

## Zon op Dijk

Verslag van twee proeftuinen met PV-systemen op dijken



## **Zon op Dijk**

Verslag van twee proeftuinen met PV-systemen op dijken

### **Auteur(s)**

Paul Schaminée

### **Partners**

TNO (pervoerder)

Arcadis

Eurorail

Energie van Hollandsche Bodem (tot 19 november 2020)

NV Afvalzorg

Stichting Wageningen Research Instituut WUR

STOWA

Waterschap Scheldestromen

Waterschap Zuiderzeeland

Delmeco

## Zon op Dijk

Verslag van twee proeftuinen met PV-systemen op dijken

<b>Opdrachtgever</b>	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
<b>Contactpersoon</b>	
<b>Referenties</b>	TEUE318002
<b>Trefwoorden</b>	PV-systemen, zonnepanelen, waterveiligheid

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	23-12-2022
<b>Projectnummer</b>	11204694-002
<b>Document ID</b>	11204694-002-GEO-0001
<b>Pagina's</b>	17
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Paul Schaminée	

# Samenvatting

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 faalmechanismen 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.

Omdat er in dit onderzoek geen proeven met kritische waterbelasting zijn uitgevoerd, kunnen er dus geen uitspraken worden gedaan over de invloed op de waterveiligheid door nieuw toegepaste constructies op dijken, zoals PV-systemen op paaltjes.

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



# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Projectuitvoering	6
1.2	Betreffende de waterveiligheid	6
1.2.1	Het bepalen van de kwaliteit van dijken	7
1.2.2	Maatwerk versus generiek geformuleerde voorwaarden	8
1.2.3	Benodigde kennis	9
<b>2</b>	<b>Resultaten</b>	<b>10</b>
2.1	Werkpakket 4: plaatsing van de systemen	10
2.2	Werkpakket 5: Monitoring dijk en PV-systemen	13
2.3	<i>Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten</i>	14
2.4	Discussie	14
2.4.1	Zoek aansluiting bij bestaande dijkconstructies	14
2.4.2	Zoek investeringsbereide stakeholders	14
2.5	Conclusies en aanbevelingen	14
<b>A</b>	<b>Geclusterde vragen van waterveiligheidsexperts</b>	<b>16</b>

# 1 Inleiding

Dit document is het onderdeel van het eindrapport het RVO-project Zon op dijk, dat door een consortium van verschillende Nederlandse partijen is uitgevoerd. Dit consortium heeft in een periode van ruim drieënhalf jaar bij twee verschillende proeftuinen in totaal vier PV-systemen van verschillende partijen in praktijkomstandigheden geplaatst en gemonitord. De bijdrage van Deltares richtte zich met name op de consequenties van de PV-systemen op de waterveiligheid.

## 1.1 Projectuitvoering

Het consortium wordt naast Deltares gevormd door de volgende partners: TNO (penuverder), Arcadis, Eurorail, Energie van Hollandsche Bodem (tot 19 november 2020), NV Afvalzorg, Wageningen University & Research, STOWA, Waterschap Scheldestromen, Waterschap Zuiderzeeland en Delmeeco.

Beide waterschappen hebben een deel van een dijk ter beschikking gesteld voor het uitvoeren van onderzoek naar de consequenties van het plaatsen van PV-systemen op deze dijken. Het betrof de dijk bij de spuikom nabij Ritthem en een locatie op de Knardijk, waar de binnendijk in Flevoland tegenwoordig een compartimenteringfunctie heeft. Beide dijken zijn grasdijken. De variaties in de omstandigheden waren de optredende omgevings- en weersinvloeden. Er zijn geen aparte waterbelastingproeven uitgevoerd.

Deltares heeft tijdens de beginfase van het onderzoek (voordat aan de daadwerkelijke bouw van de PV-systemen werd begonnen) aan alle producenten zijn kennis over de waterveiligheid aangeboden. Sommige hebben hiervan in bilaterale gesprekken gebruik van gemaakt. De uiteindelijke vergunningsverstrekking voor de bouw van de PV-systemen op de dijken is door het ter plekke verantwoordelijke waterschap gedaan.

Deltares heeft vervolgens met een aantal waterveiligheidsexperts contact opgenomen om hun mening te vragen over het plaatsen van PV-systemen op dijken in het algemeen en de te plaatsen PV-systemen in het bijzonder. Deze vragen zijn geclusterd en gerubriceerd en opgenomen in bijlage A. Deze informatie is ook teruggekoppeld naar de producenten en wanneer nodig met hen besproken.

## 1.2 Betreffende de waterveiligheid

Ruimte in Nederland is schaars. Naar verwachting zal er ook voor het plaatsen van PV-systemen op land binnenkort gebruik gemaakt moeten worden van minder eenvoudige locaties dan vrij gelegen landbouwgronden. Dijken zijn potentiële locaties voor het plaatsen van PV-systemen. Echter, de primaire functie van dijken is het beschermen van het achterliggende land tegen water. Het plaatsen van PV-systemen op een dijk mag deze functie nooit aantasten.

