

## NOTITIE

**Verkenning naar mogelijke effecten van zonneparken  
op grond- en oppervlaktewater in waterwingebieden  
in de provincie Limburg**

Datum: 1 oktober 2019

Colofon

|                      |   |
|----------------------|---|
| Auteurs:             | Michiel Rutgers (RIVM)<br>Ton Schouten (RIVM)<br>Rick Wortelboer (Deltares)<br>Jappe Beekman (RIVM) |
|                      |   |
|                      |   |
| Contactadres:        | Michiel.rutgers@rivm.nl   |
|                      |   |
|                      |   |
| Opdrachtgever:       | Provincie Limburg   |
| Opdrachtnummer:      | DOC-0001 5649   |
| Titel opdracht:      | Advies effecten zonneweides op grondwater<br>en op oppervlaktewater                                 |
| Opdrachtcoördinator: | Jappe Beekman,<br>Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid,<br>RIVM                               |
| RIVM-projectnummer:  | E/121070/01/AA  |

**Dankwoord**

Eugen Eichmann en Sven Kersten van EnergieAgentur Nordrein-Westfalen (NRW) worden bedankt voor de informatie over de aanleg en exploitatie van zonneparken in Duitsland. Kay Cesar van TNO(ECN) verschafte informatie over de samenstelling van zonnepanelen.

De RIVM collega's Marco Klaassen en Joris Quik worden bedankt voor de kritische beschouwing op verschillende versies van deze notitie. De RIVM collega's Ans Versteegh, Frank Swartjes, Dico Fraters, Sandra Boekhold en Susanne Wuijts danken we voor hun bijdragen aan de modelontwikkeling, en Jeanine Ridder voor het uitvoeren van het literatuuronderzoek. Verschillende medewerkers van provincie Limburg en Waterleiding Maatschappij Limburg worden bedankt voor hun kritische vragen en opmerkingen op een concept-versie van deze notitie.

## **Inhoudsopgave**

### **Inleiding 5**

#### **deel 1 Grondgebonden zonneparken 7**

##### **1 Aanpak 9**

- 1.1 Literatuuronderzoek 10
- 1.2 Landelijke Werkgroep Gebiedsdossiers en externe deskundigen 10
- 1.3 Consultatie RIVM experts 10

##### **2 Resultaten 13**

- 2.1 Literatuuronderzoek 13
- 2.2 Consultatie provincies en externe deskundigen 15
- 2.3 Resultaten consultatie RIVM experts 15

#### **deel 2 Drijvende zonneparken 27**

##### **3 Aanpak 29**

##### **4 Resultaten 31**

- 4.1 Huidige situatie 31
- 4.2 Situatie met een zonnepark 33
- 4.3 Risico's 38
- 4.4 Informatievoorziening 39
- 4.5 Discussie en conclusies 39

#### **Synthese en beantwoording van de vragen 43**

#### **Referenties 47**

#### **BIJLAGE 1: Parameters voor Literatuuronderzoek 49**

#### **BIJLAGE 2: 51 geselecteerde referenties uit het literatuuronderzoek 53**

#### **BIJLAGE 3: Reacties Landelijke Werkgroep Gebiedsdossiers 60**



## Inleiding

De aanleg van grootschalige zonneparken, om in duurzame energieproductie te voorzien, is een relatief nieuwe ontwikkeling in Nederland. Grootschalige zonneparken kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan de energietransitie. Sinds kort, wordt er ook aandacht gevraagd voor effecten op bodem, water, leefomgeving, landschap en duurzaamheid. Dit heeft mede geleid tot de ontwikkeling van regionale 'zonneladders' als beleidsstrategie. In de provincie Limburg wordt het idee van de zonneladder verwerkt in een duurzaamheidsladder die wordt opgenomen in de Provinciale Omgevingsvisie. Niet alleen economische principes zijn leidend, maar de kwetsbaarheid, uniciteit en waarde van het landschap en effecten op de bodem en de biodiversiteit kunnen in de besluitvorming worden meegewogen. In de zonne- of duurzaamheidsladder kan voorkeur worden uitgesproken voor de ontwikkeling van nieuwe zonneparken in combinatie met andere gebruikersfuncties of andere waarden.

Bij de bouw van de eerste zonneparken is (nog) niet voorzien in een systematisch onderzoek naar effecten op het milieu en de natuur. Daarnaast zijn de meeste zonneparken nog maar kort in bedrijf. Het is nog niet bekend of en zo ja op welke termijn welke effecten optreden. Er zijn enkele publicaties over effecten op de bodem en vegetatie op basis van veldonderzoek in het buitenland. Overige artikelen of rapporten over de problematiek zijn geschreven aan de hand van bestaande kennis in combinatie met expert-judgement over de te verwachten veranderingen in processen en bodemfuncties (bijv. Hernandez et al. 2014, Kok et al. 2017). Door Van der Zee et al. (2019) is kennis verzameld van de effecten van zonneparken met een focus op bodem, biodiversiteit, landbouwgrond, bodemvruchtbaarheid, natuurbeschermingsdoelen en -beleving.

