

Openbaar eindrapport project DRIVER



Projectnummer

DEI5919007

Projecttitel

DRIVER: 'DRIJvende zonne-systemen met behoud van watERkwaliteit'

Penvoerder en deelnemers

EasyFix Solar (handelsnaam van Praxiz BV)

Renergize Consultancy

NIOO-KNAW

WUR/de Marke

ROM3D



Projectperiode

07.01.2020 - 31.12.2024

Auteurs

Dr. W. Eerenstein (Renergize Consultancy) en Dr. S. Teurlincx (NIOO-KNAW)

Contactgegevens

email: info@renergize.nl

telefoon: 0636429735

Datum Rapport

26.03.2025

Inhoud

Samenvatting	3
Inleiding	5
Doelstelling	7
Resultaten	8
Projectresultaten.....	8
Knelpunten	17
Perspectief voor toepassing	18
Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling	19
Spin off binnen en buiten de sector	20
Presentaties en Publicaties	21
Contact en verdere informatie	21

Samenvatting

Project DRIVER is een samenwerking tussen EasyFix Solar (pervoerder en leverancier van onderconstructies), Renergize Consultancy (advies, analyse en uitvoerend projectmanagement), NIOO (metingen en analyse waterkwaliteit), Proefboerderij De Marke (locatie eigenaar) en Rom3D (visualisaties en berekeningen beschikbaar wateroppervlak).

In project DRIVER zijn drie drijvende pilot opstellingen geplaatst op de Markerplas bij Hengelo (GLD). Deze drie opstellingen verschillen in lay-out, waardoor er verschillende licht- en lucht doorlaatbaarheid naar het water is. Bij de drie testopstellingen zijn metingen gedaan aan de stroomproductie en aan de waterkwaliteit. Deze metingen omvatten: concentraties O₂, CH₄ en CO₂, temperatuur van de waterkolom, licht in het water onder de systemen, nutriënten concentraties en organische stof opbouw. Deze gegevens zijn tevens input voor een model, waarmee de verwachte impact van grootschaliger projecten berekend kan worden. Daarnaast is een uitgebreide marktstudie uitgevoerd, met businesscase berekeningen, potentie voor grootschalige uitrol in Nederland en acceptatie aspecten door relevante partijen, als ook een LCA analyse.

De CO₂ footprint van drijvende zonnepanelen is een factor 7 keer lager dan de CO₂ footprint van stroom uit het elektriciteitsnet. Een eventuele extra CO₂ uitstoot t.g.v. het watersysteem zelf (bv door afbraakproducten zoals CH₄), is verwaarloosbaar. Hiermee vormen drijvende zonnepanelen een goede optie om de elektriciteitsvoorziening in Nederland te verduurzamen.

De gemiddelde temperatuur van de panelen over een heel jaar is voor het meest dichte systeem 1 graad hoger dan voor de meer open systemen. Op warme dagen loopt dat verschil op tot 2.3 graden. De verwachte meeropbrengst in stroom op jaarbasis voor open systemen is daarmee 0.35-0.8% t.o.v. gesloten systemen met minder ventilatie.

Metingen van de waterkwaliteit laten zien dat zelfs deze kleine opstellingen al tot een meetbaar effect hebben geleid over drie jaar. Dit effect is vooral te zien in sedimentatie (het bezinken van deeltjes in het water) die hoger is onder panelen, afname van zuurstof dicht bij de bodem, en verhoogde methaanemissie onder de panelen. Qua klassieke waterkwaliteitsmetingen zoals algenbiomassa of nutriënten wordt weinig effect gezien, waarschijnlijk doordat het water goed kan mengen. Lichtdoorlaatbaarheid is sterk wisselend tussen de opstellingen, wat effect heeft op de primaire productie in het water, productie van zuurstof (en binding van CO₂) door algen en planten. Respiratie is hoger op het controlepunt, wat mogelijk duidt op een grotere hoeveelheid aanwezige hogere organismen zoals insectenlarven of wormen dan onder de panelen. Opschaling van de resultaten aan de hand van modelberekeningen laten zien dat PV bedekking vanaf 15% voor het dichte en 20% voor de twee open systemen kan leiden tot een duidelijke verandering van het watersysteem met verlies van plantengroei in de oevers, afname van zuurstof in diepere waterlagen en een omslag van een netto koolstof opslaand watersysteem naar een water dat netto koolstof uitstoot.

Er is berekend wat de uitrol potentie van de drijvende systemen zou kunnen zijn, door in de Nederlandse database voor binnenwateren geschikte wateroppervlakten te selecteren. In alle 12 provincies is dan in totaal 7485 ha aan geschikt wateroppervlak, wat met een open systeem een vermogen van 12.5 GWp met zich meebrengt.

Het DRIVER systeem vergt nog een hogere investering dan gangbare grootschalige drijvende systemen, dit komt doordat de toegepaste drijvers (pontons) nog niet voldoende schaalbaar geproduceerd worden.

Voor acceptatie door de markt zijn de volgende randvoorwaarden van belang:

Aandachtspunt	Toelichting
Ontwerp voor behoud waterkwaliteit	Gemeente geeft vergunning uit, vraagt Waterschap om advies en waterschap geeft watervergunning indien het om een publiek waterlichaam gaat. Unie van waterschappen heeft een handreiking opgesteld ¹ met algemene punten, het is aan een lokaal waterschap zelf om beleid op te stellen. Een aantal waterschappen hebben eisen gesteld omtrent monitoring van de waterkwaliteit en zelfs eventuele aanpassing van het systeem indien de impact te groot is (te grote achteruitgang).
Financierbaarheid/bankability	Grootschalige projecten hebben doorgaans 80% vreemd vermogen. Financiers eisen 'proven technology', zij willen geen risico lopen op technische mankementen. Om in de markt te komen kan de leverancier dan garantie geven voor de duur van het project. Belangrijk om op voorhand aan te tonen welke golfslag gegarandeerd wordt, plus onderbouwing daarvan (door leverancier).
Veranderende weersomstandigheden	Voor toepassing op grote, open wateren dient rekening gehouden met zwaardere weersomstandigheden en kans op overstroming, waardoor ook grote objecten (auto, caravan) in het water terecht kunnen komen en tegen het systeem kunnen botsen.
Onderhoud	Het is belangrijk om aan te tonen dat er weinig onderhoud nodig is, en als het nodig is dat alle panelen makkelijk bereikbaar zijn.

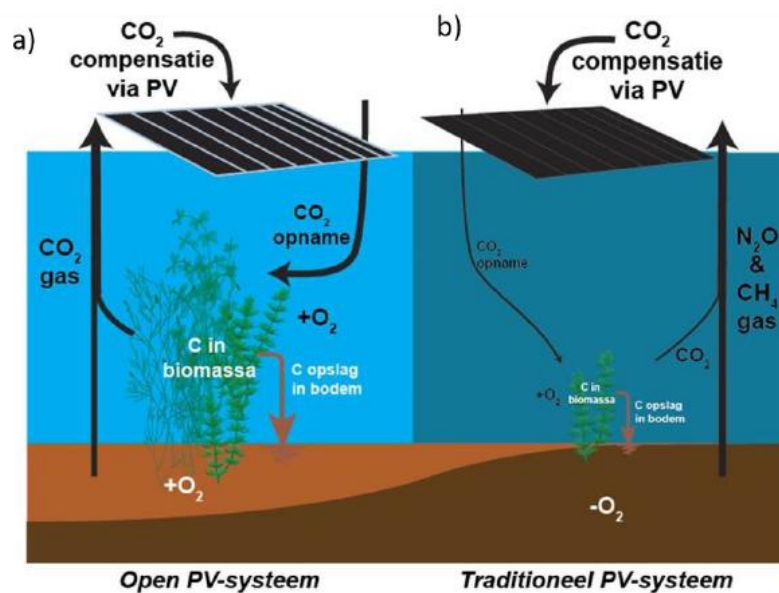
¹ Unie van waterschappen, Handreiking Zon op Water, 2022:
<https://unievanwaterschappen.nl/publicaties/handreiking-zon-op-water/>

Inleiding

Nederland heeft ambitieuze doelstellingen met betrekking tot het verduurzamen van de energievoorziening. Zo moet in 20250 de energievoorziening bijna helemaal duurzaam en CO₂-neutraal zijn². Om dit te halen moet er tegen die tijd 180-200 GWp aan zonne-installaties gerealiseerd zijn. Op dit moment is er in Nederland voor bijna 24 GWp aan zonnepanelen geplaatst³. Dit betekent dat er nog ruim 9 keer zo veel zonnepanelen geplaatst moeten worden.