De vraag of en in welke mate de waterveiligheidsfunctie wordt aangetast kan op verschillende manieren benaderd worden. Voorbeelden zijn:

- Vanuit de producent van PV-systemen: "Wat zijn de voorwaarden waaraan ik moet voldoen, zodat de waterveiligheid gegarandeerd blijft?"
- Vanuit het perspectief van de beheerder: "Toon maar aan dat ook met een PV-systeem op de dijk de waterveiligheid gegarandeerd blijft."

Er zal allereerst in deze inleiding kort worden ingegaan op wijze waarop de kwaliteit van dijken wordt bepaald. Vervolgens zal worden beschreven hoe van een “maatwerkoplossing” (een specifiek type PV-systeem op een specifieke locatie op een dijk) naar een algemenere “niet-locatiegebonden oplossing” kan worden gekomen.

### 1.2.1 Het bepalen van de kwaliteit van dijken

Om vast te stellen of een dijk van voldoende kwaliteit is om de functie “garanderen waterveiligheid” te vervullen, wordt een dijk periodiek beoordeeld. Hierbij wordt de actuele status van de dijk en zijn directe omgeving vastgesteld, en met behulp van vastgestelde procedures en berekeningen wordt er een oordeel over een dijk gegeven. Het oordeel geeft aan of de dijk al dan niet voldoet aan de voor die dijk geldende wettelijke norm – waarbij er gekeken wordt naar alle (bekende) te verwachten bezwijkmechanismen. In Tabel 1.1 een overzicht met deze faalmechanismen en een korte beschrijving.

Tabel 1.1 Overzicht faalmechanismen.

Faalmechanisme	Beschrijving
<b>Macro-instabiliteit binnenwaarts</b>	Bij macro-instabiliteit binnenwaarts kan de dijk aan de landzijde in elkaar zakken (afschuiven) door een te hoge druk in het grondwater onder en achter de dijk.
<b>Macro-instabiliteit buitenwaarts</b>	Bij macro-instabiliteit buitenwaarts kan een dijk bij een snelle daling of een lage waterstand in elkaar zakken (afschuiven) door een te hoge waterdruk in de dijk na hoogwater of bij veel regen (dit mechanisme leidt niet tot overstroming).
<b>Micro-instabiliteit</b>	Bij micro-instabiliteit kan de beschermende grasmat of stenen bekleding van een dijk beschadigd raken door waterdruk, door dierlijke of door menselijke activiteiten. Hierdoor wordt de dijk kwetsbaar voor water en wind.
<b>Instabiliteit vooroever</b>	Instabiliteit vooroever: door aantasting van de vooroever, dit is het gedeelte vanaf de laagwaterlijn tot de bodem, kan de dijk aan de rivierzijde in elkaar zakken.
<b>Piping</b>	Piping is een faalmechanisme waarbij water door of onder de dijk stroomt. Hierbij wordt grond meegenomen, waardoor de stabiliteit van de dijk afneemt.
<b>Bekledingsschade binnenwaarts</b>	Bij overloop kan de dijk worden beschadigd door grote hoeveelheden water die over de te lage dijk stromen. Dit als gevolg van combinatie van waterhoogte, wind en golven.
<b>Bekledingsschade buitenwaarts</b>	Bekleding: Door golven en stroming kan de bekleding van een dijk beschadigd raken.

Welke faalmechanismen in welke mate kunnen optreden hangt af van wat voor PV-systeem men op welke locatie wil plaatsen. Het zal onder ander afhangen van het type dijkdijkbekleding, het soort waterbelasting, de dominante grondsoort en of het de land- of waterzijde betreft van de dijk.

Wanneer als gevolg van nevenfuncties op de dijk het beschikbare beoordelingsinstrumentarium (computermodellen en beoordelingsregels) niet (voldoende) geschikt is, dan wordt er een “toets op maat” (TOM) uitgevoerd om een oordeel te kunnen geven over de dijk. Een vorm van de TOM is een deskundigenoordeel, wat inhoudt dat de situatie met de huidige stand van kennis door experts wordt beoordeeld. Bij veranderingen aan dijkconstructie moet de procedure natuurlijk opnieuw doorlopen worden.

Lastig wordt het als de verandering niet in de modellen kan worden verwerkt, dan is er dus enkel een toets op maat te geven. Als voorbeeld worden hieronder wat overwegingen gegeven bij het voornemen zonnepanelen op een paaltjesfundering op een grasdijk te plaatsen. Voor dijken met een grasbekleding is een vastgestelde procedure om de kwaliteit van de grasmat van de dijk te bepalen, dit leidt tot een oordeel over de “weerstand tegen bezwijken door overstromen” voor de grasmat op het deel van de dijk dat beoordeeld wordt. Door het invangen van zonlicht door de zonnepanelen kan de kwaliteit van de grasmat verminderen, dus ook van de benodigde weerstand en neemt dus ook de veiligheid af. Iets

anders is dat bij iedere overgang tussen een paaltje en het gras de weerstand van de grasmat ook afneemt en de onveiligheid extra toeneemt. Vandaar de algemene vuistregel is dat hoe minder verstoringen van de grasmat er zijn des te groter de waterveiligheid zal zijn.

