

Contents

1. Inleiding.....	2
2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts.....	3
3. Strategie.....	3
4. Schematische weergave.....	4
5. Werking.....	5
Monitoring bij grootschalige zonneparken op zandwinplassen	6
Alle potentiële effecten	9
Zonlicht	9
Eiland functie	10
Wind effecten.....	12
Interactie wind en zon effecten.....	12
Generieke lessen	13
7. Randvoorwaarden.....	14
8. Governance	15
9. Praktijkervaringen en lopende initiatieven	17
10. Kennisleemtes	17
11. Bronnen en links.....	18
13. Colofon	19

Drijvende zonnepanelen; effecten op waterkwaliteit en ecologie

We weten nog weinig van de effecten van drijvende zonnepanelen op waterkwaliteit en ecologie. Deze Deltafact geeft aan wat de afgelopen jaren is gemonitord en gemodelleerd en welke inzichten dat heeft opgeleverd ten aanzien van de effecten op waterkwaliteit en ecologie in zoet watersystemen. De hier gepresenteerde kennis richt zich zoveel mogelijk op die informatie die nuttig is voor Nederlandse vergunningverleners en beleidsmakers die betrokken zijn bij de

energietransities en het behoud en herstel van een gezond en schoon zoet watersysteem. De Deltafact kan nog geen eindconclusies presenteren maar geeft wel, gebaseerd op de nu beschikbare kennis, een aantal lessen gepresenteerd die door vergunningverlener en beleidsmaker ingezet kunnen worden.

1. Inleiding

Energie uit zon speelt een belangrijke rol in de energietransitie. De energietransitie gaat over de omschakeling van fossiele brandstoffen naar duurzame bronnen. Zonne-energie speelt als duurzame energiebron een belangrijke rol bij deze omschakeling. Voor grootschalige aanleg van zonneparken is ruimte nodig. Om de benodigde ruimte te vinden wordt gekeken naar het land maar ook naar het oppervlaktewater. Het afkoelend effect van de panelen door het water wordt vaak als extra voordeel gezien en kan leiden tot 3% meer opbrengst in Nederland ([Dörenkämper et al., 2021](#)). Daarnaast is op het op water mogelijk een zon-volgend systeem te bouwen en dit kan leiden tot zo'n 15% meer energieopbrengst in Nederland (schatting door TNO, M. Dörenkämper). Op zoete wateren zijn in Nederland al diverse commerciële zonneparken gebouwd vooral op zandwinplassen en (drink)waterbassins. In 2022 werd circa 230 Megawatt piek (MWp¹) opgewekt middels drijvende zonneparken, ([National Consortium Zon op Water](#)), de totale capaciteit van zonne-energie in Nederland was in dat jaar 8028 MWp. Een stad als Amsterdam zou naar schatting jaarlijks 145MW² nodig hebben om alle huishoudens te voorzien van elektriciteit (gebaseerd op [CBS](#) data).

Zee biedt ook ruimte voor drijvende zonneparken. Voor zonneparken op de Noordzee heeft het kabinet recent ([Zonnebrief 2025](#)) de eerdere ambitie om rond 2030 3 Gigawatt gerealiseerd te hebben te ambitieus genoemd. Wel wordt ingezet op verdere stimulering van demonstratieprojecten binnen bestaande windparken op zee om zo

¹ Een megawattpiek (MWp) is een eenheid die wordt gebruikt om de maximale capaciteit van zonnepanelen aan te geven. Het geeft aan hoeveel elektriciteit de zonnepanelen kunnen produceren onder ideale omstandigheden, zoals volle zonschijn.

² Berekend op basis van CBS schatting verbruik per huishouden.

opschaling, integratie en kostendaling te ondersteunen. Voor zonneparken op zee zijn er nog de nodige technische uitdagingen zoals golfslag en het zoute (corrosieve) water. De effecten op het mariene ecosysteem zijn grotendeels onbekend en worden daarom niet behandeld in deze Deltafact.

Voor de vergunningverlener is de grote onbekende de consequentie van een zonnepark voor de waterkwaliteit en de ecologie onder en boven het park. De huidige handreiking uit 2018 van STOWA en RWS biedt vergunningverleners een eerste inzicht op de mogelijke verandering in de waterkwaliteit via een Analysetool (een [Excel applicatie](#)) gebaseerd op een Delft-3D-waterkwaliteitsmodel ([Loos et al., 2021](#)). De aanbeveling in 2018 was om bij bestaande zonneparken te gaan monitoren en zo de daadwerkelijke effecten in het veld te bepalen en model validatie mogelijk te kunnen maken.

2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts

Aquathermie – het winnen van thermische energie uit oppervlaktewateren - vertoont parallellen met Zon-op-water. Hoewel de processen heel anders zijn is er een link via de kennis van de ecologische processen in het water en het gebruik van dezelfde modellen (D3D-waq en PCLake+). Het onderzoek rond de effecten van aquathermie is samengevat in de volgende Deltafacts:

[Ecologische impact TEO-systemen | STOWA](#)

[Ecologische effecten koudwaterlozingen aquathermie | STOWA](#)

Direct gerelateerde informatie op STOWA site: [Handreiking voor vergunningverlening drijvende zonneparken op water | STOWA](#)