Nederland worstelt echter met het vinden van voldoende ruimte om dit aantal zonnepanelen te plaatsen. Het beschikbare dakoppervlak is niet voldoende en de overheid heeft grondgebonden zonneparken zonder multifunctionele component aan banden gelegd⁴. Dit betekent dat drijvende zonneparken kansrijk zijn. Nederland beschikt over veel wateroppervlak en met het plaatsen van drijvende zonneparken zou een belangrijke bijdrage aan de doelstellingen voor 2050 geleverd kunnen worden.

Er is momenteel echter nog weinig bekend over de lange termijn effecten van drijvende zonneparken op de waterkwaliteit en ecologische waarden. De aanwezigheid van de drijvende zonneparken kan er voor zorgen dat minder licht het water bereikt. Ook kan de menging van lucht in het water veranderen. Deze effecten kunnen ervoor zorgen dat er minder algen groei of plantengroei is, en minder zuurstof in het water aanwezig is. Indien organisch materiaal op de bodem sneller afbreekt onder de zonneparken kan er daardoor meer CH₄ en N₂O (afbraakproducten) vrijkomen. Voor een meer open zonnepark kunnen deze effecten anders zijn dan voor een zeer dicht systeem. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1. Mogelijke effecten van drijvende zonneparken: minder licht en lucht menging, minder groei van algen en snellere afbraak van organisch materiaal. Deze effecten beïnvloeden de O₂ en CH₄ concentraties in het water, wat weer van belang is voor het waterleven.

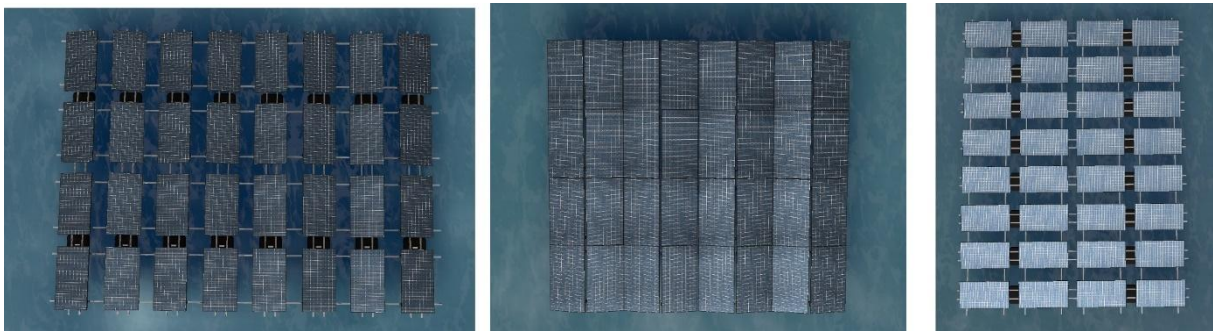
² <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/meer-duurzame-energie-in-de-toekomst>

³ <https://www.energystoragenl.nl/nederland-groeit-uit-tot-wereldkampioen-zonne-energie-combinatie-met-opslag-wordt-belangrijker/>

⁴ <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2023/10/26/rijk-en-medeoverheden-nee-tenzij-voor-zonnepanelen-op-landbouw--en-natuurgronden>

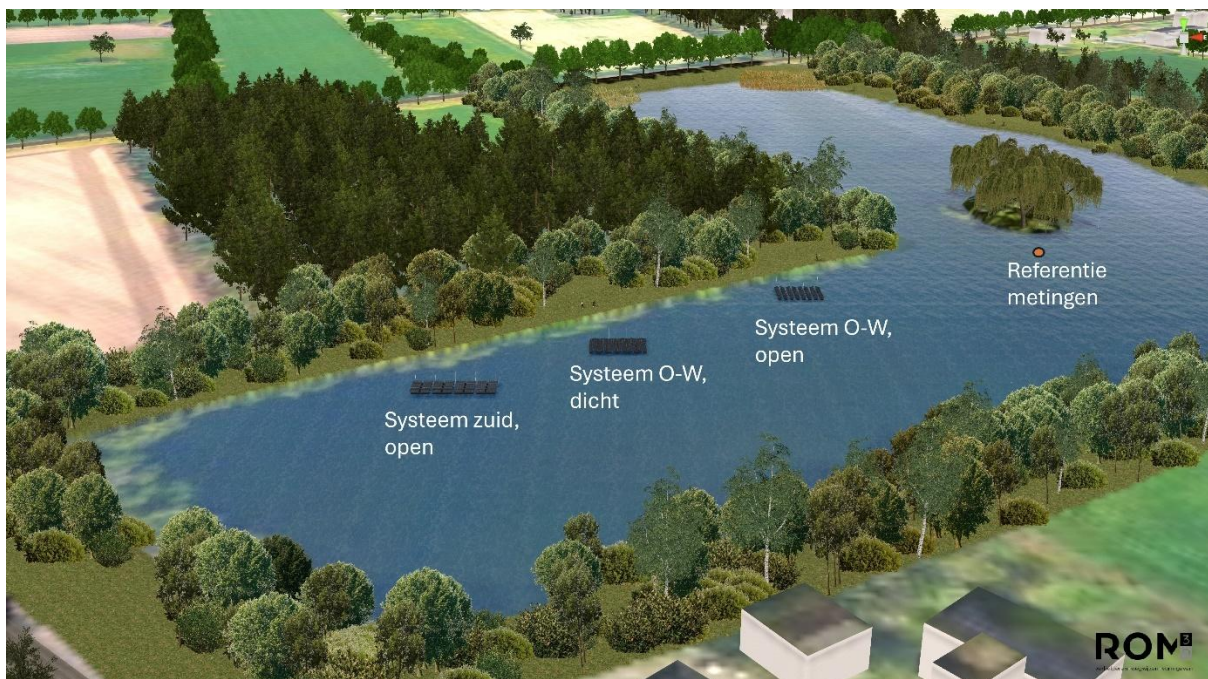
In het DRIVER project worden daarom 3 verschillende drijvende zonnepanelen systemen geplaatst, die verschillen in de hoeveelheid licht en lucht die doorgelaten wordt naar het water. De impact op water temperatuur, nutriënten, concentraties zuurstof (O_2), CO_2 , NH_4 en N_2O worden voor een periode van 3 jaar gemeten. De resultaten worden verwerkt in een model, waarmee ook berekend kan worden wat de effecten van een grootschalig systeem op de waterkwaliteit gaan zijn.

De systemen zijn geplaatst op de Markeplas, dit is een voormalige zandwinplas naast Proefboerderij De Marke, nabij Hengelo in Gelderland. Om verschillen in licht en lucht doorlaatbaarheid te creëren, zijn de drie systemen zoals weergegeven in Figuur 2 geplaatst.



Figuur 2. De drie testsystemen, bestaande uit 4x8 panelen. Links: oost-west georiënteerd systeem met afstand tussen de panelen. Midden: oost-west georiënteerd systeem zonder afstand tussen de panelen. Rechts: zuid georiënteerd systeem met afstand tussen de panelen.

