



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

stowa

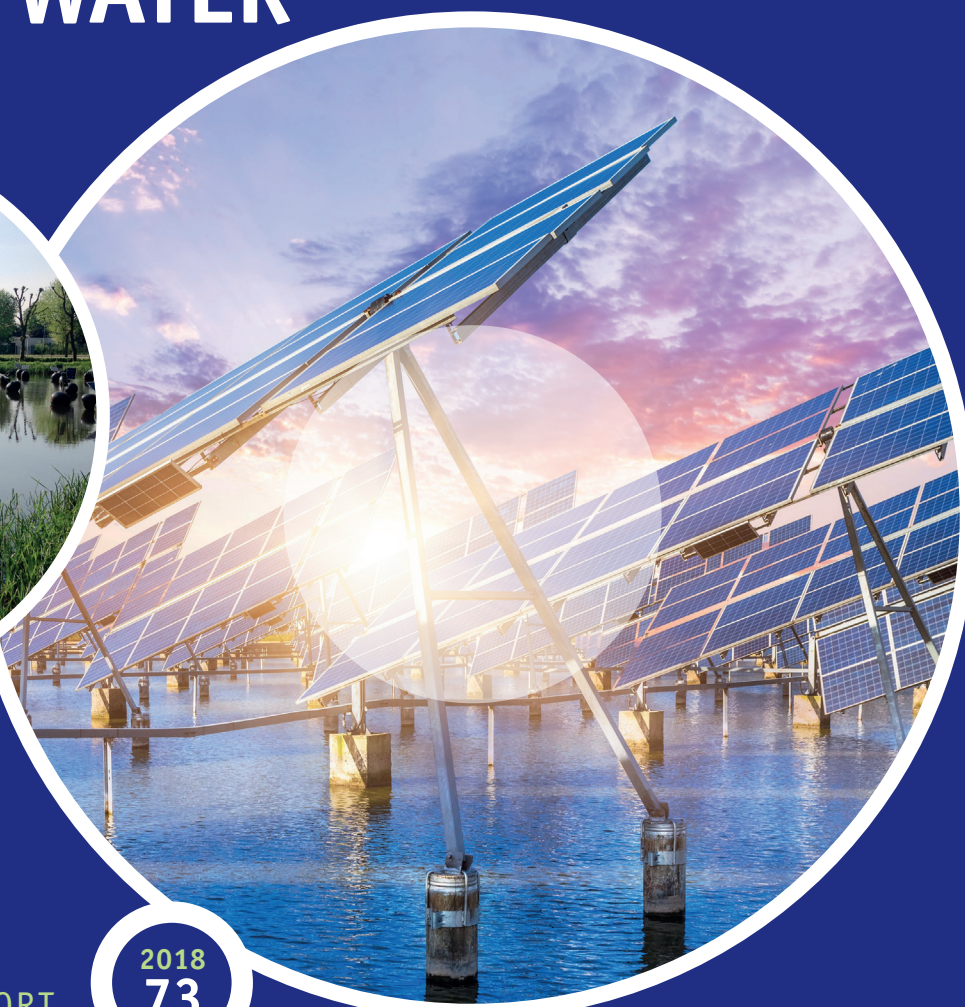


Colibri Advies

Deltares
Enabling Delta Life



HANDREIKING VOOR VERGUNNINGVERLENING DRIJVENDE ZONNEPARKEN OP WATER



RAPPORT

2018

73

HANDREIKING VOOR VERGUNNINGVERLENING
DRIJVENDE ZONNEPARKEN OP WATER

RAPPORT

2018

73

ISBN 978.90.5773.832.6



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEUR Sibren Loos (Deltares)
Rick Wortelboer (Deltares)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Johan Jonker (Hoogheemraadschap Hollands-Noorderkwartier)
Gijs van der Meer (Waternet)
Roelof Gort (Waterschap Drents-Overijsselse Delta)
Sybren Gerbens (Wetterskip Fryslan)
Evert Swart (Waterschap Scheldestromen)
Bram van der Beek (Waterschap Rivierenland)
Yasmin Joenje (Waterschap Zuiderzeeland)
Rik Jonker (Rijkswaterstaat)
Martijn Hildebrand (Provincie Zuid Holland)
Matthijs van Oosterhout (Provincie Noord-Holland)
Peter de Jong (Provincie Overijssel)
Arjen Spanjersberg (Gemeente Rotterdam)
Bas Hofs (Evides)
Dirk Matthijssen (Evides)
Donald Mollee (PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland)
Erik Oudenampsen (PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland)
Astrid Mous (Waterbedrijf Groningen)
Remco van Kan (Waterbedrijf Groningen)
Erwin de Bruin (Waterleiding Maatschappij Limburg)

OPDRACHTGEVER

Rob Portielje (Rijkswaterstaat)
Michelle Talsma (STOWA)

BIJDRAGE Dit project is mede mogelijk gemaakt door een bijdrage van RVO

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2018-73
ISBN 978.90.5773.832.6

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

Regelgeving voor en waterkwaliteitseffecten van drijvende zonneparken zijn in beeld gebracht in opdracht van het Consortium Zon op Water.

Nederland staat voor de grote opgave om de transitie van fossiele naar duurzame energie te maken. Waterschappen en Rijkswaterstaat hebben afgesproken om, in 2025 respectievelijk 2030, klimaat en energieneutraal zijn. Bovendien willen de waterbeheerders bijdragen aan de nationale doelstelling: Nederland in 2050 energieneutraal.

Om deze doelstellingen te bereiken zijn ingrijpende maatregelen in onze energievoorziening nodig. De komende decennia is een forse groei van de opwekcapaciteit van hernieuwbare energie nodig, onder andere in de vorm van zonne-energie. Hiervoor is ruimte nodig. Ruimte die in een land als Nederland schaars is. Daarom wordt ook gekeken naar het benutten van wateroppervlak voor drijvende zonneparken.

Onder coördinatie van het SEAC (Solar Energy Application Centre) is het consortium Zon op Water opgericht. Aan dit consortium nemen ruim 30 partijen deel. Zowel ontwikkelaars van innovatieve systemen voor drijvende zonneparken als kennisinstellingen en (semi)overheden. In het gezamenlijke project 'Zon op Water' wordt onderzoek gedaan naar verschillende aspecten: de financiële haalbaarheid van drijvende zonneparken, de fysieke eisen die gesteld worden aan deze systemen in verband met golfkracht en wind en de eisen vanuit de omgeving en wet- en regelgeving om drijvende zonneparken toe te laten op oppervlaktewater.

Vanuit het consortium Zon op Water hebben STOWA en Rijkswaterstaat aan Deltares en Colibri Advies verzocht onderzoek te doen naar de vergunbaarheid van drijvende zonneparken. Hierbij moet rekening worden gehouden met de doelstellingen en eisen ten aanzien van het watersysteem. Dit betreft onder andere de eisen die gesteld worden vanuit de Kader Richtlijn Water (KRW) en natuurdoelen (Natura 2000), maar ook om randvoorwaarden vanuit de omgeving en andere gebruiksfuncties. Deze zijn in beeld gebracht door Colibri Advies.

Het resultaat van deze studie is een handreiking voor vergunningverlening voor initiatieven voor drijvende zonneparken. De geldende wet- en regelgeving is geïnventariseerd en met een rekeninstrument kunnen de effecten van drijvende zonneparken op de waterkwaliteit en ecologie indicatief in beeld worden gebracht.

Wij hopen hiermee zowel de vergunningverleners als de initiatiefnemers die drijvende zonneparken willen gaan aanleggen zo goed mogelijk te ondersteunen bij het proces van vergunningaanvraag en -verlening.

Mede namens de consortiumpartners Zon op Water,

Herma de Wilde (directeur Bereikbaarheid en Netwerkkwaliteit, Rijkswaterstaat)
Joost Buntsma (directeur STOWA)

SAMENVATTING

Het breder toepasbaar maken van winning van zonne-energie is een belangrijke pijler om de transitie te kunnen maken naar hernieuwbare energie en de bijbehorende nationale doelstellingen te behalen. Naast een technologische opgave betreft dit ook een ruimtelijke opgave. Winning van zonne-energie vanaf water door het aanbrengen van drijvende zonnepanelen op oppervlaktewater kan een belangrijke bijdrage leveren aan de Nederlandse energie transitie.

Zonnepanelen aanbrengen op oppervlaktewater roept de vraag op of en hoe plaatsing de andere doelen en functies van het watersysteem beïnvloedt. De waterbeheerders – in de rol van vergunningverlener – dienen rekening te houden met effecten en de geldende wettelijke kaders. Deze handreiking laat de waterbeheerders zien welke effecten ze kunnen verwachten en met welke wettelijke kaders ze rekening moeten houden. De handreiking beperkt zich tot het zoetwater systeem en tot stilstaande wateren. In de toekomst zal de plaatsing van zonnepanelen op zeewater of stromende wateren wellicht ook relevant worden.

Deze handreiking beschrijft twee tools: het Stroomschema en de Analysetool. Beide tools bieden handvaten voor de aanvrager en verlener bij een vergunning voor drijvende zonnepanelen. De twee tools geven kwalitatieve en kwantitatieve effecten, mogelijke effecten op waterkwaliteit en ecologie en richtlijnen voor vergunningverlening. Deze handreiking is echter geen beoordelingstool met ‘ja / nee’ als uitkomst, maar een hulpmiddel bij het vergunningstraject.

De mogelijke effecten van de drijvende zonnepanelen op het watersysteem zijn uitgebreid onderzocht. Er is gekeken naar effecten op de waterkwaliteit en de ecologie, zowel in kwalitatieve als kwantitatieve zin. Deltares heeft hierbij gebruik gemaakt van systeemkennis en modelberekeningen.

De resultaten laten veranderingen zien in de temperatuur, de verdeling van de temperatuur over de waterkolom (stratificatie en menging), het zuurstofgehalte, de biomassa en de samenstelling van het fytoplankton en het areaal geschikt voor waterplanten. De veranderingen die in het watersysteem optreden kunnen mogelijk de waterkwaliteit en de ecologie nadelig beïnvloeden. Ook het behalen van de KRW doelen kan in gevaar komen. De meeste verschillen met de oorspronkelijke situatie treden op bij een bedekking van 50% of meer.

De bedekkingsgraad van de zonnepanelen is natuurlijk bepalend voor de effecten, maar ook de locatie. Zo zal een bedekking van 10% geplaatst boven diep water nauwelijks effect hebben op de waterkwaliteit en de ecologie. Een bedekking van 90% met een lichtdoorlatendheid van het PV-systeem van 0% leidt zeer waarschijnlijk tot een plas waarin weinig primaire productie optreedt (noch door het fytoplankton, noch door waterplanten) en waarin derhalve een voedselweb en de ecologische toestand zich nauwelijks kan ontwikkelen.

Het verhogen van de lichtdoorlatendheid van het PV-systeem kan de effecten afzwakken. De specifieke combinatie van bedekking en lichtdoorlatendheid kan geoptimaliseerd worden voor een specifieke situatie. De Analysetool biedt voor deze optimalisatie handvaten.

Omdat drijvende zonnepanelen nog relatief nieuw is, zijn er geen monitoringsgegevens

beschikbaar. Om meer zekerheid te verkrijgen omtrent het werkelijk optreden van effecten wordt aanbevolen watersystemen te monitoren voor en na aanleg van het PV-systeem. Hiermee kan waardevolle kennis worden opgebouwd.

DISCLAIMER

Deze handreiking beschrijft twee tools: het Stroomschema-ZoW en de Analysetool-ZoW. Beide tools bieden handvaten voor de aanvrager en verlener bij een vergunning voor drijvende zonnepanelen. De tools zijn nadrukkelijk geen vergunningsinstrument. Het Stroomschema behandelt de actueel geldende wettelijke kaders rondom de aanleg van PV-systemen; de lezer wordt zelf geacht veranderingen in de regelgeving, bijvoorbeeld als gevolg van de Omgevingswet, te controleren. De gepresenteerde analysetool toont de verwachte effecten van PV-systemen op de waterkwaliteit, en zijn tot stand gekomen met behulp van een gevalideerd model dat voor een groot aantal (fictieve) watersystemen is toegepast. De effecten van PV-systemen op de waterkwaliteit in het veld kan afwijken van de modelresultaten. Een locatie specifieke uitspraak vereist maatwerk.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

HANDREIKING VOOR VERGUNNINGVERLENING DRIJVENDE ZONNEPARKEN OP WATER

INHOUD

	TEN GELEIDE SAMENVATTING DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	HET GEBRUIK VAN HET STROOMSCHEMA	3
2.1	Opzet	3
2.2	Navigatie	5
2.3	Doorlopen van het Stroomschema	7
3	HET GEBRUIK VAN DE ANALYSETOOL	8
3.1	Invoer systeemkenmerken	9
3.2	Berekenen effecten waterkwaliteit	9
3.3	Interactieve grafieken	11
3.4	Gebruik Analysetool in het Stroomschema	12
3.5	De Krooneend en de Analysetool	15
3.6	Aandachtspunten bij de interpretatie de Analysetool	20
4	AAN DE SLAG MET VIER CASES	22
4.1	IJsselmeer	22
4.1.1	Kenmerken watersysteem	22
4.1.2	Het Stroomschema	24
4.1.3	De Analysetool: effecten op waterkwaliteit	30
4.2	RWZI Eversteekooog (De Koog, Texel)	31
4.2.1	Kenmerken water- en PV systeem	31
4.2.2	Het Stroomschema	33
4.2.3	De Analysetool: effecten op de waterkwaliteit	36
4.3	Uiterwaardplas Havikerwaard	37
4.3.1	Kenmerken watersysteem	37
4.3.2	Het Stroomschema	37
4.3.3	De Analysetool: effecten op waterkwaliteit	39
4.4	Drinkwaterbekkens Biesbosch	40
4.4.1	Kenmerken watersysteem	40
4.4.2	Het Stroomschema	41
4.4.3	De Analysetool: effecten op waterkwaliteit	43

5	ANALYSE VAN DE KANSEN VOOR ZONNEPANELEN OP WATER	44
5.1	Inleiding	44
5.2	Wettelijke kaders	44
5.3	Medegebruik	45
5.4	Waterkwaliteit en ecologie	45
5.4.1	Waterplanten	45
5.4.2	Watertemperatuur en stratificatie	47
5.4.3	Chlorofyl-a concentraties en samenstelling algen	50
5.4.4	Zuurstof en kans op zuurstoftekort op de bodem	53
5.4.5	Conclusies waterkwaliteit en ecologie	54
6	HOE ZIJN EFFECTEN BEREKEND?	56
6.1	Afbakening modelsysteem	57
6.2	Verschillende eigenschappen gemodelleerd	59
6.3	Indicatoren voor de effecten	60
7	TOELICHTING OP EFFECTEN WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE	62
7.1	Gebruiksdoelen	62
7.2	Toetsingskader Waterkwaliteit	63
7.3	Habitat en substraat	65
7.4	Natuurdoelen	66
7.5	Verblijftijd van de plas (semi-kwantitatieve analyse)	68
7.6	Ligging PV-systeem (semi-kwantitatief)	71
7.7	Lichtregime	72
7.7.1	Kwalitatieve inschatting	72
7.7.2	Kwantitatieve inschatting	74
7.8	Watertemperatuur	79
7.8.1	Kwalitatieve inschatting	79
7.8.2	Kwantitatieve inschatting	80
7.9	Stromingsregime	82
7.9.1	Kwalitatieve inschatting	82
7.9.2	Kwantitatieve inschatting	83
7.10	Zuurstofregime	83
7.10.1	Kwalitatieve inschatting	83
7.10.2	Kwantitatieve inschatting	84
7.11	Voedselweb	86
8	AANBEVELINGEN VOOR VERDERE ONTWIKKELING	88
8.1	Aanbevelingen voor de initiatiefnemer	89
8.1.1	Hulp vanuit het bevoegd gezag	89
8.1.2	Ruimtelijke ordening	89
8.1.3	PV-systeem en beheer	90
8.2	Aanbevelingen Analysetool	90
	REFERENTIES	92
BIJLAGE A	Analysetool	93
BIJLAGE B	Advies meetplan	102

1

INLEIDING

Het breder toepasbaar maken van winning van zonne-energie is een belangrijke pijler om de transitie te kunnen maken naar hernieuwbare energie en de nationale doelstellingen die hierbij horen te behalen. Naast een technologische opgave betreft dit ook een ruimtelijke opgave. Winning van zonne-energie vanaf water door het aanbrengen van drijvende zonnepanelen op oppervlaktewater kan een belangrijke bijdrage leveren aan de Nederlandse energie transitie.

Zonnepanelen aanbrengen op oppervlaktewater roept wel de vraag op of en hoe het de andere doelen en functies van de watersystemen beïnvloedt. De waterbeheerders – in de rol van vergunningverlener – dienen rekening te houden met effecten op waterkwaliteit en ecologie en de geldende wettelijke kaders. Deze handreiking laat de waterbeheerder zien welke effecten ze kunnen verwachten en met welke wettelijke kaders ze rekening moeten houden. De handreiking beperkt zich tot het zoetwater systeem en tot stilstaande wateren. In de toekomst zal de plaatsing van zonnepanelen op zeewater wellicht ook relevant worden.

Het Nationaal Consortium Zon op Water¹ voert het project ‘Zon op Water’ uit om de ‘bankability’ (investeringsbereidheid van investeerders) van drijvende zonnepanelen te vergroten. Onderdeel van het ‘Zon op Water’ project is een vergunbaarheidsstudie. De vergunbaarheidsstudie moet duidelijk maken of een vergunning voor drijvende zonnepanelen op het Nederlandse oppervlaktewater haalbaar is. Deze handreiking is het resultaat van de vergunbaarheidsstudie van Zon op Water.

Deze handreiking beschrijft twee tools: het Stroomschema en de Analysetool. Beide tools bieden handvaten voor de aanvrager en verlener bij een vergunning voor drijvende zonnepanelen. De twee tools geven kwalitatieve en kwantitatieve effecten op waterkwaliteit en ecologie en richtlijnen voor vergunningverlening. Het Stroomschema leidt de gebruiker langs alle eisen die vanuit de wettelijke kaders van belang zijn bij het vergunnen of vergund krijgen van zonnepanelen op water. Met de Analysetool kan een gebruiker inzicht krijgen in de kwantitatieve effecten van zonnepanelen op waterkwaliteit en kan hij onderzoeken welke types zonnepanelen (mate van lichtdoorlatendheid) of bedekkingsgraad effecten op waterkwaliteit en ecologie kunnen reduceren. Deze handreiking is echter geen beoordelingstool met ‘ja / nee’ als uitkomst, maar een hulpmiddel bij het vergunningstraject.

De juridische basis voor het Stroomschema is gelegd door Colibri Advies BV; zij hebben een studie gedaan naar de wettelijke kaders van de vergunbaarheid van PV-systemen op water. De rapportage van de Colibri Advies (‘Vergunbaarheid omgevingsdeel Zon op Water’) is ook een product van de vergunbaarheidsstudie van het project Zon op Water.

¹ O.a. ECN, RWS, Havenbedrijf Rotterdam, Eneco, STOWA, EVIDES, diverse waterschappen en waterbedrijven, Provincie Zuid-Holland, TNO en KNMI

De mogelijke effecten van de drijvende zonnepanelen op het watersysteem zijn uitgebreid onderzocht door Deltares. Er is gekeken naar zowel de kwalitatieve als kwantitatieve effecten op waterkwaliteit en ecologie. Deltares heeft hierbij gebruik gemaakt van systeemkennis en modelberekeningen. Resultaten zijn verwerkt in de twee tools en de aanpak is beschreven in deze Handreiking.

LEESWIJZER

Hoofdstuk 2: Algemeen gebruik van het Stroomschema. Met deze tool dient de gebruiker te starten.

Hoofdstuk 3: Algemeen gebruik van de Analyse tool. De gebruiker kan hiermee inzicht krijgen in de kwantitatieve effecten van zonnepanelen op waterkwaliteit en hij kan bepalen welke types zonnepanelen (mate van lichtdoorlatendheid) effecten op waterkwaliteit en ecologie reduceren.

Hoofdstuk 4: Aan de hand van vier cases doorloop je het Stroomschema en de Analysetool

Hoofdstuk 5: Geeft een analyse van de kansen voor zonnepanelen op water en geeft zo een beeld van de kansrijkheid van verschillende watertypen voor de toepassing van zonnepanelen.

Hoofdstuk 6 en 7: geven een toelichting hoe de effecten en risico's van zonnepalen op waterkwaliteit en ecologie zijn ingeschat, berekend en onderbouwd. Hoofdstuk 6 richt zich op de achtergrond van de kwantitatieve effecten (gebruikte modellen, de keuzes en de aannames). Hoofdstuk 7 beschrijft de kwantitatieve effecten van zonnepanelen en combineert deze effecten met de effecten en risico's die alleen kwalitatief te beschrijven zijn.

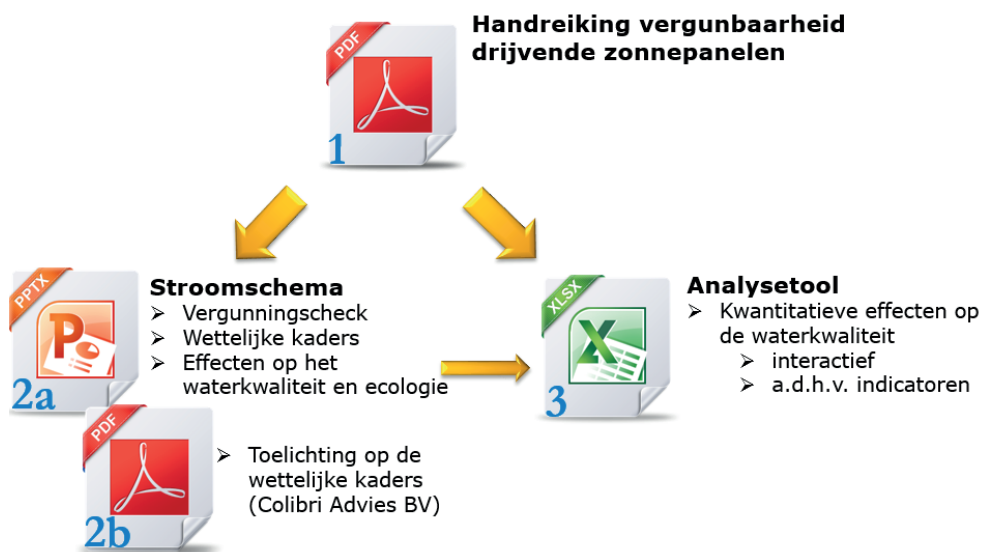
Hoofdstuk 8: Geeft de initiatiefnemer aanbevelingen hoe te werk te gaan en waar hij/zij rekening mee moet houden. Daarnaast zijn er aanbevelingen voor toekomstig gebruik van de Analysetool voor de opdrachtgevers van de vergunbaarheidsstudie.

Bijlage A geeft meer achtergrond over de totstandkoming van de Analysetool.

Bijlage B geeft een advies over te meten parameters en wijze van monitoring in de Slufter (Maasvlakte) waar drijvende PV-systemen worden ingericht.

FIGUUR 1.1

SAMENHANG TUSSEN DE PRODUCTEN ZON OP WATER: HANDEIING (1), STROOMSCHEMA (2A EN 2B), ANALYSETOOL (3)



2

HET GEBRUIK VAN HET STROOMSCHEMA

Dit hoofdstuk leidt de gebruiker door het Stroomschema en laat de mogelijkheden zien voor vergunningverlener en initiatiefnemer. De in het Stroomschema genoemde kwantitatieve effecten op waterkwaliteit en ecologie worden door de Analysetool berekend (Hoofdstuk 3). Aan de hand van vier cases kan de bruikbaarheid van het Stroomschema worden bekeken (Hoofdstuk 4). Voor een initiatiefnemer is het ook handig eerst de aanbevelingen uit paragrafen 8.1.1 en 8.1.2 te lezen.

2.1 OPZET

Het binnen deze studie ontwikkelde Stroomschema is opgesteld om alle eisen vanuit de wettelijke kaders die van belang zijn bij het vergunnen of vergund krijgen van een PV-systeem op water overzichtelijk in beeld te brengen. Het Stroomschema geeft daarnaast ook mogelijke effecten op waterkwaliteit en ecologie. Het Stroomschema is opgebouwd uit een aantal pragmatisch ingestoken 'hoofdstukken'. Deze hoofdstukken komen direct uit de rapportage van Colibri Advies ('Vergunbaarheid omgevingsdeel Zon op Water'). De hoofdstukken dekken de wettelijke kaders af die van toepassing kunnen zijn bij een aanvraag voor het plaatsen van een PV-systeem op oppervlaktewater. Ze behandelen zowel de vraag welke toestemmingen vereist zijn, als de vraag in welke gevallen die toestemmingen worden verleend of geweigerd. De eerste vier hoofdstukken hebben betrekking op regelgeving die vrijwel altijd van toepassing is. Het Stroomschema leidt de gebruiker altijd langs deze vier hoofdstukken. Het betreft:

1. werken in rijkswater of bij een rijkswaterkering;
2. werken in een watergang of waterkering in beheer bij een waterschap of in een provinciale vaarweg;
3. bouwen en ruimtelijke ordening;
4. lozen door uitlopende materialen.

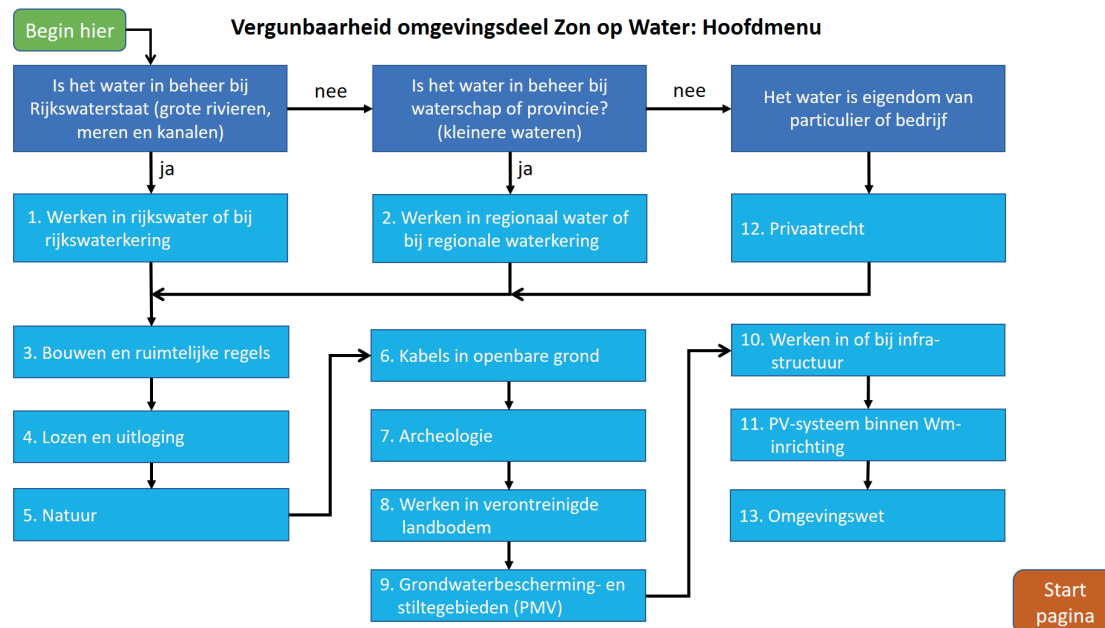
De hoofdstukken die daarna volgen, gaan over regelgeving die niet in alle gevallen van toepassing is. Dit hangt vooral samen met de gekozen locatie: wordt het PV-systeem op water aangelegd in of in de nabije omgeving van een bepaald gebied of object? Dit betreft de volgende regelgeving:

5. natuur (beschermde gebieden en beschermde soorten);
6. kabels in openbare grond;
7. archeologie;
8. grondwaterbescherming en stiltegebieden (provinciale milieuverordening);
9. werken in verontreinigde bodem;
10. werken in of bij infrastructuur, zoals rijkswegen en hoofdspoorwegen;
11. PV-systemen binnen een Wm-inrichting (Wm staat voor Wet milieubeheer);
12. privaatrecht (werken in andermans grond).

Hoofdstuk 13 benoemt de Omgevingswet, met de inwerkingtreding van deze wet zullen mogelijk ook de wettelijke kaders veranderen in de toekomst (Figuur 2.1).

FIGUUR 2.1

INDELING VAN HET STROOMSCHEMA IN HOOFDSTUKKEN



In principe moet de gebruiker alle hoofdstukken doorlopen, maar daarbij vooraf de afweging maken of voor de locatie die hij of zij op het oog heeft, er een raakvlak is met het betreffende hoofdstuk. Als dat het geval is, moet het betreffende hoofdstuk doorlopen worden.

De meeste hoofdstukken hebben een vergunning of ontheffing als mogelijke uitkomst. Het toetsingskader hiervan is eveneens opgenomen in de hoofdstukken. Het toetsingskader voor de vergunning of ontheffing bepaalt of die vergunning of ontheffing wordt verleend, of wordt geweigerd. Daarom is de uitkomst dat een vergunning of ontheffing wordt geweigerd in rood aangegeven in de Stroomschema's. Een verleende vergunning of ontheffing, en verplichtingen die niet tot weigering kunnen leiden (zoals een melding of zorgplicht), zijn groen weergegeven.

Het Stroomschema heeft alleen betrekking op regelgeving die bepalend is voor de toelaatbaarheid van een PV-systeem op een bepaalde locatie. Er is meer regelgeving van toepassing, bijvoorbeeld over verplichtingen tijdens de uitvoering van het werk. Een voorbeeld daarvan is het indienen van een graafmelding op grond van de Wet informatie-uitwisseling ondergrondse netten. De aannemer moet deze verplichting nakomen, maar de graafmelding kan niet leiden tot weigering van een PV-systeem en is daarom voor de vergunbaarheid niet relevant.

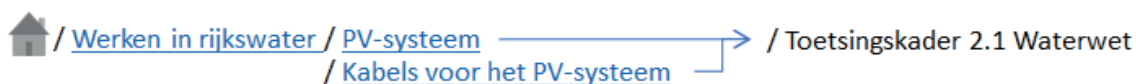
In hoofdstuk 4 van deze Handreiking is voor een aantal cases het gebruik van het Stroomschema nader uitgewerkt.

ZONNEPANELEN ALS BOUWWERK

Een PV-systeem is in principe een bouwwerk, omdat ze voor langere tijd geplaatst worden en met kabels aan de grond verbonden zijn (voor stroomleverantie en verankering). Daarmee lijken zij sterk op woonboten, waarvan de Raad van State heeft geconcludeerd dat het bouwwerken in de zin van de wet zijn. Voor een woonboot, en in analogie daarmee ook voor het aanleggen van een PV-systeem, is derhalve een omgevingsvergunning verplicht. Als een initiatiefnemer het aan te leggen PV-systeem niet als een bouwwerk zou willen aanmelden, maar bijvoorbeeld als een schip, dan zou het plaatselijk bevoegd gezag hiermee akkoord kunnen gaan. Echter, de initiatiefnemer loopt dan wel het risico dat een externe partij een bezwaar indient tegen de aanleg van het PV-systeem (mede op grond van bestaande jurisprudentie). Dit kan leiden tot het intrekken van vergunningen en het moeten afbreken van het PV-systeem. Er zijn momenteel geen juridische gronden waarop de initiatiefnemer zich dan kan beroepen. Dit beschrijft de huidige situatie, en vormt daarmee de basis van deze studie. Het is altijd mogelijk dat hierin in de toekomst verandering komt.

2.2 NAVIGATIE

Ieder hoofdstuk bestaat uit 1 of meerdere pagina's die als een Stroomschema te doorlopen is. Om aan te geven waar de gebruiker zich bevindt in het Stroomschema is er op elke pagina een zogenaamd 'kruimelpad' opgenomen, zoals onderstaand voorbeeld:



Behalve dat het kruimelpad de huidige plaats in het Stroomschema aangeeft, biedt het de mogelijkheid om snel terug te keren naar één van de voorgaande pagina's. Via de -knop kan teruggekeerd worden naar de startpagina. Bovenaan elke pagina is de titel weergegeven, die is opgebouwd uit het betreffende hoofdstuknummer en -titel plus de titel van de subpagina waarin de gebruiker zich bevindt. Helemaal rechtsboven is een verwijzing naar de bijbehorende rapportage 'vergunbaarheid omgevingsdeel zon op water' (Van de Leemkolk et al., 2018) te vinden met daarin een toelichting bij de verschillende onderwerpen en keuzemogelijkheden op het gebied van regelgeving.

Op diverse plaatsen in het Stroomschema zijn 'info'-knoppen te vinden. Deze zijn bedoeld om de gebruiker aanvullende informatie te geven over het bijbehorende blok. Door op de info-knop te drukken navigeert de gebruiker naar de info-pagina(s). De 'Quickscan effecten'-knop kan de gebruiker helpen bij de beoordeling van effecten op waterkwaliteit en ecologische toestand. Met de 'Terug naar Stroomschema'-pijl kan de gebruiker terugkeren naar dezelfde plek in het Stroomschema. De 'Toon kwantitatieve effecten van PV-systemen'-pijl verwijst naar kwantitatieve relaties tussen PV-systeem en indicatoren zoals berekend in de analysetool.

Info	Info-knop, biedt aanvullende toelichting of informatie over de vraag/keuze in het Stroomschema
Quickscan effecten	'Quickscan'-knop voor ondersteuning bij de beoordeling van waterkwaliteitseffecten door plaatsing PV-systeem
Terug naar stroomschema	Navigatie van info-pagina terug naar het Stroomschema
Toon kwantitatieve effecten van PV-systeem	Navigatie naar kwantitatieve relaties tussen PV-systeem en indicatoren zoals berekend in de analysetool

Er zijn verschillende type knoppen in het Stroomschema opgenomen met verschillende betekenis, die de gebruiker inzicht geven in de keuzes en mogelijke uitkomsten binnen een Stroomschema:

VRAAG / KEUZE	Vraag of keuze in het Stroomschema
EN / OF	EN: Aangrenzende onderdelen in het hoofdstuk moeten allen doorlopen worden OF: Er moet een keuze gemaakt worden tussen aangrenzende onderdelen in het hoofdstuk die vervolgens doorlopen moeten worden
NAVIGATIE NAAR TOETSINGSKADER	Navigatie naar Toetsingskader waarin getoetst wordt of vergunning verleend kan worden
ACTIE/VERGUNNING VEREIST	Toelaatbaarheid PV-systeem is nog niet zeker, actie of vergunning is vereist
VERGUNNING VERLEEND	Vergunning wordt verleend, eventueel is zorgplicht of meldingsplicht vereist
VERGUNNING NIET VERLEEND	Vergunning zal niet worden verleend

2.3 DOORLOPEN VAN HET STROOMSCHEMA

De gebruiker kan in acht stappen het Stroomschema doorlopen.

1. Begin altijd op de startpagina;
2. Navigeer naar het gewenste hoofdstuk door selectie van één van de blokken;
3. Op de startpagina van een aantal hoofdstukken is aangegeven (met EN of OF) welke onderdelen doorlopen moeten worden. Doorloop het hoofdstuk door selectie van één van de onderdelen. Bij andere hoofdstukken waar het hoofdstuk bestaat uit maar één onderdeel is deze keuze niet nodig is en kan men gelijk verder gaan met punt 4;
4. Doorloop het Stroomschema voor het gekozen onderdeel door
 - a. De vragen / keuzes te beantwoorden en de pijlen te volgen;
 - b. Navigeer indien van toepassing naar een volgende pagina in het Stroomschema via de beschikbare blokken; dit is afhankelijk van de gemaakte keuze;
 - c. Maak hierbij ook gebruik van de rapportage 'vergunbaarheid omgevingsdeel zon op water' (2b in Figuur 1.1; Van de Leemkolk et al. 2018), de juiste verwijzing naar de rapportage is op elke pagina vermeld;
 - d. Gebruik de info-knoppen (of Quickscan-knop) ter ondersteuning aan de vragen of keuzes die beantwoord moeten worden in het betreffende Stroomschema;
5. Als het eind van een (onderdeel binnen het) hoofdstuk is bereikt, weet de gebruiker of er een vergunning of meldingsplicht nodig is voor het gekozen onderdeel. Indien er aan de plicht(en) en/of vereiste vergunning(en) kan worden voldaan kan men verder gaan met het doorlopen van een volgend onderdeel;
6. Gebruik het 'kruimelpad' om te navigeren naar het begin van het hoofdstuk;
7. Zorg dat alle (relevante) onderdelen van het hoofdstuk doorlopen worden aan de hand van bovenstaande stappen. Zodra alle onderdelen van een hoofdstuk zijn afgerond, navigeer via de startpagina naar het volgende hoofdstuk dat voor de beoogde locatie van toepassing is;
8. Zorg dat alle (relevante) hoofdstukken doorlopen worden aan de hand van bovenstaande stappen.

3

HET GEBRUIK VAN DE ANALYSETOOL

Dit hoofdstuk geeft toelichting op het gebruik van de tweede tool van deze studie, de Analysetool. De gebruiker kan met de Analysetool inzicht krijgen in de effecten op de waterkwaliteit van het plaatsen van zonnepanelen op oppervlaktewater. De Analysetool is gebaseerd op data afkomstig van 736 modelruns die samen een breed palet aan watersystemen beslaat en waaruit de gebruiker verwachte trends in waterkwaliteit kan duiden als gevolg van de plaatsing van PV-systemen. Inhoudelijke onderbouwing van de Analysetool is gegeven in hoofdstuk 6 en 7. De Analysetool kan als losstaande applicatie gebruikt worden om inzicht te krijgen in de verwachte effecten van verschillende PV-systemen op de waterkwaliteit.

De tool kent verschillende tabbladen die de gebruiker toegang geeft tot:

1. een overzicht van alle indicatoren;
2. grafieken waarin verschillende factoren tegen elkaar uitgezet kunnen worden.

De grafieken zijn met name bruikbaar in het schatten van het handelingsperspectief: als een bepaalde combinatie van watersysteem en PV-systeem niet positief uitpakt: welke factoren kunnen dan aangepast worden die de effecten kunnen verminderen? De zeven indicatoren die in de Analysetool zijn opgenomen geven gezamenlijk een goed beeld van verwachte verandering van de waterkwaliteit en ecologische toestand van het waterlichaam, zie Tabel 3.1.

TABEL 3.1

DE ZEVEN INDICATOREN VOOR DE WATERKwaliteit IN DE ANALYSETOOL ZON OP WATER. DE DEELINDICATOREN ZIJN GEGEVEN IN TABEL 6.1

Indicator	Omschrijving
1	Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]
2	Gemiddelde lichtintensiteit onder het PV-systeem [W/m^2]
3	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [$^{\circ}\text{C}$]
4	Maximum watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [$^{\circ}\text{C}$]
5	Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes [mg/l]
6	Bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt [-]
7	Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag [$\mu\text{g/l}$]

Hieronder is in een aantal stappen beschreven hoe de Analysetool gebruikt kan worden:

A. INZICHT GEVEN IN DE EFFECTEN VAN EEN SPECIFIEK PV-SYSTEEM OP EEN SPECIFIEKE LOCATIE

1. Begin altijd op de startpagina, de overzichtstabel (tabblad overzicht);
2. Vul de invoervelden in die van toepassing zijn op de geplande locatie van het PV-systeem
3. Druk op de knop “Toon resultaten” voor het ophalen van de modelresultaten voor de geselecteerde combinatie
4. Beoordeel of de verwachte effecten acceptabel zijn voor de geplande locatie
5. Pas desgewenst de kenmerken van het PV-systeem aan om te onderzoeken wat het effect is op de indicatoren
6. Voor een detailanalyse kan de gebruiker de grafieken raadplegen en daarmee verder inzicht krijgen in de relaties van de invoervelden op de indicatoren

7. De verwachte kwantitatieve effecten van de aanleg van een PV-systeem kunnen gebruikt worden in het doorlopen van het Stroomschema, bij de toetsingskader waterkwaliteit, zie paragraaf 7.2, en de effecten op de natuur, zie paragraaf 7.4.

B. TONEN VAN TRENDS VAN DE EFFECTEN IN RELATIE TOT DE EIGENSCHAPPEN VAN HET PV-SYSTEEM EN HET WATERSYSTEEM

1. Ga naar een van de werkbladen met grafieken ('Grafiek_1variabele', Grafiek_2variabelen' of 'Grafiek_2variabelen_constanten'). Zie verder paragraaf 3.3.

3.1 INVOER SYSTEEMKENMERKEN

Op de overzichtspagina van de tool kan de gebruiker de eigenschappen van het waterlichaam en het PV-systeem invullen:

Invoer gebiedseigenschappen	
Grootte van water	100 ha
Maximale diepte	4 m
Nutrientenstatus	Eutroof
Bodemtype	Zand
Invoer PV-eigenschappen	
Oppervlakte PV-systeem	50 % van wateroppervlakte (= 500000 m ²)
Lichtdoorlatendheid PV-systeem	0 % van opvallend licht (panelen + constructie)

In bovenstaand voorbeeld gaat het om de volgende combinatie: een klein (1000 bij 1000 meter) en ondiep meer met maximale diepte van 10 meter, een zandige bodem en een eutroof systeem. Het PV-systeem bedekt hier 50% van het totale wateroppervlak en het gekozen systeem laat geen licht door (0%).

3.2 BEREKENEN EFFECTEN WATERKWALITEIT

Met een druk op de knop 'Toon resultaten' in de Analysetool worden resultaten voor de ingevoerde combinatie opgehaald uit de onderliggende modelresultaten uit de relatiematrix (tabblad 'Data') en getoond in de overzichtstabel van alle 7 indicatoren.

De overzichtstabel (Figuur 3.1) geeft de gebruiker een overzicht van de verwachte impact van de plaatsing van een PV-systeem op genoemde indicatoren. Het gaat in dit voorbeeld om een plas van 100 ha groot, maximaal 4 m diep, eutroof (hoge belasting met nutriënten) en bodemtype zand. 25% van het wateroppervlak wordt bedekt door het PV-systeem, terwijl het PV-systeem als geheel nog 10% van het invallende licht doorlaat.

In Figuur 3.1 zijn per (deel)indicator zijn 5 kolommen weergegeven:

Referentie	→ het modelresultaat voor de referentie situatie zonder aanwezigheid PV systeem
PV	→ het modelresultaat voor de referentie situatie inclusief aanwezigheid PV systeem voor de geselecteerde invoervelden (PV-bedekking, lichtdoorlatendheid, etc.)
Δ	→ het absolute verschil tussen de referentie situatie en de situatie met de aanwezigheid van een PV-systeem
Δ (%)	→ het percentuele verschil tussen de referentie situatie en de situatie met de aanwezigheid van een PV-systeem
Omschrijving	→ omschrijving van de indicator

FIGUUR 3.1 VOORBEELD VAN DE OVERZICHTSTABEL MET DE RESULTATEN VAN DE INDICATOREN. VOOR EEN INHOUDELIJKE BESPREKING VAN DE RESULTATEN ZIE DE BESPREKING VAN DE CASES (HOOFDSTUK 4) EN DE BESPREKING VAN DE KANSRIJKHEID VAN WATERSYSTEMEN (HOOFDSTUK 5)

Invoer gebiedseigenschappen Grootte van water 100 Maximale diepte 4 m Nutrientenstatus Eutroof Bodemtype Zand Invoer PV-eigenschappen Oppervlakte PV-systeem 25 % van wateroppervlakte (= 250000 m ²) Lichtdoorlatendheid PV-systeem 10 % van opvallend licht (panelen + constructie)					bekijk uitgangspunten onderliggend model Toon resultaten
Indicator	Referentie	PV	Δ	Δ (%)	Omschrijving
1	0.58	0.51	-0.07 ▼	-12.5	Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]
2	141.36	14.22	-127.14 ▼	-89.9	Gemiddelde lichtintensiteit onder het PV-systeem [W/m ²]
3a	17.06	17.01	-0.06 ▼	-0.3	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (oppervlaktelaag) [°C]
3b	16.72	16.53	-0.19 ▼	-1.2	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (middelste laag) [°C]
3c	16.28	16.14	-0.14 ▼	-0.9	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (bodemplaat) [°C]
4	28.52	27.38	-1.14 ▼	-4.0	Maximum watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [°C]
5a	8.53	9.35	0.82 ▲	9.7	Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (oppervlaktelaag) [mg/l]
5b	8.57	9.47	0.90 ▲	10.5	Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (middelste laag) [mg/l]
5c	8.39	9.41	1.01 ▲	12.1	Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (bodemplaat) [mg/l]
6a	0.29	0.02	-0.27 ▼	-92.5	Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6b	0.00	0.00	0.00 ▼	-99.8	Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6c	0.06	0.00	-0.06 ▼	-100.0	Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6d	0.00	0.00	0.00 ▼	-100.0	Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6e	0.00	0.00	0.00	nvt	Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3°C) [-]
6f	0.00	0.00	0.00	nvt	Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3 mg/l) [-]
7a	21.12	41.30	20.18 ▲	95.5	Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, totaal [µg/l]
7b	21.12	41.17	20.04 ▲	94.9	Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, buiten PV [µg/l]
7c	21.12	41.73	20.61 ▲	97.6	Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, onder PV [µg/l]

WELKE EFFECTEN ZIEN WE (IN FIGUUR 3.1)?

- Een kleine afname in bedekkingsgraad van **waterplanten**. Een absolute verandering van 0.07 (kolom Δ) en een relatieve verandering van -12.5% (kolom Δ (%)). De verandering is relatief klein omdat maar 25% van het watersysteem bedekt is. De verandering is minder dan het bedekkingspercentage van het PV-systeem (25%) omdat in de referentiesituatie waterplanten niet over het gehele areaal van de plas voorkomen.
- De gemiddelde **lichtintensiteit** onder het PV-systeem neemt af met 90%; een verandering van 141 W/m² naar 14 W/m². Deze afname mag verwacht worden bij een lichtdoorlatendheid van het PV-systeem van 10%.
- De gemiddelde **watertemperatuur** (indicator 3) daalt iets gedurende het zomerhalfjaar in de gehele plas. Dit geldt voor zowel de oppervlakkige waterlaag (indicator 3a), de middelste waterlaag (indicator 3b) als de onderste waterlaag (indicator 3c). De verschillen zijn echter erg klein (orde -1%).
- De **maximum watertemperatuur** (indicator 4) daalt met ongeveer 1 °C.
- De zuurstofconcentratie (indicator 5) neemt toe met ongeveer 10% in de gele plas gedurende het zomerhalfjaar met ongeveer 10% toeneemt, zowel in de oppervlakkige waterlaag (indicator 5a), de middelste waterlaag (indicator 5b) als in de onderste waterlaag (indicator 5c). Een significante toename veroorzaakt door een hogere zuurstofproductie als gevolg van een hogere primaire productie door algen (zie indicator 7).
- De **zuurstofloosheid** aan het bodemoppervlak (indicator 6) neemt af zowel in areaal als in intensiteit (lengte van de zuurstofloze periode) met meer dan 90%.
- Het **chlorofyl- a gehalte** (indicator 7) is bijna 100% hoger. Door minder menging over de verticaal verblijven de algen langer in de bovenste waterlagen en kunnen daar gebruik maken van het daar aanwezige licht om veel te produceren. Bij een hogere percentage bedekking wordt dit effect versterkt.

Bovenstaande veranderingen kunnen een effect hebben op de beoordeling van de ecologische toestand voor de KRW.

3.3 INTERACTIEVE GRAFIEKEN

Aanvullend aan de overzichtstabel zijn er diverse interactieve grafieken te raadplegen die de *gevorderde* gebruiker inzicht geeft in de relaties tussen de verschillende invoervelden en indicatoren, denk bijvoorbeeld aan het verschil in effecten afhankelijk van de PV-bedekking (afwezig, 10, 25, 50 of 90%).

Er zijn drie type grafieken te raadplegen in de Analysetool:

- ‘Grafiek 1 variabele’

→ vergelijken van twee variabelen, bijv. een indicator uitgezet tegen PV-bedekking:

x-variabele:

y-variabele:

- ‘Grafiek 2 variabelen’

→ vergelijken van drie variabelen, bijv. een indicator uitgezet tegen mate van lichtdoorlatendheid van het PV-systeem voor meerdere PV-bedekkingen:

co-variabele:

x-variabele:

y-variabele:

- ‘Grafiek 2 variabelen + constante’

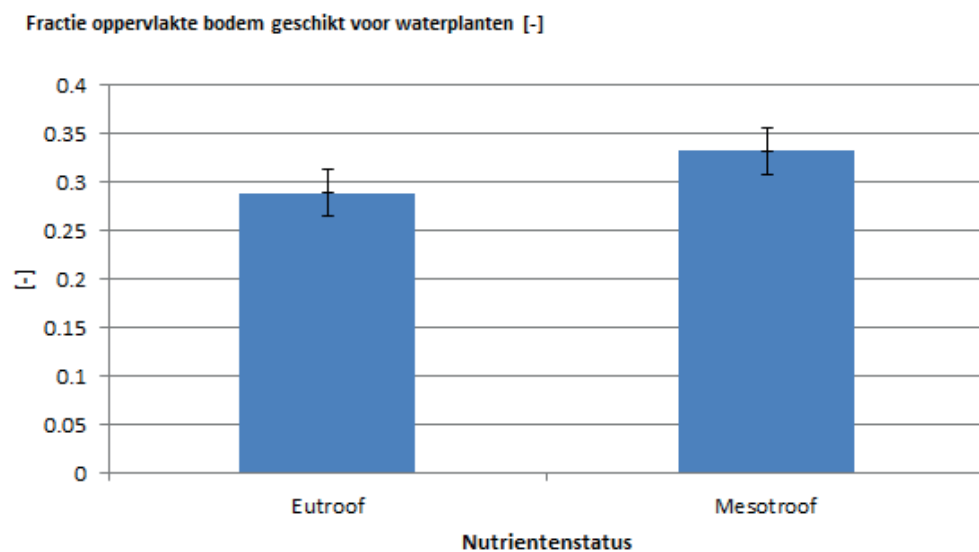
→ vergelijken van drie variabelen voor een geselecteerde vaste PV-bedekking, bijvoorbeeld een indicator uitgezet tegen mate van lichtdoorlatendheid van het PV-systeem voor één specifieke PV-bedekking voor de verschillende nutriëntenstatus Eutroof of Mesotroof:

Constante	PV	25
co-variabele:	Nutrients	1
x-variabele:	LightPV	25
y-variabele:	waterplan	1

Met behulp van de verschillende grafieken kan de gebruiker de gevoeligheid van een bepaalde stuurvariabele inzichtelijk maken, bijvoorbeeld hoeveel effect de verschillende PV-bedekkingen hebben op een bepaalde indicator. In de grafieken worden ook betrouwbaarheidsintervallen getoond, omdat de weergegeven resultaten het gemiddelde zijn van vele modelberekeningen. Zo zijn er 368 berekeningen uitgevoerd voor waterlichamen met een eutrofe nutriëntenstatus (zie Figuur 3.2; mesotrofe systemen zijn geschikter voor waterplanten dan eutrofe systemen), voor alle combinaties variërend van kleine tot grote meren, met verschillende PV-bedekkingen etc..

FIGUUR 3.2

VERSCHIL TUSSEN EUTROFE EN MESOTROFE WATERSYSTEMEN VOOR WAT BETREFT DE FRACTIE VAN HET BODEMOPPERVLAKE DAT GESCHIKT IS VOOR WATERPLANTEN



Resultaat: gemiddelde met indicatie van de variatie in de resultaten

Voor een verdere uitsplitsing van de combinaties kunnen de 'Grafiek 2 variabelen' en 'Grafiek 2 + variabelen constante' geraadpleegd worden. In paragraaf 3.4 is een voorbeeldcase gegeven die beschrijft hoe de Analysetool gebruikt kan worden en hoe daarbij de grafieken moeten worden geïnterpreteerd.

