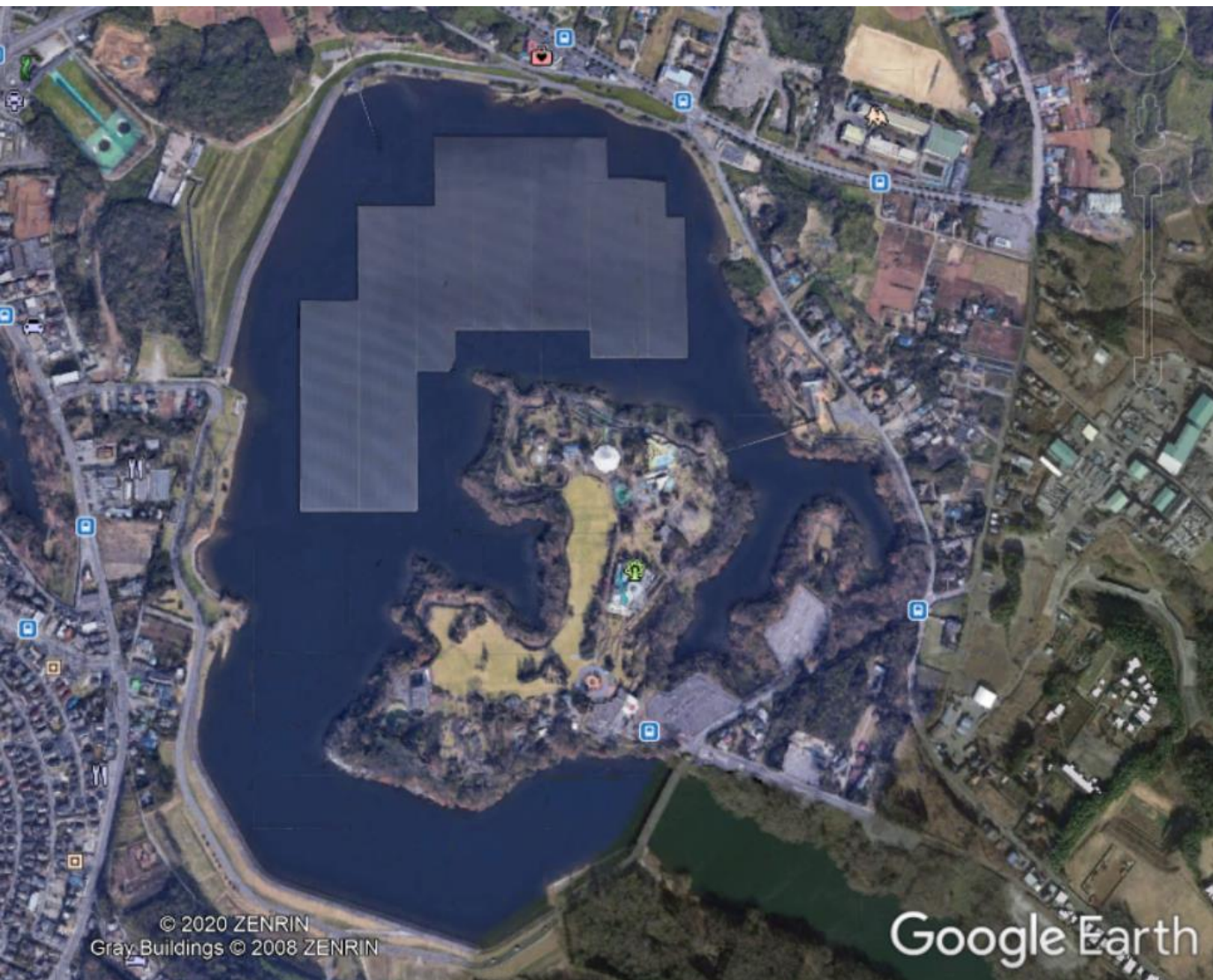


Zonnesystemen op water

Wat zijn effecten op waterkwaliteit en natuur en welke kennis ontbreekt?



Zonnesystemen op water

Wat zijn effecten op waterkwaliteit en natuur en welke kennis ontbreekt?

Auteur(s)

Miguel Dionisio Pires

Sibren Loos

Deze rapportage is opgesteld in opdracht van RVO.nl voor de Topsector Energie op verzoek van TKI Urban Energy

*Foto omslag: Drijvend zonnepark in het Yamakura reservoir, Japan. Het zonnepark is 180.000 m².
Beeld afkomstig van Google Earth.*

Zonnesystemen op water

Wat zijn effecten op waterkwaliteit en natuur en welke kennis ontbreekt?


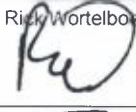


Opdrachtgever	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Contactpersoon	Otto Bernsen
Referenties	201909024 en TSE4190027
Trefwoorden	Drijvende zonnepanelen, waterkwaliteit, ecologie, biodiversiteit, toxiciteit

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	30-04-2020
Projectnummer	11204838-002
Document ID	11204838-002-ZWS-0001
Pagina's	27
Status	definitief

Auteurs(s)

	Miguel Dionisio Pires	
	Sibren Loos	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
0.1	Miguel Dionisio Pires 	Rick Wortelboer 	Gerard Blom 	
	Sibren Loos			

Samenvatting

Recent is er veel media-aandacht geweest over de ontwikkeling van zonnepanelen op water. Duidelijkheid over de gevolgen voor landschap en natuur zal de uitrol van zon op water helpen, mits deze gevolgen positief zijn, waarmee het voor een versnelling van de energietransitie kan zorgen. In de literatuur wordt beschreven dat drijvende zonnepanelen meer opbrengst kunnen hebben in vergelijking met panelen op land onder andere door de verkoelende werking van het water. Wat echter de effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie zijn, is niet altijd duidelijk. Er is daarom behoefte om alle kennis over dit onderwerp te verzamelen. Niet alleen om erachter te komen wat al bekend is maar ook (vooral) om te achterhalen welke kennis nog ontbreekt. Dit kan waterbeheerders en andere organisaties betrokken bij waterkwaliteit en zonne-energie helpen bij het opzetten van een waterkwaliteits-monitoringscampagne voor toekomstige drijvende zonnepark projecten en tevens een onderbouwing geven voor communicatie richting publiek.

Doel van deze opdracht is het verzamelen van de beschikbare kennis over effecten van drijvende zonnestructuren op waterkwaliteit en ecologie en het identificeren van kennishiaten. Daarna zal dit overzicht input bieden bij het identificeren van variabelen en parameters die in toekomstige projecten gemeten dienen te worden, inclusief hun normen en streefwaarden. Het uiteindelijke kerndoel van deze opdracht is een monitoringsadvies/meetprotocol op te leveren.

In dit rapport is de stap kennis verzamelen en kennis hiaten identificeren beschreven. Deze zal als input dienen voor de vervolgstappen die hierboven genoemd zijn. De activiteiten in dit rapport bestonden uit 1) het opzoeken van SDE+-beschikkingen en de verantwoordelijken voor pilots proberen te benaderen om te zien of er al relevante informatie over effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie was opgedaan; en 2) het uitvoeren van een literatuurstudie.

Het blijkt dat veel kennis over effecten van drijvende zonnepanelen (PV-systemen) op waterkwaliteit en ecologie nog ontbreekt. Het belangrijkste effect van zonnepanelen op water, dat in publicaties verschijnt, is het verminderen van de lichtinval in het water. Vermindering van de lichtinval heeft direct gevolgen voor de organismen die licht gebruiken om te groeien, zoals drijvende en vastzittende algen op de bodem, en waterplanten. Indirect effecten treden naar verwachting ook op. Als de productie van producenten omlaag gaat, kan dat gevolgen hebben voor organismen hoger in de voedselketen. In hoeverre dit optreedt is tot op heden nog niet uitgezocht. Wel is gerapporteerd dat het zuurstofgehalte van het water en of onderliggende waterbodembodem daalt. Dat heeft niet alleen gevolgen voor organismen maar kan gevolgen hebben ook voor de uitstoot van methaan of andere broeikasgassen uit de waterbodembodem. Daarnaast kunnen aan de drijvers waar de panelen op liggen nieuwe organismen ontwikkelen of vinden vissen een plek om te schuilen. Schade aan PV-systemen zal leiden tot vervuiling in het water van bijvoorbeeld metalen. In het algemeen geldt dat nog weinig concrete cases en metingen beschikbaar zijn, zeker waar het gaat om indirecte effecten. De mate van effect hangt sterk af van de lichtdoorlatendheid van de zonneparken en de omvang ten opzichte van het wateroppervlak.

Om in de toekomst voldoende kennis te hebben over de effecten van drijvende zonnepanelen op de aquatische natuur is het aan te bevelen om in ieder geval op de KRW-maatlatten en op productiviteit te focussen. Ook bevelen we aan om de vogels te monitoren waarin ook de locaties waarin deze rusten, nestelen en foerageren meegenomen worden. Bij het opzetten van een monitoringsprogramma bevelen we aan om te focussen op de directe ingrepen van drijvende zonneparken en van daaruit een monitoringsplan op te stellen. Meetadvies hierover zal apart worden opgesteld.

Over Deltares

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme innovaties, oplossingen en toepassingen voor mens, milieu en maatschappij. We richten ons voornamelijk op delta's, kustregio's en riviergebieden. Omdat het beheer van deze dichtbevolkte en kwetsbare gebieden complex is, werken we nauw samen met overheden, ondernemingen, kennisinstellingen en universiteiten in binnen- en buitenland. Ons motto is 'Enabling Delta Life'.

Als toegepast kennisinstituut zijn we succesvol wanneer onze kennis wordt verzilverd in en voor de samenleving. We stellen hoge eisen aan de kwaliteit van onze kennis en adviezen, rekening houdend met nieuwe wetenschappelijke inzichten, maar ook met de gevolgen die onze adviezen hebben voor milieu en samenleving.