Bij alle drie de systemen zijn dezelfde sensoren geplaatst, tevens is er op een locatie nabij het midden van de plas een paal geplaatst waar ook sensoren aan vastgemaakt zijn, dit is de referentielocatie, zoals weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3. Overzicht van de drie testsystemen op de Markeplas, en de locatie van de referentiemetingen.

Doelstelling

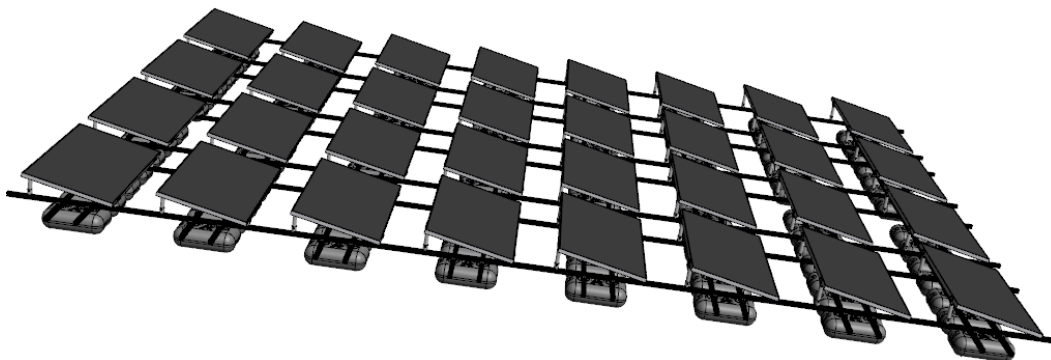
Het hoofddoel van project DRIVER is om aan te tonen dat een drijvend zonnestelsel van EasyFix Solar met voldoende lucht- en licht-doorlaatbaarheid richting het water geen negatieve impact heeft op de waterkwaliteit en het waterleven, en dat een kosteneffectieve oplossing bereikt kan worden. Tevens is het doel om praktijkervaring op te doen met de installatie en de stabiliteit van de opstelling te testen. Daarnaast is het doel om vast te stellen wat de relatie is tussen acceptatie, vergunningen en kennis over de impact op waterkwaliteit en mogelijkheden tot landschappelijke inpassing.

Het DRIVER systeem is het enige drijvende zonnestelsel dat mogelijkheden biedt om de inrichting per locatie aan te passen, en eventueel bij te stellen indien dat toch nodig is vanuit het oogpunt van waterkwaliteit.

In dit project worden drie verschillende opstellingen geplaatst, en wordt de impact op waterkwaliteit over een periode van 3 jaar gemeten. Indien nodig kan het systeem aangepast worden op de volgende punten:

- Afstand tussen de pontons is instelbaar, waardoor meer open ruimte tussen de panelen gecreëerd kan worden.
- Hoogte van de panelen is instelbaar tussen 20 en 70 cm vanaf de pontons, hierdoor kan ook de hoeveelheid licht en lucht naar het water gevarieerd worden.
- Hellingshoek van de panelen is instelbaar tussen 10 en 30 graden

Een schematische tekening van de zuid opstelling is weergegeven in Figuur 4, door de draagbuis tussen de pontons te verlengen of verkorten kan de afstand tussen de panelen (de open ruimte tussen de panelen) ingesteld worden.



Figuur 4. Zij aanzicht van de zuid opstelling, de panelen worden bevestigd op pontons (drijvers), de afstand tussen deze pontons, en daarmee de open ruimte in het systeem, kan gevarieerd worden.

Deze opties om de open ruimte en de hoeveelheid licht en lucht die bij het water komt te kunnen variëren, is uniek aan het systeem van EasyFix Solar.

Resultaten

In dit hoofdstuk zullen de belangrijkste projectresultaten beschreven worden, als ook de knelpunten en het perspectief voor toepassing van de resultaten.

Projectresultaten

Constructie

De constructie is mechanisch getest en gesimuleerd voor belasting bij windkracht 12, de doorbuiging en spanning in de constructie is bij het juiste ontwerp ver beneden de uiterste waarden van het materiaal. In de praktijk is het systeem ook niet kapot gegaan nadat een zware tak op een hoek van het systeem was gevallen.



Het systeem was makkelijk op te bouwen op de oever en met een boot met elektromotor op de juiste plek te brengen.



De volgende benaming wordt toegepast bij alle meetresultaten:

Veld 1 = O-W, open

Veld 2 = O-W, dicht

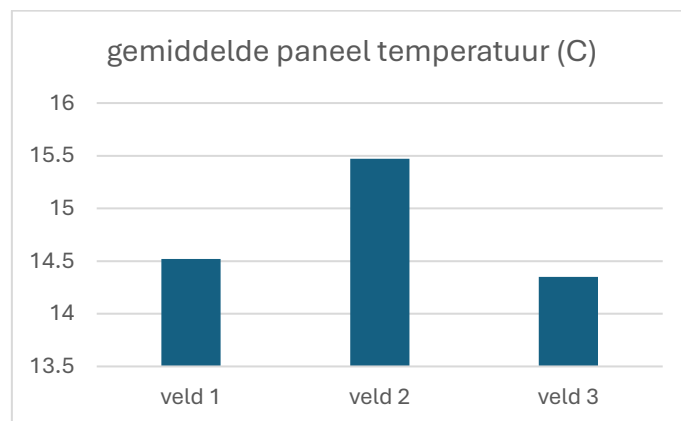
Veld 3 = Zuid, open

Temperatuur

De temperatuur is gemeten op de panelen zelf, en van de lucht onder de panelen, middels het plaatsen van een sensor die op de onderkant van het paneel geplakt is, en door het plaatsen van een sensor die vrij hangt aan de onderconstructie.



De gemiddelde paneeltemperatuur over de gehele meetperiode (27.09.2023 – 02.12.2024) is weergegeven in onderstaande figuur. Voor het meest dichte systeem (veld 2) is de gemiddelde paneeltemperatuur 1 graad hoger dan bij veld 1 (O-W open) en 1.1 graad hoger dan bij veld 3 (zuid, open). Een hogere paneeltemperatuur van 1 graad zou overeenkomen met een lagere stroomproductie van 0.35% (de temperatuur coëfficiënt van hedendaagse zonnepanelen is -0.35, wat wil zeggen dat per graad Celcius dat een paneel warmer wordt, de geleverde energie met 0.35% afneemt). Dit verschil in temperatuur en vermogen is niet heel groot.



De gemiddelde temperatuur is over de gehele meetperiode weergegeven, d.w.z. ook 's nachts en in de winter, wanneer het verschil wellicht lager is dan op zonnige dagen als er veel productie is. Daarom is ook de temperatuur op een aantal zonnige dagen geanalyseerd. Bij veld 2, het O-W dichte systeem is de gemiddelde paneeltemperatuur 1.3 graad hoger dan bij veld 1 (O-W open) op 30.07 en 2.3 graad hoger op 11.08. Het is hiermee aannemelijk dat het temperatuurverschil op een zonnige dag niet hoger zal zijn dan 2.3 graden, het verschil in geleverde energie zou daarmee maximaal 0.8% zijn ($2.3 * 0.35$). De maximale paneeltemperatuur komt nooit boven de 60 graden uit, dit is gunstig voor de levensduur.