3. Strategie

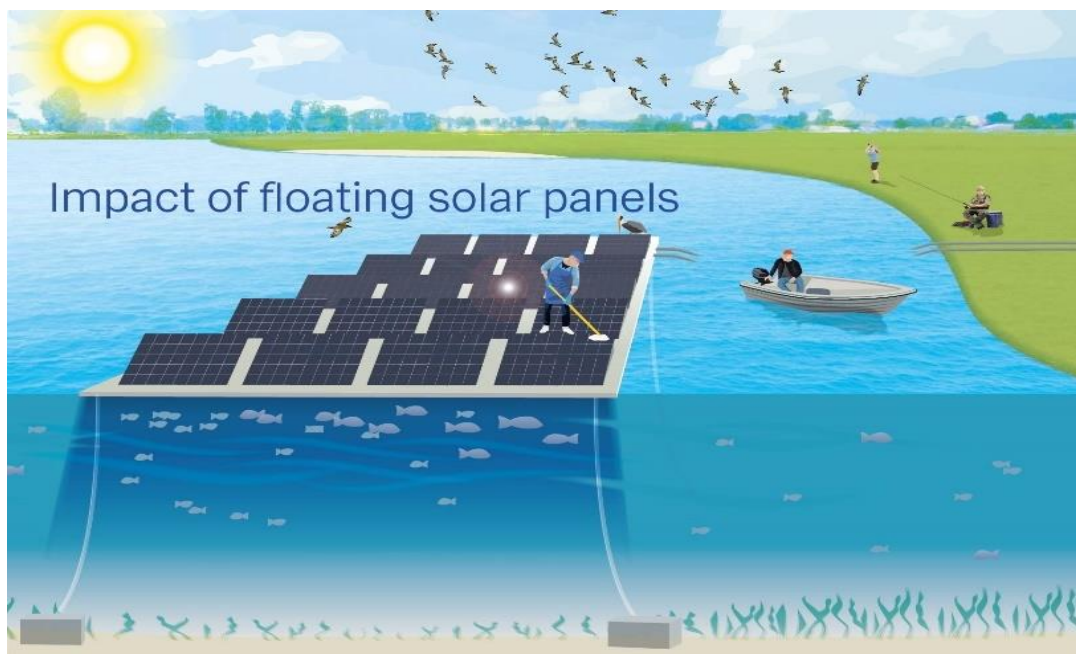
Deze Deltafact is opgesteld in het kader van de volgende strategische doelen: het realiseren van zowel de KRW als de N2000 doelen en het voldoen aan de afspraken uit het klimaatakkoord. Volgens de meest recente evaluatie van de waterkwaliteitstoestand ([Slagter et al., 2024](#)) voldoen niet alle Nederlandse oppervlaktewateren aan de chemische en ecologische normen van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). De prognoses in hetzelfde rapport laten zien dat er nog inspanning geleverd moet worden om de doelen te behalen in 2027. De Natura2000

doelen zijn ook nog niet behaald, met name voor de 130 stikstofgevoelige gebieden zijn aanvullende herstel maatregelen nodig ([Advies Ecologische Autoriteit, 2024](#)).

In het klimaatakkoord staat dat in 2030 zeventig procent van onze elektriciteit uit hernieuwbare bronnen moet komen. In 2023 werd ongeveer 48% van de elektriciteit in Nederland opgewekt uit hernieuwbare bronnen ([CBS](#)). Om hieraan te voldoen wordt er in dertig regio's gewerkt aan Regionale Energiestrategieën ([RES](#)).

In het programma Opwek van Energie op Rijksvastgoed ([OER](#)) verkent RWS waar o.a. zonne-energie opgewekt kan worden op rijksgronden waaronder ook het water. De waterschappen hebben de ambitie om in 2025 voor 100 procent energieneutraal te zijn. Daarom werken de waterschappen zowel aan energiebesparing als duurzame energieopwekking ([website Unie](#)).

4. Schematische weergave



Figuur 1 Schematische weergave van een drijvend zonnepark

Het aanbrengen van een object drijvend op het water gaat invloed hebben op het watersysteem en naar verwachting ook op het ecologisch functioneren van oppervlaktewateren (Figuur 1). De impact wordt veroorzaakt doordat drijvende zonneparken:

- het wateroppervlak deels afdekken en zo een deel van het zonlicht naar het water blokkeren;
- een nieuw object op het water vormen (een soort 'eiland') en er worden ankerlijnen en kabels geïntroduceerd in de omgeving van het zonnepark;
- een object vormen dat de wind effecten op het water oppervlak kan reduceren, te denken aan golven, stroming en uitwisseling tussen atmosfeer en water.

In het volgende hoofdstuk wordt besproken wat de potentiële veranderingen kunnen zijn op waterkwaliteit en ecologie. De inschattingen zijn gebaseerd op kennis van ecologische processen en kennis vervat in modellen. Voor een aantal zonneparken zijn ook monitoringsgegevens beschikbaar, deze leveren ook een bron van informatie.

5. Werking

Op drie grote commerciële Nederlandse zonneparken is uitgebreid gemeten; een zandwinplas bij Oudehaske, bij Beilen en op de Bomhofsplas. Dit zijn plassen waarbij het initiatief, de aanleg en de eerste fase van exploitatie door Groenleven is gedaan. Het systeem waar Groenleven gebruik van maakt is te zien in Figuur 2. De panelen worden niet op het water geplaatst, maar daarboven op drijvers. De drijvende zonneparken worden verankerd in de bodem zodat er geen ankerkabels naar het land door de oeverzone lopen. De transformatorhuizen drijven ook waardoor er maar één of enkele elektriciteitskabels naar het land gaan. Er is gemeten onder de panelen en in het open water om de vergelijking te kunnen maken. De resultaten zijn beschreven ([van Eck et al., 2024](#); [Pedroso de Lima, 2021](#)). Voor deze Deltafact worden enkel de meest opvallende zaken vermeld die nodig zijn voor meer inzicht in de mogelijke impact van een drijvend zonnepark. De parameters zijn licht, temperatuur, troebelheid, zuurstof en chlorophyl-a.



