drie tafels zijn voorzien van semi-transparante glaspanelen en 3 tafels zijn voorzien van panelen met een niet-transparante backsheet. Dit verschil in

lichtdoorlatendheid is gekozen om de invloed hiervan op de grasbekleding te kunnen bestuderen. In een latere fase tijdens het project zijn van enkele tafels panelen verwijderd om een grotere variatie in lichtdoorlatendheid te kunnen testen. Alle panelen zijn aangesloten op een SolarEdge power optimizer, die op hun beurt weer zijn aangesloten op SolarEdge omvormers, die centraal onder een tafel zijn gemonteerd. De DC-bekabeling tussen de tafels is ingegraven zonder mantelbuis, omdat het gebruik van mantelbuizen op een dijk tunnel-vorming kan veroorzaken.

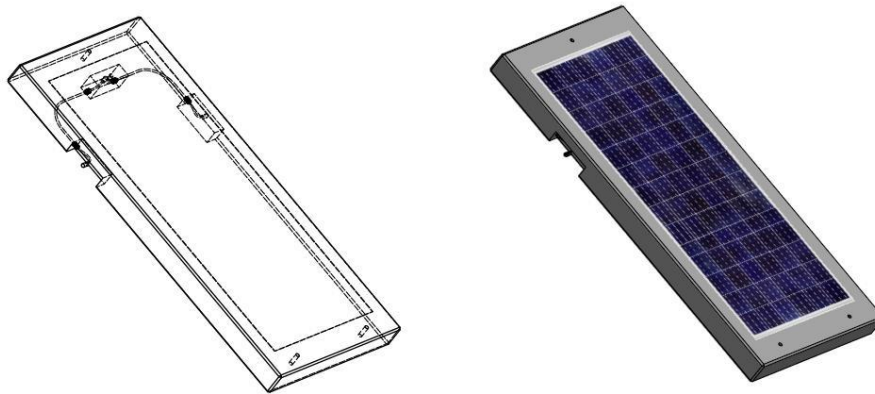
TNO-Eurorail systeem	
Locatie	Spuikom, Ritthem
Type panelen	Ure 320 Wp, Denim320 Wp glas/glas, Kameleon Solar gekleurd 90-130 Wp
Geïnstalleerd vermogen	15 kWp (niet-transparant) + 15 kWp (glas-glas) + 9.5 kWp (gekleurde panelen) = 39.5 kWp
Omvormers	SolarEdge 12.5k (2x), SolarEdge 7k (1x). Elk paneel is aangesloten op een SolarEdge P300 Power Optimizer
Oriëntatie	Zuid-Zuid-Oost (157°)
Hellingshoek	22°



Figuur 4: Luchtfoto van de 9 PV-tafels van het TNO-Eurorail systeem

#### **Delmeeco:**

Het Delmeeco systeem bestaat uit verscheidene betonelementen die geplaatst worden in het vlak van de dijk. Een enkel betonelement is voorzien van een zonnepaneel, welke verlijmd is aan het element. De connectoren van de zonnepanelen zijn naar de zijkant weggewerkt in het element, waardoor deze gekoppeld kunnen worden met andere elementen. De betonelementen vormen gezamenlijk een dijkverharding en vervangen de grasbekleding van de dijk. Er is gebruik gemaakt van gerecyclede, gewapend beton, waardoor de oppervlakte zeer drukvast is. Er worden geen materialen gebruikt die kunnen corroderen, waardoor een onderhoudsvrij element ontstaat. Door het gewicht van de elementen en de verlijming van de zonnepanelen ontstaat een diefstal- en vandalismebestendig systeem. Daarnaast is de DC-bekabeling tussen de panelen zodanig weggewerkt, dat deze niet door voorbijgangers kan worden aangeraakt. Voor de bouw is gebruik gemaakt van een graafmachine voor het afgraven van een cunet in de dijk en het plaatsen van de betonelementen zelf.