Potentie voor uitrol

Om een beeld te krijgen van de potentie op welke schaal deze technologie toegepast kan worden, is gekeken hoeveel oppervlak aan binnenwateren er in Nederland geschikt is. Grote wateren met een connectie met de zee (zoals bv het IJsselmeer of de Westerschelde) zijn niet meegenomen omdat deze wateren andere eisen stellen aan de constructie dan die in dit project getest worden. Er is geanalyseerd hoeveel geschikte wateroppervlakken er zijn per provincie, door in de database een aantal criteria toe te voegen. Zo zijn wateren die als vaarroute gebruikt worden niet meegenomen, en Natura2000 gebieden ook niet. Tevens dient het water groot genoeg te zijn om de zonnepanelen minimaal 10 m uit de rand te kunnen plaatsen en moet het oppervlak dat dan overblijft minimaal 1 ha groot zijn. Hieruit is onderstaande tabel gekomen:

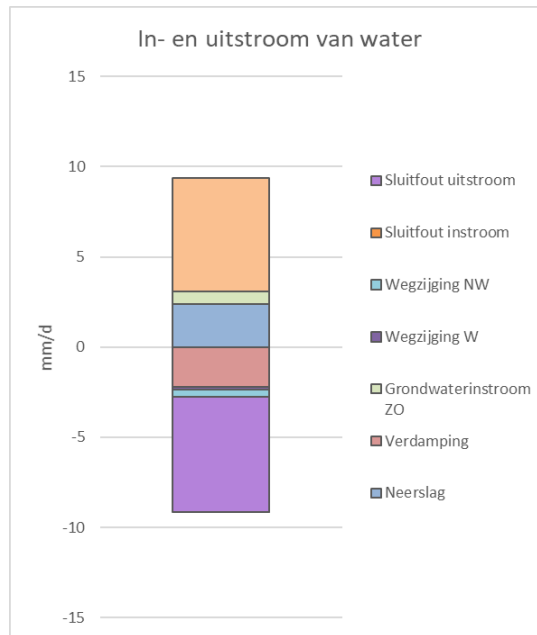
Rijlabels	Aantal geschikte wateren	Oppervlakte, ha
Drenthe	71	503.8
Flevoland	18	102.7
Fryslân	218	1614.9
Gelderland	133	832.6
Groningen	116	666.1
Limburg	56	298.6
Noord-Brabant	122	1105.6
Noord-Holland	71	343.8
Overijssel	113	734.8
Utrecht	33	180.9
Zeeland	30	262.4
Zuid-Holland	134	838.6
Eindtotaal	1115	7484.8

In totaal is er in Nederland dan ruim 7484 ha geschikt oppervlak aan binnenwateren. Bij een vermogensdichtheid van 167 Wp/m² (paneelprojectie per m² wateroppervlak plus tussenruimte) is het totale te plaatsen vermogen op de geschikte wateroppervlakken dan 12.5 GWp. Dit is ongeveer gelijk aan de helft van de totale hoeveelheid zonnepanelen die tot begin 2024 zijn geplaatst (23.9 GWp⁵).

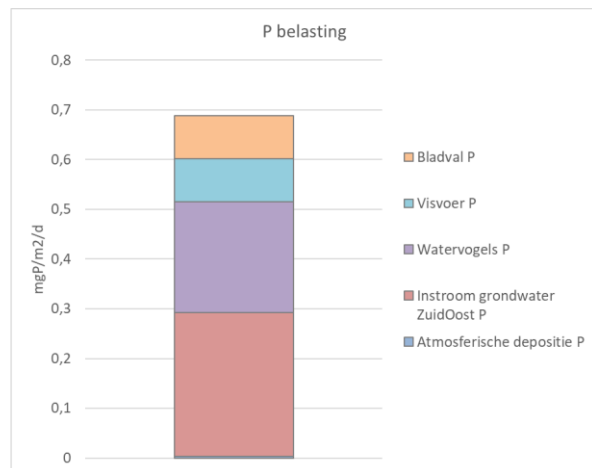
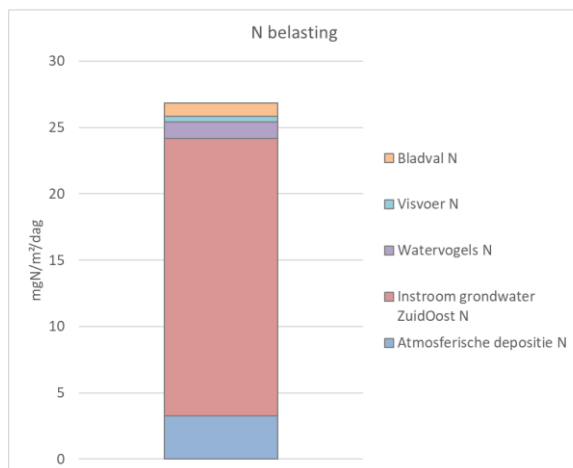
Waterkwaliteit

Voor de analyse van de impact op waterkwaliteit is eerst een nulmeting uitgevoerd en zijn alle waterstromingen (incl. grondwater stromingen) in kaart gebracht. Op basis hiervan is de instroom en uitstroom van water gekwantificeerd.

⁵ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2024/25/vermogen-zonnepanelen-iets-minder-sterk-toegenomen-in-2023>



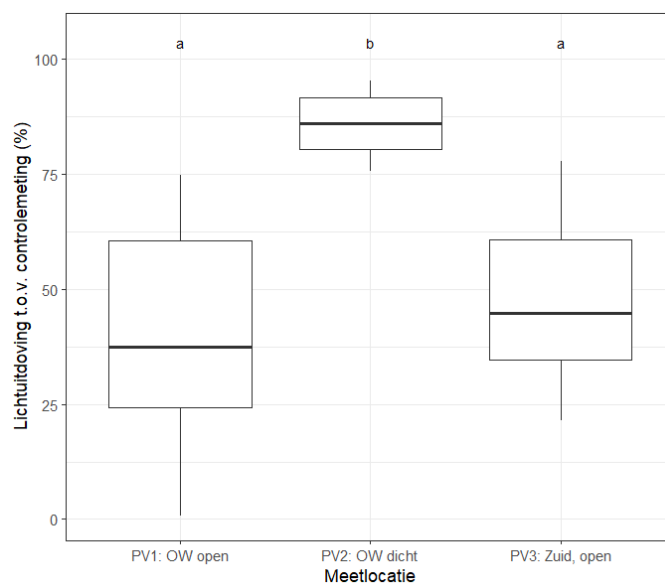
Er is ook een stoffen balans analyse gedaan, door de invoer en afvoer van nutriënten (fosfor en stikstof) voor de bronnen atmosferische depositie, ontlasting van vogels, instroom via grondwater, bladval, interne nalevering en visvoer te kwantificeren. Dit levert het volgende beeld voor de aanvoer van stikstof (N) en fosfor (P).



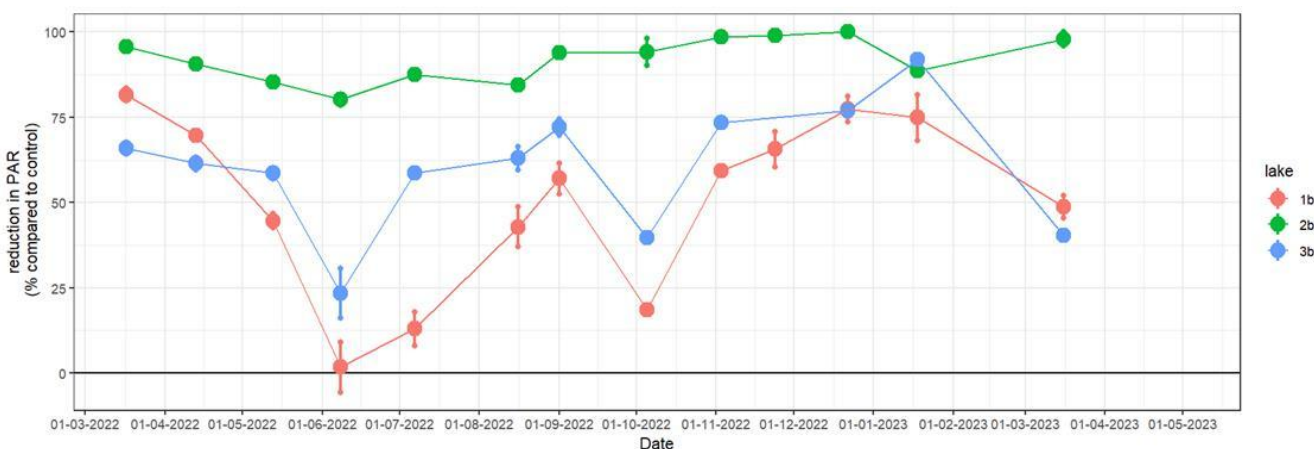
Omdat er veel meer stikstof dan fosfor aanwezig is, zal de groei van algen en waterplanten daarom sterker gedreven worden door de aanvoer van P in het water.