Figuur 2 Foto van een commercieel zonnepark van Groenleven

Monitoring bij grootschalige zonneparken op zandwinplassen

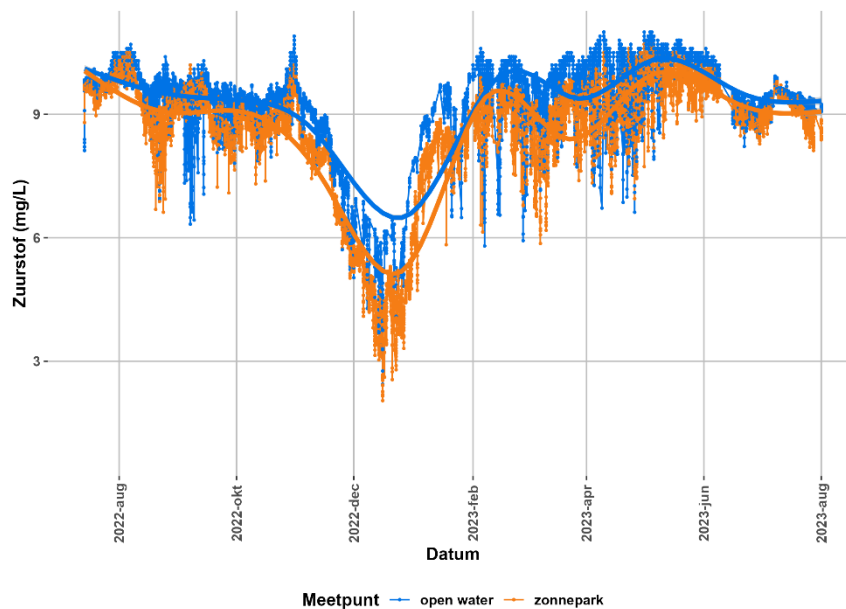
Op drie commerciële parken (Oudehaske, Beilen en Bomhofspas) met dezelfde soort installaties (Figuur 2) zijn metingen verricht en is zo een set aan monitoringsdata beschikbaar. Hoewel deze meetperiode te kort is om definitieve conclusies te trekken zijn er veel inzichten opgedaan. Hieronder worden de belangrijkste voorlopige conclusies samengevat van deze monitoring.

Zonlicht

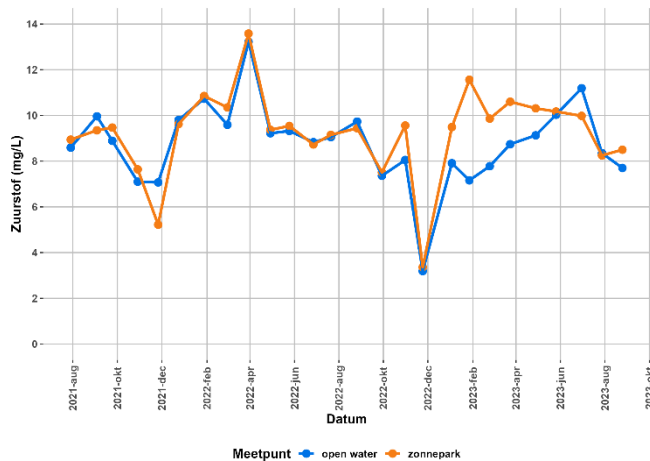
- Lagere lichtintensiteit onder de zonnepanelen. Boven het wateroppervlak, onder de zonnepanelen, bedraagt de lichtintensiteit ongeveer 5-12% van het opvallende licht. Het licht onder de panelen – boven het wateroppervlak - is niet alleen het gevolg van licht dat door de zonnepanelen wordt doorgelaten, maar ook van het licht dat vanuit andere richtingen komt ('side-scattering'). Dit effect hangt af van de aanwezigheid van objecten in de directe omgeving (zoals andere panelen) en de hoeveelheid licht die door het water wordt gereflecteerd.
- Beschikbaar licht in het water is lager onder de panelen. Gemiddeld is het beschikbare licht – gemeten op 1 meter onder het oppervlak - onder de zonnepanelen altijd lager dan in open water ([van Eck et al., 2024](#)). In de zomer is het maximaal 41% lager, in de winter is dat verschil veel kleiner (gem 0,6%) omdat dan ook bijna geen licht doordringt in het open water.

Zuurstof

- Op twee locaties, de Bomhofsplas ([Pedroso de Lima, 2021](#)) en Oudehaske ([van Eck et al., 2024](#)), is er een afname van de zuurstofconcentratie gemeten onder de panelen in vergelijking met het open water. Dit is zowel 1 meter onder het oppervlak als in de diepere delen waargenomen. Een zuurstofgehalte dat langdurig onder de 4 mg/l ligt, kan een niveau zijn waarop vissen niet kunnen overleven. Deze lage concentraties worden in de winter waargenomen bij Oudehaske in zowel het open water als onder de zonnepanelen (Figuur 3).
- In de zandwinplas bij Beilen is er nauwelijks verschil waargenomen in zuurstofconcentraties onder het zonnepark vergeleken met het open water (Figuur 4).



Figuur 3 Zuurstofconcentratie (in mg/l) bij Oudehaske, gewogen gemiddelde wordt getoond op basis van 18194 meetpunten. Beide meetpunten liggen 1 meter onder het wateroppervlak. Blauwe lijn geeft het open water en de oranje lijn midden onder het zonnepark.



Figuur 4 Zuurstofconcentraties (in mg/l) in het open water en onder het zonnepark in Beilen op basis van 26 metingen. Beide meetpunten liggen 1 meter onder het wateroppervlak. Blauwe lijn geeft het open water en de oranje lijn midden onder het zonnepark.

Temperatuur

- Op alle gemeten locaties is een minimale temperatuurverandering waargenomen onder de zonneparken. De temperatuur één meter onder het wateroppervlak onder het zonnepark is dan iets hoger. In Oudehaske varieert dit temperatuurverschil van 0 °C (gemeten op 5 augustus 2022) tot 1.2 °C (gemeten op 12 juni 2023). De licht hogere temperaturen worden ook gerapporteerd in andere parken ([Pedroso de Lima, 2021](#)).
- In de diepere lagen van de waterkolom (meer dan twee meter diep) is juist een hogere temperatuur in open water waargenomen dan onder het FPV-systeem.
- De kenmerkende zomerse stratificatie van zandwinplassen, waarbij de bovenste laag warmer is dan daaronder en er geen uitwisseling is tussen de lagen, wordt zowel onder de panelen als in het open water waargenomen. In de winter is het water volledig gemengd, terwijl in de lente de stratificatie zich opnieuw opbouwt.
- In Beilen en Bomhofse plas ([Pedroso de Lima, 2021](#)) lijkt de stratificatie onder de panelen iets langer aan te houden en bouwt deze in de lente langzamer op. Dit suggereert dat de panelen het begin van de stratificatie en de menging iets vertragen. Voor andere locaties zijn deze data niet beschikbaar.