Figuur 5: Schematische weergave van een enkel betonelement (boven). Delmeco systeem na het aanbrengen van de betonelementen (onder)

Delmeco	
Locatie	Spuikom, Ritthem
Type panelen	DAS Energy flexibel (340 Wp)
Geïnstalleerd vermogen	6.8 kWp
Omvormers	Sofar Solar 6.6 KTL
Stringverdeling	2 strings (bovenste 2 rijen en onderste 2 rijen vormen een string)
Oriëntatie	Zuid-Zuid-Oost (157°)
Hellingshoek	22°

### Soltronergy:

Tussen betonnen ballastblokken boven en onder aan de Knardijk zijn op stalen jukken RVS-kabels gespannen waaraan vervolgens tailormade lichtgewicht kunststof PV-panelen zijn bevestigd. Deze panelen kunnen + en -/ 90 graden vrij roteren en zich daarmee uit de wind positioneren. De ballast is dusdanig berekend dat in principe geen verdere verankering in de dijk nodig is. Vandalisme in de vorm van 'hangen aan de draagkabel' kan niet worden uitgesloten. Hiermee is rekening gehouden met het kiezen van de massa van de betonnen ballastblokken en bevestiging en draagvermogen van de kabels. Er zijn drie varianten in de rotatiebegrenzing van de PV-panelen aangebracht, welke verder geen invloed hebben op de systeemkarakteristieken qua constructieve of elektrotechnische eigenschappen. De rotatiebegrenzing dient ter voorkoming van een volledig ronddraaien van de PV-panelen, waardoor de elektrische bekabeling beschadigd zou raken. De PV-panelen bevinden zich zo'n 80 cm boven het talud van de dijk, waardoor onderhoud aan de grasbekleding kan worden gepleegd met zowel schapen als een (robot)maaier. Aangezien de panelen verticaal zijn geplaatst is er sprake van veel lichttoetreding

tot de dijk. Daarnaast hebben wind en regenwater door de open structuur van het systeem relatief vrij spel ter hoogte van het maaiveld van de dijk, dit alles zou ten gunste moeten komen voor de kwaliteit van de grasbekleding op de dijk. De DC-kabels tussen de panelen zijn parallel aan de spankabels bevestigd. Daarbij zijn de connectoren van de PV-panelen in stukken pvc-buizen ondergebracht ter bescherming tegen weersinvloeden. Deze pvc-buizen zijn aan de draagkabels geklemd. Tijdens de bouw van het systeem is gebruik gemaakt van een dieplepel voor het grondwerk en het plaatsen van de ballastblokken (zowel aan de boven- als onderzijde van het talud van de dijk). De verdichting van de zandbedden is met een trilplaat geschied. Verder is alles met mankracht en handgereedschap geïnstalleerd.



*Figuur 6: Foto's tijdens de bouwfase van het Soltronergy PV-systeem op de Knardijk.*

Soltronergy	
Locatie	Knardijk, Zeewolde
Type panelen	DAS Energy flexibel (225 Wp)
Geïnstalleerd vermogen	5,4 kWp (initieel 11,6 kWp)
Omvormer	Growatt 10k TK3-S
Stringverdeling	2 strings (Verdeel tussen linker en rechterzijde van het systeem)
Oriëntatie	Zuid-West (223°)
Hellingshoek	90°

#### **Afvalzorg:**

Het dijkspecifieke PV-systeem van Afvalzorg bestaat uit een dijk verhardend materiaal, waarop zonnepanelen zijn bevestigd middels een railsysteem. De dijkverharding, genaamd "Solarbase", bestaat uit gecertificeerde secundaire grondstoffen. Na de veldtest en ontmanteling van het systeem zijn er grondmonsters genomen om eventuele verontreiniging van deze Solarbase aan te kunnen tonen, hieruit zijn geen aanwijzingen gekomen, waaruit zou blijken dat de bodem onder het Solarbase materiaal of de directe omgeving verontreinigd zou zijn. De Solarbase laag is in twee lagen van 25 cm aangebracht en afgewerkt met een bitumenemulsie/grindlaag en rondom afgewerkt met grasbeton tegels. Deze dijkverharding bevindt zich in het vlak van de dijk. Deze grasbetontegels zijn gekozen na overleg met waterveiligheidsdeskundigen. Dit om te zorgen voor een geleidelijke overgang van hard naar zacht materiaal om erosievorming rondom het systeem te voorkomen. De PV-constructie is chemisch verankerd met de Solarbase plaat met BBtec- BIS-HY, een snel uithardende injectie mortel van epoxy met Vinylester, met M16 draadeinden tot 25 cm diepte. Dit zorgt voor extreem sterke trek- en dwarskrachten met een bezwijklast van 60-80 kN per anker. Het PV-systeem is in totaal met 42 ankers



bevestigd. Tijdens de plaatsing van de Solarbase plaat is gebruik gemaakt van een graafmachine, bulldozer en vrachtwagens, zoals te zien is op onderstaande foto's. Het PV-systeem zelf bestaat uit 50 panelen, met een gezamenlijk vermogen van 50 kWp. De DC-bekabeling is grotendeels onbereikbaar weggewerkt onder de panelen. De omvormer is aan de voet van de dijk geplaatst. De DC-bekabeling tussen de panelen en omvormer is geplaatst in een aluminium buis (aan de bovenkant van de Solarbase plaat).