De provincie Limburg wil een standpunt bepalen over de vraag of zonneparken in een waterwingebied kunnen worden gerealiseerd. In principe mogen in een waterwingebied alleen activiteiten plaats vinden die met de winning te maken hebben. De vraag is in hoeverre de aanleg, exploitatie en ontmanteling van een zonnepark in strijd is met bescherming van het grondwater en de drinkwatervoorziening. Over de relaties tussen zonneparken en drinkwatervoorziening is niet eerder onderzoek gedaan. De provincie Limburg en Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) hebben daarom het RIVM gevraagd om een verkennend onderzoek te doen naar de potentiële effecten van de aanleg, gebruik, onderhoud en ontmanteling van een grondgebonden zonnepark in waterwingebieden.

In één van de waterwingebieden in de provincie Limburg ligt een als spaarbekken ingericht voormalige grindwinning dat mogelijk in aanmerking kan komen om een drijvend zonnepark op te ontwikkelen. Er is daarom ook behoefte aan inzicht in de effecten van (drijvende) zonneparken op oppervlaktewater. Het betreffende oppervlaktewater in de provincie Limburg (de Lange Vlieter) wordt, na bodempassage, gebruikt voor de openbare drinkwatervoorziening.

### **Afbakening en leeswijzer**

Deze notitie beschrijft:

- deel 1. Mogelijke effecten van grondgebonden zonneparken op het grondwater en op drinkwater(winning) uit grondwater, en
- deel 2. Aquatisch ecologische effecten van een drijvend zonnepark op een als spaarbekken ingericht oppervlaktewater (bijvoorbeeld de Lange Vlieter).

Effecten op onder andere natuurwaarden, landschap, esthetische aspecten en socio-economische waarden worden hier niet beschouwd. Bij het bepalen van beleidsuitgangspunten door de provincie kunnen deze wel meegewogen worden.

Deel 1 is samengesteld en geschreven door het RIVM. Vijf RIVM experts zijn geïnterviewd en is gebruik gemaakt van externe bronnen zoals beschreven in de tekst. Deel 2 is samengesteld en geschreven door Deltares.

In deze rapportage wordt, voor zover beschikbaar, kennis aangereikt waarmee de provincie Limburg haar beleidsuitgangspunten kan bepalen. Deze beleidsuitgangspunten zelf, of advisering daarover, maakt geen deel uit van de rapportage.

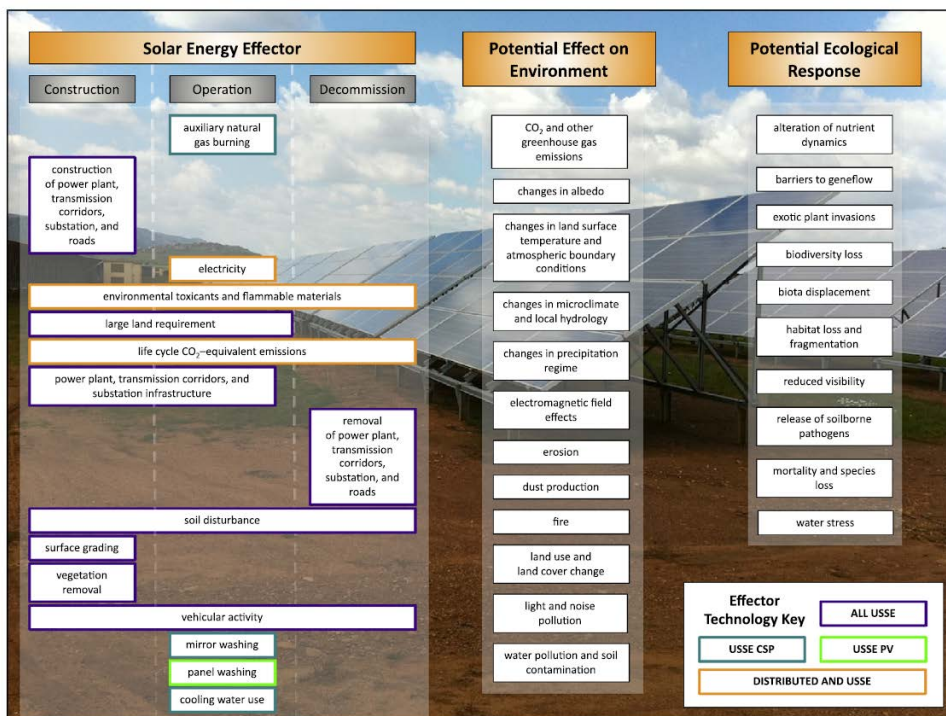
In deze notitie is afsluitend een synthese opgenomen waarin aan de hand van een aantal concrete vragen van de provincie Limburg en WML input geleverd wordt voor de standpuntbepaling inzake de inpassing, de aanleg, exploitatie en ontmanteling van zonneparken in relatie tot grondwaterbescherming (voor grondgebonden zonneparken) en oppervlaktewaterbescherming (bij drijvende zonneparken) bij de drinkwatervoorziening.