Chlorophyl-a

Slechts op 1 locatie - Oudehaske - is chlorophyl-a gemeten tijdens een beperkte tijd. In data is duidelijk te zien dat de chlorophyl-a waardes lager zijn onder de panelen dit wijst op een lagere fytoplankton biomassa onder de panelen. In het open water

zien we waardes van rond de 10 µg/l, een normale waarde voor de zomer voor deze plas/die voldoet aan de KRW maatlatten/doelen.

Alle potentiële effecten

Het aanbrengen van een object drijvend op het water gaat invloed hebben op het watersysteem en naar verwachting ook op het ecologisch functioneren van oppervlaktewateren. Hieronder wordt besproken wat de potentiële veranderingen kunnen zijn als gevolg van deze verminderd zonlicht, eiland functie en wind effecten (Figuur 1). De inschattingen zijn gebaseerd op deels wetenschappelijke literatuur en modelstudies. Bovengemelde monitoringsgegevens zijn ook betrokken.

Zonlicht

Zonnepanelen gebruiken zonlicht voor energieproductie. Logischerwijs komt een deel van het zonlicht dan niet in het water terecht. Monitoring laat zien dat minder licht beschikbaar is in het water onder de panelen ([Bax, et al. 2023](#); [van Eck et al., 2024](#)). De reductie is afhankelijk van de bedekkingsgraad (hoeveel bedekken de panelen van het totale oppervlakte) en het toegepaste systeem (hoeveel openingen tussen de panelen).

Minder beschikbaar zonlicht in het water leidt tot lagere primaire productie (fotosynthese) in fytoplankton en vegetatie, een proces dat de drijvende kracht is van voedselproductie in het ecosysteem. Minder zonlicht in eutrofe systemen kan ongewenste algenbloei voorkomen. Een modelstudie in een eutroof reservoir voorspelt dit ([de Haas et al., 2020](#)). Ook in met panelen bedekte irrigatiebekkens werd geen ongewenste algenbloei geobserveerd terwijl op hetzelfde moment de niet bedekte bekkens wel groen kleurden (ProFloating in Luttelgeest).

Minder fotosynthetische activiteit leidt tot minder zuurstof productie. Totale zuurstof in het water (opgelost O₂) is naast productie door algen en vegetatie (fotosynthese) afhankelijk van de uitwisseling tussen atmosfeer en water, temperatuur zuurstofverbruik door afbraakprocessen en aanvoer van zuurstofrijk water. Lagere zuurstof concentraties onder de panelen zijn waargenomen ([van Eck et al., 2024](#); [Pedroso de Lima, 2021](#); [Ziar et al., 2021](#)) en afnemende biomassa van de reeds aanwezige waterplanten ([Ziar et al., 2021](#)). Deze waarnemingen worden ook in modelstudies berekend als potentieel gevolg van bedekking van water oppervlaktes

([Van der Kamp et al., 2024](#); [Chateau et al., 2019](#)). Indien lagere zuurstofconcentraties gepaard gaan met lagere chlorophyl-a concentraties (zoals in Oudehaske) is het vermoeden dat de hoofdoorzaak is gereduceerde activiteit van fotosynthese.

In de plas bij Beilen is geen verschil in zuurstofconcentraties waargenomen (zie paragraaf monitoring zandwinplassen). De hypothese is dat de aanvoer van zuurstofrijk water de gereduceerde zuurstof productie onder de panelen opheft. Deze bevindingen benadrukken het belang van de hydrologische connectiviteit (doorstroming en verblijftijd van water) bij het bepalen van het effect van drijvende zonnepanelen op de waterkwaliteit. Bij de beoordeling moet dan ook rekening worden gehouden met de unieke kenmerken van elke locatie.

Eiland functie

Op alles dat onder water een substraat biedt kan flora en fauna op groeien. In het geval van een zonnepark kunnen de drijvers zijn maar ook de kabels en ankerlijnen substraat bieden voor aangroei. Onder water drones laten zien dat op drijvers al snel – na enkele maanden – begroeid zijn met flora en fauna ([Pedroso de Lima, 2021](#)). Hoeveel substraat de constructie biedt is afhankelijk van het ontwerp. Door de aangroei van flora en fauna neemt de diversiteit van het watersysteem toe, waardoor het kan winnen aan productiviteit en natuurwaarde. Of deze biota ook wenselijk is in het betreffende ecosysteem is afhankelijk van de ecologische context. De foto van Figuur 5 laat een voorbeeld zien van aangroei in een zonnepark.



Figuur 5 Illustratie van aangroei op een zonnepark. Foto van de Groenleven zonnepark in Uivermeertjes circa twee jaar na installatie. Foto door M. Dionisio-Pires.

Vogels lijken de eilandfunctie van het zonnepark te gebruiken om te kunnen rusten. De hoeveelheden zijn afhankelijk van de aanwezigheid van vogels in de directe omgeving. Of de zonneparken meer vogels aantrekken, is op basis van de beschikbare gegevens niet te zeggen. Bij weinig neerslag kan vogelpoep op de panelen blijven vastzitten en zo op die plek het zonlicht naar de zonnecellen blokkeren. Gevolg is verminderde energieopbrengst, dit fenomeen is in een aantal publicaties ook beschreven (bv. [Sisodia and Mathur, 2019](#)). Of het bezoek van vogels ook kan leiden tot meer nutriënteninvoer in het water is nog een kennisvraag. Experts suggereren dat het voor jagende vogels zoals visdieven en aalscholvers moeilijker kan zijn om te jagen, vanwege de afname van open water door de bedekking met zonnepanelen. Deze gesuggereerde afname is echter niet onderbouwd door monitoring gegevens. Incidentele jagers naast zonneparken zijn wel waargenomen (pers com M. Mosterman). Om een causaal verband te vinden tussen zonneparken en effecten op vogels die open water nodig hebben is meerjarig monitoringsprogramma nodig rond gedrag van deze soorten. Op dit moment loopt er niet zo'n programma.