*Figuur 7 Foto's tijdens de bouwfase van het PV-systeem van Afvalzorg op de Knardijk.*

Afvalzorg	
Locatie	Knardijk, Zeewolde
Type panelen	DMEGC Half cells (400 Wp)
Geïnstalleerd vermogen	20 kWp
Omvormers	Huawei Sun2000 20KTL
Stringverdeling	2 strings (Verdeel tussen linker en rechterzijde van het systeem)
Oriëntatie	Zuid-West (223°)
Hellingshoek	16°

## Plaatsing van de systemen en de invloed op de dijk.

De aanleg van PV-systemen en bekabeling is een specifiek onderdeel met mogelijke schade aan de dijk en de grasbekleding. Voorafgaand, gedurende en achteraf is, onder andere aan de hand van beoordelingen en foto's, het effect van de aanleg van de PV-systemen op de dijk en grasbekleding in kaart gebracht. Daarnaast zijn aanbevelingen gedaan om de schadelijke effecten te beperken en/of te herstellen.

Eén van de aanbevelingen is dat bij het graven in een dijk, voor bijvoorbeeld aanleg van bekabeling en het plaatsen van funderingen, het belangrijk is rijschade van machines te voorkomen, de graszode netjes af steken en zo snel mogelijk na aanleg weer terug te plaatsen. Een andere aanbeveling is om overgangen, van verharde dijkbekledingen naar gras, goed af te werken met eerder uitgegraven graszoden of door het plaatsen van geleidelijke overgangen en/of het opnieuw inzaaien met graszaadmengsel.



*Figuur 8 Foto na het plaatsen van de palen van het TNO-Eurorail systeem, waarbij graszoden gedeeltelijk zijn uitgedroogd.*

De aanleg van de PV-systemen op dijken kende aanloopproblemen. De leveranciers van de PV-systemen hadden allen niet eerder op dijken gewerkt. Hierdoor werd de installatieperiode langer, dan verwacht. De gegraven gaten en geulen bleven lang open liggen met als gevolg dat graszoden niet of niet altijd direct worden teruggeplaatst. Met name het droge en warme voorjaar, gevolgd door een droge zomer in 2020, zorgde voor verdroogde graszoden en tevens dat de schade met doorzaaien of inzaaien niet kon worden hersteld. In praktijksituaties zal de aanleg vooral in de nazomer plaats vinden. In deze periode zijn herstelwerkzaamheden aan de grasmat eerder succesvol. Tijdens het stormseizoen (oktober – maart) is namelijk het plaatsen van PV-systemen op dijken veelal niet toegestaan. Daarnaast speelt op veel dijklocaties ook dat tijdens het broedseizoen (mei – juli) nestjes, eieren en broedende vogels niet gestoord mogen worden, wat bouwwerkzaamheden op een dijk kunnen bemoeilijken. Aanleg van PV-systemen op dijken bij een renovatie - waarbij de grasmat is vernietigd en de dijk moet worden ingezaaid - is niet onderzocht. Zaaïen van gras onder al geplaatste PV-systemen zal lastig zijn en verwacht mag worden dat kieming en zodevorming bij beperkt licht minder goed gaat.

## Monitoring PV systeem

Van elk dijk-specifiek PV-systeem (zie onderstaande foto's) zijn door TNO gedurende een geruime tijd de elektrische prestaties gemeten



Figuur 9: Overzicht van alle 4 de PV-systemen: TNO-Eurorail (linksboven), Delmeco (rechtsboven), Soltronergy (linksonder) en Afvalzorg (rechtsonder)

De elektrische opbrengst van een PV-systeem is sterk afhankelijk van de hoeveelheid zoninstraling en het opgestelde vermogen. De zogenaamde "Performance Ratio (PR)" is een verhouding tussen deze grootheden:

