

ZON OP DIJKEN: KANSEN EN AANDACHTSPUNTEN



RAPPORT

2025
03

ZON OP DIJKEN: KANSEN EN AANDACHTSPUNTEN

RAPPORT

2025

03

ISBN 978.94.6479.099.3



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Esther Snepvangers
Stijn Wolfkamp

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Martin Oordt - Waterschap Zuiderzeeland
William Teuling - Waterschap Hollandse Delta
Kees de Jong - Waterschap Noorderzijlvest
Mattijs Erbeveld - Rijkswaterstaat
Aart Los - Unie van Waterschappen
Oscar van Dam - STOWA
Lieke Noij - STOWA

VORMGEVING Buro Vormvast
STOWA STOWA 2025-03
ISBN 978.94.6479.099.3

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

TEN GELEIDE

Nederland meet meer dan 17.000 km aan dijken. Als die daarvoor geschikt zouden zijn, geeft de hoeveelheid dijken veel mogelijkheden voor zonne-energie. De benodigde technologie voor zonne-energie op dijken werkt, al bevindt die zich nog in een ontwikkelingsfase. Er zijn uitsluitend kleinschalige pilots uitgevoerd. Van grootschalige toepassing is nog geen sprake.

Bij de ontwikkeling van "zon op dijken" is rekening gehouden met de gevolgen van zonnepanelen voor vijf bestaande dijkfuncties: waterveiligheid, landschap en natuur, maatschappelijk draagvlak, energieopwekking, en beheer en onderhoud. Beschadiging en erosie van de grasbekleding door de plaatsing van zonnepanelen in de dijk vormen het grootste risico. Daarnaast kampt het idee met hoge investeringskosten. De zakelijke onderbouwing van Zon op Dijken loont onvoldoende voor grootschalige toepassing.

Het rapport *Zon op Dijken, kansen en aandachtspunten* combineert kennis uit literatuur, pilots en interviews waarmee dijken op een veilige en economisch-maatschappelijk verantwoorde wijze kunnen worden benut voor de opwekking van zonne-energie, zonder in te boeten aan waterveiligheid.

Mark van der Werf
Directeur STOWA

1

SAMENVATTING

Nederland heeft ongeveer 17.000 km aan dijken en een studie heeft uitgewezen dat deze dijken een potentieel bieden van 11 GWp aan PV-systemen. Het toepassen van opwek van zonne-energie op dijken, kortweg zon op dijken, heeft daarmee theoretisch een enorme potentie. Op dit moment zit zon op dijken in de laatste ontwikkelfase. Er zijn verschillende pilots uitgevoerd om zon op dijken toe te passen. Deze pilots waren relatief klein. Grootschalige toepassing is er in Nederland nog niet. Met voorliggende rapportage zijn de kansen en aandachtspunten van zon op dijken inzichtelijk gemaakt.

Er is hierbij gekeken vanuit het uitgangspunt van vijf verschillende bestaande functies van een dijk. Dit zijn: waterveiligheid, landschap en natuur, maatschappelijk draagvlak, energie en beheer en onderhoud. Uit het onderzoek kwam naar voren dat beschadiging en erosie van de grasbekleding het grootste risico is. In alle bestaande functies speelt de grasbekleding een rol. Aanvullend op de bestaande functies is gekeken naar de energieopbrengst van de panelen en welke aspecten hierop van invloed zijn.

Alle uitdagingen die in het onderzoek naar voren zijn gekomen, lijken technisch overkomelijk. Op het gebied van landschap en natuur vraagt het toepassen van zon op dijken vooral om maatwerk en is de relatie met maatschappelijk draagvlak ook van belang. Tegelijk is er maar weinig onderzoek gedaan naar de businesscase van zon op dijken en zijn alle uitdagingen kostenverhogend. Een voorzichtige conclusie is dat zon op dijken op dit moment te duur is voor grootschalige toepassing. Meer onderzoek is nodig om deze conclusie verder te onderbouwen.

STOWA IN HET KORT

HOE WE WERKEN

STOWA is het kennis- en innovatiecentrum voor regionale waterbeheerders in Nederland; de waterschappen en provincies. We helpen ze met het verkrijgen van nieuwe kennis en inzichten die nodig zijn om de opgaven van de regionale waterbeheerders beter te kunnen uitvoeren. Dat doen we door kennisvragen te formuleren en te selecteren in programmacommissies. We zetten ons onderzoek uit bij een keur aan experts, adviesbureaus, instituten en universiteiten, die we begeleiden tijdens hun werk. We zorgen voor de beschikbaarstelling en verspreiding van de kennis, inzichten en antwoorden aan de gezamenlijke waterbeheerders. We stimuleren de uitwisseling van kennis en ervaringen, via bijeenkomsten, werkgroepen, excursies, conferenties en communities of practice. We werken samen met onder andere ministeries, Rijkswaterstaat, gemeenten, drinkwaterbedrijven.

WAT WE ONDERZOEKEN

Inhoudelijk richt STOWA zich op alle onderdelen van waterbeheer, van waterkering en stedelijk waterbeheer tot waterzuivering en watersystemen. Belangrijke thema's daarbij zijn klimaatadaptatie, waterveiligheid, waterkwaliteit en ecologie, energietransitie en circulaire economie.

De kennisvragen die STOWA beantwoordt liggen meestal op technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied. Onze kennis is altijd gericht op de praktijk van regionale waterbeheerders. Dat is waar we voor staan, als Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

WIE WE ZIJN

STOWA is als kennisorganisatie onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De afnemers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan regionale waterbeheerders zelf te bepalen hoe ze de kennis van STOWA in de praktijk gebruiken. STOWA kan daarbij een rol spelen als adviseur, maar is geen uitvoerder of regisseur.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast de cijfermatige jaarrekening onder meer ook een directieverslag over de stichting, haar activiteiten en kentallen opgenomen.

ZON OP DIJKEN: KANSEN EN AANDACHTSPUNTEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
1	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
2	INLEIDING	1
	2.1 Aanleiding	1
	2.2 Doel	1
	2.3 Betrokken partijen	2
	2.4 Leeswijzer	2
3	METHODE	3
	3.1 Literatuurstudie	3
	3.2 Interviews	3
4	ALGEMENE INFORMATIE	5
	4.1 Kansrijke dijken	5
	4.2 Type PV-systemen	5
	4.2.1 Horizontale PV-systemen	6
	4.2.2 Verticale PV-systemen	8
5	BELANGEN EN STAKEHOLDERS	10
6	DE FUNCTIE COMBINATIE VAN ZON EN DIJKEN	13
	6.1 Waterveiligheid	13
	6.1.1 Ervaringen uit proeven	18
	6.1.2 Stand van zaken	18
	6.2 Landschap en natuur	19
	6.2.1 Ervaring uit proeven	21
	6.2.2 Stand van zaken	22

7	OVERIGE ASPECTEN VAN ZON EN DIJKEN	23
7.1	Maatschappelijk draagvlak	23
7.1.1	Ervaring uit proeven	24
7.1.2	Stand van zaken	25
7.2	Beheer en onderhoud	25
7.2.1	Ervaring met proeven	27
7.2.2	Stand van zaken	28
8	ENERGIE	29
8.1	Energie	29
8.1.1	Ervaring uit proeven	30
8.1.2	Stand van zaken	31
9	CONCLUSIE	32
BIJLAGE 1	LITERATUURLIJST	34
BIJLAGE 2	VRAGEN INTERVIEWS	36
BIJLAGE 3	OPLEGGER KENNISLEEMTES	41
BIJLAGE 4	QUICKSCAN WATERVEILIGHEIDSASPECTEN	43
BIJLAGE 5	FAALMECHANISMEN PER POSITIE VAN DE DIJK	46

2

INLEIDING

2.1 AANLEIDING

Met het oog op de energietransitie moet zonne-energie in de komende jaren een grote bijdrage leveren aan de productie van hernieuwbare energie. Het Klimaatakkoord voorziet 21 GWp (GigaWatt piekvermogen) aan PV (photovoltaic zonne-energie) capaciteit op land tegen 2030. Dat is zeven keer meer dan het huidige vermogen aan PV-installaties in Nederland (Wageningen University, 2022b). De focus ligt op dit moment op de doelen van 2030, maar de landelijke opgave voor 2050 zal evenredig of nog groter zijn. Hiervoor is veel oppervlak nodig. Dit is niet overal beschikbaar. Het Klimaatakkoord benadrukt daarom dat bijzondere inspanningen nodig zijn om PV-systemen maximaal onderdeel te maken van gebouwen en de infrastructuur (Consortium Zon op Dijken, 2023).

Om de gestelde doelen te behalen worden regionale energie strategieën opgesteld. In de regionale energie strategieën (RES) bepalen samenwerkende overheden hoeveel en op welke manier zij duurzame energie op gaan wekken.

De RES'sen waren de aanleiding voor Rijkswaterstaat, STOWA en verschillende waterschappen om te onderzoeken of en hoe dijken kunnen worden benut voor de opwekking van hernieuwbare energie. Nederland heeft ongeveer 17.000 km aan dijken en een studie heeft uitgewezen dat deze dijken een potentieel bieden van 11 GWp aan PV-systemen (zonder dat dit ten koste hoeft te gaan van landbouwgrond) (Folkerts et al., 2017). Door dit te benutten hoeft deze opwek aan zonne-energie niet ten koste te gaan van landbouwgebied. Tevens zou het een (extra) multifunctioneel gebruik van keringen kunnen betekenen.

2.2 DOEL

In de zoektocht naar ruimte voor duurzame energieopwekking ontstaat dus steeds meer aandacht voor het plaatsen van zonnepanelen op dijken. Daarnaast is de opwek van zonne-energie op dijken voor sommige waterschappen een manier om energieneutraal te worden. Waterschappen en Rijkswaterstaat hebben daarom behoefte aan een overzicht van relevante kennis voor de toepassing van zonne-energie op dijken (vanaf nu zon op dijken).

Met voorliggend rapport wordt inzicht gegeven in ervaringen en bestaande kennis over zon op dijken. Deze kennis kan worden gebruikt om te anticiperen op toekomstige vragen over de inzetbaarheid van zon op dijken en om initiatieven van derden te beoordelen. Belangrijke voorwaarden hierbij zijn dat de veiligheid van de dijken wordt gegarandeerd en dat zon op dijk initiatieven aansluiten op bestaande beheerroutines. Het doel van deze rapportage is daarom het bundelen van kennis over zon op dijken uit literatuur, pilots en interviews. Met de informatie uit de rapportage kan waar mogelijk worden toegewerkt naar het realiseren van zon op dijken op een waterveilige, economische haalbare en maatschappelijk wenselijke manier.

2.3 BETROKKEN PARTIJEN

De volgende partijen zijn betrokken bij deze rapportage:

- Nara Solar
- Rijkswaterstaat
- STOWA
- Unie van Waterschappen
- Vrienden van Meinerswijk
- Waterschap Noorderzijlvest
- Waterschap Zuiderzeeland
- Waterschap Hollandse Delta
- Wetterskip Fryslân

2.4 LEESWIJZER

Het volgende hoofdstuk bespreekt de methode die is toegepast om voorliggende studie te voltooien. Hoofdstuk 4 gaat in het algemeen in op de pilots die tot nu toe in Nederland zijn uitgevoerd en type PV-systemen die daarin zijn toegepast. Hoofdstuk 5 beschrijft de verschillende stakeholders die betrokken zijn bij zon op dijken en hun belangen. Hoofdstuk 6 bespreekt vervolgens aan de hand van vijf thema's de belangrijkste aspecten en aandachtspunten voor zon op dijken.

Ieder thema wordt afgesloten met ervaringen uit proeven en een stand van zaken. Hoofdstuk 7 geeft ten slotte de algemene conclusie van voorliggende studie.

3

METHODE

Het voorliggend rapport is opgesteld op basis van twee stappen:

- Een literatuurstudie
- Interviews

Aanvullend op de literatuurstudie en de interviews heeft de begeleidingscommissie van STOWA schriftelijke en mondelinge feedback gegeven op het rapport. De begeleidingscommissie bestaat uit verschillende experts op het gebied van de energietransitie, dijken en waterveiligheid. De volgende experts zaten in de begeleidingscommissie:

- Martin Oordt van Waterschap Zuiderzeeland
- Aart Los van de Unie van Waterschappen
- William Teuling van Waterschap Hollandse Delta
- Mattijs Erberveld van Rijkswaterstaat
- Oscar van Dam van STOWA
- Kees de Jong van Waterschap Noorderzijlvest

3.1 LITERATUURSTUDIE

TAUW heeft een lijst van 20 artikelen en studies geanalyseerd voor het opstellen van voorliggend rapport. Deze lijst met artikelen en studies is aangeleverd door STOWA. De geraadpleegde literatuur is opgenomen in Bijlage 1. Uit de artikelen en studies zijn voor vier functies de belangrijkste aandachtspunten en aspecten voor zon op dijken bepaald. De functies zijn als volgt:

- Waterveiligheid
- Landschap en natuur
- Maatschappelijk draagvlak
- Beheer en onderhoud

3.2 INTERVIEWS

De conclusies uit de literatuurstudie zijn vervolgens getoetst aan de hand van vier semige-structureerde interviews. De interviews vonden plaats met de volgende organisaties:

- Nara Solar
- Vrienden van Meinerswijk
- Rijkswaterstaat
- Waterschap Zuiderzeeland
- Wetterskip Fryslân

De interviews vonden digitaal plaats en zijn afgenomen door twee medewerkers van TAUW. De vragen die de basis vormden voor de interviews staan in Bijlage 2. Het doel van de interviews was kennisleemtes boven tafel te krijgen. De interviews vormden daarmee een aanvulling op de literatuurstudie. De kennisleemtes zijn in een aparte oplegger toegevoegd aan voorliggende studie en zijn te vinden in Bijlage 3.

4

ALGEMENE INFORMATIE

4.1 KANSRIJKE DIJKEN

Het potentieel voor zon op dijken is (theoretisch) enorm. Echter, dijken hebben primair een waterkerende functie met een historische, landschappelijke en natuurlijke waarde. Of en hoe dijken kunnen worden benut voor zonne-energie is maatwerk, waarbij duidelijk is dat niet iedere dijk even geschikt is om PV-systemen op te plaatsen.

Tegelijkertijd is er al het een en ander bekend over wanneer dijken wél kansrijk zijn. STOWA heeft in 2018 tien integrale principes bedacht die bepalen wanneer een dijk kansrijk is (STOWA 2018a). Deze principes zijn in de tussentijd geactualiseerd en aangepast naar de volgende principes:

1. Behoud een veilige waterkering die erosiebestendig is. De fundering van PV-systemen mag geen afbreuk doen aan de sterkte van de dijk en draagt bij voorkeur bij aan een sterkere dijk. PV-systemen hebben geen invloed op de waterdoorlatendheid of verminderen deze
2. De dijk blijft met PV-systemen goed beheerbaar doordat PV-systemen de dijkbekleding vervangen of doordat grasbekleding te beheren en inspecteren blijft
3. De dijk met PV-systemen heeft een gunstige helling en expositie (ligging ten opzichte van de zon). Panelen kunnen zowel op het binnen- als buitentalud worden toegepast
4. De haalbaarheid van PV-systemen op dijken is niet alleen afhankelijk van de opbrengst maar ook andere factoren als waterveiligheid, afstand tot aansluiting op energienet, beheer en onderhoud en draagvlak zijn belangrijk. In de totale afweging moet dit integraal afgewogen worden
5. PV-systemen op dijken zijn voldoende beschermd tegen vandalisme en veilig voor passanten
6. PV-systemen op dijken zijn goed te inspecteren en te onderhouden
7. PV-systemen op dijken zijn golfslagbestendig en bestand tegen (zee-/meer-)water. Bij voorkeur zijn PV-systemen op het buitentalud golfslagremmend
8. De dijk is als basis een landschappelijke en cultuurhistorisch lint. PV-systemen benadrukken de lange en continue lijn van de dijk (en vormen geen incidenten). PV-systemen vormen een egale loper op de dijk, stralen rust uit en reflecteren niet. PV-systemen worden zoveel mogelijk geïntegreerd in de dijkbekleding en zijn onderdeel van het dijkprofiel
9. Er moet zoveel mogelijk gestreefd worden naar meervoudig ruimtegebruik met waar mogelijk combinaties van de zonnedijken met dijkveiligheid, recreatie, educatie en natuur

De kansrijkheid van een dijk is locatieafhankelijk en elke afweging dient afzonderlijk gemaakt te worden. De principes geven daarmee richting, maar zijn niet leidend.