Om een indruk te geven van de relatiematrix (tabblad 'Data') is hieronder een kleine uitsnede getoond van de doorgerekende gekozen 'combinatie' en de daarbij horende referentie situatie waarin geen PV-systeem aanwezig is:

filename	MaxDepth	Secchi	PV	LightPV	SoilType	Nutrient	Indicator1a	Indicator1b	Indicator2a
delwaq_w0_100x100m_d2-0_s10_pv0_lpv0_hpv0_Zand_Eutroof_map.nc	2	10	0	0	Zand	Eutroof	0.783950617	0.783950617	152.0244348
delwaq_w0_100x100m_d2-0_s10_pv50_lpv0_hpv0_Zand_Eutroof_map.nc	2	10	50	0	Zand	Eutroof	0.475308642	0.475308642	97.97263327

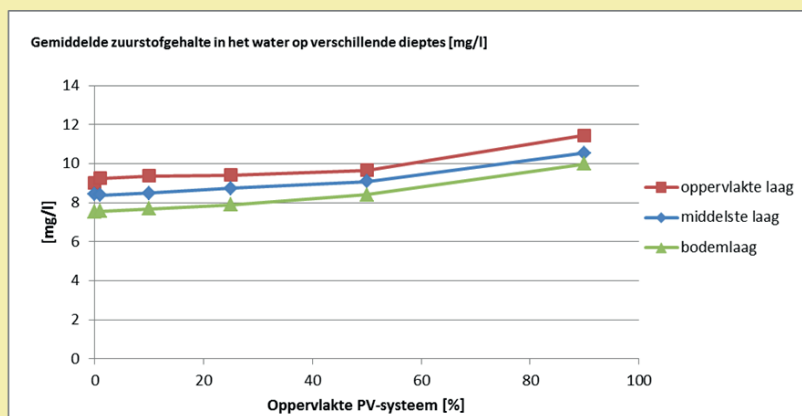
Dit tabblad bevat de resultaten van alle modelberekeningen maar hoeft niet door de gebruiker geraadpleegd te worden; de juiste data wordt automatisch opgehaald en getoond in de overzichtstabel en de grafieken als met de knop 'Toon resultaten' de data wordt opgevraagd.

3.4 GEBRUIK ANALYSETOOL IN HET STROOMSCHEMA

In het Stroomschema zijn een aantal grafieken uit de Analysetool gebruikt. De gebruikte grafieken geven een algemene trend voor de verschillende waterkwaliteitsindicatoren weer. Als voorbeeld dient Figuur 3.3. Hierin is te zien dat het gemiddelde zuurstofgehalte toeneemt bij een grotere bedekking met PV-systemen, als gevolg van veranderingen in de primaire productie door het fytoplankton (meer zuurstofproductie) en (bij hoge bedekkingen door het PV-systeem) door de verminderde zuurstofvraag vanuit de bodem.

FIGUUR 3.3 RESULTATEN UIT DE ANALYSE TOOL ZON OP WATER GETOOND ZOALS OPGENOMEN IN HET STROOMSCHEMA

5. Natuur: Verwachte effecten PV-systeem op zuurstofregime - Analysetool Zon op Water: indicator 5



De op deze pagina getoonde relaties zijn de verwachte effecten zoals berekend met behulp van een Delft3D-waterkwaliteitsmodel.

Voor meer uitgebreidere relaties check de Analysetool Zon op Water

Indicator 5: Gemiddeld zuurstofgehalte in de zomerperiode

Een toenemende bedekking met PV-systemen heeft naar verwachting een positief effect op het zuurstofregime in alle waterlagen, als gevolg van het wegvallen van de invloed van wind en de verandering in de balans tussen productie, consumptie en transport van zuurstof.

Terug naar KRW
Kwaliteitselementen

Terug naar
Voedselrelaties

In het Stroomschema komt de vraag aan bod of kwaliteitselementen Kaderrichtlijn Water worden beïnvloed door PV-systemen (Figuur 3.4). Ook hier worden de kwantitatieve resultaten uit de Analysetool gebruikt. De Analysetool zal geen 'ja/nee' antwoord geven op vragen uit het Stroomschema, maar geeft de (ecologisch) expert wel handvaten om een inschatting te kunnen maken van de verwachte impact van een PV-systeem op een kwaliteitselement.

FIGUUR 3.4 INFOBLAD OVER KWALITEITSELEMENTEN KRW

1. Werken in rijkswater: Kwaliteitselementen KRW: Mogelijke beïnvloeding door PV-systemen

Kwaliteitselement	Mogelijke beïnvloeding door PV-systemen
Fytoplankton (alleen meren)	Effecten vooral via licht; bloei onder systeem wordt mogelijk tegengegaan; mogelijk bloei van andere algen
Fytobenthos (alleen rivieren)	Aanbieding habitat voor aangroei; positief voor hoeveelheid biomassa; filterfunctie; voedsel voor zoöbenthos; aangroei bevat ook filtreerders die water helderder kunnen maken en voedsel voor vissen vormen; wordt voor KRW alleen gemeten op natuurlijk substraat, dus niet waarneembaar in EKR-score
Macrofyten	Minder licht, waardoor vermindering/verdwijning plantengroei; door andere ligging van monsterpunt hoeft effect niet zichtbaar te zijn in EKR-score (oppervlakte waterplanten is geen criterium)
Macrofauna	Meer voedsel, plaatselijk hogere dichtheden, niet noodzakelijkerwijs van soorten die een hoge kwaliteit indiceren
Vissen	Voedsel, beschutting

Schema Ecologie:

Schema's invloed PV-systeem op water op:

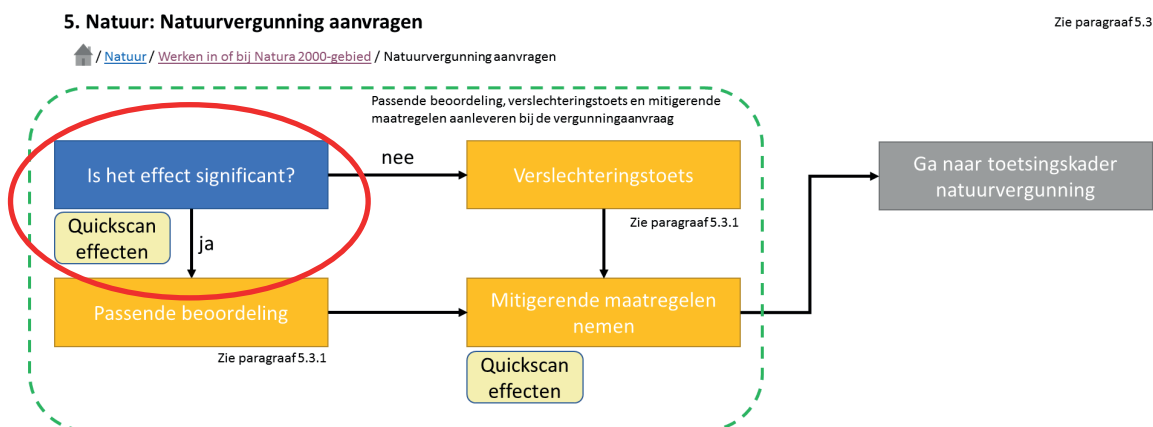
Ecologie

Licht-
regimeTemperatuur
regimeStromings-
regimeZuurstof-
regimeHabitat /
substraat

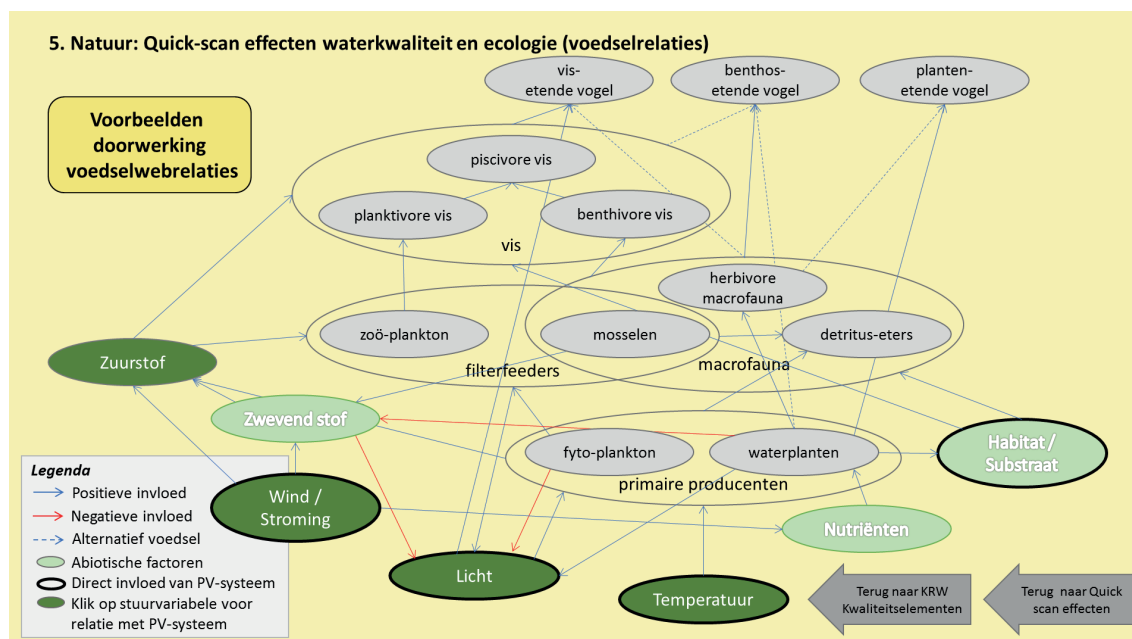
Terug naar
stroomschema

Ook in het onderdeel “Natuur: Natuurvergunning aanvragen” van het Stroomschema (Figuur 3.5) is een directe link te leggen naar de Analysetool. Er is een ‘Quick-scan effecten waterkwaliteit en ecologie’ beschikbaar in het Stroomschema om de vraag of er kans is op significante effecten op de ‘instandhoudingsdoelen en de lokale staat van instandhouding’ in het (nabijgelegen) Natura 2000 gebied. Voor effecten op natuur, zie ook paragraaf 7.4.

FIGUUR 3.5 ONDERDEEL NATUURVERGUNNING AANVRAGEN IN HET STROOMSCHEMA



FIGUUR 3.6 VOEDSELWEB RELATIES ZOALS WEERGEGEVEN IN DE ‘QUICKSCAN EFFECTEN WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE’



Via de ‘Quickscan effecten’-knop wordt in een voedselwebrelaties-schema (Figuur 3.6) aangegeven welke waterkwaliteitsindicatoren uit Tabel 7.4 van invloed zijn op flora en fauna en daarmee op de instandhoudingsdoelen van een Natura 2000 gebied. De kwalitatieve en verwachte kwantitatieve effecten van PV-systemen op de indicatoren is opgenomen in het Stroomschema en beschreven in deze handreiking. Voor temperatuur, licht, wind/stroming en zuurstof kan worden doorgelinkt naar resultaten van de Analysetool.

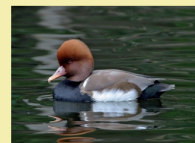
3.5 DE KROONEEND EN DE ANALYSETOOL

Vraag: Wat voor effect heeft het geplande PV-systeem op de voedselbeschikbaarheid van planten-etende vogel Krooneend? Welke systemen kunnen de effecten reduceren?

FIGUUR 3.7 VOORBEELD VOEDSELRELATIE VOOR DE KROONEEND

Planten-etende vogel (Krooneend)

5. Natuur: Voorbeeld gebruik voedselrelaties: 2 – Planten-etende vogel (Krooneend)



De sturende factor voor het aantal Krooneenden is de beschikbaarheid van plantaardig voedsel, in het bijzonder (Ster)kranswier. De biomassa aan kranswier wordt bepaald door de combinatie van de factoren diepte en doorzicht, waarbij bij minder dan 10% licht op de bodem geen kranswier meer kan voorkomen.

Effect van PV-systeem treedt op via vermindering van het beschikbare licht op de bodem in het voorjaar door beschaduwing. Indien de diepte geschikt is, vermindert door beschaduwing het geschikte areaal voor kranswier.

Van het Stroomschema (Figuur 3.6) weten we dat het lichtregime van belang is voor het (kunnen) voorkomen van waterplanten en daarmee op voedselbeschikbaarheid voor bijvoorbeeld de krooneend (Figuur 3.7). Waterplanten op hun beurt vervullen belangrijke functies in het ecologisch functioneren van een watersysteem, zoals beschutting, invloed op het zuurstofgehalte en het lichtklimaat, en het creëren van (natuurlijke) gradiënten. Met behulp van de Analysetool kan de invloed van een gepland PV-systeem op het lichtregime (indicator 2: lichtintensiteit) en op de waterplanten (indicator 1: fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten) worden onderzocht.

Start bij het hoofdscherm van de Analysetool in het tabblad 'Overzicht'. Hierin kan de gebruiker de eigenschappen van het gebied waar de PV-systeem gepland is en de eigenschappen van het PV-systeem zelf invoeren. De tool toont voor alle indicatoren de verwachte verandering na het plaatsen van een PV-systeem ten opzichte van de referentiesituatie (waarin geen PV-systeem aanwezig is). Ook voor indicator 1 "Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten" wordt het effect getoond als de knop 'Toon resultaten' geactiveerd wordt na het invullen van de gebieds- en PV-eigenschappen.

Voor een 100 ha groot eutroof meer met een maximale diepte van 2 meter en zandige bodem, is bij een PV-systeem met nul lichtdoorlatendheid en 50% van het waterlichaam bedekt de verwachte reductie in bodem geschikt voor waterplanten rond de 50% (gelijk aan de bedekking van het PV):

Invoer gebiedseigenschappen				
Grootte van water	100 ha			
Maximale diepte	2 m			
Nutriëntenstatus	Eutroof			
Bodemtype	Zand			
Invoer PV-eigenschappen				
Oppervlakte PV-systeem	50 % van wateroppervlakte (= 500000 m ²)			
Lichtdoorlatendheid PV-systeem	0 % van opvallend licht (panelen + constructie)			
Toon resultaten				
Indicator	Referentie	PV	Δ	Δ (%) Omschrijving
1	0.71	0.37	-0.34 ▼	-48.2 Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]

Indien de gebruiker de mogelijkheden wil verkennen voor het effect van verschillende PV opstellingen, kan de gebruiker andere waarden voor de PV-eigenschappen invullen en daarmee de overzichtstabel vernieuwen. Als er gekozen wordt voor een kleinere PV-bedekking (25%) is gelijk duidelijk dat dit het effect op de waterplanten verkleind tot ~21% verlies in areaal:

Invoer gebiedseigenschappen	
Grootte van water	100 ha
Maximale diepte	2 m
Nutrientenstatus	Eutroof
Bodemtype	Zand
Invoer PV-eigenschappen	
Oppervlakte PV-systeem	25 % van wateroppervlakte (= 250000 m ²)
Lichtdoorlatendheid PV-systeem	0 % van opvallend licht (panelen + constructie)

Toon resultaten

Indicator	Referentie	PV	Δ	Δ (%)	Omschrijving
1	0.71	0.56	-0.15 ▼	-20.9	Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]

Als vervolgens ook de lichtdoorlatendheid van het PV-systeem wordt vergroot tot 25% is zichtbaar dat er geen verwacht effect meer is voor de waterplanten:

Invoer gebiedseigenschappen	
Grootte van water	100 ha
Maximale diepte	2 m
Nutrientenstatus	Eutroof
Bodemtype	Zand
Invoer PV-eigenschappen	
Oppervlakte PV-systeem	25 % van wateroppervlakte (= 250000 m ²)
Lichtdoorlatendheid PV-systeem	25 % van opvallend licht (panelen + constructie)

Toon resultaten

Indicator	Referentie	PV	Δ	Δ (%)	Omschrijving
1	0.71	0.71	0.00 ➡	0.0	Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]

Met een dergelijk voorbeeld kan de gebruiker snel inzicht krijgen of de gemaakte keuze voor een bepaald PV-systeem wel of geen verwachte effecten zal hebben op de onderliggende waterkolom. Dit geeft tevens handvaten om de eventuele effecten zo beperkt mogelijk te houden.

Met behulp van een drietal grafieken kan een nadere analyse worden uitgevoerd. In de eerste grafiek ('Grafiek 1 variabele') kan de gevoeligheid van een indicator voor één variabele bekeken worden, zie Figuur 3.8. Het resultaat toont een gemiddelde van een veelvoud aan modelberekeningen, namelijk alle combinaties welke een bepaalde PV-bedekking hebben.

FIGUUR 3.8

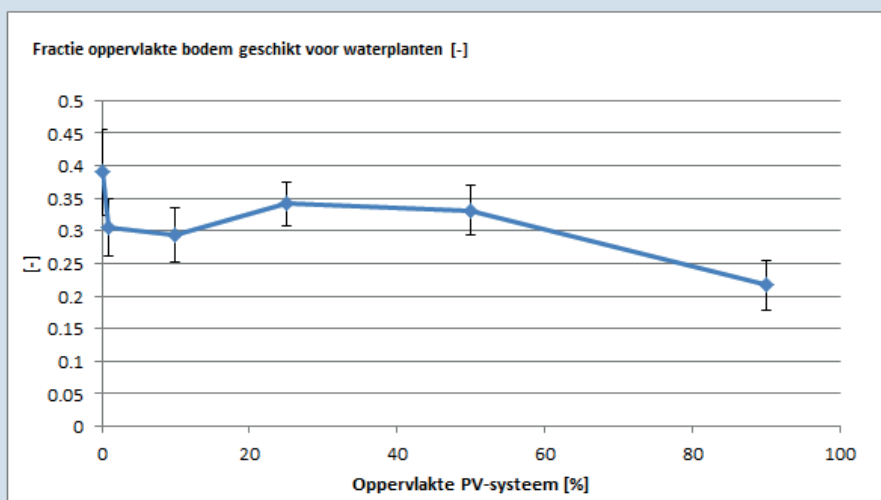
RELATIE TUSSEN PV-BEDEKKING OP INDICATOR 1 (FRACTIE OPPERVLAKE BODEM GESCHIKT VOOR WATERPLANTEN)

Kies uit lijst:

x-variabele: PV

Kies uit lijst:

y-variabele: waterplanten, bodemopp.

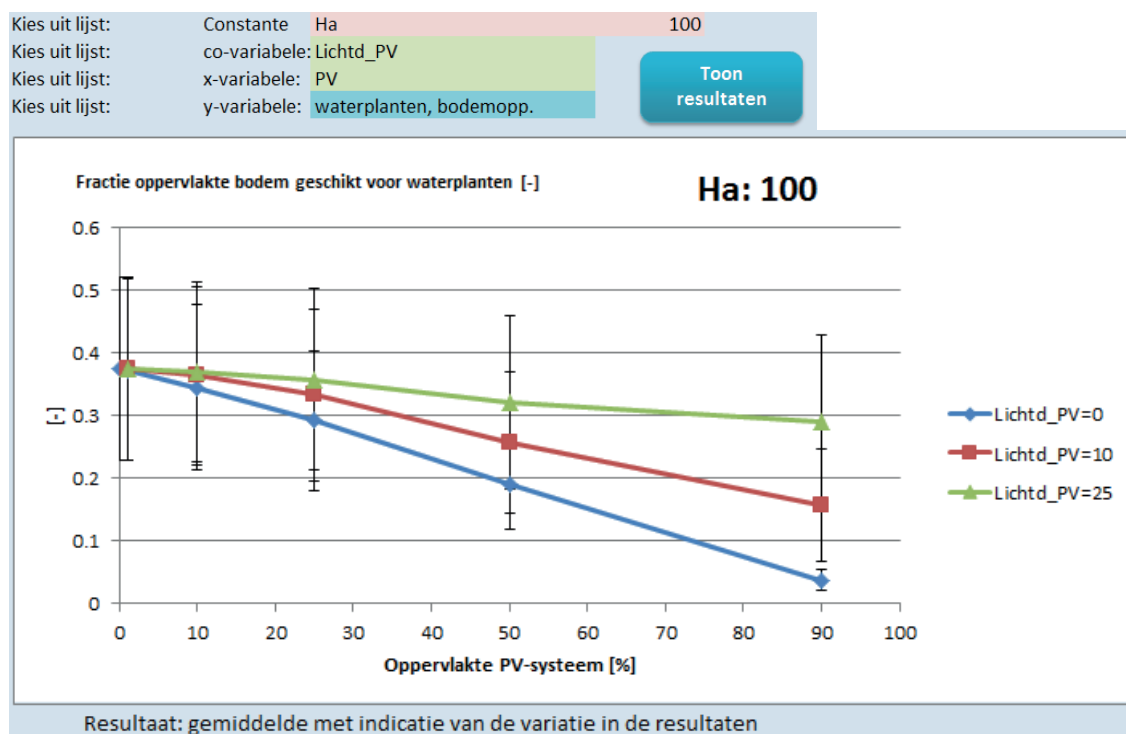
Toon
resultaten

Resultaat: gemiddelde met indicatie van de variatie in de resultaten

Figuur 3.8 laat zien dat hoe meer oppervlakte het PV-systeem bedekt, hoe minder ruimte er is voor ondergedoken waterplanten. In termen van de effecten op de Krooneend, betekent dit dat de draagkracht van het watersysteem voor krooneenden in dit voorbeeld met 50% afneemt bij een bedekking van het PV-systeem van 90% ten opzicht van de Ausgangssituatie zonder PV-systeem. Dit kan (deels) gecompenseerd worden door de lichtdoorlatendheid van het PV-systeem te vergroten, zie verder onderstaande grafieken en de toelichting in de rest van deze paragraaf.

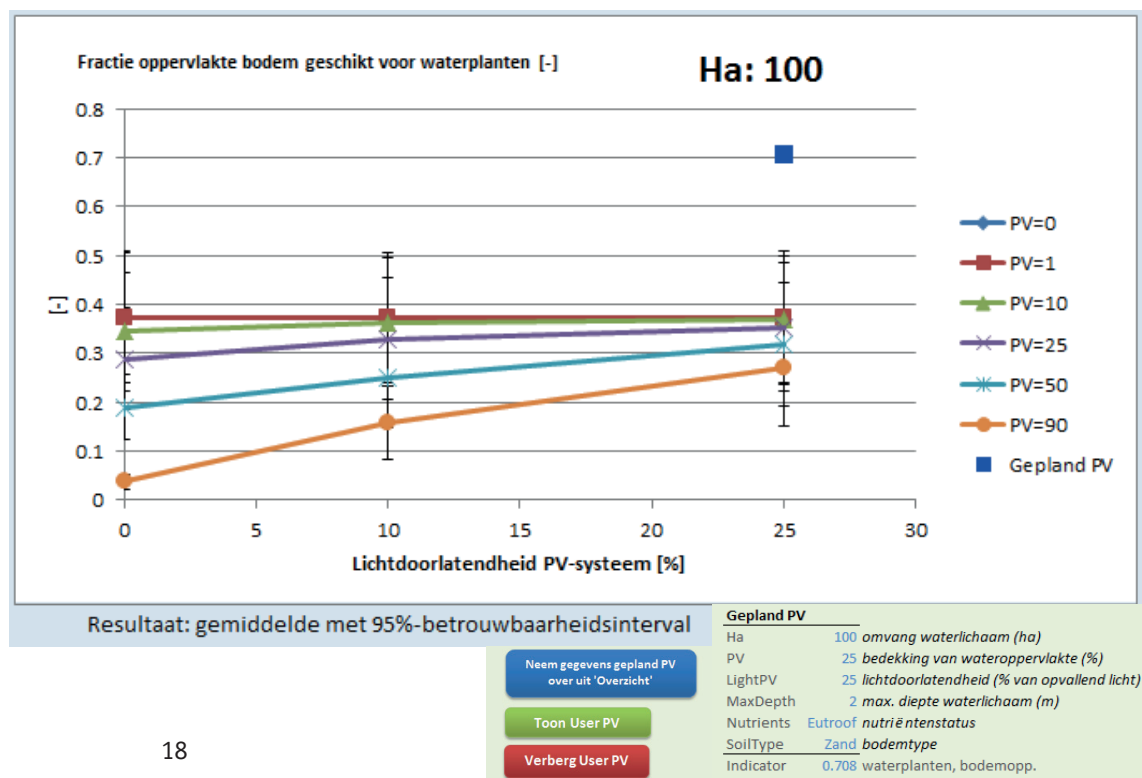
De 'dip' in Figuur 3.8 bij 1 en 10% bedekking door het PV-systeem is het gevolg van het feit dat niet voor alle combinaties modelberekeningen zijn uitgevoerd. Voor de kleinere en ondiepere meren (< 100 Ha) zijn alleen PV-bedekkingen van 25, 50 en 90% doorgerekend, en voor grotere meren (> 100 Ha) zijn alleen PV-bedekkingen van 1, 10 en 25% doorgerekend (kleine drijvende zonneparken in kleine plassen zullen waarschijnlijk niet rendabel zijn en grote meren zullen niet zo snel worden vol gelegd). Aanbevolen wordt om in zo'n geval te switchen naar het tabblad 'Grafiek_2variabelen _constante' waarin de omvang van de plas vastgezet kan worden. Voor een plas van 1000 ha zijn alle combinaties doorgerekend. Deze instelling geeft het meeste inzicht in de trends, zie Figuur 3.9.

FIGUUR 3.9 RELATIE TUSSEN PV-BEDEKKINGEN EN INDICATOR 1 (FRACTIE OPPERVLAKTE BODEM GESCHIKT VOOR WATERPLANTEN) VOOR VERSCHILLENDE LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM VOOR ALLEEN WATERLICHAAMEN MET EEN OPPERVLAKTE VAN 100 HECTARE



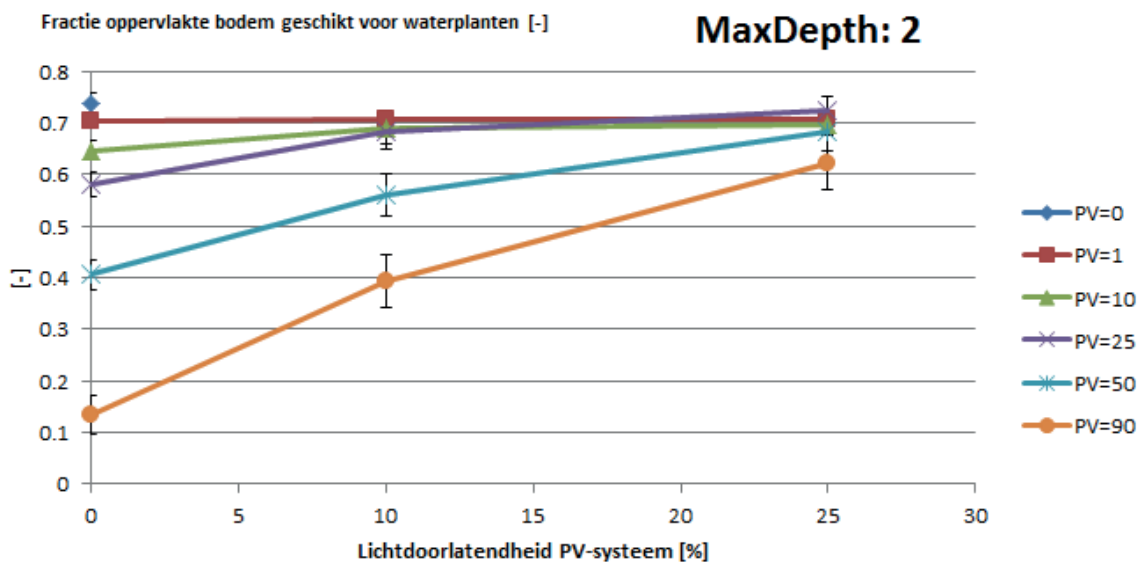
De verschillende grafieken bieden de mogelijkheid om ook de kenmerken van het watersysteem en van het geplande PV-systeem te tonen (Figuur 3.10, in tegenstelling tot voorgaande figuren is hier de lichtdoorlatendheid van het PV-systeem uitgezet tegen de fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten). Dit geeft de gebruiker extra inzicht in hoe zijn of haar situatie zich verhoudt tot de getoonde relatie. Bedenk hierbij dat de getoonde relatie een gemiddelde is van veel verschillende modelberekeningen (waaronder ook de enkele berekening die het gepland PV-systeem beschrijft).

FIGUUR 3.10 EXTRA KNOPPEN BIEDEN DE MOGELIJKHEID OM HET GEPLAND PV-SYSTEEM TE TONEN IN DE GRAFIEK



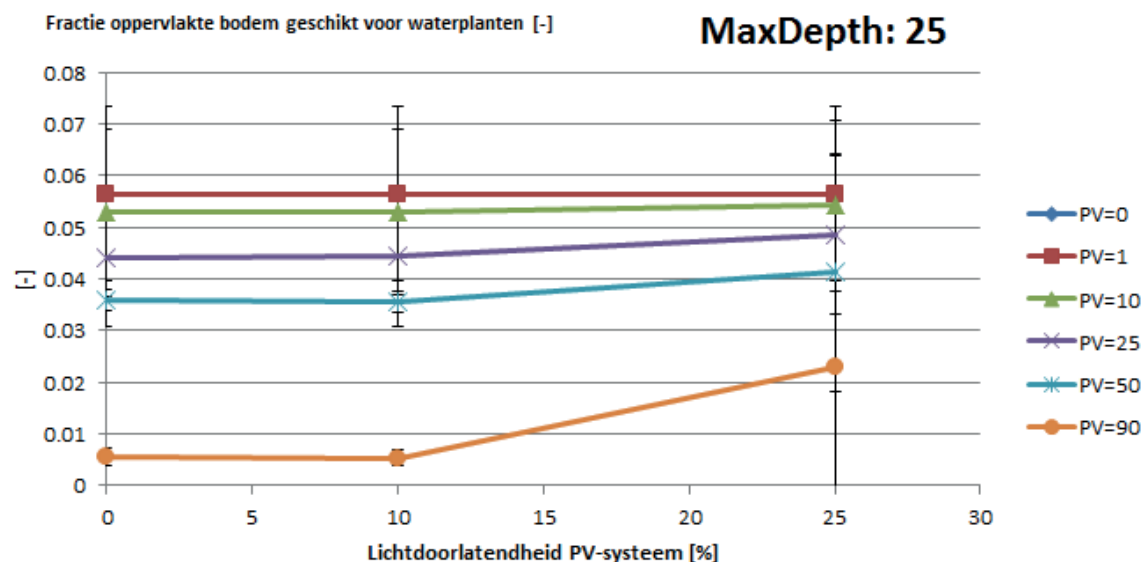
In een ondiep watersysteem compenseert een beetje lichtdoorlaat al voor een groot deel het effect van bedekking door PV-systeem voor indicator 1 (fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten). Bij een lichtdoorlatendheid van 25% worden alle PV-bedekkingen (incl. een 90% bedekking) al grotendeels gecompenseerd, zie Figuur 3.11.

FIGUUR 3.11 RELATIE TUSSEN LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM EN INDICATOR 1 VOOR VERSCHILLENDE PV-BEDEKKINGEN VOOR ALLEEN ONDIEPE WATERLICHAMEN MET EEN MAXIMALE DIEPTE VAN 2 METER



In dieper water is dat minder nadrukkelijk het geval, zie Figuur 3.12.

FIGUUR 3.12 RELATIE TUSSEN LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM EN INDICATOR 1 (FRACTIE OPPERVLAKE BODEM GESCHIKT VOOR WATERPLANTEN) VOOR VERSCHILLENDE PV-BEDEKKINGEN VOOR ALLEEN DIEPE WATERLICHAMEN MET EEN MAXIMALE DIEPTE VAN 25 METER. PV =1 WIJKT NAUWELIJKS AF VAN PV=0 EN PV=0 IS DAAROM NIET ZICHTBAAR



3.6 AANDACHTSPUNTEN BIJ DE INTERPRETATIE DE ANALYSETOOL

De resultaten in de Analysetool zijn afkomstig van vele berekeningen waarvoor een 3-dimensionaal waterkwaliteitsmodel is gebruikt. Het doorgerekende systeem betreft een fictief waterlichaam. Er is gekozen voor een set van verschillende dimensies, dieptes, bodemtypes en nutriëntenstatus. Zo zal een bestaand waterlichaam in de meeste gevallen goed vergelijkbaar zijn met één van de doorgerekende combinaties, maar niet 1 op 1 hetzelfde. Bij de interpretatie van de resultaten dient hier rekening mee gehouden te worden. Tabel 3.2 geeft de uitgangspunten van de modelberekening aan. De gebruiker moet bij interpretatie rekening houden met deze uitgangspunten.

TABEL 3.2 UITGANGSPUNTEN MODEL

KENMERK	BESCHRIJVING
Schematisatie	Meerdere waterlichamen met verschillende oppervlakte (variërend van 1 ha tot 10.000 ha) en diepte (variërend in dieptes van 2 meter (verdeeld in 3 waterlagen) tot 25 meter (verdeeld in 10 waterlagen). Er is gebruik gemaakt van een natuurlijk bodemprofiel (ondiep aan de waterkant, diep in het midden van het waterlichaam).
Ligging PV-systeem	Aan de noordkant van het waterlichaam en dichtbij de waterkant; Dit is een 'worst-case' benadering, een PV-systeem in het midden van een waterlichaam boven het diepste gedeelte zal minder impact hebben op de aanwezige waterplanten die in het ondiepe lichtrijke deel voorkomen (zie verder indicator 1).
Warmteafgifte PV-systeem	Mogelijke warmteafgifte door het PV-systeem is niet meegenomen in de modelberekeningen.
Lichtinval	Licht valt verticaal in het water en beïnvloedt alleen het lichtregime in de betreffende waterkolom (er is geen zijwaartse verstrooiing van licht). Dit is in feite een 'worst-case' scenario.
Nutriënten-status	Voor mesotrofe en eutrofe systemen zijn verschillende start-condities en belastingen gebruikt.
Bodemtype	In de modelberekeningen zijn zand- en veenbodems onderscheiden, vanwege de verschillen met betrekking tot fysische en chemische eigenschappen.
Fysische processen	Het toegepaste fysische model stelt een waterlichaam voor als een bak water in 3 dimensies. Horizontaal met 10 bij 10 tot 50 bij 50 cellen. Verticaal met 4 tot 25 dieptelagen. Hierin wordt de warmtebalans en de waterstroming gemodelleerd. Invoervariabelen zijn de instraling, luchttemperatuur en windsnelheid en -richting.
Waterkwaliteitsprocessen	Een complete bibliotheek aan waterkwaliteitsprocessen in ingeschakeld bij de berekeningen, inclusief effecten van instraling en temperatuur op algen, bezinking van dode algen, afbraak van organisch materiaal en verschillende andere processen die van belang zijn voor de zuurstof- en nutriëntenhuishouding.
Horizontale menging	Menging van water in de horizontale richting is in het model uitsluitend windgedreven. Als een PV-systeem een deel van het waterlichaam bedekt, neemt de invloed van wind op het water af. Hierdoor nemen ook de horizontale menging en verticale menging af.
Verticale menging	Menging van water in de verticale richting wordt opgewekt door wind en temperatuurverschillen. Als een PV-systeem een deel van het waterlichaam bedekt, neemt de invloed van wind en instraling op het water af en verandert de warmteverdeling binnen het watersysteem. Het verticaal transport van warmte en opgeloste stoffen verandert daardoor ook. Als er minder verticale menging plaatsvindt, kan stratificatie optreden: er ontstaat een verschil in de temperatuur tussen de oppervlakkige waterlagen en de diepere waterlagen.

KENMERK	BESCHRIJVING
Verblijftijd	Het model beschrijft een gesloten systeem zonder in- of uitstroming. In de handreiking is op basis van aanvullende modelberekeningen een beperkte analyse uitgevoerd voor het effect van stroming (verblijftijd).
'Worst-case' benadering	De resultaten van de Analysetool betreffen een 'worstcasescenario'; mitigerende maatregelen zoals doorspoeling, aanleg van bellenschermen, ligging PV-systeem in het midden van het waterlichaam kunnen de (negatieve) effecten naar verwachting reduceren. De effecten van dergelijke mitigerende maatregelen kunnen met de huidige tool niet doorgerekend worden.
Model validatie	Het model is een generiek model dat voor een verscheidenheid aan watersystemen is doorgerekend. De processen die in het model zijn opgenomen, zijn afkomstig uit de modelbibliotheek van het Delft3D-model van Deltares en zijn als zodanig reeds eerder in een groot aantal modelstudies toegepast en gevalideerd. Deze Analysetool is ondersteunend aan het Stroomschema om een kwantitatieve inschatting te geven van mogelijk effecten van een PV-systeem in diverse watersystemen. Om een nauwkeurige(re) en gebieds-specifieke inschatting te kunnen maken van de te verwachten effecten op een specifiek waterlichaam is het uitvoeren van een meetplan en een gebied-specifieke modelstudie en model validatie vereist.
Beschikbare combinaties	Voor de waterlichamen variërend in grootte van 1 Ha tot 10000 Ha zijn verschillende combinaties doorgerekend (tabel 3.3). Zo zijn voor kleine plassen met een maximale diepte van 10m alleen hoge PV-bedekkingspercentages doorgerekend (25% of groter), en voor grote meren met een minimale maximum diepte van 4m alleen lage PV-bedekkingspercentages doorgerekend (25% of lager); zie onderstaand overzicht. De effecten hiervan zie je terug in een aantal grafieken, bijvoorbeeld in Grafiek_1variabele waar "Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]" is uitgezet tegen "Oppervlakte PV-systeem [%]"; bij een oppervlakte PV-systeem van 1% of 10% is de fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten lager dan bij een bedekking van 25%, omdat 1% en 10% bedekking alleen voor grotere diepere meren is doorgerekend, waarvoor de fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten ook zonder PV-systeem al lager is door de grotere diepte en minder licht de bodem bereikt.

TABEL 3.3 DE VERSCHILLENDE COMBINATIES VAN MODELINSTELLINGEN DIE VOOR DE ANALYSETOOL ZIJN DOORGEREKEND

Grootte van water	Maximale diepte	Oppervlakte PV-systeem	Nutriënten-status	Bodemtype	Lichtdoorlatendheid PV-systeem
1 ha	2m, 4m, 10m	25%, 50%, 90%	Mesotroof, Eutroof	Zand, Veen	0%, 10%, 25%
10 ha	2m, 4m, 10m	25%, 50%, 90%	Mesotroof, Eutroof	Zand, Veen	0%, 10%, 25%
100 ha	2m, 4m, 10m, 25m	1%, 10%, 25%, 50%, 90%	Mesotroof, Eutroof	Zand, Veen	0%, 10%, 25%
1000 ha	4m, 10m, 25m	1%, 10%, 25%	Mesotroof, Eutroof	Zand, Veen	0%, 10%, 25%

4

AAN DE SLAG MET VIER CASES

Aan de hand van een vier cases wordt duidelijk hoe het Stroomschema doorlopen kan worden en hoe de Analysetool ingezet kan worden om meer inzicht te krijgen in de effecten van PV-systemen op deze watersystemen. De behandelde cases geven een overzicht van de verschillende typen vragen en keuzes waar de gebruiker mee te maken kan krijgen bij een initiatief voor het verkrijgen van een vergunning voor een PV-systeem op water. De hier gepresenteerde cases betreft één reeds gerealiseerd PV-systeem (RWZI De Koog, Texel) en drie waar aanvragen voor plaatsing lopen, gepland zijn of overwogen worden (Havikerwaard, IJsselmeer, Drinkwaterbekkens Biesbosch).

In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de kansrijkheid van het plaatsen van PV-systemen op water voor verschillende watertypen. De conclusies van de kansrijkheid zijn in de afsluitende paragraaf van hoofdstuk 5 gegeven.

4.1 IJSSELMEER

4.1.1 KENMERKEN WATERSYSTEEM

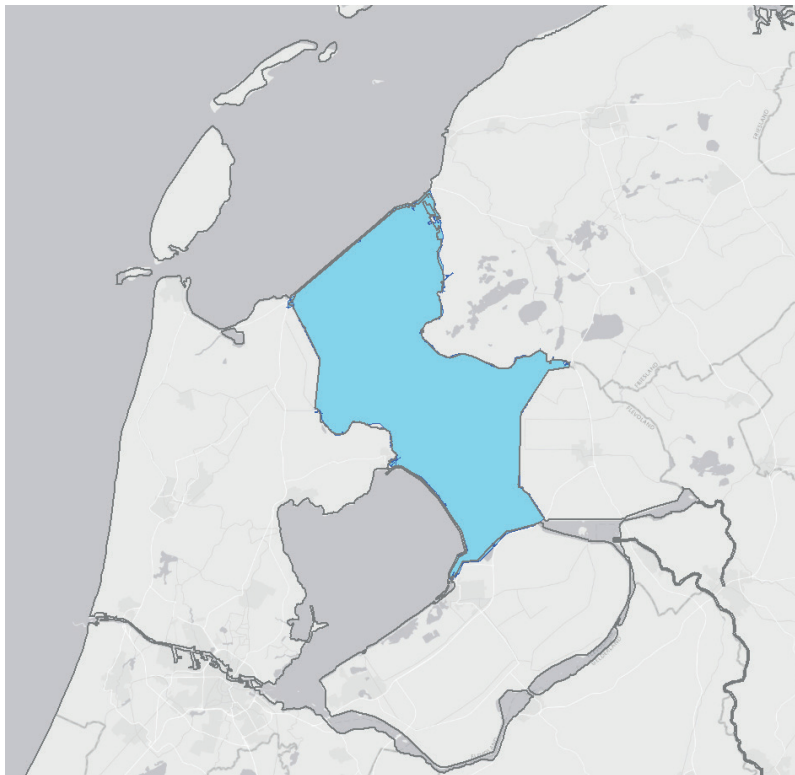
Het IJsselmeer is een groot meer (stilstaand water), en valt onder het beheer van Rijkswaterstaat. Met een oppervlakte van 1100 km² is het IJsselmeer (zie Figuur 4.1) het grootste meer in Nederland. De gemiddelde diepte van het meer is 5.5 meter, met een maximale diepte van 7 meter. Het meer wordt voornamelijk gevoed door de IJssel en in wat mindere mate door de Overijsselse Vecht. De rol van het Markermeer is relatief klein: in de winter komt ongeveer 6% van het instromende water uit het Markermeer, in de zomer wordt netto water afgevoerd naar het Markermeer. Ook is er een verbinding met de Waddenzee via twee spuicomplexen, de Stevinsluizen bij Den Oever en de Lorentzsluizen bij Kornwerderzand. Het meerpeil wordt in de zomer op 0.20 m onder NAP gehouden, en in de winter op 0.40 m onder NAP. De Houtribdijk scheidt het IJsselmeer van het Markermeer en beperkt de natuurlijke afvoer van slib van het Markermeer naar het IJsselmeer en beperkt de migratie van vis tussen beide meren.

Door de omvang van het IJsselmeer kan er potentieel een groot PV-systeem aangelegd worden. Er zijn echter verschillende belangen en gebruiksfuncties in het gebied welke mogelijk nadelige effecten ondervinden van de aanwezigheid van een PV-systeem. Een belangrijke functie is de zoetwatervoorziening van de omliggende agrarische gebieden zoals bij Lemmer waar water wordt ingelaten voor de Friese boezem. Daarnaast is er de drinkwatervoorziening bij Andijk. Tevens speelt recreatie (pleziervaart) en scheepvaart (o.a. de route Lemmer-Lelystad) een rol en vindt er visserij plaats in het IJsselmeer. Andere functies zijn de (mogelijke) winning van zand en de ecologische waarde van het gebied. Zeer grote aantallen watervogels foerageren en ruien hier, in het bijzonder viseters en vogels die hun voedsel op de bodem van het meer zoeken. Het IJsselmeer is een Natura 2000-gebied waarvoor specifieke instandhoudings-

doelen gelden, zoals het behoud van habitattypen en de instandhouding of uitbreiding van bepaalde vogelsoorten. De instandhoudingsdoelen zijn benoemd in een aantal kernopgaven (zie <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx>). De doelen voor de Kaderrichtlijn Water zijn opgenomen in een factsheet (www.rijkswaterstaat.nl, zoek op 'factsheet KRW' voor de meest recente versie van de factsheets behorend bij het Beleidsplan Rijkswateren (BPRW)).

FIGUUR 4.1

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET IJSSELMEER (BLAUW)



Vanuit de gebiedskenmerken is van belang voor de vergunningverlening dat:

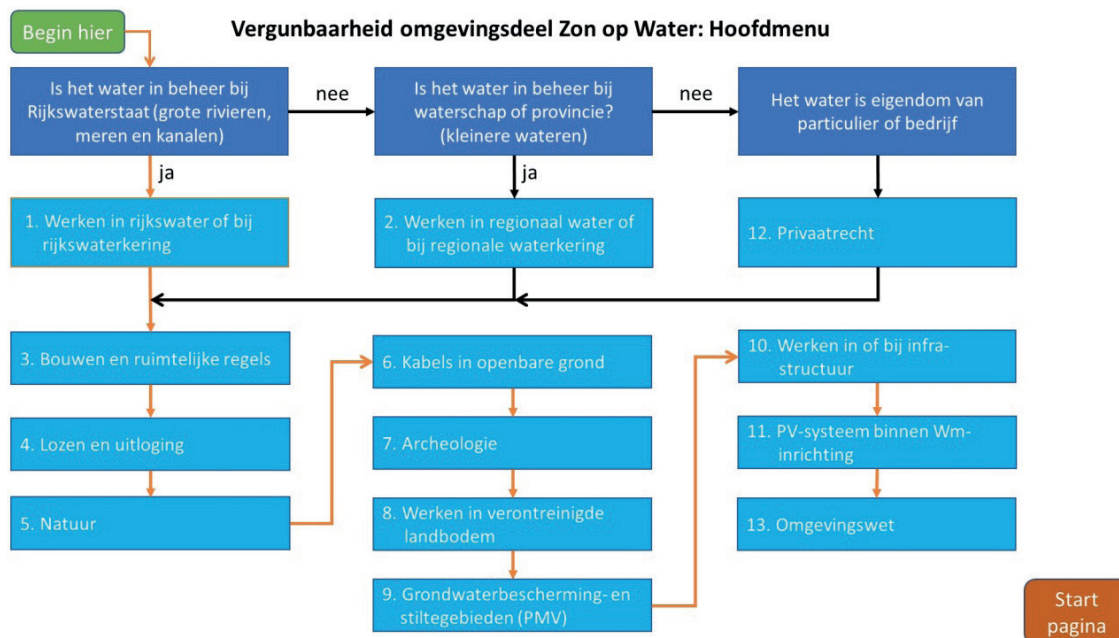
- Er geen nadelige (ecologische) effecten zijn op de gestelde instandhoudingsdoelen (N2000)
- Eventueel aanwezige bedreigde diersoorten geen nadelige gevolgen ondervinden van een PV-systeem
- De scheepvaart geen hinder ondervindt van de aanwezigheid van een PV-systeem
- Er ruimte is om KRW-maatregelen te kunnen toepassen
- Er voldoende rekening wordt gehouden met andere gebruikersfuncties en belangen, zoals recreatie.

4.1.2 HET STROOMSCHEMA

Doorloop altijd alle 13 hoofdstukken van het Stroomschema (Figuur 4.2). Belangrijke hoofdstukken die hierin doorlopen moeten worden zijn: 1. Werken in rijkswater of bij rijkswaterkering en 5. Natuur.

FIGUUR 4.2

INDELING VAN HET STROOMSCHEMA IN HOOFDSTUKKEN



Bij werken in Rijkswater of Rijkswaterkering zijn van belang (Figuur 4.3):

1. (Kabels voor) PV-systeem in rijkswater
2. (Kabels voor) PV-systeem bij een rijkswaterkering

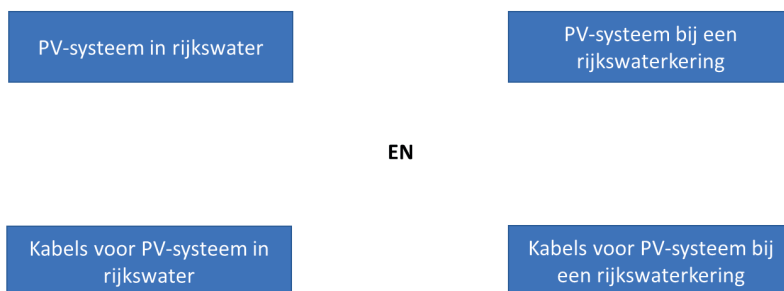
FIGUUR 4.3

SCHEMA VOOR DE WETTELIJKE KADERS VAN DE PLAATSING VAN EEN PV-SYSTEEM IN RIJKSWATEREN

1. Werken in rijkswater of bij rijkswaterkering

Zie hoofdstuk 1

/ Werken in rijkswater



Startpagina

Voor werken in rijkswater zijn aparte Stroomschema's opgenomen voor het PV-systeem zelf (Figuur 4.4) en voor de bekabeling van het PV-systeem (Figuur 4.5). Het PV-systeem en de kabels voor het systeem moeten los van elkaar worden gezien. Terwijl het aanleggen van de kabels

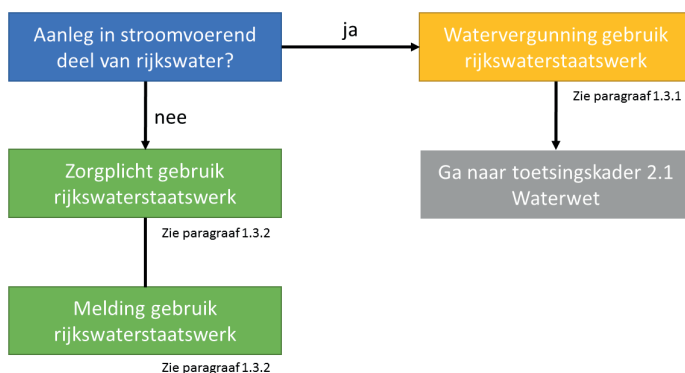
vergunning-vrij kan zijn, kan er wel een vergunningplicht gelden voor het plaatsen van het bouwwerk op zich, en andersom.

FIGUUR 4.4 SCHEMA VOOR DE PLAATSING VAN EEN PV-SYSTEEM IN RIJKSWATEREN

1. Werken in rijkswater: PV-systeem

Zie paragraaf 1.3

 / [Werken in rijkswater](#) / PV-systeem / ...

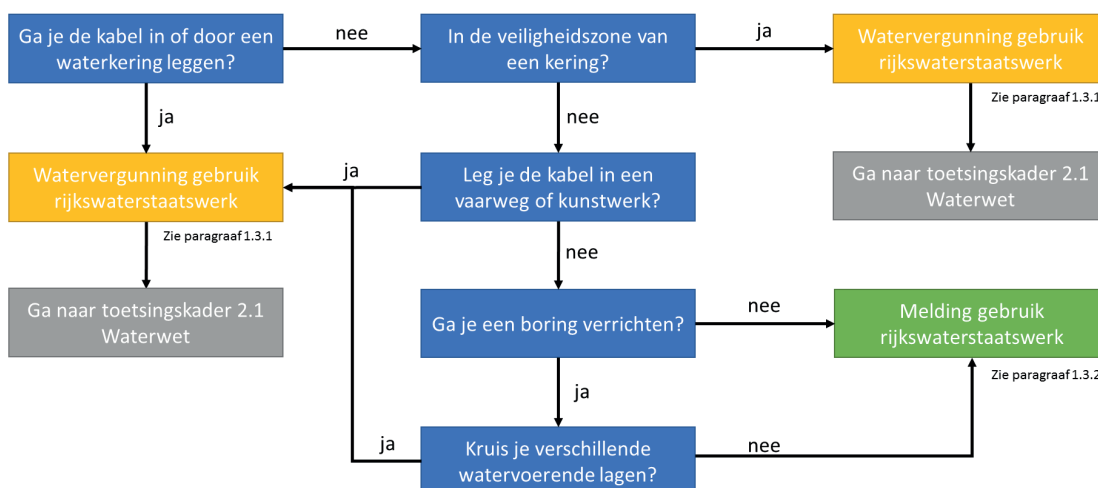


FIGUUR 4.5 SCHEMA VOOR DE PLAATSING VAN KABELS TEN BEHOEVE VAN EEN PV-SYSTEEM IN RIJKSWATEREN

1. Werken in rijkswater: Kabels voor het PV-systeem

Zie paragraaf 1.3

 / [Werken in rijkswater](#) / ... / Kabels voor het PV-systeem



Het IJsselmeer valt buiten de stroomvoerende delen van de rijkswateren: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0026845/2017-01-01#BijlageVIII>. Volgens het Stroomschema is de aanleg van een systeem buiten de stroomvoerende delen alleen meldingsplichtig, en kan (indien voldaan wordt aan de zorgplicht) een vergunning niet geweigerd worden. Het Beleidsprogramma Rijkswateren (BPRW periode 2016-2021) presenteert voor de stilstaande wateren een aanpak die vergelijkbaar is met die van de stromende wateren. Echter voor de stromende wateren geldt een vergunningsplicht (naast de algemene zorgplicht) en voor de stilstaande wateren uitsluitend de algemene zorgplicht.