## deel 1 Grondgebonden zonneparken



# 1 Aanpak

De analyse in deze notitie heeft de vorm van een verkenning, waarbij in een korte tijd informatie is verzameld, met een beperkte (kwantitatieve) diepgang. Er was geen ruimte en tijd om verdiepende analyses van deelaspecten uit te voeren. Met kwalitatieve informatie uit interviews met RIVM experts is een zogenoemd voorlopig 'conceptueel model' samengesteld dat alle potentiële relaties tussen een zonnepark, het grondwater en de drinkwatervoorziening beschrijft, naar analogie van het conceptuele model voor milieueffecten van grondgebonden zonneparken van Hernandez et al. (2014) (figuur 1). Een analyse van de omvang van de potentiële effecten kon door gebrek aan kwantitatieve gegevens, beperkte integrale kennis en de beperkte looptijd van het onderzoek (twee zomermaanden) niet uitgevoerd worden.



Figuur 1. Breed 'conceptueel model' van Hernandez et al. (2014) als basis voor de inschatting van effecten van grote grondgebonden zonneparken op het milieu.

Vanwege de beperkte informatie is voor deel 1 Grondgebonden zonneparken een inventarisatie op verschillende, maar elkaar aanvullende fronten gekozen. Dit betreft:

1. een beperkt literatuuronderzoek;
2. een consultatie van de Landelijke Werkgroep Gebiedsdossiers en externe deskundigen;
3. een interne RIVM consultatie met zeven experts bodem, grondwater en/of drinkwater.

Met deze informatie is een conceptueel model samengesteld als leidraad voor een (toekomstige) kwantitatieve beoordeling van de effecten en de risico's van

een grondgebonden zonnepark voor de grondwaterkwaliteit en de drinkwaterwinning (Paragraaf 3.3). Dit conceptuele model is in een vervolgronde aan de RIVM experts voorgelegd voor commentaar, vergezeld met de vraag om een eerste weging te doen op de vermeende omvang van de effecten op grondwaterkwaliteit en de drinkwatervoorziening, voor zover mogelijk. Deze input is verwerkt in de versie van het conceptuele model zoals opgenomen in deze rapportage.

## **1.1 Literatuuronderzoek**

Er is een literatuuronderzoek uitgevoerd door een gespecialiseerde onderzoeker van de afdeling Communicatie en Documentaire Informatievoorziening van het RIVM om informatie over het onderwerp te verzamelen, zowel in de wetenschappelijke literatuur als in de zogenaamde grijze literatuur in openbare rapporten van kennisinstituten of adviesbureaus. Tevens is met een algemeen internet-zoekprogramma gezocht naar krantenartikelen, opiniestukken op discussiefora of uitspraken. In deze fase van het verkennend onderzoek levert dit soms bruikbare informatie, of nieuwe ideeën op.

De gebruikte zoekprofielen voor dit project zijn opgenomen in Bijlage 1. Zoals verwacht bleek uit een eerste scan dat er niet of nauwelijks publicaties bestaan die rechtstreeks gaan over 'de effecten van een zonnepark op de grondwaterkwaliteit en de drinkwaterwinning in een wingebed'. Daarom werd er voor gekozen om de literatuursearch breder in te zetten en meer gerelateerde aspecten in het onderzoek te betrekken. Deze werden daarna ingeperkt door minder combinaties van trefwoorden toe te staan, via een aantal 'operators' (AND, OR, NOT).