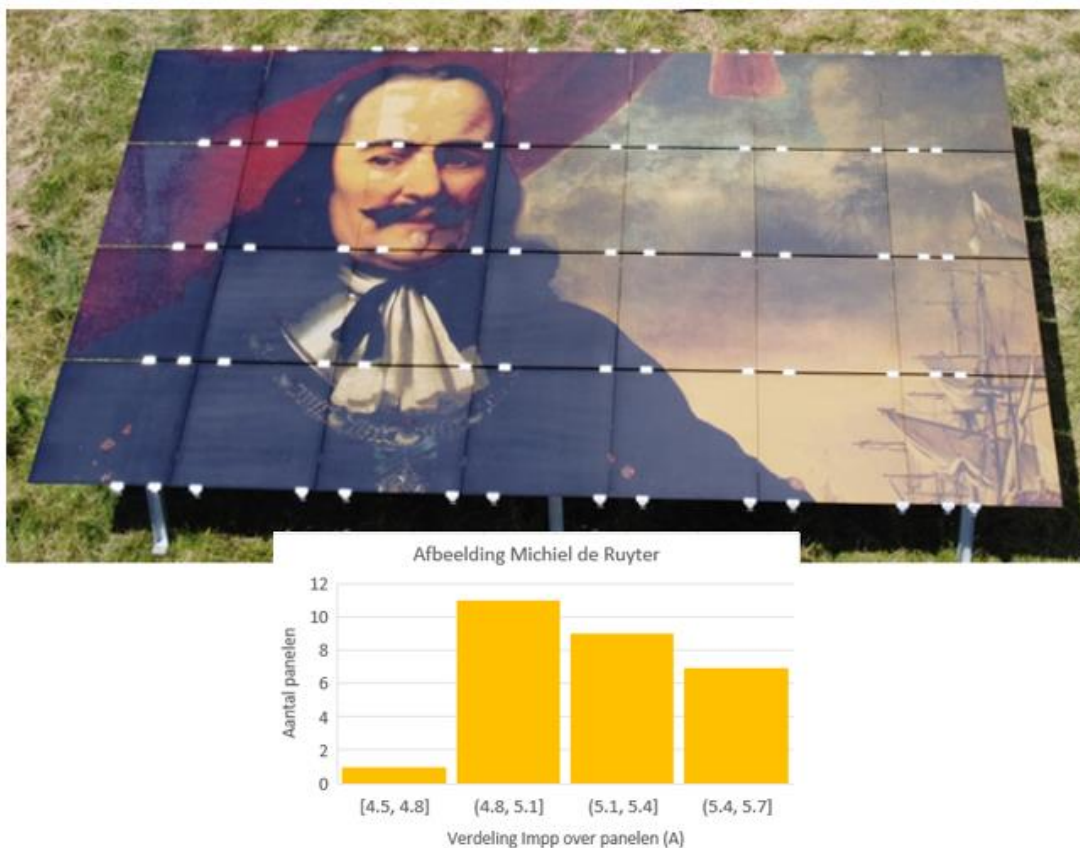
$$PR = \frac{E_{AC} \cdot G_{STC}}{P_{STC} \cdot I_{POA}}$$

Hierin is  $E_{AC}$  de energieopbrengst,  $G_{STC}$  de bestraling bij standaard testomstandigheden (STC: 1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1,5 zonnenspectrum),  $P_{STC}$  is het nominale vermogen en  $I_{POA}$  is de zonne-instraling in het vlak van de zonnepanelen.

In onderstaande tabel is een samenvatting te vinden van de verschillende systemen, met daarbij de opbrengst waarden over de meetperiode (die per systeem verschillend zijn) en de daarbij horende performance ratio op AC-niveau.

System	Kenmerkend element	Geïnstalleerd vermogen (kWp)	Opbrengst (MWh)	Performance Ratio (%)
TNO-Eurorail	PV-tafels gemonteerd op palen boven dijkvlak	39.5	87.7	91
Delmeco	Dijkverharding; Individuele betonelementen per PV-paneel	6.8	4.7	50
Soltronergy	Verticaal hangende panelen	5.4	3.1	66
Afvalzorg	PV systeem verankerd in uniforme dijkverhardingslaag	20	28.9	91