Hoeveelheid licht onder de panelen

De hoeveelheid beschikbaar licht onder de panelen is gemeten middels een lichtsensor in de open ruimte tussen de panelen. Zoals verwacht is de dichte opstelling (PV2: OW) het minst lichtdoorlatend met bijna 80% lichtuitdoving t.o.v. de referentie situatie zonder panelen. De andere twee opstellingen zijn over de gehele meetperiode niet statistisch verschillend qua lichtuitdoving, en laten een afname van 37% en 41% zien (OW open, Zuid open resp.),

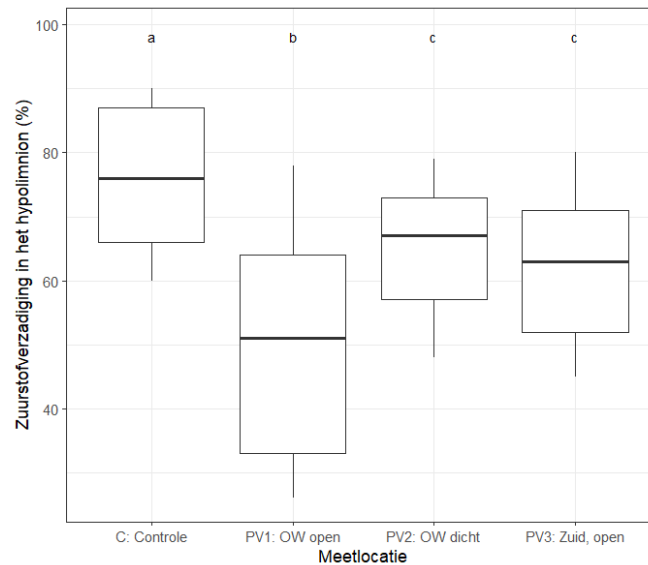


De licht uitdoving door de tijd heen laat grote verschillen zien. Op sommige momenten in het jaar is de uitdoving op de meetlocaties in de paneelopstelling bijna identiek aan de open water controlemeting. Dit komt door zonstand en omdat de sensor altijd in een open ruimte naar beneden moet worden gelaten voor een meting. Hieruit is lering getrokken dat om een goed beeld te vangen van lichtuitdoving eigenlijk niet alleen verticale profielen maar juist ook horizontale profielen van belang zijn.



Zuurstofconcentratie

Zuurstofloosheid bij de bodem kan leiden tot chemische verbindingen die loskomen uit de bodem en de waterkwaliteit verminderen. Daarnaast is een lage hoeveelheid zuurstof een probleem voor het veel leven in het water, waaronder vissen. Uit onderstaande figuur is af te lezen dat onder de panelen de zuurstof in het diepere deel van het water tijdens het zomerhalfjaar (april-oktober) over de gehele bemonsteringsperiode (oktober 2021 tot oktober 2024) lager was dan op het controlepunt.



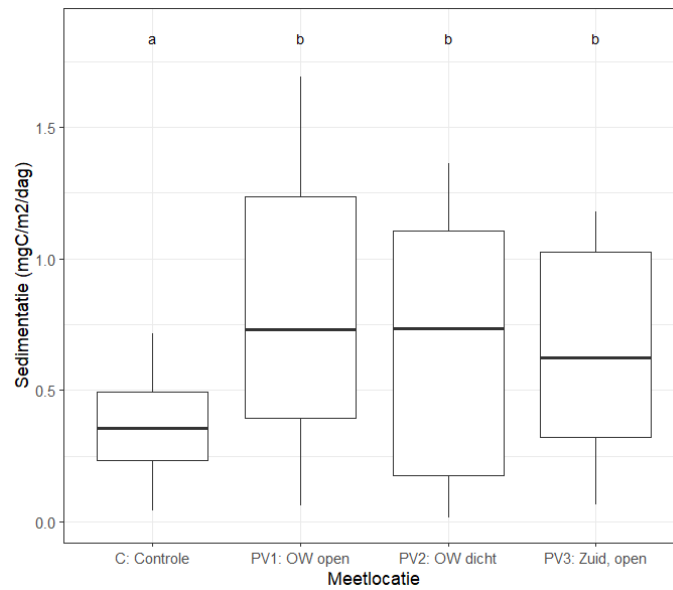
Vooraf bij PV1 is de zuurstofconcentratie sterk verlaagd (28%). De andere twee velden laten een verlaging zien van ongeveer 15%. Echter, PV1 is niet de meest dichte opstelling, waardoor dit resultaat niet direct verwacht werd. Waterbodemonderzoek bij PV1 laat een sterk organische bodem zien, met beduidend meer organische stof dan andere locaties (tot 20% meer). Deze organische stof vraagt veel zuurstof om te worden afgebroken. Het vermoeden is dat door de ligging in de plas veel bladmateriaal en organische stof vanuit de rest van de plas zich ophoopt op de locatie van PV1. Dit leidt vooral aan het begin van de herfst tot veel afbraak, en dus weinig zuurstof dicht bij de bodem. Het lijkt erop dat de hogere afname van zuurstof tov de andere systemen dus geen effect is van de lay-out van het PV veld, maar eerder een natuurlijke variatie in de plas. Als les kan hieruit meegenomen worden dat lokale verschillen in de bodem en ligging in een plas groot kunnen zijn, waardoor meten op één enkel punt mogelijk geen representatief beeld zal geven van de impact van een PV veld, zeker niet een full-scale PV veld.

Overige parameters

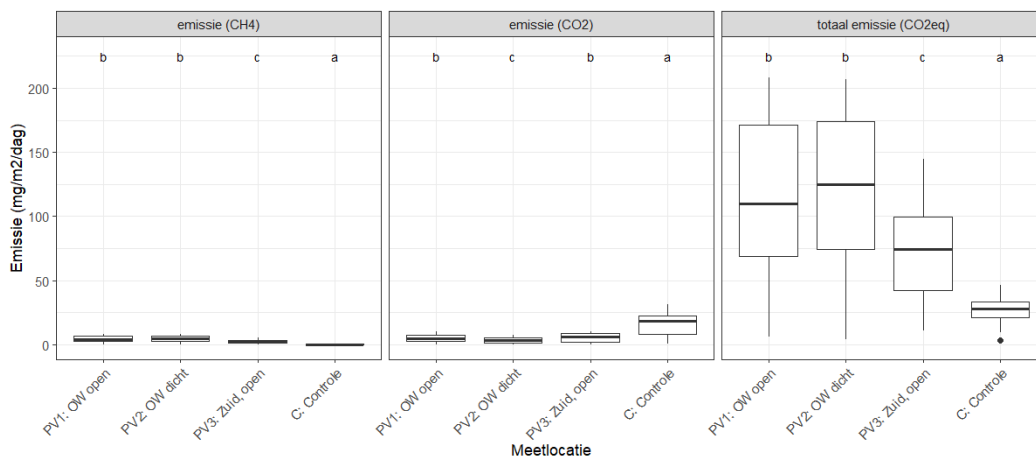
De chlorofyl-A concentratie is een proxy voor de algenbloei. Deze laat weinig verschillen zien tussen de controlelocatie en de velden, voornamelijk door de hoge spreiding. Er is ook geen verschil te zien voor totaal fosfor concentratie. Een logische verklaring hiervoor is dat water relatief goed gemengd is door de beperkte oppervlakte van de velden, en dat mogelijke verschillen in groei teniet gedaan worden door de menging van het water en zich dus niet uiten in andere chlorofyl of nutriënten concentraties.