4.2 TYPE PV-SYSTEMEN

Naast de eigenschappen van de dijken bepalen ook de eigenschappen van PV-systemen de mate van kansrijkheid om zon op dijken te realiseren. Er zijn veel verschillende PV-systemen, die onderling verschillen in onder andere fundering en type panelen. Elk systeem heeft een specifiek effect op de dijk. Al deze systemen zijn globaal op te delen in twee soorten: horizontale PV-systemen en verticale PV-systemen.

Onderstaande paragrafen beschrijven de kenmerken en voor- en nadelen van de twee PV-systemen. Daarnaast wordt ingegaan op de typen PV-systemen die binnen een opstelling mogelijk zijn.

4.2.1 HORIZONTALE PV-SYSTEMEN

Horizontale PV-systemen zijn PV-systemen met liggende panelen die evenwijdig aan de helling van de dijk bevestigd worden. De panelen liggen op enige afstand van elkaar op een aluminium frame of zijn in het dijkvlak bevestigd. De ondergrond onder de panelen kan verschillen tussen harde bekleding (asfalt) of grasbekleding. De hoogte van de panelen is variabel.

In Nederland hebben drie pilots plaatsgevonden met horizontale PV-systemen. Deze vonden plaats bij de dijk in Ritthem, de Drielsedijk en de Knardijk. Bij de pilots zijn drie verschillende horizontale systemen toegepast: Eurorail, Delmeco en Afvalzorg (zie figuur 4.1).

FIGUUR 4.1 OVERZICHT VAN DE DRIE GETESTE HORIZONTALE PV-SYSTEMEN: EURORAIL (LINKS), DELMECO (RECHTS) AFVALZORG (ONDER) (CONSORTIUM ZON OP DIJKEN, 2023)



EURORAIL

Het systeem van Eurorail betreft een klassiek PV-systeem op paaltjes, mogelijk met gekleurde panelen. De tweejarige proef bestond uit verschillende tafels van 16 aaneengesloten panelen van in totaal 4 bij 7 meter (Consortium Zon op Dijken, 2023). De ondergrond van de panelen was grasbekleding.

DELMECO

Het Delmecco 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. Het systeem heeft een harde overgang van het beton naar het omliggende gras (Consortium Zon op Dijken, 2023).

AFVALZORG

Het PV-systeem van Afvalzorg bestaat uit een dijk verhardend materiaal, waarop zonnepanelen met een railsysteem zijn bevestigd. De dijkverharding, genaamd "Solarbase", bestaat uit gecertificeerde secundaire grondstoffen (staalslakken). Deze dijkverharding bevindt zich in het vlak van de dijk en is rondom afgewerkt met grasbeton tegels. Hierdoor ontstaat een geleidelijke overgang van hard naar zacht materiaal om erosievorming rondom het systeem te voorkomen (Consortium Zon op Dijken, 2023).

4.2.1.1 VOOR- EN NADELEN HORIZONTALE PV-SYSTEMEN

Uit de pilots zijn verschillende voor- en nadelen van horizontale PV-systemen naar voren gekomen. De voordelen zijn als volgt.

- De panelen liggen evenwijdig aan de helling van de dijk of zijn geïntegreerd in het dijkvlak. Daarmee accentueren ze de vorm van de dijk en dat geeft een rustig beeld. Eenmaal staand op of rijdend langs de dijk kijkt men met name tegen de zijkant aan. Dit zorgt ervoor dat de panelen niet erg opvallen (Zonnepanelen op Drielsedijk Arnhem, 2023)
- De aaneengesloten panelen benadrukken de lange lijn van de dijk
- Schapen kunnen onder de opstelling grazen en schuilen tegen extreme weersomstandigheden

De nadelen zijn als volgt.

- Horizontale systemen laten weinig licht voor onderliggende grasmatten door. Dit kan de kwaliteit van het gras op de dijk en daarmee de erosiebestendige bekleding van de dijk verminderen. Hierbij geldt: hoe groter het oppervlak, hoe minder water en licht er door de panelen heen komt. Een aanvullend aandachtspunt, dat dit risico versterkt, is dat er door de helling van een dijk minder licht op de bodem valt dan in het geval van een horizontale ondergrond
- Het frame van liggende panelen heeft veel ondersteuningselementen nodig, maar waterschappen hebben liever geen diepe palen, betonnen blokken en driepoten in het dijklichaam (Zonnepanelen op de Drielsedijk Arnhem, 2023)
- Vee (bijvoorbeeld schapen of geiten), dat onder andere wordt ingezet voor het onderhoud van de grasmatten, kan zich makkelijk aan de rand van panelen verwonden als hier bij het ontwerp geen rekening mee wordt gehouden (Zonnepanelen op de Drielsedijk Arnhem, 2023)
- Verhoogde horizontale systemen (bijvoorbeeld systemen die op poten staan) beperken de mogelijkheden voor regulier beheer en onderhoud aanzienlijk (Zonnepanelen op de Drielsedijk Arnhem, 2023) doordat de panelen (te) laag boven de dijk staan en er geen machines onderdoor kunnen rijden
- Betonplaten die in de dijken worden geplaatst, moeten goed aansluiten op de ondergrond, omdat erosie en uitholling onder de platen zeer ongewenst is voor de waterveiligheid

- Het egaal krijgen van een hellend vlak is erg lastig, waardoor het lastig is betonplaten in de dijk te koppelen en het risico op verzakking ontstaat. De koppeling van de platen is technisch wel op te lossen (Wageningen University 2022b)
- Als de zonnepanelen verwijderd zouden worden in de toekomst, moet de dijk open gegraven worden om de fundering te verwijderen en opnieuw aan te brengen
- Het oppervlakte van de horizontale panelen concentreren water bij regen doordat het regenwater van de panelen afloopt. Hierdoor kunnen nieuwe (ongewenste) waterstromingen op de dijk ontstaan. Dit verhoogt het risico op erosie

Consortium Zon op Dijken (2023) concludeert in haar rapportage 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. Dit komt doordat zonnepanelen de kans op erosie van de grasmat vergroten en bij dijkverharding dit risico er niet tot nauwelijks is. Dit geldt met name wanneer deze goed in te passen zijn in de huidige dijkenbouwpraktijk.

4.2.2 VERTICALE PV-SYSTEMEN

Verticale PV-systemen zijn PV-systemen met staande zonnepanelen die evenwijdig aan de taludhelling staan. De panelen zijn bevestigd aan aluminium frames van staanders en liggers.

In Nederland zijn twee pilots gedaan met verticale PV-systemen. Deze pilots vonden plaats op de Knardijk en op de Drielsedijk bij Arnhem. Bij de pilots zijn twee verschillende soorten PV-systemen gebruikt: een onbekend verticaal PV-systeem en Soltronergy.

FIGUUR 4.2 OVERZICHT VAN DE PILOTS MET VERTICALE PV-SYSTEMEN VAN SOLTRONERGY (LINKS) (VAN DER SCHOOT EN VAN DER VOORT, 2022) EN OP DE DRIELSEDIJK (RECHTS) (DE KONING, 2023)



SOLTRONERGY

Het systeem van Soltronergy is in de pilot bij de Knardijk toegepast. Dit is een systeem dat 'hangt' boven het talud van een dijk (Consortium Zon op Dijken, 2023). De zonnepanelen van het Soltronergy systeem hebben één jaar constant boven het talud gehangen (Consortium Zon op Dijken, 2023).

DRIELSEDIJK

Bij het systeem op de Drielsedijk staan de negen zonnepanelen met onderlinge afstand van 2 meter loodrecht op de as van de dijk. Hierbij staan de zonnepanelen recht op in hun frames. De kop van de bovenste paal bleef net onder de hoogte van de dijkkruin. De onderkant van de panelen hangt 10 – 20 cm boven de grasmat. De pilot duurde twee jaar.

4.2.2.1 VOOR- EN NADELEN VERTICALE PV-SYSTEMEN

Uit de pilots zijn de volgende voor- en nadelen naar voren gekomen. De voordelen van verticale PV-systemen zijn als volgt.

- Verticale PV-systemen hebben minder grondcontact met het dijklichaam in vergelijking met horizontale PV-systemen, waardoor de kwaliteit van de dijk beter geborgd blijft
- Doordat de panelen verder uit elkaar staan treedt nauwelijks schaduwvorming op onder de panelen. Dit is gunstig voor de kwaliteit van de grasmat (Zwart, 2023)
- Ook water kan ongehinderd de weg vinden naar de grasmat
- Wanneer de panelen ver uit elkaar staan is de energieopbrengst groter en kunnen machines makkelijk langs de panelen rijden
- De energieopbrengst wordt meer over de dag verspreid (Zwart, 2023)

De nadelen van verticale PV-systemen zijn als volgt.

- Wanneer de hoeken van het frame iets uitsteken, ontstaat een onrustig, hoekig ruimtelijk beeld. Het zou een veel rustiger beeld opleveren als een staander en de ligger ruimtelijk in elkaar door zou lopen. Nog beter zou zijn om de panelen zo te bevestigen dat het frame onzichtbaar is
- Scherpe en uitstekende hoeken van het frame kunnen gevaarlijk zijn voor vee
- De panelen vallen meer op doordat het blikveld zo wijds is dat je meestal vanuit andere hoeken dan loodrecht op de dijk kijkt. Ook kijk je als je langs de dijk kijkt, juist tegen de panelen aan in plaats van erlangs
- De staande panelen worden in bochten gevangen door lichtbundels van de auto's die over of langs de dijk rijden. Van verblinding is geen sprake, maar een schrikreactie van een automobilist is niet uitgesloten op het moment dat de dijk slingert en veel 'lichte' panelen op het dijktalud staan (De Koning, 2023)
- De machinale opties van bemesten en maaien zijn in beperkte mate uit te voeren doordat het risico op beschadiging van de panelen groter is. De pachters/loonwerkers zullen daarom veelal terughoudend zijn in het onderhoud (Wageningen University, 2022a)
- De vegetatie rondom de betonblokken aan de voet van verticale panelen vergt aandacht en handmatig maaien, doordat er meer kans is op de groei van vegetatie en houtige gewassen
- De opstelling van Soltronergy is ernstig beschadigd geraakt tijdens storm Eunice in februari 2022, waarna het systeemontwerp aangepast moet worden en duidelijk werd dat het systeem nog niet marktrijp is

Uit de proeven komt naar voren dat verticale systemen verschillende voor- én nadelen ten opzichte van horizontale panelen. Vanuit landschappelijk oogpunt zijn verticale systemen minder geschikt voor de toepassing van dijken, omdat je tegen de panelen aankijkt.

Vanuit het oogpunt van waterveiligheid en ecologie zijn ze meer geschikt dan horizontale panelen op dijken met een grasmat. Dit komt doordat ze meer licht en water doorlaten waardoor er minder erosie optreedt.

5

BELANGEN EN STAKEHOLDERS

Bij initiatieven van zonne-energie opwekking op dijken zijn verschillende stakeholders met verschillende belangen te identificeren. Uit de literatuur komen de volgende stakeholders naar voren. Deze worden hierna kort besproken.

- Rijksoverheid
- Waterschappen
- Pachters/loonwerkers
- Rijkswaterstaat
- Ontwikkelaars
- Investeerders
- Netbeheerder
- Landschap en natuur
- Maatschappij

RIJKSOVERHEID

De Rijksoverheid is verantwoordelijk voor het (inter)nationale beleid en landelijke maatregelen op zowel het gebied van de energietransitie als de waterveiligheid. Daarnaast is het Rijk concreet verantwoordelijk voor de normen voor waterveiligheid van de primaire waterkeringen. Het belang van de Rijksoverheid is daarom om zowel de waterveiligheid te waarborgen als tegelijkertijd bij te dragen aan (inter)nationale energiedoelstellingen. Het behalen van deze doelen lopen via verschillende lijnen. De verantwoordelijkheid van het waterveilig houden van Nederland besteedt de Rijksoverheid uit aan Rijkswaterstaat en de waterschappen. Het behalen van de energiedoelstellingen loopt onder andere via de Regionale Energie strategieën.

RIJKSWATERSTAAT

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het beheer van grote wateren, zoals de zee en de rivieren. Daarnaast onderhoudt RWS dijken, dammen, stuwen en stormvloedkeringen. Ook beschermt RWS de kust en geeft het rivieren meer ruimte. Bijvoorbeeld door uiterwaarden te verdiepen en nevengeulen aan te leggen.

De Tweede kamer heeft Rijksorganisaties gevraagd om areaal beschikbaar te stellen voor het opwekken van hernieuwbare energie. Hier wordt vanuit Rijkswaterstaat vorm aangegeven via het programma opwek energie op Rijksvastgoed (OER) (Rijksoverheid, 2024a). Rijkswaterstaat heeft daarbij als daarnaast als doel in 2030 klimaatneutraal te zijn en alle elektriciteit die ze gebruiken zelf op te wekken (Rijkswaterstaat, 2024b).

Het voornaamste belang van Rijkswaterstaat is blijft echter het waterveilig houden van Nederland. Het energieneutraal maken van Rijkswaterstaat zal op zo'n manier moeten gebeuren dat de waterveiligheid van Nederland niet in het geding komt. De doelen voor de opwek van hernieuwbare energie zijn daarmee secundair aan de waterveiligheid.

WATERSCHAPPEN

Waterschappen zijn verantwoordelijk voor de primaire- en regionale wateren in hun werkgebied en de meeste dijken, zoals (langs) kanalen en poldervaarten. Waterschappen beschermen het land ook tegen overstromingen en zorgen ervoor dat landbouwers voldoende water hebben voor hun gewassen. Ook zorgen ze voor zuivering van afvalwater.

De ambitie van de waterschappen is om in 2025 energieneutraal te zijn (Unie van Waterschappen, 2024). Ze wekken dan zelf duurzame energie op. Daarnaast stellen waterschappen hun terreinen en dijken steeds vaker ter beschikking om ook anderen de gelegenheid te geven om deze energiekansen te benutten.

Bij de waterschappen spelen verschillende belangen. Het belang van de waterschappen is in eerste instantie het waterveilig houden van hun eigen gebied. Daarnaast hebben ze zelf het belang om uiteindelijk duurzame energie op te wekken zodat ze zelf energieneutraal kunnen worden. Voor het waterveilig houden is ook energie nodig. Aangezien het waterveilig houden met toenemende klimaatverandering een steeds belangrijker vraagstuk is, is daarmee ook de robuustheid van het benodigde energiesysteem van belang. Ten slotte genereren de waterschappen ook inkomsten door de verhuur van hun land aan energieontwikkelaars.

PROVINCIES/RES

De provincie is verantwoordelijk voor de vertaling van het nationale waterbeleid naar regionale maatregelen. Voor een deel van het waterbeheer heeft de provincie operationele taken. Bijvoorbeeld bij de verwijdering van grondwater uit de bodem.

Voor de energietransitie stelt de provincie ook beleid op. Daarnaast zitten regio's – waar de provincie vaak een regierol bij heeft – samen in de regionale energie strategieën waar bovenregionale energie-ambities op worden gesteld. Grootschalige zonne-opwek op dijken kan een belangrijke manier zijn om de RES doelstellingen te halen. Via provinciaal beleid kunnen daarom eisen worden gesteld aan opstellingen van zon op dijken.

ONTWIKKELAARS/INVESTEERDERS

Om grootschalige zonne-energie opwek te realiseren zijn ontwikkelaars en investeerders (zoals Nara Solar) nodig om de projecten te ontwikkelen. Zij hebben grond nodig om hun projecten te ontwikkelen. Aangezien beheerders, zoals de waterschappen en Rijkswaterstaat, veel grond hebben dat in potentie gebruikt kan worden voor de opwek van zonne-energie werken ontwikkelaars met deze partijen samen.

Het voornaamste belang van ontwikkelaars/investeerders is het geld dat zij verdienen aan zonne-energie projecten, waaronder zon op dijken. Het belang van ontwikkelaars/investeerders is daarom vooral dat zij grond beschikbaar krijgen op een voor hun economisch rendabele manier, zodat zij meer zonne-energie projecten kunnen uitvoeren.

NETBEHEERDER

Grootschalige zonne-energie projecten moeten uiteindelijk aangesloten worden op het elektriciteitsnet. De netbeheerder is verantwoordelijk voor het elektriciteitsnet en daarmee de aansluiting van (grootschalige) zonne-energie projecten. Het elektriciteitsnet wordt steeds meer belast en dreigt vol te raken (Netbeheer Nederland, 2024). Wanneer er grootschalige zonprojecten op dijken worden gerealiseerd, moet rekening worden gehouden met directe

afname en/of langdurige vertraging in aansluiting op het elektriciteitsnet. Het belang van de netbeheerder is daarom vroegtijdig een beeld te krijgen van de ontwikkelingen. Zo kan de netbeheerder hier rekening mee houden bij het uitbreiden of aanpassen van het netwerk.