Hierbij wordt opgemerkt dat in het specifieke geval van proeflocatie op de Knardijk, de zandige dijk kern is afgedekt met een dunne deklaag van klei waarop de grasmat groeit. De paaltjes van de fundering zouden deze deklaag perforeren, waardoor er bij overstromend/overslaand water naast de beschreven erosie van de deklaag ook nog verzadiging van de dijk kern kan optreden als gevolg van de door-en-door geperforeerde deklaag.

Er wordt echter niet gezocht naar de maximale gegarandeerde waterveiligheid, maar naar voldoende aantoonbare waterveiligheid, voldoende in relatie tot aan de voor dat dijktraject geldende norm. In het hierboven beschreven voorbeeld kan de kans op bezwijken van de grasmat verkleind worden door de dijk ter plekke hoger te maken, waardoor de hoeveelheid overslaand water kleiner wordt, waardoor de belasting op de grasmat minder groot wordt en er dus minder kans is op bezwijken van de grasmat. Dit leidt dus tot de gewenste verminderde kans op bezwijken van de grasmat. Of de waterveiligheid te veel afneemt door het plaatsten van een PV-systeem hangt af van de dijkopbouw (inclusief bedekking), de uitvoeringen en plaatsing van het PV-systeem en de waterbelasting ter plekke. Voor het beoordelen van waterveiligheid moeten dus alle componenten in samenhang beschouwd worden.

### 1.2.2 **Maatwerk versus generiek geformuleerde voorwaarden**

In de beschrijving van de faalmechanismen zijn PV-systemen als onderdeel van de dijk (nog) niet opgenomen. Elementen op of in de dijk, die geen waterkerende functie hebben maar voortkomen uit nevenfuncties, vallen onder de Niet Waterkerende Objecten (NWO's). Generiek zijn in het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium (BOI) richtlijnen aangegeven hoe met de meest voorkomende NWO's kan worden omgegaan (denk dan aan panden, trappen et cetera). PV-elementen staan hier (nog) niet bij. Er zijn dus geen algemeen geldende, niet-locatiegebonden voorwaarden beschreven waaraan een bepaald PV-systeem moet voldoen om op een dijk geplaatst te mogen worden. Zolang deze er niet zijn, zal dus iedere specifieke PV-systeem-dijkcombinatie apart beoordeeld moeten worden, hieronder maatwerkoordeel genoemd.

Met een **maatwerkoordeel** kan een oordeel worden gegeven voor één bepaald type PV-systeem op één specifieke locatie op één dijk. Hierbij worden voor die specifieke omstandigheden alle waarschijnlijke ketens van gebeurtenissen beschouwd die kunnen leiden tot aantasting van de waterveiligheid. Op basis van deze beschouwing wordt door de beheerder bepaald of de plannen doorgang kunnen vinden. Echter, wanneer sprake is van samenwerking tussen de beheerder en de "PV-systeemplaatser" zal voorafgaand aan het oordeel gekeken worden naar welke mogelijkheden zijn en of er wijzigingen aan het PV-systeem tot een voor alle partijen beter projectresultaat kunnen leiden. Er kan dan optimaal gebruik gemaakt worden van de lokale omstandigheden om binnen een rendabele en qua waterveiligheid acceptabele oplossing te realiseren. Een nog betere 'samenwerking' ontstaat wanneer het PV-element niet meer als een NWO gezien hoeft te worden maar een waterkerend onderdeel van de waterkering vormt. Bijvoorbeeld wanneer het PV-systeem een onderdeel is van de bekleding waaraan sterkte ontleend kan worden.



Aan de andere kant is het zeer gewenst om vooraf de plaatsingsvoorwaarden aan de PV-systemen te kunnen stellen, want dat biedt de producenten van PV-systemen de mogelijkheid om hun PV-systeem onafhankelijk van de locatie te optimaliseren binnen de gestelde randvoorwaarden en het plaatsingsproces voorspelbaar en efficiënt te laten verlopen. Het moeilijke voor **generiek geformuleerde** voorwaarden (denk bijvoorbeeld aan eisen betreffende het maximum aantal perforaties per eenheid van oppervlakte, de lichtdoorval van de zonnepanelen, het maaibeleid rond de constructie, et cetera) is dat er zoveel variaties in omstandigheden zijn. De waterbelastingen verschillen onderling qua duur van de waterbelastingperiode, het hoogteverschil tussen hoog en laagwater, en de golfhogte en -periode. De dijken verschillen onderling qua vorm, opbouw van de kern en de bedekkingen. Ook de PV-systemen kennen vele varianten, zo zijn er PV-systemen te onderscheiden die onderling verschillen qua fundering die de panelen ondersteunt, het soort en de plaatsingsrichting van de panelen en eventueel mobiliteit van het PV-systeem.