Al onze opdrachten en projecten leveren een bijdrage aan het verstevigen van de kennisbasis. We kijken vanuit een lange termijn perspectief, naar bijdragen voor de oplossingen voor nu. Wij hechten zeer aan openheid en transparantie. Die houding is onder meer terug te zien in het vrij toegankelijk maken van de door Deltares ontwikkelde software en modellen. Open source werkt, is onze vaste overtuiging. Deltares heeft ruim 800 medewerkers en is gevestigd in Delft en Utrecht.

www.deltares.nl

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
2	Methodiek	9
3	Resultaten	13
3.1	SDE+-beschikkingen	13
3.2	Literatuuronderzoek	13
3.2.1	Biota	14
3.2.2	Fysisch-chemisch	17
3.2.3	Overig	19
3.3	Kennishiaten	22
4	Conclusies en aanbevelingen	25
	Referenties	26

1 Inleiding

De Nederlandse overheid streeft in internationaal verband naar een CO₂-arme energievoorziening ('low carbon economy'), die veilig, betrouwbaar en betaalbaar is, en wil de uitstoot van broeikasgassen in 2050 met 95% terugdringen. Het realiseren van deze verduurzamingsdoelen betekent dat het energiesysteem moet veranderen op zowel technologisch als niet-technologisch gebied. Een grote slag kan gemaakt worden door de hele energievoorziening (warmte en stroom) te voorzien vanuit hernieuwbare bronnen. Dit vraagt om ingrijpende veranderingen in het huidige energiesysteem.

Hoewel er afgelopen jaren geleidelijk verbeteringen zijn doorgevoerd in energie-efficiëntie en gebruik van duurzame energie, wordt er in Nederland nog steeds veel gebruik gemaakt van fossiele bronnen: slechts 7.3% van de energie kwam in 2018 uit duurzame bronnen. Om gestelde doelen te halen is opschaling van opwekkingsmogelijkheden voor duurzame energie noodzakelijk. Eén van die duurzame opwekkingsmogelijkheden zijn drijvende zonneparken.

Het afgelopen jaar is er veel media-aandacht geweest over de ontwikkeling van zonnepanelen op water (Volkskrant van 12 juni 2019 ([link](#)) en Trouw van 12 juni 2019 ([link](#)). Duidelijkheid over de gevolgen voor landschap en natuur zal de uitrol van zon op water helpen, en daardoor kan bijdragen aan de energietransitie. De bedoeling is dat het geïnstalleerd vermogen van zonnestroomparken in de Nederlandse wateren de komende jaren flink omhoog gaat. In de literatuur wordt beschreven dat drijvende zonnepanelen meer opbrengst kunnen hebben in vergelijking met panelen op land onder andere door de verkoelende werking van het water (McKay 2013; Dai et al. 2020; Sudhakar 2019). Ook zouden drijvende parken eenvoudiger met de zon mee kunnen draaien, wat zorgt voor hogere opbrengst (Choi et al. 2014). In de overwegingen om drijvende zonneparken toe te passen moet ook nagegaan worden wat de consequenties voor het aquatische leven is.

Er is interactie tussen zonneparken op water en natuur en biodiversiteit. Of die interactie positief of negatief is hangt af van de aanwezige natuurwaarden van de betreffende locatie en van de inrichting van het zonnepark. De natuurwaarde van een gebied wordt bepaald door de aanwezige diversiteit in soorten planten en dieren, door de aanwezigheid van bijzondere ecosystemen en/of planten- en diersoorten, en door de waarde die een gebied heeft voor soorten bijvoorbeeld als broed- of foerageergebied. Het effect van drijvende zonneparken op de natuur en biodiversiteit wordt onder andere bepaald door gevolgen van zonneparken voor de lichtinval, waterhuishouding, ruimte-inname en waterverontreiniging door metalen (Wereldbank 2019). Er is echter momenteel te weinig bekend over (lange termijn) effecten van zonneparken op het functioneren van watersystemen (Wereldbank 2019). Deltares heeft in het verleden een verkennende modelstudie gedaan maar daaruit bleek dat veel kennis nog ontbrak (Loos & Wortelboer 2018). Dit heeft onder andere te maken met het feit dat er nog niet veel gemeten is in het veld. De studie liet wel zien dat o.a. beschikbare habitat voor waterplanten en de chlorofyl-a concentraties gemeten dienen te worden.

Omdat er te weinig gegevens zijn over de effecten van zonneparken op de ecologie en natuur in (ondiepe) binnenwateren moet er daarom in de toekomst meer gemeten worden in het veld bij zonneparksystemen. Meetprotocollen voor zonneparken moeten voor deze data zorgen en het uitwisselen en vergelijken van data tussen verschillende gebieden mogelijk maken.

Het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat heeft Deltares gevraagd om de reeds bestaande kennis over de (ecologische) effecten van zonnestroomparken op water te bundelen, te kwantificeren indien mogelijk en beschikbaar te maken, waarbij de focus ligt op ondiep en zoet water binnen Nederland. Het Ministerie heeft hiervoor de volgende stappen voor ogen:

Stap 1: Het bundelen van alle beschikbare kennis over de gevolgen van zonnestroomparken op ondiep en zoet binnenwater, of vergelijkbare afdekkingen van het wateroppervlak, en op de biodiversiteit en natuurwaarde. Wat draagt deze studie bij aan de bestaande kennis en wat zijn de voornaamste aandachtspunten?

Stap 2: Aan de hand van de informatie uit stap 1 bepalen op welke gebieden of elementen er nader onderzoek uitgevoerd dient te worden. Wat zijn witte vlekken? Hoe kunnen deze witte vlekken ingevuld worden? Bij de keuzes die hier gemaakt worden dienen voor Nederland relevante situaties gekozen te worden.

Stap 3: Aan de hand van de resultaten uit stap 1 en 2 opstellen of verbeteren van parameters/karakteristieken voor drijvende zonnestroomparken met bijbehorende streefwaarden om potentiële gevolgen op biodiversiteit en natuurwaarden uit te drukken, te meten en monitoren. De streefwaarden moeten worden opgesteld voor de periode 2020-2030. Het bepalen van parameters en streefwaarden kan op drie niveaus: (1) randvoorwaarden ter afbakening van de situatie, zodat er vergeleken kan worden met andere situaties, (2) gevolgen voor de waterkwaliteit; wat is de invloed van het zonnepark op de verschillende variabelen, en (3) gevolgen van het zonnepark op de openbare ruimtebeleving. Belangrijkste onderzoeksvragen in deze fase van het onderzoek zijn:

- Welke parameters zijn, gezien het gewenste draagvlak en toepassing op nationale schaal, geschikt, of zelfs onmisbaar als indicator voor de biodiversiteit van zonnestroomsystemen op water?
- Welke eigenschappen van zonnestroomsystemen op water en de natuur daaromheen moeten worden gemeten en vastgelegd om de gewenste kennis over de interactie tussen het zonnestroomstelsel en de biodiversiteit/ natuurwaarde te kunnen bepalen?
- Wat, hoe, waar, wanneer, en met welke frequentie moet worden gemeten om deze interactie inzichtelijk te maken. Hierbij dient tevens een advies te worden gegeven over het (centraal) opslaan en (open source) beschikbaar maken van deze data voor analyses.

Dit rapport beschrijft de resultaten van stappen 1 en 2, die hierboven genoemd zijn. De uitkomsten van stap 3 zullen in een tweede rapport gepresenteerd worden.

2 Methodiek

Er is op twee manieren gezocht naar opgedane kennis over de effecten van zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie:

1. Het nagaan van de SDE+-beschikkingen voor de periodes voorjaar 2018, najaar 2018 en voorjaar 2019. Dit zijn pilots over zonne-energie die subsidie hebben ontvangen. Er is vervolgens getracht in contact te komen met de verantwoordelijken voor de verschillende pilots om zodoende erachter te komen of er al monitoring ten behoeve van waterkwaliteit en ecologie plaatsvindt. Dit is gedaan voor de SDE+-beschikkingen van najaar 2018 en voorjaar 2019 omdat in die lijsten het mogelijk was om te filteren op zonnepanelen op water. Voor de SDE+-beschikkingen was dit niet mogelijk en deze zijn daarom niet verder onderzocht. Figuur 2.1 laat een voorbeeld zien van een lijst SDE+-beschikkingen en waarin vervolgens de pilots voor drijvende zonnepanelen uit zijn geselecteerd.