Zowel het TNO-Eurorail als het Delmeco systeem hebben beiden problemen gekend met de isolatieweerstand tussen de DC-zijde van het PV-systeem en de aarde. Connectoren, bekabeling, en de panelen zelf kunnen hier de oorzaak van zijn. Aangezien het gebruik van een mantelbuis op een dijk ongewenst is, kunnen kabels sneller beschadigd raken, wanneer deze rechtstreeks in de grond worden geplaatst. Bij toekomstige systemen verdient het aandacht om de bekabeling (en in het geval van Delmeco ook de connectoren) zo beschermd en droog mogelijk te plaatsen, zoals bij Soltronergy is geschied. Het systeem van Delmeco is hierdoor in februari 2022 deels uitgeschakeld. Gedurende de laatste maanden van het project, nadat enkele problemen met isolatieweerstand waren opgelost, heeft het Delmeco systeem een goede performance ratio van 85% laten zien. Het systeem van Soltronergy is helaas ernstig beschadigd geraakt tijdens storm Eunice in februari 2022. Het systeemontwerp zal hierom opnieuw moeten worden geëvalueerd. Het systeem van Afvalzorg heeft gedurende de meetcampagne geen noemenswaardige problemen gekend. Het systeem is verankerd op een dijkverhardend betonachtige constructie. DC-bekabeling is hierbij boven de dijkverharding, in een kabelgoot geplaatst. Door de bitumen toplaag, langs de randen van het PV-systeem is onkruid geconstateerd. Dit zou in de toekomst voor schaduw op het PV-systeem kunnen zorgen en wellicht de bitumen toplaag beschadigen. Onder het PV systeem zelf is geen onkruid geconstateerd.



Figuur 10: Gekleurde panelen, welke gezamenlijk Michiel de Ruyter afbeelden. In het figuur beneden een verdeling van de gemeten "maximum power point stroom (Imp) van de set panelen

## Monitoring dijk (faalmechanismes)

Deltares heeft binnen het project de invloed van de PV systemen op de faalmechanismes van de dijk onderzocht. Het gebruikmaken van dijken om PV-systemen lijkt voor de hand te liggen. Maar de wijze waarop in Nederland de primaire functie van waterkeringen gewaarborgd wordt, leidt ertoe dat er voor het meest gangbare PV-systeem (montageframes voor de zonnepanelen geplaatst op in de grond geslagen funderingspaaltjes) nog veel aanvullende vragen beantwoord moeten worden.

Veel technische vragen gaan over de wijze waarop de PV-systemen de faalmechanismes van dijken beïnvloeden. Dat kan direct (via het lek maken van de afdichtende beschermlaag van een dijk) of indirect (door de afname van de kwaliteit van de grasbegroeiing door het veranderen van groei- en onderhoudsomstandigheden van de gewassen) zijn. Verder zijn nu vanuit waterveiligheid zo min

mogelijk niet-waterkerende objecten op de dijk toegestaan (want dan is er een overzichtelijk en gemakkelijk te onderhouden en te inspecteren dijkoppervlak), waardoor er geen ervaring is (en zijn dus geen ook geen richtlijnen) met grote hoeveelheden objecten.

Omdat de dijk moet functioneren wanneer de kritische (water)omstandigheden zich voordoen zijn dijken zelden geschikt als proeftuin. Mede omdat er ook zelden tijd beschikbaar zal zijn om herstelmaatregelen te nemen of terugvalscenario's toe te passen. Enkel met kunstmatige kritische waterbelastingen ter plekke of in proefopstellingen zijn nog onbekende effecten van PV-systemen te onderzoeken.

Bij de gekozen proeftuinen is met name de invloed van PV-systemen op de afdeklaag van de dijken onderzocht. En kan er geconcludeerd worden dat met name systemen die goed in te passen zijn in de huidige dijkenbouwpraktijk (bijvoorbeeld tijdens dijkversterkingsoperaties), zonder veel aanvullend onderzoek naar waterveiligheidsaspecten kunnen worden toegepast op dijken.

## Monitoring dijk (grasbekleding)

De WUR heeft binnen het project de invloed van de PV systemen op de grasbekleding onderzocht. Binnen een paar maanden na plaatsing van de zonnepanelen in Ritthem (PV-tafels gemonteerd op palen boven dijkvlak) was al duidelijk dat de grasmat onder de panelen grote schade opliep. De combinatie van met name minder zonlicht (reductie tot 90%), een nat najaar en beweiding met schapen zorgde voor een erg open zode met gedeelten van slechts 10% grondbedekking. In het volgende voorjaar en zomers trad geen herstel van de grasmat op. Het gras groeide slecht, de grasmat werd vertrapt en het gras onder de panelen werd niet altijd goed afgevreten. De totale grasproductie op de dijk met zonnepanelen - zoals de opstelling in Ritthem - was veel lager. Bij de pachter was vrees dat de schapen aan de elektrische kabels zouden vreten. Voordeel voor de schapen kan zijn dat de zonnepanelen beschutting geven bij slecht en heel warm weer. Door de lage opstelling was het onderhoud (maaïen) onder de panelen erg lastig.