Uiteindelijk zal altijd ieder PV-systeem-op-Dijk-plaatsing beoordeeld worden, om een plaatsingsvergunning te krijgen.

### 1.2.3 **Benodigde kennis**

Er is aanvullende kennis nodig omtrent hoe een PV-systeem een dijk en de omgeving beïnvloedt. Dit geldt zowel voor de waterveiligheid zoals het vaststellen van niet-locatiegebonden voorwaarden of het uitvoeren van een maatwerkoordeel, maar ook voor een goede inpassing in de omgeving, et cetera.

De ontwikkelingen van nieuwe en optimalisaties van bestaande PV-systemen gaan nog steeds snel. Dat maakt het lastig om te bepalen welke kennis nog ontwikkeld moet worden en wat de effectiefste werkwijze is om dit te doen. De te vergaren kennis zal per type PV-systeem verschillen. Voor systemen die qua plaatsing, vorm en uitvoering lijken op nu al gebruikte componenten van dijken zal er minder aanvullende kennis nodig zijn dan PV-systemen die sterk hiervan afwijken.

Een voorbeeld van een systeem wat qua vorm al erg lijkt op de huidige “dijkpraktijk” en ook kan worden ingericht als een element met een waterkerende functie (en dus niet als NWO) is: gekoppelde betonnen platen met zonnepanelen bekleed, die in de “golflapzone” geplaatst worden. Hierbij zullen met name vragen resteren over de invloed van de het water op het PV-systeem. Een voorbeeld van een systeem wat afwijkt van de huidige “dijkenpraktijk” en een echt NWO is, is de vaak op voormalige landbouwgrond toegepaste paaltjesfundering met zonnepanelen op een grasbekleed talud. Hierbij zijn vragen over het groepsgedrag van veel niet-waterkerende objecten in het talud, in welke de grasbekleding blijft bijdragen aan de sterkte, et cetera.

## 2 Resultaten

### 2.1 Werkpakket 4: plaatsing van de systemen

Deltares heeft tijdens de beginfase van het onderzoek (voordat aan de daadwerkelijke bouw van de PV-systemen werd begonnen) aan alle producenten zijn kennis over de waterveiligheid aangeboden. Zoals in de inleiding van dit rapport vermeld is, zijn er geen algemene richtlijnen voor het plaatsen van grote aantallen objecten op dijken. Op iedere dijk in Nederland zal voordat een vergunning voor plaatsing van PV-systemen op een dijk verstrekt duidelijk moeten zijn dat de vereiste waterveiligheid gewaarborgd blijft. De beoordeling hiervan is afhankelijk van het PV-systeem, de dijk en de mogelijke geachte waterbelasting. Bij afwezigheid van generieke regels, zal iedere beoordeling een maatwerkbeoordeling zijn.

Sommige producenten hebben in de vorm van bilaterale gesprekken gebruik van gemaakt het aanbod om hun systeemontwerp bespreken aan de hand van de situatie van de proeftuin. De uiteindelijke beoordeling en vergunningsverstrekking voor de bouw van de PV-systemen op de dijken is door het ter plekke verantwoordelijke waterschap gedaan.

Deltares heeft ook met een aantal waterveiligheidsexperts (van verschillende niet direct bij de proeftuinen betrokken waterschappen) contact opgenomen om de hun mening over het plaatsen van PV-systemen op dijken in het algemeen en de in het kader van dit onderzoek te plaatsen PV-systemen in het bijzonder te vragen. Deze vragen zijn geclusterd en gerubriceerd en opgenomen in Bijlage A. Deze informatie is ook teruggekoppeld naar de producenten en wanneer gewenst met hen besproken.

In Tabel 2.1 staat de beschrijving van het uiteindelijk door de producent gekozen ontwerp, zoals deze aan de waterveiligheid experts is verstrekt.