Sedimentatie (het uitzakken van organisch materiaal naar de bodem om daar begraven te worden) is hoger onder de paneelopstellingen dan bij de controle. Tussen de paneelopstellingen is geen duidelijk verschil gevonden. Aangezien productie juist hoger is op het controlepunt, en chlorofyl niet wezenlijk anders suggereert dit resultaat dat onder de panelen extra bezinking plaats vindt. Deze extra bezinking zou voort kunnen komen uit verminderde waterdynamiek door golfbreking en verminderde windwerking op het water. Metingen aan windsnelheid en waterbeweging gaven geen duidelijk resultaat door de ligging van de PV-velden tegen de rand van de plas, en de beschutting door bomen die leidt tot veel windafname aan de oeverzijde. Er mag echter wel aangenomen worden dat in een grotere opstelling en zeker op een groter waterlichaam effecten op wind en waterdynamiek aanwezig zullen zijn. De sedimentatie die hier wordt gemeten betreft een korte termijn sedimentatiedynamiek, waarbij het gaat om de hoeveelheid materiaal die neerduwreft.

Dergelijke sedimentatiemetingen zijn niet direct te relateren tot hoeveel koolstof permanent begraven wordt en dus wordt opgeslagen in een plas.



De broeikasgasuitstoot uit het water, ofwel de emissies, zijn sterk variabel maar laten wel een duidelijk patroon zien. Methaanemissies (CH_4) zijn lager bij de controle, en het hoogst bij de OW opstellingen. CO_2 emissies daarentegen zijn juist bij de Zuid-open (PV3) en vooral bij de controle duidelijk hoger dan bij de dichte-OW (PV2) opstelling. De hoge CO_2 emissie op controlelocatie is waarschijnlijk terug te voeren op de hogere respiratie die eerder is gevonden. Respiratie produceert CO_2 , en dus emissie van CO_2 naar de lucht. Omgerekend naar totaalemisssies in CO_2 equivalenten valt op dat de controle locatie de minste uitstoot heeft, gevolgd door Zuid-Open (PV3). Wat ook duidelijk is op te maken uit de data is dat de meeste emissies voortkomen uit uitstoot en productie van methaan. CH_4 is een 25x krachtiger broeikasgas dan CO_2 , waardoor bij omrekening naar CO_2 equivalenten deze een sterke impact heeft. CO_2 emissie is vooral op het controlepunt belangrijk, maar voor het gros van de emissies onder de panelen speelt methaan de hoofdrol. Methaan wordt geproduceerd onder zuurstofloze condities in de bodem. Deze komen duidelijk vaker voor onder PV-opstellingen dan erbuiten.