Er is geen verschil waargenomen tussen de onderzochte typen panelen. Ook onder de glas/glas panelen kwam veel te weinig licht om de grasmat op een voldoende kwaliteitsniveau te houden.



Figuur 11 Beschadigde graszode onder een PV-tafel

Aanpassing van een aantal opstellingen (TNO-Eurorail systeem) met minder zonnepanelen in Ritthem zorgde voor een duidelijk herstel van de grasmat. Op de meeste gedeelten was de lichtreductie maximaal 50%. De grondbedekking was met 75 tot 85% nog wel lager dan de gedeelten zonder schaduwwerking van zonnepanelen (grondbedekking van meer dan 90%) en daarmee aan de ondergrens van wat wenselijk is op een dijk.

Tevens is waargenomen dat de beworteling als gevolg van de minder licht omstandigheden bij een reductie van 50% licht slechter was in diepte en intensiteit ten opzicht van geen lichtreductie. In hoeverre de mindere grondbedekking en mindere beworteling een probleem is hangt mede af van het belang van het dijkvak.

De mindere beworteling in schaduw geeft aan dat een grasdijkinspectie alleen op basis van bedekking (gesloten, open, fragmentarisch) onvoldoende is. De methode 'steken van een plag' geeft goed uitsluitsel over de graskwaliteit.

De opstelling van Soltronergy op de Knardijk met betonblokken boven en onderaan de dijk en daartussen hangende panelen aan kabels beïnvloedde de grasmat niet negatief in de beoordelingsperiode van 1 jaar, ondanks de lichtreductie tot 30% op een aantal gedeelten onder de hangende panelen.

Het maaien van dit dijkgedeelte was wel erg lastig vanwege de kabels en de panelen. Beheerders zijn ook terughoudend, omdat ze geen schade willen aanbrengen aan de opstellingen.

Als het gaat om de vegetatie vergt het onderhoud – evenals bij de funderingen en palen van de geteste opstellingen - ook bij de twee andere aangelegde opstellingen (die in plaats van de grasmat komen) van de hard-zacht overgang aandacht, vanwege de groei van ongewenste (houtige) onkruiden.

## Maatschappelijk draagvlak

Er is door Arcadis onderzoek gedaan naar het maatschappelijke draagvlak voor het plaatsen van zonnepanelen op dijken, zowel op de pilotslocaties als breder binnen Nederland. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

*Wat is het maatschappelijk draagvlak voor Zon op dijken en middels welke factoren kan het maatschappelijk draagvlak van Zon op dijken worden beïnvloed?*

Er is voor het beantwoorden van deze vraag gekeken naar drie verschillende factoren die invloed hebben op het maatschappelijke draagvlak:

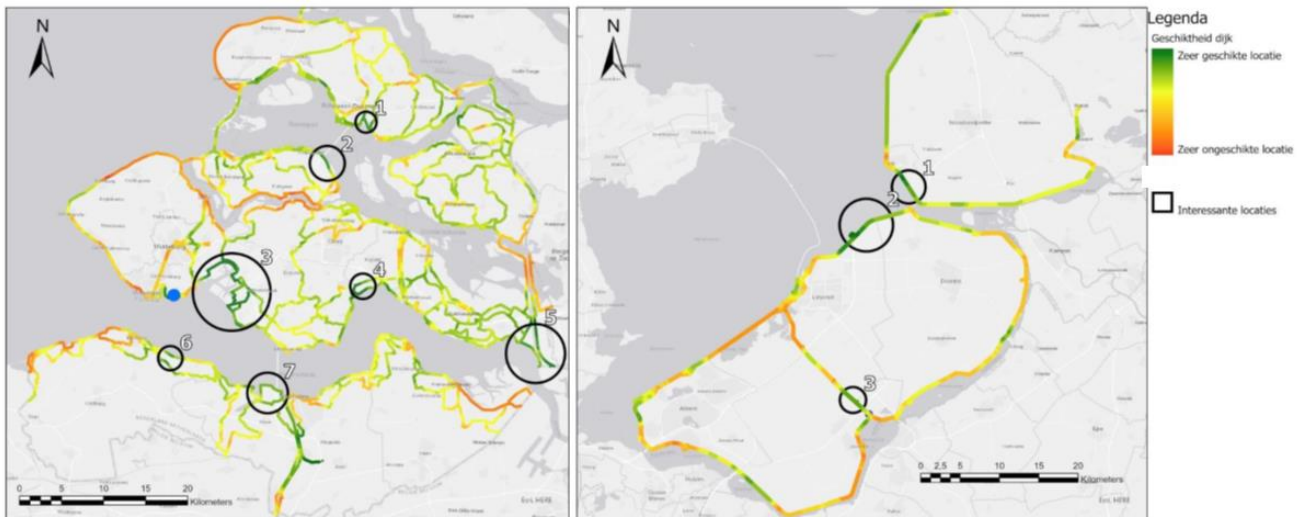
- Landschappelijke factoren
- Bestuurlijke factoren
- Communicatieve factoren