Referentie	Thema	Categorie	Aanvrager Naam	Adres	Postcod.	Plaats Lokatie	Provincie	Vermog. (MW)	Beschikte productie per jaar (MW)	Looptijd (jr.)	Maxima subsidie	Opstelling
10	SDE1820001	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	8432PJ	HAULE	Friesland	0,325	308,75	15	379.763	Diakopstelling
11	SDE1820003	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	3244LA	NIEUWE-TONGE	Zuid-Holland	4,495	470,25	15	578.408	Diakopstelling
12	SDE1820004	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Zvolle Invest N.V.	3303SW	SPRIKENSSE	Zuid-Holland	1,972	145,940	15	1724.877	Diakopstelling
13	SDE1820005	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Zonexploitatie Zeeland B.V.	445HT	HEINKENSZAND	Zeeland	0,232	220,12	15	264.138	Diakopstelling
14	SDE1820009	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Sunrook Assets XIX B.V.	5851GH	EINDHOVEN	Noord-Brabant	4,725	4.488,75	15	4.882.513	Diakopstelling
15	SDE1820016	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Stichting Future Energy Realized.	3313CS	DOOPRECHT	Zuid-Holland	0,431	409,45	15	509.766	Diakopstelling
16	SDE1820017	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Gebl. Lawrijzen Beheer B.V.	5531PD	BLADEL	Noord-Brabant	0,205	194,75	15	245.385	Diakopstelling
17	SDE1820026	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Dutch Durables Energy B.V.	6144CS	HEERENVEEN	Friesland	0,182	183,90	15	193.314	Diakopstelling
18	SDE1820030	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Essent Energie Verkoop Nederland B.V.	6114KZ	SUSTEREN	Limburg	0,309	293,55	15	365.470	Diakopstelling
19	SDE1820031	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	1689AA	ZwAAG	Noord-Holland	0,210	198,50	15	245.385	Diakopstelling
20	SDE1820034	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	J. en K. Vastgoed B.V.	9321VZ	UFK	Flevoland	0,070	66,50	15	67.830	Diakopstelling
21	SDE1820035	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Retail Estates Nederland B.V.	2408SD	ALPHEN AAN DEN RIJN	Zuid-Holland	0,839	664,05	15	808.821	Diakopstelling
22	SDE1820038	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	8352NL	BODIL	Friesland	0,962	533,82	15	672.619	Diakopstelling
23	SDE1820039	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Stichting Atrona	3712XH	HUIS TER HEIDE UT	Utrecht	0,095	90,23	15	112.409	Diakopstelling
24	SDE1820042	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	5473NN	HEESWIJK-DINTHER	Noord-Brabant	0,150	142,50	15	177.413	Diakopstelling
25	SDE1820043	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Loenense Mixed Hockeyclub	3632AJ	LOENEN AAN DE VECHT	Utrecht	0,093	95,58	15	67.524	Diakopstelling
26	SDE1820044	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	5111RL	ZEELAND	Noord-Brabant	0,439	474,05	15	593.062	Diakopstelling
27	SDE1820051	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Merin Management B.V.	3364BA	BLUEDRECHT	Zuid-Holland	0,343	325,85	15	405.684	Diakopstelling
28	SDE1820055	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Dilhof Beheer B.V.	9611TH	SAPPEMEER	Groningen	0,499	474,05	15	597.303	Diakopstelling
29	SDE1820056	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	One Solar Beheer III B.V.	5531AB	BLADEL	Noord-Brabant	0,344	326,80	15	406.866	Diakopstelling
30	SDE1820060	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	7694TC	KLOOSTERHAAR	Overijssel	0,250	237,50	15	292.125	Diakopstelling
31	SDE1820062	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Romland B.V.	3389KP	ROTTERDAM	Zuid-Holland	0,260	242,00	15	425.790	Diakopstelling
32	SDE1820064	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Verschoor Metaaltechniek B.V.	4104BG	CULEMBORG	Gelderland	0,500	474,70	15	576.756	Diakopstelling
33	SDE1820065	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	5258TJ	BERLICUM NIB	Noord-Brabant	0,165	156,75	15	192.803	Diakopstelling
34	SDE1820069	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Merck Sharp & Dohme B.V.	5349AB	OSS	Noord-Brabant	0,232	220,40	15	274.398	Diakopstelling
35	SDE1820072	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	538BAK	VREDEPEEL	Limburg	0,225	213,75	15	269.325	Diakopstelling
36	SDE1820074	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Tankerservice Hoogvliet B.V.	3384AE	HOOGVLIET ROTTERDAM	Zuid-Holland	0,091	78,55	15	78.323	Diakopstelling
37	SDE1820075	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	7447SM	HELLENDOORN	Overijssel	0,063	59,85	15	74.514	Diakopstelling
38	SDE1820076	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Hotel Het Vapen van Delden B.V.	7491AN	DELLENDOORN	Overijssel	0,200	190,00	15	228.000	Diakopstelling
39	SDE1820077	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Mifa Aluminium B.V.	5928PT	VENLO	Limburg	3,800	3.610,00	15	4.115.400	Diakopstelling
40	SDE1820079	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Gemeente Brunssum	644JBS	BRUNSSUM	Limburg	0,138	132,22	15	165.336	Diakopstelling
41	SDE1820080	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Stovink Interieurbouw & Stovink Interieurmontage B.V.	715JUB	EIBERGEN	Gelderland	0,185	185,75	15	199.100	Diakopstelling
42	SDE1820084	Vind op laad	2018 Vind op laad	Klokbekevent B.V.	***	SVIFTERBANT	Flevoland	4,500	18.186,00	15	11.457.160	n.v.t.
43	SDE1820085	Vind op laad	2018 Vind op laad	Klokbekevent B.V.	***	SVIFTERBANT	Flevoland	4,500	18.614,00	15	11.726.820	n.v.t.
44	SDE1820086	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Uikes Greentec B.V.	3207JB	DRACHTEN	Friesland	0,230	218,50	15	275.310	Diakopstelling
45	SDE1820087	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	596MJC	HORST	Limburg	0,286	252,70	15	314.612	Diakopstelling
46	SDE1820088	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Koos Foods B.V.	2689KX	ELESWIJK	Zuid-Holland	0,080	75,00	15	95.760	Diakopstelling
47	SDE1820092	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	JASF B.V.	1333MS	ALMEFE	Flevoland	0,065	61,75	15	77.805	Diakopstelling
48	SDE1820095	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Addmedico B.V.	5943AC	LOMM	Limburg	0,095	90,25	15	109.654	Diakopstelling
49	SDE1820099	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	7151LA	EIBERGEN	Gelderland	0,460	437,00	15	537.510	Diakopstelling
50	SDE1820100	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Gemeente Steenwijkerland	***	OLDEMARKT	Overijssel	0,999	949,05	15	1.167.322	Veldopstelling
51	SDE1820102	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	1391GT	ABCOUDE	Utrecht	0,280	268,00	15	331.170	Diakopstelling
52	SDE1820103	Vind op laad	2018 Vind op laad	Flendervint B.V.	***	SVIFTERBANT	Flevoland	4,500	18.746,00	15	11.809.980	n.v.t.
53	SDE1820104	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Grand Yachts B.V.	5861BL	VANUSSUM	Limburg	0,490	468,50	15	579.548	Diakopstelling
54	SDE1820105	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	Terberg Exploitiemaatschappij B.V.	7803AS	HOOGVEEN	Drenthe	0,110	104,50	15	130.103	Diakopstelling
55	SDE1820106	Zon	2018 Zon-PV >= 15 kWp en < 1 MWp	***	7638MA	I.ATTEROP-BEKKENKAMP	Overijssel	0,100	104,88	15	132.149	Diakopstelling

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	Referentie	Thema	Categorie	Aanvrager Naam	Adres	Postcode	Plaats lokatie	Provincie	Vermogen [MW]	Beschikte productie per jaar [MWh]	Looptijd [jr.]	Maximale subsidie [€]	Opstelling
2	SDE1821336	Zon	2018 Zon-PV	BE Lacustris B.V. i.o	Medemblikkersluisweg 4	1775RH	MIDDENMEER	Noord-Hollan	0,370	351,50	15	432.345	Drijvende installatie
3	SDE1825065	Zon	2018 Zon-PV	Waterschap Rijn en IJssel	Anholtseweg 46 A	7091HB	DINXPERLO	Gelderland	0,099	93,63	15	116.572	Drijvende installatie
4	SDE1825339	Zon	2018 Zon-PV	Netterden Zand en Grind B.V.	Azewijnsestraat 13	7081HL	GENDRINGEN	Gelderland	1,264	1.200,80	15	1.386.924	Drijvende installatie
5	SDE1827513	Zon	2018 Zon-PV	N.V. PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland	Waterpad 1	2134TX	HOOFDDORP	Noord-Hollan	2,745	2.607,75	15	3.011.952	Drijvende installatie
6	SDE1829079	Zon	2018 Zon-PV	UNL Solar 18 B.V.	Opsterland, F, 1072, 192€	-	URETERP	Friesland	12,840	12.198,00	15	14.088.690	Drijvende installatie
7	SDE1829567	Zon	2018 Zon-PV	zzz	***	2678LV	DE LIER	Zuid-Holland	0,211	200,36	15	243.443	Drijvende installatie
8													

Figuur 2.1 Screenshots van de lijst SDE+-beschikkingen (najaar 2018 in dit geval) zoals gedownload van de website van RvO (<https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/stimulering-duurzame-energieproductie-sde/feiten-en-cijfers/stand-van-zaken-aanvragen>, bovenste figuur). Onderste figuur laat vervolgens de selectie voor drijvende zonnepanelen zien.

2. Parallel aan het spoor van de SDE+-beschikkingen is er ook naar beschikbare literatuur gezocht via Google Scholar en Google zelf. Gehanteerde zoektermen zijn: “(floating) solar panel”, “(floating) solar park”, “photovoltaic system”, “(floating) PV system”. Deze zoektermen zijn los gebruikt maar ook in combinatie met de termen “water quality”, “biodiversity”, “ecology”, “nature”, “environment”. Dit leidde tot ongeveer 50 gevonden publicaties, die overigens niet allemaal waterkwaliteit, ecologie of biodiversiteit aankaarten. De reden waarom er nog zo weinig over de impact van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie is gepubliceerd heeft te maken met het feit dat deze vorm van energiewinning vrij jong is en het merendeel van het onderzoek rondom drijvende zonnepanelen zich vooral gericht heeft op technische optimalisatie van de systemen (Hartzell 2016).

Omdat we *a priori* voorzagen dat er mogelijk niet veel literatuur beschikbaar is op dit onderwerp hebben we onze studie uitgebreid met onderzoeken naar andere drijvende en onderwaterstructuren.

In de zoektocht naar relevante informatie over effecten van drijvende zonneparken op waterkwaliteit en ecologie is ook gezocht naar internationaal lopende projecten. Belangrijke projecten die we hebben kunnen vinden zijn:

- 100 MW solar project in Kranji Reservoir in Singapore (<https://www.ippjournal.com/project/100-mw-floating-solar-pv-project-in-kranji-reservoir>). Eind 2018 werd aangekondigd dat de PUB (waterbeheerder van Singapore) in dit reservoir een groot drijvend zonnepark wil opzetten. Tender is gelanceerd maar tot op heden is er verder geen informatie te vinden.
- FRESHER project (<https://fresher-project.eu/>). Het doel van dit project is om een nieuwe innovatieve afmeeroplossing voor drijvende zonnepanelen te ontwerpen en aan te tonen. Men kijkt hier niet naar waterkwaliteit en/of natuur. Gestart in November 2019 en zal twee jaar duren.
- Guqiao town, Fengtai County, China: hier ligt het momenteel grootste drijvend zonnepark ter wereld (70 MW). Het zou de emissie van zwaveldioxide met 1.200 ton en CO₂ met 150.000 ton per jaar reduceren. Informatie over impact op ecologie en waterkwaliteit konden we niet achterhalen.
- O'MEGA project (Piolenc, Frankrijk): een 17 MW drijvend zonnepark. Informatie over impact op ecologie en waterkwaliteit konden we niet achterhalen.
- University of Central Florida (UCF): onderzoek naar prestaties en opschaalbaarheid van drijvende zonnepanelen. Naast de technische prestaties zal er ook gekeken worden naar de interactie van de zonnepanelen met waterkwaliteit en ecologie. Project is ten tijde van het schrijven van dit rapport net begonnen (<https://www-ucf-edu.cdn.ampproject.org/c/s/www.ucf.edu/news/ucf-leads-national-team-to-study-floating-solar/?amp>). De projectleider is door Deltares gecontacteerd voor meer informatie.