Broedvogels bevinden zich met name op het land of langs de oevers. In de tot nu toe bekende zonneparken worden oeverzones niet bedekt, wel zijn er gerelateerde activiteiten die de oeverzone plaatselijk beïnvloeden. Denk aan een kabel of aanpassingen voor een klein bootje die nodig voor de bereikbaarheid van het zonnepark. Er is geen data om vast te stellen of de aanwezigheid van een zonnepark leidt tot een toename of afname van broedvogels. Daarnaast ontbreekt onderzoek naar de effecten op het voorkomen van bijzondere vogelsoorten die soms worden waargenomen bij zandwinplassen, zoals de ijsvogel bij de Lippe Gabriëlplas.

Het is denkbaar dat gedrag of gebruik van habitat door vleermuizen beïnvloedt kan worden door aanwezigheid van de panelen. Uitgebreide monitoring bij zonneparken op land in het Verenigd Koninkrijk laat zien dat sommige vleermuis soorten (6 van de 8) negatief worden beïnvloed ([Tinsely et al., 2023](#)). De oorzaak is echter niet helder en er wordt gesuggereerd dat verlies van een voedselbron (insecten) of versnippering van habitat een oorzaak kan zijn. Hoe dat zou kunnen uitwerken voor zonneparken op water wordt in de Britse studie niet besproken. Voor de meeste vleermuissoorten vormt juist de oeverzone een belangrijk foerageergebied, omdat

hier de meeste insecten aanwezig zijn. De oeverzone is in de regel niet bedekt met zonnepanelen. Water- en meer-vleermuizen foerageren wel midden op een plas.

Wind effecten

Een object drijvend op het wateroppervlak reduceert contact tussen wind en water en vergroot ruwte van het oppervlak. Bij zonnepanelen van het systeem Suntech op een Duits meer is inderdaad gemeten dat windsterkte afneemt met een gemiddelde van 23% vlak bij het oppervlak ([Ilgen et al., 2023](#)). Nog niet gepubliceerde metingen van wind reductie bij deze en andere systemen (zoals het in Nederland toegepaste systeem van Groenleven) laten zien dat deze 23% nog erg optimistisch is. De omvang van de windreductie en consequenties daarvan zijn grofweg afhankelijk van wind en ligging van het water, grootte van het water, ontwerp zonnepark, openheid van de opstelling van panelen of landschap in omgeving. Wind is belangrijk voor het functioneren van processen zoals stratificatie, uitwisseling van gassen tussen atmosfeer en water, in suspensie houden van deeltjes (troebelheid), drijfslagvorming van blauwalgen, kroosvorming of verdeling van nutriënten in de waterkolom.

Interactie wind en zon effecten

Temperatuur en wind zijn de meest bepalende krachten voor stratificatie van de waterkolom in meren. Modelstudies laten zien dat bij hoge bedekking mogelijk consequenties kan hebben voor de stratificatie ([Nobre et al., 2023](#)). Dit kan zich uiten in kortere periodes van stratificatie, verschuiving van tijden van stratificeren of afname van de epilimnion (de bovenste warmere laag van het water) kunnen optreden. Of de veranderingen inderdaad optreden is geheel afhankelijk van de specifieke locatie en situatie. De reden om deze potentiële verandering te benoemen is dat stratificatie veel invloed heeft op timing van algengroei en kan leiden tot mogelijk mismatch in het voedselweb. Daarnaast kan het leiden tot minder transport van zuurstof naar de bodem dat de vorming van CH₄ stimuleert ipv CO₂ bij de afbraak van organisch koolstof.

Internationale literatuur laat zien dat veel verdampingsberekeningen van bedekking van kunstmatige reservoirs zoals drink- of irrigatiebekkens een verlaging van de verdamping laten zien ([Nobre et al., 2023](#)). In landen met een hoge

verdampingsfactor is dit een gunstig effect omdat het waterbesparing kan opleveren (bv. Egypte in [Abdelgaied et al., 2023](#)).

Naast de drie zandwinplassen zijn ook effecten gemeten bij de pilot met drijvende zonnepanelen op een ondiepe waterbergingsplas op eigen terrein van Waterschap Rivierenland in Weurt ([InnoZoWa](#)). De dimensies van de bedekking met panelen in Weurt is vele male kleiner dan op de drie zandwinplassen. Ook is met verschillende concepten van installaties geëxperimenteerd. Waterkwaliteitsparameters zijn drie kwart jaar gemeten en waterplanten zijn eenmalig gemonitord. Hoewel, de condities bij Weurt anders zijn dan de drie zandwinplassen zijn er wel overeenkomsten in de resultaten. In Weurt is ook een verandering van de zuurstofdynamiek gezien en een licht reductie. In Weurt had de bedekking ook effect op de waterplanten, deze groeide minder onder de panelen. In de zandwinplassen zijn geen waterplanten bedekt met zonnepanelen.

Generieke lessen

Over de effecten op zonlicht, temperatuur en zuurstof van drijvende zonnepanelen is het meest bekend. Hier blijkt de mate waarin zonlicht wordt doorgelaten (bedekkingsgraad) en de waterhuishouding (de aan- en afvoer van water) belangrijke bepalende factoren te zijn. Een regel voor maximale of minimale bedekkingsgraad kan niet worden opgesteld, deze zal afhankelijk zijn van gebruikt systeem, bedekkingsgraad en mate van (door)stroming in het watersysteem. Maatwerk is dus noodzakelijk voor elk zonnepark.