Voor elk van deze factoren is onderzocht wat de impact is op het draagvlak van Zon op dijken en hoe de factor kan worden gebruikt om het draagvlak te beïnvloeden.



*Figuur 12: Overzicht van de verschillende factoren en de daarbij horende uitgevoerde onderzoeken*

Voor de factor landschap is een landschapsbelevingsonderzoek uitgevoerd door enquêtes te houden onder passanten en bewoners van nabijgelegen plaatsen. Aan deze mensen is gevraagd wat zij vinden van de zonnepanelen op de pilotslocaties, hoe zij het communicatieproces hebben ervaren en welke landschappelijke elementen van invloed zijn op hun landschapsbeleving in relatie tot de zonnepanelen op de dijken. Op basis van de resultaten van de enquête en een bureauonderzoek is een GIS-analyse uitgevoerd, waarbij verschillende landschapswaarden (zoals bijvoorbeeld afstand tot dichtstbijzijnde woning of industrie) in ruimtelijke parameters zijn vertaald. Zie Figuur 13.



*Figuur 13 GIS analyse voor de provincie Zeeland (links) en de provincie Flevoland (rechts)*

Op basis daarvan is voor de provincies Zeeland en Flevoland bepaald welke dijken, vanuit landschapsbeleving gezien, kunnen rekenen op het meeste draagvlak indien er zonnepanelen op aangebracht worden. De enquête is na een periode van 1,5 jaar ook herhaald om te onderzoeken of het draagvlak voor de pilotslocaties is gewijzigd. Op basis daarvan kon worden geconcludeerd dat er over tijd strikt genomen sprake is van een beperkte toename van draagvlak, maar dat deze toename niet significant is. Meer dan de helft van de respondenten geeft aan dat er geen enkele maatregel denkbaar is die zal bijdragen aan meer acceptatie van Zon op Dijken.

Voor de bestuurlijke factor is onder andere een voorbereiding op een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) uitgevoerd. Een MKBA brengt maatschappelijke effecten van beleidskeuzes in beeld en kan helpen in de onderbouwing van die beleidskeuzes richting de omgeving. De belangrijkste maatschappelijke kosten en baten van de ontwikkeling van zon op dijken zijn inzichtelijk gemaakt. Deze betreffen met name de kosten voor beheer en onderhoud van het dijklichaam, de afstemming tussen de betrokken actoren, het stimuleren van burgerparticipatie en de aantasting van wat sommigen als 'cultureel erfgoed' beschouwen. De baten zijn uiteraard de duurzame opwek van energie, maar ook kennisontwikkeling als Nederland en verminderde afhankelijkheid van buitenlandse energiestromen.

Voor de communicatieve factor is een bureauonderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in welke (psychologische) elementen van invloed zijn op het draagvlak. Ook is er onderzocht hoe het communicatieproces rondom de pilotlocaties heeft plaatsgevonden. Vanuit de respondenten wordt aangegeven dat ze het belangrijk vinden om vroegtijdig meegenomen te worden in communicatie. Er is vervolgens een evaluatie geweest op dit proces om met verbeterpunten te komen. Er is een communicatieplan opgesteld met daarin alle stappen die gezet kunnen worden om middels communicatie het draagvlak te beïnvloeden. Van belang hierbij is dat er al de start van het project wordt nagedacht over welke stakeholders aanwezig zijn en hoe deze moeten worden betrokken. Hiervoor kan de participatieladder worden gebruikt.