3 Resultaten

3.1 SDE+-beschikkingen

Uit de SDE+-beschikkingen die geraadpleegd zijn en waarvoor contact is gezocht met project leiders is gebleken dat er momenteel nog geen kennis over effecten op waterkwaliteit en ecologie op te halen valt. De redenen hiervoor zijn wisselend. Projecten zijn bijvoorbeeld nog bezig met de aanvraag van een watervergunning. De meeste projecten hebben geen monitoring opgenomen en de projecten die dat wel hebben opgenomen zijn of nog niet gestart of hebben enkel monitoring voor de aanlegfase uitgevoerd waardoor de effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie nog niet kunnen worden vastgesteld. In sommige gevallen verwacht men niet dat er een effect op waterkwaliteit of ecologie zal zijn en denkt men daarom niet veel aan monitoring. De meest noemenswaardige pilots die wij zijn tegengekomen zijn:

- Drinkwaterbekken in Kralingen (Evides). Verwachting is dat deze in maart 2020 aangelegd zal worden, maar Evides heeft wel al een uitvoerige nulmeting uitgevoerd, o.a. naar bacteriën en chemicaliën.
- Innozowa (Waterschap Rivierenland, NIOO). Deze is in September 2019 op een plas in Weurt nabij Nijmegen aangelegd en wordt door het NIOO uitvoerig gemeten. Wij hebben momenteel geen inzage in metingen. Centraal staat CO₂ emissie.
- Weperpolder nabij Oosterwolde (Wetterskip, niet via SDE+ gevonden). Momenteel is daar een drijvend zonnepark aangelegd, maar ligt er de wens om deze eventueel uit te breiden. Daarvoor moet er eerst meer ecologisch onderzoek uitgevoerd worden naar ondergedoken waterplanten.

3.2 Literatuuronderzoek

Uit de literatuuronderzoek blijkt dat er nog niet veel beschreven is over geobserveerde effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie. Dit was eerder ook al geconstateerd door Sportvisserij Nederland (van Emmerik 2019), de handreiking Zon-op-Water (Loos & Wortelboer 2018) en ook uit internationale discussies blijkt dit. In de tekst box hieronder geven we een samenvatting van twee discussies op het platform ResearchGate die onderstrepen dat er weinig feiten gepubliceerd zijn over effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie.

What are the negative impacts of putting large-scale floating solar panels over any water body like river or canal? Geïnitieerd door Ankit Pandey van Nalanda Universiteit (India)
Zoals de vraag al aangeeft is Ankit op zoek naar negatieve effecten. Er zijn hier 18 antwoorden op gekomen niet allemaal op waterkwaliteit en ecologie maar ook op praktische zaken zoals verankering van het systeem. De reacties die zich richten op waterkwaliteit en ecologie worden niet onderbouwd door referenties of links naar lopend onderzoek. De reacties wijzen naar 1) de aantrekkelijkheid van drijvende zonneparken voor vogels (positief) maar hun uitwerpselen kunnen een probleem vormen, 2) het verminderen van licht waardoor het doorgeven van voedingsstoffen in de voedselketen verstoord raakt en 3) minder opwarming van het waterlichaam waarvan nog onbekend is of dit positief of negatief zal uitpakken.

What are positive impacts of putting floating solar panels over a water body like the ocean or irrigation dams, rivers, canals? Geïnitieerd door FC Prinsloo van de Universiteit van Zuid-Afrika.

Deze vraag richt zich op meer dan biodiversiteit, ecologie en waterkwaliteit. 12 antwoorden zijn tot nu toe hierop gegeven, meer over andere aspecten dan natuur. De enige reacties gericht op natuur zijn een verwijzing naar een lopend project in Florida (zie ook het hoofdstuk over Methodiek en lopende projecten die daarin genoemd worden) en een mening (liever zonnepanelen plaatsen harde substraten in plaats van op water) maar geen onderbouwde antwoorden.

Verreweg de meeste literatuur over impact van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie is vooral suggestief en niet gebaseerd op metingen (bijvoorbeeld Sahu et al. 2016; Pringle et al. 2017). Er wordt vaak over verwachte impacts gesproken maar zelden (of nooit) zijn deze impacts onderbouwd met monitoring (bijvoorbeeld Haas et al. 2020). Hieronder volgt een overzicht van de bevindingen van de meest relevante publicaties.

3.2.1 Biota

Het eerste effect waaraan gedacht wordt bij drijvende zonnepanelen is het wegvangen van licht. Afname van licht door plaatsing van een PV-systeem kan rechtstreeks leiden tot een lagere productie van algen (Wereldbank 2019). Experimenteel is dit aangetoond in de studie van Chateau et al. (2019). In hun studie werd een waterlichaam (visvijver in Taiwan) met drijvende zonnestructuren (40% bedekking) vergeleken met een vergelijkbaar waterlichaam zonder drijvende structuren (in zowel de zomer als de winter). Er zijn metingen verricht aan verschillende waterkwaliteitsparameters (Tabel 3.1). Deze zijn bovendien gebruikt om een model te calibreren (Figuur 3.1), zodat met het model vervolgens meerdere scenario's gedraaid konden worden, waarin de mate van bedekking steeds met 5% toenam. Een andere monitoringsstudie vond echter geen effect van minder licht op algen (en blauwalgen) (Lee et al. 2017, die voor andere parameters geen effect vond, Figuur 3.2). Wanneer er sprake was van droogte nam de hoeveelheid algen in de donkere delen van het reservoir toe vergeleken met die delen waar geen lichtblokkade was.

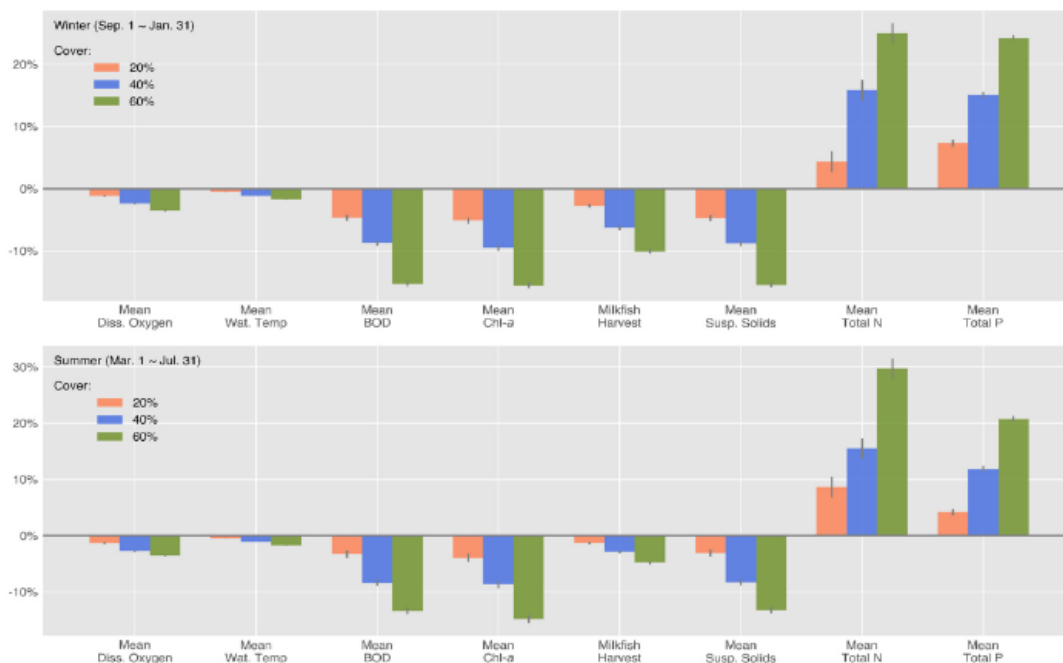
Tabel 3.1 Waterkwaliteitsmetingen en gemeten visbiomassa (M) in visvijvers in Taiwan, waarvan één visvijver met 40% bedekt werd door drijvende zonnepanelen en de andere als referentie diende (geen drijvende structuren). Metingen zijn zowel in de winter (W) als zomer (S) uitgevoerd. Uit: Chateau et al. (2019).

Variable	Mean W0	Mean W40	Winter t-test		Mean S0	Mean S40	Summer t-test	
DO (mg/L)	8.35 ± 1.83	7.49 ± 1.34	t(28) = 3.25**	-	6.99 ± 2.63	6.1 ± 1.38	t(32) = 2.45*	-
WT (°C)	20.99 ± 3.83	20.22 ± 3.32	t(28) = 5.34***	-	31.03 ± 1.95	29.63 ± 1.76	t(32) = 12.61***	-
BOD (mg/L)	17.28 ± 11.96	15.35 ± 5.05	t(5) = 0.39	-	21.07 ± 9.04	15.37 ± 5.32	t(5) = 2.59*	-
Chl-a (mg/L)	1.61 ± 0.38	1.06 ± 0.46	t(7) = 2.78*	-	1.06 ± 0.35	0.86 ± 0.26	t(5) = 1.2	-
SS (mg/L)	106.61 ± 58.37	77.55 ± 27.52	t(5) = 1.24	-	103 ± 36.16	56.05 ± 14.82	t(5) = 3.9*	-
M (g/ind.)	88.78 ± 28.37	104.26 ± 7.05	t(11) = -2.15	-	623.3 ± 255.3	611.35 ± 130.9	t(11) = 0.1	-
N (mg/L)	10.42 ± 4.45	7.61 ± 3.74	t(5) = 1.35	-	4.39 ± 2.09	1.8 ± 1.02	t(5) = 3.01*	-
P (mg/L)	2.51 ± 1.09	2.93 ± 1.69	t(5) = -1.61	-	3.88 ± 0.94	6.53 ± 0.63	t(5) = -5.28**	-