Het IJsselmeer is grotendeels begrensd door dijken en dammen. Voor de aanleg van kabels kom je daarom in veel gevallen uit bij de Watervergunning gebruik rijkswaterstaatswerk, omdat kabels in de buurt van (water)keringen of een kunstwerk worden aangelegd. Via de bekabeling van een PV-systeem komt de aanvrager dus alsnog terecht bij de Watervergunning waarvoor het toetsingskader 2.1 Waterwet geldt (Figuur 4.6). Vragen als onderdeel van dit toetsingskader zijn de volgende punten:

- Belemmering voor een maatschappelijke functie (zie Figuur 4.7)
- Locatie in het stroomvoerend deel van een rivierbed (niet van toepassing voor het IJsselmeer)
- Aanwezigheid veiligheidsrisico (zie Figuur 4.8)

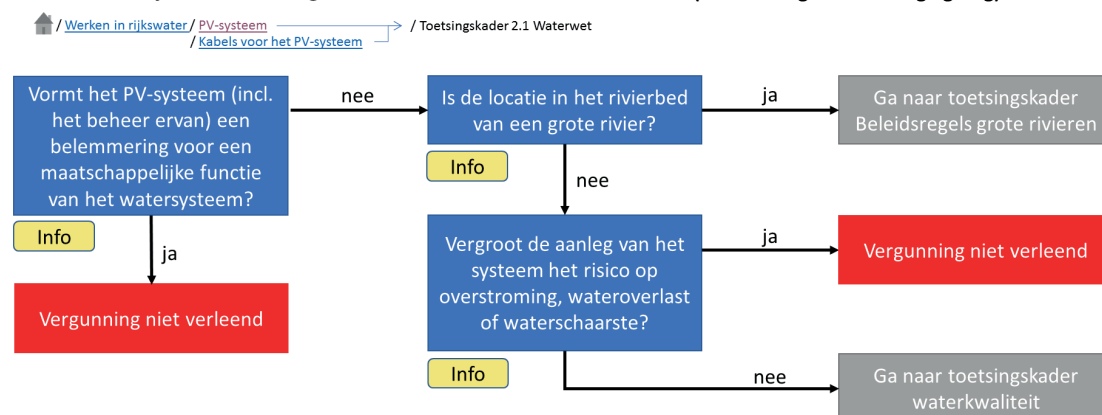
Voor het IJsselmeer geldt dat dit geen stroomvoerend deel van een grote rivier is. Als de bekabeling van het PV-systeem een belemmering/risico voor de gebruiksfunctie of waterveiligheid vormt, wordt er geen vergunning verleend. Als dit niet het geval is, volgt de toetsing op waterkwaliteit (zie paragraaf 7.2 en ook Figuur 7.4 en Figuur 7.7).

FIGUUR 4.6

SCHEMA VOOR HET TOETSINGSKADER 2.1 WATERWET

1. Werken in rijkswater: Toetsingskader 2.1 Waterwet

(beoordeling door bevoegd gezag) Zie paragraaf 1.3.1.2



In het toetsingskader waterkwaliteit wordt onder andere getoetst op:

- toegestane ingrepen Beheerplan Rijkswateren;
- effecten op KRW-maatregelen;
- de KRW kwaliteitselementen;
- afwenteling (uitstralende effecten naar ander waterlichaam);
- de effecten op stuurvariabelen en KRW-maatlatten;
- compensatiemogelijkheden bij een verwacht negatief effect op één van de bovenstaande punten.

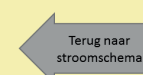
FIGUUR 4.7

SCHERM BIJ INFO-KNOP VOOR MAATSCHAPPELIJKE FUNCTIE WATERSYSTEEM EN MOGELIJKE RISICO'S PV-SYSTEEM OP GEBRUIKSFUNCTIE

1. Werken in rijkswater: Gebruiksfuncties water volgens waterwet

Categorie	Doelen RWS en gebruiksfunctie	Mogelijk risico van PV-systeem op gebruiksfunctie
Wettelijke kerntaken RWS	Waterveiligheid	Vermindering doorstroming
	Voldoende zoetwater	-
	Schoon en gezond water	Effect op waterkwaliteit en ecologie
	Vlot en veilig verkeer over water	Obstructie vaarweg, conflict met beheer
Aangewezen gebruiksfuncties	Scheepvaart	Obstructie vaarweg
	Drinkwater	Uitloging van stoffen, effect op waterkwaliteit
	Zwemwater	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit
	Schelpdierwater	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit en ecologie
	Natuur	Verstoring, concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit en ecologie
Overige gebruiksfuncties	Recreatie	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit
	Energie	-
	Industrie (koel- en proceswater)	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit
	Landbouw (drenk- en irrigatiewater)	Effect op waterkwaliteit
	Visserij (beroeps en recreatief, aquacultuur)	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit en ecologie
	Delfstofwinning (zandwinning, baggerdepot)	Concurrentie om ruimte

Zie verder voor gebruiksfuncties: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/gebruiksfuncties/>



FIGUUR 4.8

SCHEM BIJ INFO-KNOP VOOR DE MOGELIJKE RISICO'S PV-SYSTEEM OP WATERVEILIGHEID

1. Werken in rijkswater: Risico van PV-systeem op waterveiligheid

Door invang van drijvend afval kan een PV-systeem op water meer weerstand gaan geven. Bekend is dat drijvend afval zich kan verzamelen bij en hechten aan drijvende objecten. Dit kan de doorstroming belemmeren, met een verhoogd risico op wateroverlast en overstroming. Ook kan er schade ontstaan aan de infrastructuur als een PV-systeem niet goed verankerd is en hierdoor op drift raakt.

Onder waterveiligheid valt ook dat een PV-systeem zo min mogelijk invloed mag hebben op de bergingscapaciteit van een gebied (Waterbesluit, artikel 6.15). Nu is het zo dat drijvende objecten altijd deels in het water liggen, daardoor water verplaatsen en daarmee de waterstand iets verhogen. Dat betekent dat de bergingscapaciteit iets verminderd wordt. Hiertegenover staat dat de vermindering waarschijnlijk klein is (afhankelijk van de constructie en de relatieve omvang van het PV-systeem). Wel kan vanuit het bevoegd gezag gevraagd worden dit effect te compenseren.

Terug naar
stroomschema

Om een inschatting te maken van mogelijke effecten op de KRW-kwaliteitselementen wordt in het Stroomschema verwezen naar de verschillende indicatoren (licht, watertemperatuur, stroming, zuurstof, habitat en ecologie, zie paragrafen 7.3 t/m 7.3) als onderdeel van de “*Quick scan effecten waterkwaliteit en ecologie*”. Deze is opgenomen in het Stroomschema als onderdeel van hoofdstuk 5 Natuur. Indien er significante (negatieve) effecten te verwachten zijn en dit onvoldoende kan worden gecompenseerd met behulp van mitigerende maatregelen zal geen vergunning worden afgegeven.

Bij 'natuur' zijn de volgende punten van belang (Figuur 4.9):

1. Werken in of bij een Natura 2000-gebied
2. Werken met gevolgen voor beschermde soorten

In paragraaf 7.4 staat beschreven wat er komt kijken bij effecten van het werken in of bij een Natura 2000-gebied en effecten op beschermde soorten (Figuur 4.15 en Figuur 4.17).

FIGUUR 4.9

SCHEMA VOOR ONDERDEEL NATUUR

5. Natuur

 / Natuur

Zie hoofdstuk 5

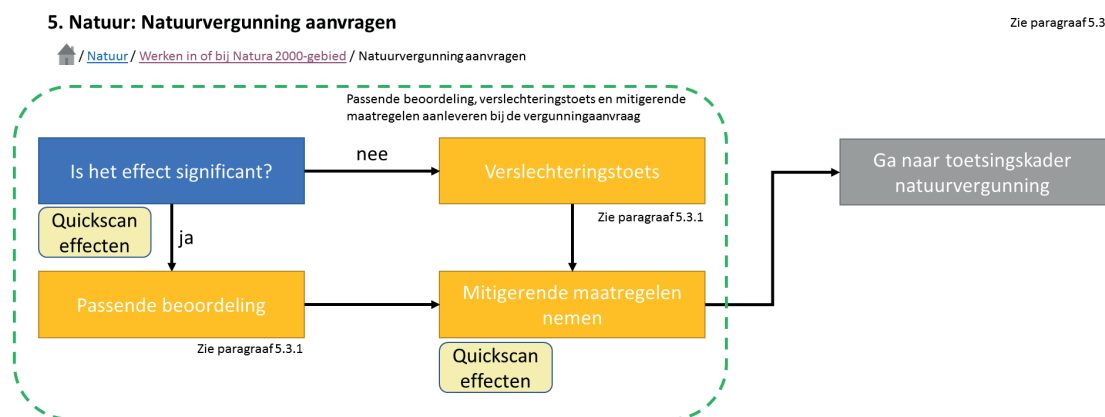
Werken in of bij een Natura
2000-gebied

EN

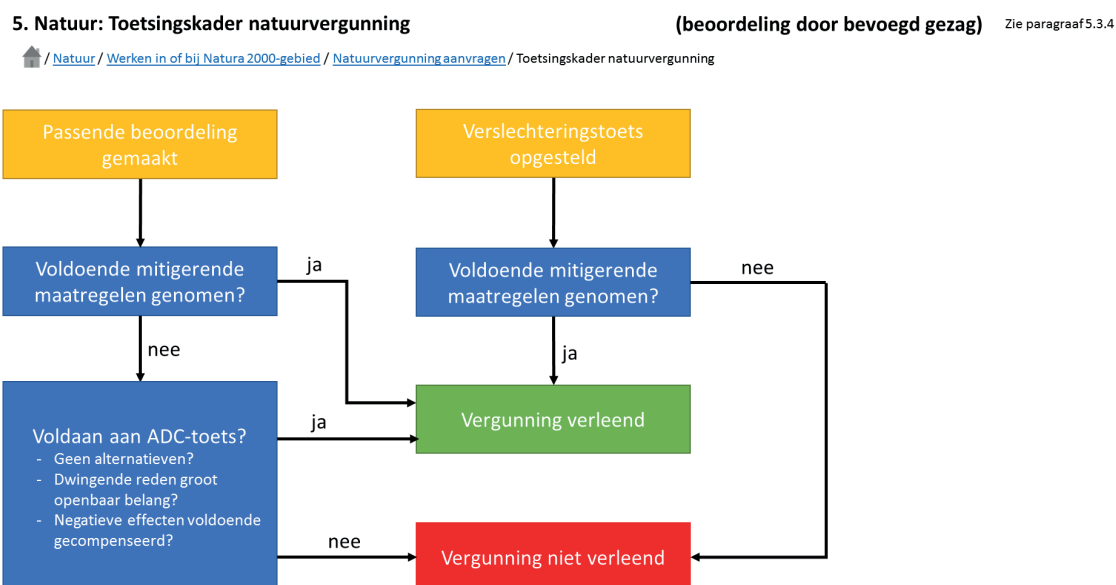
Werken met gevolgen voor
beschermde soorten

Als uit de voortoets blijkt dat er kans is op effecten, moet er een natuurvergunning aangevraagd worden, waarin de vraag wordt beantwoord of het (verwachte) effect significant is (Figuur 4.10). Hierbij kan ook de Quick scan effecten worden gebruikt als hulpmiddel. Als er een passende beoordeling of verslechteringstoets is uitgevoerd in combinatie met een voorstel voor mitigerende maatregelen, kan dit aangeleverd worden bij de vergunningsaanvraag. Deze wordt vervolgens beoordeeld door het bevoegd gezag waarbij gekeken wordt of er voldoende mitigerende maatregelen genomen zijn (Figuur 4.11). Hieruit volgt of de vergunning verleend kan worden. Uitgangspunt van zowel de verslechteringstoets als de passende beoordeling is dat het bevoegd gezag de zekerheid krijgt dat de werkzaamheden geen blijvende schadelijke gevolgen toebrengen aan de natuurlijke kenmerken van het Natura 2000-gebied. Is dit wel het geval, dan kan de vergunning alleen nog worden verleend op basis van de ADC-toets (de toets waarbij Alternatieven, Dwingende redenen van openbaar belang en Compensatie worden afgewogen). In de praktijk zal geprobeerd worden een ADC-toets te voorkomen en volgt in eerste instantie nog een iteratieslag tussen aanvrager en bevoegd gezag, indien onvoldoende mitigerende maatregelen zijn opgenomen of voorgesteld bij de eerste natuurvergunningsaanvraag.

FIGUUR 4.10 SCHEMA VOOR NATUURVERGUNNING AANVRAAG



FIGUUR 4.11 SCHEMA VOOR TOETSINGSKADER NATUURVERGUNNING



Als het gaat om beschermde soorten wordt bij vergunningverlening gekeken naar:

- Wordt een soort verstoord?
- Is er een vrijstelling voor de aangetroffen soort?
- Zijn er mitigerende maatregelen mogelijk of is er een gedragscode toepasbaar?

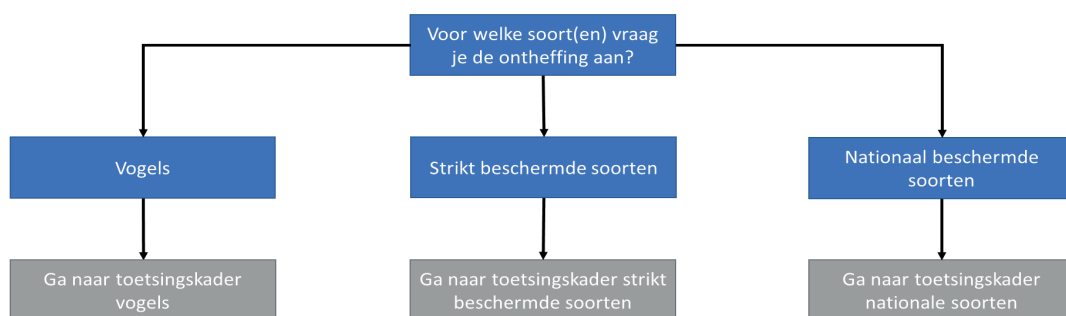
Als er een beschermde soort wordt verstoord en er niet kan worden voldaan aan de andere twee punten is er een ontheffing Wet Natuurbescherming nodig. Deze wordt door het bevoegd gezag beoordeeld voor de soort(en) in kwestie (vogels, strikt beschermde soorten of nationale soorten (zie Figuur 4.12)). Evenals bij de beoordeling van effecten op Natura 2000-gebieden kan ook hier de Quick scan “effecten” worden gebruikt als hulpmiddel.

FIGUUR 4.12 SCHEMA VOOR TOETSINGSKADER ONTHEFFING BESCHERMDE SOORTEN

5. Natuur: Toetsingskader ontheffing beschermde soorten

(beoordeling door bevoegd gezag) Zie paragraaf 5.4

 / [Natuur](#) / [Beschermde soorten](#) / Toetsingskader ontheffing beschermde soorten



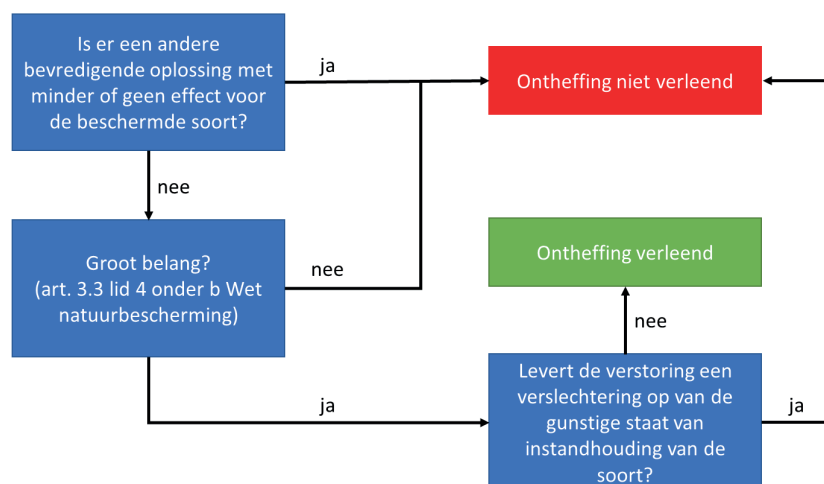
Voor alle drie de groepen soorten (vogels, strikt beschermde soorten, nationale soorten) geldt hetzelfde toetsingskader (zie voorbeeld Figuur 4.13), met daarbij onderscheid in de verwijzing naar het juiste artikelnummer van de Wet natuurbescherming (art. 3.3 lid 4 onder b, art. 3.8 lid 5 onder c of art. 3.10 lid 2). Als er geen verslechtering optreedt van de staat van instandhouding kan een ontheffing worden verleend.

FIGUUR 4.13 SCHEMA VOOR TOETSINGSKADER VOGELS

5. Natuur: Toetsingskader vogels

(beoordeling door bevoegd gezag) Zie paragraaf 5.4.2.1

 / [Natuur](#) / [Beschermde soorten](#) / [Toetsingskader ontheffing beschermde soorten](#) / Toetsingskader vogels



4.1.3 DE ANALYSETOOL: EFFECTEN OP WATERKWALITEIT

In de Analysetool kan voor het IJsselmeer als meest vergelijkbare case gekeken worden naar onderstaande invoer gebiedseigenschappen:

Invoer gebiedseigenschappen	
Grootte van water	10000 ha
Maximale diepte	10 m
Nutrientenstatus	Mesotroof
Bodemtype	Zand

Als voorbeeld is hier een PV-systeem van 1000 ha gekozen (10% van het wateroppervlak van het IJsselmeer) met een lichtdoorlatendheid van 10%. De resultaten van de Analysetool zijn weergegeven in Figuur 4.14.

FIGUUR 4.14 OVERZICHT VAN DE RESULTATEN VAN DE INDICATOREN UIT DE ANALYSETOOL ZON OP WATER VOOR DE CASE IJSSMEER

Invoer gebiedseigenschappen					
Grootte van water	10000 ha				
Maximale diepte	10 m				
Nutrientenstatus	Mesotroof				
Bodemtype	Zand				
Invoer PV-eigenschappen					
Oppervlakte PV-systeem	10 % van wateroppervlakte (= 10000000 m ²)				
Lichtdoorlatendheid PV-systeem	10 % van opvallend licht (panelen + constructie)				
bekijk uitgangspunten onderliggend model					
Toon resultaten					
Indicator	Referentie	PV	Δ	Δ (%)	Omschrijving
1	0.26	0.26	-0.01 ▼	-2.2	Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]
2	73.25	5.47	-67.79 ▼	-92.5	Gemiddelde lichtintensiteit onder het PV-systeem [W/m ²]
3a	17.13	17.09	-0.04 ▼	-0.2	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (oppervlaktelaag) [°C]
3b	15.32	15.21	-0.11 ▼	-0.7	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (middelste laag) [°C]
3c	13.95	13.79	-0.15 ▼	-1.1	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (bodemiaag) [°C]
4	29.25	28.77	-0.48 ▼	-1.7	Maximum watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [°C]
5a	8.55	8.64	0.08 ▼	1.0	Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (oppervlaktelaag) [mg/l]
5b	9.38	9.46	0.07 ▼	0.8	Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (middelste laag) [mg/l]
5c	8.68	8.73	0.05 ▼	0.6	Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (bodemiaag) [mg/l]
6a	0.20	0.21	0.01 ▲	3.3	Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6b	0.01	0.01	0.00 ▲	8.5	Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6c	0.04	0.03	-0.01 ▼	-20.9	Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6d	0.00	0.00	0.00 ▼	-6.4	Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6e	0.01	0.00	0.00 ▼	-11.7	Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3°C) [-]
6f	0.00	0.00	0.00 ▲	10.9	Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3 mg/l) [-]
7a	12.25	12.32	0.08 ▼	0.6	Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, totaal [ug/l]
7b	12.25	12.47	0.23 ▲	1.9	Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, buiten PV [ug/l]
7c	12.25	10.86	-1.38 ▼	-11.3	Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, onder PV [ug/l]

Welke effecten zien we?

- Het areaal geschikt voor **waterplanten** verandert nauwelijks.
- De gemiddelde **lichtintensiteit** onder het PV-systeem neemt af met meer dan 90%. Dit is iets meer dan met een lichtdoorlatendheid van 10% verwacht mag worden.
- De gemiddelde **watertemperatuur** daalt iets gedurende het zomerhalfjaar in het gehele IJsselmeer.
- De maximum **watertemperatuur** daalt door plaatsing van het PV-systeem met 0.5 °C.
- De **zuurstofconcentratie** blijft gelijk gedurende het zomerhalfjaar.
- Het **chlorofyl- a** gehalte neemt buiten het PV-systeem iets toe (+2%), maar onder het PV-systeem sterk af (-11%) door een gebrek aan licht.

4.2 RWZI EVERSTEKOOG (DE KOOG, TEXEL)

4.2.1 KENMERKEN WATER- EN PV SYSTEEM

Het watersysteem is een nabezinkbassin dat onderdeel is van de Rioolwaterzuiveringsinstallatie Eversteekoog van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (Foto 4.1). Het bassin ontvangt water uit de helofytenfilters, loost op het oppervlaktewater en meet circa 100 x 50 m (0,5 ha).

Het PV-systeem is aangelegd door en in beheer bij de energiecoöperatie TexelEnergie. Het PV-systeem bestaat uit 928 zonnepanelen en 39 pontons (Foto 4.2). Het PV-systeem meet circa 75 x 25 m en bedekt ongeveer 30% van het bassin (Foto 4.3). De helft van de zonnepanelen zit gemonteerd op de pontons, de andere helft op staalconstructies die de ruimte tussen de pontons overspannen. Tussen de zonnepanelen is ruimte aanwezig (Foto 4.4), waardoor een deel van het zonlicht het water nog kan bereiken.

FOTO 4.1 LUCHTFOTO RWZI EVERSTEKOOG, DE KOOG, TEXEL



FOTO 4.2 OVERZICHT VAN HET PV-SYSTEEM IN HET NA-BEZINKBASSIN RWZI EVERSTEKOOG, DE KOOG, TEXEL. DE PANELEN LIGGEN OP DRIJVENDE PONTONS. VOORAAN MIDDEN EEN VAN DE PALEN WAAR HET SYSTEEM AAN VASTGEMAAKT IS. LINKS DE AANLANDING VAN DE KABELS EN DE LOOPBRUG VOOR TOEGANG TOT HET PV-SYSTEEM VANAF DE KANT. AAN DE ACHTERZIJDE ZIJN DE BUIZEN VOOR AFVOER VAN HET WATER NAAR HET OPPERVLAKEWATER ZICHTBAAR



FOTO 4.3

LUCHTFOTO VAN HET PV-SYSTEEM RWZI EVERSTEKOOG, DE KOOG, TEXEL. RECHTSBOVEN ZIJN DE HELOFYTENFILTERS ZICHTBAAR VAN WAARUIT HET BEZINKBASSIN HET WATER ONTVANGT. DE PANELEN LIGGEN OM EN OM OP (WITTE) PONTONS (IN SCHAAKBORD-FORMATIE), MET 8 PANELEN PER PONTON. TUSSEN DE RIJEN PONTONS ZIJN LOOPPADEN WAARDOR PONTONS (LICHT) EN WATER (DONKER) ZICHTBAAR ZIJN



FOTO 4.4

BEELD VAN DE RUIMTE TUSSEN DE RIJEN VAN ZONNEPANELEN EN DE IN SCHAAKBORDFORMATIE LIGGENDE PONTONS WAARDOR LICHT TUSSEN DE PANELEN DOOR HET WATER BEREIKT



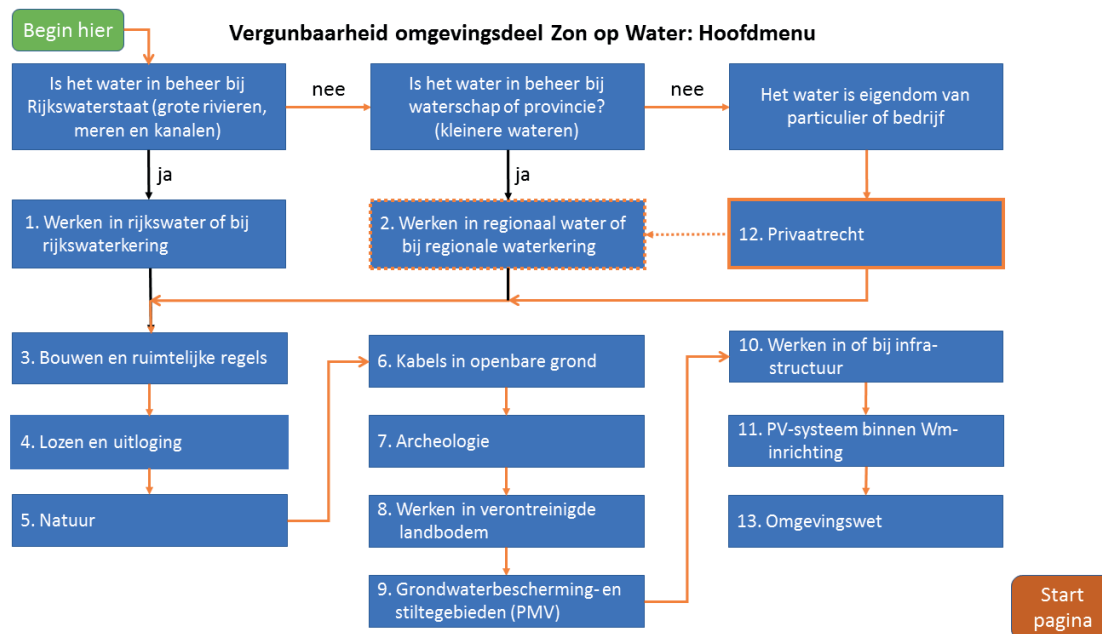
Vanuit de gebiedskenmerken is van belang voor de vergunningverlening dat:

- De eigenaar is Hoogheemraadschap Holland Noorderkwartier.
- Het watersysteem is aangemerkt als proceswater: het is onderdeel van het zuiveringsproces (nabezinking). Het is hierdoor geen oppervlaktewater in de zin van de Waterwet.
- De RWZI als geheel lost (via het nabezinkbassin) op het oppervlaktewater. Hiervoor is een lozingsvergunning afgegeven.
- De beheerder van het ontvangende oppervlaktewater is het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

4.2.2 HET STROOMSCHEMA

Doorloop altijd alle 13 hoofdstukken van het Stroomschema (Figuur 4.15). Een belangrijk hoofdstuk dat hierin doorlopen moeten is hoofdstuk 12, privaatrecht. Het water zelf is eigendom van het hoogheemraadschap en daarom valt de vergunningverlening onder het privaatrecht.

FIGUUR 4.15 INDELING VAN HET STROOMSCHEMA IN HOOFDSTUKKEN



Hierbij zijn van belang (Figuur 4.16):

1. het eigendomsrecht van het watersysteem;
2. of de ruimte gehuurd of gepacht wordt;
3. welke privaatrechtelijke gebruiksregelingen er zijn vastgelegd.

In het geval van de RWZI Eversteekooij is de PV-installatie eigendom van de initiatiefnemer TexelEnergie en wordt de installatie ook door haar beheerd. De opgewekte energie wordt volledig gebruikt ten behoeve van de RWZI (er is geen aansluiting met het openbare stroomnet). In de lozingsvergunning voor de RWZI van het Hoogheemraadschap is als toevoeging opgenomen dat het plaatsen van het PV-systeem geen nadelige invloeden mag hebben op het ontvangende water. Hiervoor is een monitoringsvoorwaarde in de vergunning opgenomen, waarbij vooral naar zuurstof wordt gekeken (mondelinge mededeling Johan Jonker, Hoogheemraadschap Holland Noorderkwartier).

Indien het water met het PV-systeem van de RWZI Eversteekooij wel als oppervlaktewater voor de Waterwet was aangemerkt, en in het regulier beheer van het Hoogheemraadschap was meegenomen (inclusief doelstellingen voor o.a. de Kaderrichtlijn Water), dan geldt dat in het Stroomschema gekozen had moeten worden voor 'Werken in regionaal water of bij regionale waterkering'. In het Stroomschema's wordt dan vervolgens onderscheid gemaakt in aanleg en verwijdering (Figuur 4.17). Vervolgens krijgt de initiatiefnemer te maken met:

- de algemene regels van het waterschap: hierin wordt het beleid omschreven (wat is de verantwoordelijkheid van het waterschap?) en beargumenteerd;
- de keur: verordening met gebods- en verbodsbepalingen die ervoor moet zorgen dat het waterschap haar beleid kan uitvoeren;

- beleidsregels keurontheffingen: een document met de beleidsregels omtrent de criteria op grond waarvan ontheffing verleend kan worden op de verbodsbepalingen in de keur. De ontheffingen zijn beschreven voor een set van de meest voorkomende handelingen. Het plaatsen van PV-systemen zit hier (nog) niet bij.

FIGUUR 4.16 SCHEMA VOOR DE PRIVAATRECHTELIJKE ASPECTEN VAN DE PLAATSING VAN EEN PV-SYSTEEM OP EEN PRIVÉDOMEIN

12. Privaatrecht: verschillende mogelijkheden

Zie hoofdstuk 12

 / Privaatrecht

Eigendomsoverdracht

Huren of pachten

Privaatrechtelijke
gebruiksregeling

Het beleid van het waterschap wordt dus in algemene zin beschreven in de algemene regels en specifiek in de keur (inclusief de uitzonderingsbepalingen). Omdat PV-systemen niet in de regels van de waterschappen zijn opgenomen, vind de initiatiefnemer daar momenteel niets over terug. Hoewel de waterschappen wel generiek beleid hebben met betrekking tot bijvoorbeeld de Kaderrichtlijn Water. Of een voor een PV-systeem voor een specifiek water een vergunning wordt afgegeven, hangt dus af van hoe het betreffende waterschap de risico's voor haar doelstellingen inschat. Daarbij is ook van belang in hoeverre de initiatiefnemer duidelijk kan maken of en zo ja in welke mate het plaatsen van een PV-systeem invloed kan hebben op het beheer en het halen van de beleidsdoelen. Dit is afhankelijk van het gekozen waterlichaam.

De doelen voor de KRW worden door de waterschappen genoemd in de algemene regels, maar niet verder toegelicht. Dit is door de waterschappen echter wel per waterlichaam ingevuld. Het waterschap kan hier meer informatie over geven. Momenteel is er geen uniformiteit tussen de beleidsregels van de waterschappen, hoewel hier wel aan gewerkt wordt. Sommige waterschappen hebben wel regels opgenomen voor drijvende objecten (drijvende steigers, wat nog het meeste lijkt op een drijvend PV-systeem).

Als handreiking kunnen we hier verwijzen naar de regelgeving van de rijkswateren en de bijbehorende stroomschema's (Hoofdstuk 1 van het Stroomschema, zie ook de rapportage vergunbaarheid omgevingsdeel zon op water (Van de Leemkolk et al., 2018)). Hierin wordt een onderscheid gemaakt tussen effecten van handelingen op:

- KRW-maatregelen: in hoeverre belemmert het plaatsen van een PV-systeem dat een reeds genomen (of geplande) maatregel het verwachte effect sorteert;
- ecologische toestand voor de KRW: in hoeverre heeft het plaatsen van een PV-systeem

effecten op de afzonderlijke kwaliteitselementen die de KRW hanteert (fytoplankton, waterplanten, macrofauna, vissen).

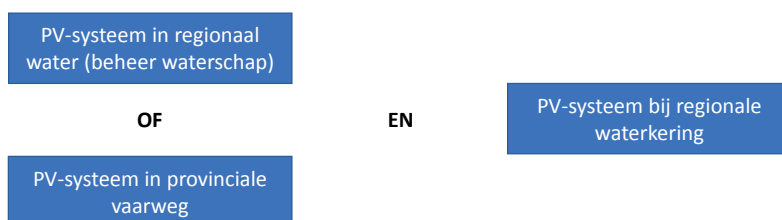
Hierbij moet worden opgemerkt dat ook in de beleidsregels voor de rijkswateren het plaatsen van een PV-systeem niet expliciet genoemd wordt als mogelijke handeling. De uitwerking van de ecologische effecten voor de rijkswateren geeft wel een idee van de mogelijke ecologische effecten in regionale wateren.

FIGUUR 4.17 SCHEMA VOOR WERKEN IN REGIONAAL WATER OF BIJ REGIONALE WATERKERING

2. Werken in regionaal water of bij regionale waterkering

Zie hoofdstuk 2

 / Werken in regionaal water of bij regionale waterkering

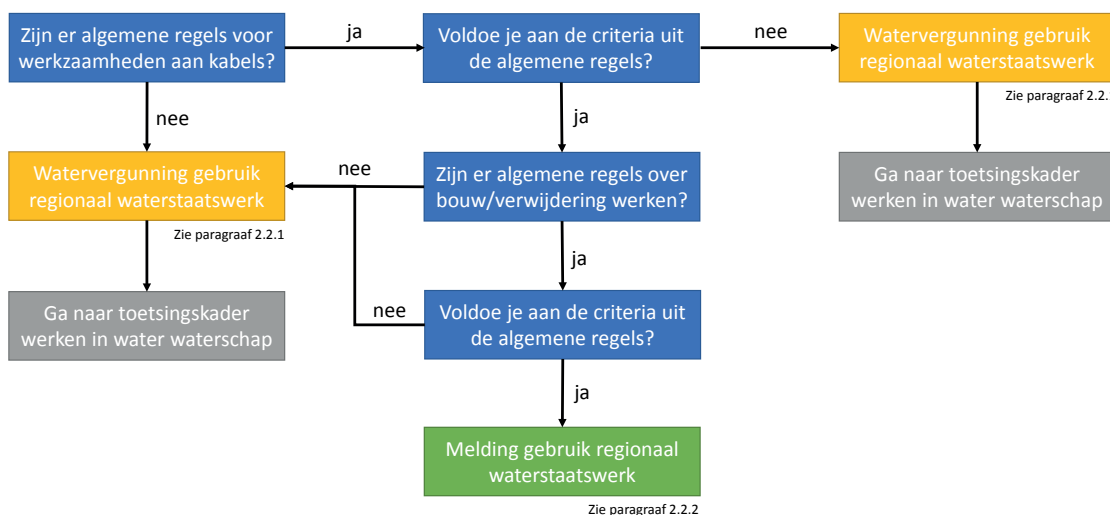


FIGUUR 4.18 SCHEMA VOOR WERKEN IN REGIONAAL WATER IN BEHEER BIJ HET WATERSCHAP

2. Werken in regionaal water in beheer bij het waterschap

Zie paragraaf 2.2.1
&
paragraaf 2.2.2

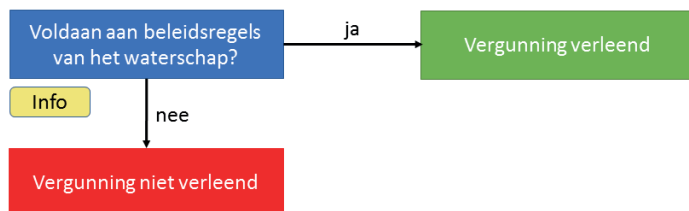
 / [Werken in regionaal water of bij regionale waterkering](#) / PV-systeem in regionaal water (beheer waterschap)



FIGUUR 4.19 SCHEMA VOOR TOETSINGSKADER WERKEN IN REGIONAAL WATER ONDER BEHEER BIJ EEN WATERSCHAP

2. Werken in regionaal water in beheer bij het waterschap: Toetsingskader (beoordeling door bevoegd gezag) Zie paragraaf 2.2.1.2

[Werken in regionaal water of bij regionale waterkering](#) / [PV-systeem in regionaal water \(beheer waterschap\)](#) / Toetsingskader

**4.2.3 DE ANALYSETOOL: EFFECTEN OP DE WATERKWALITEIT**

In de Analysetool kan voor de RWZI Eversteekooog als meest vergelijkbare case gekeken worden naar onderstaande invoer gebiedseigenschappen:

Invoer gebiedseigenschappen	
Grootte van water	1 ha
Maximale diepte	2 m
Nutrientenstatus	Eutroof
Bodemtype	Zand

Het PV-systeem bedekt circa 25% van het wateroppervlak terwijl het PV-systeem circa 10% van het licht doorlaat.

De resultaten van de Analysetool zijn weergegeven in Figuur 4.20.

FIGUUR 4.20 OVERZICHT VAN DE RESULTATEN VAN DE INDICATOREN UIT DE ANALYSETOOL ZON OP WATER VOOR DE CASE RWZI EVERSTEKOOOG

Invoer gebiedseigenschappen

Grootte van water

1 ha

Maximale diepte

2 m

Nutrientenstatus

Mesotroof

Bodemtype

Zand

Invoer PV-eigenschappen

Oppervlakte PV-systeem

25

van wateroppervlakte

(= 2500 m²)

Lichtdoorlatendheid PV-systeem

10 % van opvallend licht (panelen + constructie)

bekijk uitgangspunten onderliggend model

Toon resultaten

Indicator	Referentie	PV	Δ	Δ (%) Omschrijving
1	0.78	0.78	0.00	0.0 Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]
2	145.62	16.30	-129.32	-88.8 Gemiddelde lichtintensiteit onder het PV-systeem [W/m2]
3a	16.77	16.71	-0.06	-0.3 Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (oppervlaktelaag) [°C]
3b	16.71	16.64	-0.07	-0.4 Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (middelste laag) [°C]
3c	16.59	16.53	-0.06	-0.4 Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (bodemlaag) [°C]
4	28.13	27.42	-0.71	-2.5 Maximum watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [°C]
5a	8.00	8.05	0.05	0.6 Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (oppervlaktelaag) [mg/l]
5b	7.99	8.04	0.05	0.6 Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (middelste laag) [mg/l]
5c	7.97	8.01	0.05	0.6 Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (bodemlaag) [mg/l]
6a	0.17	0.15	-0.01	-7.4 Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6b	0.00	0.00	0.00	-78.8 Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6c	0.00	0.00	0.00	nvt Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6d	0.00	0.00	0.00	nvt Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6e	0.00	0.00	0.00	nvt Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3°C) [-]
6f	0.00	0.00	0.00	nvt Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3 mg/l) [-]
7a	8.76	9.34	0.59	6.7 Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, totaal [ug/l]
7b	8.76	9.39	0.64	7.3 Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, buiten PV [ug/l]
7c	8.76	9.11	0.35	4.0 Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, onder PV [ug/l]

Welke effecten zien we?

- Het areaal geschikt voor **waterplanten** verandert niet.
- De gemiddelde **lichtintensiteit** onder het PV-systeem neemt af met meer dan 89%.
- De gemiddelde **watertemperatuur** gedurende het zomerhalfjaar verandert nauwelijks.
- De maximum **watertemperatuur** daalt door plaatsing van het PV-systeem met 0.7 °C.
- De **zuurstofconcentratie** blijft ongeveer gelijk gedurende het zomerhalfjaar.
- Zowel het areaal als intensiteit (lengte van de zuurstofloze periode) van de zuurstofloosheid neemt iets af. Dit hangt samen met de sterkere productie door algen.
- Het **chlorofyl- a gehalte** neemt iets toe, maar toename onder het PV-systeem iets minder. De stijging van het chlorofyl-a gehalte is een patroon: bij 50% bedekking door het PV-systeem beschrijft het model een verdubbeling van het chlorofyl-a gehalte ten opzichte van de situatie zonder PV-systeem.

4.3 UITERWAARDPLAS HAVIKERWAARD

4.3.1 KENMERKEN WATERSYSTEEM

- Het watersysteem is een rijkswater en onderdeel van het stroomvoerende deel van de rivier
- De plas is (nu nog) bij gemiddeld waterpeil afgesloten van de rivier. De bedoeling is om de plas na zandwinning en uitgraven van de geul aan de rivier aan te koppelen.

FIGUUR 4.21

KAARTWEERGAVE VAN DE UITERWAARDPLAS HAVIKERWAARD



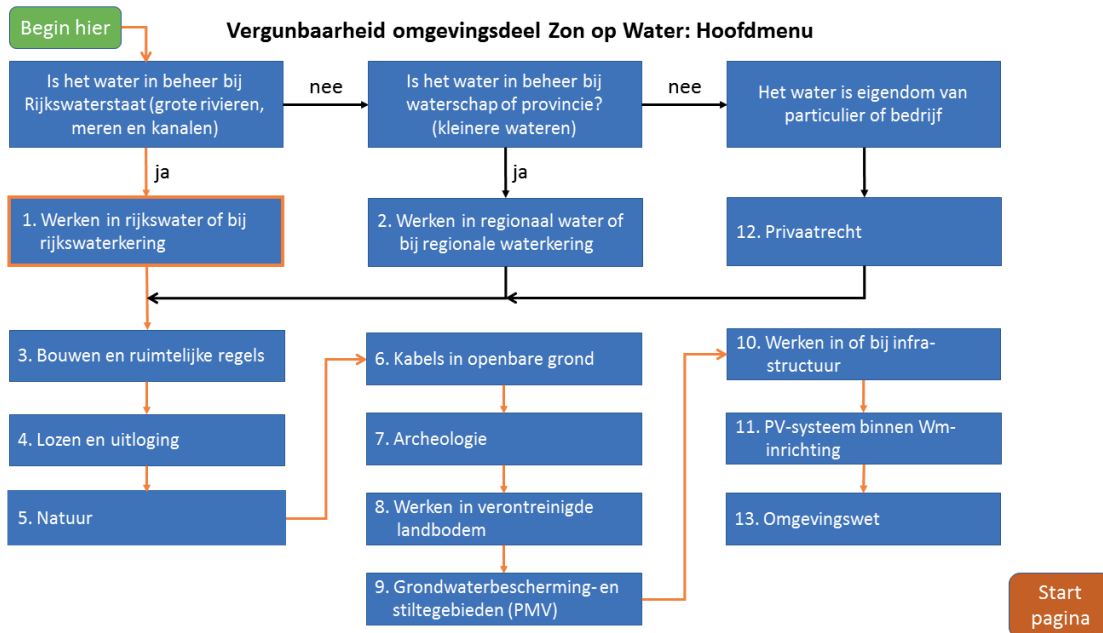
Vanuit de gebiedskenmerken is van belang voor de vergunningverlening dat:

- Het gebied in een stroomvoerend deel van een rijkswateren is gelegen

4.3.2 HET STROOMSCHEMA

Doorloop altijd alle 13 hoofdstukken van het Stroomschema (Figuur 4.22). Een belangrijk hoofdstuk dat doorlopen moet worden is Hoofdstuk 1 'Werken in rijkswater of bij rijkswaterkering'. Als onderdeel van 'Werken in rijkswater of bij rijkswaterkering' komt de gebruiker via toetsingskader 2.1 Waterwet (Figuur 4.6) uit op het toetsingskader Beleidsregels Grote Rivieren (Bgr; Figuur 4.23). Hieruit komt naar voren dat als er aan een aantal voorwaarden uit artikel 7 lid 1 en lid 2 Bgr wordt voldaan het toetsingskader waterkwaliteit doorlopen moet worden.

FIGUUR 4.22 INDELING VAN HET STROOMSCHEMA IN HOOFDSTUKKEN

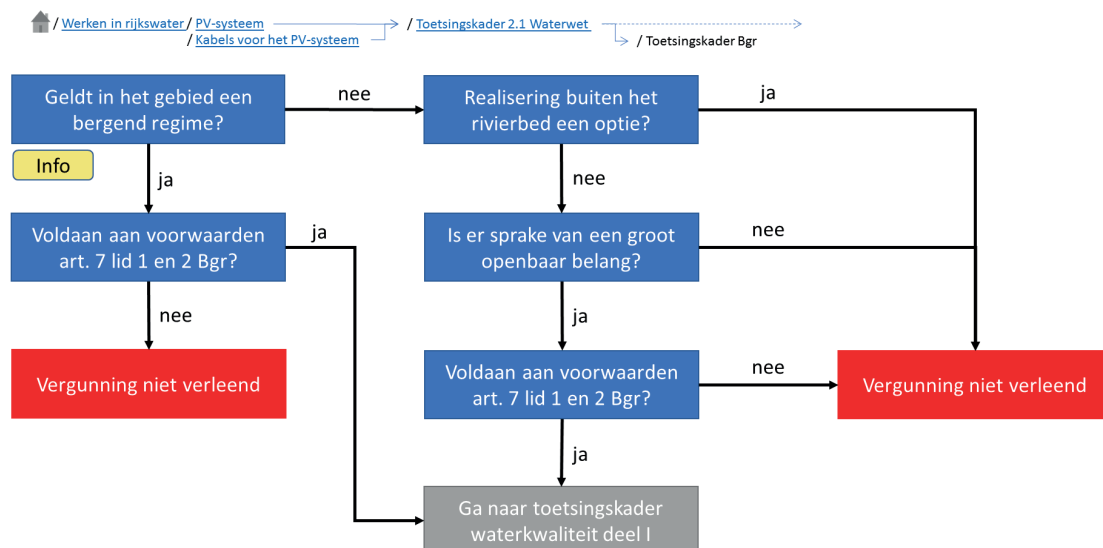


In de handreiking beleidslijn grote rivieren (<http://publicaties.minienm.nl/documenten/beleidslijn-grote-rivieren>) is een systematisch afwegingskader gegeven om stap voor stap de afwegingsgronden en de rivierkundige voorwaarden voor ruimtelijke initiatieven in het rivierbed te kunnen bepalen. In het Stroomschema zijn uit dit afwegingskader de relevante onderdelen voor PV-systemen overgenomen.

FIGUUR 4.23 STROOMSCHEMA VOOR TOETSINGSKADER BELEIDSREGELS GROTE RIVIEREN

1. Werken in rijkswater: Toetsingskader Beleidsregels grote rivieren (Bgr) (beoordeling door bevoegd gezag)

Zie paragraaf 1.3.1.2



4.3.3 DE ANALYSETOOL: EFFECTEN OP WATERKWALITEIT

In de Analysetool kan voor de uiterwaardplas Havikerwaard als meest vergelijkbare case gekeken worden naar onderstaande invoer gebiedseigenschappen:

Invoer gebiedseigenschappen	
Grootte van water	100 ha
Maximale diepte	10 m
Nutrientenstatus	Mesotroof
Bodemtype	Zand

Aangenomen is dat het PV-systeem 25% van het wateroppervlak bedekt en dat het PV-systeem circa 10% van het licht doorlaat. De resultaten van de Analysetool zijn weergegeven in Figuur 4.24.

FIGUUR 4.24 OVERZICHT VAN DE RESULTATEN VAN DE INDICATOREN UIT DE ANALYSETOOL ZON OP WATER VOOR DE CASE UITERWAARDPLAS HAVIKERWAARD

Invoer gebiedseigenschappen				
	Grootte van water	100 ha		
	Maximale diepte	10 m		
	Nutrientenstatus	Mesotroof		
	Bodemtype	Zand		
Invoer PV-eigenschappen				
	Oppervlakte PV-systeem	25 % van wateroppervlakte (= 250000 m ²)		
	Lichtdoorlatendheid PV-systeem	10 % van opvallend licht (panelen + constructie)		
bekijk uitgangspunten onderliggend model				
Toon resultaten				
Indicator	Referentie	PV	Δ	Δ (%) Omschrijving
1	0.26	0.23	-0.04 ▼	-13.8 Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]
2	73.57	7.58	-66.00 ▼	-89.7 Gemiddelde lichtintensiteit onder het PV-systeem [W/m ²]
3a	17.68	17.83	0.15 ►	0.8 Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (oppervlaktelaag) [°C]
3b	15.35	15.10	-0.25 ▼	-1.6 Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (middelste laag) [°C]
3c	14.25	13.85	-0.40 ▼	-2.8 Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (bodemlaag) [°C]
4	28.99	28.96	-0.04 ►	-0.1 Maximum watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [°C]
5a	8.49	8.73	0.24 ►	2.8 Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (oppervlaktelaag) [mg/l]
5b	9.03	9.22	0.19 ►	2.1 Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (middelste laag) [mg/l]
5c	8.07	8.17	0.09 ►	1.2 Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (bodemlaag) [mg/l]
6a	0.30	0.32	0.02 ►	6.7 Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6b	0.01	0.02	0.01 ►	61.3 Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6c	0.21	0.22	0.01 ►	4.2 Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6d	0.00	0.01	0.00 ►	85.9 Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6e	0.02	0.02	0.00 ▼	-19.9 Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3°C) [-]
6f	0.00	0.00	0.00 ▼	-49.6 Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3 mg/l) [-]
7a	13.23	13.78	0.55 ►	4.2 Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, totaal [ug/l]
7b	13.23	13.85	0.63 ►	4.7 Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, buiten PV [ug/l]
7c	13.23	13.54	0.31 ►	2.4 Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, onder PV [ug/l]

Welke effecten zien we?

- Het areaal geschikt voor **waterplanten** neemt af met 13%
- De gemiddelde **lichtintensiteit** onder het PV-systeem neemt af met meer dan 89%.
- De gemiddelde **watertemperatuur** gedurende het zomerhalfjaar verandert nauwelijks, alleen in de onderste waterlaag neemt er iets af.
- De maximum **watertemperatuur** verandert niet.
- De **zuurstofconcentratie** ligt iets hoger gedurende het zomerhalfjaar
- Zowel het areaal als intensiteit (lengte van de zuurstofloze periode) van de zuurstofloosheid stijgt iets. Door sterker stratificatie wordt zuurstof minder snel naar de bodem getransporteerd.
- Het **chlorofyl- a** gehalte is iets hoger in alle waterlagen.

4.4 DRINKWATERBEKKENS BIESBOSCH

4.4.1 KENMERKEN WATERSYSTEEM

De drinkwaterbekkens in de Biesbosch (de Gijster, de Honderd en Dertig en de Petrusplaat; zie Figuur 4.25) zijn eigendom van de drinkwaterbedrijven Evides en Brabant Water. Er wordt water uit de Maas ingelaten dat vervolgens alle drie de bekkens passeert voordat wordt opgepompt om drinkwater uit te bereiden.

De bekkens zijn ongeveer 2-3 km lang en 1 km breed. De gemiddelde diepte is 15-20 m. De Gijster bevat ook een diepe put van zo'n 30 m diepte. De randen van de bekkens zijn van asfalt tot zo'n 8 m diepte.

De waterkwaliteit is van groot belang voor de drinkwaterbereiding. Het is belangrijk dat de concentraties van macro-ionen in het drinkwater gering is. Een van de manieren om daarvoor te zorgen is om de remobilisatie van deze stoffen (o.a. fosfaat en nitraat) uit de bodem onder zuurstofloze omstandigheden tegen te gaan. Dit wordt momenteel gedaan door luchtinjectie waarbij lucht vlak boven de bodem in het water gepompt wordt waardoor de opstijgende luchtballen voor extra menging zorgt. Daarnaast is natuurlijke menging door de wind en de regen van groot belang. Dit speelt met name in de zomer als de temperatuur van het water oploopt en stratificatie dreigt te ontstaan.