Tabel 2.1 Ontwerpbeschrijving PV-systemen

Producent	Variant	Beschrijving variant
Afvalzorg	SB_1_Standaard	<p>Aanleg op Knardijk – bovenzijde binnendijk zijnde een zanddijk met grasbegroeiing (dijken met steenbekleding zitten niet in de proef; combi steenbekleding en fundering is wel een potentieel onderzoekspunt)</p> <p>Uitgangspunt is een talud van maximaal 1:3, om daar 20 bij 25 m een plaat te maken.</p> <p>Uitgangspunt; Zanddijk met grasbegroeiing, dikte kleilaag 0,6m dikte, niet doorgraven om zanddeel droog te houden.</p> <p>Solarbase is een vervanging van de dijkbekleding.</p> <p>Plaat 0,5 m dik. Ca 0,3 m verdiept aangebracht in dijklichaam.</p> <p>Randafwerking rondom met afvoer voor run-off-water zodat regenwater niet geconcentreerd ergens erodeert. Rand is een erosieplek voor dijk grasland eromheen; grindlaag rondom om erosie te voorkomen.</p> <p>In combinatie met werk op Lelystad of omgeving.</p> <p>Goed bereikbaar voor materieel.</p> <p>Afvoer run-off-water naar nabijgelegen sloot of grindlaag elders.</p> <p>PV-deel:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Schuin-dak-systeem; veel panelen op oppervlakte.</li><li>- Diefstalbeveiliging in verankering.</li><li>- Vandalisme bestendig.</li></ul>

Producent	Variant	Beschrijving variant
Delmeco	CB_1_Hoog	De zonnepanelen worden op betonnen blokken met dezelfde grootte als de panelen en een dikte van ongeveer 25 cm gemonteerd, de bedrading bevindt zich onder het zonnepaneel, de blokken kunnen aan elkaar gemonteerd worden. Het resultaat is een robuust, vandaalbestendig PV-systeem. De blokken worden boven het normale hoogwaterniveau geplaatst. In het algemeen zal dit systeem het gras vervangen.
Eurorail	ER_1_Standaard	De standaard uitvoering is de uitvoering zoals vandaag gebruikt voor solarfarms op land. We gaan de standaard variant uitvoeren met 3 verschillende PV-modules: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Standaard.</li> <li>• Gekleurd.</li> <li>• Semi-transparant.</li> </ul>
Soltronergy	KB_6_VrijePanelen	Tussen betonnen ballastblokken boven en onder aan de dijk worden RVS-kabels gespannen waaraan vervolgens tailormade kunststof PV-panelen worden bevestigd. In beginsel kunnen deze vrij bewegen, terwijl mogelijk ook een gefixeerde variant getest wordt. De ballast wordt dusdanig gekozen dat in principe geen verdere verankering van het systeem nodig is.

In een andere deelrapportage van dit project (de referentie hiernaar is bij het schrijven van deze rapportage nog niet bekend), zijn de later gemaakte beschrijvingen van de gebouwde opstellingen geplaatst.

In Tabel 2.2 staan de voor deze varianten mogelijk van toepassing zijnde vragen genoemd.

Tabel 2.2 Geclusterde en gerubriceerde vragen van waterbeveiligheidsexperts.

Clusteronderwerp	CIVraag	SB_1_Standaard	CB_1_Hoog	ER_1_Standaard	KB_6_VrijePanelen
<b>Aanleg en fundering</b>	Hoe diep moet de fundering ten behoeve van de constructie versus hoe diep kan de fundering ten behoeve van waterveiligheid	X	X	X	X
	Hoe flexibel is de constructie indien er sprake is van nazakkingen van de dijk/fundering	X	X		
<b>B&amp;O_Kering</b>	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de inspectie mogelijkheden, (en de kosten en de resultaten)?	X	X	X	
	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de onderhoudsmogelijkheden (en de kosten en resultaten daarvan)?		X	X	X
<b>B&amp;O_PV-systeem</b>	Hoe ziet het beheer en onderhoud van de PV-systemen er uit? Bijvoorbeeld Frequentie, materiaal, reiniging, vervanging	X	X	X	
<b>Beoordeling</b>	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de kans op falen van de bekleding?			X	
	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de kans op micro en/of macro stabiliteit?	X	X	X	
	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de kans op piping?			X	
	Hoe kan de overstromingskans van een kering met PV-systemen worden beoordeeld?	X	X		
	Is bekend hoe met grote verzamelingen niet-waterkerende objecten (NWO's) moet worden bij het toetsen/beoordelen omgegaan?			X	
<b>Falen constructie (weersinvloed)</b>	Bij welke belastingen faalt de constructie, op welke wijze faalt de constructie? en wat is het gevolg van het falen van de constructie op de kering?	X	X	X	
<b>Grasbekleding</b>	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de lichtdoorval en wat is de invloed hiervan op de kwaliteit van de grasbekleding?			X	
<b>Kabel en infrastructuur</b>	Hoe is de kabel-infrastructuur georganiseerd en welke veiligheidsrisico's verwachten we daarvan?	X		X	X
<b>Levensduur</b>	Wat is de levensduur van een PV-systeem, en wat is de verwachte schade bij aanleg en (tussentijdse) verwijdering ?	X	X	X	