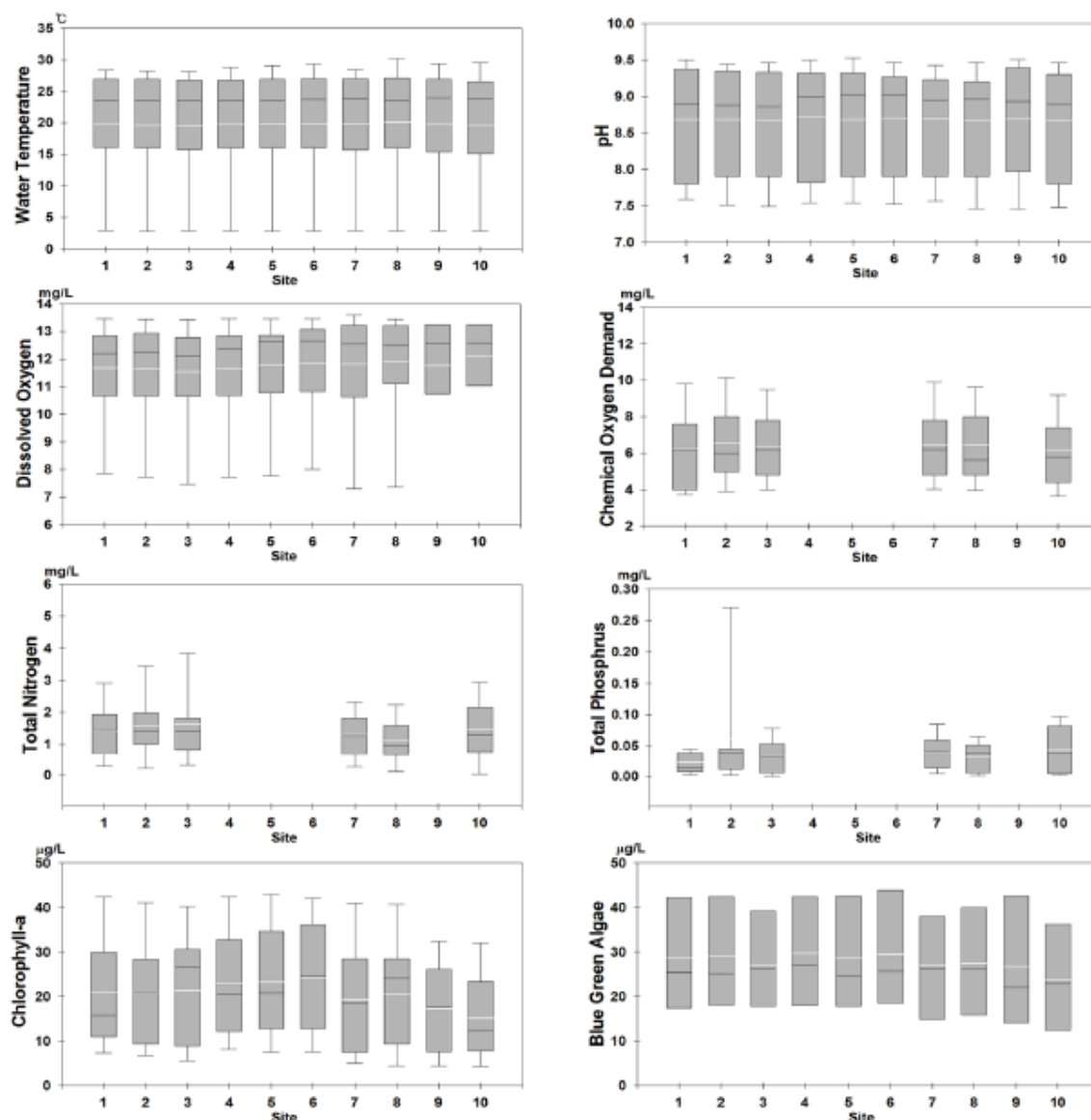
* Significant at $p < 0.05$.

** Significant at $p < 0.01$.

*** Significant at $p < 0.001$.



Figuur 3.1 Modelsimulaties voor verschillende percentages bedekking van drijvende zonnepanelen op verschillende waterkwaliteitsparameters. Uit: Chateau et al. 2019.



Figuur 3.2 Gemeten waterkwaliteitsparameters in een reservoir in Zuid-Korea. Sites 1-6 liggen onder het drijvend zonnestelsel, alle andere in het omliggende water. Figuur uit: Lee et al. (2017).

In een modelstudie voor Nederlandse meren bleek dat bedekking met PV-systemen tot 50% kan leiden tot hogere chlorofyl-a concentraties. Dit vond dan plaats in de hogere waterlagen en waren vaak blauwalgen. De oorzaak is een combinatie van veranderingen in lichtregime, temperatuur en menging van de waterkolom. Dit, in eerste instantie, onverwachte effect is een reden om chlorofyl-a mee te nemen in toekomstige monitoring. Bij een PV-systeem bedekking van 90% nam de chlorofyl-a concentratie af als gevolg van gebrek aan licht (Loos & Wortelboer 2018).

Minder licht kan ook nadelig zijn voor de productie van ondergedoken waterplanten (Wereldbank 2019). Hoewel dit specifiek voor drijvende zonneparken niet getest is, is dit wel onderzocht bij andere drijvende structuren zoals huizen. Daar werd inderdaad gevonden dat plekken onder drijvende constructies leidt tot minder jonge scheuten van waterplanten (Burdick & Short 1999). Een modelstudie in Nederland (Loos & Wortelboer 2018) liet zien dat toename van de bedekking door PV-systemen leidt tot een afname van habitat voor waterplanten. Het inbouwen van lichtdoorlatendheid kan hier deels voor compenseren.

Effecten kunnen op benthische evertrebraten (macrofauna) op de bodem is niet uitvoerig bestudeerd. Eén studie in IJburg onder drijvende platformen liet zien dat de onderkant van de platformen gekoloniseerd waren door verschillende flora en fauna, waaronder mosselen. Mosselen scheiden faeces en pseudofaces uit (uit het water gefiltreerd voedsel dat echter weer meteen uitgescheiden wordt) die vaak rijk zijn aan voedingsstoffen. In IJburg bleek dat het sediment onder de platformen rijker aan voedingsstoffen was dan de omgeving (Härtwich 2016). Wat de effecten op de bodemfauna zelf waren kon niet geanalyseerd worden omdat de bodem in IJburg erg soortenarm is. Biodepositie als gevolg uitscheiding door mosselen kan voordelig zijn voor andere soorten benthische evertrebraten omdat ze daarmee toegang hebben tot een nieuwe voedselbron (Rosso 2012). Aan de andere kant kan deze biodepositie ook voor een anoxische laag nabij de bodem leiden omdat het gedepositeerde materiaal afgebroken wordt door bacteriën die daarvoor zuurstof verbruiken (Rosso 2012).

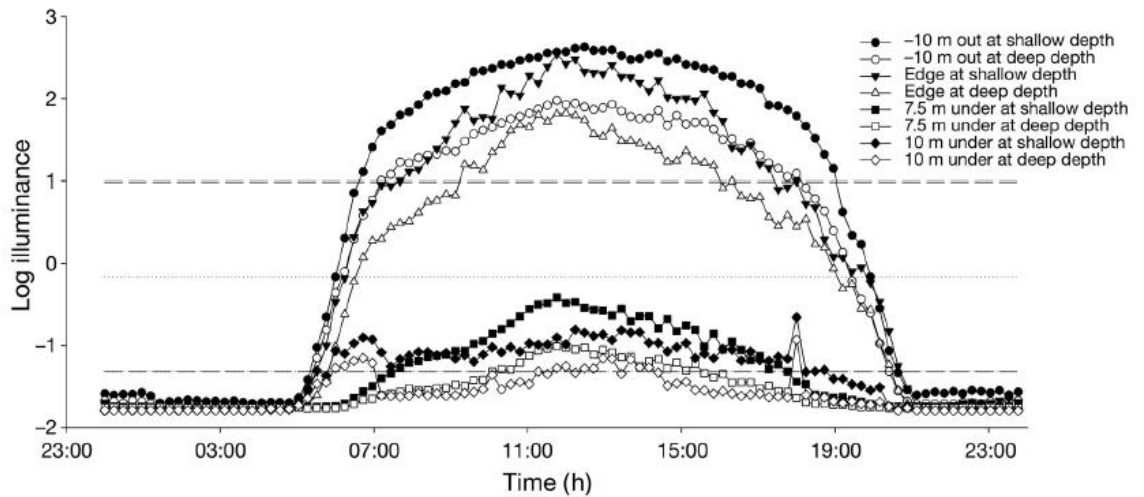
Doordat drijvende zonnestructuren voor een lagere zuurstofconcentratie kunnen zorgen, als gevolg van minder licht, doordat er minder fotosynthese en dus minder zuurstofproductie plaatsvindt door algen en waterplanten, is geopperd dat er daardoor meer vissterfte zou kunnen plaatsvinden (Da Silva & Castelo Branco 2018). Hier is echter geen enkele onderbouwing voor te vinden, ook niet vanuit studies met andere drijvende structuren. Drijvende zonnepanelen zullen eerder positief uitpakken voor vis omdat onder de zonnepanelen vissen waarschijnlijk zullen gaan samscholen, net zoals dat onder andere drijvende structuren plaatsvindt (Dempster & Taquet 2004; Able et al. 2013).

Een belangrijke soortgroep die zal gaan interacteren met drijvende zonnestructuren zijn de vogels. Zij zullen de zonnepanelen als rustplaats gebruiken (Costa 2017; Da Silva & Castelo Branco 2018). Hun uitwerpselen kunnen de efficiëntie van de zonnepanelen verminderen en dienen daarom van tijd tot tijd schoongemaakt te worden. Met name uitwerpselen van meeuwen, die voorkomen bij het zonnepark Lingewaard bij Bemmelen en een zonnepark in Londen, moeten verwijderd worden. In Lingewaard gebruikt men groene lasers om meeuwen en kieviten te verjagen om zo te verhinderen dat er veel schoongemaakt moet worden. Bij dit schoonmaken kunnen producten gebruikt worden die slecht voor het milieu zijn (Da Silva & Castelo Branco 2018). De uitwerpselen zijn nutriëntenrijk en als die in het water terecht komen dan is er kans op verslechtering van de waterkwaliteit (Boogaard et al. 2019). Metingen hieraan ontbreken echter vooralsnog. Rutgers et al (2019) stellen dat er onderzoek dient plaats te vinden over hoe drijvende zonneparken interfereren met het gebruik van een waterlichaam door vleermuizen. Het gaat hier met name om hoe een zonnepark van invloed is op de vliegzone van deze dieren.

Drijvende zonnestructuren kunnen ook dienen als habitat voor soortgroepen onder water zoals mosselen en sponzen (Da Silva & Castelo Branco 2018). Dit is vaak gezien bij andere drijvende structuren (Boogaard et al. 2014).

3.2.2 Fysisch-chemisch

Zoals in paragraaf 3.2.1 genoemd, is één van de meest voor zich sprekende effecten van drijvende zonnestructuren op het watersysteem de reductie van licht. Voor drijvende zonnestructuren specifiek zijn data hierover niet gepubliceerd maar uit literatuur over andere drijvende structuren blijkt dat er inderdaad lichtreductie is (Figuur 3.3, Able et al. 2013). Berekeningen met een Delft3D model lieten zien dat licht 68-100% kan afnemen onder een PV-systeem (Loos en Wortelboer 2018). Tijdens het startoverleg van deze opdracht is gevraagd om ook na te gaan wat er gebeurt met UV-licht, maar hierover hebben we geen literatuur kunnen vinden.