Voor de drinkwaterbereiding is verder van belang dat pathogenen in het water worden afgebroken (o.a. coli-bacteriën en enterococci). Deze fotolyse vindt plaats door UV-licht. Hiervoor is het van belang dat er veel licht op het water valt en dat het water helder is. Het water in de bekkens is helder met een doorzicht van jaargemiddeld 3,5-7 m, met minima van 1,5 m in de zomer (periode 2015-2017). Sinds enkele jaren zijn er Quagga-mosselen in de bekkens uitgezet om het doorzicht te verbeteren. Sporadisch komen er ondergedoken waterplanten voor op de taluds onderwater.

Vanuit de gebiedskenmerken is van belang voor de vergunningverlening dat:

- De drinkwaterbekkens privé-eigendom zijn van drinkwaterbedrijven.
- De waterkwaliteit vanuit drinkwater doelen.
- De bekkens geen oppervlaktewater in de zin van de Waterwet.
- De bekkens liggen in de directe nabijheid van een Natura 2000 gebied waardoor ook goed gekeken moet worden naar de effecten op het aangrenzende gebied.

FIGUUR 4.25

OVERZICHT VAN DE LIGGING VAN DE DRINKWATERBEKKENS VAN EVIDES EN BRABANT WATER IN DE BIESBOSCH



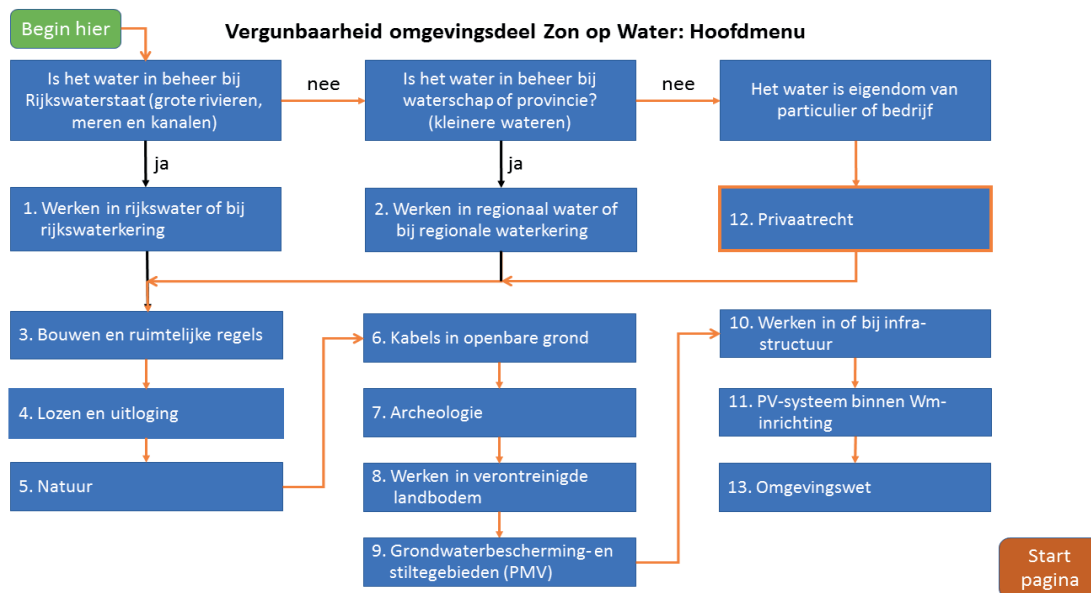
4.4.2 HET STROOMSCHEMA

Doorloop altijd alle 13 hoofdstukken van het Stroomschema (Figuur 4.26). Belangrijke hoofdstukken die hierin doorlopen moeten worden voor de drinkwaterbekkens zijn:

Privaatrecht, Lozen en uitloging en Natuur.

FIGUUR 4.26

INDELING VAN HET STROOMSCHEMA IN HOOFDSTUKKEN



Uit het hoofdstuk privaatrecht volgen geen verdere eisen aan de waterkwaliteit, anders dan is vastgelegd in de Drinkwaterregeling voor het bereiden van drinkwater. Temperatuur, stratificatie, zuurstofloosheid aan de bodem en menging door wind zijn belangrijke aspecten die bepalend zijn voor de waterkwaliteit. Al deze aspecten worden behandeld in de Analysetool.

Materiaal voor werken in opslagbekkens voor drinkwater moet voldoen aan KIWA-keurmerk WaterMark. In de praktijk betekent dit dat er lozingsvrij gewerkt moet worden. Daarom zal het PV-systeem niet mogen uitlogen en zullen er geen verdere verplichtingen zijn in deze categorie (Figuur 4.27). Voor overige oppervlaktewateren, die niet voor de bereiding van drinkwater worden gebruikt zal de vergunningverlener toetsen of er gebruik wordt gemaakt van de beste beschikbare technieken (om lozingen te vermijden) en of er geen onaanvaardbare effecten zijn op het waterlichaam die uit de toepassing van de immissietoets zou kunnen blijken (Figuur 4.28).

FIGUUR 4.27 STROOMSCHEMA VOOR ONDERDEEL LOZEN EN UITLOGING

4. Lozen en uitloging van stoffen

Zie hoofdstuk 4

/ Lozen en uitloging

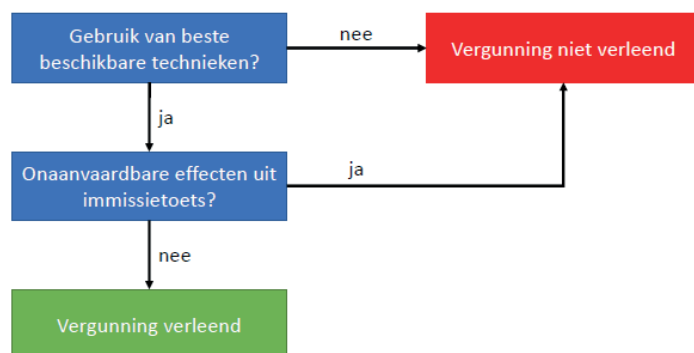


FIGUUR 4.28 TOETSINGSKADER VOOR ONDERDEEL LOZEN EN UITLOGING

4. Lozen: Toetsingskader art. 2.1 Waterwet

(beoordeling door bevoegd gezag) Zie paragraaf 4.2.2

/ Lozen en uitloging / Toetsingskader 2.1 Waterwet



De drinkwaterbekkens in de Biesbosch behoren zelf niet tot een Natura-2000 gebied, maar liggen wel in de directe nabijheid van het Natura-2000 gebied “De Biesbosch”. De bekkens kunnen wel een belangrijke functie vervullen voor fauna en vogels in het naburige natuurgebied, denk hierbij aan bijvoorbeeld rustplaats of foerageerplek. Voor de vergunningverlening betekent dit dat daarom ook het onderdeel Natuur - Natura-2000 gebied doorlopen moet worden. Voor uitleg over dit onderdeel, zie de Case IJsselmeer (paragraaf 4.1.2).

4.4.3 DE ANALYSETOOL: EFFECTEN OP WATERKWALITEIT

In de Analysetool kan voor de drinkwaterbekkens Biesbosch als meest vergelijkbare case gekeken worden naar onderstaande invoer gebiedseigenschappen:

Invoer gebiedseigenschappen	
Grootte van water	100 ha
Maximale diepte	25 m
Nutrientenstatus	Mesotroof
Bodemtype	Zand

We gaan hier uit van een PV-systeem dat 25% van het wateroppervlak bedekt en dat het PV-systeem circa 10% van het licht doorlaat. De resultaten van de Analysetool zijn weergegeven in Figuur 4.29.

FIGUUR 4.29 OVERZICHT VAN DE RESULTATEN VAN DE INDICATOREN UIT DE ANALYSETOOL ZON OP WATER VOOR DE CASE DRINKWATERBEKKENS BIESBOSCH

Invoer gebiedseigenschappen				
Grootte van water	100 ha			
Maximale diepte	25			
Nutrientenstatus	Mesotroof			
Bodemtype	Zand			
Invoer PV-eigenschappen				
Oppervlakte PV-systeem	25 % van wateroppervlakte (= 250000 m ²)			
Lichtdoorlatendheid PV-systeem	10 % van opvallend licht (panelen + constructie)			
bekijk uitgangspunten onderliggend model				
Toon resultaten				
Indicator	Referentie	PV	Δ	Δ (%) Omschrijving
1	0.08	0.06	-0.02 ▼	-21.6 Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]
2	22.12	2.32	-19.80 ▼	-89.5 Gemiddelde lichtintensiteit onder het PV-systeem [W/m ²]
3a	17.98	18.50	0.52 ▲	2.9 Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (oppervlaktelaag) [°C]
3b	14.07	14.35	0.28 ▲	2.0 Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (middelste laag) [°C]
3c	12.58	12.84	0.26 ▲	2.1 Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (bodemiaag) [°C]
4	27.34	27.64	0.30 ▲	1.1 Maximum watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [°C]
5a	9.46	9.85	0.39 ▲	4.2 Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (oppervlaktelaag) [mg/l]
5b	7.81	8.07	0.26 ▲	3.3 Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (middelste laag) [mg/l]
5c	6.84	7.26	0.43 ▲	6.3 Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes (bodemiaag) [mg/l]
6a	0.36	0.36	0.00 =	0.0 Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6b	0.11	0.10	-0.01 ▼	-8.3 Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6c	0.36	0.36	0.00 =	0.0 Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6d	0.08	0.07	-0.01 ▼	-13.5 Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6e	0.21	0.20	-0.01 ▼	-5.9 Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3°C) [-]
6f	0.02	0.01	-0.01 ▼	-51.5 Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3 mg/l) [-]
7a	17.87	18.00	0.13 =	0.7 Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, totaal [ug/l]
7b	17.87	18.27	0.40 ▲	2.3 Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, buiten PV [ug/l]
7c	17.87	17.09	-0.78 ▼	-4.4 Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag, onder PV [ug/l]

Welke effecten zien we?

- Het areaal geschikt voor **waterplanten** was al zeer gering en neemt nog verder af. Het PV-systeem is gesitueerd in de oeverzone waard juist waterplanten zouden kunnen voorkomen.
- De gemiddelde **lichtintensiteit** onder het PV-systeem neemt af met 89%.
- De gemiddelde **watertemperatuur** gedurende het zomerhalfjaar stijgt licht.
- De maximum **watertemperatuur** verandert niet.
- De **zuurstofconcentratie** ligt iets hoger gedurende het zomerhalfjaar. In de onderste waterlaag is de stijging het grootst als gevolg van een zwakkere stratificatie en meer aanvoer van zuurstof vanuit de bovenste waterlagen.
- De periode met **zuurstofloosheid** neemt af als gevolg van de iets hogere zuurstofconcentraties.
- Het **chlorofyl- a gehalte** over gehele bekken blijft gelijk maar buiten het PV-systeem is een lichte toename te zien en onder het systeem een afname.

Een hogere bedekking door het PV-systeem zorgt voor een versterking van de waargenomen effecten voor temperatuur, zuurstof en chlorofyl-a (waarbij de laatste over de gehele plas stijgt: +5%).

5

ANALYSE VAN DE KANSEN VOOR ZONNEPANELEN OP WATER

5.1 INLEIDING

Uit toepassing van het Stroomschema (Hoofdstuk 2), de Analysetool (Hoofdstuk 3) blijkt dat effect op waterkwaliteit en ecologie op verschillende plaatsen in het vergunningsverlenings-traject een rol speelt. In Hoofdstuk 4 is dat in beeld gebracht met behulp van de vier cases. De vraag is nu wat deze resultaten betekenen voor initiatiefnemers en waterbeheerders.

In dit hoofdstuk worden de verschillende onderdelen van deze studie bij elkaar gebracht en wordt een analyse gemaakt van de kansen voor zonnepanelen op water. De kansrijkheid is van belang vanuit het perspectief van:

- een initiatiefnemer: op welke typen wateren zou ik me als eerste kunnen richten om een PV-systeem op water geplaatst te krijgen?, en
- een waterbeheerder: voor welke watersystemen en PV-systemen kan ik met relatief kleine kans op het optreden van negatieve effecten een vergunning voor de plaatsing van een PV-systeem verlenen?

De kansrijkheid wordt in dit hoofdstuk vanuit drie verschillende kanten benaderd: 1. De wettelijke kaders, 2. Medegebruik en 3. waterkwaliteit en ecologie.

5.2 WETTELIJKE KADERS

Vanuit de wettelijke kaders kan een rangschikking van watertypen gegeven worden voor de kansrijkheid van een initiatief voor mogelijke plaatsing van een PV-systeem op water (van meest kansrijk naar minst kansrijk):

1. Wateren van particulieren of wateren van bedrijven waarbij het water een onderdeel vormt van het bedrijfsproces. Dit betreft wateren die voor de wet niet worden aangemerkt als oppervlaktewater en waarvoor nationaal beleid als de Kaderrichtlijn Water en Natuurbeschermingswet niet gelden. Voorbeelden hiervan zijn: bezinkbassin bij RWZI, drinkwaterbekken, baggerdepot, (geïsoleerde) winplas. Hierdoor hoeft geen rekening gehouden te worden met doelstellingen voor deze wettelijke kaders, tenzij het water afwatert op een KRW-waterlichaam (in beheer bij waterschap, Provincie of Rijksoverheid) of in de buurt ligt van Natura 2000-gebieden (en daar een belang voor heeft) of er beschermde soorten voorkomen. Beschermde soorten worden altijd en overal beschermd, welk type water het ook betreft. Als een dergelijk water in de buurt van een Natura 2000-gebied ligt, kunnen er extra restricties van kracht zijn (zie punt 3 hieronder). Ook als het water gebruikt wordt voor de bereiding van drinkwater, gelden er extra restricties.
2. Wateren die geen Natura 2000-gebied zijn en niet in de buurt van Natura 2000-gebieden liggen. Dit zijn oppervlaktewateren in de zin van de wet. Hier spelen vooral waterkwaliteits-

doelen voor de Kaderrichtlijn Water (KRW). Er zijn 3 categorieën van wateren voor de KRW: kunstmatige wateren, (hydromorfologisch) sterk-veranderde wateren en natuurlijke wateren. Bij de eerste categorie is een PV-systeem op water wellicht gemakkelijker te realiseren dan bij de laatste, omdat in algemene zin lagere ecologische doelen gekoppeld zijn aan kunstmatige wateren dan aan natuurlijke wateren. Daarnaast is van belang welke ambitie de waterbeheerder heeft vastgelegd (doel voor de KRW). Hier is altijd een inschatting nodig wat de effecten zijn van het plaatsen van een PV-systeem op kwaliteitselementen voor de KRW en op maatregelen (huidige en toekomstige) voor het verbeteren van de doelrealisatie voor de KRW.

3. Wateren die geen Natura 2000-gebied zijn en wel in de buurt van Natura 2000-gebieden. Hiervoor geldt hetzelfde als bij 2 met als toevoeging dat rekening gehouden moet worden met de functie die het water kan hebben voor de doelrealisatie van het naburige Natura 2000-gebied.
4. Wateren die Natura 2000-gebied zijn. Hiervoor geldt dat de aanleg van en het in gebruik hebben van een PV-systeem op water geen nadelige effecten mag hebben op de habitats en soorten waarvoor het water is aangewezen als Natura 2000-gebied. Hierbij dienen speciale procedures gevolgd te worden, in nauw overleg met het bevoegd gezag.
5. Rivieren (meestal tevens Natura 2000-gebied)
6. Binnen het gebied waarbinnen de Beleidslijn Grote Rivieren geldt, wordt onderscheid gemaakt in gebieden met een bergende functie (voor zonnepanelen geldt dat in dit gebied de bergingscapaciteit niet mag worden aangetast) en gebieden met een stroomvoerende functie (hierbinnen mogen alleen riviergebonden activiteiten plaatsvinden, waar zonnepanelen niet onder vallen). Op deze gronden levert een initiatief voor plaatsing van een PV-systeem in rivieren waarschijnlijk onoverkomelijke bezwaren van de waterbeheerder op.

5.3 MEDEGEBRUIK

Een watersysteem kan naast het gebruik voor de hoofdfunctie (bijvoorbeeld voor waterafvoer of als transportroute) ook door andere partijen in gebruik zijn. Dit kan als zwemwater, viswater of ander gebruik dat door de waterbeheerder wordt toegestaan of gefaciliteerd. De plaatsing van een PV-systeem betekent op dit moment voor veel wateren een nieuwe (extra) functie, namelijk energieopwekking. Een waterbeheerder zal de afweging moeten maken welke functies en wijzen van gebruik samen kunnen gaan. De initiatiefnemer kan hier bij de planvorming overigens al rekening mee houden.

5.4 WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE

In paragraaf 5.2 en in het Stroomschema zijn de wettelijke kaders behandeld, de beschermde waarden voor de natuur zijn hierin gedekt. In deze paragraaf worden de onderliggende waterkwaliteitsprocessen zoals zuurstofbeschikbaarheid en ecologische processen zoals primaire productie en voedselbeschikbaarheid behandeld.

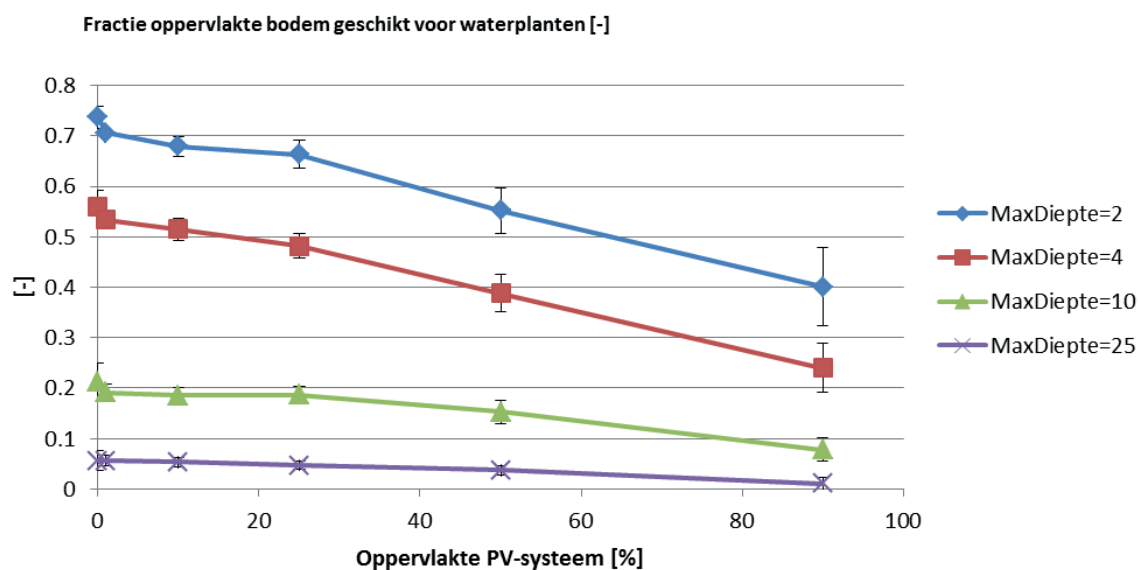
5.4.1 WATERPLANTEN

Het areaal dat geschikt is voor waterplanten (met voldoende licht op de bodem) vermindert door de plaatsing van een PV-systeem. Als het een relatief klein systeem is dat boven het diepe gedeelte van een plas wordt geplaatst, dan is het effect verwaarloosbaar (Figuur 5.1). Maar bij ondiepe plassen, waarin waterplanten in principe over de gehele bodem kunnen groeien, is het effect groot. De lichtdoorlatendheid van het PV-systeem kan dit effect deels compenseren (Figuur 5.2).

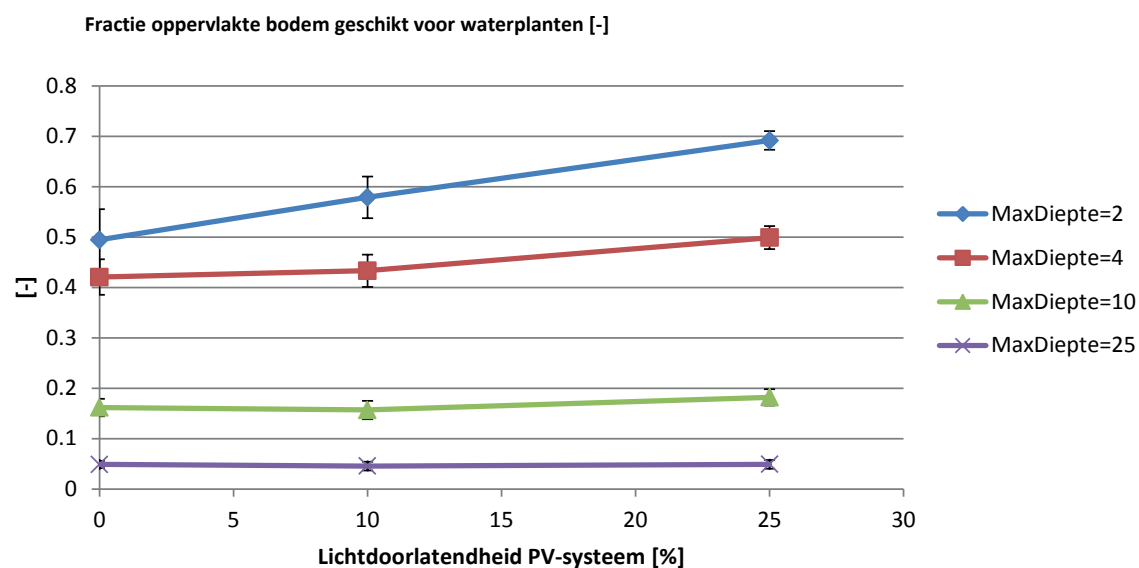
Een afname van waterplanten kan grote betekenis hebben voor het ecologisch functioneren van een watersysteem. De balans tussen fytoplankton en waterplanten in de concurrentiestrijd om licht en nutriënten kan verschuiven naar het fytoplankton. Door toename phytoplankton wordt het water troebeler en kunnen waterplanten uiteindelijk helemaal kunnen verdwijnen. Ook de levensgemeenschappen van macrofauna en vissen zullen hierdoor veranderen. De kwaliteit voor de KRW zal daarom ook voor alle soortgroepen minder worden.

Of een watersysteem door plaatsing van een PV-systeem een dergelijke verandering ook in werkelijkheid ondergaat, is afhankelijk van locatie-specifieke factoren. In deze studie is bij de modellering de interactie tussen waterplanten en fytoplankton niet meegenomen (de waterplanten zelf zijn niet gemodelleerd).

FIGUUR 5.1 GESCHIKTHEID VAN DE BODEM VOOR WATERPLANTEN NA PLAATSING VAN EEN PV-SYSTEEM. ONDIEPE MEREN ZIJN GEVOELIGER QUA IMPACT OP WATERPLANTEN



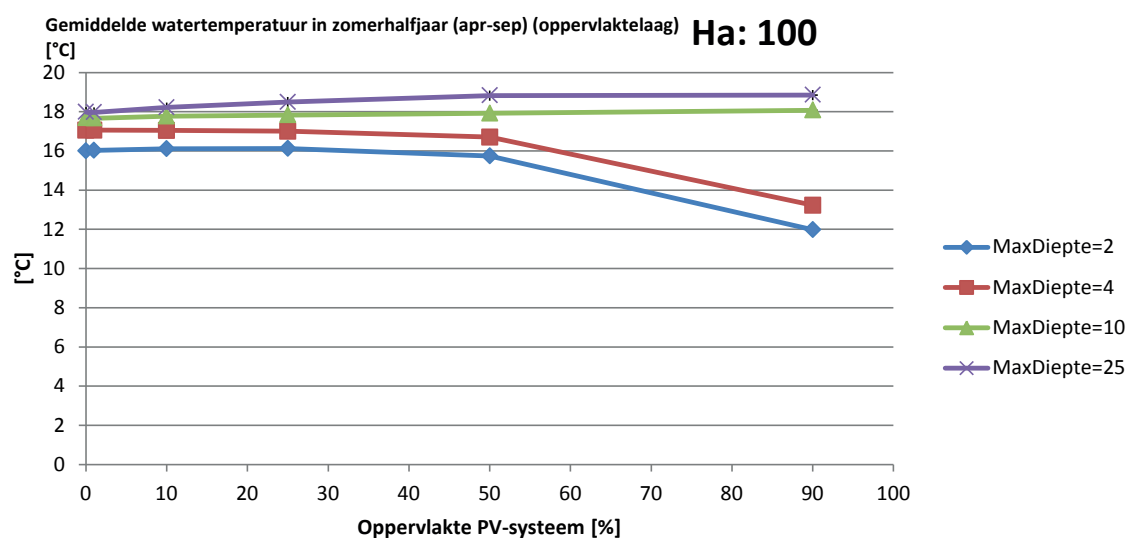
FIGUUR 5.2 FRACTIE VAN DE BODEM DIE GESCHIKT IS VOOR WATERPLANTEN NA PLAATSING VAN EEN PV-SYSTEEM (GEMIDDELDE VAN VERSCHILLENDE BEDEKKINGSOPPERVERLAKTEN) ALS FUNCTIE VAN DE LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM



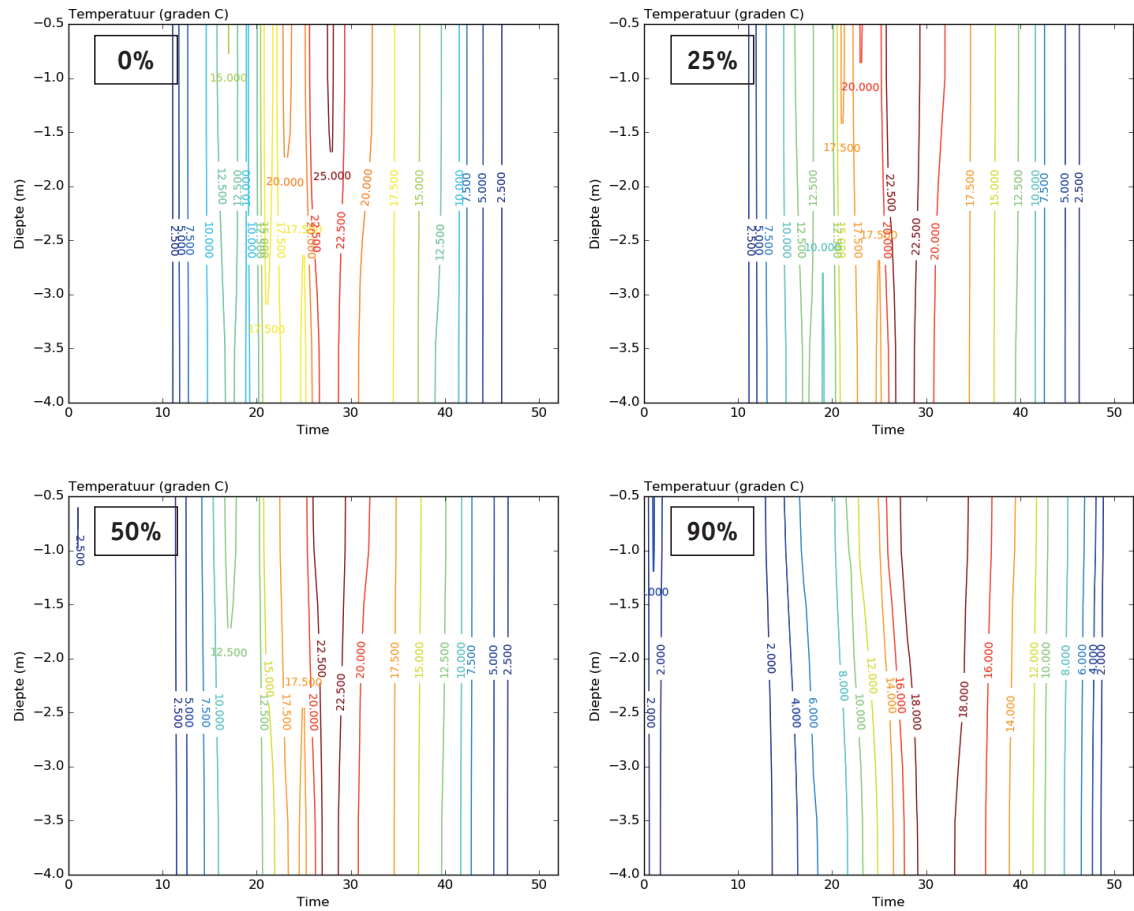
5.4.2 WATERTEMPERATUUR EN STRATIFICATIE

Een PV-systeem dekt het water af, waardoor het verschil in dag- en nachttemperatuur van het water onder een PV-systeem kleiner is dan buiten een PV-systeem (Figuur 7.25). Bij de berekeningen is echter alleen rekening gehouden is met het effect van instraling op de watertemperatuur. Het PV-systeem warmt op gedurende de dag en kan die warmte afgeven aan het water, waardoor het afkoelend effect overdag teniet gedaan wordt. De modellering van de warmteproductie en de warmteafgifte aan de lucht en het water is complex en afhankelijk van onder andere het type PV-systeem en de plaatselijke omstandigheden (zoals instraling, windsnelheid en windrichting). Dat gezegd hebbende is er wel een algemene trend in de watertemperatuur in de bovenste waterlaag waar te nemen (Figuur 5.3). In ondiepe meren blijft bij hoge bedekking door het PV-systeem de watertemperatuur overdag in de zomer lager (Figuur 5.4). Dit effect is bij een plas van 100 ha waarneembaar bij een PV-bedekking van 25% en hoger.

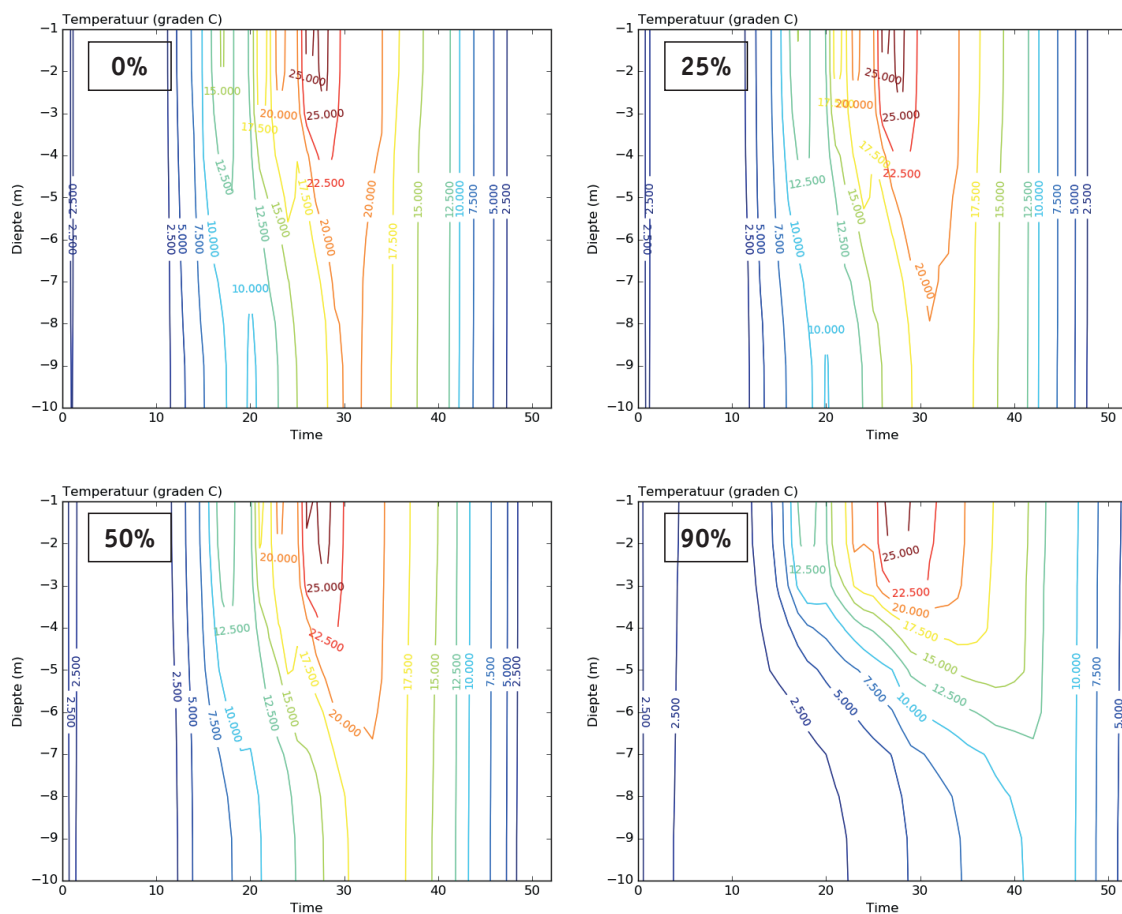
FIGUUR 5.3 ALGEMENE TREND WATERTEMPERATUUR GEDURENDE HET ZOMERHALFJAAR IN DE BOVENSTE WATERLAAG VOOR EEN PLAS VAN 100 HA BIJ VERSCHILLENDE WAARDEN VAN DE MAXIMALE DIEPTE



FIGUUR 5.4 CONTOURPLOTS VAN DE TEMPERatuur IN EEN PLAS VAN 100 HA EN EEN DIEPTE VAN 4 M BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN BEDEKKING DOOR HET PV-SYSTEEM (0%, 25%, 50% EN 90%). VOORBEELD VAN EUTROFE PLAS MET ZANDBODEM EN LICHTDOORLATENDHEID VAN PV-SYSTEEM 0% ZONDER STRATIFICATIE

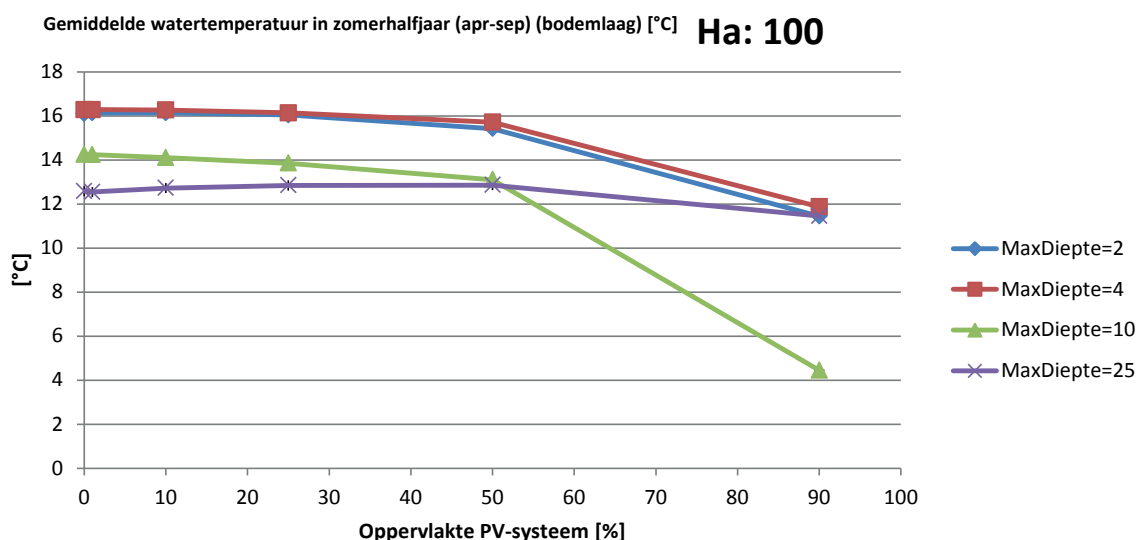


FIGUUR 5.5 CONTOURPLOTS VAN DE TEMPERatuur IN EEN PLAS VAN 100 HA EN EEN DIEPTE VAN 10 M BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN BEDEKKING DOOR HET PV-SYSTEEM (0%, 25%, 50% EN 90%). VOORBEELD VAN EUTROFE PLAS MET ZANDBODEM EN LICHTDOORLATENDHEID VAN PV-SYSTEEM 0% MET STRATIFICATIE GEDURENDE DE ZOMER



Het wegvallen van het mengend effect van de wind heeft effect op de (kans op) stratificatie in diepe plassen. Een PV-bedekking van 90% toont een lagere temperatuur aan de bodem: bij verschillende dieptes (Figuur 5.6, maximale diepte van 10 m) is dit effect op de temperatuur duidelijk verschillend. Dit komt doordat bij grotere dieptes het volume aan water dat in het voorjaar opgewarmd moet worden om stratificatie te krijgen, groter is. Bij een diepte van 10 m ontstaat wel een stabiele stratificatie, terwijl bij een diepte van 25 m de opwarming in het voorjaar langzamer verloopt (afdekking door PV-systeem) waardoor de waterkolom langer gemengd blijft en tevens de stratificatie later en nog maar gedeeltelijk optreedt (Figuur 5.6). Daarom warmt ook de onderlaag op, zij het minder dan de bovenlaag. De minder sterke stratificatie betekent normaal gesproken dat de menging over de verticaal sterker is en dat daarmee meer zuurstof van de oppervlakte naar de bodem en meer nutriënten vanuit de onderlaag naar de oppervlakte getransporteerd kunnen worden. Omdat er slechts 1 jaar wordt doorgerekend, heeft er geen opbouw van organisch materiaal plaatsgevonden en speelt nalevering in de modelberekeningen een geringe rol. Dit kan in de praktijk anders zijn.

FIGUUR 5.6 GEMIDDELDE WATERTEMPERATUUR GEDURENDE ZOMERPERIODE IN DE ONDERSTE WATERLAAG VOOR EEN PLAS VAN 100 HA ALS FUNCTIE VAN DE BEDEKKING VAN HET PV-SYSTEEM BIJ VERSCHILLENDE WAARDEN VAN DE MAXIMALE DIEPTE



5.4.3 CHLOROFYL-A CONCENTRATIES EN SAMENSTELLING ALGEN

De gemiddelde trend, voor alle doorgerekende systemen, is dat het chlorofyl-a gehalte (als maat voor de biomassa van de algen) in de bovenste waterlaag toeneemt met toenemende bedekking door het PV-systeem (Figuur 5.7). De hogere chlorofyl-a gehalten in de bovenste waterlaag hebben te maken met de veranderde patronen in de waterlaag (licht, temperatuur, menging). Hierdoor vindt de bloei vooral oppervlakkiger plaats (bij een hogere PV-bedekking) in de waterkolom (Figuur 5.9). Dit patroon is het duidelijkst te zien bij een bedekking door het PV-systeem van 50% en hoger. Een nadere analyse leert dat het hier vooral een toename van de biomassa van blauwalgen betreft (zie ook hieronder bij samenstelling van de algen).

Bij een bedekking door het PV-systeem van 90% is een daling in chlorofyl-a gehalte te zien (ten opzichte van een bedekking van 50%). Dit is het gevolg van lichttekort: er zijn te weinig plekken in de horizontaal waar nog (voldoende) licht opgenomen kan worden, bij een 50% bedekking is er nog voldoende tijd tijdens de horizontale beweging van de algen om in waterdelen zonder PV-systeem licht op te nemen.

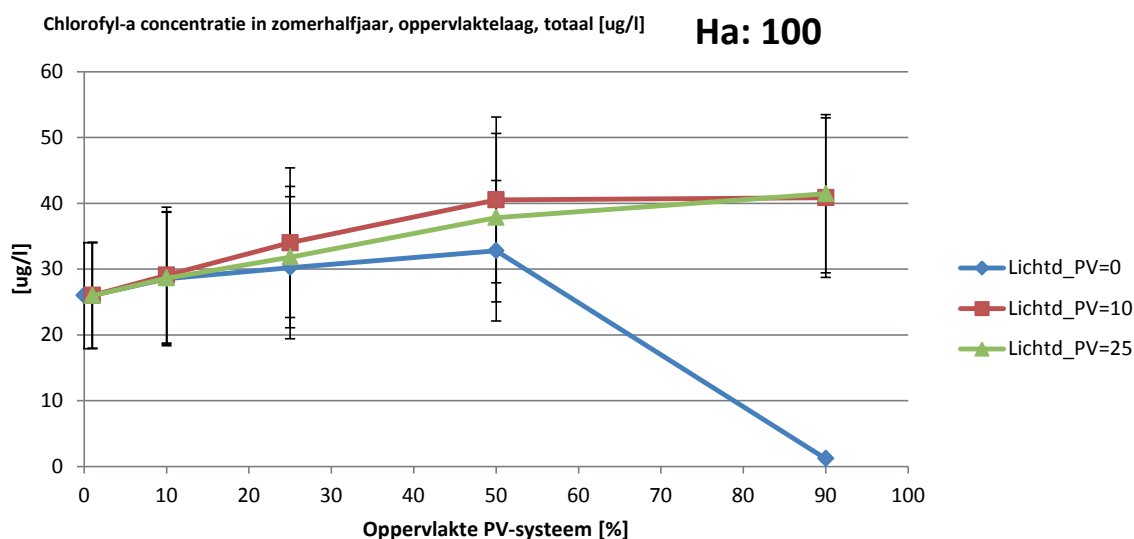
Bij een bedekking door het PV-systeem van 25% en hoger blijft het chlorofyl-a gehalte lager bij een lichtdoorlatendheid van 0% in vergelijking met een hogere lichtdoorlatendheid. De

primaire productie wordt in dit geval geremd door het PV-systeem dat al het licht tegenhoudt, met een gemiddeld lager chlorofyl-a gehalte in het water onder het PV-systeem (ten opzichte van het water buiten het PV-systeem) tot gevolg (Figuur 5.8). Als gevolg van horizontale watermenging kunnen er nog wel algen (gedurende een deel van de dag) aanwezig zijn onder het PV-systeem met een lichtdoorlatendheid van 0%.

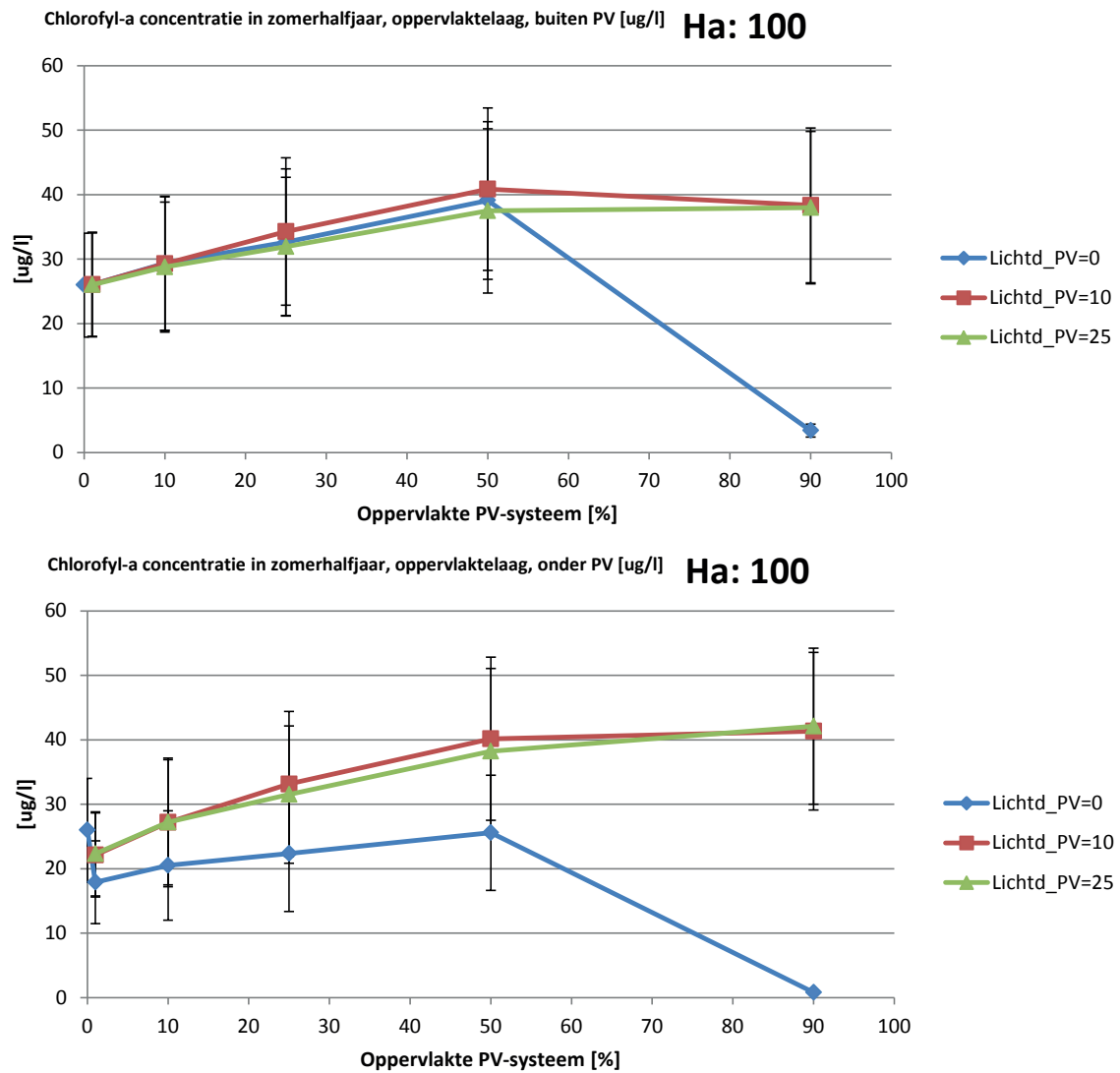
Een hoger chlorofyl-a gehalte in het water betekent dat er meer voedsel aanwezig is voor zoöplankton en daarmee voor vis en vogels. Ook hier speelt de balans tussen algen in het water en waterplanten die vanaf de bodem groeien (zie ook onder de kop waterplanten aan het begin van deze paragraaf). Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat het bedekken van het water door een PV-systeem niet automatisch betekent dat er dan minder algen in het water zullen komen en ook niet dat daarmee in eutrofe situaties automatisch een algenbloei voorkomen kan worden.

Een interessante vraag is of ook de samenstelling van het fytoplankton (groenalgen, diatomeeën, blauwalgen) verandert als gevolg van de plaatsing van een PV-systeem. De hiervoor besproken effecten treden met name op bij de biomassa van blauwalgen bij een bedekking van 50% PV-systeem: in ondiepe meren is een verlenging van de bloeiperiode van blauwalgen te zien (Figuur 5.10). Andere groepen algen laten bij een bedekking van het PV-systeem van 50% en meer alleen een verlaging van de bloei zien, zodat kan worden geconcludeerd dat het aandeel van blauwalgen toeneemt.

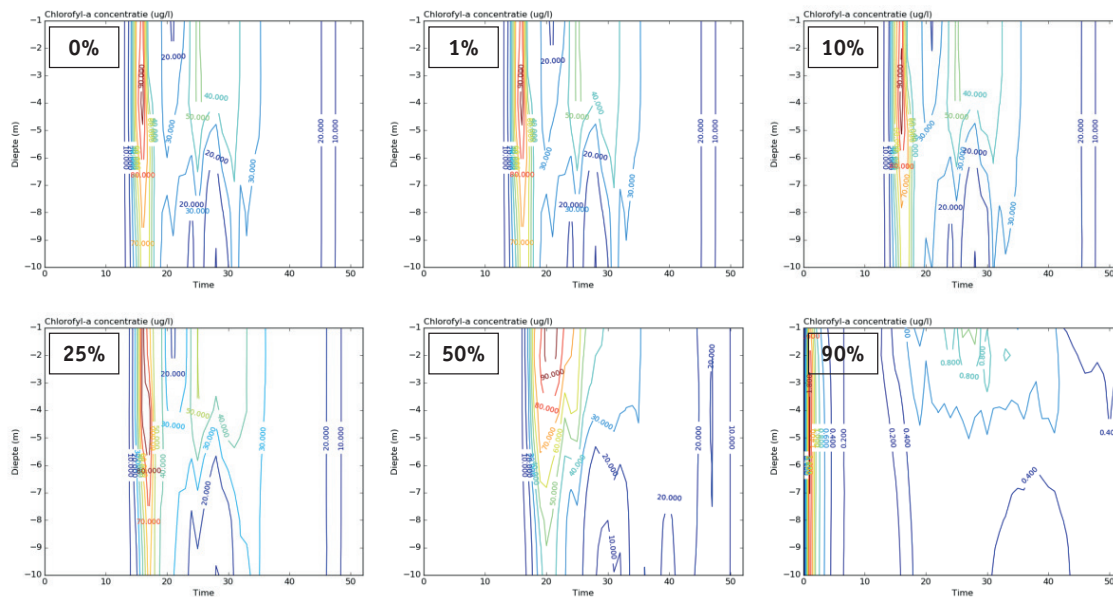
FIGUUR 5.7 GEMIDDELD CHLOROFYL-A GEHALTE GEDURENDE HET ZOMERHALFJAAR IN DE BOVENSTE WATERLAAG OVER DE GEHELE PLAS VOOR EEN PLAS VAN 100 HA ALS FUNCTIE VAN DE BEDEKKING DOOR HET PV-SYSTEEM BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM



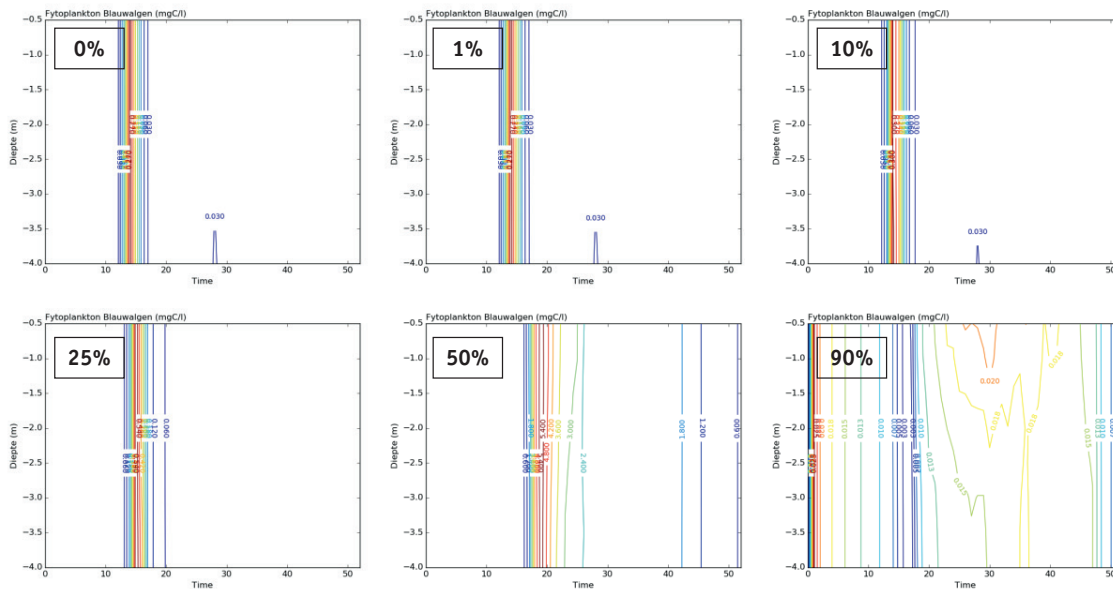
FIGUUR 5.8 GEMIDDELD CHLOROFYL-A GEHALTE GEDURENDE HET ZOMERHALFJAAR IN DE BOVENSTE WATERLAAG BUITEN HET PV-SYSTEEM (BOVEN) EN ÓNDER HET PV-SYSTEEM (ONDER) VOOR EEN PLAS VAN 100 HA ALS FUNCTIE VAN DE BEDEKKING DOOR HET PV-SYSTEEM BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM



FIGUUR 5.9 CONTOURPLOTS VAN HET CHLOROFYL-A GEHALTE UITGEZET IN DE TIJD (HORIZONTALE AS) EN DIEPTE (VERTICALE AS) IN EEN PLAS VAN 100 HA EN EEN DIEPTE VAN 10 M BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN BEDEKKING DOOR HET PV-SYSTEEM (0%, 1%, 10%, 25%, 50% EN 90%). VOORBEELD VAN EUTROFE PLAS MET ZANDBODEM EN 0% LICHTDOORLATENDHEID VAN PV-SYSTEEM



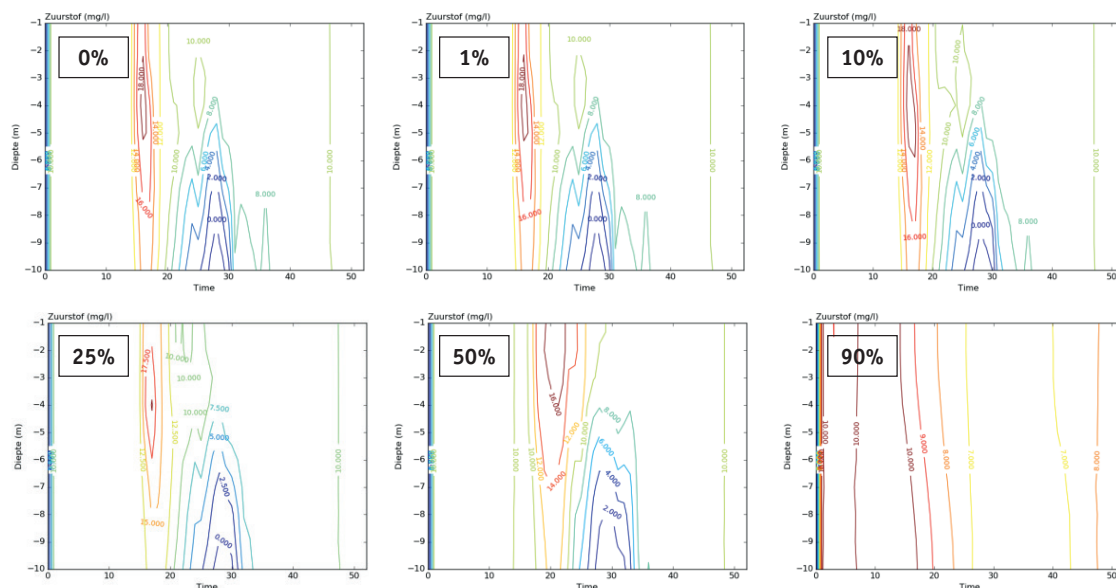
FIGUUR 5.10 CONTOURPLOTS VAN DE BIOMASSA VAN BLAUWALGEN IN EEN PLAS VAN 100 HA EN EEN DIEPTE VAN 4 M BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN BEDEKKING DOOR HET PV-SYSTEEM (0%, 1%, 10%, 25%, 50% EN 90%). VOORBEELD VAN EUTROFE PLAS MET ZANDBODEM EN 0% LICHTDOORLATENDHEID VAN PV-SYSTEEM



5.4.4 ZUURSTOF EN KANS OP ZUURSTOFTEKORT OP DE BODEM

De algemene trend is dat het zuurstofgehalte overdag in gestratificeerde systemen in de bovenste waterlaag in kleine en middelgrote plassen toeneemt met de toenemende bedekking van het PV-systeem (Figuur 7.31). Dit is vooral een gevolg van veranderingen in de primaire productie door het fytoplankton (meer zuurstofproductie) en (bij hoge bedekkingen door het PV-systeem) door de verminderde zuurstofvraag vanuit de bodem. Dit laatste is het geval wanneer, als gevolg van een tekort aan licht, de algenbloei niet meer optreedt en de aanvoer van dood organisch materiaal naar het sediment stopt. Dit is in alle combinaties het geval bij 90% bedekking door een PV-systeem en een lichtdoorlatendheid van 0% (Figuur 5.11).