LANDSCHAP EN NATUUR

Het landschap en de natuur kunnen ook gezien worden als stakeholder voor zon op dijk projecten. Enerzijds heeft de natuur vooral belang bij het verminderen van de CO₂-uitstoot en daarmee met de opwek van energie via hernieuwbare bronnen. Anderzijds heeft zon op dijken ook een negatieve impact op landschap en natuur. Dit komt onder andere doordat zon op dijken ten koste kan gaan van biodivers landschap, het uiterlijk van het landschap beïnvloed en de bodem onder de panelen beïnvloed.

MAATSCHAPPIJ

Als laatste stakeholder is de maatschappij een belangrijke factor in het ontwikkelen van zon op dijken. Enerzijds heeft de maatschappij baat bij meer hernieuwbare zonne-energie om onze CO₂-uitstoot te verlagen én minder afhankelijk te zijn van andere landen voor onze energievoorziening. Anderzijds wekt zon op dijken bij veel mensen weerstand op. Dit komt met name doordat de zonnepanelen een grote impact hebben op het landschap en veel mensen de zonnepanelen niet mooi vinden. Daarnaast wegen voor sommige mensen andere belangen nog mee, zoals een onbegrip in de ecologische impact of dat ze vinden dat het land voor andere doeleinden gebruikt moet worden.

6

DE FUNCTIE COMBINATIE VAN ZON EN DIJKEN

Het (grootschalig) opwekken van zonne-energie op dijken heeft een impact op een aantal reeds aanwezige functies. Dit zijn:

- Waterveiligheid
- Landschap en natuur
- Maatschappelijk draagvlak
- Energie
- Beheer en onderhoud

Per functie wordt besproken wat de impact van de nieuwe functie opwekken van energie (zon op dijken). Er wordt onder andere ingegaan op welke fasen van de projectontwikkeling de inpassing en daarmee impact het grootst is. Elke functie sluit af met ervaringen uit de praktijk en een stand van zaken.

6.1 WATERVEILIGHEID

De eerste functie waar zon op dijken invloed op heeft is de waterveiligheid. De primaire functie van de dijken in Nederland is het bieden van waterveiligheid. Het plaatsen van PV-systemen mag daarom de waterveiligheid niet negatief beïnvloeden. Dit doel vraagt om de interactie tussen het zon systeem en de aspecten die waterveiligheid waarborgen goed te begrijpen.

Het plaatsen van zonnepanelen op een dijk houdt in dat er een funderingsconstructie ten behoeve van de panelen geplaatst moet worden en er kabels van het systeem naar het energienetwerk gelegd moeten worden. Hierdoor zal het oppervlak van de dijk lokaal met andere condities te maken krijgen dan zonder deze PV-systemen (Deltares, 2018).

Experts van Rijkswaterstaat en de Waterschappen wijzen erop dat de klassieke zonnepark-systemen (horizontale PV-systemen) erosievorming en degradatie van de grasbekleding in de hand werken. Ook kunnen er geheel nieuwe schademechanismen ontstaan die enkel het gevolg zijn van de plaatsing van een PV-systeem op de dijk. Denk bijvoorbeeld aan een groep verticaal geplaatste zonnepanelen die omwaaien of afbreken bij harde wind, of aan een groot oppervlak van de bekleding geperforeerd door funderingspaaltjes.

Bij het realiseren van PV-systemen op de dijken moet in het kader van waterveiligheid rekening gehouden worden met de volgende aspecten: faalmechanismen van de dijk, type en positionering van de PV-systemen en wet- en regelgeving.

FAALMECHANISMEN VAN DE DIJK

Op hoofdlijnen kan een dijk op de volgende manieren falen, oftewel door bijvoorbeeld beschadiging niet voldoen aan de functie van waterveiligheid (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 2020). Dit zijn:

- Piping en heave: bij dit mechanisme stroomt water via een zandlaag onder een dijk door en komt het achter de dijk weer omhoog. Wanneer dit lang duurt, ontstaat een kanaal dat zand meevoert en een verbinding vormt tussen het buitenwater en het achterland. Uitslijting van het kanaal leidt uiteindelijk tot het instorten van de dijk
- Macro-instabiliteit binnenwaarts: de dijk kan aan de landzijde afschuiven door een te hoge druk in het grondwater onder en achter de dijk
- Macro-instabiliteit buitenwaarts: de dijk kan bij een lage waterstand aan de rivierzijde afschuiven door een te hoge waterdruk in de dijk
- Micro-instabiliteit: erosie van het talud dat optreedt door uittredend grondwater. Er ontstaan scheuren en verzakkingen en materiaal wordt uit de dijk gespoeld
- Overloop: de dijk is te laag en water stroomt er overheen
- Overslag: de dijk beschadigd als er bij veel wind water over de dijk slaat
- Bekleding: door golven en stroming kan de bekleding van de dijk beschadigd raken waardoor de dijk kwetsbaar wordt
- Instabiliteit vooroever: door aantasting van de vooroever kan de dijk aan de rivierkant in elkaar zakken

Welke faalmechanismen in welke mate kunnen optreden hangt af van wat voor PV-systeem men op welke locatie wil plaatsen (TAUW, 2023). Of de waterveiligheid te veel afneemt door het plaatsen 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 alle componenten in samenhang beschouwd worden (TAUW, 2023).

Zwart (2023) gaat in haar onderzoek in op de effecten van zon op dijken met verschillende soorten bekleding op de verschillende faalmechanismen. In deze rapportage wordt aangegeven dat over het optreden van micro- en macro-instabiliteit met zekerheid gesteld kan worden dat de kans hierop niet vergroot wordt door het plaatsen van een PV-systeem in het dijkvlak. Daarentegen blijkt dat erosie van grasbekleding het meest bepalende faalmechanisme is in de keus voor een specifiek PV-systeem.

Goed doorwortelde grasbekleding draagt bij aan de erosiebestendigheid van het talud tegen golfklappen, golfoverslag en stroming. Door het plaatsen van zonnepanelen wordt de groei van het gras verminderd, raakt de grasbekleding opener en neemt de beworteling af. Rond de funderingen van de constructies en panelen kan na de aanleg de grasbekleding verdwijnen of beschadigd raken. Dit kan leiden tot het falen van de grasbekleding (zie Handleiding Overstromingskansanalyse dijken/dammen deel 4 Dijkerosie - kruin en binnentalud | Informatiepunt Leefomgeving (iplo.nl)) Herstel van de grasbekleding zal in schaduwomstandigheden minder snel gaan (Deltafact, 2019).

Met betrekking tot de kwaliteit van de grasbekleding en de daaraan gerelateerde erosiebestendigheid van de dijk kan met zekerheid gesteld worden dat horizontaal geplaatste zonnepanelen op funderingspalen, zowel aaneengesloten als in een schaakbordopstelling, de kwaliteit van de grasbekleding negatief aantasten en de waterveiligheid van de dijk niet kunnen garanderen. Verticaal geplaatste panelen tasten de kwaliteit van de grasbekleding nauwelijks aan (Zwart, 2023).

Uit het onderzoek van TAUW (2023) blijkt dat voor de IJsselmeerdijk de zonnepanelen met Delmeco-opstelling met name invloed uitoefenen op het faalmechanisme bekleding (met gras). Ontwerpaanpassingen kunnen de risico's op bekleding goed beheersen. Bijvoorbeeld door het aanbrengen van geogrid tussen panelen/transformatorhuisjes en gras of kabels zoveel mogelijk integreren in betonnen panelen in plaats van een hoofdkabel in de dijk.

In het kader van de effecten van PV-systemen op waterveiligheid heeft Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat een quickscan waterveiligheidsaspecten bij Zon op Dijk uitgevoerd (zie Bijlage 4). Deze matrix geeft de resultaten weer van de mogelijke invloed van PV-systemen op de faalmechanismen en waterveiligheidsaspecten van primaire keringen. Dezelfde redenering geldt ook voor regionale keringen, alleen zijn dan meer- en rivierkeringen van toepassing (Deltares, 2018).

TYPE EN POSITIONERING PV-SYSTEMEN

Het type en de positionering van PV-systemen heeft invloed op de dijk. Hoofdstuk 4 onderscheidt op hoofdlijnen twee type PV-systemen: horizontale en verticale PV-systemen. Horizontale PV-systemen hebben invloed op waterveiligheid van de dijk doordat horizontale systemen weinig licht doorlaten voor onderliggende grasbekleding. Dit vermindert de kwaliteit van de grasbekleding op de dijk. Hierbij geldt: hoe groter het oppervlak, hoe minder water en licht er door de panelen heen komt en hoe groter de impact op de dijk. Dit geldt ook voor de huidig beschikbare transparante panelen: het percentage doorgelaten licht is onvoldoende voor dichte vegetatie-ontwikkeling.

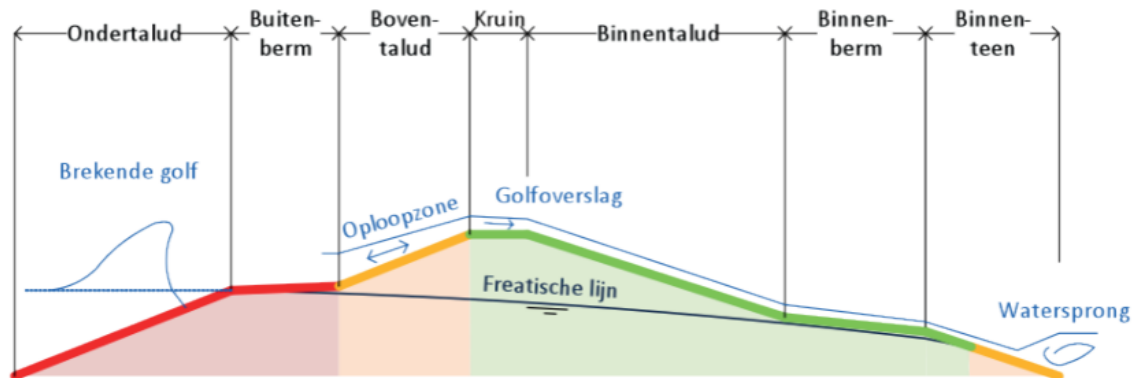
Via de bodemtoets is met een rekenmodel te bepalen of een opstelling voldoende licht op de bodem toelaat. Daarnaast hebben horizontale PV-systemen veel ondersteuningselementen nodig, maar waterschappen hebben liever geen diepe palen, betonnen blokken en driepoten in het dijklichaam (Zonnepanelen op de Drielsedijk Arnhem, 2023). Om en onder deze palen, blokken en driepoten kan namelijk een uitholling en erosie ontstaan. Het is van belang dat de grond bij deze funderingen goed aansluit.

Bij verticale PV-systemen worden licht en water beter doorgelaten. Hierdoor blijft de kwaliteit van onderliggende grasmatten beter geborgd dan bij horizontale PV-systemen. In het ontwerp moet rekening gehouden worden met windbelasting. In de proef van Soltronergy is dit onvoldoende gedaan en is het systeem beschadigd. Bij veel belasting en onvoldoende verankering kan er schade ontstaan aan doordat de verankering loskomt en vervolgens de bekleding van een dijk kan beschadigen, een oplossing hiervoor kan bijvoorbeeld zijn om gebruik te maken van bouten die breken bij te zware belasting.

Daarnaast mag bij verticale PV-systemen het onderliggende gras bij grasbekleding van de dijk niet te hoog komen te staan. Een van de Waterschappen gaf aan dat grasbekleding tot 40 – 60 cm hoog kan komen te staan. Dit is hoger dan de onderkant van sommige verticale PV-systemen en brengt de opbrengst van de panelen daarmee in het geding.

Naast het type zonnepaneel, bepaalt ook de positie van de PV-systemen de impact op waterveiligheid. In onderstaand figuur zijn de verschillende zones van een dijk gegeven en is met een kleur aangegeven of de positie van de zonnepanelen in deze zones kansrijk is of niet.

FIGUUR 6.1 HYDRAULISCHE BELASTINGEN DIJK EN POTENTIE VOOR TOEPASSING ZONNEPANELEN (GROEN = MEESTE POTENTIE, ROOD = MINSTE POTENTIE, ORANJE = GEMIDDELDE POTENTIE) (STOWA, 2018A)



Het buitentalud wordt meestal belast met zware golven, drijfvuil of kruierend ijs en daar zijn maar weinig constructies tegen bestand. Zonnepanelen zouden zwaar (maar ook flexibel) uitgevoerd moeten worden en dat is (te) kostbaar. Boven in het buitentalud worden de hydraulische belastingen al lichter, maar blijven relatief zwaar ten opzichte van bijvoorbeeld windbelastingen die nu kritisch zijn voor het ontwerp van zonnepanelen. Het wordt dus afgeraden op het buitentalud zonnepanelen te plaatsen.

In eerste instantie lijkt het binnentalud de eenvoudigste plek voor toepassing van zonnepanelen met de huidige technieken, omdat hier relatief lichte hydraulische belastingen optreden. De teen van het binnentalud vereist daarbij meer aandacht. De binnenteen is vaak een uitstroompunt voor grondwater en een locatie waar bij golfoverslag een watersprong (d.w.z. relatief zware hydraulische belasting) optreedt.

Een compleet overzicht van de mogelijke faalmechanismen per positie van de dijk is te vinden in Bijlage 5.

Naast dat PV-systemen geen risico mogen vormen op de waterveiligheid, moet met de positionering van de PV-systemen rekening worden gehouden met de levensduur van het zonnepark in relatie tot in deze periode geplande dijkversterking. Het profiel van vrije ruimte van een dijk geeft de contouren aan van een eventuele toekomstige dijkversterking.

Een aandachtspunt aanvullend het type en positionering van de PV-systemen met betrekking tot de waterveiligheid is in welke periode het PV-systeem aangelegd gaat worden en hoelang deze periode gaat duren.

Werkzaamheden in of aan een dijk zijn in principe niet toegestaan in het gesloten seizoen, dit om te zorgen dat de dijken niet verzwakt raken tijdens het hoogwaterseizoen. Daarnaast

zullen ook kabels, leidingen en extra transformatorhuisjes aangelegd (en of verlegd) moeten worden bij de aanleg van het PV-systeem die geen nadelige effecten op de waterveiligheid van de dijk mogen hebben.

WET- EN REGELGEVING

In wet- en regelgeving zijn verschillende wetten en regels vastgelegd om te voorkomen dat de waterveiligheid in het geding komt door de aanleg van PV-systemen op dijken. Zonnepanelen vormen in de wet- en regelgeving een niet-waterkerend object (NWO) op de dijk. De zonnepanelen hebben geen waterkerende functie en dragen met die reden niet bij aan de veiligheid van de dijk.

Voor NWO's op primaire keringen gelden wettelijke normen die zijn gebaseerd op de kans op overstromen én de gevolgen van een overstroming en zijn uitgedrukt in een overstromingskans per normtraject. Hierbij moet beoordeeld worden of de zonnepanelen bijdragen aan de overstromingskans of dat deze bijdrage verwaarloosbaar is. De invloed van de zonnepanelen moet dan per faalmechanisme beschouwd worden. Hiervoor gelden de handreikingen die zijn opgesteld in het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium van het Informatiepunt Leefomgeving. De "Handreiking NWO's in de veiligheidsanalyse van primaire waterkeringen in LBO1" (Handreiking NWO's | Informatiepunt Leefomgeving (iplo.nl)) beschrijft een aanpak hoe met NWO's om te gaan bij het beoordelen van primaire keringen en bij het versterken van waterkeringen met daarbij de zorgplicht.

Voor regionale keringen gelden andere regels dan voor primaire keringen. Voor de beoordeling van de veiligheid van de regionale keringen geldt de Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen (Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen | STOWA). Voor de beoordeling van de zonnepanelen kan de Handreiking NWO's handelingsperspectief voor regionale keringen toegepast worden (STOWA, 2023). De normen waaraan de regionale waterkeringen moeten voldoen, zijn vastgelegd in de provinciale omgevingsverordening en in het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) als de waterkering in beheer is bij het Rijk. De veiligheidsnorm voor regionale keringen is uitgedrukt in een gemiddelde overschrijdingskans of overstromingskans per jaar. Provincies hebben zelf de keuze om omgevingswaarden als overschrijdingskans of als overstromingskans te formuleren. Voor regionale keringen in beheer bij het Rijk worden de omgevingswaarden alleen uitgedrukt in de overschrijdingskans.