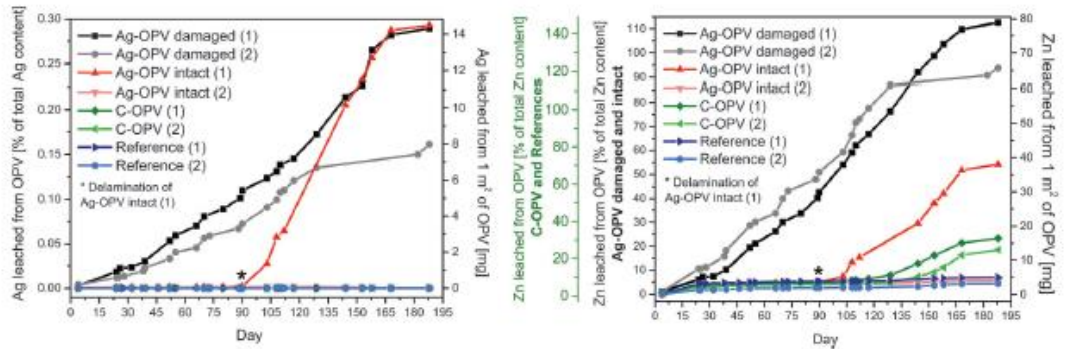
Figuur 3.3 Lichtsterkte onder en nabij een pier (uit: Able et al. 2013).

Met beschaduwing door drijvende zonnepanelen is het de verwachting dat de watertemperatuur zal afnemen (Mckay 2013) en dat er een ongelijke opwarming van het waterlichaam zal zijn als gevolg van deels bedekking en deels open water (Wereldbank 2019). Metingen in het veld door Chateau et al. (2019) laten inderdaad een afname van de watertemperatuur zien. Lee et al. (2017) vonden echter geen effect op watertemperatuur (Figuur 3.2). De modelstudie van Loos en Wortelboer (2018) vond geen effecten van drijvende PV-systemen op de gemiddelde watertemperatuur, wel een afvlakking van de minima en maximale waarden aan het wateroppervlak. Enkel bij 90% bedekking nam de gemiddelde watertemperatuur af (met 2 °C).

Minder lichtdoordringing kan ook leiden tot minder zuurstofproductie (Costa 2017), zoals hierboven uitgelegd. Dit is ook aangetoond in de studie van Chateau et al. (2019). De vraag is ook wat er zal gebeuren met gasuitwisseling tussen het water en de atmosfeer. Galdino & Oliveri (2016) verwachten dat dit moeizamer zal gaan en dat de emissie van broeikasgassen zal toenemen. Onderbouwing hiervoor met metingen ontbreekt echter. De modelstudie van Loos en Wortelboer (2018) liet wisselende effecten zien van het plaatsen van drijvende PV-systemen op de zuurstofconcentratie. Bij 90% bedekking met geen lichtdoorlatendheid nam de zuurstofconcentratie wel af.

Drijvende zonnepanelen kunnen het effect van wind op de waterbeweging beïnvloeden waardoor er bijvoorbeeld luwte kan ontstaan zowel onder de zonnepanelen als ernaast (Karpouzoglou 2019, op basis van gemodelleerde data). Als gevolg daarvan kan er sedimentatie optreden van zwevende deeltjes. Dit effect treedt inderdaad op zoals aangetoond door Chateau et al. (2019), die zagen dat het watersysteem met drijvende zonnepanelen (40% bedekking) een lagere zwevend stof concentratie had dan het watersysteem zonder drijvende zonnepanelen.

Wanneer er schade ontstaat aan de zonnepanelen dan is er kans dat er toxische stoffen in het water terecht komen. Espinosa et al (2016) stelde dit experimenteel vast met zonnepanelen op het land waarbij uit beschadigde panelen o.a. zink en zilver lekte dat door neerslag uitspoelde naar verderop gelegen locaties. Rutgers et al. (2019) stelde vast dat uitloging van stoffen door zonnepanelen optreedt maar dat nog onbekend is in welke mate.



Figuur 3.4 Cumulatieve lekkage uit PV systemen van zilver (links) en zink (rechts) in een neerslag experiment met PV systemen die onbeschadigd of beschadigd waren. OPV = Organic Photovoltaics. C-OPV systemen zijn vrij van zilver. Reference = geen PV systemen. Figuur uit Espinosa et al. (2016).

Andere fysisch-chemische elementen die beschouwd moeten worden zijn nutriënten (met name stikstof en fosfaat) en vervuiling in het algemeen. Chateau et al. (2019) vonden in hun veldexperiment dat stikstofconcentraties in het systeem met drijvende zonestructuren afnam en fosfaat juist toenam. Chateau et al. (2019) geven hiervoor geen verklaringen. Volgens ons kan de toename van fosfaat het gevolg zijn van een afname van de zuurstofconcentratie (die ze ook vonden) waardoor fosfaat makkelijker vrij komt uit de bodem. Voor stikstof kunnen wij momenteel geen verklaring vinden. Lee et al. (2017) vonden in hun veldproef geen verschil in stikstof- en fosfaatconcentraties tussen onbedekte en door drijvende zonnepanelen bedekte locaties.

Een methode om organische vervuiling van water in het algemeen aan te tonen is via bepaling van het biochemisch zuurstofverbruik (Engels: Biochemical Oxygen Demand afgekort als BOD). De BOD geeft aan hoeveel zuurstof nodig is om organische stoffen in het water biologisch te laten afbreken door micro-organismen. Hoe meer (organische) vervuiling in het water hoe meer zuurstof verbruikt zal worden om het af te breken. Hoe hoger de BOD hoe meer organische stof er in het water aanwezig is. Chateau et al. (2019) zagen in hun veldproef dat de BOD afnam in het systeem met de zonnepanelen. Hoewel ze geen verklaring geven, is het waarschijnlijk dat er minder waterbeweging was waardoor meer materiaal naar de bodem zakte (zwevend stof nam ook af in deze studie, zie boven) en minder licht waardoor het chlorofyl-a gehalte afnam (zie boven) en de waterkolom daardoor minder organisch materiaal bevatte.

3.2.3 Overig

Eén van de meest genoemde effecten van drijvende zonnepanelen op waterlichamen is de mogelijk beperking van verdamping (Wereldbank 2019; Sahu et al. 2016, Costa 2017, Mckay 2013; Hartzell 2016). Warmtewisselaars worden soms uitgetest in combinatie met een drijvend zonnepaneel, die dan het watersysteem helemaal bedekt waardoor verdamping drastisch gereduceerd wordt (Taboada et al. 2017). Kumar & Kumar (2020) bedekten een proefvijver voor 100% met drijvende zonnepanelen en vonden dat dit leidde tot een reductie van verdamping met 29%.

Sommige zonnepanelen bevatten onderdelen die gemaakt zijn van polyethyleen waardoor ze bestand zijn tegen vertering, UV-licht etc. Hiervan bestaat het gevaar dat kleine deeltjes ervan in het water terecht komen (Sahu et al. 2016). In een 1 jaar durend veldexperiment keken Kumar & Kumar (2020) naar afbraak van siliconen vanuit Poly-Si en HIT materiaal en vergeleken dat met zonnepanelen op land. Degradatie van HIT in water was niet anders dan degradatie op land, maar degradatie van Poly-Si op het water was significant hoger dan op land (Kumar & Kumar 2020), waardoor ook meer siliconen in het water terecht komen.

De kabels die nodig zijn voor energietransfer zitten onder water (op de bodem). Deze produceren electromagnetische velden die mogelijk negatief werken op de aanwezige fauna (Sahu et al. 2016).

In stilstaande, ondiepe wateren met een organisch rijke bodem kan er waterstofsulfidegas (H_2S) ontstaan. Deze kan ontwijken naar de lucht en daar stankoverlast veroorzaken. De oorzaak is een gebrek aan zuurstof (nabij de bodem) waardoor er sulfatreductie op kan treden. Drijvende zonnepanelen hebben mogelijk invloed op de hoeveelheid zuurstof in het water doordat er minder uitwisseling tussen water en atmosfeer mogelijk is, minder zuurstofmenging door de waterkolom optreedt (het tegenovergestelde is echter mogelijk in het geval van een tunneleffect, zie onderdeel “andere drijvende structuren”), en minder zuurstofuitwisseling met het sediment plaatsvindt (Wijdeveld 2019). Hierdoor zou er met name in ondiepe wateren met een dikke organische bodem uiteindelijk H_2S kunnen ontstaan en voor stankoverlast kunnen zorgen. Dit is echter nog niet vastgesteld.

Zoals eerder genoemd zijn er niet veel studies die kijken naar de effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie. Tabel 3.6 vat de belangrijkste bevindingen van bovenstaande studies samen en geeft aan of een impact vastgesteld is of niet. De impacts die direct op de waterkwaliteit inspelen (zuurstof, watertemperatuur, stikstof en fosfaat in Tabel 3.6) zijn enkel in Taiwan en Zuid-Korea vastgesteld en is de situatie voor Nederland nog onbekend. Wel zal schade aan PV-systemen tot vervuiling leiden in oppervlaktewater (Espinosa et al. 2016). In het algemeen geldt dat er nog erg weinig bekend is over de effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie.

In diepe wateren kan het plaatsen van een drijvend PV-systeem leiden tot veranderingen in waterbeweging als gevolg van het weghalen van windinvloeden (Loos & Wortelboer 2018). Hierdoor warmt het water in diepere lagen minder snel op waardoor stratificatie minder snel optreedt. Dit kan overigens positief uitpakken omdat hierdoor de bodem minder lang zuurstofloos is (Uittenbogaard & Dionisio Pires 2019).

Tabel 3.2 toont een overzicht van de gevonden kennis over de effecten van drijvende PV-systemen op waterkwaliteit en ecologie. Deze kennis neemt niet alleen de in situ metingen mee, maar ook expert judgement en modelresultaten. Deze twee laatste bronnen geven een goede aanleiding voor toekomstige monitoring.

Tabel 3.2 Samenvatting meest belangrijke impacts die gevonden zijn in studies. Er is onderscheid gemaakt in positieve en negatieve effecten en ook of een impact daadwerkelijk is vastgesteld of niet. Ook is aangegeven in wat voor waterlichamen de kennis is opgedaan (Bij "Algemeen" zijn nog geen feiten gepubliceerd, deze komen van de "Expert judgement" studies af).