FIGUUR 5.11 CONTOURPLOTS VAN DE ZUURSTOFCONCENTRATIE IN EEN PLAS VAN 100 HA EN EEN DIEPTE VAN 10 M BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN BEDEKKING DOOR HET PV-SYSTEEM (0%, 1%, 10%, 25%, 50% EN 90%). VOORBEELD VAN EUTROFE PLAS MET ZANDBODEM EN 0% LICHTDOORLATENDHEID VAN PV-SYSTEEM



5.4.5 CONCLUSIES WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE

De veranderingen in de resultaten van de modelberekeningen met toenemende bedekking door het PV-systeem geven aan dat er veranderingen in het watersysteem optreden die mogelijk de waterkwaliteit en de ecologie nadelig beïnvloeden. De resultaten laten veranderingen zien in de temperatuur, de verdeling van de temperatuur over de waterkolom (stratificatie en menging), het zuurstofgehalte, de biomassa en de samenstelling van het fytoplankton en het areaal geschikt voor waterplanten.

De meeste verschillen met de oorspronkelijke situatie treden op bij een bedekking van 50% of meer. Bij 90% zijn de verschillen groot en wordt het voedselweb nauwelijks meer ondersteund door een primaire productie door het fytoplankton. De switch van een waterplanten-gedomineerd systeem naar een fytoplankton gedomineerd systeem (inclusief de daling in ecologische toestand voor de KRW) treedt mogelijk al bij een lagere bedekking dan 50% PV-systeem op, maar dit is afhankelijk van lokale factoren zoals de eutrofiëeringsgraad, de stroming in het systeem, de belasting en de plaats waar het PV-systeem aangelegd is (boven ondiep of diep water). Omdat in deze studie deze omslag van het systeem niet mee-gemodelleerd is, is niet precies aan te geven wanneer dit kan optreden.

In het algemeen, op basis van de hier gepresenteerde resultaten, kan gesteld worden dat:

1. Een bedekking door het PV-systeem van 10% of minder waarschijnlijk geen grote effecten op de waterkwaliteit en de ecologie heeft, vooral als het PV-systeem boven diep water is geplaatst;
2. Een bedekking van het PV-systeem van 90% of meer met een lichtdoorlatendheid van het PV-systeem van 0% waarschijnlijk leidt tot een plas waarin weinig primaire productie optreedt (noch door het fytoplankton, noch door waterplanten) en waarin derhalve een voedselweb en de ecologische toestand zich nauwelijks kan ontwikkelen.
3. De lichtdoorlatendheid van het PV-systeem de effecten afzwakt. De specifieke combinatie van bedekking en lichtdoorlatendheid kan mogelijk geoptimaliseerd worden voor een specifieke situatie.

Er zijn geen monitoringsgegevens beschikbaar waar de modelresultaten aan gecheckt kunnen worden. Tegelijkertijd heeft elk watersysteem zijn eigen karakteristieken. De resultaten van deze studie kunnen dan ook niet gebruikt worden als hard bewijs dat op een specifiek watersysteem een PV-systeem geplaatst kan worden, noch dat een specifiek PV-systeem niet geplaatst kan worden. Toepassing op een specifieke locatie vergt altijd maatwerk.

6

HOE ZIJN EFFECTEN BEREKEND?

In de twee tools – het Stroomschema en de Analysetool – wordt gemeld wat de effecten zijn van plaatsing van PV systemen op de waterkwaliteit en de ecologie. Soms worden de effecten kwalitatief beschreven en soms wordt de omvang van de effecten gekwantificeerd. Om het kwantitatieve begrip van de effecten te vergoten is een modelstudie gebruikt. Hoofdstuk 6 geeft de achtergrond van die kwantitatieve berekeningen. Het geeft meer informatie over de gebruikte modellen, de keuzes en de aannames. Hoofdstuk 6 is vooral bedoeld voor waterkwaliteitsdeskundige die de achtergrond van de Analysetool wil begrijpen. Hoofdstuk 7 gaat ook in op de kwalitatieve effecten van een PV-systeem en vergelijkt waar mogelijk kwantitatieve en kwalitatieve effecten.

Het doel van het gebruik van een simulatiemodel is om de belangrijkste processen van het watersysteem te beschrijven inclusief hoe de plaatsing van een PV-systeem op het water ingrijpt in deze processen. Door de veelheid aan processen en de vaak tegengestelde effecten die een PV-systeem op water daarop uitoefent is alleen door het kwantitatief koppelen van deze processen in een simulatiemodel het mogelijk om een beeld te krijgen van de uiteindelijke effecten van een PV-systeem op water.

Temperatuur en zuurstof vertonen vaak een groot verschil tussen de oppervlakkige en de diepere waterlagen van een watersysteem. Hierdoor is een model nodig dat waterlagen (in de verticaal) kan beschrijven. Het effect van een PV-systeem op water dekt het water af waardoor wind (een belangrijke factor die de menging over de verticaal bepaalt) minder kan aangrijpen op het wateroppervlak. Daarnaast kan de grootte van een PV-systeem verschillen. Hiervoor is een model nodig dat in het horizontale vlak onderscheid kan maken in delen van het watersysteem die wel en niet bedekt worden door het PV-systeem.

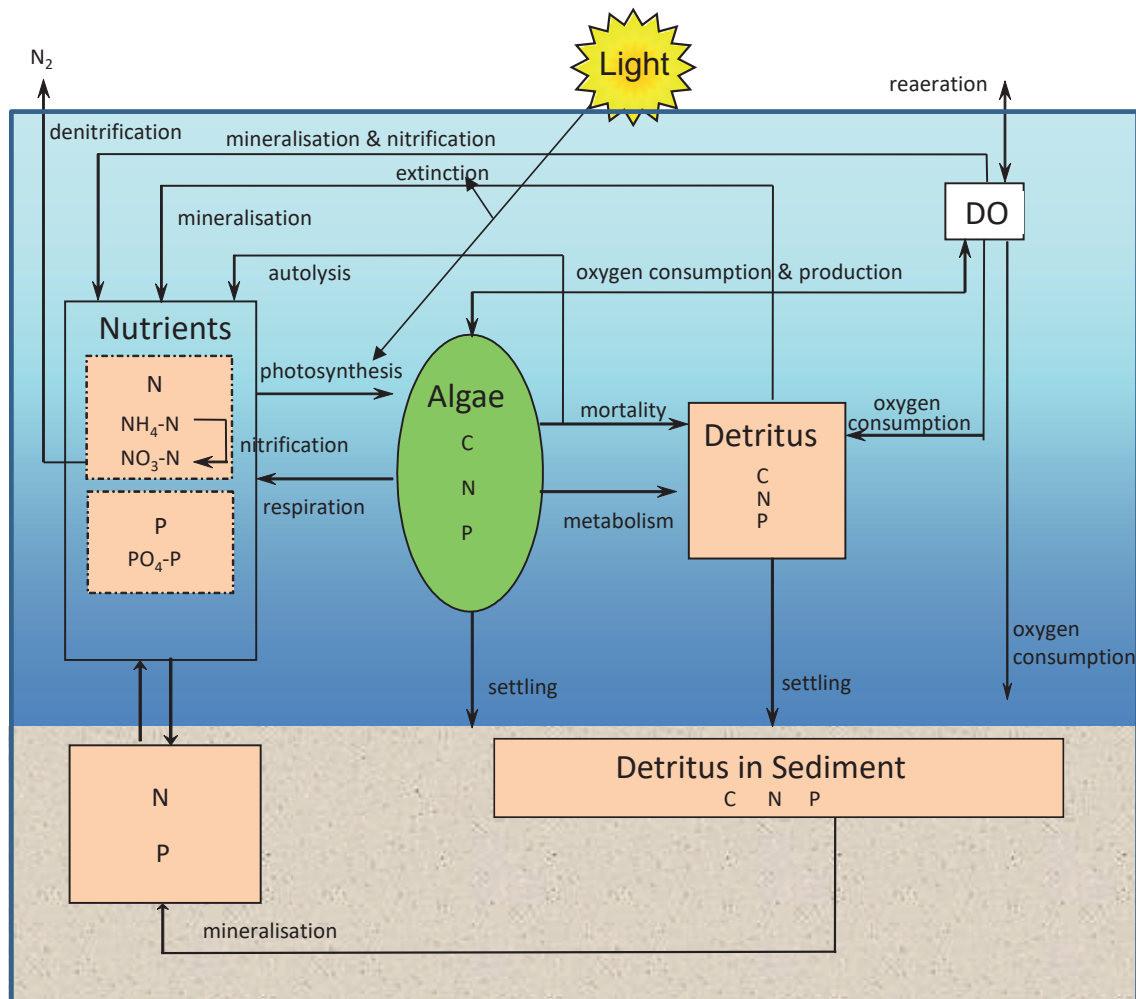
Op grond van bovenstaande redenen is gekozen voor een model dat rekening houdt met zowel verschillen in het horizontale vlak als verschillen in het verticale vlak: een zogenaamd 3D-model (3 dimensies: lengte, breedte en diepte). Hier is gebruik gemaakt van het modelinstrumentarium van Deltares: Delft-3D (Gerritsen et al., 2008; Los, H., 2009; Răman Vinnå et al., 2017). Een 3D-model lijkt erg ingewikkeld, maar heeft belangrijke voordelen boven versimpelde modellen: doordat processen in het horizontale en verticale vlak expliciet beschreven worden, hoeven er achteraf geen aannames gemaakt te worden die de resultaten een stuk onzekerder maken.

De modellering gebeurt in 2 stappen:

1. Berekening van de stroming, warmtebalans en temperatuur-verdeling;
2. Berekening van de waterkwaliteit.

Een schema van de gemodelleerde processen is gegeven in Figuur 6.1. Het model geeft uitvoer voor een groot aantal parameters. In de dit hoofdstuk wordt beschreven naar welke modeluitvoer specifiek gekeken is voor het opzetten van de Analysetool.

FIGUUR 6.1 SCHEMA VAN DE TOESTANDSVARIABLEN EN PROCESSEN DIE OPGENOMEN ZIJN IN HET DELFT-3D MODEL VOOR DE STUDIE VERGUNBAARHEID ZON OP WATER



6.1 AFBAKENING MODELSYSTEEM

Binnen deze studie is gekozen voor een generieke modelstudie: omdat er nog zo weinig bekend is van het effect van PV-systemen op water en de vraag van het Consortium Zon op Water is om een generiek beeld te geven van de effecten, is gekozen om een groot aantal verschillende (fictieve) watersystemen door te rekenen. Het idee is dat een watersysteem uit de praktijk dan altijd wel vergelijkbaar is met een van de doorgerkende situaties en dat voor veel watersystemen de resultaten bruikbaar zijn.

Er is gekozen voor een worst-case benadering: dit is de benadering die uitgaat van een situatie waarin de meeste effecten te verwachten zijn. Dit is een stilstaande plas, zonder in- of uitstroming. Een watersysteem is in het model voorgesteld als een ronde plas met een vast bathymetrie (Figuur 6.2). Voor de systeemkenmerken is gekozen voor:

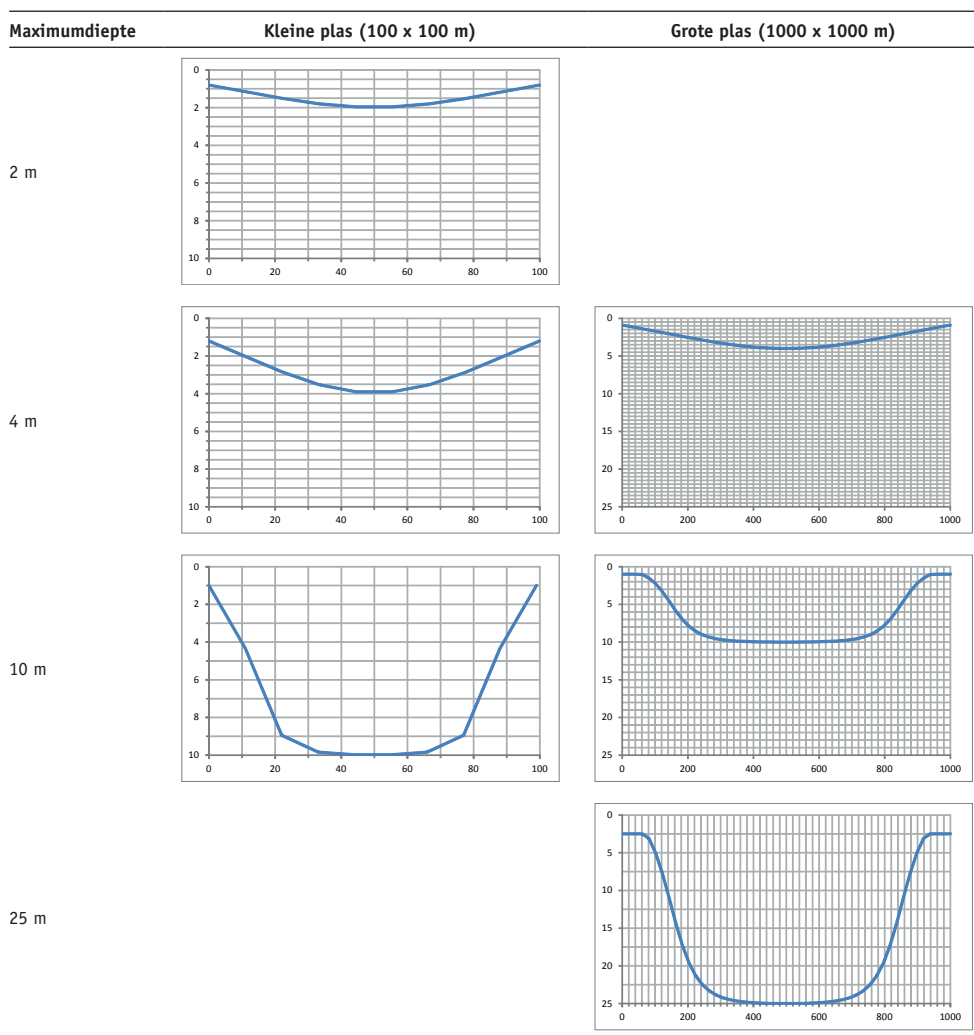
1. Omvang van het watersysteem (1, 10, 100, 1000 of 10000 ha). Dit bestrijkt het van belang zijnde bereik aan grootte van plassen. Voor grotere meren (>10000 ha) wordt geen afwijkend systeemgedrag verwacht ten opzichte van een meer van 10000 ha;
2. Maximumdiepte van het watersysteem (2, 4, 10 of 25 m). Dit bestrijkt de range aan dieptes

van meren in Nederland. Ondiepere meren (< 2 m) zijn waarschijnlijk minder geschikt voor de plaatsing van PV-systemen in verband met mogelijke droogval. Diepere meren (> 25 m) zijn vergelijkbaar met het type met een maximale diepte van 25 m;

3. Eutrofiëringsgraad (mesotroof of eutroof). Dit zijn de meest voorkomende toestanden van de hoeveelheid nutriënten;
4. Bodemtype (zand of veen). Dit zijn de bodemtypen met de grootste verschillen in bodemeigenschappen.

FIGUUR 6.2

DIEPTEPROFIELEN VAN EEN KLEINE PLAS (1 HA; LINKER KOLOM) EN EEN GROTE PLAS (100 HA; RECHTER KOLOM) BIJ VERSCHILLENDE MAXIMUMDIEPTES. DE GRIDCELLEN IN DE FIGUREN ZIJN EVENREDIG MET HET AANTAL REKENCELLEN VAN HET MODEL: 10 X 10 M EN 4-10 LAGEN BIJ DE KLEINE PLAS; 20X20 M EN 8-10 LAGEN BIJ DE GROTE PLAS. LEGE VAKKEN GEVEN AAN DAT DIE COMBINATIE NIET IS DOORGEREKEND



Het aantal waterlagen hangt af van de diepte, variërend van 4 tot 10 waterlagen. Voor een 2 meter diepe plas hanteren we 4 waterlagen van elk 0,5 meter diep en voor een 25 meter diepe plas gebruiken we 10 waterlagen van elk 2,5 meter diep. Waar in dit rapport gesproken wordt van top-, middelste- en bodemlaag, wordt respectievelijk de bovenste waterlaag bedoeld die in contact staat met de atmosfeer, de middelste laag in de plas en de onderste laag die in contact staat met de bodem. De middenlaag bij een even aantal waterlagen is de laag onder het midden (bij tien waterlagen laag 6 van boven).

Toestandsvariabelen in het model zijn temperatuur (warmtebalansmodel) en algenbiomassa (blauwalgen, diatomeeën, groenalgen en flagellaten), detritus (in C, N en P), zuurstof, fosfaat, ammonium, nitraat, bodemmateriaal (in C, N en P).

Processen die gemodelleerd zijn:

- Instraling (PV-systeem heeft direct invloed);
- Uitdoving van licht door zwevend stof en algen.
- Uitwisseling lucht – atmosfeer van zuurstof onder invloed van wind (PV-systeem heeft direct invloed);
- Warmtebalans, menging en stratificatie onder invloed van zonlicht, wind en verdamping (PV-systeem heeft direct invloed);
- Algen groei inclusief de productie van zuurstof;
- Bezinking van detritus;
- Afbraak van detritus in water en bodem (inclusief het verbruik van zuurstof en de productie van nutriënten);
- Nitrificatie;
- Burial (begroting) van bodemmateriaal.

In de plassen is geen doorstroming verondersteld; geen oppervlakkige instroming en geen neerslag. De aanvoer van nutriënten is via (droge) depositie opgelegd voor een mesotrofe situatie (stikstofdepositie 1400 mol/ha/jaar) en een eutrofe situatie (stikstofdepositie 3500 mol/ha/jaar). De fosfor-belasting is gesteld op respectievelijk 1 mgP/m²/dag en 5 gP/m²/dag. De karakterisering van de bodemtypen zand en veen is overgenomen van het model PCLake (2005, 2005).

Er is bij de procesbeschrijving gebruik gemaakt van de standaard procesbibliotheek van het waterkwaliteitsmodel DELWAQ met een standaard selectie van processen en procesparameters.

6.2 VERSCHILLENDE EIGENSCHAPPEN GEMODELLEERD

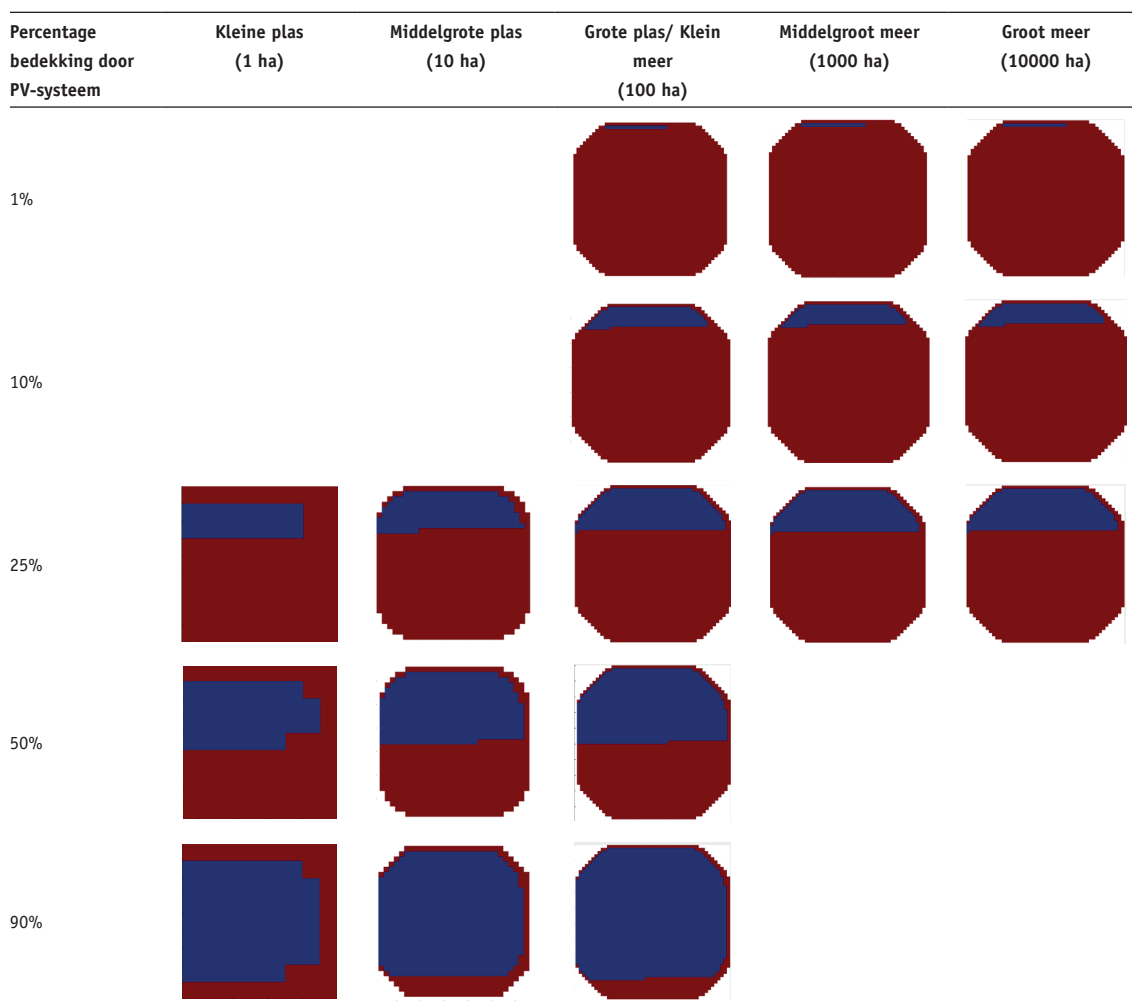
Het effect van een PV-systeem op een watersysteem hangt af van de omvang van het watersysteem in relatie tot de omvang van het PV-systeem, immers als het PV-systeem slechts een klein percentage van het watersysteem bedekt, dan is het waarschijnlijk dat de effecten kleiner zijn dan wanneer het watersysteem geheel bedekt wordt. De invloed op de menging en de stratificatie van het watersysteem is sterk afhankelijk van de diepte van het watersysteem. Tot slot is gebleken dat de ecologische toestand van een watersysteem sterk bepaald kan worden door het bodemtype en de belasting met nutriënten.

De waarden voor de PV-systeem kenmerken zijn zo gekozen dat ze het meest aansluiten bij de karakteristieken van meren in Nederland en de huidige praktijk van reeds aangelegde PV-systemen. Gekozen is voor de volgende combinaties:

1. Omvang van het PV-systeem (als percentage van de plas: 1, 10, 25, 50 of 90% van de plas bedekt). De referentiesituatie (geen PV-systeem aanwezig) is in de plaatjes weergegeven als 0% omvang van het PV-systeem;
2. Lichtdoorlatendheid van het PV-systeem als geheel (0, 10 of 25% van het opvallende licht doorlatend).

De ligging van het PV-systeem is aan de noordzijde van de plas en vandaaruit een bepaald percentage van de plas bedekkend (Figuur 6.3).

FIGUUR 6.3 LIGGING VAN HET PV-SYSTEEM. BLAUW: PV-SYSTEEM; ROOD: OPEN WATER. LEGE VAKKEN GEVEN AAN DAT DIE COMBINATIE NIET IS DOORGEREKEND



Aanvullend zijn enkele modelberekeningen gemaakt met instroming en een andere windrichting om zo (voor slechts een enkele situatie) het effect van doorstroming en een andere ligging van het PV-systeem ten opzichte van de wind in te schatten, voor resultaten zie paragraaf 7.9.

6.3 INDICATOREN VOOR DE EFFECTEN

Voor de effecten op de waterkwaliteit van de plaatsing van een PV-systeem op water worden vooral effecten verwacht op licht, temperatuur, zuurstof en algen. Vanwege het grote aantal resultaten dat het gebruikte model Delft-3D oplevert, is een selectie gemaakt uit de resultaten voor deze vier aspecten. Dit worden de indicatoren genoemd. Het betreft:

1. Indicatoren voor licht:
 - a. Fractie van het areaal van de bodem waarop voldoende licht valt voor de groei van waterplanten. Waterplanten zijn een belangrijk kwaliteitsaspect voor de Kaderrichtlijn Water en de beoordeling van de ecologische toestand. Afname van het areaal dat geschikt is voor waterplanten heeft direct effect op de beoordeling voor de KRW. Daarnaast spelen waterplanten een rol in bij het helder houden van het water (ze concurreren om licht en nutriënten met de algen). De waterplanten zijn niet afzonderlijk gemodelleerd, de algen wel: de indicator is dus afhankelijk van bedekking door het PV-systeem op directe wijze

(beschaduwing door PV-systeem alleen onder het PV-systeem) als indirecte wijze (beschaduwing door algen in het water over het gehele watersysteem);

- b. Gemiddelde lichtintensiteit onder het PV-systeem. Dit geeft een (directe) indicatie in hoeverre er nog primaire productie door algen en waterplanten mogelijk is onder het PV-systeem;

2. Watertemperatuur

- a. Gemiddelde watertemperatuur gedurende het zomerhalfjaar (april t/m september). De watertemperatuur is een resultaat van verschillende processen: instraling (en bedekking door PV-systeem) en verdamping en menging door wind (en afdekking door PV-systeem). Er is onderscheid gemaakt in de gemiddelde watertemperatuur in het zomerhalfjaar op verschillende dieptes en de maximum watertemperatuur.

De indicatoren die in de Analysetool zijn opgenomen geven gezamenlijk een goed beeld van verwachte verandering van de waterkwaliteit en ecologische toestand van het waterlichaam, zie Tabel 6.1.

Indicatoren 1 en 2 zijn bedoeld om de impact van PV-systemen op het lichtklimaat weer te geven. Indicatoren 3 en 4 betreffen de indicatoren die inzicht geven in de effecten op de watertemperatuur en indicatoren 5 en 6 geven inzicht in de te verwachten effecten op de zuurstofconcentraties en indicator 7 geeft inzicht in de te verwachten effecten op de aanwezigheid van algen. De manier waarop deze indicatoren zijn berekend staat beschreven in appendix A.

TABEL 6.1

INDICATOREN VOOR DE WATERKwaliteit IN DE ANALYSETOOL ZON OP WATER, INCLUSIEF DEEL INDICATOREN

Indicator	Omschrijving
1	Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]
2	Gemiddelde lichtintensiteit onder het PV-systeem [W/m ²]
3	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [°C] 3a: oppervlaktelaag, 3b: middelste laag, 3c bodemlaag
4	Maximum watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [°C]
5	Gemiddelde zuurstofgehalte in het water op verschillende dieptes [mg/l] 5a: oppervlaktelaag, 5b: middelste laag, 5c bodemlaag
6	Bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt [-] Fractie areaal: 6a: grens 6 mg/l, 6c: grens 5 mg/l, 6e: grens 3 mg/l Intensiteit (fractie areaal x duur): 6b: grens 6 mg/l, 6d: grens 5 mg/l, 6f: grens 3 mg/l
7	Chlorofyl-a concentratie in zomerhalfjaar, oppervlaktelaag [µg/l] 7a: totaal, 7b: onder PV, 7c buiten PV

De Analysetool is een MS Excel applicatie waarin de gebruiker aan de hand van een reeks invoervelden inzicht krijgt in de verwachte effecten van een PV-systeem op een aantal indicatoren welke de waterkwaliteit en ecologische status kwantitatief weergeven. De invoervelden beschrijven de kenmerken van het watersysteem en het PV-systeem die van toepassing zijn op de locatie waar de initiatiefnemer een PV-systeem heeft gepland.

Hiermee kan de gebruiker (initiatiefnemer of vergunningverlener) een beeld krijgen van de verwachte impact van het geplande PV-systeem op de waterkwaliteit.

7

TOELICHTING OP EFFECTEN

WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE

Hoofdstuk 6 concentreert zich op de achtergronden van de kwantitatieve effecten. Hoofdstuk 7 combineert deze effecten met de effecten en risico's die alleen kwalitatief te beschrijven zijn. Hoofdstuk 7 is vooral bedoeld voor meer achtergrond m.b.t. de totstandkoming van de uitspraken over mogelijke effecten en risico's gebruikt in het Stroomschema.

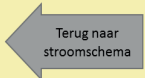
7.1 GEBRUIKSDOELEN

Bestaande gebruiksdoelen van watersystemen zijn weergegeven in Figuur 7.1. Waterbeheerders gaan in het algemeen conservatief om met bestaande gebruiksfuncties: nieuwe gebruiksvormen moeten naast de bestaande gebruiksfuncties kunnen bestaan, anders is er sprake van concurrentie om ruimte en moet een andere afweging plaatsvinden. Voor de grote rivieren bestaan de dominante gebruiksfuncties van transport (scheepvaart) en waterveiligheid (bergen en afvoeren). Hiervoor is de Beleidslijn Grote Rivieren opgesteld (Figuur 7.2). PV-systemen kunnen effect hebben voor de waterveiligheid als gevolg van verminderde doorstroming (Figuur 7.3).

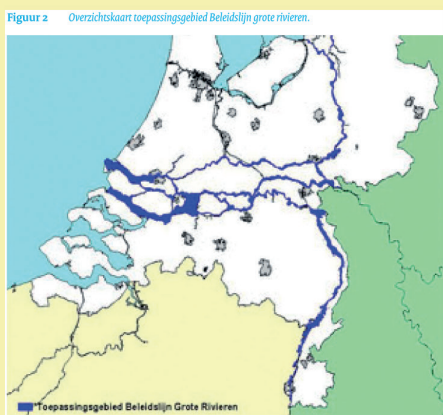
FIGUUR 7.1 GEBRUIKSFUNCTIES EN MOGELIJKE RISICO'S VAN PLAATSIING VAN PV-SYSTEMEN

1. Werken in rijkswater: Gebruiksfuncties water volgens waterwet		
Categorie	Doelen RWS en gebruiksfunctie	Mogelijk risico van PV-systeem op gebruiksfunctie
Wettelijke kerntaken RWS	Waterveiligheid	Vermindering doorstroming
	Voldoende zoetwater	-
	Schoon en gezond water	Effect op waterkwaliteit en ecologie
	Vlot en veilig verkeer over water	Obstructie vaarweg, conflict met beheer
Aangewezen gebruiksfuncties	Scheepvaart	Obstructie vaarweg
	Drinkwater	Uitloging van stoffen, effect op waterkwaliteit
	Zwemwater	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit
	Schelpdierwater	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit en ecologie
	Natuur	Verstoring, concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit en ecologie
Overige gebruiksfuncties	Recreatie	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit
	Energie	-
	Industrie (koel- en proceswater)	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit
	Landbouw (drenk- en irrigatiewater)	Effect op waterkwaliteit
	Visserij (beroeps en recreatief, aquacultuur)	Concurrentie om ruimte, effect op waterkwaliteit en ecologie
	Delfstofwinning (zandwinning, baggerdepot)	Concurrentie om ruimte

Zie verder voor gebruiksfuncties: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/gebruiksfuncties/>



FIGUUR 7.2 BELEIDSLIJN GROTE RIVIEREN

1. Werken in rijkswater: Toepassingsgebied Beleidslijn Grote Rivieren

Zie verder: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet/kaarten/kaart-beleidsregels/>

Terug naar
stroopschema

FIGUUR 7.3 MOGELIJK RISICO OP WATERVEILIGHEID

1. Werken in rijkswater: Risico van PV-systeem op waterveiligheid

Door invang van drijvend afval kan een PV-systeem op water meer weerstand gaan geven. Bekend is dat drijvend afval zich kan verzamelen bij en hechten aan drijvende objecten. Dit kan de doorstroming belemmeren, met een verhoogd risico op wateroverlast en overstroming. Ook kan er schade ontstaan aan de infrastructuur als een PV-systeem niet goed verankerd is en hierdoor op drift raakt.

Onder waterveiligheid valt ook dat een PV-systeem zo min mogelijk invloed mag hebben op de bergingscapaciteit van een gebied (Waterbesluit, artikel 6.15). Nu is het zo dat drijvende objecten altijd deels in het water liggen, daardoor water verplaatsen en daarmee de waterstand iets verhogen. Dat betekent dat de bergingscapaciteit iets verminderd wordt. Hiertegenover staat dat de vermindering waarschijnlijk klein is (afhankelijk van de constructie en de relatieve omvang van het PV-systeem). Wel kan vanuit het bevoegd gezag gevraagd worden dit effect te compenseren.

Terug naar
stroopschema

7.2 TOETSINGSKADER WATERKWALITEIT

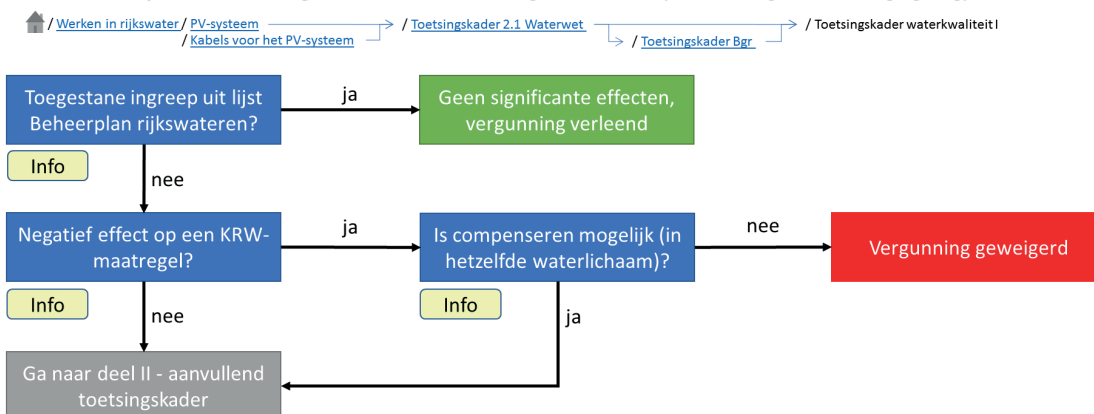
Voor rijkswateren bestaat er een toetsingskader Waterkwaliteit dat in het Stroomschema besproken wordt (Figuur 7.4). Van belang is of het type ingreep een bekende ingreep is uit de lijst met toegestane, vergunningsvrije activiteiten. Zo niet, dan dient te worden aangegeven of het plaatsen van het PV-systeem een negatief effect kan hebben voor een bestaande maatregel voor de KRW. Mogelijke effecten zijn per maatregeltipe weergegeven in Figuur 7.5. Er wordt door Rijkswaterstaat ook gekeken of ingrepen belemmerend kunnen zijn voor maatregelen die in de toekomst eventueel nog genomen moeten worden. Er kan compensatie nodig zijn (Figuur 7.6).

In het aanvullend kader waterkwaliteit (Figuur 7.7) wordt gekeken naar effecten op de ecologische toestand voor de KRW. Hierbij wordt gekeken naar de kwaliteitselementen voor de KRW: Fytoplankton (zwevende algen), Fytobenthos (bodemalgen), Overige Waterflora (waterplanten), Macrofauna (kleine waterdieren) en vissen. De ecologische toestand wordt afgewogen aan de hand van lijsten van voorkomende soorten met hun dichtheden. Hoewel de vergunningverlener het effect wel meeweegt, is het lastig als initiatiefnemer om het effect van een PV-systeem op deze kwaliteitselementen in te schatten. In het Stroomschema worden relatieschema's gepresenteerd die de verschillende effecten op de milieufactoren licht, temperatuur, stroming, habitat en zuurstof weergeven. Deze relatieschema's worden in onderstaande paragrafen toegelicht.

FIGUUR 7.4 WERKEN IN RIJKSWATER: TOETSINGSKADER WATERKwaliteit ALGEMEEN KADER

1. Werken in rijkswater: Toetsingskader waterkwaliteit algemeen kader (beoordeling door bevoegd gezag)

Zie paragraaf 1.3.1.2



FIGUUR 7.5 STANDAARD INGEPEN EN MOGELIJKE RISICO'S VAN PLAATSIING VAN PV-SYSTEMEN

1. Werken in rijkswater: Lijst standaard ingrepen Rijkswateren voor de KRW

Maatregeltype	Mogelijk effect van plaatsing PV-systeem
Aantakken strangen	Beïnvloedt uitwisseling met rivier
Getijdenatuur/kwelders	Droogvallende delen buiten scope van PV-op-water
Kribben/peilbeheer	PV-systeem kan droogvallen en bodem/oever beschadigen
Kunstmatig rif / zeegras	Neemt licht weg waardoor maatregel ineffectief
Maaibeheer	PV-systeem belemmert maaibeheer
Natuurvriendelijke (voor)oever	PV-systeem beperkt plantengroei
Nevengeulen	Beïnvloedt doorstroming in nevengeul
Tweezijdig aantakken	Beïnvloedt doorstroming in nevengeul
Uiterwaardverlaging	PV-systeem beperkt plantengroei, risico droogval
Vergroten vloedvlakte	PV-systeem beperkt plantengroei
Visbeheer	-
Vispassages/geleiding	Beïnvloedt werking van lokstromen
Waterbodemsaneringen	Belemmert bodemsanering
Aanbrengen rivierhout	Minder effectief door verandering stromingspatroon

Zie verder:

<https://www.rijkswaterstaat.nl/water/waterbeheer/waterkwaliteit/maatregelen-waterkwaliteit/index.aspx>

Terug naar
stroomschema

FIGUUR 7.6

MOGELIJKE COMPENSATIE VAN NEGATIEVE EFFECTEN OP KRW-MATREGELEN

1. Werken in rijkswater: Compensatie van negatieve effecten op KRW-maatregelen

Compensatie van negatieve effecten van een PV-systeem op KRW-maatregelen is afhankelijk van het desbetreffende waterlichaam. De compensatie moet plaatsvinden in hetzelfde waterlichaam. De beschikbare ruimte voor compenserende maatregelen verschilt per waterlichaam. Ook de omvang van de benodigde compensatie kan per waterlichaam verschillen.

Indien er onvoldoende ruimte beschikbaar is, kan geen compensatie plaatsvinden en wordt de vergunning niet verleend.

Terug naar
stroamschema

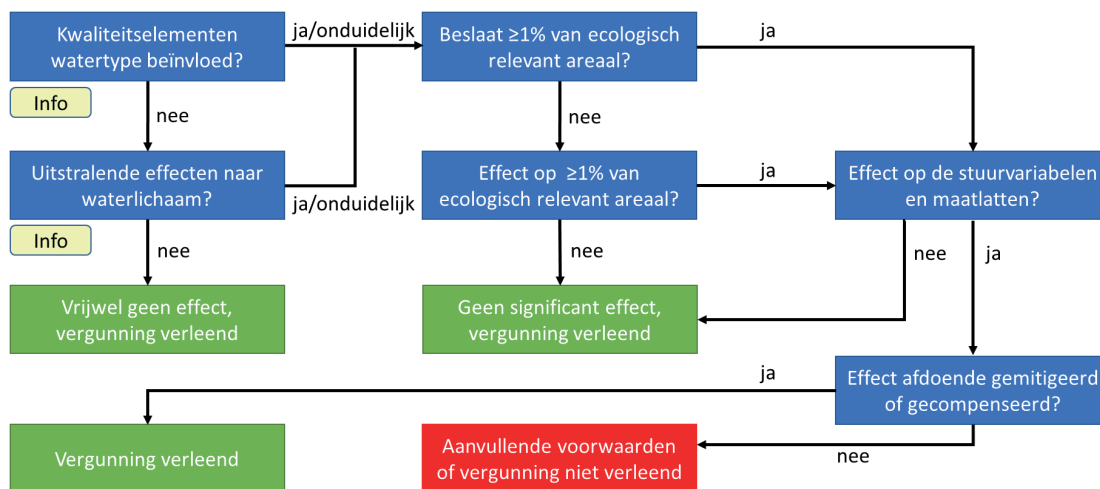
FIGUUR 7.7

WERKEN IN RIJKSWATER: TOETSINGSKADER WATERKWALITEIT AANVULLEND KADER

1. Werken in rijkswater: Toetsingskader waterkwaliteit aanvullend kader (beoordeling door bevoegd gezag)

Zie paragraaf 1.3.1.2

[/ Werken in rijkswater / PV-systeem](#) → [/ Toetsingskader 2.1 Waterwet](#) → [/ Toetsingskader Bgr](#) → [/ Toetsingskader waterkwaliteit I](#) / [Toetsingskader waterkwaliteit II](#)

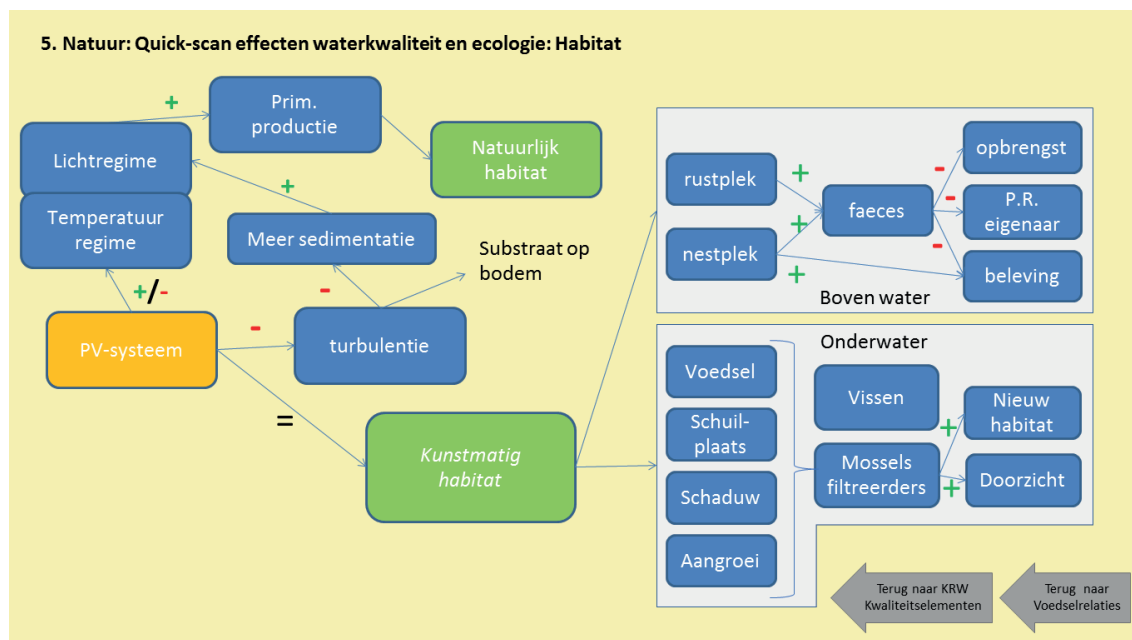
**7.3 HABITAT EN SUBSTRAAT**

Het gedeelte van een PV-systeem dat zich onderwater bevindt, vormt een geschikt hard substraat voor de aangroei van algen. Na de kolonisatie door algen, kunnen zich vervolgens ook poliepen en andere macrofauna vestigen. Met name interessant is een eventuele vestiging van filtreerders (onder andere mosselen) omdat deze het water helderder kunnen maken en daarmee licht, temperatuur en zuurstof kunnen beïnvloeden (ook buiten het PV-systeem, zie Figuur 7.8 en Figuur 3.6).

Het aangroei op de drijvende delen van een PV-systemen vormt voedsel voor vissen. De PV-systemen kunnen ook een schuilplaats voor vissen vormen. Boven water kan een PV-systeem een rust-, schuil- en nestplaats voor vogels vormen (Figuur 7.8, Tabel 7.1).

De effecten op habitat en substraat zijn niet meegenomen in de modelberekeningen, waardoor voor deze effecten geen kwantitatieve of semi-kwantitatieve relaties beschikbaar zijn.

FIGUUR 7.8 MOGELIJKE EFFECTEN OP HABITAT/SUBSTRAAT



TABEL 7.1 SAMENVATTING VAN DIRECTE EN INDIRECTE EFFECTEN VAN EEN PV-SYSTEEM OP HABITAT/SUBSTRAAT

	Directe effecten	Indirecte effecten
Positief	kunstmatig habitat	- meer doorzicht door meer filtreerders door aangroei op kunstmatig habitat - meer primaire productie door meer licht buiten panelen door toename sedimentatie onder panelen door afname turbulentie
Negatief	kunstmatig habitat	meer substraat op bodem door meer sedimentatie door minder turbulentie onder panelen

7.4 NATUURDOELEN

Bij de effecten op natuur spelen de instandhoudingsdoelen van de Natura 2000-regelgeving een belangrijke rol.

Natura 2000-doelen zijn gespecificeerd op het niveau van habitat-typen en soorten. Voor de vergunningverlening is van belang onderscheid te maken tussen effecten van het werken in of bij een Natura 2000-gebied en effecten op beschermde soorten (Figuur 7.9 en Figuur 7.11). Voor effecten op Natura 2000-gebieden wordt onderscheid gemaakt tussen directe effecten en indirecte effecten (zogenaamde uitstralende werking van werkzaamheden buiten een gebied op het gebied). De effecten worden in 3 fasen ingeschat (Figuur 7.10):

1. een voortoets, waarin de mogelijke effecten worden benoemd (kwalitatieve benadering);
2. een vergunningaanvraag, waarin de significantie van de te verwachten effecten worden ingeschat (kwantitatieve benadering);
3. een fase van mitigatie, waarin de te verwachten significante negatieve effecten worden gecompenseerd door maatregelen (kwantitatieve benadering).

Zie hoofdstuk 5 van het Stroomschema voor verdere toelichting.

Voor beschermde soorten geldt er een vergelijkbaar systeem (Figuur 7.11). Zie hoofdstuk 5 van de interactieve presentatie voor verdere toelichting.

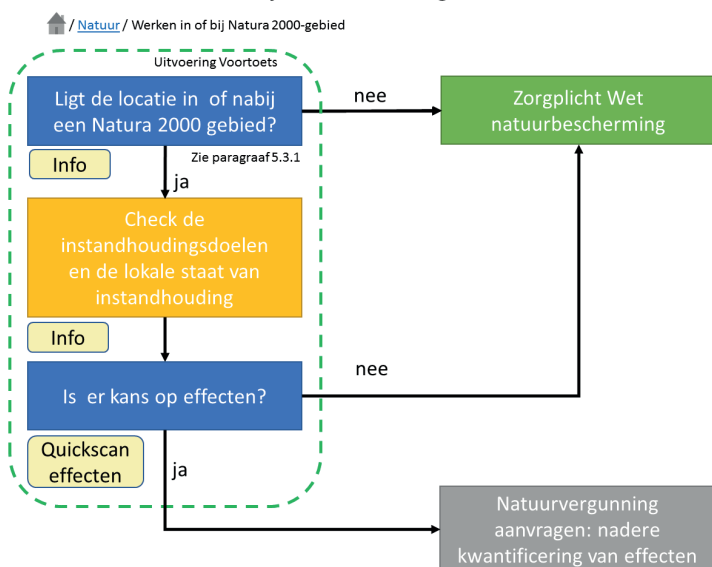
Daarnaast geldt er onder de Wet Natuurbescherming altijd de zorgplicht als algemene verplichting voor het beschermen van in het wild levende dieren en planten en hun leefomgeving.

De voedselwebrelaties (Figuur 7.33) geven een handvat om de effecten op natuur in te schatten. Binnen deze studie wordt dit alleen kwalitatief gedaan.

FIGUUR 7.9 SCHEMA VERGUNNINGVERLENING NATURA 2000-GEBIEDEN

5. Natuur: Werken in of bij een Natura 2000-gebied

Zie paragraaf 5.3

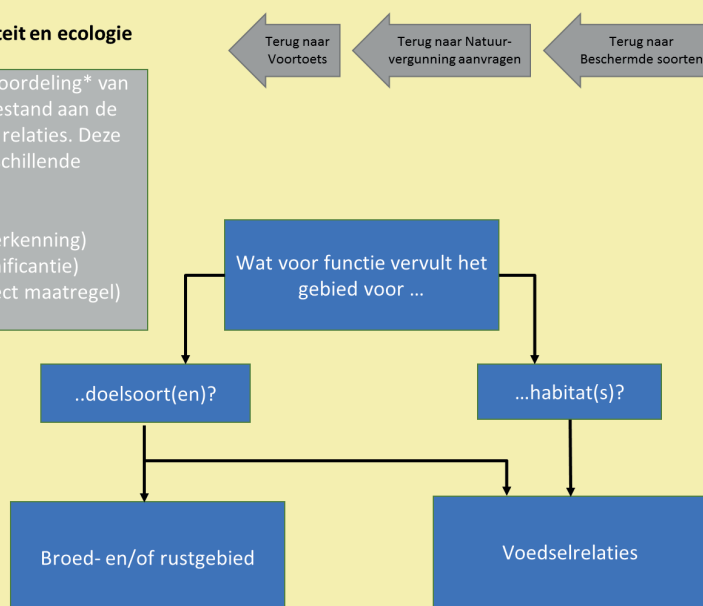


FIGUUR 7.10 SCHEMA QUICK SCAN EFFECTEN WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE

5. Natuur: Quick-scan effecten waterkwaliteit en ecologie

De 'Quick scan effecten' kan helpen bij de beoordeling* van effecten op waterkwaliteit en ecologische toestand aan de hand van het stroomschema en de getoonde relaties. Deze quick scan kan doorlopen worden vanuit verschillende invalshoeken:

* Voor de beoordeling kunt u een ecologisch deskundige inschakelen.