Ecologisch kwetsbare wateren zullen Wel is duidelijk dat ondiepe wateren bedekt met waterplanten zijn voor drijvende zonnepanelen

Op dit moment kunnen we wel een aantal aspecten belichten die nodig zijn voor een goede afweging op basis van de waterkwaliteit en de ecologie voor het plaatsen van een zonnepark. De huidige stand van kennis kunnen we voor de waterbeheerder en de vergunningverleners vertalen naar een aantal belangrijke lessen. Dit zijn:

- **Ken je systeem**, door het uitvoeren van een analyse van de ecologische kwetsbaarheid. Bij een dergelijke analyse bekijk je de toestand waarin het systeem zich bevindt in relatie tot processen die de toestand beïnvloeden. Daarnaast bekijk je het voorkomen van beschermde soorten of habitats. Een beter begrip van het systeem toont de kwetsbaarheden van de ecologische waarde voor een fysieke ingreep zoals het aanleggen van een drijvend zonnepark. Bijvoorbeeld een ondiep water met veel waterplanten zal zeker

negatieve effecten ondervinden van een reductie van het zonlicht. Voor drijvende zonneparken zijn met name van belang: de status vóór installatie (waterkwaliteit en ecologie), kenmerken van het watersysteem (diepte, omvang, doorstroming, aanvoer van voedingstoffen en vervuilende stoffen), mate van stratificatie en de aanwezigheid van flora en fauna in de directe omgeving.

- **Slim ontwerp.** Het betrekken van een ecooloog bij de eerste plannen levert al vanaf het begin aandacht voor die factoren die van belang zijn voor de lokale ecologie en een optimaal verantwoord ontwerp. Ook het betrekken van een landschapsarchitect zal zorgdragen voor de optimale inpassing in het landschap.
- Voer een **licht-toetst** uit van het ontwerp. Zowel het onderwater leven als de op te wekken elektriciteit hebben zonlicht nodig. Door het combineren van een energieopbrengst model (o.a. het TNO model BigEye) en een model dat onderwater licht berekent (bijvoorbeeld de STOWA [rekenmodule onderwaterlicht](#)) kunnen experts berekenen hoeveel licht er nog beschikbaar is bij een bepaalde configuraties van zonnepanelen.
- **Modelleren** is vooruitdenken. Voer een modelstudie uit zodat de consequenties van verschillende scenario's (vaak bedekkingsgraden of locaties van zonnepark) gesimuleerd kunnen worden. Geschikt voor deze actie zijn waterkwaliteitsmodellen PCLake+ en D3Dwaq ([Van der Kamp et al., 2024](#)).
- **Metten.** In model uitkomsten zit altijd een mate van onzekerheid, deze kan je reduceren door een goede validatie met monitoring gegevens. Gezien de geringe ervaring met de impact op waterkwaliteit en het leven onder en boven drijvende panelen is het een aanbeveling om de ontwikkelingen na installatie te blijven volgen. Als hulpmiddel voor het bepalen van een monitoringsstrategie kan het Meetadvies gebruikt worden ([Dionisio en Loos, 2020](#)).

7. Randvoorwaarden

Drijvende zonneparken zijn op basis van consequenties voor waterkwaliteit en ecologie niet overal toepasbaar. Ongunstige locaties zijn ondiepe wateren met veel ondergedoken waterplanten, de blokkade van licht zal de waterplant groei remmen. In geïsoleerde grotere wateren dient gekeken te worden naar het percentage

bedekking. Bij bedekking komt er minder licht in het water en dat reduceert de productie van zuurstof. Een maximale bedekkingsgraad kan met behulp van de Analysetool (een [Excel applicatie](#)) worden ingeschat en met de modelstudies nauwkeurig worden gekwantificeerd. De maximale bedekkingsgraad in wateren waar veel doorstroming is, kan hoger zijn. De kwantificering hiervan kan ook met een modelstudie worden ingeschat.

Bij uiteindelijke locatiekeuze zijn echter meer factoren van belang zoals bijvoorbeeld de golfslag, de potentiële aansluiting op het elektriciteitsnetwerk, mogelijkheden voor multifunctioneel ruimtegebruik, draagvlak in de omgeving, functies van het watersysteem of de veiligheid van gebruikers. De kansrijke locaties gebaseerd op een afweging van alle factoren zijn voor Nederland nog niet in beeld. In de RES-processen worden die afwegingen op lokaal niveau gemaakt op basis van de best beschikbare kennis.

8. Governance

Waterbeheerders worden geconfronteerd met vragen rond vergunningverlening op het moment dat partijen zonneparken willen aanleggen op wateren. Deze paragraaf geeft een beknopte samenvatting van de relevante regelgeving en beleid met betrekking op de waterkwaliteit en natuur in de omgeving van een voorgenomen zonnepark op water.

In 2018 is de regelgeving die van toepassing is rond de plaatsing van zonnepanelen op water is in beeld gebracht met behulp van een stroomschema (beslissingsschema) als onderdeel van de [handreiking](#). Het stroomschema gaat in op de regels van het Rijk, gemeente, provincie en geeft overzicht van alle relevante vergunningen en andere toestemmingen die nodig kunnen zijn bij de aanleg, het onderhoud en de verwijdering van PV-systemen op water. Hoofdstuk 2 en het stroomschema van de handreiking zijn niet meer bruikbaar vanwege de op 1 januari 2024 inwerkingtreding van de nieuwe Omgevingswet. Specifiek voor de taken en bevoegdheden van de waterschappen heeft de Unie van Waterschappen in 2022 een vervolg gemaakt die al rekening houdt met de nieuwe aspecten van de Omgevingswet ([Minderhoud et al., 2021](#)).