Clusteronderwerp	CIVraag	SB_1_Standaard	CB_1_Hoog	ER_1_Standaard	KB_6_VrijePanelen
<b>Maatschappelijke afweging</b>	Wat is het effect van de PV-systemen op ruimtelijke kwaliteit? (tot in welke mate kan landschappelijke inpassing plaats vinden?)				X
	Welke functionaliteiten (naast veiligheid) van de kering kunnen wel/niet samen met PV-systemen onder welke omstandigheden.		X		
	Wie zijn alle verantwoordelijke en betrokken stakeholders voor het totale infrastructuursysteem?				X
<b>Mechanica</b>	Wat is de maximale toegestane druk/gewichtsbelasting?	X	X	X	X
<b>Overgangen, erosie, infiltratie</b>	Belastende omstandigheden - Wat zijn mogelijke veiligheidsrisico's als gevolg van de overgangen tussen de PV-systeem onderdelen en de kering?	X	X	X	
	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de waterhuishouding en wat is het effect van een verandering hierin?	X	X	X	
	Normale omstandigheden - Wat zijn mogelijke veiligheidsrisico's als gevolg van de overgangen tussen de PV-systeem onderdelen en de kering?	X	X	X	
	Wordt er geconcentreerde afstroming van water verwacht en wat is het (erosie) effect hiervan?		X	X	

Deze vragen geven een goede indruk van de vragen die dijkbeheerders beantwoord willen zien, als zij een verzoek krijgen om een PV-systeem op "hun dijk" te plaatsen. Dit onderzoek bood vanuit waterveiligheidsperspectief de mogelijkheid om de invloed van de PV-systemen van Soltronergy en EuroRail/TNO op het gras te beoordelen en om van de PV-systemen van Afvalzorg en Delmeco de overgang van de PV-constructie naar het gras te monitoren.

Tabel 2.3 bevat waarnemingen over de plaatsing van de PV-systemen

Tabel 2.3 Waarnemingen tijdens plaatsing per PV-systeem.

Producent	Variant	Beschrijving waarnemingen tijdens plaatsing
<b>Afvalzorg</b>	<b>SB_1_Standaard</b>	De aardebaan met opbouw is netjes geplaatst. De overgang met de constructie is net afgewerkt. Vanwege de methode van aanleggen zal de aardebaan bij plaatsing goed aansluiten op het onderliggende materiaal.
<b>Delmeco</b>	<b>CB_1_Hoog</b>	De blokelementen van dit PV-systeem lijken goed aan te sluiten op het onderliggende materiaal.
<b>EuroRail</b>	<b>ER_1_Standaard</b>	Er is bij de bouw veel schade aangebracht aan de ondergrond met name bij de verdiept geplaatste montageplaten van de funderingspalen.
<b>Soltronergy</b>	<b>KB_6_VrijePanelen</b>	Door enkel ankerblokken te plaatsen, naast het trekken van de kabels en leidingen, zijn er weinig bouwactiviteiten aan de dijk zelf geweest. De verdiept geplaatste ankerblokken sluiten goed aan op de grasmatten.

## 2.2 Werkpakket 5: Monitoring dijk en PV-systemen

De invloed van de PV-systemen op de flora en fauna tijdens de gebruiksfase is door de WUR onderzocht en gerapporteerd. Deltares heeft tijdens een drietal werkbezoeken de locaties visueel geïnspecteerd vanuit waterveiligheidsperspectief. Hierbij dient te worden opgemerkt er ook een relatie tussen de kwaliteit van de flora en de waterveiligheid. Met name de afname van de kwaliteit van de wortellaag kan tot een grotere erosie leiden bij overslag of golfoploop en waardoor de kwaliteit van de dijk, vanuit waterveiligheidsperspectief gezien, afneemt.

Voor alle systemen is gekeken naar de mate de aantasting van de grasmat als gevolg van de aangebrachte leidinginfrastructuur. Geconcludeerd wordt het van belang is dat tijdens de aanleg de schade aan de te verplaatsen zoden en aan de plaats op de dijk waar deze tijdelijk opgeslagen worden, zoveel mogelijk beperkt wordt. En dat de grasmat benodigde ondersteuning krijgt tijdens herstelperiode.

Voor beide verharde toplaagsystemen (Delmeco en Afvalzorg) geldt dat er na aanleg geen waarnemingen zijn gedaan die een indruk geven van holte- en/of kanaalvorming tussen de verharde laag en de dijkconstructie. Dit zou het begin van een erosiekanaal kunnen zijn (parallel aan het dijktalud) tijdens overslag of overloop. Er zijn geen waarnemingen van gronduitspoeling aan de onderzijden van de verharde toplaag, die erop zouden wijzen dat de neerslag via een kanaal materiaal meevoerde. Wel interessant om bij verwijdering van deze systemen hier aandacht aan te besteden (zie ook aanbevelingen).

In Tabel 2.4 staan per PV-systeem aanvullende waarnemingen genoemd.

Tabel 2.4 Waarnemingen tijdens productiefase per PV-systeem.