De huidige toetsregels die gelden voor NWO's op een dijk maken het lastig te beoordelen of de zonnepanelen invloed hebben op de waterveiligheid van een dijk. Het beschouwen van de invloed van de zonnepanelen op bijvoorbeeld de overstromingskans van primaire keringen vergt een grote inspanning omdat dit voor alle faalmechanismes beschouwd moet worden. Daar waar de dijken overmatig robuust zijn, ofwel oversterkte hebben, kunnen in de huidige praktijk minder strikte eisen gesteld worden en zonnepanelen makkelijker ingepast worden (STOWA, 2018a).

Daarbij geldt ook dat het toepassen van zonnepanelen bij een dijkontwerp in potentie kansrijker is dan bij een bestaande dijk. Voor de risico's die de zonnepanelen op de waterveiligheid vormen kan simpelweg een oplossing ontworpen worden die meegenomen kan worden in het dijkontwerp. Hierbij moet rekening worden gehouden met de levensduur/vervangingsstijd van de PV-systemen en de prognoses over het moment van de eerstvolgende dijkversterking. De levensduur van PV-systemen ligt momenteel rond de 15 jaar, waarbij

de levensduur van de dijken vele malen langer is. Een goede afstemming in tijdsduren voorkomt extra risico's door het te vaak vervangen van de PV-systemen op onsamenhangende momenten.

6.1.1 ERVARINGEN UIT PROEVEN

De proef bij de dijk van Ritthem illustreert goed welke impact zonnepanelen hebben op de bekleding van een dijk en daarmee de waterveiligheid. Binnen een paar maanden na plaatsing van de zonnepanelen in Ritthem (standaardopstellingen zoals ook gebruikt op land) was al duidelijk dat de grasmat onder de panelen grote schade opliep. De combinatie van 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 volgende voorjaren 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. Ook onder de transparante panelen kwam veel te weinig licht om de grasmat op een voldoende kwaliteitsniveau te houden.

Aanpassing van een aantal opstellingen (lichtreductie maximaal 50%) met minder zonnepanelen in Ritthem zorgde voor een duidelijk herstel van de grasmat. 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 mindere lichtomstandigheden bij een reductie van 50% licht slechter was in diepte en intensiteit ten opzichte van geen lichtreductie. Vanuit dit inzicht is vervolgens de bodemtoets ontwikkeld. In de bodemtoets is de minimale ondergrens voor begroeiing rond de 85% lichtreductie. Gezien het belang van wortelfunctie zou voor een dijk van een hoger percentage moeten worden uitgegaan. Het minimaal niveau is nog niet bekend, hiervoor is er meer praktijkervaring nodig (Cesar, et al., 2022).

In hoeverre de mindere grondbedekking en mindere beworteling een probleem is hangt mede af van het belang van het dijkvak. Gebrek aan begroeiing is op te vangen door een (half) verharding aan te brengen.

De opstelling op de Knardijk met het Soltronergy systeem 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 traveeën van hangende panelen. De vegetatie rondom de betonblokken vergt aandacht met meer kans op veronkruiding en groei van houtige gewassen.

6.1.2 STAND VAN ZAKEN

Zonsystemen hebben met name invloed op de bekleding van de dijk. De generieke voorwaarde is dat de plaatsing van een zonsysteem niet moet leiden tot erosie of beschadiging van de bekleding maar het vertalen naar concrete eisen is nu nog lastig (denk bijvoorbeeld aan eisen betreffende het maximumaantal perforaties per eenheid van oppervlakte, de lichtdoorval van de zonnepanelen, het maaibeleid rond de constructie, et cetera) (Consortium Zon op Dijken, 2023; Deltares, 2022). Dit heeft te maken met dat er veel variaties in lokale omstandigheden zijn. De waterbelastingen verschillen onderling qua duur van de waterbelastingperiode, het hoogteverschil tussen hoog en laagwater, en de golfhoogte 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. Van alle faalmechanismen zijn er ook maatregelen beschikbaar die het risico van falen verminderen. Deze maatregelen bieden mogelijk ook aanknopingspunten voor een goede functiecombinatie. Omdat een standaardoplossing nog ontbreekt hebben huidige initiatieven een hoog maatwerkarakter en zal een goed wederzijds begrip van elkaars belangen, doelen en kennis tussen alle stakeholders van groot belang zijn om deze zon op dijk te realiseren en tot een succes te maken (Deltares, 2018).

6.2 LANDSCHAP EN NATUUR

PV-systemen hebben een grote impact op het landschap. Een dijk heeft namelijk altijd een landschappelijke waarde, als een herkenbaar element in het landschap met een gebieds-specifieke identiteit en ruimtelijke kwaliteit. Daarnaast kan het onderdeel zijn van een ecologische verbinding. Een aantal aspecten komen uit de literatuur naar voren in de impact van PV-systemen op landschap en natuur, namelijk:

- De impact op de kwaliteit van grasbekleding
- De inpassing van transformatorhuisjes
- Het plaatsen van hekwerk
- Natuurwaarden

Deze aspecten worden hierna besproken. Daarnaast is het goed te beseffen dat dit onderwerp een belangrijke link heeft met maatschappelijk draagvlak. Door een goede landschappelijke inpassing van Zon op Dijk en aandacht voor bestaande natuurwaarden of ontwikkeling daarvan kan het maatschappelijk draagvlak vergroten. Door in het ontwerpproces de omgeving en stakeholders, zoals natuurorganisaties, te betrekken wordt de kans op weerstand verkleind. Het is belangrijk om zowel een landschapsarchitect als ecoloog in het projectteam te betrekken (zie ook de producten van RuiKwalab, RUG en WUR). Een ecoloog kan borgen dat de bestaande natuurwaarden behouden blijven of eventuele kansen bij inrichting inbrengen.

KWALITEIT GRASBEKLEDING

Het eerste aspect waarop PV-systemen invloed hebben in relatie met landschap en natuur is de kwaliteit van de grasbekleding.

Door het plaatsen van zonnepanelen worden groeifactoren van natuur als licht, temperatuur en vocht beïnvloed. De meeste publicaties geven aan dat onder zonnepanelen de groei vermindert, de grasbekleding opener wordt en de beworteling afneemt. En dat terwijl een sterke grasbekleding dijk in veel gevallen bijdraagt aan de robuustheid en veerkracht van de dijk. Ook draagt een bloemrijke dijk bij aan landschap, natuur en cultuurwaarden (Deltafact, 2019). Een kanttekening hierbij is dat dit wel afhankelijk is van de type ondergrond. Met name in het rivierengebied kan een bloemrijke dijk bijdragen aan de robuustheid van een dijk. In de zuidwestelijke delta in mindere mate, en kan een bloemrijke dijk zelfs een negatieve impact hebben.

Grassoorten en kruiden reageren verschillend op de aanpassingen op licht, temperatuur en vocht als gevolg van het plaatsen van PV-systemen. Door het aanpassen van deze factoren wijzigt ook de concurrentieverhouding, en zal een andere mix in de vegetatie ontstaan (Wageningen University, 2020; Deltafact, 2019). Grassen zijn daarbij belangrijke compo-

menten voor een gesloten vegetatie en voldoende doorworteling, waarbij het beheer – waaronder maaien en weiden – medebepalend is voor het resultaat. Kruiden hebben een diepere beworteling dan gras. Vooral in droge periode kunnen kruiden voorkomen dat de dijk uitdroogt. (Wageningen University, 2020 Zonnepanelen kunnen vanwege de schaduwwerking in de zomer ook uitdroging tegengaan. Als een grotere biodiversiteit zelfs gewenst is dan kan worden ingezet op het vervangen van gras voor kruiden.).

TRANSFORMATORHUISJES

Voor het aanleggen van PV-systemen op dijken zijn extra transformatorhuisjes nodig. Vanuit landschappelijke inpassing blijkt dat de transformatorhuisjes op de dijk niet storend aanwezig zijn en dat de beste locatie bovenaan het beneden talud langs het onderhoudspad is, zodat ze in het beeld wegvallen tegen de dijk. In dit geval werd uitgegaan van transformatorhuisjes van 2.700 x 3.000 mm. Dit zijn relatief grote transformatorhuisjes, maar deze waren ten behoeve van de kostenraming noodzakelijk. In andere gevallen kan uitgegaan worden van transformatorhuisjes van 1500 x 1500 x 1500 mm. Vanuit landschappelijke inpassing is het wenselijk de trafohuisjes zo klein mogelijk te houden (TAUW, 2023).

HEKWERK

Een zonnepark moet vanwege de verzekering beschermd zijn tegen diefstal en vandalisme. Vanuit waterveiligheid en landschappelijk oogpunt is dit niet wenselijk en ook de waterschappen willen zo min mogelijk objecten op de dijk hebben. Bij locaties en opstellingen die slecht bereikbaar zijn voor personen (bijvoorbeeld langs de snelweg) en waar de kabels en panelen niet eenvoudig verwijderd kunnen worden, is de noodzaak van een hekwerk aanzienlijk minder en wordt geadviseerd zo min mogelijk hekwerk toe te passen (TAUW, 2023). Een aanvullende opmerking hierbij is dat dijken veelal afgesloten worden door buitenwater en een teensloot. Hierdoor is vaak al enige natuurlijke afscheiding aanwezig, waardoor alleen dwarsafrastering nodig is.

NATUURWAARDEN

Naast bovenstaande landschappelijke aspecten hebben de PV-systemen ook impact op meer algemene natuurwaarden. Het kan zijn dat de panelen invloed hebben op Natura 2000-gebieden of bestaande natuurwaarden.

Daarom is het belangrijk om bij natuur en landschaporganisaties een eerste verkenning te doen hoe zij tegen het PV-systemen op dijken aankijken voor een specifieke locaties. Een dijk is niet geschikt voor zonnepanelen als het een beschermd gebied is. Er is een Checklist Natuurbelangen bij grondgebonden zonneparken opgesteld door Natuur- en Milieufederaties (NMF's) en Natuur & Milieu (N&M). Deze dient bij realisatie van Zon op dijken meegenomen te worden.

Een extra aandachtspunt bij natuurwaarden is de toenemende aandacht voor water-bodem sturend werken en het behoud van de bodemkwaliteit. TNO en WUR hebben een toets ontwikkeld waarmee zonneparken ontworpen kunnen worden met behoud van bodemkwaliteit. De eerste versie van de bodemtoets voor zonnepark ontwerpen kan worden ingezet om nieuwe ontwerpen te beoordelen op het behoud van de bodemkwaliteit en waar nodig aan te passen (Cesar, et al. 2022).

6.2.1 ERVARING UIT PROEVEN

Een goede ervaring waarin ook gekeken is naar de landschappelijk en natuurlijke impact is de pilot van de Drielsedijk in Arnhem. Bij de pilot zijn zowel verticale als horizontale panelen gebruikt, wat een goede vergelijking oplevert. Robbert de Koning (landschapsarchitect BNT) heeft hierbij een analyse gedaan (2023). De resultaten zijn hieronder samengevat.

FIGUUR 6.2 OPSTELLING PILOT DRIELSEDIJK ARNHEM



Bij de pilot liggen zes panelen evenwijdig aan de taludhelling en negen verticale panelen loodrecht op de as van de dijk. Boven op de dijk staat een markant gebouw, het dijkmagazijn Elden. De proeflocatie was goed gekozen. Zonnepanelen zijn harde materialen die afsteken in het overwegend groene landschap. Op een locatie die al enigszins industrieel oogt door installaties van de afvalwaterzuiveringsinstallatie voegen de panelen zich goed in het groene natuurlandschap. De panelen oogden als een incident op de dijk.

De architect merkt op dat de plaatsing van veel meer zonnepanelen een rustiger ruimtelijk beeld op zou leveren omdat in dat geval de lineaire structuur van de dijk geaccentueerd wordt.

Enige passanten zijn gevraagd naar hun mening over de zonnepanelen. De meesten hadden de pilot niet opgemerkt. Dit komt doordat de passanten vooral kijken naar de rivier en de AWZI zoveel aandacht trekt dat de kleine locatie met zonnepanelen nauwelijks opvalt.

Bij de horizontale panelen vielen een aantal dingen op volgens De Koning (2023). Zo lagen de panelen evenwijdig aan de helling van de dijk. Hiermee accentueren ze de vorm van de dijk en dit geeft een rustig beeld. Wat ook een rustig beeld oplevert is dat als je op de dijk staat of erlangs rijdt, je tegen de zijkant van de panelen aankijkt. Oftewel, ze vallen niet heel erg op.

De verticale panelen hebben een grotere impact op het landschap. Bij de verticale panelen valt op dat de hoeken van het frame waarop de panelen bevestigd zijn overal uitsteken. Dat levert een onrustig, hokkig ruimtelijk beeld op. De panelen zijn daarnaast aan de oost zijde van het frame bevestigd, waardoor het frame in feite een voor en achterkant heeft gekregen.

Dit levert een onevenwichtig beeld op. Het zou beter zijn om aan weerszijden van het frame een paneel op te hangen. Daarnaast viel bij de verticale panelen op dat de onderlinge afstand van belang is. Ze stonden nu dicht op elkaar (2 m), waardoor het beknepen oogt. Vanuit ruimtelijk perspectief zou een bredere afstand (3 – 4 m) passender zijn. Bij elke afstand had de grasmat niet te lijden onder de panelen (in tegenstelling tot de liggende panelen). Ook viel bij de verticale panelen op dat wanneer je langs de dijk kijkt, je juist tegen de panelen aankijkt in plaats van erlangs. Ze vallen dus veel meer op dan horizontale panelen. 's Nachts is dit helemaal het geval. Dan vangen de panelen de lichtbundels van auto's. Dit is vooral het geval bij dijken die erg slingeren. Uit de proef bij de Drielsedijk kan daarom geconcludeerd dat vanuit landschappelijk oogpunt, horizontale panelen de voorkeur hebben.

Aanvullend op de landschappelijke analyse heeft er ook een analyse van de vegetatie plaatsgevonden bij de Drielsedijk (zie "Notitie monitoring vegetatie proefvlak 2020, 2021 & 2022 Drielsedijk Arnhem-zuid"). Hierbij wordt echter aangegeven dat er nog geen goede conclusie gemaakt kan worden, omdat de tijd tussen het onderzoek en het plaatsen van de zonnepanelen te kort was.

6.2.2 STAND VAN ZAKEN

PV-systemen hebben invloed op de functie landschap en de natuur. Om een goed beeld te vormen van deze invloed kan een landschappelijke analyse en natuurtoets worden uitgevoerd. Op basis van de uitkomsten kan het ontwerp van het PV-systeem een passende landschapsbeleving worden geïntroduceerd. Hiermee kunnen specifieke kenmerken van het gebied geïdentificeerd worden en randvoorwaarden opgesteld die in het ontwerpproces meegenomen dienen te worden. Belangrijk is ook vanuit het maatschappelijke draagvlak wensen en eisen vanuit stakeholders in kaart te brengen en te prioriteren. In een landschappelijke analyse worden standaard een aantal zaken uitgezocht zoals of een dijk behoort tot beschermd gebied of een beschermde structuur in het kader van erfgoed of natuur.

Wat altijd goed in ogenschouw moet worden genomen is de context van het landschap. In een natuur- of cultuurlandschap doen zonnepanelen op de dijk afbreuk aan het ruimtelijk beeld. In een stadsrand kunnen ze, afhankelijk van de specifieke lokale kenmerken, verantwoord ingepast worden. Het type PV-systeem en de kleur hebben hier een belangrijk aandeel in (Zonnepanelen op de Drielsedijk Arnhem, 2023).

Ten slotte, lijken horizontale panelen vanuit landschappelijk oogpunt de voorkeur te hebben. Horizontale panelen lijken namelijk minder op te vallen of via afbeeldingen of kleuren een nieuwe beleving te kunnen toevoegen. Vanuit het perspectief van natuur hebben de proeven op de Knardijk uitgewezen dat verticale opstellingen de voorkeur hebben omdat deze meer licht op de bodem toelaten. In het algemeen kan geconcludeerd dat bij het wegnemen van teveel licht de kwaliteit van de vegetatie onder de panelen afneemt (Knecht et al., 2021).