In de Omgevingswet is vastgelegd dat overheidsorganen samenwerken en afstemming zoeken. Dit betekent dat waterbeheerders in een zo vroeg mogelijk

stadium de waterbelangen inbrengen bij omgevingsvisies en aangeven welke regels aan welke gebieden zijn gekoppeld in het digitaal systeem van de Omgevingswet (DSO). Deelname aan de RES (Regionale Energie Strategie) is ook van belang, hier worden gebieden geïdentificeerd voor zonne-energie. De RES-afspraken worden juridisch weer verankerd in de omgevingsvisies.

Het verantwoordelijke ministerie voor de Energietransitie informeert de Kamer over de ontwikkelingen van zonne-energie in zogenaamde zonnebrieven. De eerste brief dateert van februari 2022, een tweede is in juli 2023 geschreven en de derde is begin 2025 gepubliceerd. De brief van juli 2023 geeft randvoorwaarden voor een duurzame en verantwoorde groei van zonne-energie om de schaarse ruimte zo efficiënt mogelijk te benutten met behoud van de kwaliteit van de fysieke leefomgeving. Het afwegingskader is in de brief van 2025 ([Zonnebrief 2025](#)) verder aangescherpt en bestaat uit vier treden van de zonneladder om ruimte te vinden voor opwek van zonne-energie. De treden zijn:

1. Zon op daken en gevels
2. Zon binnen bebouwd gebied
3. Zon buiten bebouwd gebied
4. Zon op landbouw- en natuurgronden.

De Ministeries (VRO, KGG en I&W) kunnen op dit moment (begin 2025) geen eenduidig antwoord geven binnen welke categorie oppervlaktewater vallen en of wateren met N2000 aanwijzing onder natuurgronden vallen of niet. De beleidsmatige discussie hierover zal komend jaar gevoerd moeten worden.

De beoordeling de impact op de waterkwaliteit moet worden gebaseerd op de KRW-normen. Als uitgangspunt gelden de scores volgens de meest recente factsheet KRW-beoordeling, te vinden via het [waterkwaliteitsportaal](#). De wetgeving geeft echter geen normen over welke effecten van een drijvend zonnepark aanvaardbaar zijn. Een waterbeheerder kan via vergunningvoorschriften sturen op verplichte monitoring en op de inhoud van de monitoringsgegevens, waardoor een indirecte toetsing plaatsvindt van de waterkwaliteitsdoelen. Wat ontbreekt is inzicht in de effecten van de drijvende zonneparken op de waterkwaliteit en ecologie.

9. Praktijkervaringen en lopende initiatieven

Na het opleveren van de Handreiking in 2018 is met name gefocust op monitoring van de impact. Veel vergunningen van zonneparken zijn afgegeven met een monitoring verplichting. In een aantal (bijna) afgeronde onderzoeksprojecten zijn deze vragen opgepakt, zoals [TKI ZWIMP](#) en [RAAK GREEN](#). Ook in pilots is veel geleerd, zoals [Innozowa 2.0](#), Boskoop en DRIVER. STOWA, RWS en ook individuele waterschappen zijn bij deze onderzoeksprojecten en pilots betrokken. De resultaten in deze Deltafact zijn gebaseerd op de beschikbare resultaten van deze afgeronde projecten en in de wetenschappelijke literatuur.

De komende jaren zullen op verschillende locaties verkennende studies worden uitgevoerd naar de mogelijkheden van drijvende zonneparken. In Nederland lopen nu een aantal grotere onderzoeksprojecten waar nieuwe kennis over de impact op waterkwaliteit en ecologie wordt onderzocht. Dat zijn:

- [SPARKLES](#). Een NWA-project dat ingaat op het samenbrengen van experts uit de verschillende werkvelden rondom zon-op-water, zoals ingenieurs, ecologen en bestuurders om zodoende toekomstige parken natuur-inclusief te ontwerpen dat tevens in de vergunningverlening opgenomen wordt.
- [SuRE-PV](#). Een Horizon Europe project dat ingaat op duurzame, efficiënte en betrouwbare opschaling van drijvende zonneparken op Europese schaal
- [KEEN](#) Een project van het Ministerie van KGG dat ingaat op alle vormen van duurzame energie die impact hebben op de ecologisch status van Nederland.

10. Kennisleemtes

Voor een vergunningverlening is voor de waterbeheerder meer kennis nodig over de impact van een drijvend zonnepark op de waterkwaliteit en de ecologie zowel onder als nabij het zonnepark. Beschikbaar onderzoek kijkt vooral naar de reductie van het zonlicht, windsnelheid en verandering van watertemperatuur als gevolg van drijvende zonnepanelen. Met name de laatste vijf jaar is veel onderzoek hiernaar opgestart en gepubliceerd. De cascade effecten van de abiotische veranderingen in temperatuur, beschikbaar licht en zuurstof naar de ecologische processen en de samenstelling van flora en fauna in relatie tot de KRW-maatlatten blijven nog onbekend.

Het gedrag van vogels op het zonnepark zelf is ook een belangrijk kennisvraag. We zien vogels rusten, soms zelfs nesten op of onder de zonnepanelen, maar een totale beoordeling van de effecten op vogelfauna is nog niet in beeld.

Naast effecten op waterkwaliteit en ecologie kan een drijvend zonnepark ook de perceptie van het landschap veranderen. Het zicht op het water en gevoel van open ruimte tijdens een wandeling of boottochtje is anders. Het is daarom denkbaar dat een drijvend zonnepark effect kan hebben op bijvoorbeeld sportvisserij, recreatie of scheepvaart.

Een heel andere kennisleemte is dat van circulariteit van de zonnepanelen. Vanuit milieuoogpunt is dat nog hele een belangrijke. Onderzoek wordt wel gedaan. Binnen zowel SPARKLES als SuRE-PV is aandacht voor zowel circulariteit als LCA (life-cycle analysis).

Samenvattend; we weten nog weinig van de effecten op waterkwaliteit en ecologie. Wat we nodig hebben zijn meetgegevens van de effecten en de vertaling hiervan in modellen, zoals PCLake+ en D3Dwaq. De te meten parameters zijn bekend, deze staan genoemd in het Meetadvies.