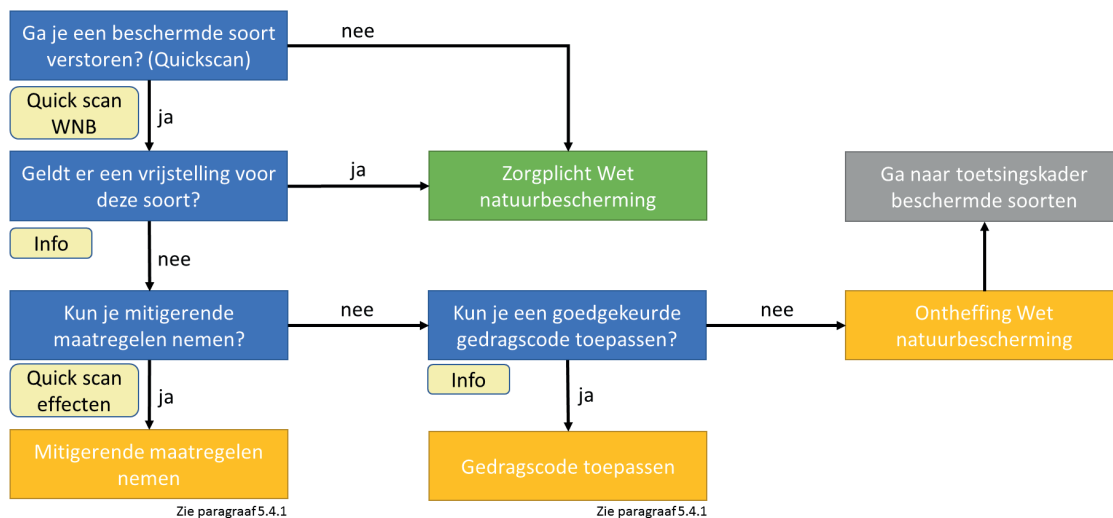


FIGUUR 7.11 SCHEMA VERGUNNINGVERLENING BESCHERMDE SOORTEN

5. Natuur: Beschermde soorten

Zie paragraaf 5.4

/ Natuur / Beschermde soorten



7.5 VERBLIJFTIJD VAN DE PLAS (SEMI-KWANTITATIEVE ANALYSE)

Met een aantal aanvullende berekeningen is op een semi-kwantitatieve manier een inschatting gemaakt van de gevoeligheid van de waterkwaliteitsindicatoren voor een wijziging in:

1. de mate van doorspoeling van een waterlichaam (verblijftijd) of
2. de ligging (oriëntatierichting op de wind) van het PV-systeem.

In de volgende twee deelparagrafen worden de effecten hiervan achtereenvolgens besproken. Beide berekeningen zijn uitgevoerd met als referentiesom een berekening met onderstaande instellingen:

Stuurvariabele	Instelling	Omschrijving
Ha	10	omvang waterlichaam (ha)
PV	25	bedekking van wateroppervlakte (%)
Lichtd_PV	0	lichtdoorlatendheid (% van opvallend licht)
MaxDiepte	10	max. diepte waterlichaam (m)
Nutriënten	Eutroof	nutriëntenstatus

Het uitgangspunt hierbij is dat de referentiesom een relatief klein meer betreft waarin stratificatie zichtbaar is gedurende de zomerperiode. Hiermee kunnen de veranderde effecten goed in kaart worden gebracht.

Doorspoeling leidt in theorie tot minder stratificatie en minder zuurstof problemen zo is de verwachting. Om dit te onderzoeken zijn extra sommen uitgevoerd. De berekening is uitgevoerd met de referentiesom, zoals hierboven aangegeven, als basis. Hierop zijn de volgende uitbreidingen toegepast:

- een instroompunt van 10 meter breed (1 cel) en 2 meter diep (2 waterlagen) aan de zijde van de plas waar het PV-systeem ligt (oranje cirkel, Figuur 7.12).
- een uitstroompunt aan de 'overkant' van het waterlichaam; feitelijk is er een circulatie gemodelleerd m.b.v. de Delft3D 'Intake/Outfall' optie waarbij de instroom aan de PV-

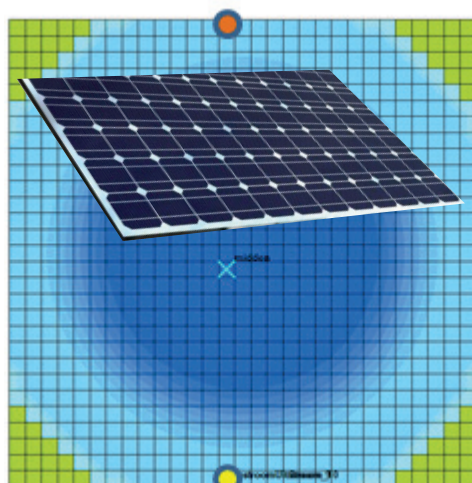
systeem kant van het meer gelijk is aan de uitstroom aan de overkant van het meer.

- een opgedrukt dorspoeldebiet van 0.06 en 0.36 m³/s; een debiet van 0.06 m³/s moet in 3 maanden het hele volume van de plas (475.000 m³) kunnen doorspoelen als stroming door de plas homogeen is. Vergelijkbaar zal een debiet van 0.36 m³/s het hele volume van de plas in 2 weken moeten kunnen doorspoelen.

Omdat de menging tijdens stratificatie onvolledig is (Figuur 7.13, onderste waterlagen), is de doorspoeling bovenin groter (kortere verblijftijd) dan onderin het meer.

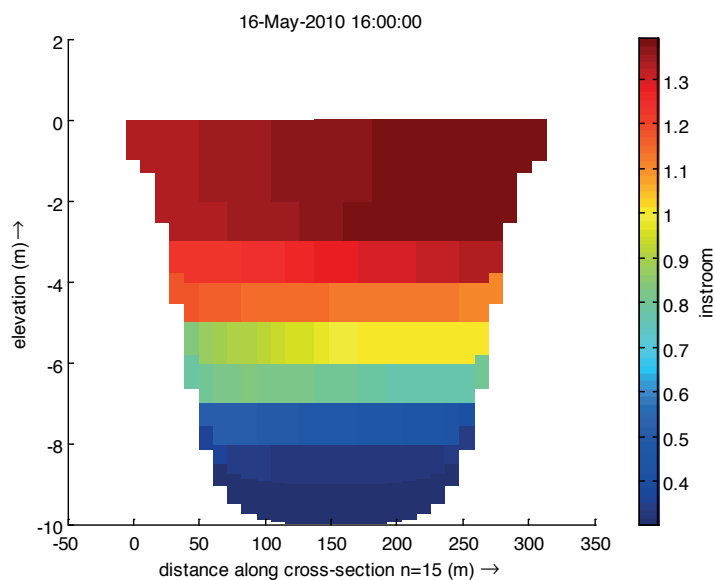
FIGUUR 7.12

LOCATIE VAN IN- EN UITSTROOMPUNTEN



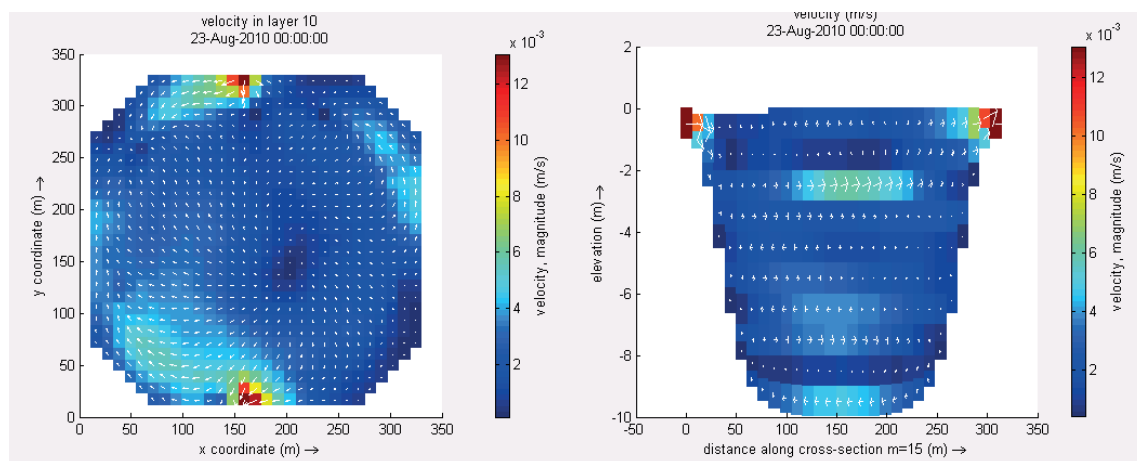
FIGUUR 7.13

DWARSDOORSNEDE WATERLIKAAM: MATE VAN DOORSPOELING INZICHTLIJK GEMAAKT (ROOD= SNELLE DOORSTROMING, BLAUW = WEINIG DOORSTROMING)



Het water stroomt aan de noordzijde de plas binnen en aan de overzijde (zuid) de plas weer uit (Figuur 7.12). Dat leidt tot een stroming die met name in de 3^e laag van boven (van de in totaal 10 waterlagen) goed te zien is (Figuur 7.14). In deze figuur is in de dwarsdoorsnede te zien hoe de stroming onder het paneel door gaat (van links naar rechts via de 3^e waterlaag van boven) en dat er aan de oppervlakte zelfs een stroming naar het paneel (Zuid naar Noord) gaat. Onder in de plas ontstaat een tegenovergestelde circulatie.

FIGUUR 7.14 DOORSTROMING (STROOMSNELHEID, M/S) IN BOVENSTE WATERLAAG (LINKER FIGUUR) EN TUSSEN INSTROOMPUNT (RECHTERFIGUUR, LINKS) EN UITSTROOMPUNT (RECHTERFIGUUR, RECHTS)



RESULTATEN

Uit de berekeningen blijkt dat er een zichtbaar effect is van doorstroming ten opzichte van de situatie zonder doorspoeling.

TABEL 7.2 EFFECTEN VAN VERBLIJFTIJD ONDER PV-SYSTEEM OP DE BEREKENDE INDICATOREN (ZIE TABEL 6.1)

Door-stroming	Indicator 1	Indicator 2	Indicator 3a	Indicator 3b	Indicator 3c	Indicator 4	Indicator 5a	Indicator 5b
0 m ³ /s	0.1676	0	17.9105	15.6629	14.2403	28.5702	10.4390	9.8029
0.06 m ³ /s	0.1668	0	17.3930	13.8351	11.7188	28.3100	10.3908	9.4112
0.36 m ³ /s	0.1670	0	17.4428	13.8669	11.7434	28.3268	10.0241	8.7708

Door-stroming	Indicator 5c	Indicator 6a	Indicator 6b	Indicator 6c	Indicator 6d	Indicator 6e	Indicator 6f	Indicator 7a
0 m ³ /s	6.5343	0.3905	0.0853	0.3905	0.0710	0.3905	0.0473	35.8074
0.06 m ³ /s	5.8726	0.3905	0.1319	0.3905	0.1104	0.3360	0.0670	37.7984
0.36 m ³ /s	5.3195	0.3905	0.1471	0.3905	0.1236	0.3905	0.0800	39.0865

Het reduceren van de verblijftijd door middel van een opgedrukt debiet dat het water onder het PV-systeem doorspoelt zal voornamelijk effect hebben op onderstaande punten:

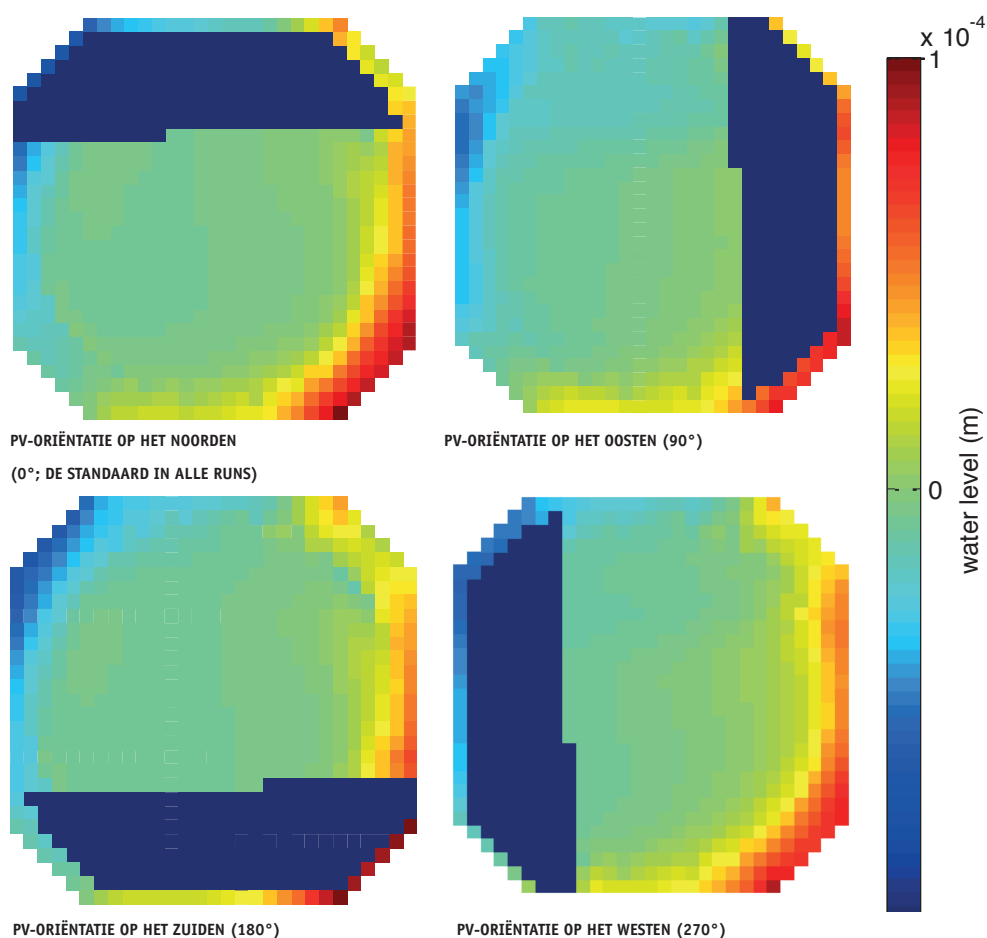
- De gemiddelde watertemperatuur (indicator 3): de doorstroming is nu gericht van de noordzijde (met PV-systeem) naar de zuidzijde (geen PV-systeem). Bij de overheersende windrichting (ZW) stroomt relatief warm water (opgewarmd in het zuidelijk deel) oppervlakkig naar het noordelijke deel. In de diepere waterlagen van het epilimnion (tot circa 5 meter diepte) ontstaat dan een tegengestelde stroming van relatief kouder water richting het zuidelijke deel. De doorstroming pompt het water sneller in zuidelijke richting. Bij andere windrichtingen kan het water een draaiende beweging maken door de plas tussen instroom- en uitstroompunt.
- Door de extra menging in het epilimnion is de watertemperatuur aan het oppervlak (indicator 3a) een halve graad lager dan in de referentiesituatie: de bovenste waterlagen worden beter gemengd. Waarom bij doorstroming de onderste waterlagen ook een lagere temperatuur hebben (indicator 3c; de stratificatie lijkt hier sterker op te treden), is voortsnog niet te onderbouwen. Hiervoor zal in meer detail naar de warmtebalans gekeken moeten worden.
- Het gemiddelde zuurstofgehalte in de bovenste waterlaag (indicator 5a), middelste wa-

terlaag (indicator 5b) en in de onderste waterlaag (indicator 5c) nemen af bij meer doorstroming. Ook hier lijkt een sterkere stratificatie de oorzaak te zijn (zie hierboven bij de watertemperatuur), waardoor de productie van zuurstof door algen lager is en/of de consumptie van zuurstof door de bodem groter is en/of de aanvoer van zuurstof vanuit de oppervlakkige waterlagen minder is. Een nadere analyse is nodig om de verschillende oorzaken tegen elkaar af te wegen.

- Het gemiddelde chlorofyl-a gehalte in de bovenste waterlaag vertoont een lichte stijging. Welke factoren hiervoor verantwoordelijk zijn, vereist nadere studie.

7.6 LIGGING PV-SYSTEEM (SEMI-KWANTITATIEF)

FIGUUR 7.15 VERSCHILLENDE ORIËNTATIE VAN HET PV-SYSTEEM (DONKERBLAUW; 25% BEDEKKING) T.O.V. DE WINDRICHTING; IN BOVENSTAAND FIGUUR EEN WESTERWIND DIE HET WATER IN HET OOSTEN OPSTUWT



RESULTATEN

Er is geen significant effect van de ligging van het PV-systeem ten opzichte van de wind (WindDir) waarneembaar op de indicatoren (pas in 5e decimaal), zie Tabel 7.3.

TABEL 7.3 EFFECTEN VAN LIGGING PV-SYSTEEM TEN OPZICHTE VAN DE WIND VOOR DE BEREKENDE INDICATOREN (ZIE TABEL 6.1)

WindDir	Indicator 1	Indicator 2	Indicator 3a	Indicator 3b	Indicator 3c	Indicator 4	Indicator 5a
w0	0.150832	31.3515591	17.58346679	13.96734943	11.83587647	28.74493	10.03342
w270	0.150832	31.35090752	17.58346145	13.96733309	11.83585946	28.74471	10.03352
w90	0.150832	31.35081905	17.58346153	13.9673312	11.83585812	28.74471	10.03346
w180	0.150832	31.35165896	17.58346676	13.96734946	11.83587654	28.74493	10.03346

WindDir	Indicator 5b	Indicator 5c	Indicator 6a	Indicator 6b	Indicator 6c	Indicator 6d	Indicator 6e	Indicator 6f
w0	8.035977249	4.697925	0.390524968	0.168376	0.390525	0.145233939	0.390525	0.101498
w270	8.035911274	4.697825	0.390524968	0.168379	0.390525	0.145237029	0.390525	0.101499
w90	8.035966745	4.697872	0.390524968	0.168377	0.390525	0.145236125	0.390525	0.101498
w180	8.035951686	4.697915	0.390524968	0.168376	0.390525	0.145234697	0.390525	0.101498

De ligging van een PV-systeem in het midden van het waterlichaam (waarvoor geen berekeningen zijn uitgevoerd) zal wel effect hebben op de geschiktheid voor waterplanten en mogelijk ook op de effecten van wind.

7.7 LICHTREGIME

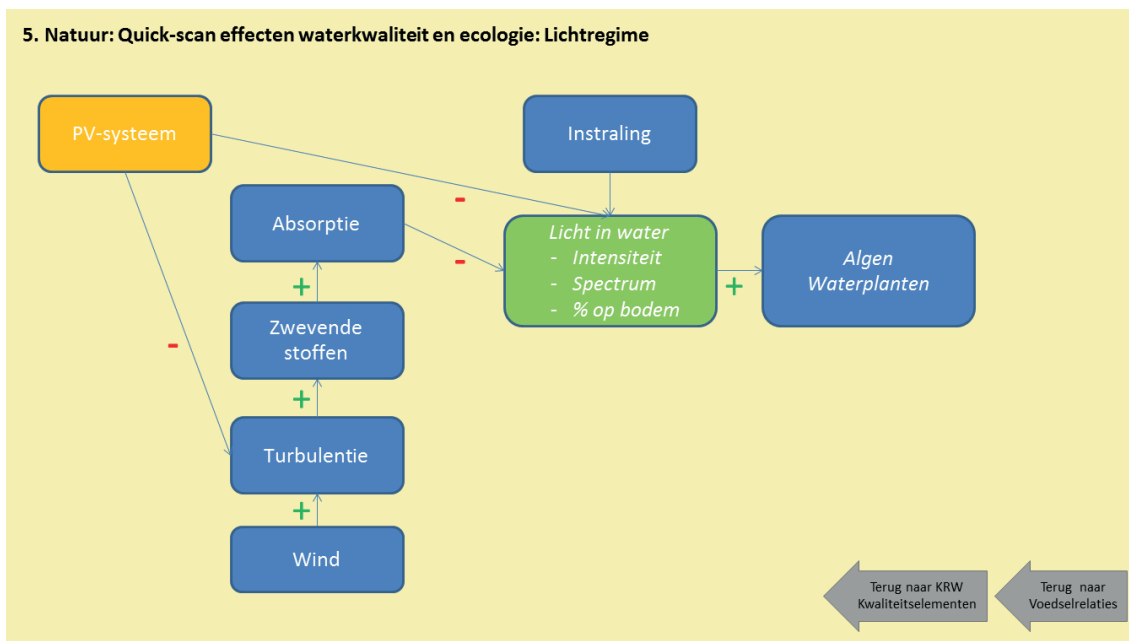
7.7.1 KWALITATIEVE INSCHATTING

De plaatsing van een PV-systeem heeft directe negatieve invloed op het licht in het water via interceptie van de instraling (Figuur 7.16, Tabel 7.4). Via het afdekken van het water, het verminderen van de turbulentie door wind, het verminderen van de opwerveling van zwevend stof en de verlaging van de absorptie van licht door zwevend stof, heeft het ook een indirect positief effect op de lichtintensiteit en lichtspectrum in het water en op de bodem. Licht heeft ook indirect effect op stroming (Figuur 7.27), zuurstof (Figuur 7.29) en Habitat/substraat (Figuur 7.8).

TABEL 7.4 SAMENVATTING VAN DIRECTE EN INDIRECTE EFFECTEN VAN EEN PV-SYSTEEM OP HET LICHTREGIME

	Directe effecten	Indirecte effecten
Positief	-	toename lichtintensiteit door minder zwevend stof door afname windinvloed door afdekken van wateroppervlak
Negatief	- vermindering lichtintensiteit door tegenhouden instraling - vermindering oppervlakte met >10% licht op de bodem voor waterplanten	-

FIGUUR 7.16 MOGELIJKE EFFECTEN VAN PLAATSING VAN PV-SYSTEMEN OP WATER: LICHTREGIME

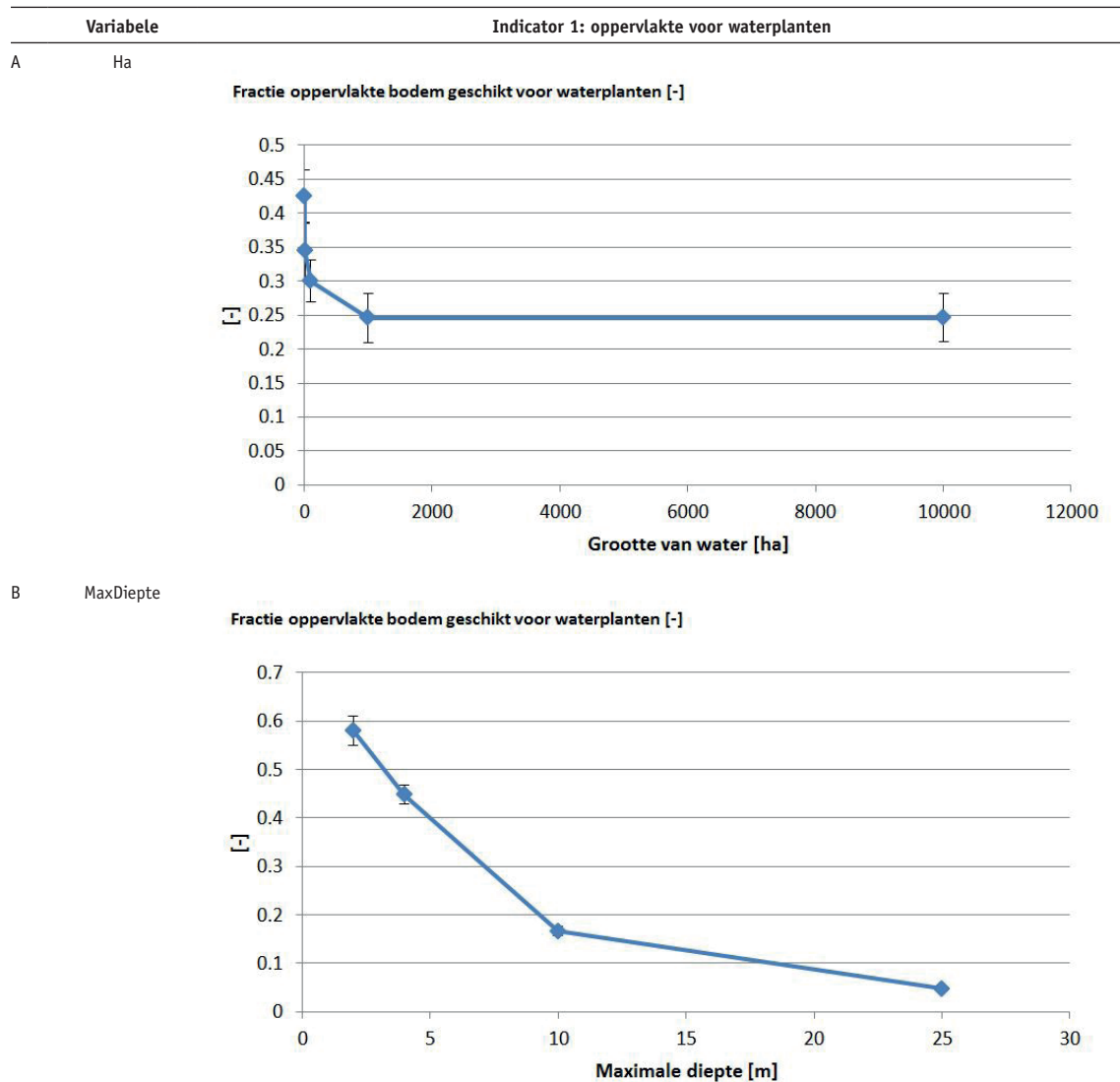


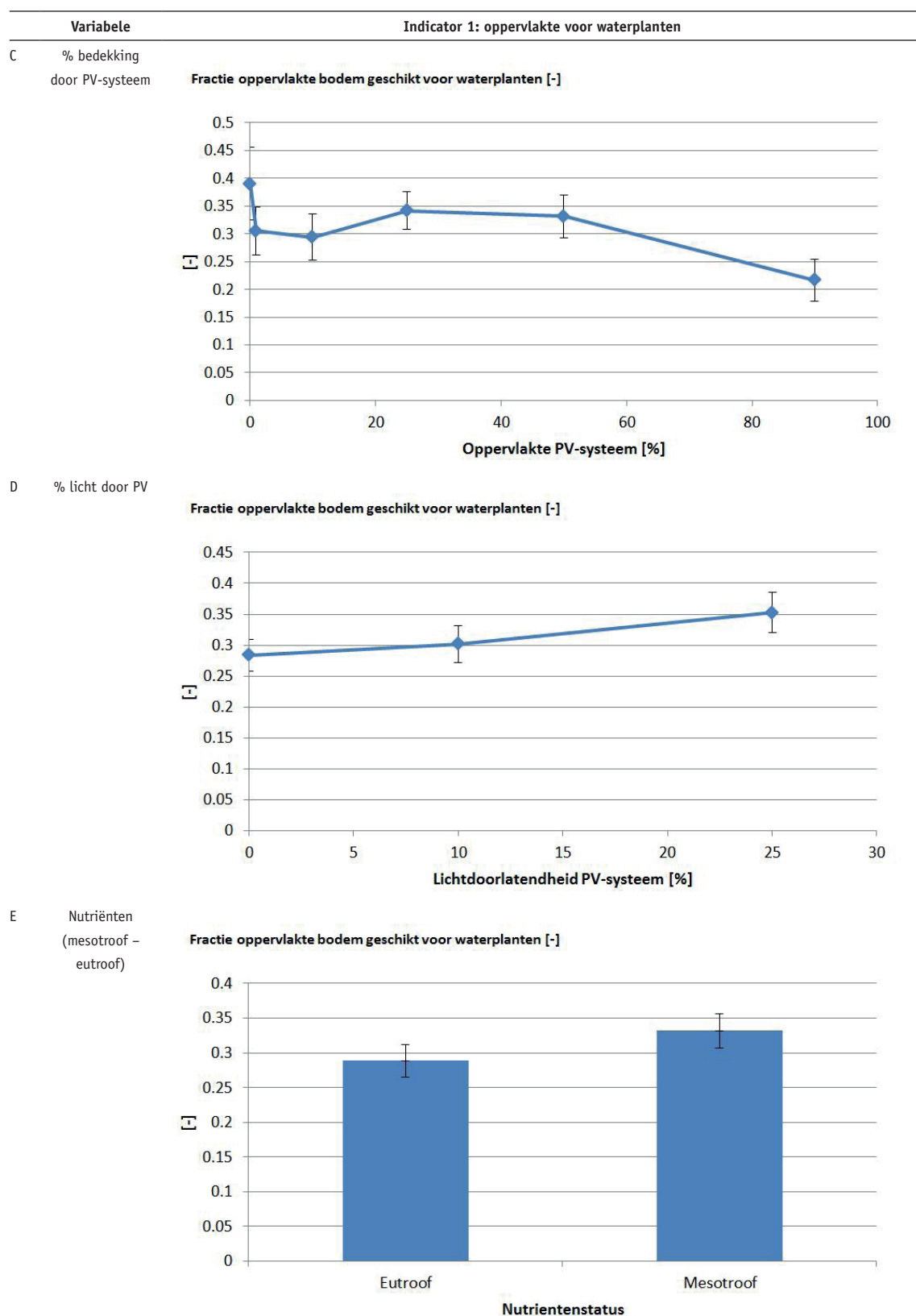
7.7.2 KWANTITATIEVE INSCHATTING

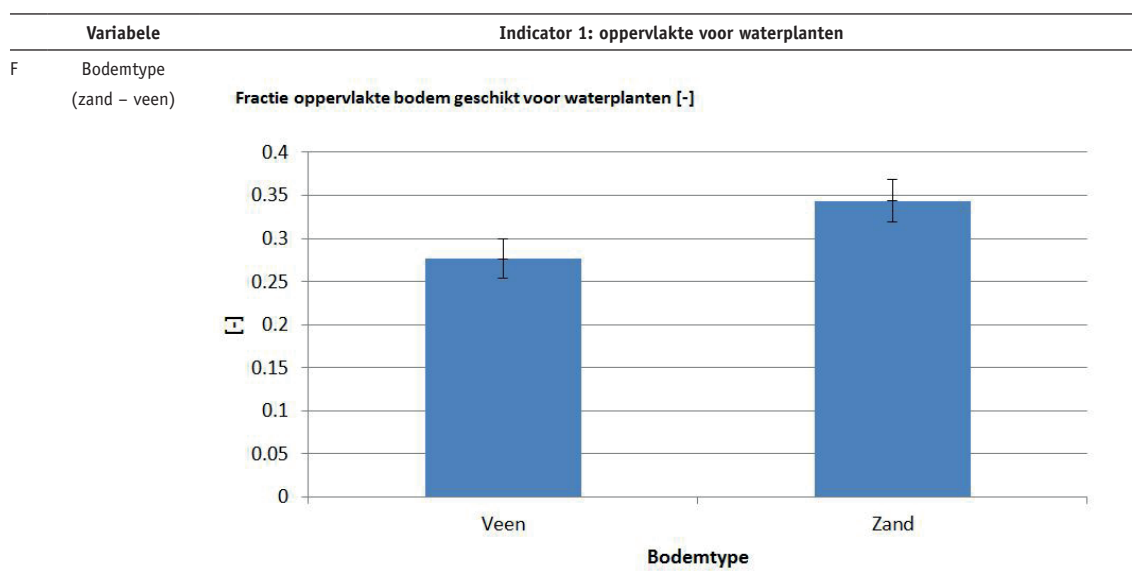
De effect inschatting heeft betrekking op twee indicatoren: de fractie van het bodemoppervlak die geschikt is voor waterplanten en de gemiddelde lichtintensiteit onder het PV systeem.

INDICATOR: FRACTIE OPPERVLAKTE GESCHIKT VOOR WATERPLANTEN

FIGUUR 7.17 RELATIE TUSSEN FRACTIE OPPERVLAKTE GESCHIKT VOOR WATERPLANTEN EN DE VERSCHILLENDE STUURVARIABLEN VAN HET MODEL





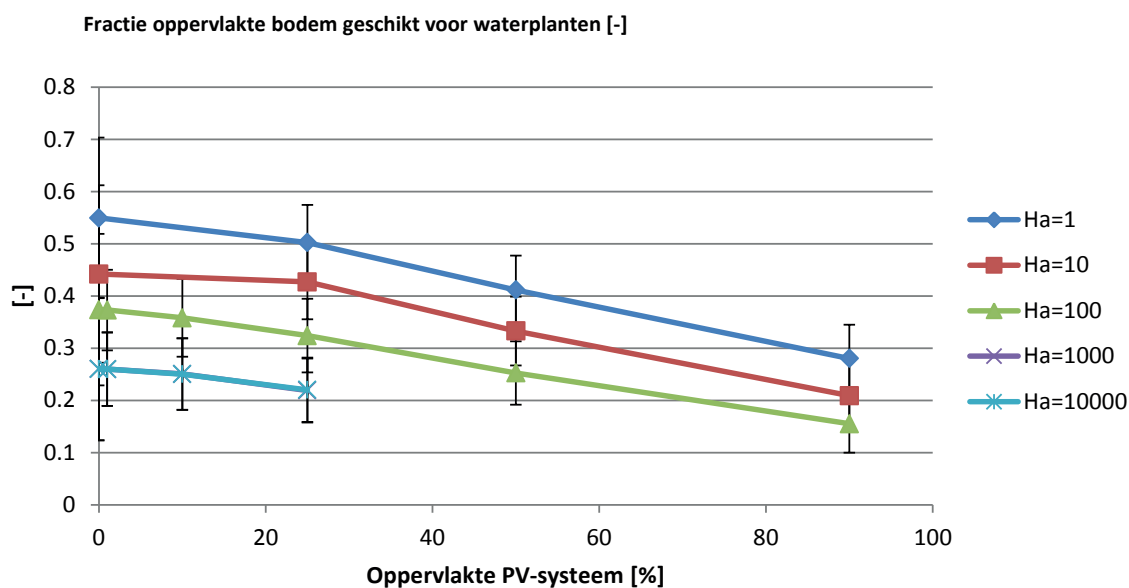


Figuur 7.17 laat de relaties zien tussen de arealen die geschikt zijn voor waterplanten en de verschillende stuurvariabelen. Deelfiguur C vraagt enige toelichting. Deze deelfiguur laat een lagere waarde voor de indicator zien bij bedekking van het PV-systeem van 1% en 10% van het waterlichaam dan bij hogere bedekkingen. De figuur laat de gemiddelde waarden zien per categorie, gemiddeld over alle berekeningen van het model. In Figuur 7.18 is te zien dat het aantal runs per categorie van bedekking erg ongelijk is: 64 runs voor 0% bedekking en 192 runs voor 25% bedekking. Dit heeft te maken met het feit dat niet alle combinaties van omvang van de plas en bedekking van het PV-systeem zijn doorgerekend (zie Figuur 6.3). Wordt de figuur uitgesplitst (zie blad Grafiek_2variabelen van de Excel-tool; Figuur 7.19), dan blijkt dat voor elke omvang van de plas een lineair verband geldt: hoe groter de bedekking door het PV-systeem, hoe kleiner de oppervlakte is die overblijft voor waterplanten.

FIGUUR 7.18 BEELD VAN DE GETALLEN DIE GEBRUIKT WORDEN VOOR FIGUUR 7.17C

28								
29					Aantal runs			736
30	PV	Indicator1	stdev	dLim95%	min	max	aantal	
31	0	0.368387	0.266118	0.066474189	0	0.783951	64	
32	1	0.305124	0.2379	0.043002251	0.006810861	0.707863	120	
33	10	0.293535	0.230009	0.041575936	0.005522319	0.707863	120	
34	25	0.337678	0.234601	0.033395526	0.004463875	0.783951	192	
35	50	0.324428	0.209739	0.037911911	0.017303267	0.783951	120	
36	90	0.208782	0.198975	0.035966288	0.00409572	0.783951	120	
37								

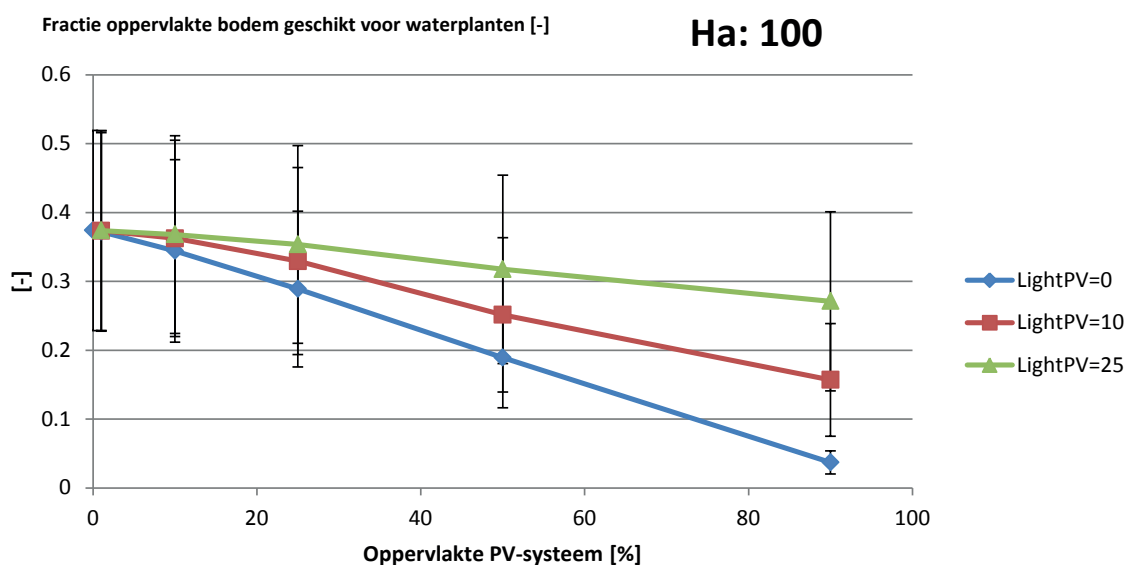
FIGUUR 7.19 RELATIE TUSSEN FRACTIE OPPERVLAKE GESCHIKT VOOR WATERPLANTEN EN BEDEKKING DOOR HET PV-SYSTEEM BIJ VERSCHILLENDE GROOTTES VAN HET WATERSYSTEEM. OMDAT DE LIJN VOOR HA=1000 EN HA=10000 NAGENOEG SAMENVALLEN, IS HA=1000 NIET TE ZIEN



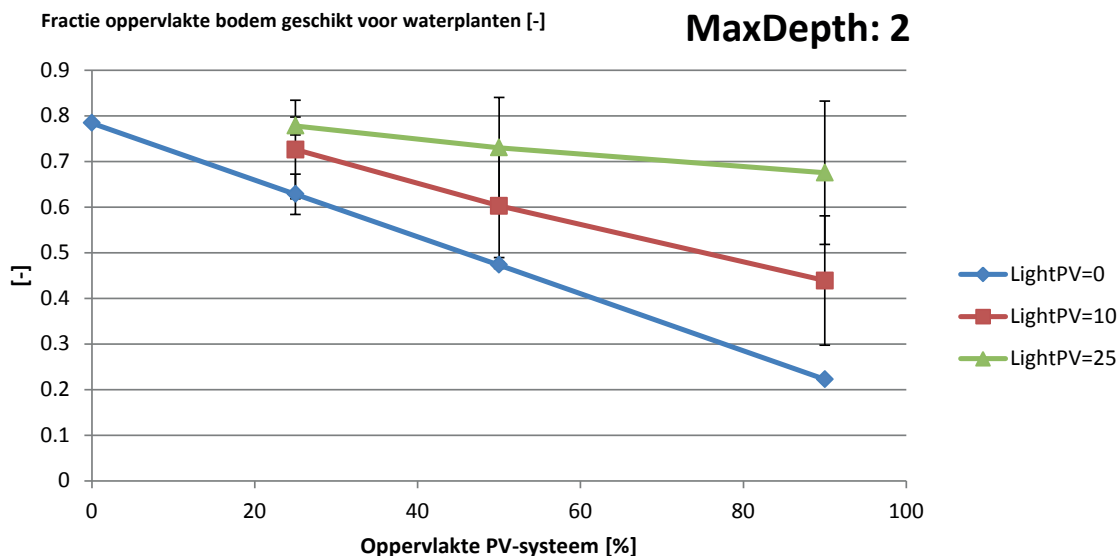
Wanneer tegelijkertijd ook naar de lichtdoorlatendheid van de PV-systemen gekeken wordt (Figuur 7.20), dan blijkt dat de lichtdoorlatendheid het (negatieve) effect van het PV-systeem op het bodemoppervlak dat geschikt is voor waterplanten kan compenseren: als een PV-systeem 25% licht doorlaat, dan is een groter deel van de bodem geschikt voor waterplanten dan wanneer het PV-systeem geheel geen licht doorlaat.

Relatief sterk is de reactie op de indicator voor een watersysteem van 100 x100 m en een waterdiepte van maximaal 2 m (Figuur 7.21). In dit geval neemt het oppervlak dat geschikt is voor waterplanten af van 80% (situatie zonder PV-systeem) tot 20% bij 90% bedekking door het PV-systeem (en 0% lichtdoorlatendheid).

FIGUUR 7.20 RELATIE TUSSEN FRACTIE OPPERVLAKE GESCHIKT VOOR WATERPLANTEN EN BEDEKKING WATEROPPERVLAK DOOR PV-SYSTEEM EN LICHTDOORLATENDHEID VAN PV-SYSTEEM ALS GEHEEL



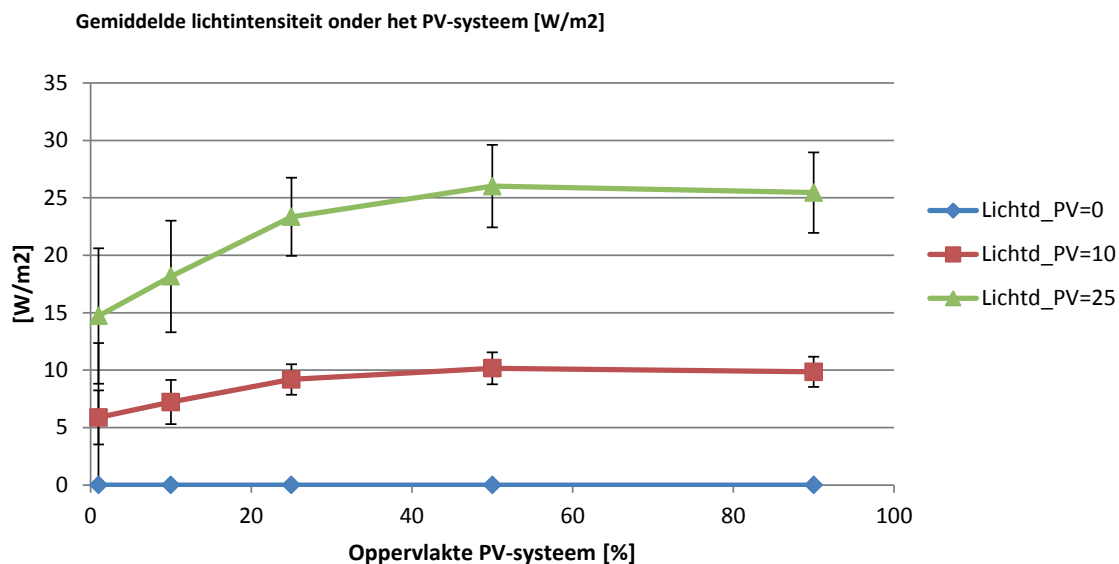
FIGUUR 7.21 RELATIE TUSSEN FRACTIE OPPERVLAKE GESCHIKT VOOR WATERPLANTEN EN BEDEKKING WATEROPPERVLAK DOOR PV-SYSTEEM BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM ALS GEHEEL VOOR EEN WATERSYSTEEM VAN 100X100M EN EEN MAXIMALE DIEPTE VAN 2 M



INDICATOR: GEMIDDELDE LICHTINTENSITEIT ONDER HET PV-SYSTEEM

De gemiddelde lichtintensiteit in het water gedurende de zomer is circa 80 W/m² zonder PV-systeem, en 0-25 W/m² onder het PV-systeem, afhankelijk van de doorlatendheid voor licht van het PV-systeem als geheel (Figuur 7.22).

FIGUUR 7.22 GEMIDDELDE LICHTINTENSITEIT IN DE BOVENSTE WATERLAAG ONDER HET PV-SYSTEEM IN DE ZOMER ALS FUNCTIE VAN PERCENTAGE BEDEKKING VAN HET WATEROPPERVLAK VAN DE PLAS DOOR HET PV-SYSTEEM (X-AS), BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM ALS GEHEEL (LIGHTPV: 0%, 10% EN 25%)



7.8 WATERTEMPERATUUR

7.8.1 KWALITATIEVE INSCHATTING

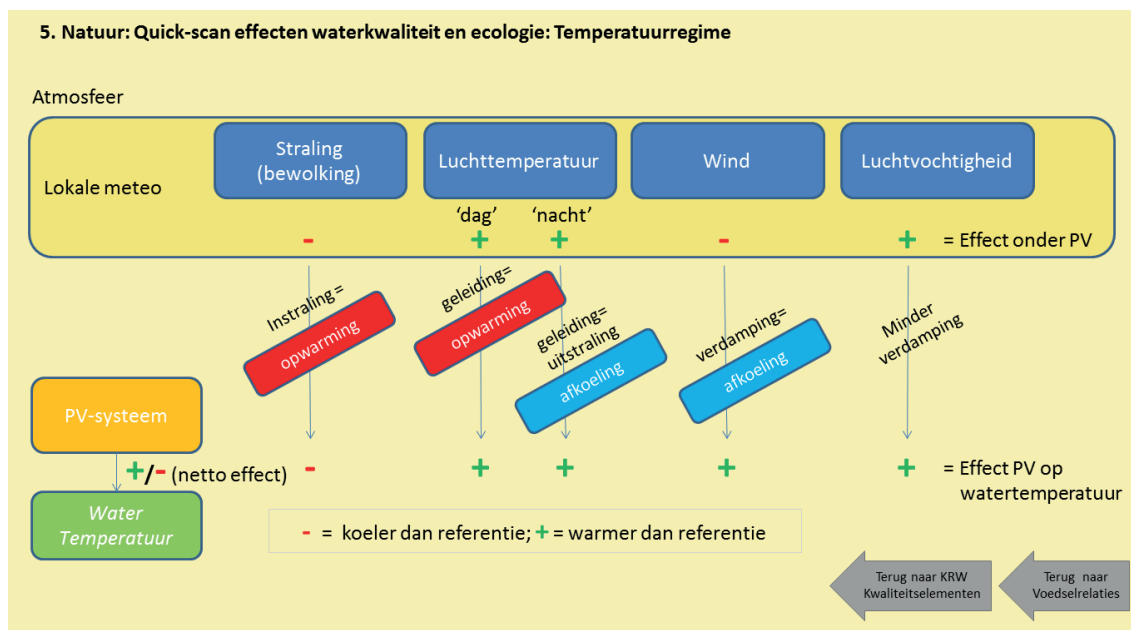
De effecten van het PV-systeem op de watertemperatuur zijn zowel direct als indirect (Figuur 7.23, Tabel 7.5). De plaatsing van PV-systemen op water is gunstig voor het rendement van de zonnepanelen omdat de panelen boven water minder warm worden dan op land. Dit wordt onder andere veroorzaakt doordat de panelen warmte afgeven aan de omringende lucht en het water deze warmte opneemt. Daarnaast kan via de constructie ook (bewust of onbewust) warmte van het PV-systeem naar het water geleid worden. De indirecte effecten hebben te maken met het afdekken van het wateroppervlak waardoor de wind minder kan aangrijpen op het wateroppervlak en de uitwisseling van warmte (via verdamping en uitstraling) geremd wordt.

Temperatuur is ook van invloed op stroming (Figuur 7.27), zuurstof (Figuur 7.29) en de snelheid van biochemische processen (Figuur 7.8).

TABEL 7.5 SAMENVATTING VAN DIRECTE EN INDIRECTE EFFECTEN VAN EEN PV-SYSTEEM OP HET TEMPERATUURREGIME

	Directe effecten	Indirecte effecten
Positief	warmer water door warmteafgifte van panelen	- warmer water door afname verdamping door afname windinvloed - warmer water door afname uitstraling 's nachts
Negatief	-	kouder water door afname opwarming door zonlicht

FIGUUR 7.23 MOGELIJKE EFFECTEN OP TEMPERATUUR



7.8.2 KWANTITATIEVE INSCHATTING

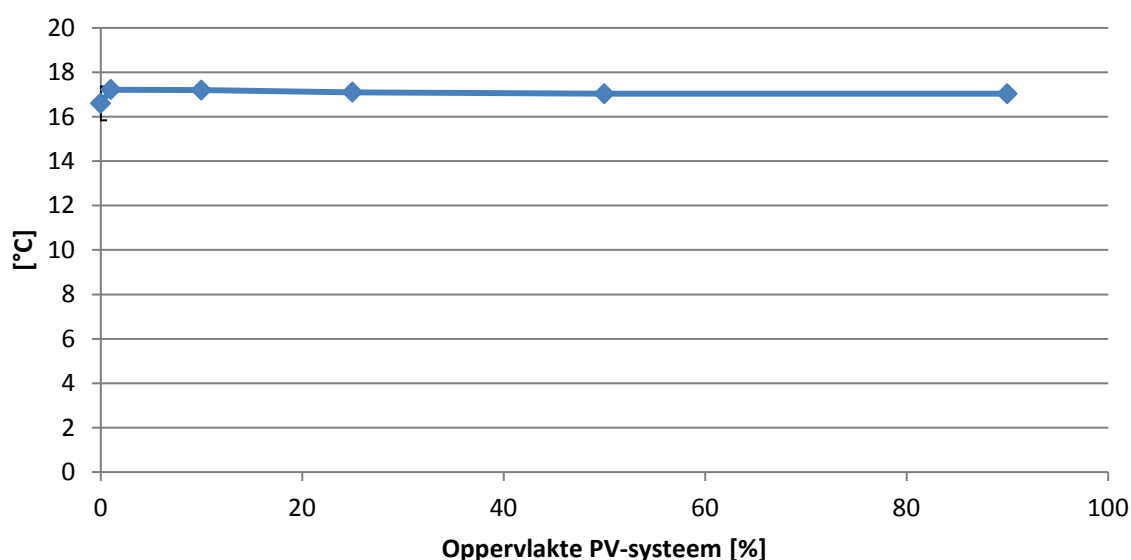
De effect inschatting heeft betrekking op twee indicatoren: de gemiddelde watertemperatuur in alle waterlagen en de maximum watertemperatuur in de bovenlaag in de zomer.