7

OVERIGE ASPECTEN VAN ZON EN DIJKEN

7.1 MAATSCHAPPELIJK DRAAGVLAK

Het realiseren van PV-systemen op dijken vraagt om een aanpassing van de openbare ruimte. Dat resulteert erin dat veel verschillende betrokkenen een mening hebben over PV-systemen op dijken. Omwonenden, passanten en bestuurders bepalen de mogelijkheden tot realisatie. In het algemeen kan gezegd worden dat het maatschappelijk draagvlak voor de functie van (grootschalige) zonneparken relatief laag is, omdat het vaak afbreuk doet aan landschap. Uit de studies naar PV-systemen op dijken komen een aantal aspecten naar voren die van belang zijn. Dit zijn:

- Landschappelijke inpasbaarheid
- Communicatie en participatie
- Bestuurlijk draagvlak

LANDSCHAPPELIJKE INPASBAARHEID

De functie van maatschappelijke beleving en daarmee draagvlak voor het komen tot een geaccepteerde landschappelijke inpasbaarheid hangen sterk met elkaar samen. Hierbij geldt dat hoe beter de zonnepanelen in het landschap zijn ingepast, hoe beter het maatschappelijk draagvlak is. De locatie is hierbij belangrijk omdat het veel verschil maakt of er veel omwonenden of recreanten zijn of dat het meer een afgelegen locatie is.

Arcadis heeft een onderzoek uitgevoerd naar wat het maatschappelijke draagvlak voor zon op dijken is en hoe dit beïnvloed kan worden (Consortium Zon op Dijken, 2023). Hier komt ook het aspect landschap in naar voren. Er is een landschapsbelevingsonderzoek uitgevoerd onder passanten en bewoners van nabijgelegen plaatsen van pilots. Meer dan de helft van de respondenten geeft aan dat er geen enkele maatregel denkbaar is die voor hen bijdraagt aan meer acceptatie van Zon op Dijken. De hypothese dat acceptatie groeit over tijd is niet significant aangetoond. Er is meer onderzoek nodig om te bepalen of dit daadwerkelijk zo is.

COMMUNICATIE EN PARTICIPATIE

Tijdens de ontwerpfase is het essentieel om omwonenden en lokale stakeholders actief te betrekken bij het ontwerpproces. Door wensen mee te nemen en te integreren in het ontwerp, wordt ervoor gezorgd dat de omgeving zich betrokken voelen. Dit vergroot de kans op een geaccepteerd zon op dijk project vanuit de omgeving (Consortium Zon op Dijken, 2023).

Door Arcadis (Consortium Zon op dijken, 2023) is in de provincies Zeeland en Flevoland een landschapsbelevingsonderzoek uitgevoerd. Met dit onderzoek is bepaald welke dijken, vanuit landschapsbeleving gezien, kunnen rekenen op het meeste draagvlak indien er zonnepanelen worden aangebracht. De enquête is na een periode van 1,5 jaar ook herhaald om te onderzoeken of het draagvlak op de pilotslocaties veranderd is. Uit het onderzoek blijkt dat respondenten rondom de pilotlocaties het belangrijk vinden om vroegtijdig in het proces meegenomen te worden in de communicatie. 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. Als handleiding kan de participatieladder gebruikt worden. Uit dit onderzoek

bleek echter ook dat meer dan de helft van de respondenten aangeeft dat er geen enkele maatregel denkbaar is die zal bijdragen aan meer acceptatie van Zon op Dijken. Ook bleek dat er geen significante toename van acceptatie plaats vond na 1,5 jaar.

Binnen het innovatieproject ‘In My Backyard Please’ hebben TNO, WUR, TS Visuals en Design Innovation Group in de periode 2019-2021 onderzocht hoe multifunctionele zonneparken ontworpen en ontwikkeld moeten worden die wél geaccepteerd en omarmd worden door omwonenden. Dit document bevat een rijk assortiment aan inzichten, geleerde lessen en praktische tips voor participatie bij de ontwikkeling van naburige en multifunctionele zonneparken. Deze inzichten, lessen en tips zijn steeds geïllustreerd met concrete praktijkvoorbeelden. De belangrijkste opgedane inzichten en geleerde lessen met betrekking tot participatie zijn gebundeld in dit document.

Deze studie gaat echter in het algemeen over multifunctionele zonneparken. Er is weinig tot niets bekend of er bij dijken spraken is van een ander situatie dan bij andere multifunctionele zonneparken. Extra onderzoek zouden moeten uitweiden of er op het thema maatschappelijk draagvlak

BESTUURLIJK DRAAGVLAK

Er is door Arcadis een maatschappelijke kosten-batenanalyse uitgevoerd (MKBA) (Consortium Zon op dijken, 2023). De belangrijkste maatschappelijke kosten en baten bij zon op dijken zijn 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 het creëren van bestuurlijk draagvlak zijn deze maatschappelijke kosten en baten van belang.

Aanvullend op de genoemde maatschappelijke kosten en baten is het de wijze waarop alleenstandig of met partners het zon op dijken initiatief wordt verwezenlijkt. Daarmee treden verschillende wijzen van kosten en baten op.

7.1.1 ERVARING UIT PROEVEN

Uit de onderzoeken blijkt dat er bij de pilots nagenoeg geen onderzoek gedaan is naar maatschappelijk draagvlak. Het enige wat gezegd kan worden is dat uit de pilot bij de Drielsedijk bij Arnhem blijkt dat indien de zonnepanelen goed ingepast zijn, ze niet opvallen door omwonenden. Of dit bijdraagt aan het maatschappelijk draagvlak is echter niet onderzocht.

Daarnaast kunnen het gebruik van gekleurde panelen het maatschappelijk draagvlak vergroten. Bij het systeem van Eurorail op de dijk bij Ritthem zijn verschillende kleuren panelen toegepast. Twee tafels zijn voorzien van gekleurde patronen (camouflage en golven). Eén van de tafels is voorzien van een schilderij van het schilderij “Michiel de Ruyter” van Ferdinand Bol hangend in het Rijksmuseum in Amsterdam. Dit ontwerp is gekozen door het waterschap na overleg met de dorpsraad (Consortium Zon op Dijken, 2023). Wat de keuze van dit ontwerp én het samen kiezen met de dorpsraad voor (lange termijn) invloed heeft gehad op het maatschappelijk draagvlak is echter niet onderzocht.

FIGUUR 6.3

GEKLEURDE ZONNEPANELEN VAN EURORAIL



Verder zijn er geen ervaringen uit proeven op het gebied van maatschappelijk draagvlak specifiek voor Zon op Dijken.

7.1.2 STAND VAN ZAKEN

Er is weinig ervaring en bekendheid over het maatschappelijk draagvlak bij specifiek het plaatsen van zon op dijken. De ervaringen die in het algemeen gelden bij (grootschalige) zonne-energie opwek, gelden ook in de situatie wanneer deze ontwikkeld worden op dijken. Het is niet de verwachting dat (meer onderzoek) specifiek voor zon op dijken hele andere ervaringen gaat brengen dan andere grootschalige zonprojecten. In alle gevallen is het belangrijk om professionele stakeholders als gemeente, provincie en natuurorganisaties te betrekken. Alsook omwonenden, passanten en bestuurders te betrekken, al dan niet via een georganiseerde vorm van bewonerswerkgroepen of plaatselijk belang.

Beleving en landschappelijke inpasbaarheid moet hierbij centraal staan. Men moet kunnen zien en voelen hoe de panelen in het landschap passen, om een goed idee van de nieuwe situatie te krijgen (Zon in Landschap, 2024).

7.2 BEHEER EN ONDERHOUD

Bij het aanbrengen van een PV-systeem op de dijk is het van belang dat de oorspronkelijke dijk goed onderhouden kan worden. Dit is afhankelijk van de huidige bekleding van de dijk (groen of verharding) en het systeem wat aangebracht wordt (op of in de dijk). Met het toepassen van zon op dijken komen er meer objecten in en op de dijk te liggen. Dit heeft invloed op de manier waarop beheer en onderhoud plaats vindt. Voor goed beheer en onderhoud zijn de volgende aspecten van belang:

- Installatie en herstel erna
- Toegankelijkheid om en onder PV-systemen
- Ontwerp voor onderhoud

INSTALLATIE EN HERSTEL ERNA

Met de installatie van Zon op dijken ontstaat er tijdelijke schade op de dijk. Hierbij moet gedacht worden aan in ieder geval geulen waar de kabels in komen te liggen (die later dicht gemaakt worden) en een vertrapte of beschadigde grasmat. Wageningen University heeft onderzoek gedaan naar het installeren van zonnepanelen op dijken en hoe dit met zo min mogelijk schade gedaan kan worden. Onderstaand worden verschillende elementen uitgelicht.

Bij het uitgraven van sleuven kunnen de afgeplagde graszoden het best aan de ene kant van de sleuf worden gelegd op doek of plastic en de uitgegraven grond op doek of plastic aan de andere kant. Hiermee hou je de grasmatten, de uitgestoken graszode en grond gescheiden en wordt voorkomen dat er grond op de graszoden terecht komt. Zeker als bodem en de graszoden al vrij droog zijn en onder zonnige warme omstandigheden wordt gewerkt is het zaak zo snel mogelijk de graszode weer terug te plaatsen om verdroging van de plaggen te voorkomen (Wageningen University, 2022b).

Na het leggen van de kabels moet de grond en vervolgens de teruggeplaatste graszode goed worden aangedrukt, zodat de grond eronder voldoende verdicht wordt. De graszode moet goed contact hebben met de ondergrond, zodat wortels in de ondergrond kunnen groeien en vochtuitwisseling kan plaats vinden. Na het terug leggen van de graszode is een aantal malen water geven aan te bevelen. Daarnaast moeten open plekken na de werkzaamheden ingezaaid worden (Wageningen University, 2022b).

Bij het plaatsen van de betonblokken kan het beste de uitgenomen grond neergelegd worden op doek of plastic. Dit kan helpen bij het goed terugplaatsen van de graszode. Net als bij de funderingspalen en de kabelsleuven is snel en netjes werken gunstig voor het weer aangroeien van de teruggeplaatste van de graszode.

Het opzij leggen en zorgen dat de graszoden niet verdrogen is een tweede aandachtspunt. De open grond inzaaien onder goede omstandigheden is hierbij verder een verplichting.

Qua timing van de installatie van PV-systemen is het beter om installatie in maart en april of in de nazomer (tot 1 oktober) plaats te laten vinden. Vanaf 1 oktober begint het stormseizoen en is het weer niet meer geschikt, tenzij het geen primaire kering is met golfoverslag. Indien dit het geval is dan kan er ook in de winter doorgewerkt. In het broedseizoen (mei – juli) mogen bij veel dijken nestjes, eieren en broedende vogels niet gestoord mogen worden, wat bouwwerkzaamheden op een dijk kunnen bemoeilijken (Consortium Zon op dijken, 2023).

Daarnaast is in de zomer de kans op droogte en onkruid groter, waardoor nieuw ingezaaid gras niet of moeilijker groeit. De periode augustus/september is een betere periode om open plekken in te zaaien. De hoge bodemtemperatuur in combinatie met voldoende vocht zorgt ervoor dat het gras voldoende kiemt en ontwikkelt (Wageningen University, 2022b).

TOEGANKELIJKHEID OM EN ONDER PV-SYSTEMEN

De hoogte en het type PV-systeem bepalen hoe makkelijk het is om beheer en onderhoud aan de grasbekleding te plegen. Ook de wijze waarop kabels zijn weggewerkt heeft invloed op de manier van beheer en onderhoud van de grasbekleding.

Een te lage opstelling maakt het onderhoud aan de grasbekleding (maaïen) onder de panelen erg lastig (Consortium Zon op dijken, 2023). Het maakt hierbij niet uit of het om horizontale of verticale PV-systemen gaat. Uit de pilots met verticale PV-systemen kwam juist ook naar voren dat maaïen lastig was vanwege de kabels onder de panelen. De kabels moeten daarom goed aan de onderkant worden vastgezet, en indien mogelijk voldoende worden ingegraven. Zo geeft maaïen geen schade. Daarnaast gaven beheerders aan terughoudend te zijn, omdat ze geen schade willen aanbrengen aan de PV-systemen. Het inzetten van grote machines vraagt aanpassing van de ruimte tussen de panelen. Het maaïen rondom de panelen vraagt daarom om maatwerk.

Als het gaat om de vegetatie vergt het onderhoud extra aandacht bij harde-zachte overgangen aandacht. Met harde-zachte overgangen wordt de overgang van fundering, palen en betonblokken naar de omliggende grasmat bedoeld. Hier groeien sneller ongewenste (houtige) onkruiden én deze zijn lastiger te verwijderen door de nabijheid van de objecten (Consortium Zon op dijken, 2023). Ook kunnen de houtige onkruiden schaduw veroorzaken bij liggende systemen.

Vaak worden dijkvlakken verpacht als weidegrond voor schapen of hooiland. Aandacht voor de pachtcontracten is van belang om vroegtijdig in beeld te krijgen wat de afspraken zijn. De combinatie van PV-systemen en schapen beweiding geeft extra risico's. Wanneer schapen worden ingezet voor beheer en onderhoud heerst bij pachters de vrees dat de schapen aan de elektrische kabels eten wanneer deze niet zijn weggewerkt in de installatie. Een voordeel van PV-systemen is voor schapen wel dat zij beschutting kunnen zoeken bij slecht en heel warm weer.

De opstelling moet dan wel van zodanige hoogte zijn dat schapen er makkelijk onderdoor kunnen lopen en de funderingspalen moeten voldoende weerstand bieden aan "schurende" schapen (Consortium Zon op dijken, 2023).

Wanneer er op harde bekleding (in tegenstelling tot grasbekleding) PV-systemen worden neergezet, zijn bovenstaande uitdagingen in mindere mate relevant. Wat wel in alle situaties van belang blijft, is dat ook de PV-systemen en het omliggende hekwerk zelf beheer en onderhoud vragen. De PV-systemen moeten daarvoor ook toegankelijk blijven. Ten slotte is een aandachtspunt bij de toegankelijkheid, dat de dijk in het geval van calamiteiten altijd bereikbaar moet blijven. In crisissituaties moeten de panelen ook makkelijk te verwijderen zijn. Dit soort situaties hebben zich nog niet voorgedaan.

ONTWERP VOOR ONDERHOUD

Naast een meest natuur en economisch ontwerp van het zonnestelsel moet bij het ontwerp van het systeem ook zoveel mogelijk rekening worden gehouden met het beoogde beheer. Schapen moet veilig kunnen rondlopen zonder zich bij kabels te kunnen verwonden aan scherpe randen. Voor maaien geldt dat de maaimachine er bij moet kunnen zonder teveel risico op schade. Dit vraagt vaak wat van de hoogte en afstand tussen de panelen. Een lijst met tips is opgenomen in de publicatie maaien van zonneparken langs infra (Rijkswaterstaat, 2024a).

7.2.1 ERVARING MET PROEVEN

Het systeem van Afvalzorg heeft gedurende de meetcampagne geen noemenswaardige problemen gekend. Het systeem is verankerd op een dijkverhardend betonachtige constructie (staalslakken). DC-bekabeling is hierbij boven de dijkverharding, in een kabelgoot geplaatst. Door de bitumen toplaag, langs de randen van het PV-systeem is begroeiing 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 begroeiing geconstateerd (Consortium Zon op dijken, 2023).

Door de lage opstelling bij de proefopstelling bij de dijk bij Ritthem was het onderhoud (maaien) onder de panelen erg lastig (Wageningen University, 2022a). Pachters waren terughoudend in het maaien na plaatsing van funderingen en zonnepanelen. Maaien rond en onder de tafels in Ritthem en rond en onder de hangende zonnepanelen op de Knardijk wilden ze niet doen en werden gedurende dit project niet door de pachters zelf uitgevoerd. Ook werd een deel van het werk uitbesteed, wat de coördinatie lastiger maakte. Vooraf

goed overleg over het onderhoud, te gebruiken apparatuur en een voldoende vergoeding is noodzakelijk. Daarnaast maakte de minder vlakke grasmat het onderhoud, waaronder het maaien, lastiger (Wageningen University, 2022a). Deze ervaringen maken dat beheer en onderhoud wellicht bij de zonexploitant kan worden neergelegd.

7.2.2 STAND VAN ZAKEN

Met zon op dijken veranderd de manier van beheer en onderhoud op de dijk. Er staan meer en gevoelige objecten en financieel kapitaal op de dijk, waardoor er meer maatwerk plaats moet vinden in het beheer en onderhoud. Het beheer van een dijk waar een PV-systeem op is gerealiseerd vraagt om een andere beheer (vaak uitgevoerd door de zonexploitant).

Afstemming met de beheerder van de dijk is dan van belang. Bij alle PV-systemen moet nagedacht worden over het ontwerp van het systeem zoals bijvoorbeeld de hoogte waarop de panelen boven de dijk geïnstalleerd worden. Deze moeten hoog genoeg zijn, zodat er onderhoud gepleegd kan worden aan en onder de systemen en de grasbekleding geïnspecteerd kan worden. Wanneer schapen worden ingezet voor het beheer, is het belangrijk dat de schapen onder de panelen door kunnen lopen én kabels goed in de systemen zijn weggewerkt. Dit laatste is van belang om te voorkomen dat schapen de kabels beschadigen. De uitdagingen op het gebied van beheer en onderhoud zijn overkomelijk. Het vraagt vooral om praktijkervaring.