Producent	Variant	Beschrijving waarnemingen tijdens gebruik
Afvalzorg	SB_1_Standaard	Hier ligt een harde funderingsplaat van Afvalzorg met daarop de PV elementen. Deze lijkt goed aangesloten te zijn op de grasmat en vertoont weinig vervorming. Ook deze bij deze funderingsplaat verdient de aansluiting van de platen op de zachte dijkbekleding extra aandacht.
Delmeco	CB_1_Hoog	Het Delmeco-paneel lijkt goed aangesloten te zijn op de grasmat en vertoont weinig vervorming. Wel verdient de aansluiting van de platen op de zachte dijkbekleding extra aandacht, maar dit is generiek voor iedere overgang van steenbekleding op een grasbekleding.
Eurorail	ER_1_Standaard	<p>Het lijkt erop dat het regenwater tussen de rijen zonnepanelen doorlekt op het dijktalud en niet enkel onderaan afstroomt. Wel is de invloed van het, van de zonnepanelen afvallend regenwater op de grasmat zichtbaar, maar de schade is niet ernstig.</p> <p>De aantastingen rondom de funderingspalen, die bij het installeren zijn ontstaan herstellen slecht en waren tijdens het veldbezoek van 8 oktober en 22 december 2021 nog niet voldoende hersteld (wel is er een lichte verbetering zichtbaar). Daarnaast lijkt erop dat dierlijke activiteiten deze plekken open houden, kennelijk zoek de dieren de beschutting van de panelen op. Daarnaast zijn er meer konijnensporen en muizen holletjes waargenomen</p> <p>Daarnaast is het maaien rondom de panelen een probleem. Hierdoor ontwikkeld zich hier hoger opgaand onkruid (distels) wat de kwaliteit van de grasmat rondom de panelen niet te goede komt .</p> <p>De panelen met een schaaqbord indeling presteren beter als het gaat om de grasaantasting (zie ook de rapportage van de WUR).</p> <p>Voor meer over de invloed op het gras wordt verwezen naar de WUR-deelrapportage.</p>



Producent	Variant	Beschrijving waarnemingen tijdens gebruik
Soltronergy	KB_6_VrijePanelen	<p>Voor de hangende PV bifacial platen welke gesneuveld zijn tijdens de stormen van begin januari 2022 wordt opgemerkt dat de gras er goed uitziet. Er is geen schade zichtbaar van aanlegfase. Aansluiting rondom de funderingsblokken is goed en niet anders dan bij andere harde elementen (blijft wel aandachtspunt).</p> <p>De ingeschatte kwaliteit van de grasmat onder de panelen is niet beter of slechter dan naast de panelen. Over het algemeen is de grasmat voor 85 % gesloten en 15 % open (kwalitatief ingeschat). Hierbij geen onderscheid tussen de testlocatie en referentie vak ernaast. Dus wat lichtdoorval en aantasting presteert dit systeem goed.</p> <p>Bij de storm op 18 februari 2022 zijn de ankerblokken geroteerd en/of getransleerd, hierdoor grote kieren over de gehele hoogte tussen de blokken en omringende grond gekomen.</p>

## 2.3 Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

## 2.4 Discussie

### 2.4.1 Zoek aansluiting bij bestaande dijkconstructies

Aangezien er (nog) geen specifieke richtlijnen zijn voor het plaatsen van PV-systemen op dijken en omdat de waterveiligheid van de dijk met het PV-systeem toch gewaarborgd moet worden, lijkt het aanbevelenswaardig om zo dicht mogelijk bij de bestaande waterbouwpraktijk te blijven.

De voorkeur gaat uit naar PV-systemen die geïntegreerd worden in de waterkering waarbij ze een bijdrage leveren aan het waterkerende vermogen. Want zij worden dan dus niet beschouwd als NWO (niet waterkerend object) op de dijk, dat het waterkerende vermogen (beheer, sterkte et cetera) van de dijk aantast, maar als een constructief element dat bijdraagt aan de dijkconstructie.

Dat zijn wat constructie betreft de verharde toplaag / aardebaansystemen zoals in dit onderzoek die van Afvalzorg en Delmeco. Echter de plaatsing op de dijk zoals bij deze proeftuin komt in de praktijk niet (veel) voor. Want een verharding is duurder dan gras en wordt enkel aangelegd bij het ondertalud aan de waterzijde van de dijk om waterstroming- en golfschade te voorkomen. Mogelijk dat energieopbrengst voor ander locaties op de dijk mogelijkheden biedt. Er zal dan hoogstwaarschijnlijk bij noodzakelijke werkzaamheden aan de dijk aangesloten moeten worden, zodat de kosten over meerdere doelen gespreid kunnen worden.