	Parameter	Toepassing	Effect	Op basis van	Referentie	
Biota	Fytoplankton	Ondiepe visvijver (Chateau et al. 2019) Tropisch diep reservoir (Lee et al. 2017)	Neemt af (chlorofyl). Neemt toe (chlorofyl). Geen effect op blauwalgen.	Experimenteel	Neemt af: Chateau et al (2019). Neemt toe en geen effect op blauwalgen (Lee et al. 2017)	
	Waterplanten	Meren in Nederland (Loos en Wortelboer 2018)	Habitat neemt af, lichtdoorlatendheid kan hiervoor compenseren	Modelstudie	Modelstudie: Loos & Wortelboer (2018)	
	Macrofauna		?			
	Vis	Algemeen (Dempster & Taquet 2004) Estuaria (Able et al. 2013)		Verzamelplaats	Observaties (onder drijvende structuren)	Dempster&Taquet (2004); Able et al. (2013)
		Diep reservoir		Meer sterfte	Expert judgement	Da Silva & Castelo Branco (2018)
	Vogels	Diep reservoir		Rustplaatsen	Expert judgement	Costa (2017); Da Silva & Castelo Branco (2018)
Fysisch-chemisch	Temperatuur	Ondiepe eutrofe visvijver (Chateau et al. 2019) Tropisch diep eutroof reservoir (Lee et al. 2017) Meren in Nederland (Loos en Wortelboer 2018)	Neemt af, geen effect	Experimenteel Modelstudie	Neemt af: Chateau et al (2019), Loos & Wortelboer (2018), afname in toplaaag bij 90% bedekking). Geen effect: Lee et al. 2017, Loos & Wortelboer (2018)	
	Licht	Algemeen (Pringle et al. 2017) Estuaria (Able et al. 2013) Meren in Nederland (Loos en Wortelboer 2018)	Neemt af	Expert judgement. Observaties (drijvende structuren) Modelstudie	Expert judgement: Pringle et al. (2017). Observaties: Able et al. (2013) Modelstudie: Loos & Wortelboer (2018)	
	Zuurstof	Ondiepe eutrofe tropische visvijver Meren in Nederland (Loos en Wortelboer 2018)	Neemt af Wisselend effect, bij 90% bedekking afname	Experimenteel Modelstudie	Chateau et al (2019) Modelstudie: Loos & Wortelboer (2018)	
	Zwevend stof	Ondiepe eutrofe tropische visvijver	Neemt af	Experimenteel	Chateau et al (2019)	
	Stikstof	Ondiepe eutrofe tropische visvijver	Neemt af	Experimenteel	Chateau et al (2019)	
	Fosfaat	Ondiepe eutrofe tropische visvijver	Neemt toe	Experimenteel	Chateau et al (2019)	
	Chlorofyl	Ondiepe eutrofe tropische visvijver Meren in Nederland (Loos en Wortelboer 2018)	Neemt af Chl-a neemt toe, bij 90% bedekking neem af	Experimenteel Modelstudie	Chateau et al (2019) Modelstudie: Loos & Wortelboer (2018)	
		BOD	Ondiepe eutrofe tropische visvijver	Neemt af	Experimenteel	Chateau et al (2019)
	Metalen	Land	Nemen toe	Experimenteel	Espinosa et al. (2016)	

Andere waterkwaliteit gerelateerde effecten	Plastic	Algemeen	Negatief voor waterkwaliteit en biodiversiteit	Expert judgement	Sahu et al (2016)
	Electromagnetische velden	Algemeen	Negatief voor waterkwaliteit en biodiversiteit	Expert judgement	Sahu et al (2016)
	Verdamping	Ondiep water in hooggebergte	Neemt af	Experimenteel	Taboada et al. 2017
	Stankoverlast	Slufter	Kan ontstaan in vervuilde wateren	Expert judgement	Wijdeveld 2019
	Waterbeweging	Diepe meren in Nederland (Loos en Wortelboer 2018)	Vertraging stratificatie	Modelstudie	Loos en Wortelboer (2018)

Het consortium Hanzehogeschool, Hogeschool Rotterdam INDYMO en Blue21 hebben naar de waterkwaliteit onder drijvende zonepanelen gekeken door middel van onderwater drones, bemand met sensoren voor o.a. temperatuur, zuurstof, chlorofyl-a en troebelheid (Boogaard et al. 2019). De auteurs concluderen dat hun eerste metingen (één dag) geen impact van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit laten zien. Boogaard et al. (2019) geven aan dat er meer metingen zullen volgen, met name uit internationale projecten, zodat dan beter inzicht verkregen zal worden over de impact van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit.

Andere drijvende structuren

De voorgaande tekst maakt duidelijk dat er niet veel bekend is over effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie. Veel verwachte effecten van drijvende zonnepanelen kunnen overeenkomen met die van andere drijvende structuren. Zodoende wijden we hier kort aandacht aan ecologische studies waarin gekeken is naar effecten van drijvende structuren. Overigens geldt ook hiervoor dat er tot op heden niet veel onderzoek naar verricht is. Drijvende structuren blokkeren in de eerste plaats zonlicht (Härtwich 2016) en dit leidt tot minder biomassa van waterplanten (Burdick & Short 1999). Ook kunnen drijvende structuren voor luwte zorgen waardoor minder menging (en daardoor minder beluchting) van het water optreedt. Tussen drijvende structuren kan er een tunneleffect optreden waardoor er lokaal weer juist meer menging optreedt (Foka 2014). Drijvend structuren kunnen voor accumulatie van zwevend stof in het water zorgen (net zoals waterplanten dat doen) en ze kunnen plekken worden waar drijfafval zich verzamelt (Kitazawa et al. 2010). Onder drijvende structuren vindt kolonisatie plaats van veelal sessiele organismen, zoals mosselen. Deze organismen scheiden nutriënten uit, zoals stikstof en fosfaat, waardoor het water voedselrijker kan worden (Cole et al. 2005). Of dit daadwerkelijk een impact zal hebben zal liggen aan de omvang van de drijvende structuren ten opzichte van het waterlichaam. Hier is echter niets over bekend.

Bovenstaande effecten kunnen ook op drijvende zonnepanelen van toepassing zijn. Of effecten daadwerkelijk zullen optreden zal afhangen van de kenmerken van het drijvende zonnepark, de omvang ten opzichte van het waterlichaam en de waterkwaliteitsstatus ervan.

3.3 Kennishiaten

Kennis tot nu toe

Uit bovenstaande paragraaf volgt al dat er niet veel bekend is over effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie. Om de stap te kunnen maken naar wat er in de toekomst gemeten zou moeten worden is het belangrijk om daarbij voor ogen te hebben welke parameters voor waterbeheerders van belang zijn of welke parameters inzicht in het functioneren van ecosystemen kunnen geven om zodoende gepaste maatregelen te kunnen treffen. In Nederland is de Kaderrichtlijn Water sturend omdat deze voorschrijft dat de waterkwaliteit van Europese wateren aan bepaalde chemische en biologische eisen moet voldoen. Bij de biologische eisen wordt er gekeken naar vier groepen organismen, de zogenaamde maatlaten: fytoplankton (voornamelijk algen), macrofauna (ongewervelden die leven op de bodem of onderwaterstructuren), vis en waterplanten.

Deze parameters zullen dus gemeten moeten worden. Als we de resultaten uit het literatuuronderzoek uit paragraaf 3.2 samenvatten en reflecteren op de KRW-maatlatten dan is er een beetje kennis opgedaan voor algen (chlorofyl-a neemt af) maar deze kennis is wel opgedaan in een visvijver in Taiwan, dus voor Nederland is het nog maar de vraag of deze bevindingen ook voor Nederland opgaan. Verder is duidelijk dat drijvende zonnepanelen nieuw habitat zullen worden voor organismen om zich op vast te hechten zoals mosselen en sponzen. Dit kan zowel negatief (exoten) als positief (sponzen) uitpakken. Zeker is ook dat vis zal samenscholen onder de drijvende zonnepanelen.

Sinds een paar jaar heeft de STOWA Ecologisch Sleutelfactoren ontwikkeld (ESF, voor stilstaande wateren zie

<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202015/STOWA%202015-31.pdf>). De ESF's hebben als basis dat kennis van het watersysteem essentieel is voordat de juiste doelen en maatregelen getroffen kunnen worden. Ze geven inzicht in de huidige toestand, wat de reden hiervan is en het knelpunt wanneer de kwaliteit onvoldoende is. Op deze manier bieden ze concrete handvatten voor het vaststellen van haalbare doelen en het nemen van de juiste maatregel. Voor stilstaande wateren bestaat er een set van 9 ESF's, die elk een belangrijke voorwaarde schept voor het goed functioneren van het watersysteem. De toestand van elke ESF wordt middels een stoplichtmethode aangegeven (rood = slechte toestand, groen = goed). ESF's 1-3 (Productiviteit water, Lichtklimaat en Productiviteit bodem) zijn de basis-sleutelfactoren voor stilstaande wateren. Als deze drie op groen staan, is voldaan aan de belangrijkste voorwaarden voor een gezond ecologisch watersysteem. Vooral de terugkeer van ondergedoken waterplanten is daarbij belangrijk.

Tabel 3.3 geeft voor de stilstaande wateren de voor deze studie belangrijkste ecologische sleutelfactoren weer en geeft aan welke kennis beschikbaar is en wat nog ontbreekt. Alleen voor de sleutelfactor Toxiciteit kunnen we met zekerheid vaststellen dat er effect zal zijn wanneer stoffen uit het PV-systeem lekken (door schade). Alle andere factoren zijn suggestief of geheel onbekend. Effecten van minder licht op waterplanten is al vrij lang bekend (Scheffer 1998, Gulati et al. 2012), maar in combinatie met zonnepanelen is dit nog niet gepubliceerd.

Tabel 3.3 De voor deze studie belangrijkste Ecologische Sleutelfactoren (voor stilstaande wateren, zie <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202015/STOWA%202015-31.pdf>) en ontbrekende kennis.

Ecologische Sleutelfactor	ESF nummer	Kennis
Productiviteit water	1	Mogelijk daling als gevolg minder algen
Productiviteit bodem	3	?
Lichtklimaat	2	Licht neemt af maar effect niet vastgesteld in combinatie met zonnepanelen
Habitatgeschiktheid	4	Zowel voor exoten als endemische soorten goed
Toxiciteit	8	Bij schade zeker effect

Benodigde kennisontwikkeling

Zowel uit paragraaf 3.2 als hierboven blijkt dat de effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie nog grotendeels onbekend zijn. Gepubliceerde kennis is behalve schaars vaak ook niet ontsloten voor waterlichamen die vergelijkbaar zijn met de waterlichamen in Nederland. Om die kennis te produceren is hierboven duidelijk gemaakt dat monitoring zich op alle KRW-maatlatten zal moeten richten en op productiviteit van bodem en water. Voor Natura 2000 is het ook van belang om de effecten van drijvende zonnepanelen op vogels te kwantificeren, iets dat tot nu toe niet gedaan is. Bij vogels moet niet alleen het waterlichaam meegenomen worden maar het hele gebied waarin de vogels rusten, nestelen en voedsel zoeken, en niet alleen voor de fase waarin een zonnepark produceert maar ook voor de aanlegfase.