8

ENERGIE

8.1 ENERGIE

Zon op dijken wordt uiteindelijk toegepast om aan de toenemende vraag naar duurzame energie te voorzien. Een belangrijke voorwaarde voor het toepassen van zon op dijken is dat de energieopbrengst van de panelen voldoende is voor een sluitende businesscase. De elektrische opbrengst van een PV-systeem is daarbij afhankelijk van de hoeveelheid zoninstraling en het opgestelde vermogen (Consortium Zon op Dijken, 2023). Voor een goede energieopwekking en uiteindelijk een sluitende businesscase zijn de volgende aspecten van belang:

- Elektriciteitsnet
- Opstelling
- Businesscase

ELEKTRICITEITSNET

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 zonder dat dit ten koste hoeft te gaan van landbouwgebied (van der Schoot en van der Voort, 2022). De potentie is dus groot, maar aan de andere kant zit het elektriciteitsnet vol (Netbeheer Nederland, 2024). Wanneer er grootschalige zonprojecten op dijken worden gerealiseerd, moet rekening worden gehouden met directe afname en/of langdurige (minimaal 1 à 2 jaar) vertraging in aansluiting op het elektriciteitsnet (Scholten et al., 2019).

De netbeheerder is tot 10 MVA (1 MVA komt voor zonnestroomsystemen overeen met 1 MW) verplicht om de netaansluiting te realiseren, maar rekent meerkosten wanneer de afstand van de locatie van de aansluiting tot aan het dichtstbijzijnde aansluitpunt meer dan 25 meter is (Scholten et al., 2019). De locatie van de zonne-opwek ten opzichte van het elektriciteitsnet heeft daarmee een flinke invloed op de businesscase.

OPSTELLING

De ligging van de dijk en daarmee de opstelling van de panelen is van invloed op de hoeveelheid energie die de panelen opleveren. De meest gunstige ligging van de dijk ten opzichte van de zon, betekent dat het binnentalud en de binnenberm van de dijk naar het zuiden is gericht. Hierbij is het belangrijk dat er ook geen obstakels in de buurt zijn die voor schaduw op de panelen kunnen zorgen.

BUSINESSCASE

Uiteindelijk is het voor de realisatie van zon op dijken een van de belangrijkste aspecten dat de businesscase rondkomt. De businesscase is sterk afhankelijk van de stroomprijs én de opbrengst van het park. De opbrengst is daarbij afhankelijk van de omvang en de ligging van het zonnepark. De stroomprijs is een aspect waar een zon op dijken project weinig invloed op heeft. Het is daarom vooral belangrijk om in de eerste fasen van een project te onderzoeken bij welke omvang de panelen welk rendement opleveren. Vervolgens moeten het type paneel, de expositie en omvormers bepaald worden én de aansluiting op het net geregeld.

Vooraf de aansluiting op het elektriciteitsnet kan van grote invloed zijn op de businesscase. Eventuele netverzwaringen of -investeringen die nodig zijn voor het aansluiten van de productie-installatie voor duurzame energie komen voor rekening van de netbeheerder, althans tot en met 10 MVA (Scholten et al., 2019). Daarbij worden de kosten die zowel de netbeheerder als het waterschap maken gedragen door de maatschappij. Vanuit het oogpunt van maatschappelijke kosten is het daarom aantrekkelijk om zoveel mogelijk binnen de huidige capaciteitsruimte te blijven.

Om de kosten van de aansluiting daarnaast te beperken, kan het combineren van wind- en zonne-energie of een grootverbruiker en een zonnepark op één aansluiting positief bijdragen. Ook kan het in sommige gevallen voordelig zijn om de piekproductie op een zonnige dag te reduceren door panelen af te schakelen, of een batterij te plaatsen om zo binnen de gecontracteerde capaciteit van de aansluiting te blijven.

De kosten voor een netaansluiting kan per netbeheerder verschillen. Het is dus van belang binnen het projectgebied te kijken naar welke netbeheerders er zitten en welke kosten zij vragen. Ook de locatiekeuze is van belang: waarbij de afstand tot het middenspanningsnet (< 2 MVA) of het onderstation (> 2 MVA) zo klein mogelijk moet zijn.

Voor een rendabele businesscase zijn er ten slotte twee subsidiemogelijkheden: de SDE++ subsidie voor grote productie-installaties (waarbij de onrendabele top tussen productiekosten en de marktprijs voor elektriciteit met subsidie gecompenseerd wordt) of de postcoderoosregeling (waarbij inwoners uit de omliggende postcodegebieden gezamenlijk investeren in een zonneveld en via hun energierekening belastingkorting krijgen) (Scholten et al., 2019).

Het is lastig om generieke getallen voor de opwek van PV-systemen te noemen, omdat het rendement en de totale opwek van energie verschillen per locatie, type en hoeveelheid panelen.

8.1.1 ERVARING UIT PROEVEN

Tijdens de pilot met de systemen van TNO-Eurorail, Delmeco, Afvalzorg en Soltronergy bleken alle systemen elektrisch gezien veelal uitstekend te functioneren (Consortium Zon op Dijken, 2023).

FIGUUR 7.1 OVERZICHT OPBRENGSTEN EN PERFORMANCE RATIO OP AC-NIVEAU (CONSORTIUM ZON OP DIJKEN, 2023)

Systeem	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

De systemen van TNO-Eurorail en Delmeco hebben problemen gekend met de isolatieweerstand tussen de DC-zijde van het PV-systeem en de aarde. Dit kan aan de connectoren, bekabeling en de panelen zelf gelegen hebben. Er werd aanbevolen dat de bekabeling en indien van toepassing connectoren zo goed mogelijk beschermd en droog geplaatst dienen te worden voor een goed rendement (Consortium Zon op Dijken, 2023). Naar aanleiding van dit advies heeft Delmeco de bekabeling nu in de betonnen panelen gelegd, waardoor de isolatiewaarde is verhoogd.

Bij verticale PV-systemen wordt de energieopbrengst meer over de dag verspreid. Het rendement ligt echter wel iets lager (Zwart, 2023). Uit onderzoek van Waterschap Rivierenland bij hun proef op de Drielsedijk blijkt echter dat verticaal geplaatste zonnepanelen veel meer energie opleveren dan gedacht: de energieopbrengst van hun opstelling met verticaal geplaatste panelen was 0,91MWh/ha, tegenover 1,0MWh/ha van de opstelling met horizontaal geplaatste panelen (Zwart, 2023).

8.1.2 STAND VAN ZAKEN

Energetisch werken zon op dijken projecten veelal uitstekend. Aandachtspunt is het rond krijgen van de businesscase. Hier is in de onderzochte artikelen weinig tot niets over geschreven. Van invloed hierop zijn de inpassing en de aansluiting op het elektriciteitsnet. Bij een klein park is het voordelig om binnen de capaciteitsnormen van de netbeheerder te blijven én het park zo dicht mogelijk bij bestaande aansluitpunten te realiseren. Er zijn geen specifieke uitspraken te doen over de opbrengst van zon op dijken projecten, omdat de opbrengsten afhankelijk zijn van de ligging en locatie van de panelen, het type panelen en de omvang van het zonnepark. Meer onderzoek is nodig om inzicht te krijgen in de werkelijke kosten én opbrengsten van zon op dijken.

9

CONCLUSIE

Theoretisch gezien biedt het toepassen van zon op dijken veel potentie om aan de toenemende vraag naar duurzame energie in Nederland te voorzien. De faalmechanismes die mogelijk door de panelen (mede) in de hand worden gewerkt hebben te maken met eventuele beschadiging en erosie van de bekleding. Dit is te voorkomen door preventieve maatregelen en monitoring tijdens en na een extreme gebeurtenis van overslaand water of enorme regenintensiteit. De praktijk laat zien dat er op dit moment wordt gekozen om op ander plekken energie op te wekken. Hoewel er al wel enkele pilots zijn gedaan met zon op dijken heeft dit nog niet geleid tot een standaard ontwerp voor zon op dijk. De pilots die tot nu toe zijn gedaan zijn namelijk relatief klein en gericht op het doen van onderzoek. Ondanks de opgedane kennis maken de uitdagingen van de grasmat en verankering het nog te vroeg voor het grootschalig toepassen van zon op dijken. De eerste en enige grootschalige toepassing die nu in ontwikkeling is, is het project “Zon op de IJsselmeerdijk”. Bij een positieve businesscase zal de realisatie van dit project starten in 2027. Daarmee is het op dit moment nog te vroeg om generieke regels te kunnen opstellen.

Zon op dijken is een relatief nieuw onderwerp, net als overigens alle andere grootschalige zonprojecten. De ontwikkelingen gaan wel heel snel en er komt steeds meer ervaring en kennis beschikbaar op het gebied van grootschalige zonneparken. Waar zon op dijken in vergelijking met andere projecten in verschilt is de relatie met waterveiligheid. Het goed houden van de grasbekleding komt in bijna alle functies naar voren. Het grootste aandachtspunt is daarbij dat zon op dijken bij de meeste opstellingen een negatieve invloed heeft op de grasbekleding. Daar is nog geen standaard oplossing voor. Om zon op dijk tot een succes te maken is het vinden van een systeem die schade aan de dijkbekleding (veelal gras) voorkomt of een alternatief voor biedt een belangrijke ontwikkelstap. De verankering is naast de bekleding een tweede aandachtspunt waar het goed zou zijn om een standaard oplossing voor te ontwikkelen.

Op het gebied van landschap en natuur vraagt het toepassen van zon op dijken vooral om maatwerk en grondig natuuronderzoek. Hierin is de relatie met maatschappelijk draagvlak ook van belang. Zon op dijken hebben in de meeste situaties een negatieve invloed op het landschap, waarmee ook het draagvlak voor het toepassen ervan wordt verminderd. Voor beide functies geldt echter dat zon op dijken niet wezenlijk verschilt van andere grootschalige zonprojecten en de uitdagingen overkomelijk zijn.

Ook het beheer en onderhoud vraagt om extra maatwerk. Met zon op dijken verandert de manier van beheer en onderhoud. Er staan meer en gevoelige objecten financieel kapitaal op de dijk.

Samengevat kan geconcludeerd worden dat alle bovenstaande uitdagingen overkomelijk zijn. Ze kosten alleen geld. De opbrengsten van zon op dijken moeten deze kosten dekken. En hoewel bekend is dat de PV-systemen energetisch veelal uitstekend werken, is er op dit moment maar weinig bekend over de complete businesscase van de PV-systemen. Een

voorzichtige conclusie is daarom dat zon op dijken op dit moment te duur is voor grootschalige toepassing. Meer onderzoek is nodig om te weten of zon op dijken rendabel te maken is.

Zon op dijken zit in de laatste ontwikkelfase. Met voorliggend onderzoek zijn de belangrijkste aandachtspunten vanuit vijf bestaande functies benoemd. Hier moet rekening mee worden gehouden bij het toevoegen van de functie van energie opwekken op dijken. Voorliggend onderzoek biedt inzicht in de kansen en uitdagingen om zon op dijken op een grootschalige manier toe te passen. Rekening houdend met de uitdagingen rondom onder andere waterveiligheid en de businesscase, kan zon op dijken een mooie bijdrage leveren aan het energieneutraal maken van de waterschappen en Nederland.

BIJLAGE 1

LITERATUURLIJST

- Cesar, K., Van Aken, B., Scholten, L., De Goede, R. & Schotman, A. (2022). Nieuwe ontwerptoets verankert bodemkwaliteit in zonneparken. *Bodem*, 2.
- Consortium Zon op Dijken (2023). Zon op Dijken Openbaar Eindrapport.
- De Koning, R. (2023). Zonnepanelen op de Drielsedijk in Arnhem: expert judgement op verzoek van Waterschap Rivierenland (WSRL) door Robbert de Koning landschapsarchitect BNT.
- Deltafact (2019). Bloemrijke sterke dijken.
- Deltares (2018). Matrix Zon op dijk - resultaten quickscan waterveiligheidsaspecten
- Deltares (2020). Zon op Dijk; CIP 2019.
- Deltares (2022). Verslag van twee proeftuinen met PV-systemen op dijken.
- Dorenkamper, M. S. (2023). Zon op Dijken. Openbaar eindrapport. TNO-2023-R10323. Bron: <https://resolver.tno.nl/uuid:a8ef1a8d-1771-4bbc-9a22-2a6fd3158b8c>
- Enserink, M., Van Etteger, R., Van den Brink, A., & Stremke, S. (2022). To support or oppose renewable energy projects? A systematic literature review on the factors influencing landscape design and social acceptance. *Energy Research & Social Science*, 91, 102740.
- Folkerts, W., Van Sark, W., de Keizer, C., van Hooff, W. & van den Donker, M. (2017). ROADMAP PV Systemen en Toepassingen. Bron: <https://www.uu.nl/sites/default/files/roadmap-pv-systemen-en-toepassingen-final.pdf>
- Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (2020). Integrale Nota van Uitgangspunten. Kenmerk: SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0115. Bron: <https://sterkelekdijk-cub.ireport.royalhaskoningdhv.com/nota-van-uitgangspunten/3--ontwerpogave-en-uitgangspunten/31--waterveiligheidsopgave/312--toelichting-faalmechanismen>
- Knegt, C. G. M., Wijngaarden, K. van, Verweij, P. A., & Soons, M. B. (2021). De effecten van zonneparken op vegetatie. Bron: <https://zoninlandschap.nl/u/files/EffectenZonneparkenVegetatie.pdf>
- Netbeheer Nederland (2024). Capaciteitskaart. Bron: <https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl/>
- Rijksoverheid (2024a). Opwek van energie op rijksvastgoed. Bron: <https://www.energieoprijksgrond.nl/default.aspx>

Rijkswaterstaat (2024a). Handreiking maaien zonneparken langs infrastructuur. Bron: <https://www.energieoprijksgrond.nl/publicaties1/leefomgeving++publicaties/2774841.aspx>

Rijkswaterstaat (2024b). Energie en klimaat. Bron: <https://www.rijkswaterstaat.nl/leefomgeving/energie-en-klimaat>

STOWA (2018a). Zon op dijken; Verkennend en ontwerpend vooronderzoek. Rapport 76.

STOWA (2018b). Zon op dijken; Zonnewijzer. Rapport 76a.

STOWA (2023). Handreiking NWO's; Handelingsperspectief voor regionale keringen. Rapport 16.

TAUW (2023). Waterschap Zuiderzeeland: Uitwerking constructie Zonnepanelen op IJsselmeerdijk.

Van der Schoot, J. R. & Van der Voort, M. (2022). Aanleg van PV-systemen op dijken. Project Zon op dijken. Wageningen Research, Rapport WPR-OT 959.

Wageningen University (2020). Literatuurstudie vegetatie onder zonnepanelen op dijken. Oktober 2020.

Wageningen University (2022a). Zon op dijken; monitoring grasvegetatie onder de zonnepanelen op dijken. Oktober 2022.

Wageningen University (2022b). Aanleg van PV-systemen op dijken. Project Zon op dijken. December 2022.

Zwart, Margriet (2023). Zon op Waddenzeedijk: Een studie naar de invloed van PV-systemen op de waterveiligheid en het optreden van faalmechanismen van de dijk.

Zon in Landschap (2024). Praktische participatie rond multifunctionele zonneparken. Bron: https://zoninlandschap.nl/u/files/IMBYP_tips_and_tricks.pdf

Zonnepanelen op de Drielsedijk Arnhem (2023). Expert judgement op verzoek van Waterschap Rivierenland (WSRL) door Robbert de Koning landschapsarchitect BNT. Februari 2023.

BIJLAGE 2

VRAGEN INTERVIEWS

INTERVIEW NARA SOLAR*Introducerende vragen*

- Wat is uw ervaring met zon op dijken?
- Welke ervaring heeft uw organisatie met zon op dijken?
- Welke projecten hebben u en/of organisatie uitgevoerd en/of zijn jullie bij betrokken geweest?
- Welke rol heeft u in die projecten?
- Welke kansen en uitdagingen bent u tegengekomen bij de realisatie van zon op dijken?
- Met welk doel zijn de gerealiseerde projecten tot stand gekomen?
- Wat hebben de projecten tot nu toe opgeleverd? Aan zowel kennis en ervaringen, als energie
- Welke kennis/onderzoeken heeft u gebruikt/ gebruikt u bij de realisatie van zon op dijken?
- Wat maakt volgens u dat zon op dijken nog beperkt wordt toegepast?
- Welke kennisleemtes zijn er volgens u op het thema [invoegen thema]?
- Welke overige kennisleemtes zijn er volgens u?