INDICATOR: GEMIDDELTE WATERTEMPERATUUR

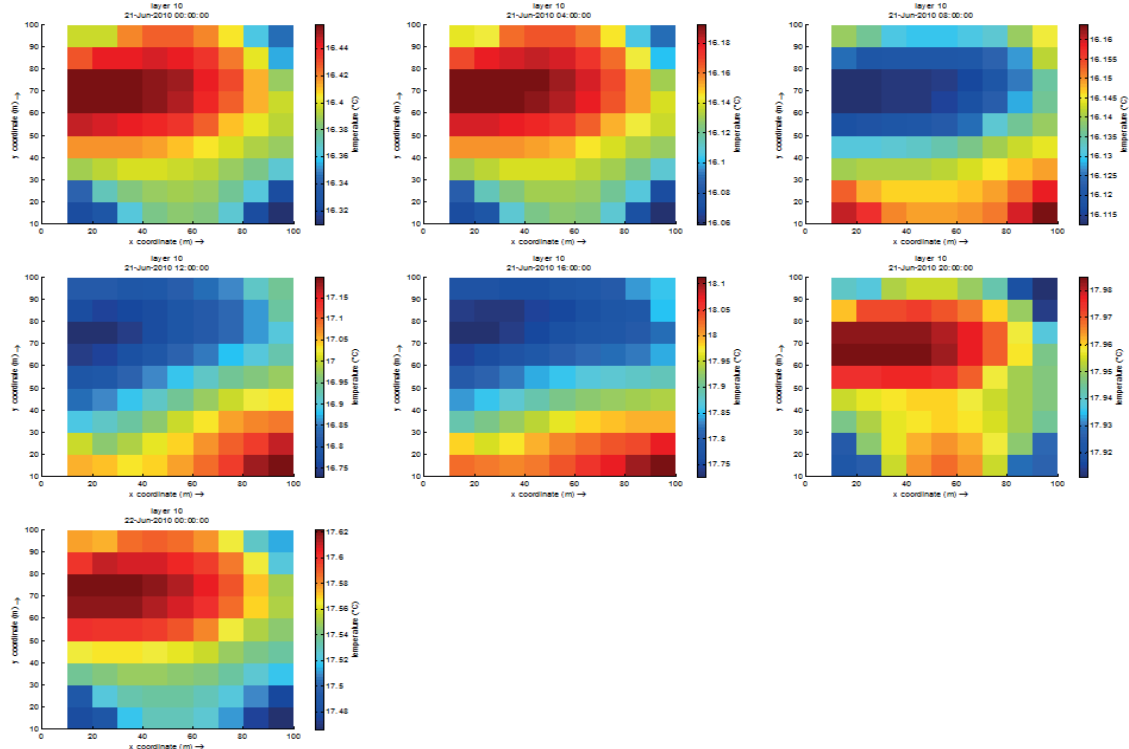
De gemiddelde temperatuur gedurende de zomer laat geen verandering zien als gevolg van de plaatsing van het PV-systeem (Figuur 7.24). Dit is aan de ene kant opmerkelijk doordat het PV-systeem de opwarming door zonlicht vermindert en we daarom een lagere temperatuur in plassen met een hoge bedekking van het PV-systeem zouden verwachten. Wanneer echter in meer detail naar de watertemperatuur in de bovenste waterlaag gekeken wordt, dan blijkt dat 's nachts het PV-systeem de verdamping verhindert en het water onder het PV-systeem warmer blijft dan elders in de plas, terwijl overdag de instraling wordt tegengehouden en het water onder het PV-systeem minder opwarmt (koudere blijft) dan in de rest van de plas (Figuur 7.25). De verschillen in temperatuur zijn echter klein (maximaal 0.5 °C). Gemiddeld over de 24 uur, de hele plas en 7 dagen (tijdstap van uitvoer van het model) is dit effect van het PV-systeem niet in de indicator terug te zien.

FIGUUR 7.24 GEMIDDELTE WATERTEMPERATUUR OVER DE GEHELE PLAS IN HET ZOMERHALFJAAR IN DE BOVENSTE WATERLAAG (ZIE TEKST VOOR TOELICHTING)

Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (oppervlaktelaag) [°C]



FIGUUR 7.25 TEMPERATUURVERLOOP OVER DE DAG (VAN 00:00 UUR LINKSBOVEN TOT 24:00 UUR RECHTSOnder IN STAPPEN VAN 4 UUR) IN DE BOVENSTE WATERLAAG VAN EEN PLAS MET EEN PV-SYSTEEM (BEDEKKING 50%). RESULTATEN VAN DE MODELBEREKENINGEN VOOR 24-6-2010 (EEN ZONNIGE DAG). DE GRAFIEKEN HEBBEN ELK HUN EIGEN SCHALING. ROOD: RELATIEF WARM; BLAUW: RELATIEF KOUD. HET BOVENSTE DEEL VAN DE PLAS (MET HET PV-SYSTEEM) IS 'S NACHTS WARMER (ROOD) TERWIJL HET OVERDAG KOELER (BLAUW) BLIJFT DAN DE REST VAN DE PLAS

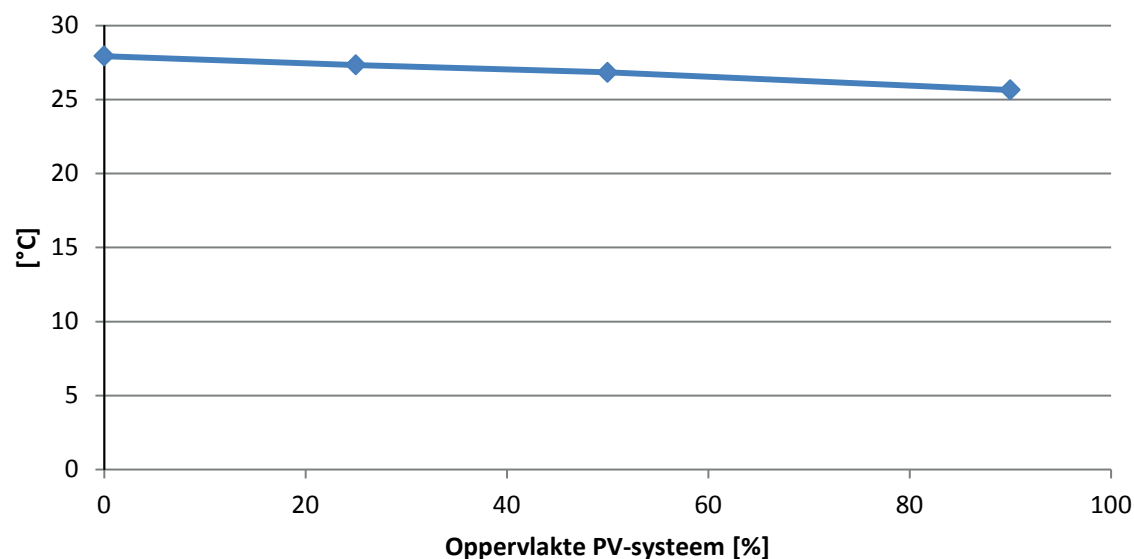


INDICATOR: MAXIMUM WATERTEMPERATUUR BOVENSTE WATERLAAG, ZOMER

De maximum watertemperatuur is gedurende de zomer is circa 2 °C lager bij een bedekking door het PV-systeem van 90% (Figuur 7.26).

FIGUUR 7.26 MAXIMUM WATERTEMPERATUUR IN DE BOVENSTE WATERLAAG GEDURENDE DE ZOMER ALS FUNCTIE VAN HET PERCENTAGE BEDEKKING DOOR HET PV-SYSTEEM. PLAS 100X100 M

Maximum watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [°C]



7.9 STROMINGSREGIME

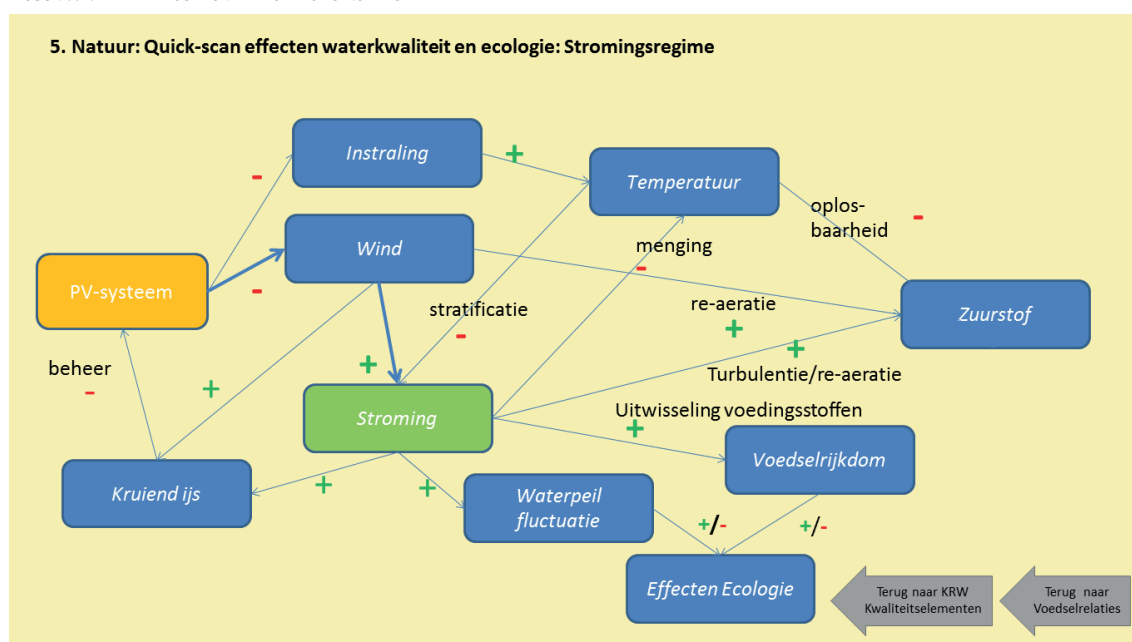
7.9.1 KWALITATIEVE INSCHATTING

Een PV-systeem op water schermst het wateroppervlak af voor de wind. Bij open water ‘trekt’ de wind aan het water waardoor stroming ontstaat: oppervlakkige stroming met de wind mee en diepere stroming tegen de richting van de wind in. Wanneer het wateroppervlak is belegd met een PV-systeem, is de stroming door wind geringer. Dit heeft weer gevolgen voor het transport van zuurstof naar het water (zie ook Figuur 7.29) en voor de ecologie (zie ook Figuur 7.27, Tabel 7.6).

TABEL 7.6 SAMENVATTING VAN DIRECTE EN INDIRECTE EFFECTEN VAN EEN PV-SYSTEEM OP STROMING

	Directe effecten	Indirecte effecten
Positief	-	• toename stroming door temperatuurverschillen in watersysteem door tegenhouden van instraling
Negatief	-	• afname stroming door afname windinvloed door afdekken • toename kans op stratificatie en zuurstofloosheid

FIGUUR 7.27 MOGELIJKE EFFECTEN OP STROMING

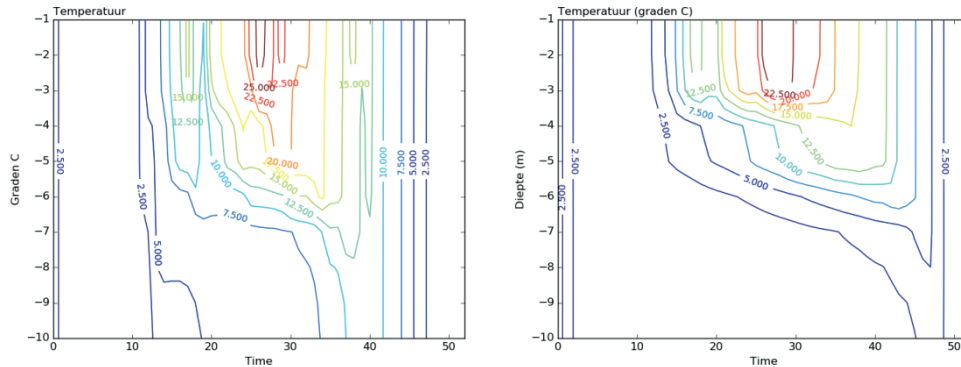


7.9.2 KWANTITATIEVE INSCHATTING

De effecten op stroming door minder wind als gevolg van het PV-systeem zijn in Delft3D-Flow berekend. Hier is gekeken naar het effect van minder stroming: de mate waarin stratificatie van de waterkolom in de zomer optreedt.

FIGUUR 7.28

CONTOURPLOT VAN DE WATERTEMPERatuur ALS GEVOLG VAN STRATIFICATIE BIJ GEEN PV-SYSTEEM (LINKS) EN 90% BEDEKKING VAN DE PLAS DOOR HET PV-SYSTEEM (RECHTS). PLAS 100 X 100M, LICHTDOORLATENDHEID PV-SYSTEEM: 0%. DOOR VERMINDERDE MENGING DOOR WIND ONDER HET PV-SYSTEEM (RECHTS) IS HET VERLOOP VAN DE TEMPERatuur IN DE PLAS GELEIDELIJKER EN WARMER DE ONDERSTE WATERLAGEN MINDER SNEL OP



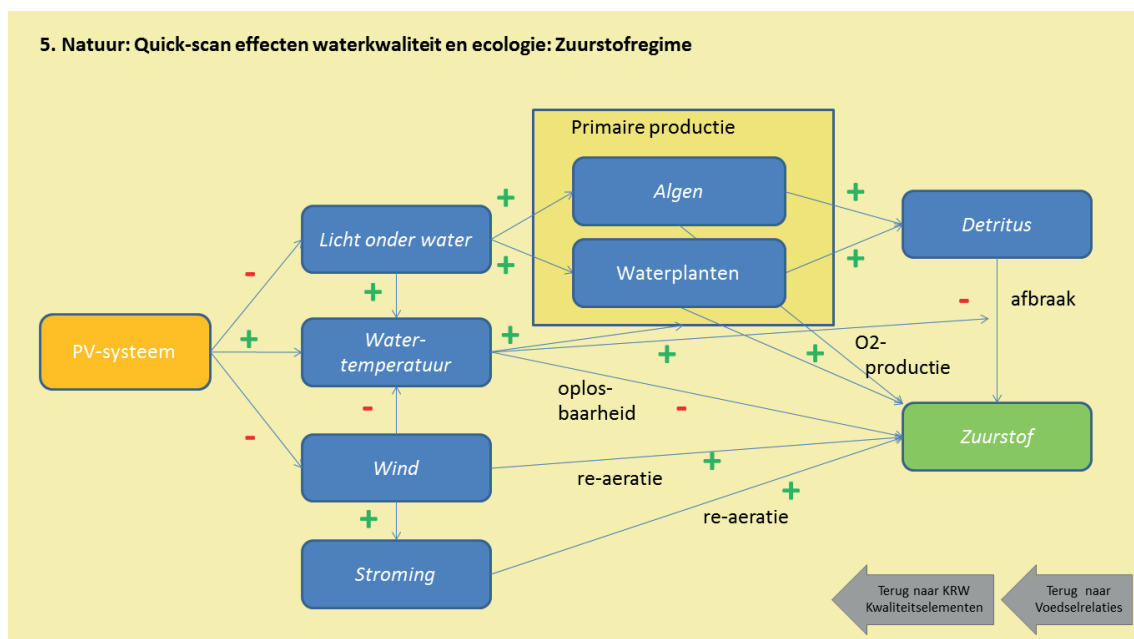
7.10 ZUURSTOFREGIME

7.10.1 KWALITATIEVE INSCHATTING

PV-systemen hebben geen directe invloed op het zuurstofgehalte van het water. Indirect zijn er wel relaties aan te wijzen via de temperatuur (die de maximale zuurstofverzadiging van het water bepaalt), via de wind en stroming (die de re-aeratie, het transport van zuurstof vanuit de lucht naar het water, bepaalt) en via de primaire productie waarbij zuurstof geproduceerd wordt (Figuur 7.29, Tabel 7.7). Meer sedimentatie (zie Figuur 7.8) kan leiden tot meer afbraak van detritus waarbij zuurstof verbruikt wordt. Een verandering in het zuurstofgehalte kan ook optreden door veranderingen in de mate van stratificatie (zie Figuur 7.27).

FIGUUR 7.29

MOGELIJKE EFFECTEN OP ZUURSTOF



TABEL 7.7 SAMENVATTING VAN VERWACHTE DIRECTE EN INDIRECTE EFFECTEN VAN EEN PV-SYSTEEM OP ZUURSTOF

	Directe effecten	Indirecte effecten
Positief	-	• toename zuurstof door toename primaire productie • toename zuurstof door afname zuurstofvraag bodem
Negatief	-	• afname zuurstof door afname primaire productie • afname zuurstof door afname windinvloed • afname zuurstof door snellere afbraak detritus door hogere watertemperatuur

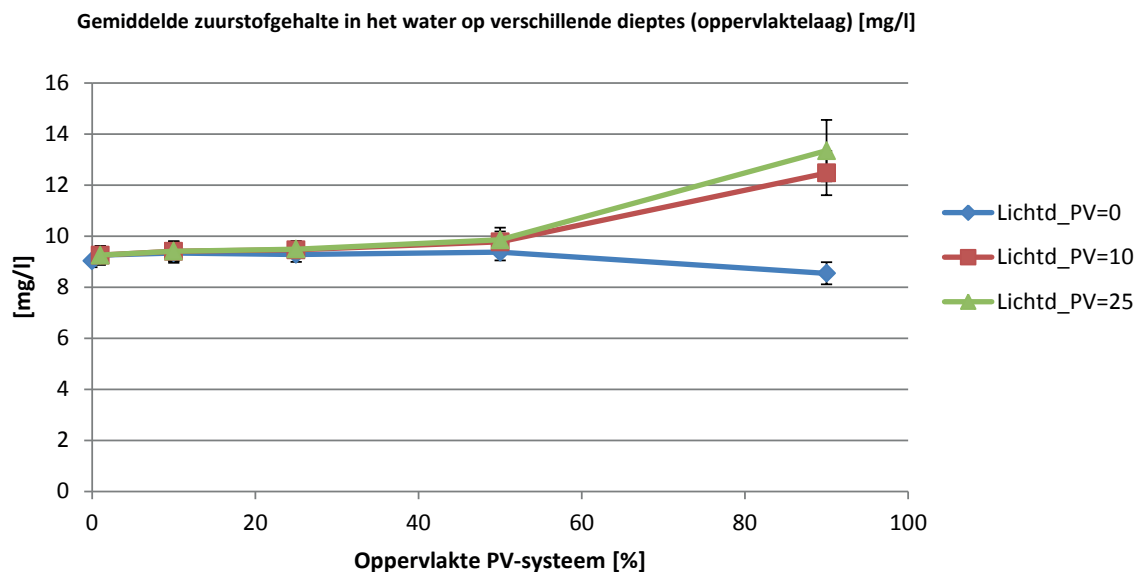
7.10.2 KWANTITATIEVE INSCHATTING

De effect inschatting heeft betrekking op twee indicatoren: het gemiddelde zuurstofgehalte in de zomer en de fractie van het bodem areaal waar lage zuurstofconcentraties optreden.

INDICATOR: GEMIDDELD ZUURSTOFGEHALTE ZOMER (OPPERVLAKTE, MIDDEN, BODEM)

Het zuurstofgehalte in een watersysteem blijkt als gevolg van de aanleg van een PV-systeem enigszins hoger te zijn in vergelijking tot de situatie zonder PV-systeem (Figuur 7.30). Het verschil is het grootst in de bovenste waterlagen. Dit wordt veroorzaakt doordat de temperatuurstratificatie door een PV-systeem verandert, maar dit effect is verschillend tussen kleine en grote meren en tussen diepe en zeer diepe meren en is een gevolg van de verandering in de balans tussen stratificatie en menging en productie, consumptie en transport van zuurstof. Het percentage lichtdoorlatendheid versterkt dit nog enigszins: minder afname van zuurstofproductie door algen bij een hogere lichtdoorlatendheid van het PV-systeem (Figuur 7.30)

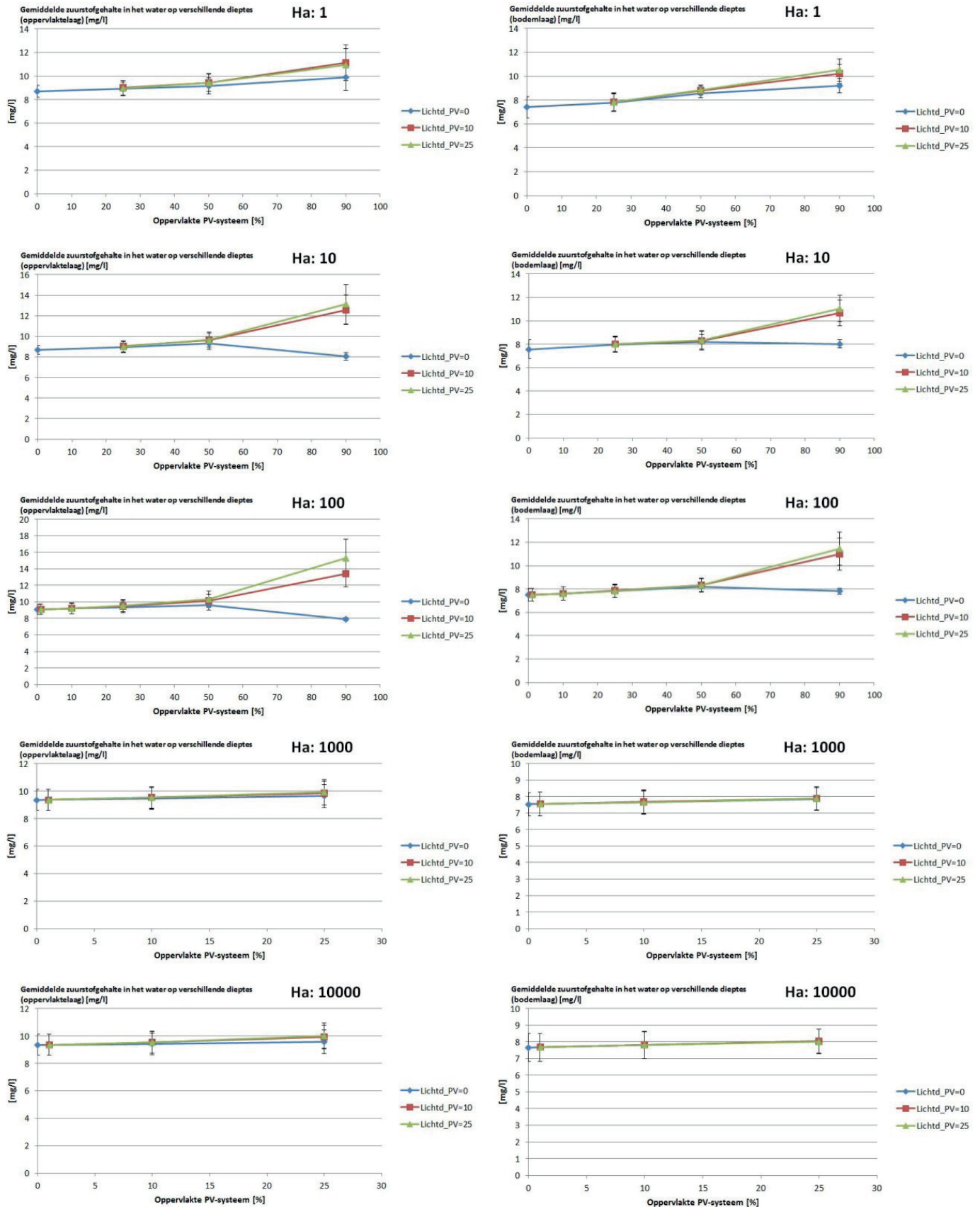
FIGUUR 7.30 GEMIDDELD ZUURSTOFGEHALTE VAN DE BOVENSTE WATERLAAG GEDURENDE DE ZOMER ALS FUNCTIE VAN PERCENTAGE BEDEKKING DOOR PV-SYSTEEM BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM ALS GEHEEL



Dit effect speelt eigenlijk alleen bij kleine en middelgrote plassen (Figuur 7.31).

FIGUUR 7.31

GEMIDDELD ZUURSTOFGEHALTE VAN OPPERVLAKKIGE WATERLAAG (LINKS) EN BODEMLAAG (RECHTS) ALS FUNCTIE VAN DE GROOTTE VAN HET WATERSYSTEEM (BOVEN: KLEIN; ONDER: GROOT) EN DE BEDEKKING VAN HET PV-SYSTEEM BIJ VERSCHILLENDE MATE VAN LICHTDOORLATENDHEID VAN HET PV-SYSTEEM. ALLEEN BIJ KLEINE MEREN ZORGT EEN HOGERE LICHTDOORLATENDHEID VOOR EEN HOGER ZUURSTOFGEHALTE BIJ 90% BEDEKKING MET EEN PV-SYSTEEM

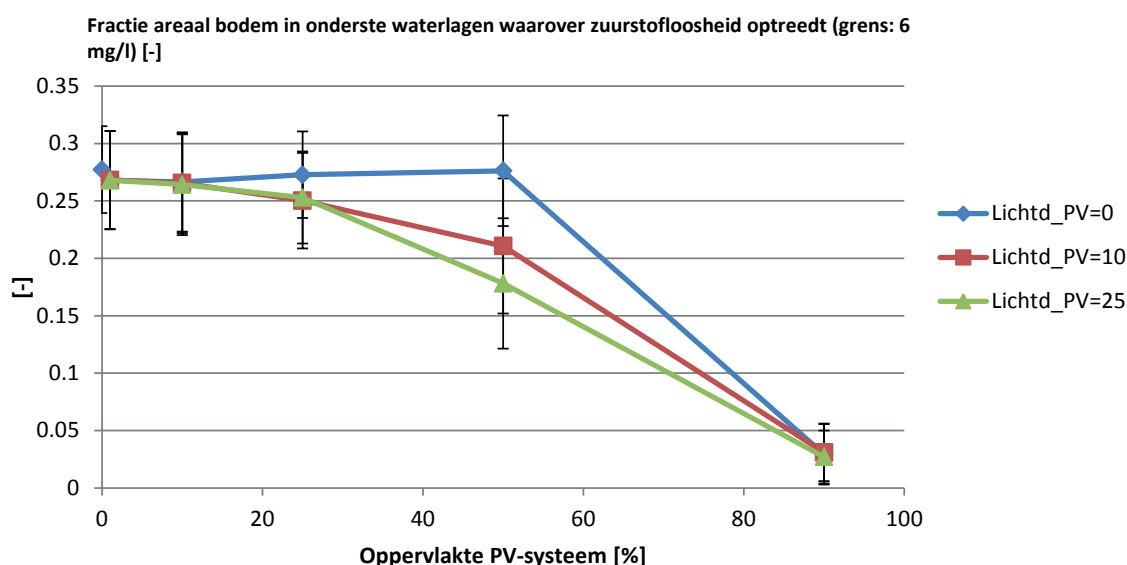


INDICATOR: FRACTIE AREAAL BODEM IN ONDERSTE WATERLAGEN WAAROVER ZUURSTOFLOOSHEID OPTREEDT (<6 MG/L)

Hoe groter de bedekking van het PV-systeem, hoe kleiner het areaal waarover zuurstofloosheid boven de bodem optreedt (hier geïnterpreteerd als concentraties <6 mg/l; Figuur 7.32). Zoals wordt toegelicht in paragraaf 5.4 heeft dit alles te maken met de interactie tussen bloei van algen in de waterkolom, productie van zuurstof door de algen, transport door menging en zuurstofvraag door de bodem. Bovendien spelen nutriëntenbeschikbaarheid op verschillende dieptes daar weer op een andere manier een rol bij. Dit is complex systeemgedrag, met als netto effect de hier beschreven afname van het areaal van de bodem waarover zuurstofloosheid in de zomer optreedt.

De lichtdoorlatendheid van het PV-systeem heeft hier niet duidelijk invloed op (geen verschillen door overlappende betrouwbaarheidsintervallen).

FIGUUR 7.32 INDICATOR FRACTIE AREAAL BODEM IN ONDERSTE WATERLAGEN WAAROVER ZUURSTOFLOOSHEID OPTREEDT (<6 MG/L)



7.11 VOEDSELWEB

Een PV-systeem kan via de milieufactoren licht, temperatuur, stroming en habitat effect hebben op het voedselweb (Figuur 7.33). De effecten zijn verschillend (soms positief, soms negatief) en lopen via meerdere paden naar de hogere trofische niveaus. In deze studie kunnen de effecten op hogere trofische niveaus niet kwantitatief worden uitgewerkt. Op basis van het schema in Figuur 7.33 kan wel worden aangegeven in welke richting de veranderingen zich waarschijnlijk zullen voordoen. Hier worden drie voorbeelden gegeven:

1. Fuut (visetende vogel)

De Fuut eet vis en is daarvoor aangewezen op licht om de vis te kunnen zien. Is water te troebel of te donker, dan kan de Fuut de vis niet zien. Is het water te helder, dan ziet de vis de Fuut van grote afstand aankomen en kan de vis zicht verschuilen.

2. Krooneend (plantenetende vogel)

De Krooneend eet planten die onderwater groeien. De planten zijn afhankelijk van de hoeveelheid licht op de bodem. Beschaduwning door PV-systemen kan de hoeveelheid waterplanten verminderen. Ook indirect, via verandering in de sedimentatie en troebelheid van het water, kan een PV-systeem invloed hebben op het voedsel van Krooneenden.

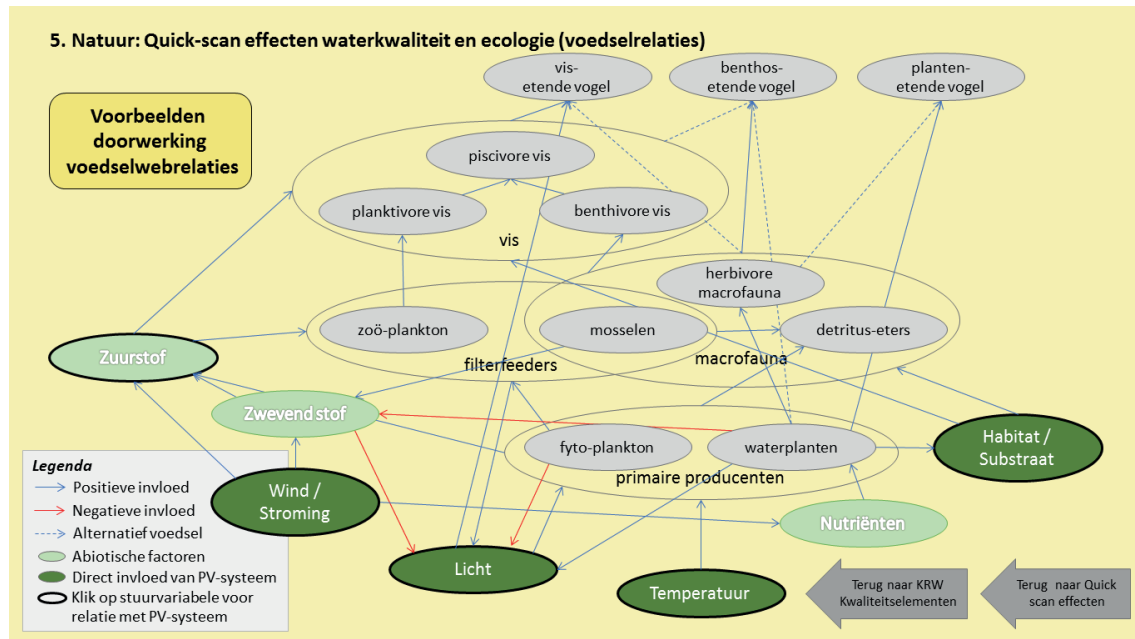
3. Kuifeend (macrofauna-etende vogel)

De Kuifeend is voor haar voedsel afhankelijk van macrofauna die op de bodem leeft. Indirect is het voedsel van de Kuifeend afhankelijk van zuurstof: is er voldoende zuurstof op de bodem voor macrofauna? Het voedsel van de macrofauna is weer afhankelijk van factoren als licht

Voor alle drie bovenstaande voorbeelden geldt dat er een direct effect is op het beschikbaar areaal om te foerageren, zeker als de panelen dicht op elkaar staan.

FIGUUR 7.33

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET VOEDSELWEB EN DE INVLOEDEN VAN DE BELANGRIJKSTE STUURFACTOREN



8

AANBEVELINGEN VOOR VERDERE ONTWIKKELING

Dit afsluitende hoofdstuk geeft aanbevelingen die voortkomen uit de vergunbaarheidsstudie van het project Zon op Water. Hieronder volgen enkele algemene aanbevelingen en specifieke aanbevelingen voor initiatiefnemers en aanbevelingen om verdere de Analysetool te verbeteren.

Om de initiatiefnemer en vergunningverlener nu en in de toekomst te kunnen bedienen is het wenselijk om het huidige Stroomschema en Analysetool op een laagdrempelige manier toegankelijk te maken. Aanbevolen wordt om de Zon op Water producten via een centrale plek, bijvoorbeeld een goed toegankelijke web-omgeving, te ontsluiten. Het Stroomschema en de Analysetool zijn op zichzelf staande tools die in de huidige vorm ontsloten kunnen worden voor (eigen) gebruik, mits verwezen wordt naar deze Handreiking. Op de plek waar de Zon op Water tools worden ontsloten dient een disclaimer geplaatst te worden die duidelijk aangeeft voor welke doeleinden de producten kunnen worden gebruikt.

Om het Stroomschema up-to-date te houden met de geldige wettelijke kaders dient het met enige regelmaat getoetst te worden aan de actuele regelgeving. Zo zal bij de verdere vormgeving van de Omgevingswet, die 1 januari 2021 in werking treedt, gekeken moeten worden of het Stroomschema nog aansluit bij nieuwe of aangepaste regelgeving. Ook dient in de gaten gehouden te worden of de algemene regels (en beleidsregels) die de waterschappen hanteren ook specifieke regelgeving beschrijven rondom drijvende zonnepanelen.

Vergunningaanvragers zijn gebaat bij een snel overzicht van de vergunningen die een rol kunnen spelen bij het plaatsen van een PV-systeem. Omdat vergunningen over het algemeen locatie gebonden zijn, kan een website als de vergunningschecker (<https://www.geodan.nl/solutions/vergunningchecker/>) een goed hulpmiddel zijn om hierin te voorzien. Er bestaat de mogelijkheid om de vergunningschecker uit te breiden met regelgeving die van toepassing is op vergunningsverlening t.b.v. Zon op Water aanvragen.

Om meer zekerheid te verkrijgen omtrent het werkelijk optreden van effecten wordt aanbevolen watersystemen te monitoren voor en na aanleg van het PV-systeem. Hiermee kan waardevolle kennis worden opgebouwd. In Bijlage B is daarom een advies meetplan toegevoegd

8.1 AANBEVELINGEN VOOR DE INITIATIEFNEMER

8.1.1 HULP VANUIT HET BEVOEGD GEZAG

Het aanvragen van de vergunningen voor het plaatsen van een PV-systeem is veel werk. De Stroomschema's bevatten 13 hoofdstukken voor de verschillende wettelijke kaders met in totaal meer dan 90 pagina's. De verschillende bevoegde gezagen hebben ook een loketfunctie voor complexe projecten waar meerdere instanties bij betrokken zijn. Zij kunnen meehelpen te bepalen:

- welke instanties betrokken zijn;
- welke vergunningen nodig zijn;
- in welke volgorde de vergunningen aangevraagd dienen te worden;
- welke vergunningen tegelijkertijd aangevraagd kunnen worden opdat de doorlooptijd bekort wordt.

En ze kunnen meedenken met de planvorming en ontwerpen vooraf bespreken. Het loket neemt vaak ook de coördinatie tussen betrokken bevoegde gezagen op zich.

Het bevoegd gezag is dus niet alleen de controleur van de regelgeving maar ook een partner bij het doorlopen van het vergunningentraject. Het is daarom aan te raden om in een vroeg stadium van het project contact op te nemen met het bevoegd gezag.

8.1.2 RUIMTELIJKE ORDENING

Bij het aanvragen van een vergunning krijgt men ook te maken met het ter plaatse heersende bestemmingsplan. Omdat opwekking van energie een nieuwe gebruiksfunctie voor wateren is, is deze gebruiksfunctie in de huidige bestemmingsplannen niet vastgelegd. Dit betekent dat er een omgevingsvergunning nodig is voor dit type gebruik. Is deze vergunning eenmaal verleend, dan is hiermee de nieuwe functie vastgelegd die in nieuwe bestemmingsplannen automatisch wordt overgenomen. Bij een nieuw bestemmingsplan hoeft een volgende keer dus geen nieuwe procedure doorlopen te worden. Provincies spelen op deze ontwikkeling in door nu al een verandering van gebruiksfuncties voor te bereiden om in de toekomst aan de doelstellingen voor het klimaatbeleid te kunnen voldoen. Bij de Provincie Zuid-Holland wordt energieopwekking op water hierbij expliciet meegenomen. Dit maakt het voor een initiatiefnemer gemakkelijker om een project gerealiseerd te krijgen.

Ook al wordt een PV-systeem niet binnen een natuurgebied gepland, dan is er toch nog de mogelijkheid dat er een relatie is met nabijgelegen beschermde gebieden. Een water kan een functie vervullen voor beschermde soorten uit een naburig Nature 2000-gebied, terwijl het water zelf geen Natura 2000-gebied is. Een voorbeeld hiervan is het PV-systeem in de binnendijkse drinkwaterbekkens bij Andijk: vogels maken gebruik van dit water voor voedsel en plaats om te rusten. Vanwege deze functie moest de omvang van het PV-systeem beperkt blijven, zodat de deze functie voor de vogels niet in het gedrang zou kunnen komen.

8.1.3 PV-SYSTEEM EN BEHEER

Nadat alle vergunningen zijn aangevraagd en toegekend en het PV-systeem is aangelegd, is de initiatiefnemer niet klaar: de wettelijke regels omvatten ook zorgplicht tijdens de operationele fase. Dit betekent dat bij het beheer en onderhoud van de installatie nog steeds rekening gehouden moet worden met aspecten van waterkwaliteit, ecologie, en beschermde soorten en habitats. Als er (buiten het PV-systeem om) zaken veranderen, zou dat voor de initiatiefnemer aanleiding kunnen zijn om beheer en onderhoud te heroverwegen. In sommige gevallen wordt zo'n heroverweging opgelegd: op het moment dat er beschermde vogelsoorten komen broeden op de installatie, dan moet de initiatiefnemer ervoor zorg dragen dat deze vogels niet verstoord worden. Dit kan betekenen dat onderhoud moet worden opgeschort. Er is momenteel geen jurisprudentie beschikbaar dat de functie van energieopwekking op zo'n moment voorrang zou hebben boven de natuurfunctie. Wel kan (mede)gebruik door vogels preventief ontmoedigd worden door de toegang tot de installatie voor vogels te ontmoedigen of onmogelijk te maken. Zo zijn bij de RWZI Eversteekooog draden gespannen op de pontons om het voor vogels (in dit geval meerkoeten) onaantrekkelijk te maken om de pontons als slaappleaats te blijven gebruiken.

8.2 AANBEVELINGEN ANALYSETOOL

De Analysetool zoals omschreven in hoofdstuk 3 is gevuld met data afkomstig van 736 modelruns die samen een breed palet aan watersystemen beslaat en waaruit de gebruiker verwachte trends in waterkwaliteit kan duiden als gevolg van de plaatsing van PV-systemen. De belangrijkste aanbevelingen voor uitbreiding of verbetering van de Analysetool zijn hieronder opgesomd in volgorde van importantie:

- Doorrekenen 'ontbrekende' combinaties
 - In de 736 modelruns zijn een aantal combinaties van de verschillende stuurvariabelen niet meegenomen; zo is voor een kleine plas van 1 ha de combinatie met 1% PV-bedekking of 25m diepte niet doorgerekend. Voor een waterlichaam van 100 ha in omvang zijn wel alle mogelijke combinaties doorgerekend. Dit heeft tot gevolg dat een aantal van de interactieve grafieken 'geknikte' relaties toont voor verschillende PV-bedekkingen (zie Figuur 3.8). Het wordt daarom aangeraden om de aanvullende combinaties (544 in totaal) ook door te rekenen en op te nemen in de Analysetool zodat de interpretatie van de grafieken eenvoudiger wordt.
- Validatie van het model voor toepassing op lokale schaal
 - Het is belangrijk dat het model voor toepassing op een specifieke locatie gevalideerd wordt aan de hand van meetgegevens met het oog op verbetering van de uitkomsten van de Analysetool
 - In het huidige model is een worstcase benadering gehanteerd, zo is er vanuit gegaan dat:
 - er bij zonnepanelen met een lichtdoorlatendheid van 0% geen uitwisseling is tussen water en atmosfeer. In werkelijkheid kan de ruimte onder panelen nog in contact staan met de atmosfeer en daarmee de warmtebalans beïnvloeden. Een realistische voorstelling en helder begrip van de warmtebalans (en warmteafgifte) rondom een PV-systeem zal de modelresultaten verbeteren. Informatie afkomstig uit veldmetingen is hiervoor cruciaal

- lichtinval in het water alleen het lichtregime in de betreffende waterkolom beïnvloedt en dat er geen zijwaartse verstrooiing van licht is. In werkelijkheid zal er ook onder PV-systemen die 0% lichtdoorlatendheid zijn aan de randen van het PV-systeem licht aanwezig zijn als gevolg van zijwaartse verstrooiing in de waterkolom. Hiervoor is een aanpassing van de procesformulering in het model nodig.
- Uitbreiding Analysetool met nieuwe combinaties
 - Er is gekozen voor een beperkt aantal combinaties voor de verschillende stuurvariabelen, zo moet de gebruiker voor een waterlichaam van 50ha een keuze maken tussen 10ha of 100ha in de huidige Analysetool. Extra combinaties kunnen een nuttige aanvulling zijn voor stuurvariabelen waar relatief grote stappen zitten tussen de te kiezen waarden. Nieuwe PV-systemen worden naar verwachting lichtdoorlatender, nu is in de Analysetool voor het percentage licht dat een PV-systeem doorlaat maximaal 25% te kiezen. PV-systemen met een hogere lichtdoorlatendheid (bijv. >50%) zijn nu niet doorgerekend en niet te selecteren.
 - De huidige Analysetool is toegepast voor stilstaande wateren. Er zijn wel verkennende berekeningen gedaan met het effect van doorstroming (verblijftijd) op de waterkwaliteit, zie paragraaf 7.5. Verschillende mate van doorstroming kunnen doorgerekend worden en als extra systeemkenmerk aan de Analysetool worden toegevoegd.

REFERENTIES

De Jong, M.P.C., N.J.J. Dekker, B.W.G. Blok, A.W. Minns, en R. Noordhuis, 2015, Meetplan drijvende zonnepanelen Slufter Rotterdam, Meetadvies en uitgangspunt pilot-project (Deltares rapport: 1220048-002-GEO-0012-r-Meetplan drijvende zonnepanelen Slufter Rotterdam_definitief_getekend.pdf)

De Kleine, Marco, Productblad Deltares 2017, Glasvezeltemperatuur - metingen in de ondergrond

Gerritsen, H, E.D de Goede, F.W. Platzek, J.A.Th.M van Kester, M. Genseberger, and R.E. Uittenbogaard, 2008, Validation Document Delft3D-FLOW, A software system for 3D flow simulations, Deltares Rapport 2008

(weblink: https://oss.deltares.nl/c/document_library/get_file?uuid=39169f8f-4ab0-4f7b-9771-c3f7d0ddd61f&groupId=183920)

Janse, J.H., 2005. Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Thesis, LU Wageningen.

LI-COR https://www.licor.com/env/products/light/quantum_underwater.html

Los, H. (2009). *Eco-hydrodynamic modelling of primary production in coastal waters and lakes using BLOOM*. Thesis of Wageningen University.

Minns, A.W., 2016, Invloed pontons op hun omgeving, (Deltares memo: 1606-0011-m-Invloed pontons op hun omgeving.pdf)

Råman Vinnå, L., A. Wüest, and D. Bouffard (2017), Physical effects of thermal pollution in lakes. *Water Resources Research*, 53(5): 3968–3987, doi: 10.1002/2016WR019686.

Van de Leemkolk, W., C. Jongma, S. Handgraaf, 2018, Vergunbaarheid omgevingsdeel Zon op Water. Colibri Advies BV.

BIJLAGE A

ANALYSETOOL

A.1 BEREKENINGSWIJZE VAN DE INDICATOREN

In de Analysetool zijn de volgende indicatoren opgenomen:

Indicator	Omschrijving
1	Fractie oppervlakte bodem geschikt voor waterplanten [-]
2	Gemiddelde lichtintensiteit onder het PV-systeem [W/m ²]
3a	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (oppervlaktelaag) [°C]
3b	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (middelste laag) [°C]
3c	Gemiddelde watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) (bodemlaag) [°C]
4	Maximum watertemperatuur in zomerhalfjaar (apr-sep) [°C]
5a	Gemiddelde zuurstofgehalte in zomerhalfjaar (apr-sep) (oppervlaktelaag) [mg/l]
5b	Gemiddelde zuurstofgehalte in zomerhalfjaar (apr-sep) (middelste laag) [mg/l]
5c	Gemiddelde zuurstofgehalte in zomerhalfjaar (apr-sep) (bodemlaag) [mg/l]
6a	Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6b	Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 6 mg/l) [-]
6c	Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6d	Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 5 mg/l) [-]
6e	Fractie areaal bodem in onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3 mg/l) [-]
6f	Intensiteit in de onderste waterlagen waarover zuurstofloosheid optreedt (grens: 3 mg/l) [-]

Hieronder wordt de berekeningswijze per indicator beschreven.

1. FRACTIE OPPERVLAKTE BODEM GESCHIKT VOOR WATERPLANTEN

1.1 INLEIDING

Waterplanten hebben licht op de bodem nodig om te kunnen kiemen en groeien. Standaard wordt 4% licht op de bodem gezien als kritische grens (STOWA, Rekenmodule Onderwaterlicht). Het is dus het verschil tussen het licht net onder het wateroppervlak (in de bovenste waterlaag, voordat extinctie in de bovenste waterlaag plaatsvindt) en het licht dat onderin de onderste bodemlaag over is (na extinctie in de gehele onderste (en bovenliggende) waterlagen).

1.2 RUIMTELIJKE COMPONENT

Dit geldt voor gehele watersysteem.

1.3 TEMPORELE COMPONENT

Omdat waterplanten vooral in het zomerseizoen groeien, wordt de indicator berekend over de maanden april t/m september (dag 91 t/m 273: 182 dagen).

1.4 BEREKENINGSWIJZE

In Delwaq (de waterkwaliteitsmodule van het Delft3D-model) is een extra variabele *RadBotRel* (fractie straling dat het bodemoppervlak bereikt) opgenomen. Deze variabele heeft de waarde 100 (%) aan het wateroppervlak. *RadBotRel* wordt verminderd door de uitdovingsprocessen voor licht in de waterlagen. De waarde in elke cel is het percentage van *RadBotRel* aan de onderzijde van elke model gridcel. Voor cellen met een bodem betekent dit dus het percentage licht aan de bodem.

De indicator is als volgt berekend:

- De variabele *RadBotRel* is gemiddeld over het zomerseizoen
- Scoor het aantal cellen met een bodem waarvoor geldt dat de gemiddelde waarde van *RadBotRel* groter of gelijk is aan 4%.
- Bereken de fractie cellen op het totaal aantal cellen met een bodem.

2. GEMIDDELDE LICHTINTENSITEIT ONDER HET PV-SYSTEEM

2.1 INLEIDING

Het PV-systeem houdt licht tegen. De gemiddelde lichtintensiteit in de waterkolom geeft aan in welke mate dit gebeurt (afhankelijk van omvang en doorlatendheid van het PV-systeem).

2.2 RUIMTELIJKE COMPONENT

Alleen onder het PV-systeem, gemiddelde waarde in de bovenste waterlaag. Bij berekeningen zonder PV-systeem is het gemiddelde over het gehele (onbedekte) watersysteem genomen.

2.3 TEMPORELE COMPONENT

Omdat waterplanten vooral in het zomerseizoen groeien, wordt de indicator berekend over de maanden april t/m september (dag 91 t/m 273: 182 dagen).

2.4 BEREKENINGSWIJZE

De Delwaq-variabele *Radbot* geeft de lichtintensiteit aan de onderzijde van een cel (in W/m^2). De indicator is als volgt berekend:

- De variabele *RadBot* is gemiddeld over het zomerseizoen

3. GEMIDDELDE WATERTEMPERATUUR IN ZOMERHALFJAAR (APR-SEP) [$^{\circ}\text{C}$]

3.1 INLEIDING

De watertemperatuur is indicatief voor de snelheid waarmee biochemische processen in water en sediment verlopen.

3.2 RUIMTELIJKE COMPONENT

Deze indicator is berekend voor verschillende waterlagen:

- Oppervlaktelaag (indicator 3a)
- Middelste waterlaag (indicator 3b); bij een even aantal waterlagen in het model is dit de laag onder het midden (bij een waterdiepte van 4 m met 4 waterlagen (van boven naar beneden genummerd van 1 t/m 4) is dit waterlaag nummer 3)
- Bodemlaag (indicator 3c)

3.3 TEMPORELE COMPONENT

Voor deze indicator wordt gekeken naar het daggemiddelde (licht- + donkerperiode) over het zomerhalfjaar (dag 91 t/m 273: 182 dagen).

3.4 BEREKENINGSWIJZE

De indicator is als volgt berekend:

- Bereken over alle actieve cellen (waarin water voorkomt) voor elk van de genoemde waterlagen een seizoensgemiddelde watertemperatuur berekend over de gehele dag (24 uur).

4. MAXIMUM WATERTEMPERATUUR IN ZOMERHALFJAAR (APR-SEP) [°C]

4.1 INLEIDING

De maximale watertemperatuur (en het verschil daarin tussen de referentiesituatie en de geplande situatie met een PV-systeem) is een andere maat voor het effect van een PV-systeem op de temperatuur van het watersysteem.

4.2 RUIMTELIJKE COMPONENT

Het gehele watersysteem in de bovenste waterlaag.

4.3 TEMPORELE COMPONENT

Maximale watertemperatuur in het zomerhalfjaar.

4.4 BEREKENINGSWIJZE

De indicator is als volgt berekend:

- Bereken over alle actieve cellen in de bovenste waterlaag de maximale dagelijkse watertemperatuur die in het jaar voorkomt.

5. GEMIDDELDE ZUURSTOFGEHALTE IN ZOMERHALFJAAR (APR-SEP) [MG/L]

5.1 INLEIDING

Het zuurstofgehalte is een resultaat van verschillende fysische en biochemische processen in het water.

5.2 RUIMTELIJKE COMPONENT

Deze indicator is berekend voor verschillende waterlagen:

- Oppervlaktelaag (indicator 5a)
- Middelste waterlaag (indicator 5b); bij een even aantal waterlagen in het model is dit de laag onder het midden (bij een waterdiepte van 4 m met 4 waterlagen (van boven naar beneden genummerd van 1 t/m 4) is dit waterlaag nummer 3)
- Bodemlaag (indicator 5c)

5.3 TEMPORELE COMPONENT

Zomerhalfjaar: periode april t/m september (dag 91 t/m 273: 182 dagen).

5.4 BEREKENINGSWIJZE

De indicator is als volgt berekend:

- Bereken gemiddelde zuurstofconcentratie (24 uur) in de verschillende waterlagen per dag.

(Aantal cellen in onderste waterlaag is kleiner door bathymetrie; per diepte bestaat de waterlaag dus uit een verschillend aantal cellen)

6. FRACTIE AREAAL BODEM EN INTENSITEIT IN ONDERSTE WATERLAGEN WAAROVER ZUURSTOFLOOSHEID OPTREEDT [-]

6.1 INLEIDING

Bij stratificatie kan het zuurstofgehalte in diepere delen van een plas dalen doordat de aanvoer van zuurstof uit de atmosfeer geremd wordt (door bijvoorbeeld een verminderde uitwisseling) en de vraag van zuurstof door het sediment (mineralisatie) aanhoudt. Het plaatsen van een PV-systeem kan effect hebben op de stratificatie (sterk gereduceerde uitwisseling tussen bovenste en onderste waterlagen) en daarmee op het optreden van lage zuurstofconcentraties bij de bodem. Hier wordt de grenswaarde van 6 mg/l gehanteerd waaronder van een zuurstoftekort (voor macrofauna en vissen) kan worden gesproken.