Drijvende zonneparken beïnvloeden waterlichamen op de volgende manieren: vermindering van lichtinval, verandering van windinvloed, verandering van beschikbare ruimte, verandering van habitat en mogelijk verandering van de gas-uitwisseling tussen water en de atmosfeer. Deze ingrepen kunnen vervolgens effecten hebben op waterkwaliteit en ecologie via het voedselweb en kunnen de verschillende gebruiksfuncties van een waterlichaam beïnvloeden. Bij het starten van monitoring van de effecten kan men dus beginnen bij het beschrijven van de ingrepen en vervolgens de monitoring afstemmen op de directe effecten van deze ingrepen. Omdat het mogelijk is dat effecten een doorvertaling in het systeem zullen hebben, bijvoorbeeld via effecten van lichtvermindering op primaire productie enzovoorts, is het aan te bevelen om ook de monitoring hierop af te stemmen. Een meetadvies hiervoor wordt apart van deze rapportage opgesteld. Daarin zal ook aandacht besteed worden aan het centraal opslaan van data van verschillende projecten.

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport is getracht een zo goed mogelijk overzicht te krijgen van de effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie. Doel hiervan is input te geven aan de vervolgfase van deze opdracht, namelijk het identificeren van te meten variabelen, bijbehorende normen en streefwaarden en het opstellen van een monitoringsadvies.

Uit onze activiteiten bleek dat veel kennis nog ontbreekt. Wel staat vast dat schade aan PV-systemen zal leiden tot vervuiling in het water van bijvoorbeeld metalen. Ook zullen drijvende zonnepanelen lichtinval beperken. In hoeverre dat echt belemmerend is voor een goede waterkwaliteit en ecologische toestand is tot op heden nog niet uitgezocht.

Studies in Taiwan en Zuid-Korea (beide eutrofe visvijvers) zijn de enige gepubliceerde studies naar voren gekomen waarin effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit experimenteel is vastgesteld. Uit de Taiwanese studie bleek dat er negatieve effecten waren op de zuurstofconcentratie (neemt af) en op fosfaatconcentratie (neemt toe). Positieve effecten waren er op watertemperatuur (neemt af) en stikstofconcentraties (neemt af). De focus van het artikel uit Taiwan lag op de werking van een daarin gebruikt model waardoor de auteurs geen verklaringen hebben gegeven voor hun veldbevindingen. Onze eigen interpretatie (zie ook Hoofdstuk 3) is dat het afnemen van de zuurstofconcentratie het gevolg is van minder lichtdoordringing (en daardoor minder productie) en dat deze lagere zuurstofconcentraties leiden tot het makkelijker vrij komen van de, in de bodem vastgelegde, fosfaat. In hoeverre de bevindingen uit Taiwan van toepassing zijn op de situatie in Nederland is echter onduidelijk. Het onderzoek uit Zuid-Korea vond geen enkel effect van het drijvende zonnepaneel op de waterkwaliteit.

Wanneer gekeken werd naar wat er bekend is over effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie en dit tegen de KRW maatlatten werd gehouden dan konden we enkel invullen dat chlorofyl-a afneemt (als gevolg van minder lichtdoordringing). Voor de andere maatlatten is nagenoeg niets bekend. Ook over effecten van drijvende zonnepanelen op de relevante Ecologische Sleutelfactoren is niet veel bekend. Alleen voor de factor Toxiciteit kan gezegd worden dat deze verslechterd indien er lekkage is als gevolg van schade aan de zonnepanelen.

Om in de toekomst voldoende kennis te hebben over de effecten van drijvende zonnepanelen op de aquatische natuur is het aan te bevelen om in ieder geval op de KRW maatlatten en op productiviteit te focussen. Ook bevelen we aan om de vogels te monitoren waarin ook de locaties waarin deze rusten, nestelen en foerageren meegenomen worden. Bij het opzetten van een monitoringsprogramma bevelen we aan om te focussen op de directe ingrepen van drijvende zonnepanelen en van daaruit een monitoringsplan op te stellen. Meetadvies hierover zal apart worden opgesteld.

Referenties

- Able, K.W., T.M. Grothues & I.M. Kemp (2013) Fine-scale distribution of pelagic fishes relative to a large urban pier. *Marine Ecology Progress Series* 476: 185-198.
- Boogaard, F., R. de Graaf & L.M. Dionisio Pires (2014) Effect drijvende constructies op waterkwaliteit. *Land+Water* 5: 28-29.
- Boogaard, F., R. De Lima & R. de Graaf (2019) Drijvende zonnepanelen en hun effect op de waterkwaliteit. *H2O-Online* 5 december 2019.
- Burdick, D.M. & F.T. Short (1999) The effects of boat docks on eelgrass beds in coastal waters of Massachusetts. *Environmental Management* 23: 231-240.
- Choi, Y-K., N-H. Lee, A-K. Lee & K-J. Kim (2014) A study on major design elements of tracking-type floating photovoltaic systems. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*: 70-74.
- Cole, V.J., T.M. Glasby & M.G. Holloway (2005) Extending the generality of ecological models to artificial floating habitats. *Marine Environmental Research* 60: 195–210.
- Costa, S.G. (2017) Milieueffecten van drijvende fotovoltaïsche systemen. Vertaald uit: *Impactes ambientais de sistemas fotovoltaicos flutuantes*. Master thesis universiteit van Lissabon.
- Dai, J. C. Zhang, H.V. Lim, K.K. Ang, X. Qian, J.L.H. Wong. S.T. Tan & C.L. Wang (2020). Design and construction of floating modular photovoltaic system for water reservoirs. *Energy* 191: 116549.
- da Silva, G.D.P. Da Silva & D.A. Castelo Branco (2018). Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts, *Impact Assessment and Project Appraisal*, 36:5, 390-400, DOI: 10.1080/14615517.2018.1477498.
- Dempster, T. and M. Taquet (2004) Fish aggregation device (FAD) research: gaps in current knowledge and future directions for ecological studies. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 14:21–42. URL <https://doi.org/10.1007/s11160-004-3151-x>.
- Espinosa, N., Y. Zimmermann, G.A. dos Reis Benatto, M. Lenz & F.C. Krebs (2016) Outdoor fate and environmental impact of polymer solar cells through leaching and emission to rainwater and soil. *Energy and Environmental Science* 2016, 9, 1674.
- Foka, E. (2014) Water quality impact of floating houses – a study of the effects on dissolved oxygen levels. Msc thesis Technische Universiteit Delft.
- Galdino, M. and M. Oliveri. Considerações sobre a implantação de sistemas fotovoltaicos flutuantes no Brasil, 2016 (in het Portugees).
- Grippio M, Hayse JW, O'Connor BL. 2015. Solar Energy Development and Aquatic Ecosystems in the Southwestern United States: Potential Impacts, Mitigation, and Research Needs. *Environ Assess.* 55:244–256.
- Gulati, R.D., L.M. Dionisio Pires & E. van Donk (2012) Restoration of freshwater lakes. Chapter 18 in *Restoration Ecology: The New Frontier*. Blackwell Publishing, Ltd. ISBN: 978-1-444-33635-1.
- Haas, G., J. Khalighi, A. de la Fuente, S.U. Gerbersdorf, W. Nowak & P. Chen (2020) Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. *Energy Conversion and Management* 206: 112414.
- Härtwich, H. (2016) The impact of floating platforms on the benthic community structure in Dutch freshwater ecosystems. Master thesis Universiteit van Amsterdam.
- Hartzell, T.S. (2016) Evaluating potential for floating solar installations on Arizona water management infrastructure. BSc thesis University of Arizona.
- Karpouzoglou, T. (2019) Effects of floating solar platforms on the hydrodynamics and ecosystem of a coastal sea. Msc thesis Universiteit Utrecht.
- Kitazawa, D., S. Tabeta, M. Fujino & T. Kato (2010) Assessment of environmental variations caused by a very large floating structure in a semi-closed bay. *Environmental Monitoring and Assessment* 165: 461-474.
- Kumar, M. & A. Kumar (2020) Experimental characterization of the performance of different photovoltaic technologies on water bodies. *Progress in Photovoltaics: Research Applications* 28: 25-48.

- Lee, I., J.C. Joo, C.S. Lee, G.Y. Kim, D.Y. Woo & J.H. Kim (2017) Evaluation of the Water Quality Changes in Agricultural Reservoir Covered with Floating Photovoltaic Solar-Tracking Systems. *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, 39(5), 255–264.
- Loos, S. & R. Wortelboer (2018) Handreiking voor vergunningverlening drijvende zonneparken op water. STOWA rapport 2018-73.
- McKay, A. (2013) Floatovoltaics: Quantifying the Benefits of a Hydro-Solar Power Fusion. Bachelor thesis, Pomona College, Californië.
- Pringle, A.M., R.M. Handler & J.M. Pearce (2017) Aquavoltaics: Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 80: 572–584.
- Rosso, C. (2012) Effects of *Dreissena polymorpha* and *Dreissena bugensis rostriformis* on microbenthic communities. Msc thesis Universiteit van Amsterdam.
- Rutgers, M., T. Schouten, R. Wortelboer & J. Beekman (2019) Verkenning naar mogelijke effecten van zonneparken op grond- en oppervlaktewater in waterwingebieden in de provincie Limburg. RIVM rapport E/121070/01/AA.
- Sahu A, Yadav N, Sudhakar K. 2016. Floating photovoltaic power plant: A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 66:815–824.
- Scheffer, M. (1998) *Ecology of shallow lakes*. Kluwer Academic Publishers. ISBN: 1-4020-2306-5.
- Sharma P, Muni B, Sen D. 2015. Design parameters of 10kw floating solar power plant. *Int Adv Res J Sci Eng Technol.* 2:85–89.
- Sudhakar, K. (2019) A SWOT analysis of floating solar plants. *MOJ Solar and Photoenergy Systems* 3 (1): 20-22.
- Taboada, M.E., L. Cáceres, T.A. Graber, H.R. Galleguillos, L.F. Cabeza & R. Rojas (2017) Solar water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: Experimental results and modeling. *Renewable Energy* 105: 601-615.
- Uittenbogaard, R. & L.M. Dionisio Pires (2019) Risico's blauwalgenoverlast omhoogbrengen luchtbellenscherm Nieuwe Meer. Deltares rapport 11202411-002-ZWS-0001.
- van Emmerik, W.A.M., 2019. Notitie. Drijvende zonneparken. Vissen, sportvisserij en ecologie. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
- Wereldbank (2019). *Where Sun Meets Water: Floating Solar Handbook for Practitioners*. Washington, DC: World Bank.
- Wijdeveld, A. (2019) Zon op Water – Slufter. Risico op stank? Deltares presentatie 5 december 2019.