Thema-specifieke vragen

- U bent een initiatiefnemer. Uit het onderzoek blijkt dat er nauwelijks generalistische uitspraken gedaan kunnen worden over wanneer zon op dijken mogelijk is en dat elke ontwikkeling maatwerk vereist. Hoe ziet u dit? Wanneer is een zon op dijken project voor u van te voren al niet geschikt? Aan welke minimale voorwaarden moet een dijk-locatie voldoen om er een zonnepark op te leggen?
- In de pilots is gewerkt met vijf typen systemen. Wat voor systeem werkt u als Nara solar mee? Wat moet er nog verder uitgezocht om te weten of dit systeem op grote schaal geschikt is voor zon op dijken?
- In ons onderzoek kijken we naar vijf thema's. Welke kansen en belemmeringen ziet u als ontwikkelaar ten aanzien van:
 - Waterveiligheid
 - Natuur en landschap
 - Maatschappelijk draagvlak
 - Energie
 - Beheer en onderhoud?
- Uit de literatuurstudie komt naar voren dat de panelen het energetisch goed doen op zon op dijken. Hoe kijkt u ernaar? Zijn er specifieke omstandigheden op dijken die het voor zonnepanelen juist aantrekkelijker of minder aantrekkelijk maken om daar panelen te realiseren
- Welke kennisleemtes ervaart u? Als u nu een onderzoek zou uit zetten, welke onderzoeksvraag zou u dan hebben?
- De pilots die tot nu toe zijn gedaan, zijn relatief klein. Welke schaalgrootte is nodig om zon op dijken rendabel te maken? Wat is daarover bekend?
- Wat is van de grootste invloed op de businesscase van zon op dijken?
- Hoe ziet u zon op dijken in de toekomst ontwikkelen? Welke kennis mist er nu nog voor

grootschalige toepassing?

- Wat maakt grootschalige toepassing van zon op dijken anders dan de pilots? Welke kennis is er nog niet opgedaan?
- Over maatschappelijk draagvlak lijkt nog zo goed als niet beschikbaar specifiek over zon op dijken. Wat doet u als ontwikkelaar met dit onderwerp?

INTERVIEW WATERSCHAP ZUIDERZEELAND EN WETTERSKIP FRYSLAN

Introducerende vragen

- Wat is jullie eigen ervaring met zon op dijken?
- Welke ervaring heeft uw organisatie met zon op dijken?
- Welke kansen en uitdagingen bent u tegen gekomen bij de realisatie van zon op dijken? / welke kansen en uitdagingen zien jullie voor het toepassen van zon op dijken?
- Met welk doel zijn de gerealiseerde projecten op de Knardijk tot stand gekomen?
- Wat hebben de projecten tot nu toe opgeleverd? Aan zowel kennis en ervaringen, als energie.
- Welke kennis/onderzoeken heeft u gebruikt/ gebruikt u bij de realisatie van zon op dijken?
- Wat maakt volgens jullie dat zon op dijken nog beperkt wordt toegepast?
- Welke kennisleemtes zijn er volgens jullie? Wat moet er nog onderzocht om zon op dijken op grootschalig niveau toe te passen?
- Welke overige kennisleemtes zijn er volgens u?

Thema-specifieke vragen

Ervaring Knardijk

- Hoe kijkt u naar de ervaringen die zijn opgedaan op de Knardijk? Welke kennis heeft u gemist in deze projecten?
 - Hoe kijkt u naar de verschillen van horizontale panelen versus verticale panelen?
 - Wat is er geleerd van de beschadiging door de storm? Hoe zijn de panelen van Soltronergy verbeterd? Wat voor schade op de dijk leverde het kapot gaan van de panelen op?
 - Welke kennis heeft u gemist bij het opstarten van het project op de Knardijk?
 - Welke kennis zou u nu met uw ervaring verder willen laten ontwikkelen?
 - Welke type onderhoud is er gepleegd bij de verschillende systemen op de Knardijk? Wat konden we daarvan leren? Klopt het dat schapen inderdaad aan de kabels vreten? Of is dat meer een zorg van de pachters?
 - Wat zouden jullie nu anders doen als je weer een pilot start met zonnepanelen op dijken?
 - Welke invloed heeft het probleem van netcongestie gehad op de pilots? Was dat al een probleem?
- In ons onderzoek kijken we naar vijf thema's. Welke kansen en belemmeringen zien jullie als waterschappen ten aanzien van:
 - Waterveiligheid
 - Natuur en landschap
 - Maatschappelijk draagvlak
 - Energie
 - Beheer en onderhoud
 - Uit ons interview gisteren met een ontwikkelaar kwam de vraag naar voren hoeveel dijken daadwerkelijk geschikt zijn voor zon op dijken. Rekening houdend met de richting van de dijk, de hoeveelheid ruimte en de locatie van de dijken. Hoe kijken jullie daarnaar? Wat is daarover bekend?
 - Uit de literatuur komt naar voren dat het beschadigen van de grasmat voor verschillende

thema's het grootste risico voor falen van de dijk is. Hoe kijken jullie ernaar? Wat zien jullie als grootste risico voor de waterveiligheid?

- Wanneer is een dijk voor jullie sowieso niet geschikt om zonnepanelen op te plaatsen? Wanneer zien jullie kansen?
- Wat voor beheer en onderhoud werkt het beste met zon op dijken?
- Waaraan moeten PV-systemen minimaal voldoen vanuit het oogpunt van waterveiligheid?
- Uit de literatuur blijkt dat er vooral onderzoek is gedaan naar de flora en fauna in de buurt van de panelen. Wat is er bekend over de invloed van zon op dijken op grotere schaal? Bijvoorbeeld in omliggende natuurgebieden? Hebben jullie bij de Knardijk een toe of afname gezien?
- Hoe kijken jullie organisaties nu naar zon op dijken? Is er draagvlak binnen de waterschappen om door te gaan met zon op dijken? Waarom wel/niet?
- Hoe kijken jullie naar de huidige wet- en regelgeving? Is die toereikend of juist belemmerend voor het toepassen van zon op dijken?
- Zouden zon op dijken ook een positieve bijdrage kunnen leveren aan de stevigheid van dijken? Zo ja, hoe dan? Zo niet, waarom niet?

INTERVIEW RIJKSWATERSTAAT

Introducerende vragen

- Wat is uw eigen ervaring met zon op dijken?
- Welke ervaring heeft uw organisatie met zon op dijken?
- Welke kansen en uitdagingen bent u tegen gekomen bij de realisatie van zon op dijken?
- Wat hebben de projecten tot nu toe opgeleverd? Aan zowel kennis en ervaringen, als energie.
- Welke kennis/onderzoeken heeft u gebruikt/ gebruikt u bij de realisatie van zon op dijken?
- Wat maakt volgens jullie dat zon op dijken nog beperkt wordt toegepast?
- Welke kennisleemtes zijn er volgens jullie? Wat moet er nog onderzocht om zon op dijken op grootschalig niveau toe te passen?
- Welke overige kennisleemtes zijn er volgens u?

Thema-specifieke vragen

- Welke rol heeft Rijkswaterstaat in het onderwerp van zon op dijken? Voor welke dijken is Rijkswaterstaat verantwoordelijk versus de waterschappen?
- Hoe verschilt de potentie van zon op dijken voor dijken van grote wateren versus de meer regionale wateren?
- Hoe is Rijkswaterstaat tot nu toe bij zon op dijken projecten betrokken?
- Wat waren de belangrijkste ervaringen?
- Welke kennis is Rijkswaterstaat op dit moment aan het ontwikkelen?
- Hoe gaat Rijkswaterstaat op landelijk niveau om met de netcongestie? Lijdt dat tot problemen? Specifiek bij zon op dijken projecten?
- Wat zouden jullie nu anders doen als je weer een pilot start met zonnepanelen op dijken?
- In ons onderzoek kijken we naar vijf thema's. Welke kansen en belemmeringen zien jullie als Rijkswaterstaat ten aanzien van:
 - Waterveiligheid
 - Natuur en landschap
 - Maatschappelijk draagvlak
 - Energie
 - Beheer en onderhoud

- Uit ons interview met een ontwikkelaar kwam de vraag naar voren hoeveel dijken daadwerkelijk geschikt zijn voor zon op dijken. Rekening houdend met de richting van de dijk, de hoeveelheid ruimte en de locatie van de dijken. Hoe kijken jullie daarnaar? Wat is daarover bekend?
- Uit de literatuur komt naar voren dat het beschadigen van de grasmat voor verschillende thema's het grootste risico voor falen van de dijk is. Hoe kijken jullie ernaar? Wat zien jullie als grootste risico voor de waterveiligheid?
- Wanneer is een dijk voor jullie sowieso niet geschikt om zonnepanelen op te plaatsen? Wanneer zien jullie kansen?
- Wat voor beheer en onderhoud werkt het beste met zon op dijken?
- Waaraan moeten PV-systemen minimaal voldoen vanuit het oogpunt van waterveiligheid?
- Uit de literatuur blijkt dat er vooral onderzoek is gedaan naar de flora en fauna in de buurt van de panelen. Wat is er bekend over de invloed van zon op dijken op grotere schaal? Bijvoorbeeld in omliggende natuurgebieden? Hebben jullie bij de Knardijk een toe of afname gezien?
- Hoe kijken jullie organisaties nu naar zon op dijken? Is er draagvlak binnen Rijkswaterstaat om door te gaan met zon op dijken? Waarom wel/niet?
- Hoe kijken jullie naar de huidige wet- en regelgeving? Is die toereikend of juist belemmerend voor het toepassen van zon op dijken? Welke rol speelt het ministerie van I&W in het onderwerp van zon op dijken? Is er maatschappelijk draagvlak voor?
- Zouden zon op dijken ook een positieve bijdrage kunnen leveren aan de stevigheid van dijken? Zo ja, hoe dan? Zo niet, waarom niet?
- Uit ons interview met de waterschappen kwam naar voren dat zon op dijken technisch wel kan, maar dat het simpelweg erg duur gaat worden. Hoe kijkt Rijkswaterstaat ernaar? Wat zijn de quickwins?
- Wat moet er verder onderzocht worden om zon op dijken toe te passen op de dijken van Rijkswaterstaat?

INTERVIEW VRIENDEN VAN MEINERSWIJK

Introducerende vragen

- Wat is uw eigen ervaring met zon op dijken?
- Welke ervaring heeft uw organisatie met zon op dijken?
- Welke kansen en uitdagingen bent u tegen gekomen bij de realisatie van zon op dijken?
- Wat hebben de projecten tot nu toe opgeleverd? Aan zowel kennis en ervaringen, als energie.
- Welke kennis/onderzoeken heeft u gebruikt/ gebruikt u bij de realisatie van zon op dijken?
- Wat maakt volgens jullie dat zon op dijken nog beperkt wordt toegepast?
- Welke kennisleemtes zijn er volgens jullie? Wat moet er nog onderzocht om zon op dijken op grootschalig niveau toe te passen?
- Welke overige kennisleemtes zijn er volgens u?

Thema-specifieke vragen

- Hoe kijkt VVM nu terug op de panelen van de Drielsedijk?
- Hoe is VVM betrokken in het proces?
- Wat zijn de belangrijkste zorgen?
- Wat zou VVM extra onderzocht willen hebben?
- Is er een scenario waarbij de zonnepanelen voor VVM wel oke zouden zijn? Zo ja, aan welke voorwaarden moeten de panelen dan voldoen?

- Op de Drielsedijk staan of stonden twee soorten panelen: verticale en horizontale panelen. Hoe kijken ze naar beide soorten? Wat zien ze als voor- en nadelen?
- Is het draagvlak voor zon op dijken veranderd binnen jullie organisatie? Waarom wel, waarom niet?
- Stel het project zou opnieuw beginnen: wat moet er volgens jullie dan eerst nog onderzocht worden?
- Zouden zon op dijken ook een positieve bijdrage kunnen leveren aan het gebied? Zo ja, hoe dan? Zo niet, waarom niet?
- Stel de opbrengst van de panelen zou naar het natuurgebied gaan: hoe staan jullie dan tegenover zonnepanelen op dijken?

BIJLAGE 3

OPLEGGER KENNISLEEMTES

Over het onderwerp zon op dijken heeft in verschillende vormen onderzoek plaatsgevonden. Tegelijk is er ook het een en ander nog niet bekend. Het aanvullend onderzoeken van deze zogenaamde kennisleemtes kan het toepassen van zon op dijken versnellen. Uit de afgenomen interviews zijn een aantal kennisleemtes naar voren gekomen. Deze kennisleemtes zijn in onderstaande bullets samengevat.

Verzekering: in de interviews is aangegeven dat zonneparken niet publiek toegankelijk mogen zijn om een verzekering te krijgen. Daarnaast is het nog niet bekend wie er verantwoordelijk is wanneer er schade optreedt aan de dijk door zonnepanelen

Randvoorwaarden: in de basis wordt aangegeven dat er veel potentie is voor zon op dijken, omdat dijken een groot deel van de oppervlakte in Nederland in beslag nemen. Echter zijn de dijken smal, lang en liggen dijken vaak op afgelegen plekken. Daarnaast moet een dijk een binnendijkse helling op het zuiden hebben én op maximaal 5 km afstand liggen van een aansluitpunt op het elektriciteitsnet. Hoeveel potentie van de dijken blijft over als er met een aantal basale randvoorwaarden rekening wordt gehouden is onbekend

Robuuste pilots: de pilots die tot nu toe gehouden werden vonden plaats op dijken die geen waterkerende functie hadden. Daarnaast hadden de pilots op een maximale doorlooptijd van 2 jaar. De lange termijneffecten van zon op dijken, zeker op dijken met een waterkerende functie, is daarmee onbekend en vormt een te groot risico voor ontwikkelaars om in te investeren

Beleid: sommige waterschappen, zoals het Wetterskip Fryslan, hebben al beleid over het toepassen van zon op dijken. Maar het grootste deel van de waterschappen heeft nog geen (overkoepelend) beleid hoe om te gaan met zon op dijken

Monitoring: het toepassen van zon op dijken vergt continue monitoring. Dit is nodig om goed inzicht te krijgen in het beheer en onderhoud van zowel de zonnepanelen, als de onderliggende dijk. Hoe deze monitoring het beste plaats kan vinden en wie er verantwoordelijk is, is nog niet bekend

Kosten: het toepassen van zon op dijken is duurder dan het toepassen van zon op land en/of daken. Hoeveel duurder (bijvoorbeeld per m² zonnepaneel) is niet bekend. Een analyse van de kosten en opbrengsten van een gemiddeld m² zonnepaneel op dijken en deze te vergelijken met de kosten en opbrengsten van zon op land en/of zon op dijken, helpt inzicht te geven bij welke situaties en energieprijzen zon op dijken financieel interessant gaat worden

Beheer en onderhoud: uit de pilots komt naar voren dat beheer en onderhoud een aandachtspunt is voor zon op dijken. Zon op dijken zorgt voor veel meer objecten op dijk die risico's met zich meebrengen. Uit de interviews kwam daarnaast naar voren dat er aanvullend op regulier onderhoud, rekening moet worden gehouden met de verschillende levensduren van de zonnepanelen versus de dijken. Een paneel heeft een levensduur van 15 jaar en een dijk een levensduur van 75 jaar. Welke (financiële) gevolgen dit extra onderhoud met zich meebrengt is onbekend. Daarnaast is er ook op dit onderwerp nog onduidelijkheid over wie waar verantwoordelijk voor is

Waterstromen: het wordt steeds natter 'en droger in Nederland. Daarmee verandert ook de conditie van de dijken. Wanneer zonnepanelen worden toegepast, centreren waterstromen

zich doordat het regenwater van de panelen afloopt. Zeker bij grote buien, ontstaan hierdoor waterstromingen en geulen die voor extra onderhoud en risico zorgen. Wanneer de grond onder de panelen daarnaast extra gevoelig is geworden voor droogte ontstaat een cumulatie van risico's. Wat voor extra risico's dit met zich meebrengt 'en wat mitigerende maatregelen kunnen zijn is nog onbekend

Aanvullend op de interviews is er op het concept van voorliggende rapportage schriftelijke feedback gegeven door de begeleidingscommissie. Uit de feedback zijn aanvullend de volgende kennisleemtes naar voren gekomen.