## Conclusie en aanbevelingen

In het project *Zon op Dijk* zijn vier unieke dijk-specifieke PV-systemen succesvol ontworpen, gebouwd en vervolgens uitgebreid gemonitord. Daarbij zien we dat de systemen elektrisch gezien veelal uitstekend presteren en er is geen directe erosievorming geconstateerd. We concluderen dat PV-systemen die gebruik maken van een dijkverharding, welke de grasbekleding vervangt, met de huidige stand van de techniek het meest geschikt zijn om toe te passen in een dijk. Met name wanneer deze goed in te passen zijn in de huidige dijkenbouwpraktijk.

We hebben gezien dat de kwaliteit van de grasbekleding snel verslechtert, wanneer de PV-panelen een te groot gedeelte van het licht wegnemen. Door op slimme plekken panelen te verwijderen en de instraling ter hoogte van de dijkbekleding daarmee te verhogen is de kwaliteit van de grasbedekking omhoog gegaan. Echter is verder onderzoek nodig om te komen tot definitieve systeemconfiguraties die gegarandeerd de grasbekleding niet aantasten.

Twee systemen hebben problemen gekend met de elektrische isolatie. Connectoren, bekabeling, en de panelen zelf kunnen hier de oorzaak van zijn. Aangezien het gebruik van een mantelbuis op een dijk ongewenst is, kunnen kabels sneller beschadigd raken, wanneer deze rechtstreeks in de grond worden geplaatst. Bij toekomstige systemen verdient het aandacht om de bekabeling zo beschermd en droog mogelijk te plaatsen

Daarnaast zijn middels een GIS analyse voor de provincies Zeeland en Flevoland de meest aantrekkelijke dijk(stukken) geïdentificeerd op basis van verscheidene landschapswaarden

## Dankwoord

Het project *Zon op Dijken* is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Nationale regelingen EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Daarnaast heeft het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders, STOWA, het project ondersteund met een financiële bijdrage.





## Media overzicht tot einddatum project

Publicatie	Titel	Datum
TNO (persbericht)	Proef met zonnepanelen op dijk in Zeeland	24 juli 2020
Omroep Zeeland	Zonnebadende Michiel de Ruyter wekt stroom op bij proefopstelling op Ritthemse dijk	24 juli 2020
PZC	Michiel de Ruyter vangt zon op de dijk bij Ritthem	24 juli 2020
Energiea	Dijkgras-moet-ook-goed-wortelen-onder-zonnepaneel	27 juli 2020
Cobouw	Grote potentie voor zonnepanelen op oer-Hollandse dijken	30 juli 2020
Solar Magazine	Portret Michiel de Ruyter schittert op zonnepanelen op dijk in Zeeland	30 juli 2020
BNR	TNO onderzoekt veiligheid zonnepanelen op dijken	31 juli 2020
PV Magazine	Challenging plans to deploy PV on dikes	6 augustus 2020
TNO (persbericht)	Bouw tweede proeflocatie Zon op Dijken gestart	16 augustus 2020
Omroep Flevoland	Proef met zonnepanelen op Knardijk	16 augustus 2020
Solar Magazine	Proef op Knardijk van start: zonnepanelen hangen boven binnendijk	18 augustus 2020
De Stentor	Nieuw in Nederland: hangende zonnepanelen, op proef in Zeewolde	20 augustus 2020
RTL Nieuws	Zonnepanelen aan de waslijn	20 augustus 2020

## Openbare publicaties

Titel	Locatie
Literatuurstudie vegetatie onder zonnepanelen op dijken	<a href="https://edepot.wur.nl/532549">https://edepot.wur.nl/532549</a>
Zon op dijken : monitoring grasvegetatie onder zonnepanelen op dijken	<a href="https://research.wur.nl/en/publications/zon-op-dijken-monitoring-grasvegetatie-onder-zonnepanelen-op-dijk">https://research.wur.nl/en/publications/zon-op-dijken-monitoring-grasvegetatie-onder-zonnepanelen-op-dijk</a>
Zon op Dijk Verslag van twee proeftuinen met PV-systemen op dijken	<a href="https://publications.deltares.nl/11204694_002_0001.pdf">https://publications.deltares.nl/11204694_002_0001.pdf</a>

## Verdere kennisverspreiding d.m.v. presentaties

Gelegenheid	Titel presentatie	Datum
Sunday NL	Zon op Dijken	8 juni 2022
WCPEC-8	PV on Dikes	27 september 2022
Energie & Klimaatdag Unie van Waterschappen	Zon op Dijken	7 maart 2023