11. Bronnen en links

Abdelgaied M, Kabeel AE, Zelenakova M, Abd-Elhamid HFF. Floating Photovoltaic Plants as an Effective Option to Reduce Water Evaporation in Water-Stressed Regions and Produce Electricity: A Case Study of Lake Nasser, Egypt. WATER 2023;15. <https://doi.org/10.3390/w15040635>.

Bax, V., W. I. van de Lageweg, R. Hoosemans, B. van den Berg. 2022. Floating photovoltaic pilot project at the Oostvoornse lake: Assessment of the water quality effects of three different system designs. Energy Reports 9 (2023), p. 1415-1425

Château, P., F. Rainer F. Wunderlich, Teng-Wei Wang, Hong-Thih Lai, Che-Chun Chen, Fi-John Chang. 2019. Mathematical modeling suggests high potential for the deployment of floating photovoltaic on fish ponds. Science of the total environment. Volume 687, p. 654-666.

De Haas, J. Khalighi, A. de la Fuente, S.U. Gerbersdorf, W. Nowak, Po-Jung Chen. 2020. Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. Energy Conversion and Management 206 112414

Dörenkämper, M. A. Wahed, A. Kumar, M. de Jong, J. Kroon en T. Reindl. 2021. The cooling effect of floating PV in two different climate zones: A comparison of field test data from the Netherlands and Singapore. Solar Energy 219:15-23. DOI:[10.1016/j.solener.2021.03.051](https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.03.051)

Dionisio, M. en S. Loos. 2020. Ecologische meetadvies Zon op Water. Deltares rapport 11204838-002-ZWS-0002. [Ecologisch meetadvies Zon op Water](#)

Ilgén, K., Schindler, D., Wieland, S. et al. The impact of floating photovoltaic power plants on lake water temperature and stratification. *Sci Rep* 13, 7932 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34751-2>

Kroon J.W., en M. Kroes, 2016. Vissenbos brengt leven. Kunstmatige structuren als leefgebied voor vis. *Visionair*, nr. 14

Kumar S., A. en R. kumar Mathur. 2019. Impact of bird dropping deposition on solar photovoltaic module performance: a systematic study in Western Rajasthan. *Environmental Science and Pollution Research*. V. 26. P. 31119-31132.

Loos Sibren, S. de Rijk (Deltares), R. Wortelboer, S. Handgraaf, M. Talsma en R. Jonker. 2021. Een handreiking voor vergunningverlening van 'zon op water'. *H2O-Online* / 7 juni 2021

Minderhoud F., W. van de Leemkolk, C. Jongma, S. Handgraaf en M. Dionisio Pires. 2021. Handreiking voor waterschappen bij zon-op-waterprojecten. [Praktische-handreiking-ZonOpWater.pdf](#)

Nobre, R., S. Boulêtreau, S., F. Colas, F. Azemar, L. Tudesque, N. Parthuisot, P. Favriou, en J. Cucherousset. 2023. A Potential ecological impacts of floating photovoltaics on lake biodiversity and ecosystem functioning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V. 188, p. 113852

Pedroso de Lima R.L., K. Paxinou, F. Boogaard, O. Akkerman, F. Lin, 2021. In-Situ Water Quality Observations under a Large-Scale Floating Solar Farm Using Sensors and Underwater Drones. *Sustainability* 2021, 13, 6421. <https://doi.org/10.3390/su13116421>

Sisodia, A.K. and R. K. Mathur. 2019. Impact of bird dropping deposition on solar photovoltaic module performance: a systematic study in Western Rajasthan. *Environmental Science and Pollution Research* (2019) 26:31119–31132.

Slagter L., M.H. Roseboom, D. van Wieringen, I.H. Phenambucq, R.L.J. Nieuwkamer, L.C. Oosterom, E.C.M. Ruijgrok en L.G. Turlings. 2024. Koepelrapport tussenevaluatie KRW. Link

Tinsley, E., J S. P. Froidevaux, S. Zsebók, K. Lilla Szabadi, G. Jones. 2023. Renewable energies and biodiversity: Impact of ground-mounted solar photovoltaic sites on bat activity. *Journal of Applied Ecology*. V.60, p. 1752-1762.

Van der Kamp, M. K. van Lienden, R.J. Brederveld, M. Jansen, T. Troost, A. van der Linden. Zon op Water, impact op waterkwaliteit en biodiversiteit. Casus Haringvliet. Rapport Witteveen+Bos 128063/24-010.974

Van Eck, L., S. de Rijk en M. Dionisio. 2024. Large-scale floating photovoltaic systems impact the water quality of deep sand extraction lakes in the Netherlands. 11207849-002-ZWS-0004.

Van der Have, T.M. en J.W. Röell. 2022. Natuurinclusieve ontwerpen voor zon op water. Een overzicht van kansen en knelpunten. Rapport van Waardenburg Ecology

Ziar, H., B. Prudon, F. Lin, B. Roeffen, D. Heijkoop, T. Stark, S. Teurlincx, L. Senerpont Domis, E. Garcia Goma, J. Garro Extbarria, I. Narvaez Alavez, D. van Tilborg, H. van Laar, R. Santbergen and O. Isabella. 2021. Innovative floating bifacial photovoltaic solutions for inland water areas. *Progress in Photovolt Res Appl*. 2021;29:725–743.

13. Colofon

Dit Deltafact is geschreven gebaseerd op kennis verkregen in verschillende onderzoeks- en adviesprojecten. Belangrijke bron is TKI-project ZWIMP met Consortium partners: Deltares (penvoerder), NIOO-KNAW,

GroenLeven, Witteveen+Bos, Evides, Indymo, Adamant Solar, Rijkswaterstaat, STOWA, Sovon en Hanze Hogeschool In ZWIMP hebben partijen bestaande en nieuwe kennis bijeen gebracht.

Auteur: Sacha de Rijk

Versie: 1.0

Februari 2025

14. Disclaimer

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

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