Businesscase: de huidige rapportage geeft nog weinig inzicht in de businesscase van zon op dijken. In de onderzochte artikelen wordt hier niet tot nauwelijks aandacht aan besteed. Voor het toepassen van zon op dijken is het van belang dat de (extra) gemaakte kosten uiteindelijk worden terugverdiend. Extra onderzoek is nodig om de haalbaarheid inzichtelijk te maken

Droogte: de meeste onderzoeken richten zich op wat er gebeurt als de dijk te nat wordt. Oorzaken hiervan kunnen neerslag, maar ook overslag van het buitendijkse water zijn. Tegelijk met dat het in Nederland steeds natter wordt, wordt het in periodes ook steeds droger. Hoe PV-systemen en de onderliggende grond reageren bij droogte is onbekend

Samenstelling grassen en kruiden: bij de meeste onderzoeken wordt uitgegaan dat de onderliggende bekleding uit gras bestaat. Het toevoegen van kruiden die dieper wortelen zouden bij kunnen dragen aan de robuustheid van de bekleding. Hoe PV-systemen en hun schaduw een positieve bijdrage kunnen leveren aan de grasbekleding, kruiden en de diversiteit van soorten op dijk is onbekend

Beheer en onderhoud PV-systemen: de meeste artikelen richten hun aandacht op het beheer en onderhoud van de dijken. PV-systemen hebben echter zelf ook onderhoud nodig. Welke randvoorwaarden aan zon op dijken gesteld moet worden voor onderhoud aan de PV-systemen zelf is onbekend

PV-systemen op harde bekleding: het grootste deel van de pilots gaat uit van een situatie dat er grasbekleding onder de panelen ligt (de pilot met Afvalzorg en Delmeco uitgezonderd). PV-systemen op harde bekleding lijkt ook kansrijker, omdat de PV-systemen de bekleding dan minder kunnen beschadigen. Tegelijk is er ook minder ervaring mee

Verwijderen PV-systemen in crisissituaties: in een crisis-situatie moeten de panelen makkelijk toegankelijk én te verwijderen zijn. In het ergste geval moeten de panelen in één keer met een shovel weg te halen zijn. Of dat veilig mogelijk is, is onbekend

BIJLAGE 4

QUICKSCAN WATERVEILIGHEIDSASPECTEN

Zie volgende pagina

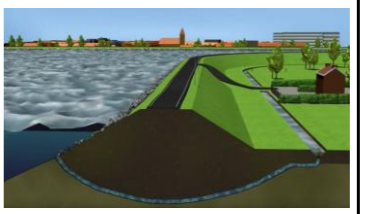
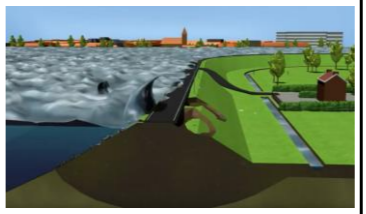
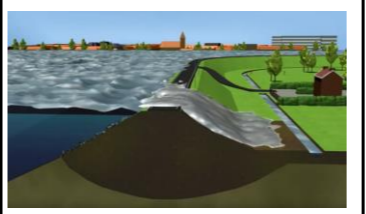
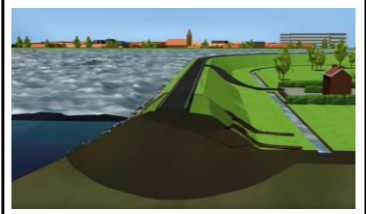
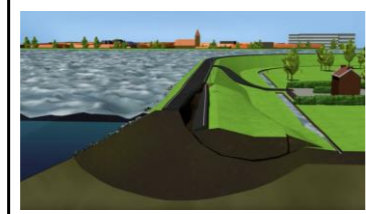
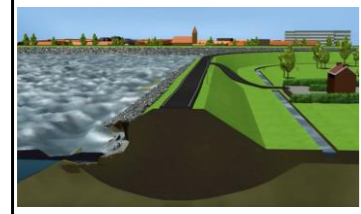
Resultaten quickscan waterveiligheidsaspecten - Zon op Dijk



Deze matrix geeft de resultaten weer van een quickscan naar de mogelijke invloed van PV-systemen op de waterveiligheidsaspecten van keringen. Deze matrix is opgesteld ten behoeve van het consortium in oprichting "Zon op Dijk" alsook voor gerelateerde lopende of toekomstige projecten gerelateerd aan de energietransitie. De belangrijkste toetsporen om gedurende verder onderzoek rekening mee te houden zijn *Dijken en Dammen, Bekleding, Voorland* en *Niet-Waterkerende Objecten*. Onderstaande matrix is opgesteld voor de primaire keringen. Dezelfde redenering geldt ook voor regionale keringen, echter zijn dan alleen meer- en rivierkeringen van toepassing.

Type Dijk*	Primaire kering																														Overige aandachtspunten en adviezen n.a.v. de quickscan:								
	Waterzijde										Landzijde**										Niet van toepassing																		
	Zee					Meer					Rivier					Zee						Meer					Rivier					Mogelijk interessant							
	Klei			Zand		Veen			Klei			Zand		Veen		Klei			Zand			Veen		Klei			Zand		Veen				Advies voor scope proeven						
	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras		Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras				Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras	Hard doorlatend	Hard ondoorlatend	Gras
Dijk bekleding																															*Type dijk, dus geen duinen								
																														**Landzijde = binnenzijde en kruin									
Door PV-systeem beïnvloede faalmechanisme (WBI)	1. Bekleding	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	1.1	1.2	1.3	→ Inventarisatie kilometers dijken - n.a.v. deze quickscan en de naar voren gekomen onderzoeksvragen lijkt het zinvol te zijn om een nadere inventarisatie te doen naar kilometers beschikbare dijken op bases van de hiernaast genoemde categorieën. → Kosten voor verplaatsen, weghalenen of aanpassen wanneer de dijk reconstructie plaatsvindt. Anders haalt de aannemer ze weg en worden ze gesloopt. Adaptieve constructie is wenselijk → Zullen de kabels in of op de kering geplaatst worden? Als een kabel breekt dan is reparatie nodig. Wanneer deze kabel in de kering ligt, dan moet er een gat gevuld worden. Voorkeur gaat daarom uit naar kabels boven de kering. → Wat is de invloed op stabiliteit van kering door plaatsing en zettingen van (trafo)stations waar delen van panelen op aansluiten en voertuigen die e.e.a. moeten plaatsen of ontgravingen voor kabels. → Wat zijn de ruimtelijke plannen en maatschappelijke ontwikkelingen rondom de kering in kwestie? Is het plaatsen van PV-systemen beperkend voor andere bestaande of nieuwe functionaliteiten? Ligt de kering in de buurt van de afnemer van de opgewekte energie?	
	2. Macro-instabiliteit binnenwaarts	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1		
	3. Macro-instabiliteit buitenwaarts	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2		3.2
	4. Micro-instabiliteit	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1		
	5. Overloop	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1		
	6. Overslag	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1		
	7. Piping	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1		
	8. Instabiliteit vooroever	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1		

Toelichting:						
Bekleding	Macro-Instabiliteit binnen- en buitenwaarts	Micro-instabiliteit	Overloop & Overslag	Piping	Instabiliteit vooroever	
<p>1.1 Hard doorlatend betreft steenbekleding: zie opmerkingen bij Algemeen</p> <p>1.2 Hard ondoorlatend betreft asfalt bekleding. Aansluiting van de constructie bij asfalt is een risico punt. Beheerder mag de beoordeling pas in als er geen asfalt scheuren zijn. Hoe wordt asfalt bekleding beheert, en hoe wordt omgegaan met reparaties, veroudering en belasting? Mogelijke integratie; asfalt bekleding die energie opwekt (dan is het een waterkerend object).</p> <p>1.3 Wat betreft grasbekleding: Wat is de invloed van PV systeem op de gras kwaliteit (door schaduw en geconcentreerde regenwaterafstrom) en de maaibaarheid van de keringen tijdens droge en natte periodes?</p> <p>1.4 Alle bekleding die in het WBI zitten zijn bekleding aan de waterzijde.</p> <p>Algemeen: Infiltratie van regenwater kan alleen daar waar geen panelen staan; Hoe beïnvloedt dit de freatische lijn in de dijk? De funderingen van de panelen: panelen staan meestal op 'tafels' die met korte schroefpaaltjes (ca 1m in de grond) vast staan. Mag die meter kapot gaan als bijvoorbeeld door te harde wind paaltjes de grond uit worden getrokken?</p>	<p>2.1 en 3.1 Macroinstabiliteit binnenwaarts is alleen maar relevant aan landzijde van de kering/ Macroinstabiliteit buitenwaarts is alleen maar relevant aan de waterzijde van de kering.</p> <p>2.2 en 3.2 De verwachte invloed van PV systemen op dit mechanisme is afhankelijk van het gewicht en (wind) belasting van de constructies, en de daarbij horende ontgronding. Dit zijn wel relevante vragen, maar verwacht wordt dat dit geen belemmering is of eenvoudig op te vangen.</p>	<p>4.1 Microstabiliteit treedt op aan de landzijde van de kering.</p> <p>4.2 Meeste relatie met dit faalmechanisme zit meegenomen in vraagstelling rondom bekleding (1.1-1.4) maar is in dit geval van toepassing aan de landzijde van de kering.</p> <p>Algemeen: De invloedzone van de PV systemen is (hier gedefinieerd als) het gedeelte van de waterkering waar de PV systemen invloed hebben op de stabiliteit van de kering. Hoe groot is de invloedzone van verschillende PV-systemen?</p>	<p>5.1 en 6.1 Overloop en Overslag wordt aan de binnenzijde van de dijk bekeken (anders valt het onder bekleding aan de waterzijde)</p> <p>5.2 en 6.2 Meeste relatie met dit faalmechanisme zit meegenomen in vraagstelling rondom bekleding (1.1-1.4). Betreft in dit geval een grasafschuiving binnenwaarts</p>	<p>7.1 Wat is de invloedzone van de PV-systemen in/op de kering wanneer deze geplaatst zijn tussen de binnenteen en buitenteen. Hoe groot (of klein) mag deze invloed zone zijn om geen invloed te hebben op het piping proces? Zie ook opmerking Algemeen bij Micro-instabiliteit</p>	<p>8.1 Eigenschap van de vooroever is dat deze vaak onderwater ligt. Geschiktheid van zonnepanelen is erg afhankelijk van de constructie (bijvoorbeeld drijvende panelen of wanneer panelen geschikt zijn om onder water te staan). En ook alleen maar relevant wanneer deze locatie niet een natuurgebied is.</p> <p>8.2 Vooroever ligt per definitie aan de waterzijde van de kering, dus landzijde niet van toepassing.</p> <p>Algemeen: Kwestie natuurgebied (vaak horend bij dit faalmechanisme) is natuurlijk breder toepasbaar.</p>	
<p>Bekleding: Door golven en stroming kan de bekleding van een dijk beschadigd raken. Vervolgens tast erosie de dijk verder aan en kan deze bezwijken.</p>	<p>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.</p>	<p>Bij macro-instabiliteit buitenwaarts kan een dijk bij een snelle daling of een lage waterstand aan de rivierzijde in elkaar zakken (afschuiven) door een te hoge waterdruk in de dijk na hoogwater of bij veel regen (dit mechanismen leidt niet tot overstroming).</p>	<p>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.</p>	<p>Bij overloop kan de dijk worden beschadigd door grote hoeveelheden water die over de te lage dijk stromen</p>	<p>Bij overslag kan de dijk worden beschadigd door golven die bij veel wind over de dijk slaan.</p>	<p>Instabiliteit vooroever: Door aantasting van de vooroever, het gedeelte vanaf de laagwaterlijn tot de bodem, kan de dijk aan de rivierzijde in elkaar zakken.</p>
<p>Oprichtgever: RWS - CIP cluster Ruimte en Duurzaamheid</p> <p>Projectleider: Dhr M. Erbeveld</p>			<p>Opdrachtnemer: Deltares</p> <p>Projectleider: Mevr L. Huesken</p>		<p>Versie 1.0 - 10 december 2018</p>	



BIJLAGE 5

FAALMECHANISMEN PER POSITIE VAN DE DIJK

Zie volgende pagina

Bijlage 2: Quick scan effecten/aandachtspunten voor hoogwaterveiligheid bij toepassing zonne-energie op waterkeringen
 Specifieke aandachtspunten zonne-energie gerealiseerd aan dijktipe, positie in de dijk, faalmechanisme en type techniek

Zee- en meerdijken (Wakerdijken en Meerdijken)

Dijktipe (uit dijkatlas):
Variant constructietype:

Dijkpaneel, alternatieve bekleding

Criteria / faalmechanisme:	Positie in de dijk:					
	buitentalud golflslagzone (verhard)	evt. buitenberm (verhard)	buitentalud golfploop zone (onverhard)	kruin	binnentalud	evt. binnenberm
Hoogte (HT); golflslag, overloop en overslag	Gelet op de meestal forse golven / kruierend ijs speelt het risico van stukslaan. Daarnaast hebben zonnepanelen door gladde oppervlak weinig golfremming	Gelet op de meestal forse golven / kruierend ijs speelt het risico van stukslaan. Daarnaast hebben zonnepanelen door gladde oppervlak weinig golfremming	Zonnepanelen hebben door gladde oppervlak weinig golfremming. Hierdoor kan golfploop toenemen en dus hoogteopgave kruin.	bij goede inpassing / aansluiting met grasbekleding met bijv. scherm, folieaansluiting en kleikoffer beperkt risico. Positief als vervangende bekleding (gesloten constructie)	bij goede inpassing / aansluiting met grasbekleding met bijv. scherm, folieaansluiting en kleikoffer beperkt risico. Positief als vervangende bekleding (gesloten constructie)	bij goede inpassing / aansluiting met grasbekleding met bijv. scherm, folieaansluiting en kleikoffer beperkt risico. Positief als vervangende bekleding (gesloten constructie)
Instabiliteit door infiltratie en overslag bekleding, instabiliteit bekleding buitentalud, micro instabiliteit (STBK, STMI)	Gelet op de meestal forse golven / kruierend ijs speelt het risico van stukslaan. Daarnaast hebben zonnepanelen door gladde oppervlak weinig golfremming	Gelet op de meestal forse golven / kruierend ijs speelt het risico van stukslaan. Daarnaast hebben zonnepanelen door gladde oppervlak weinig golfremming	Aandachtspunt is opdrukken bekleding; uit te voeren als open constructie vraagt complex ontwerp	bij goede inpassing / aansluiting met grasbekleding met bijv. scherm, folieaansluiting en kleikoffer beperkt risico/ positief. Wel aandacht hebben voor ontwatering dijklchaam (freatisch grondwater)	bij goede inpassing / aansluiting met grasbekleding met bijv. scherm, folieaansluiting en kleikoffer beperkt risico/ positief. Wel aandacht hebben voor ontwatering dijklchaam (freatisch grondwater)	bij goede inpassing / aansluiting met grasbekleding met bijv. scherm, folieaansluiting en kleikoffer beperkt risico/ positief. Wel aandacht hebben voor ontwatering dijklchaam (freatisch grondwater)
Piping en Heave (STPH)	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico
Macrostablieit binnenwaarts (STBI)				Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen positieve bijdrage (minder verweking). Wel aandacht hebben voor ontwatering dijklchaam (freatisch grondwater)	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen positieve bijdrage (minder verweking). Wel aandacht hebben voor ontwatering dijklchaam (freatisch grondwater)	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen positieve bijdrage (minder verweking). Wel aandacht hebben voor ontwatering dijklchaam (freatisch grondwater)
Macrostablieit buitenwaarts, instabiliteit voorland (STBU, STVL)	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico	Bij voorkomen interactie met grondwater/relevante grondlagen geen risico		
Beheer en onderhoud	aansluitingen blijvend inspectiepunt en maatwerk onderhoud	aansluitingen blijvend inspectiepunt en maatwerk onderhoud	aansluitingen blijvend inspectiepunt, wegvallen onderhoud grasbekleding	aansluitingen blijvend inspectiepunt, wegvallen onderhoud grasbekleding.	aansluitingen blijvend inspectiepunt, wegvallen onderhoud grasbekleding	aansluitingen blijvend inspectiepunt, wegvallen onderhoud grasbekleding
Toegankelijkheid en inspecteerbaarheid	kan concurreren met betreding/toegang buitenwater/voorland	kan concurreren met rijroute onderhoud en/of recreatief medegebruik	waarschijnlijk beperkt	Aandachtspunt is dat dijk toegankelijk blijft voor bijv. inspectie	waarschijnlijk beperkt	kan concurreren met rijroute onderhoud en/of recreatief medegebruik

Met juist ontwerp een positief effect
 neutraal effect / compensatie mogelijk
 Afhankelijk van situatie aandachtspunt/negatief
 Negatief