Deze indicator bestaat uit twee deelindicatoren:

- Fractie areaal bodem
- Intensiteit

En is doorgerekend voor verschillende zuurstofconcentraties als grenswaarden waaronder gesproken wordt van zuurstofloosheid:

- Grenswaarde 6 mg/l
- Grenswaarde 5 mg/l
- Grenswaarde 3 mg/l

6.2 RUIMTELIJKE COMPONENT

Waterlagen in de onderste helft van waterkolom, alleen cellen die een bodemcomponent hebben, zie ook paragraaf A.3. Door alleen de onderste helft van de waterkolom mee te nemen en daarvan de cellen die in contact staan met de bodem, wordt voorkomen dat het signaal 'verwatert' door de oppervlakkige lagen waar nooit zuurstofloosheid optreedt.

6.3 TEMPORELE COMPONENT

Zomerhalfjaar: periode april t/m september (dag 91 t/m 273: 182 dagen).

6.4 BEREKENINGSWIJZE

Voor deze indicator worden twee getallen gebruikt:

- Getal1: fractie van bodemcellen in onderste helft van waterlagen waarin zuurstofloosheid gedurende zomerperiode is opgetreden;
- Getal2: intensiteit van de zuurstofloosheid (fractie bodemcellen (Getal 1) maal de gemiddelde fractie tijd met zuurstofloosheid in zomerperiode voor de cellen waarin het zuurstofgehalte beneden de grenswaarde kwam)

Deze getallen, fractie en intensiteit worden als volgt berekend:

- Bepaal de cellen welke zich bevinden in de onderste helft van de waterkolom én welke grenzen aan de bodem
- Scoor per cel het aantal dagen in de zomerperiode waarop een zuurstofconcentratie van minder dan de grenswaarde (6, 5 of 3 mg/l) berekend is;
- Genereer output:
 - Percentage van het aantal bodemcellen in de onderste helft van de waterkolom waarin zuurstoftekort optrad;
 - De fractie dagen in de zomerperiode waarop een zuurstofconcentratie van minder dan

de grenswaarde (6, 5 of 3 mg/l) berekend is maal de fractie van het aantal bodemcellen in de onderste helft van de waterkolom waarin het zuurstofgehalte beneden de grenswaarde kwam.

A.2 INVULLING SYSTEEMKENMERKEN

In de Analysetool zijn de volgende **stelsystemkenmerken** aanwezig die in de gebruiker dient in te vullen voor het gepland PV-systeem of kan selecteren bij het bekijken van de relaties en trends in de grafieken:

Eigenschappen van waterlichaam:

1. Omvang van het watersysteem (m²);
2. Gemiddelde diepte van watersysteem (m);
3. Nutriëntenstatus*;
4. Bodemtype.

Eigenschappen van PV-systeem**:

5. Omvang PV-systeem (oppervlakte op waterlichaam: m²);
6. Lichtdoorlatendheid van PV-systeem (%);

* Troebelheid van water (extinctie; m⁻¹) is impliciet gekoppeld aan bodemtype en daarom niet opgenomen als aparte stuurvariabele. Voor zand is een achtergrondextinctie van 0.5 m⁻¹ aangehouden, voor veen een achtergrondextinctie van 0.9 m⁻¹.

** Warmteafgifte door PV-systeem (benoemd als stuurvariabele in het FO) is niet opgenomen als stuurvariabel omdat onduidelijk is óf en zo ja hoeveel warmte PV-systemen op water af (kunnen) geven.

1. OMVANG VAN HET WATERSYSTEEM

Hier is gekozen voor een 5-tal groottes, steeds een factor 10 verschillend en bij benadering de volgende oppervlakten:

1. 1 ha (100 x 100 m): de omvang van een bezinkbassin bij een RWZI.
2. 10 ha (330 x 330 m)
3. 100 ha (1 km²): de omvang van de Loosdrechtse Plassen;
4. 1000 ha (3330 x 3330 m);
5. 10000 ha (10 km²): als benadering voor een PV-systeem in het Markermeer of IJsselmeer.

2. GEMIDDELTE DIEPTE VAN HET WATERSYSTEEM

Gekozen is voor een 4-tal gemiddelde dieptes:

1. 1 m (de diepte van een bezinkbassin bij een RWZI; maximale diepte 2 m);
2. 2 m (de diepte van de Loosdrechtse Plassen; maximale diepte 4 m);
3. 5 m (de diepte van het Markermeer; maximale diepte 10 m);
4. 10 m (de diepte van een zandwinplas; maximale diepte 25 m).

3. NUTRIËNTENSTATUS

De nutriëntenstatus van een waterlichaam kan worden ingedeeld in verschillende trofie-klassen waaronder: oligotroof, mesotroof en eutroof.

Vanuit de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer (WEW) is voor de trofie van macrofauna in zoet water aangegeven:

- Oligotroof: NTot < 0.5 mgN/l; PTot < 0.01 mgP/l
- Mesotroof: NTot 1.0-1.6 mgN/l; PTot 0.02-0.05 mgP/l;
- Eutroof: NTot > 2.2 mgN/l; PTot > 0.15 mgP/l.

Samenvatting parameters (jaargemiddelden) per trofieklasse voor zoete, stilstaande wateren uit de data van het KRW-portaal, jaar 2016:

	N	Diepte	NTot mg/l	PTot mg/l	NH ₄ mg/l	Chlfa µg/l	O ₂ mg/l	BZV mg/l	Doorzicht m	Ext Lambert m ⁻¹	DOC mg/l
Trofieklasse											
Oligotroof	0		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oligo-mesotroof	0		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mesotroof	182	7.9	0.95	0.036	0.09	11	9.8	1.6	1.01	-	11.7
Meso-eutroof	530	1.9	1.5	0.091	0.15	23	8.9	2.6	0.67	2.4	12.4
Eutroof	1150	1.4	4.3	0.443	0.67	61	8.0	3.2	0.56	3.9	14.9

N: aantal meetpunten

De klassen oligotroof en oligo-mesotroof ontbreken in dit data-overzicht. Daarom is vanuit pragmatisch oogpunt gekozen om in de Analysetool alleen de klassen mesotroof en eutroof op te nemen. De verschillen in waarden van de milieufactoren is een factor 2 (doorzicht) tot 10 (P-totaal) tussen Mesotroof en Eutroof.

4. BODEMTYPE

Als belangrijke bodemtypes zijn aangemerkt: zand, klei, veen.

In PCLake worden onderstaande sedimenttypen gedefinieerd door:

Parameter	Eenheid	Sediment		
		Zand	Klei	Veen
Drooggewicht	g DW/g sed	0.5	0.3	0.1
Organische fractie	g Org/g DW	0.08	0.08	0.25
Lutumgehalte	g Lutum / gAFDW	0.03	0.4	0.4
Fe	g Fe / gAFDW	0.003	0.04	0.04
Al	g Al / gAFDW	0.003	0.04	0.04
Porositeit, gecorrigeerd voor tortuositeit	m ³ water / m ³ sed	0.55	0.74	0.91
Bulk dichtheid	g solid / m ³ sediment	1.08 . 10 ⁶	0.63 . 10 ⁶	0.20 . 10 ⁶

In de huidige berekeningen zijn alleen zand en veen opgenomen, omdat deze sterk van elkaar verschillen.

5. OMVANG PV-SYSTEEM

De omvang (in m²) van het PV-systeem is vastgesteld in relatie tot de omvang van het water en de totale bedekking (in %) van het watersysteem door het PV-systeem. Voor % bedekking is gekozen voor 1%, 10%, 25%, 50% en 90%. De invulling als functie van de omvang van het waterlichaam is als volgt:

TABEL 1 OMVANG PV-SYSTEEM (M²)

Omvang watersysteem	Bedekking door PV-systeem				
	1%	10%	25%	50%	90%
1 ha			2500	5000	9000
10 ha			25000	50000	90000
100 ha (1 km ²)	10000	100000	250000	500000	900000
1000 ha	100000	1000000	2500000		
10000 ha (100 km ²)	1000000	10000000	25000000		

6. LICHTDOORLATENDHEID PV-SYSTEEM

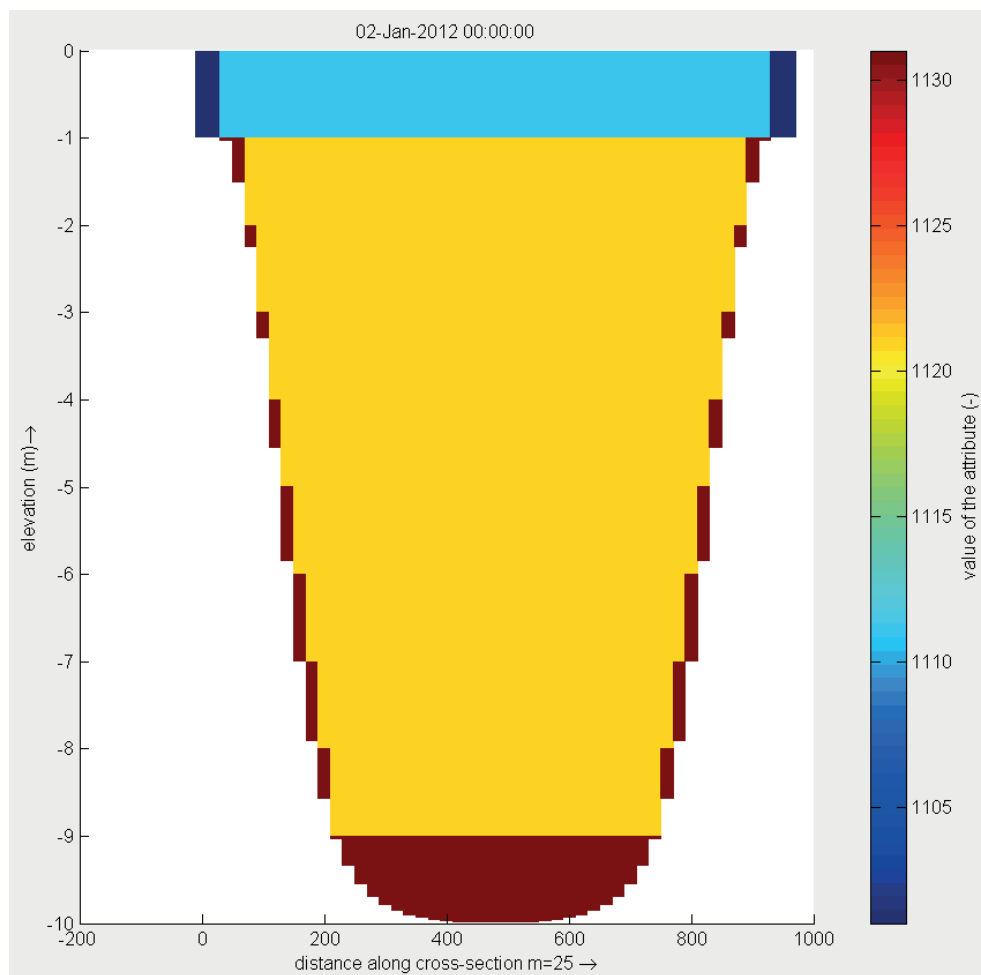
Een PV-systeem bestaat uit zonnepanelen en de drijvende constructie waarop de zonnepanelen geplaatst worden. Naar gelang het type zonnepanelen (1- of 2-zijdig), de helling van de zonnepanelen (horizontaal, schuin, verticaal) en de plaatsing van de zonnepanelen op de constructie (aansluitend, met looppaden) en de constructie (gesloten of half-open) kan een PV-systeem meer of minder licht doorlaten. Dit kan zowel direct zonlicht als diffuus zonlicht zijn. Het theoretisch minimum is 0%. Veelal zal een initiatiefnemer streven naar een zo hoog mogelijke opbrengst per m² van het PV-systeem (o.a. beperking kosten voor constructie). Naast het theoretisch minimum van 0% is voor 10% en 25% lichtdoorlatendheid gekozen, de combinaties die meegenomen zijn in de modelberekeningen. De laatste factor is interessant als mogelijke mitigatie voor de ecologie.

A.3 MODEL SCHEMATISATIE

Er is gekozen om een zo representatief mogelijk watersysteem te modelleren, dat wil zeggen een rond waterlichaam dat een meer weergeeft bestaande uit meerdere waterlagen met een rond diepteprofiel () dat in meerdere meren in Nederland voorkomt.

FIGUUR A.1

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN REKENCellen IN EEN 3-DIMENSIONAAL DELFT3D WATERKWALITEITSMODEL



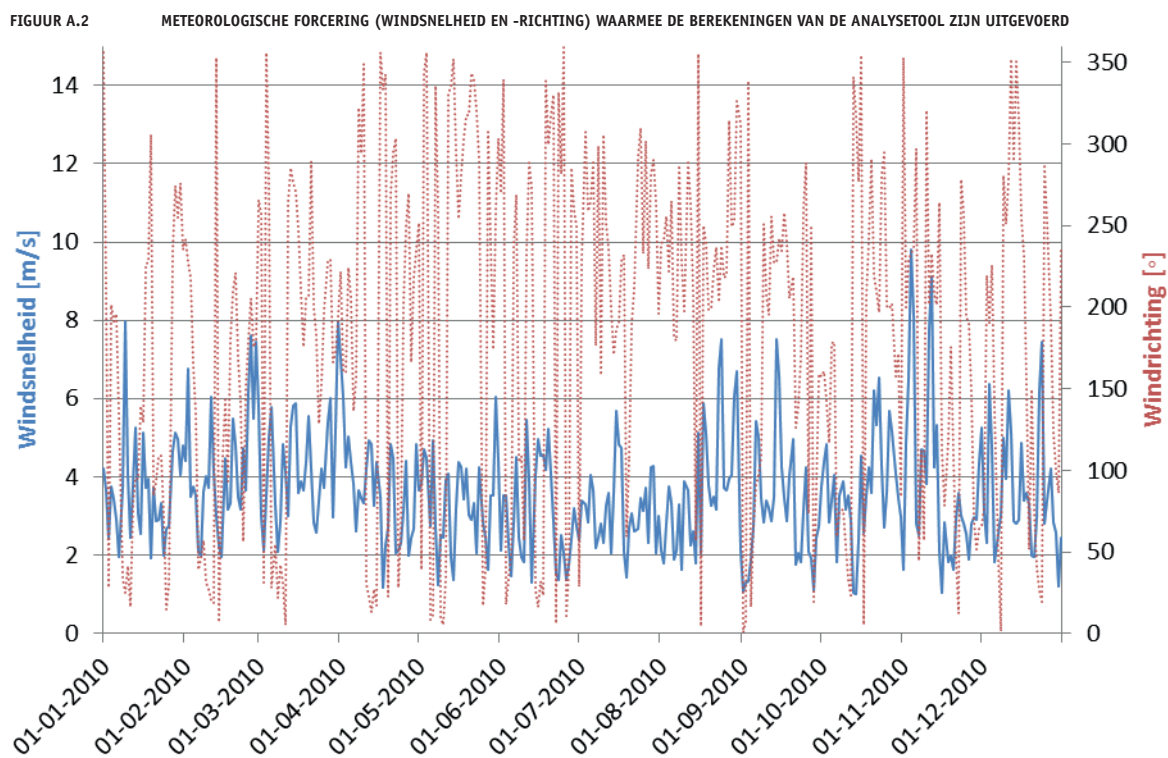
De verschillende kleuren geven verschillende type gridcellen in de 3D-schematisatie weer; bruine cellen zijn bodemcellen, oranje cellen zijn watercellen, lichtblauwe cellen zijn oppervlaktecellen, en donkerblauwe cellen zijn zowel bodem als oppervlaktewatercellen. Met

deze typering kan gemakkelijk gekeken worden naar effect op bijvoorbeeld alleen de cellen aan de bodem (bruin en donkerblauw), dat bijvoorbeeld van belang is voor de geschiktheid (voldoende licht) voor waterplanten.

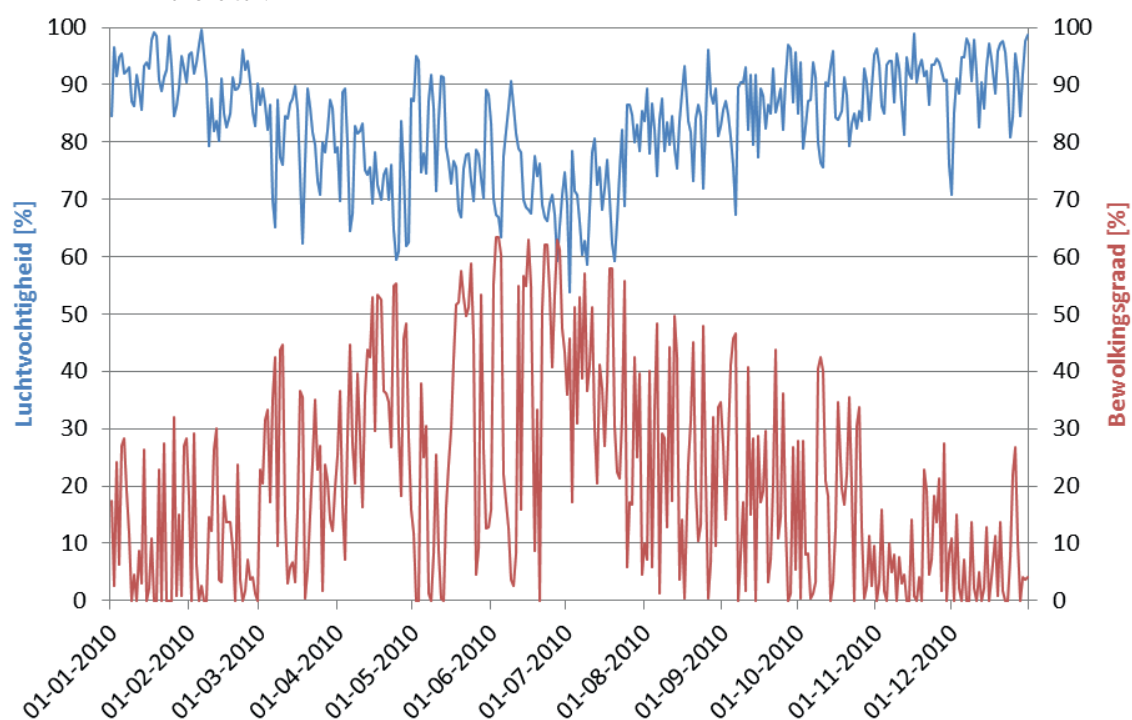
A.4 MODEL FORCING: METEOROLOGISCHE DATA

Er is gekozen voor het gebruik van een compleet meteorologisch jaar om de variatie door het jaar heen goed mee te kunnen nemen, en omdat deze keuze ook de mogelijkheid biedt om op een bepaald seizoen in te zoomen zoals de zomerperiode (april t/m september).

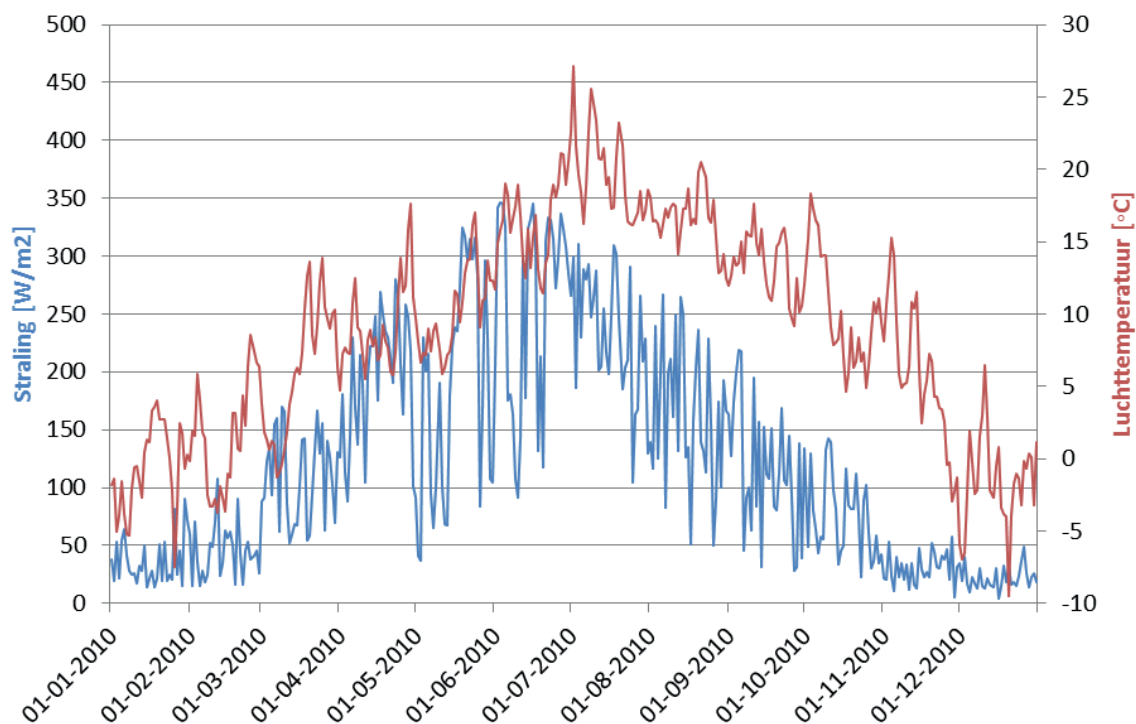
Het jaar 2010 vormt de basis voor alle doorgekende combinaties, zie Figuur A.2, Figuur A.3 en Figuur A.4. Hiervoor is gekozen omdat het een recent jaar betreft en het een relatief zonnig jaar is (<http://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/lijsten/seizoensextremen/zomer>). In een zonnig jaar zullen de effecten van een PV-systeem op het lichtklimaat in een waterlichaam ten opzichte van de referentie situatie waarin geen PV-systeem aanwezig is, naar verwachting duidelijker zichtbaar zijn.



FIGUUR A.3 METEOROLOGISCHE FORCERING (RELATIEVE LUCHTVOCHTIGHEID EN BEWOLKINGSGRAAD) WAARMEE DE BEREKENINGEN VAN DE ANALYSETOOL ZIJN UITGEVOERD



FIGUUR A.4 METEOROLOGISCHE FORCERING (STRALING EN LUCHTTEMPERAATUUR) WAARMEE DE BEREKENINGEN VAN DE ANALYSETOOL ZIJN UITGEVOERD



BIJLAGE B

ADVIES MEETPLAN

B.1 AANLEIDING

Het breder toepasbaar maken van winning van zonne-energie is een belangrijke pijler om de transitie te kunnen maken naar hernieuwbare energie en de nationale doelstellingen die hiervoor zijn opgesteld. Winning van zonne-energie vanaf water (PV-op-water) kan hierin een belangrijke bijdrage leveren. Het Nationaal Consortium Zon op Water voert een project uit om de investeringsbereidheid van investeerders van drijvende PV velden te vergroten. Dit dient helderheid te verschaffen over de vergunbaarheid van PV-op-water systemen in relatie tot de wettelijke kaders. Een Centraal onderdeel van het project Zon op Water is een uitgebreide veldtest van systeemconcepten die als pilot op de Slufter (Maasvlakte) zijn uitgevoerd. Om te kunnen beoordelen wat de invloed is van de PV-systemen op hun omgeving en wat hierin de verschillen zijn tussen de verschillende opstellingen is het monitoren van de waterkwaliteit rondom de PV-systemen raadzaam.

Metingen kunnen inzicht verschaffen in de mate waarin licht wordt weggevangen, of er veranderingen optreden in de watertemperatuur, zuurstofgehalte en chlorofyl-a concentratie. Dit soort informatie is belangrijk bij de inschatting van de invloed van PV-systemen op water op hun omgeving.

B.2 DOEL VAN DIT MEETPLAN ADVIES

Het doel van dit 'meetplan' is om te adviseren in te meten parameters en wijze van monitoring in de Slufter (Maasvlakte) waar drijvende PV-systemen worden ingericht, om hiermee relevante informatie t.b.v. de vergunningsverleningsstudie te vergaren en waar mogelijk iets te kunnen zeggen over de invloed van PV-systemen op hun omgeving. Het doel van de beschreven (geadviseerde) meetcampagne is om de afwijking (invloed van PV-systemen) ten opzichte van de referentie situatie (geen PV-systemen of buiten beïnvloedingsgebied van PV-systemen) inzichtelijk te kunnen maken en ook de onderlinge verschillen tussen verschillende PV-opstellingen in kaart te brengen.

Omdat watersystemen en hun ecologische dynamiek sterk kunnen verschillen, dient idealiter gemeten te worden in verschillende watertypes om zo de effecten over een breed bereik te kunnen monitoren. Dit memo beperkt zich echter tot advisering over monitoring in de Slufter bij de Maasvlakte, een relatief troebel systeem waar de hoeveelheid onderwaterlicht al beperkt is, ook zonder aanwezigheid van PV-systemen.

B.3 MONITORING**B.3.1 ALGEMEEN ADVIES MONITORING RONDOM PV-SYSTEMEN (IDEALE SITUATIE)**

De inschatting is dat het effect van PV-systemen golven en stroming op basis van bestaande (model)kennis ingeschat kan worden en dat meting van hydrodynamica (golven, stroming) daarom als niet effectief wordt gezien.

Zoals beschreven in Minns (2016) is het niet realistisch om voor de Slufter binnen het huidige project een meetcampagne op te zetten om de daadwerkelijke effecten op de ecologie (vooral

de hogere trofische niveaus zoals vogels, vissen, ongewervelden en waterplanten) te bepalen omdat een dergelijke meetcampagne meerdere jaren zou moeten duren.

Wel kunnen fysisch-chemische metingen in het veld (onder de aanwezige omgevingscondities) van relevante parameters (o.a. licht, zuurstof, temperatuur en ook chlorofyl) helpen om de eventuele ecologische effecten van de PV-systemen en de verschillen tussen de diverse PV-opstellingen in kaart te brengen.

Aanvullend kunnen dergelijke gegevens ondersteunend zijn aan een modelmatige aanpak om schattingen te geven van de effecten van PV-systemen op hun omgeving (ook in andere locaties). Een modelmatige aanpak maakt bijvoorbeeld gebruik van de fysieke eigenschappen van het waterlichaam (o.a. grootte, vorm, diepte, stroming), de eigenschappen van de PV-systemen (zoals lichtdoorlatendheid en mate waarin ze warmte afgeven) en hun relatieve bedekking van het wateroppervlak. Fysisch-chemische metingen zijn dan nuttig om zo'n model te kalibreren en de aanpak te valideren.

Belangrijk bij de keuze van monitoringslocaties is om vast te kunnen stellen of verschillende PV-opstellingen een verschillende impact hebben op hun omgeving. Daarvoor moet minimaal gemeten worden onder één PV-systeem (voor elke PV-opstelling één meetlocatie) en op één referentielocatie buiten invloed van de PV-systemen.

Er zijn verschillende monitoringsstrategieën mogelijk:

- continue monitoring op vaste locaties, of
- losse meetcampagnes, of
- een combinatie van beide.

Een voordeel van continue monitoring is dat er onder verschillende weersomstandigheden gemeten wordt. Losse meetcampagnes kunnen een alternatief zijn, mits er op voldoende momenten met verschillende weersomstandigheden wordt gemeten.

Idealiter worden de volgende parameters gemeten:

- onderwaterlicht (W.m^{-2});
- troebelheid (NTU/FNU);
- watertemperatuur ($^{\circ}\text{C}$);
- opgelost zuurstof (mg/l);
- chlorofyl-a ($\mu\text{g/l}$);
- pH;
- lokale meteorologie: luchttemperatuur ($^{\circ}\text{C}$), windsnelheid (m/s), globale straling (W.m^{-2}), bewolgingsgraad (%) en relatieve luchtvochtigheid (%).

Voor een compleet overzicht is het advies om bovenstaande parameters in het water continue te meten op een aantal vaste locaties, minimaal één referentielocatie (buiten bereik van PV-systeem, maar representatief voor het waterlichaam) en één per PV-opstelling onder het systeem. Lokale meteorologie wordt alleen op de referentie locatie gemeten.

Gewenst is om m.b.v. diverse trajectmetingen de lichtinval onder de PV-systemen op verschillende dieptes tot in het open water te meten om daarmee de reductie van het onderwaterlicht (bij voorkeur bij verschillende golflengten) door de PV-systemen te kunnen bepalen.

Het is belangrijk om zuurstof, pH en watertemperatuur continu te meten om het dag-nachtritme van deze parameters te kunnen monitoren als respons op de dagelijkse patroon van de luchttemperatuur en lichtklimaat. Afhankelijk van weerscondities kan een temperatuur-

stratificatie dagelijks optreden, met kans op de afname van zuurstof in de onderste waterlaag. Zie als voorbeeld de case in het IJsselmeer (bijlage B.8).

Aangenomen wordt dat de PV-systemen kunnen leiden tot opwarming van het water onder het PV-systeem (een netto 'warmtelozing'). Metingen zijn nodig om te bevestigen of deze aanname correct is en onder welke condities dit het geval is. Het is daarom ook gewenst om continue metingen aan de individuele opstellingen te doen zoals de bedrijfstemperatuur van de panelen, de luchttemperatuur tussen het water en de onderkant van de panelen en, indien actieve waterkoeling wordt toegepast, de temperatuur en debiet van waterkoeling van de panelen.

B.3.2 MONITORING DE SLUFTER

Voor de Slufter raden we aan minimaal twee meetopstellingen te plaatsen welke gelijktijdig en continu de watertemperatuur, pH en zuurstofgehalte² onder één PV-systeem en op één referentielocatie meten. Door de meestal geringe waterdiepte (1 m) is meting op twee dieptes niet haalbaar. De metingen vinden daarom plaats op één diepte (0.5 m onder het wateroppervlak). De meetopstelling voor het drijvende zonnepaneel wordt bevestigd aan het PV-systeem zodanig dat de instrumenten midden onder het PV-systeem in het water hangen. De luchttemperatuur tussen het wateroppervlak en de panelen wordt continue gemeten. De exacte locatie van de sensor is afhankelijk van het ontwerp van de drijvende PV-systeem.

Voor de meteorologie bevelen we aan om gebruik te maken van de gegevens van KNMI-meetstation Hoek van Holland, zo'n 15km van de Slufter verwijderd.

Op de referentielocatie worden de meetinstrumenten aan een meetpaal bevestigd. Op de referentielocatie wordt ook op een diepte onder water gemeten (0.5 m onder het wateroppervlak). De referentie meetpaal blijft gedurende het hele experiment actief en dient als referentie voor de metingen van alle PV-installaties. Omdat zwevend slib in de Slufter ruimtelijk niet altijd homogeen verdeeld is, moet de positie van de referentielocatie met zorg worden gekozen. Door troebelheid te meten kan het effect van zwevend slib op het lichtklimaat op de meet- en de referentielocatie in beeld worden gebracht.

De instrumenten die aan het PV-systeem bevestigd zijn, worden afwisselend (minimaal 2 weken per locatie) onder de vier verschillende PV-systemen gehangen. Op deze manier kan in de maanden juni tot en met september elk PV-systeem gedurende twee perioden van twee weken worden bemeaten.

Aanvullend stellen we voor om voor de gehele looptijd van het experiment de luchttemperatuur onder de PV-panelen en de watertemperatuur van de bovenste (10 cm) waterlaag onder de drijvende installatie te registreren op elk van de 4 installaties. De benodigde 8 temperatuursensoren (micro dataloggers) zijn relatief goedkoop en eenvoudig in gebruik.

Voor de lichtmetingen wordt voorgesteld om meetcampagnes te houden waarin in een vast patroon rondom de drijvende PV-installatie gemeten wordt. Deze trajectmetingen dienen minimaal één keer (per PV-systeem) plaats te vinden met zonnig weer en één keer per PV-systeem met bewolkte weer.

² indien mogelijk worden metingen aangevuld met een continue meting van chlorofyl-a, troebelheid en eventueel phycocyanine.

Deze meetcampagnes kunnen worden gecombineerd met de (twee wekelijkse) verplaatsing van de mobiele meetopstelling. Met een lichtmeter wordt op verschillende dieptes de licht-inval gemeten, 1 meting direct onder het oppervlak en verschillende metingen op diverse dieptes.

Deze diepteprofielen worden herhaald op verschillende afstanden van de PV-installatie. Minimaal één meting onder (als dat logistiek mogelijk is) de PV-systemen, één er naast en één buiten de schaduw van het PV-systeem.

We nemen aan dat de volgende continue gegevens van de PV-installatie beschikbaar komt: de bedrijfstemperatuur van de panelen, de energieopbrengst en, indien van toepassing, de temperatuur en debiet van waterkoeling van de panelen.

Het is wellicht mogelijk om continue metingen te combineren met de monitoringssoftware die in de Slufter aanwezig was voor de monitoring van de energieopbrengst (o.a. datalogger en 4G verbinding). Hiervoor dient contact opgenomen te worden met de beheerder van deze meetopstelling (Deltares: Jelle Molenaar en Bas Blok).

B.4 INSTRUMENTATIE

B.4.1 MULTIPARAMETERSONDE

Meetinstrumenten meten vaak meerdere grootheden gelijktijdig. De multiparametersonde van YSI is geschikt voor het meten van waterkwaliteitsvariabelen zoals chlorofyl-a, blauwalgpigment (phycocyanine), troebelheid, zuurstof pH en temperatuur en meer. Multiprobes zijn kostbaar maar erg praktisch omdat meerdere sensoren in één behuizing zijn ondergebracht. Bij aanschaf van een nieuw instrument is er ook keuzevrijheid voor de individuele sensoren.

De multiparameter YSI sonde (Type 6600 V2) heeft maximaal 6 sensoren waarvan 4 optisch. Het instrument is waarschijnlijk beschikbaar bij RWS en zeer geschikt gebleken in het Markermeer (NMIJ studie) voor het meten van:

- Temperatuur;
- pH ;
- Chlorofyl-a;
- Blauwalgen (phycocyanine);
- Troebelheid;
- Zuurstof.

De sensoren zijn uitgerust met een wisser die de ergste vervuiling tegengaat. De benodigde onderhoudsfrequentie kan het best met de meetdienst van RWS worden afgestemd. Voor het Markermeer (slibrijk) voldeed een tweewekelijks onderhoud. Deze frequentie stellen we in principe ook voor de Slufter voor. Gelijktijdig met het verplaatsen van het instrument naar een andere PV-installatie moet de multisensor worden gecontroleerd, uitgelezen en schoon-gemaakt.

Hoewel phycocyanine en troebelheid “gratis” mee kunnen worden gemeten met deze sensor stellen we ze niet voor in dir meetplan voor de Slufter omdat ze hier niet geïdentificeerd zijn als relevant.

De sensor voor chorofyl-a (en phycocyanine) moet altijd worden gekalibreerd met monsters uit het veld. Dit gebeurt gelijktijdig met de andere mobiele metingen. De YSI multiparameter-

sensor maakt gebruik van een optische zuurstofmeting.

Deze is veel minder gevoelig voor verloop (drift) dan de conventionele membraantechniek. De zuurstof, pH- en temperatuursensor moeten ook twee wekelijks worden gekalibreerd.

Plaatsing van de YSI multiprobesensor is eenvoudig: de sensor kan worden “opgehangen” in verticale positie aan een daarvoor bestemd haakje aan het instrument.

B.4.1 MICRO-DATALOGGER

De temperatuur kan ook worden geregistreerd met zogenaamde micro dataloggers (divers). Deze zijn klein en relatief goedkoop. Ze registreren gedurende lange tijd zonder externe stroomvoorziening de water- en/of luchttemperatuur (en druk waaruit indien nodig waterdiepte afgeleid kan worden). Het uitlezen van de gegevens kan aan het eind van de meetcampagne of frequenter (bijv. elke twee weken) indien gewenst. De micro-dataloggers worden gebruikt om de luchttemperatuur onder de PV-installaties te meten en aanvullend aan de metingen van de Multisensor, de watertemperatuur van de toplaag onder de PV-installatie (bovenste 10 cm).

B.4.2 LICHTMETING

Voorgesteld wordt in het veld metingen te doen aan de lichtuitdoving in het water door middel van een Secchi-schijf en een extinctiemeter.

Voor extinctiemeter wordt een lichtsensoren (merk LI-COR 192 Quantum Sensor met LI-1400 datalogger) voorgesteld die gericht is op verticaal invallend licht en gecorrigeerd is voor zijn openingshoek. De LI-COR is een diode-ontvanger van zonlicht die meet hoeveel zonlicht in het PAR golflengtebereik (400-700 nm) op de ontvanger valt. Door op verschillende dieptes het verticaal naar beneden gerichte licht ('downwelling') meten kan uit het verschil de extinctiecoëfficiënt (Kd-PAR, 1/m) worden berekend. Door ook een verticaal naar beneden gerichte sensor te gebruiken wordt ook de naar boven gerichte straling ('upwelling') gemeten.

Beide aspecten van de straling (upwelling en downwelling) kunnen nuttig zijn om een compleet beeld te krijgen van de in de waterkolom beschikbare hoeveelheid licht. Beide sensoren zijn gemonteerd op een frame.

TABEL B.1 OVERZICHT VAN BENODIGDE INSTRUMENTEN

Parameter	Type instrument	Aantal	Plaatsing	Merk	Kosten (euro)
Licht	Lichtfluxmeter	1	campagne	LI-COR 192	±5000
Watertemperatuur	Multiprobe sensor				
Troebelheid	Optische sensor	2	PV-systeem en referentie elk op 1 diepte)	YSI 6600 V2-4 of opvolger EX01	20000 (per stuk)
Chlorofyl-a	Optische sensor				
Zuurstof	Optische sensor				
pH	Multiprobe sensor				
Water- en of luchttemperatuur	Micro datalogger	8	lucht en water op 4 PV-systemen	Diver, Baro, Hobo	300

B.4.4 BIJKOMENDE APPARATUUR

Er is mogelijk ondersteunende apparatuur nodig om de metingen te kunnen verrichten. Het gaat daarbij om:

- dataloggers voor de YSI multisensor;
- bevestigingsapparatuur (kabels, boei);
- meetframe voor LI-COR sensor(en);
- reguliere monsternamen-apparatuur;
- Secchi-disk

B.5 INNOVATIEVE(RE) AANPAK

Naast de meer standaardtechnieken zijn er ook innovatieve monitoringstechnieken mogelijk:

<i>Onderwaterdrones</i>	Er zijn diverse onderwaterdrones beschikbaar (www.indymo.nl); (kosten indicatie: ca. € 500 per dagdeel inclusief alle camera's, sensoren, reiskosten, etc.); zie bijlage B.7; Hiermee kan een '3D scan' van zuurstofgehalte en temperatuur gemaakt worden.
<i>Infrarood camera's</i>	aanbevolen om met een IR camera temperatuurbeelden van het PV-systeem en het omliggende water te maken. Op zo'n thermisch beeld is waarschijnlijk goed te zien (1) waar de luchttemperatuur in de omgeving van een drijvende PV-systeem afwijkt van de omgeving en (2) of de oppervlaktewatertemperatuur in de omgeving van de installatie afwijkt van die in de omgeving. Een IR camera is te huur bij bijvoorbeeld de Technische Universiteit Delft.
<i>Glasvezel kabel</i>	DTS (distributed temperature sensing; De Kleine, 2017) is een relatief nieuwe maar al veel toegepaste techniek om met een glasvezelkabel temperatuur (in water en lucht) te meten. Door rondom een PV-systeem een glasvezelkabel te installeren, kan continu een ruimtelijk profiel van de temperatuur worden gemeten. De kabel is goedkoop. Apparatuur voor het uitlezen van de glasvezelkabel moet in een vandalisme-bestendige kast op het PV-systeem worden geplaatst.

B.6 CONCLUSIES EN ADVIES

Voor de Slufter adviseren we om

1. meetcampagnes uit te voeren om op verschillende plekken in de slufter (onder en rondom de PV-systemen) zowel op bewolkte als op zonnige dagen het onderwaterlicht te meten (bij voorkeur elke 2 weken maar minimaal 2x);
2. Permanent lucht- en watertemperatuur onder de panelen op de PV-systemen te meten;
3. een vaste meetopstellingen te gebruiken als referentie voor continu meting van watertemperatuur, pH, zuurstof, troebelheid en chlorofyl-a op één waterdiepte;
4. gedurende twee weken (roulerend) onder een ponton op één diepte continue watertemperatuur, pH, zuurstof, troebelheid en chlorofyl-a te meten;
5. additioneel innovatieve metingen met een onderwaterdrone en een IR-camera in te zetten.
6. gebruik te maken van data van KNMI-meetstation Hoek van Holland

B.7 TOEPASSING VAN ONDERWATERDRONE

IMPACTS OF FLOATING URBAN DEVELOPMENT ON WATER QUALITY AND ECOLOGY

R.E. de Graaf ⁽¹⁾⁽⁵⁾, F.C. Boogaard ⁽²⁾⁽⁴⁾, M. Dionisio Pires ⁽³⁾, V. Sazonov ⁽¹⁾⁽⁵⁾, R.L.P. de Lima ⁽¹⁾

(1) DeltaSync, Delft, The Netherlands; (2) Tauw, Amsterdam, The Netherlands; (3) Deltares, Delft, The Netherlands; (4) Hanze University of Applied Sciences, Groningen, The Netherlands; (5) Rotterdam University of Applied Sciences, Rotterdam, The Netherlands

1. Introduction

Floating urbanization solutions are becoming more and more popular worldwide, and in particular in the Netherlands. These solutions offer:

- Flexibility
- Combined use of space (multi-functionality)
- Economic water storage
- Climate change proof solutions



2. Objectives / Research Question

The impacts of floating urbanization on water quality and ecology are largely unknown. This makes it difficult for water authorities and municipalities to create a policy framework that regulates and facilitates the development of new projects.

This study aims at gathering more information and water quality data, in order to answer the research question:

What are the negative and positive impacts of floating urban development on water quality and ecology?

3. Methodology

- Literature Survey
- Expert Workshops
- Surveys
- Aquatic Eco-Scans
- Water Quality Measurements

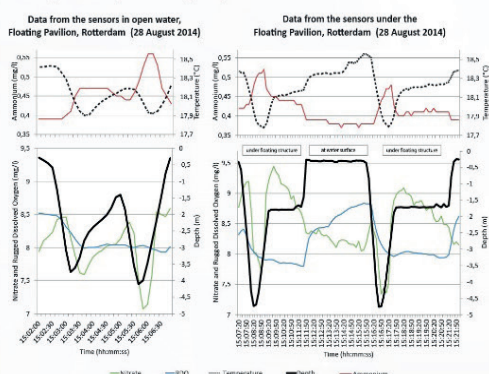


4. Water Quality Measurements

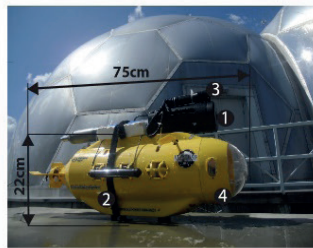
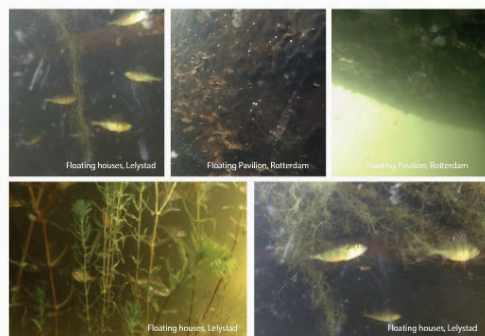
This poster focuses on the collection of water quality data underneath floating constructions. Floating structures cover the water surface, and therefore locally reduce the air-water interactions, but also the penetration of light. To study the effects that this might have on the water quality parameters, an underwater remote controlled drone equipped with several sensors and a video camera was used. Data has been collected from several location in the Netherlands.

5. Results

The data from the sensors allows to see how the water quality parameters vary under floating structures (compared with zones unaffected by the blockage caused by the floating body).

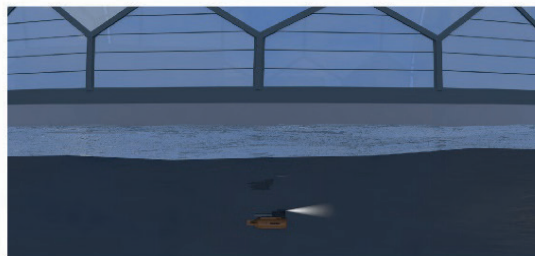


Footage of aquatic life captured by the video camera is also a good indicator of water quality.



Attached Equipment:

- (1) In-situ TROLL 9500 Sensors:
 - Nitrate and Ammonium ISE
 - Rugged Dissolved Oxygen
- (2) CTD Diver:
 - Temperature
 - Pressure
 - Conductivity
- (3) Diving light
- (4) HD Video Camera (GoPro 3+)



6. Conclusions

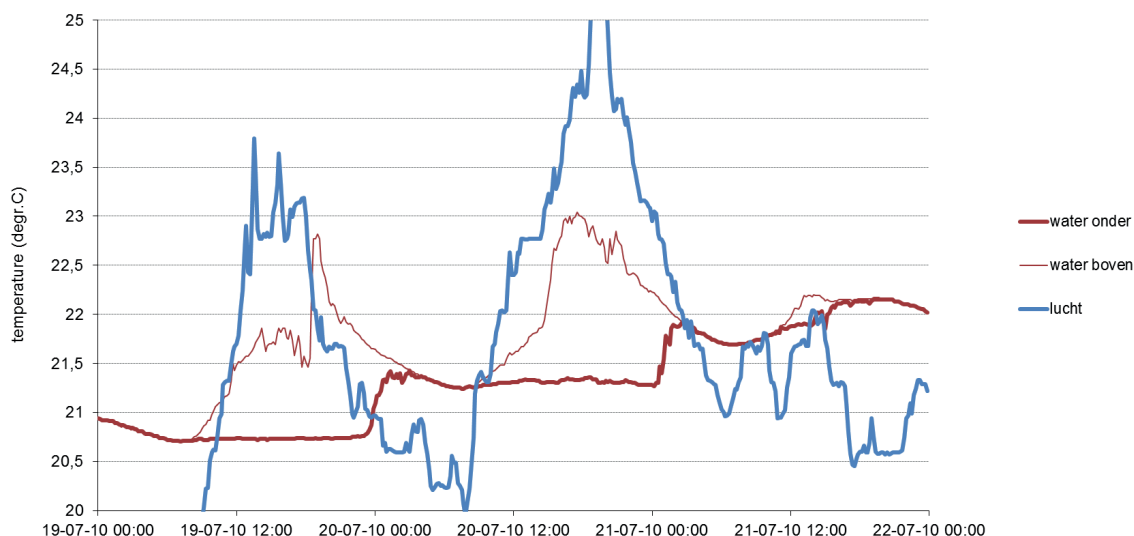
Based on the results and measurement data gathered in this study, it seems that the current small scale floating projects do not have a significant influence on water quality. In the future, larger project can easily be complemented with floating wetlands or other green solutions, in order to ensure their sustainability and their positive impact on the environment.

Despite some limitations such as difficulty to know the exact location of the measurement tool, the water quality measurements using the drone revealed to be an affordable way to collect data in locations that are otherwise troublesome to access by other methods.

The collected data will be made available in an online tool to promote the knowledge transfer among stakeholders and to help gaining insight on the environmental impact of floating developments.

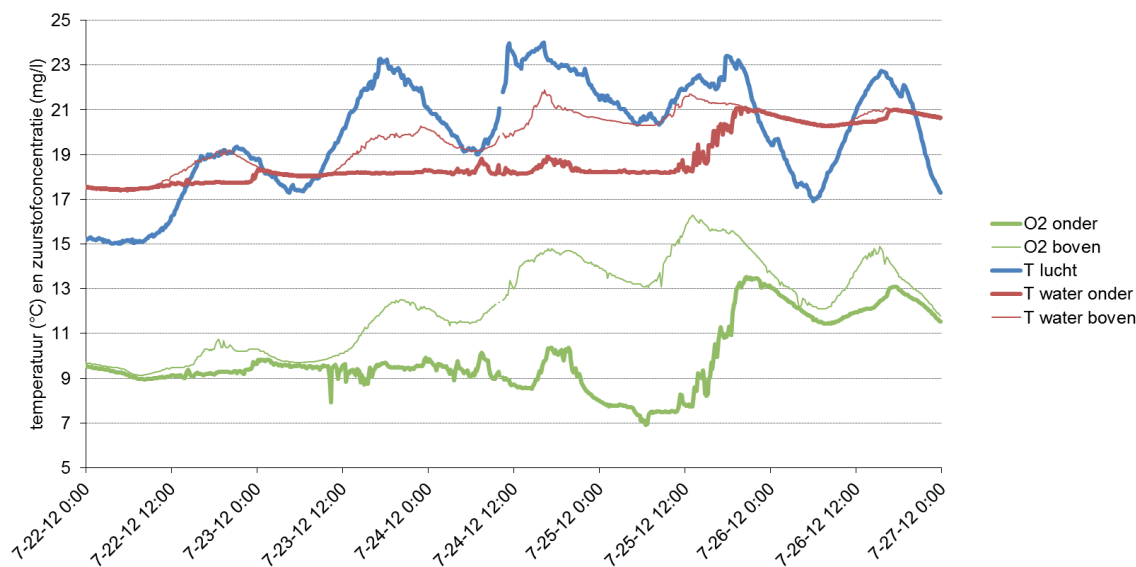
B.8 CASE IJSSSELMEER, VOORBEELD VAN MICROSTRATIFICATIE

FIGUUR B.1 MICROSTRATIFICATIE OP WARM ZOMERDAGEN; VERSCHIL IN WATERTEMPERatuur TUSSEN ONDERSTE WATERLAAG (RODE VETGEDRUKTE ROOD) EN BOVENSTE WATERLAAG (RODE LIJN) ALS GEVOLG VAN OPWARMING DOOR DE LUCHTTEMPERatuur (BLAUWE LIJN)



Figuur B.1 toont een voorbeeld van het ontstaan van microstratificatie op warme zomerdagen (19 t/m 21 juli 2010, zuidelijk deel van het IJsselmeer). Continumetingen m.b.v. een meetpaal van RWS: blauw = luchttemperatuur, rood = watertemperatuur op 1m onder het oppervlak, rood vet = watertemperatuur op 1m boven de bodem. Meestal wordt deze stratificatie 's avonds weer opgeheven als de luchttemperatuur daalt onder de watertemperatuur.

FIGUUR B.2 MICROSTRATIFICATIE OVER MEERDERE ZOMERDAGEN; VERSCHIL IN WATERTEMPERatuur TUSSEN ONDERSTE WATERLAAG (RODE VETGEDRUKTE ROOD) EN BOVENSTE WATERLAAG (RODE LIJN) ALS GEVOLG VAN OPWARMING DOOR DE LUCHTTEMPERatuur (BLAUWE LIJN) HEEFT EEN EFFECT OP DE ZUURSTOFCONCENTRATIE IN DE ONDERSTE WATERLAAG (GROENE VETGEDRUKTE LIJN)



Figuur B.2 toont een voorbeeld van behoud van microstratificatie gedurende een meerdaagse warme periode in het IJsselmeer (meetgegevens RWS m.b.v. een multiparametersonde van YSI aan een meetpaal). Bovenste deel lucht- en watertemperatuur, zie boven, Onderste deel groen = zuurstofconcentratie op een 1m, groen vet = zuurstofconcentratie op 1m boven de bodem.

Als de luchttemperatuur 's avonds ruim boven de temperatuur van de onderste waterlaag blijft, kan de stratificatie 's nachts in stand blijven. In die situatie loopt de zuurstofconcentratie in de onderlaag langzaam terug totdat weer menging optreedt.