### 2.4.2 Zoek investeringsbereide stakeholders

Het plaatsen van PV-systemen op dijken is vanuit waterveiligheidsperspectief niet vanzelfsprekend. Waar in de huidige praktijk in het algemeen gestreefd wordt naar zo min mogelijk niet-waterkerende objecten op een dijk, wordt bij het plaatsen van PV-systemen het tegenovergestelde beoogd. Dit vereist een omslag in het beoordelen en het ontwerpen van dijken. Hier is tijd en energie voor nodig. Om die te vinden is het noodzakelijk om te weten wie de stakeholders zijn en wat hun belangen zijn. Een invalshoek hierbij kan zijn om na te gaan wat de wettelijke verplichtingen en bevoegdheden zijn van overheden, initiatiefnemers en andere stakeholders.

## 2.5 Conclusies en aanbevelingen

Dit onderzoek heeft niet geleid tot specifieke richtlijnen voor PV-systemen. Een generieke richtlijn voor een bepaald PV-systeem is nog ver weg. Vanwege het maatwerk karakter van

de eerstkomende toepassingen zal een goed wederzijds begrip van elkaars belangen, doelen en kennis tussen alle stakeholders van groot belang zijn om deze toepassingen te realiseren en tot een succes te maken.

Het is van belang om bij het verwijderen van de verharde toplaagconstructies te letten op eventuele kanaal- en/of holtevorming tussen de toplaag en het oorspronkelijke dijkmateriaal eronder. Aanbevolen wordt het al dan niet waarnemen ervan goed (fotografisch) te documenteren, bij voorkeur door een onafhankelijk waarnemer

# A Geclusterde vragen van waterveiligheidsexperts

Tabel 2.5 Overzicht geclusterde vragen van experts

Clusteronderwerp	Vraag
<b>Maatschappelijke afweging</b>	Wie zijn alle verantwoordelijke en betrokken stakeholders voor het totale infrastructuursysteem?
	Welke functionaliteiten (naast veiligheid) van de kering kunnen wel/niet samen met PV-systemen onder welke omstandigheden?
	Welke type dijken zijn (vanuit waterveiligheid) het meest/minst geschikt voor PV-systemen?
	Waar op de dijk? En wat betekent dit voor rendabiliteit?
	Wat is het effect van de PV-systemen op ruimtelijke kwaliteit? (tot in welke mate kan landschappelijke inpassing plaats vinden?)
<b>Beheer, onderhoud, inspectie van de kering</b>	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de onderhoudsmogelijkheden (en de kosten en resultaten daarvan)?
	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de inspectiemogelijkheden (en de kosten en de resultaten)?
<b>Beheer, onderhoud, inspectie van de PV-systemen</b>	Hoe ziet het beheer en onderhoud van de PV-systemen eruit (bijvoorbeeld frequentie, materiaal, reiniging, vervanging)?
<b>Kabel en infrastructuur</b>	Hoe is de kabel-infrastructuur georganiseerd en welke veiligheidsrisico's verwachten we daarvan?
<b>Grasbekleding</b>	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de lichtdoorval en wat is de invloed hiervan op de kwaliteit van de grasbekleding?
<b>Overgangen, erosie, infiltratie</b>	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de waterhuishouding en wat is het effect van een verandering hierin?
	Wordt er geconcentreerde afstroming van water verwacht en wat is het (erosie) effect hiervan?
	Normale omstandigheden - Wat zijn mogelijke veiligheidsrisico's als gevolg van de overgangen tussen de PV-systeem onderdelen en de kering?
	Belastende omstandigheden - Wat zijn mogelijke veiligheidsrisico's als gevolg van de overgangen tussen de PV-systeem onderdelen en de kering?
<b>Falen van constructie (door wind/golf/waterstand/sneeuw)</b>	Bij welke belastingen en op welke wijze faalt de constructie? En wat is het gevolg van het falen van de constructie op de kering?
<b>Levensduur PV-systemen</b>	Wat is de levensduur van een PV-systeem, en wat is de verwachte schade bij aanleg en (tussentijdse) verwijdering?
<b>Calamiteiten</b>	Wat is het handelingsperspectief voor noodmaatregelen in geval van calamiteiten wanneer er PV-systemen op de kering liggen?
<b>Beoordeling</b>	Hoe kan de overstromingskans van een kering met PV-systemen worden beoordeeld?
	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de overstromingskans?
	Is bekend hoe met grote verzamelingen niet-waterkerende objecten (NWO's) moet worden bij het toetsen/beoordelen omgegaan?
	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de kans op micro en/of macro stabiliteit?
	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de kans op piping?
	Hoe beïnvloedt het PV-systeem de kans op falen van de bekleding?
<b>Mogelijke eisen voor vergunningen</b>	Mogelijke formulering van eisen voor PV-systeem vergunningen.
<b>Krachten, drukbelasting en stabiliteit</b>	Wat is de maximale toegestane druk- of gewichtsbelasting?
<b>Aanleg en fundering</b>	Hoe diep moet de fundering tbv de constructie versus hoe diep kan de fundering tbv waterveiligheid?
	Hoe flexibel is de constructie indien er sprake is van nazakkingen van de dijk of fundatie?

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)