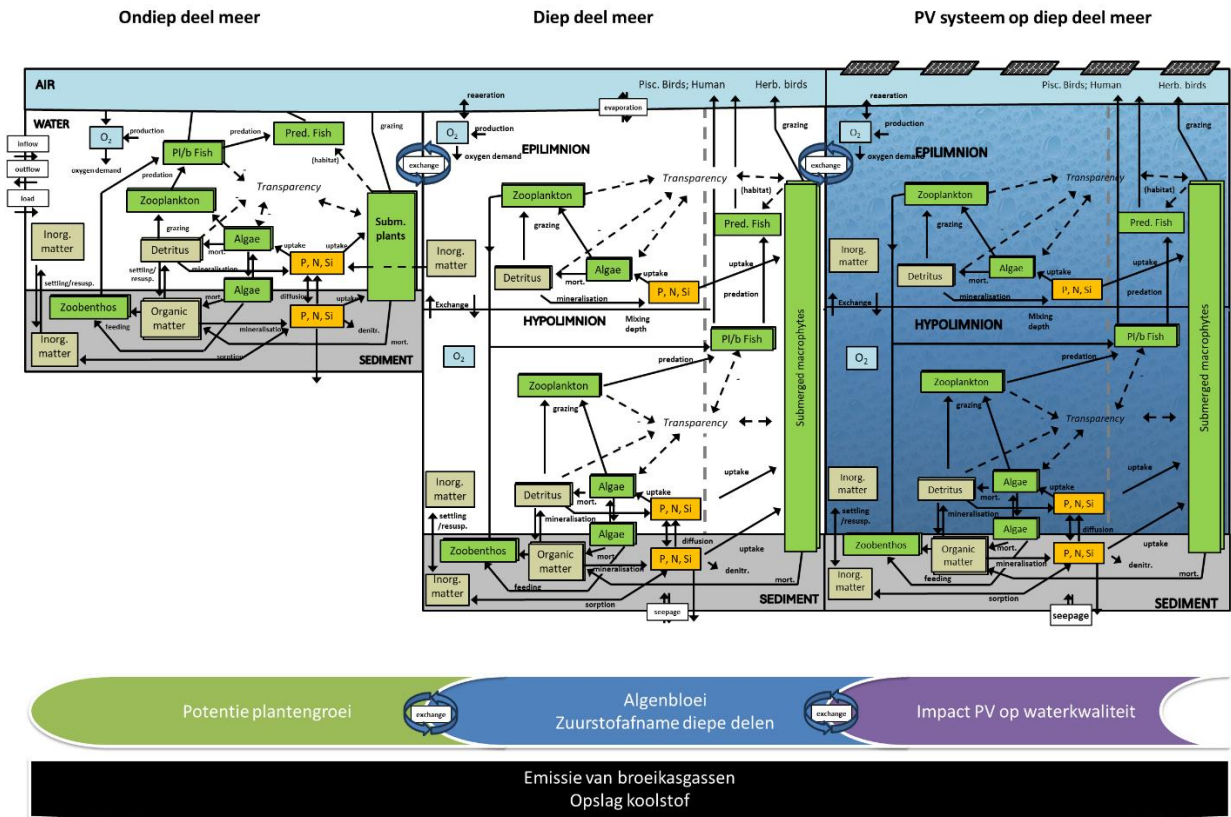


Model en Modelresultaten

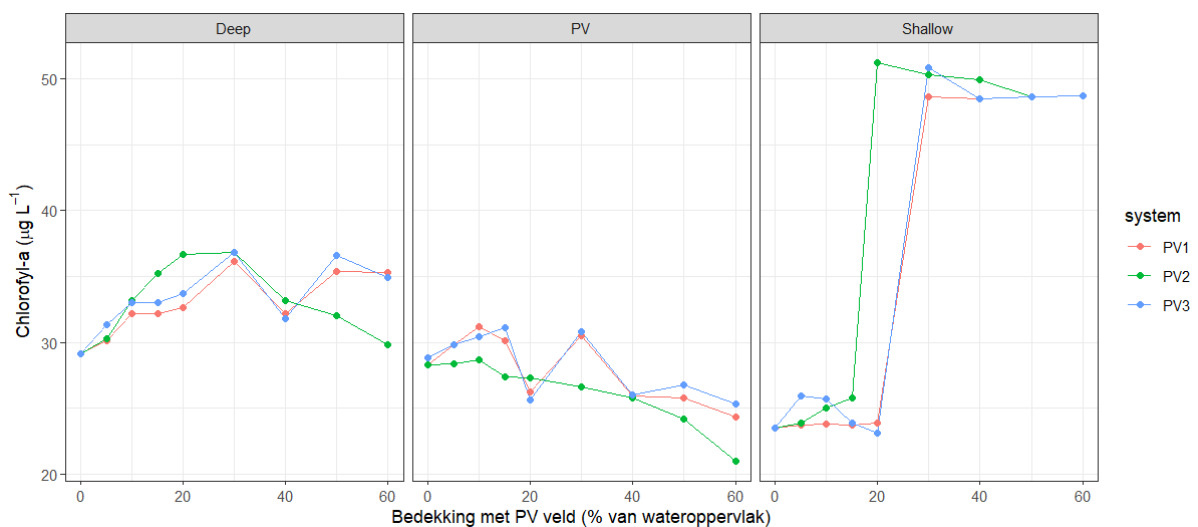
Om een voorspelling te maken van broeikasgasemissies, waterkwaliteit veranderingen en koolstofopslag bij een opschaling van het areaal aan verschillende PV opstellingen is een model opgezet. Het model is een koppeling van een drietal PCLake+ modellen. PCLake+ is een aquatisch 0D ecosysteemmodel wat veel gebruikt wordt in waterbeheer⁶. Dit model maakt in basis gebruik van de water en stoffenbalans, KNMI meteogegevens voor lichtinstraling en regenval en de lichtuitdovingspercentages zoals gemeten onder de verschillende opstellingen. Daarnaast wordt de broeikasgasuitstoot zoals gemeten in dit project gebruikt om de afbraakprocessen in het model te parameteriseren. Afbraak van organisch materiaal in het model vindt plaats in het water en op de bodem. Een deel van deze afbraak is aeroob (zuurstofrijk) en een deel anaeroob (zuurstofloos). De zuurstofloze afbraak leidt in principe tot methaanproductie, en de zuurstofrijke afbraak tot CO₂ productie. Echter, na aanmaak van methaan zijn er processen in het water die het methaan weer om kunnen zetten naar CO₂. Deze processen worden niet expliciet gemodelleerd maar via een omzettingsfactor die gekalibreerd is op de gemeten uitstoot nagebootst. Om het model passend te maken op de lokale situatie onder de panelen worden de metabolisme uitkomsten van de zuurstofsensoren gekalibreerd (Bruto primaire productie, respiratie en netto ecosysteem productie). In tegenstelling tot metingen van een of enkele soortgroepen (zoals bijv. chlorofyl als proxy voor algen), zijn metabolisme proxies ecosysteem omvattend. Hierdoor wordt overfitting van het model ondervangen en wordt een betere lokale kalibratie uitgevoerd.

Het model bestaat uit een drietal bakjes die met elkaar uitwisselen: een ondiep deel van 1 m diep wat dient als een ondiepe oeverzone, een diep deel zonder PV bedekking waarin de zuurstofhuishouding onder invloed van stratificatie kan worden geëvalueerd en als laatste een diep deel bedekt met PV panelen die licht weg nemen.

⁶ Janssen, A. B., Teurlincx, S., Beusen, A. H., Huijbregts, M. A., Rost, J., Schipper, A. M., ... & Janse, J. H. PCLake+: A process-based ecological model to assess the trophic state of stratified and non-stratified freshwater lakes worldwide. *Ecological modelling* **396**, 23-32 (2019).

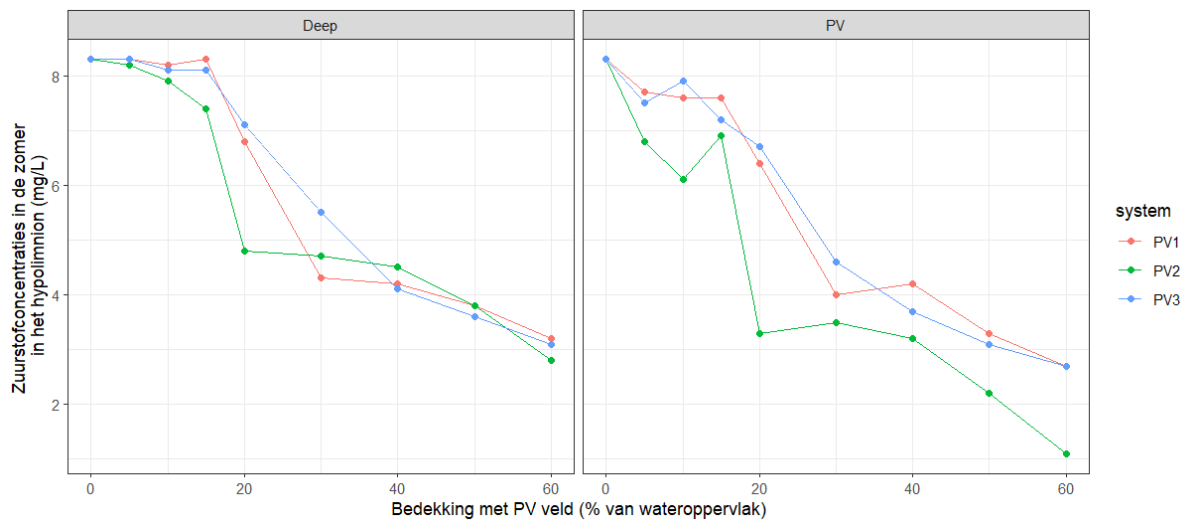


De waterkwaliteit in de plas verandert met een toenemende bedekking van PV. Algenbloei neemt in het diepe deel initieel toe, waarschijnlijk als compensatie voor de afname die zichtbaar is in het met PV bedekte deel van de plas. Verder is de omslag in het ondiepe deel van de plas duidelijk zichtbaar. PV2 laat hier een eerdere omslag zien (15% bedekking) ten opzichte van PV1 en PV3, die overeenkomt met iets hogere chlorofyl-a concentraties in het diepe deel. Deze omslag betreft een omslag van een waterplanten gedomineerde oever naar een waarin algen domineren.

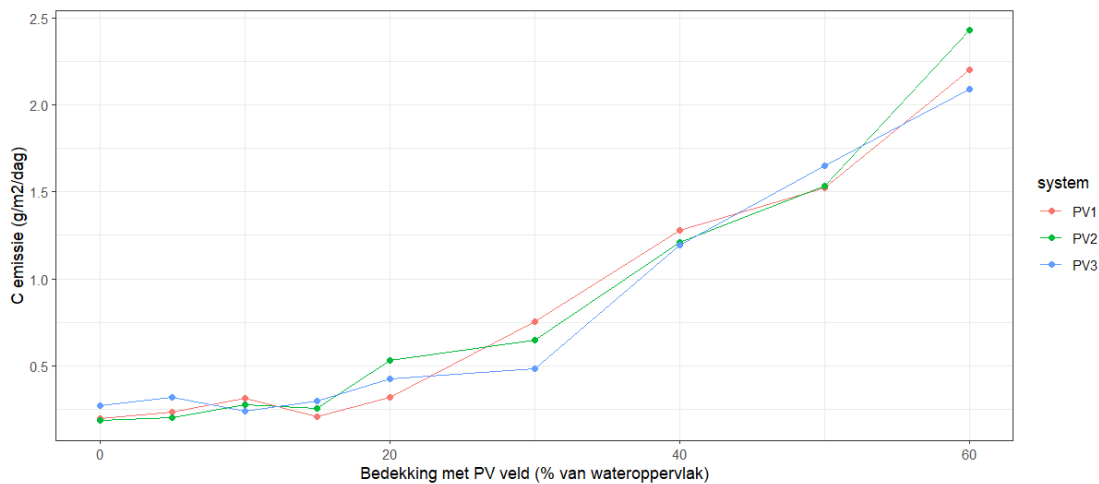


Verder is een duidelijke lagere zuurstofconcentratie zichtbaar in het hypolimnion (de diepe waterlaag) onder de PV systemen dan in het diepe deel zonder PV panelen. Ook is het hypolimnion

onder PV2 duidelijk minder zuurstofrijk, wat veroorzaakt wordt door de mindere lichtdoorlaatbaarheid van het dichte systeem.



Alle systemen laten een duidelijke toename in emissie zien met toenemende bedekking. Er is geen heel duidelijk patroon zichtbaar tussen de verschillende PV systemen, met bepaalde bedekkingen is het ene systeem beter, met andere bedekkingspercentages het andere.



Knelpunten

- Kort na de start van het project brak ook in Nederland de corona pandemie uit en ging de lockdown in. Voor het uitvoeren van het project was eerst een vergunning nodig. Dit was wel opgenomen in de activiteiten en in de planning, maar door de lockdown was het lastig om bijeenkomsten met omwonenden, gebruikers van de Markeplas (hengelsportverenigingen) en de gemeente te organiseren. Hierdoor ontstond vertraging in het aanvragen van de vergunning. Uiteindelijk is het wel gelukt om met de betrokken partijen tot overeenstemming te komen over de locatie van de 3 proefopstellingen op de Markeplas en is de vergunning verleend. Bij RVO is toen projectverlening aangevraagd tot 31.12.2024, die ook is toegekend.
- Bij het ontwerpen van de verankering, middels buizen, is uitgegaan van een schommeling in hoogte van de waterstand van 2 m. In praktijk bleek dat met name in het najaar en de winter de waterstand hoger was dan gedacht. De geplaatste buizen waren hierdoor

ontoereikend qua lengte, waardoor de systemen los konden komen. De systemen zijn z.s.m. weer op hun oorspronkelijke plek gelegd (binnen een week), zodat er zo weinig mogelijk verlies aan dataverzameling en langdurige effecten was. Na het terugplaatsen is de verankering aangepast met touwen en een anker om te voorkomen dat de systemen nogmaals los konden komen. Voor grootschalige toepassing zijn verankeringsmethoden in kaart gebracht, zodat deze uitgevoerd kunnen worden met een passender oplossing.

- **Sensorslijtage:** Sensoren drie jaar lang non-stop in het water laten leidt tot slijtage en op den duur uitval. Er is getracht om sensoren tijdig te repareren en vervangen, maar het viel op dat het laatste jaar sensoren meer uitval en slijtage lieten zien. 3 jaar full-time deployment is waarschijnlijk te lang voor de sensoren om betrouwbaar data te blijven genereren.

Perspectief voor toepassing

De drijvende systemen die in dit project zijn getest hebben laten zien dat ze geschikt zijn voor toepassing bij windkracht 12. Voor grootschalige toepassing dient de koppeling tussen de systemen flexibel ontworpen te worden op zo'n wijze dat deze geschikt is voor de golfslag en deining op de locatie. Nederlands heeft nog veel binnenwateren waar grotere systemen (minimaal 1 ha) geplaatst kunnen worden, in totaal ruim 7484 ha.

Dit project heeft veel ervaring opgedaan met verschillende sensoren en inzicht opgeleverd over welke parameters gemeten zouden moeten worden bij grootschalige drijvende zonneparken. Op basis van de opgedane ervaring kan geadviseerd worden over een sensoren meet plan.

Het opgezette model vormt een basis naar de beoordeling van grootschalige drijvende zonneprojecten. Hiervoor is nog doorontwikkeling van het model nodig door toepassing op huidige praktijkcasussen. Het model is nu in een eerste vorm ontwikkeld. Echter, de toepasbaarheid voor het veld is het best te demonstreren door het toe te passen op opgeschaalde zonneparken op water. Idealiter wordt het model gebruikt vooraf als afwegingskader, en vervolgens worden modelresultaten getoetst met veldmetingen. Het model laat al wel duidelijk een omslagpunt zien in vitale parameters als de bedekkingsgraad toeneemt, waarbij de bedekkingsgraad van een meer open systeem iets hoger kan zijn dan van een gesloten systeem. Dit is een belangrijk en inzichtelijk resultaat.

Bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

Het project is uitgevoerd onder de DEI+ regeling, in het thema 'Hernieuwbare Energie' met als sub-thema 'Ruimtelijke inpassing van grootschalig opgewekte elektriciteit uit zon en wind'. Een belangrijke doelstelling van dit thema is om pilots op te zetten van innovatieve hernieuwbare energie installaties die een goede (landschappelijke) inpassing van zonne-energie mogelijk maken, waarbij aangetoond wordt dat milieuaspecten (bv biodiversiteit, bodem- en water kwaliteit) bevorderd worden en meervoudig gebruik van ruimte aangetoond wordt.

Het DRIVER project heeft goed aan deze doelstellingen bijgedragen. De metingen aan de waterkwaliteit van drie verschillende drijvende constructies hebben belangrijk inzicht opgeleverd over de relatie tussen openheid van een systeem en invloed op waterparameters. Het model dat opgezet is en geparametriseerd is o.b.v. de resultaten van de metingen levert een belangrijke stap naar beoordeling van de impact van drijvende zonnepanelen op de lange termijn effecten op de waterkwaliteit. Daarnaast is gekeken naar factoren voor implementatie, zijn visualisaties gemaakt en is een schatting gemaakt van het toepassingspotentieel (12.5 GWp).

Spin off binnen en buiten de sector

Op basis van de projectresultaten denken de projectpartners de drijvende constructies in grotere pilots te kunnen gaan testen. Twee interessante toepassingsgebieden hierbij zijn:

- Waterbassins bij telers. Dit is een aantrekkelijke markt, omdat veel telers met kassen ook een eigen waterbassin hebben, en een hoge energievraag. Hierbij moet het ontwerp dan geschikt gemaakt worden voor (snelle en eenvoudige) plaatsing in een bassin, en voor meebewegen met waterhoogte in een bassin.
- Grotere binnenwateren, de constructie s bestand tegen windkracht 12. Voor grootschalige constructies is het noodzakelijk om de koppelingen tussen eilanden flexibel te maken om krachten t.g.v. deining op te vangen.

Daarnaast is het model toepasbaar te maken voor beoordeling van grootschalige drijvende zonneprojecten. Hiervoor is nog doorontwikkeling van het model nodig door toepassing op huidige praktijkcasussen. Het model is nu in een eerste vorm ontwikkeld. Echter, de toepasbaarheid voor het veld is het best te demonstreren door het toe te passen op opgeschaalde zonneparken op water. Idealiter wordt het model gebruikt vooraf als afwegingskader, en vervolgens worden modelresultaten getoetst met veldmetingen. Een dergelijke toepassing is uitvoerbaar door meerdere consultancies in Nederland, aangezien het model is gebouwd met als basis PCLake+, een model wat al veelvuldig wordt toegepast door waterbeherend Nederland.

Presentaties en Publicaties

Het project is gepresenteerd bij het Nationaal Consortium Zon op Water, in 2022 en in 2023. De presentatie van 2023 is hier te downloaden:

<https://zonopwater.nl/nieuws/i467/presentaties-bijeenkomst-nationaal-consortium-zon-op-water-beschikbaar>

Daarnaast is het project onder de aandacht gebracht bij:

- 2022: Sunday, Sven Teurlincx
- 2022: Intersolar Europe, Sven Teurlincx
- 2024: Global Lake Ecological Observatory Network, Sven Teurlincx
- 2023: Zon op water kennissessie in samenwerking met Waterschap Rivierenland, Sven Teurlincx

De presentatie van de Sunday 2022 is hier te downloaden:

<https://www.sundaynl.nl/nieuws/i102/sunday-2022-presentaties-te-downloaden>

Contact en verdere informatie

Dr. W. Eerenstein

email: info@renergize.nl

telefoon: 0636429735

Hier kunnen ook extra exemplaren van dit rapport (in pdf) opgevraagd worden.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Nationale regelingen EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.