## **1.2 Landelijke Werkgroep Gebiedsdossiers en externe deskundigen**

Onder de leden van de Landelijke Werkgroep Gebiedsdossiers is in het voorjaar van 2019 bij de deelnemende provincies en drinkwaterbedrijven een aantal vragen gesteld, naar de meningen over, en de ervaringen met, het aanleggen van een zonnepark in een waterwingebied. Hierop zijn reacties gekomen van de provincies Drenthe, Gelderland en Utrecht, het ministerie van IenW en de VEWIN. Het onderwerp speelt op meerdere plekken, maar heeft nog niet geleid tot concrete acties of aanpassing van het huidige beleid. De provincie Utrecht heeft een monitoringsverplichting opgelegd, voor effecten op natuur en biodiversiteit, maar niet voor het grondwater of de drinkwaterwinning.

Om ervaringen vanuit Duitsland te betrekken is contact geweest met Dhr. Eugen Eichmann van EnergieAgentur Nordrein-Westfalen. Dhr. Eichman is specialist in aanleg en beheer van grondgebonden zonneparken.

## **1.3 Consultatie RIVM experts**

Naast de twee RIVM auteurs Ton Schouten en Michiel Rutgers hebben de volgende vijf RIVM experts inhoudelijke input geleverd over de potentiële relaties tussen grondgebonden zonneparken, het grondwater en de drinkwatervoorziening: Ans Versteegh (thans gepensioneerd), Frank Swartjes, Sandra Boekhold, Susanne Wuijts en Dico Fraters. De RIVM auteurs en deze vijf experts hebben allemaal een track record en zijn werkzaam (geweest) in projecten rond bodem, grondwater en/of drinkwater. De vijf experts zijn onafhankelijk van elkaar geïnterviewd door Ton Schouten en Michiel Rurgers. De

informatie uit deze gesprekken vormde de inventarisatie van mogelijke effecten van grondgebonden zonneparken op het grondwater en de drinkwatervoorziening en leverde de bouwstenen voor een voorlopig conceptueel model.

In een tweede ronde is aan de betrokken experts gevraagd om de individuele modules een gewicht te geven naar gelang de vermeende relatieve bijdrage aan het totale risico in een toekomstige risicobeoordeling. Door de losse modules in het schematische model te wegen, konden de RIVM experts reflecteren op het integrale resultaat van dit onderzoek. Het doel was om hiaten te vinden, en om onbelangrijke aspecten in een vroegtijdig stadium te signaleren.

Voor het scoren werd een Likert-schaal gebruikt, die liep van 0 (vermoedelijk onbelangrijk aspect in de risicobeoordeling) tot 10 (vermoedelijk uiterst belangrijk aspect in de risicobeoordeling). Zes keer werd de scoretabel ingevuld.



## 2 Resultaten

### 2.1 Literatuuronderzoek

De zoekactie van de literatuur is in drie stappen uitgevoerd (Bijlage 1). De brede scan leverde 336 treffers op die aan het onderwerp zijn gerelateerd. In een tweede stap is dit toegespitst op de onderwerpen 'landgebruik, effecten algemeen of op het ecosysteem, of een lokaal hitte eiland'. Hiermee werden 19 nieuwe referenties gevonden. Tot slot werd de nadruk gelegd op 'effecten op bodem, water, grondwater' wat een selectie van 38 extra documenten opleverde. Met een aanvullende scan op auteurs die in de referenties van een aantal artikelen voorkomen, en na 'ontdubbeling' bleven er 191 publicaties over om op bruikbaarheid te beoordelen. Hieruit werd een nadere selectie gemaakt van 51 interessante publicaties (zie Bijlage 2). Van deze publicaties zijn de abstracts doorgelezen, en zijn resultaten in detail bekeken als daar aanleiding toe was.

Naast het onderzoek van de wetenschappelijke literatuur, is ook een aantal bronnen met 'grijze literatuur' bekeken. Dit betreft bijvoorbeeld publicaties (rapporten) van instituten of organisaties die zich bezig houden met onderzoek aan, of de ontwikkeling van zonne-energie technieken (zie Bijlage 1.2 voor deze bronnen). Het leverde slechts enkele rapporten op, die nader zijn bekeken.

In de geselecteerde referenties zijn een aantal hoofdlijnen van veel voorkomende onderwerpen te onderscheiden. Een daarvan is 'Agrophotovoltaic- of Agrivoltaic systems'. Vooral buiten Nederland wordt er veel aandacht besteed aan de combinatie van akkerbouw en zonne-energie. Een aantal negatieve/beperkende factoren blijkt gecompenseerd te kunnen worden door abiotische omstandigheden die ten gunste veranderen. Mede door de keuze van de juiste rassen en gewassoorten, is een rendabele productie te behalen. Wanneer de 'oogst van duurzame energie' wordt meegerekend, kan de totale productiviteit van een gebied aanmerkelijk worden vergroot. Deze (agrarische) facetten zijn buiten beschouwen gelaten in onderhavige onderzoek, omdat er slechts gekeken wordt naar de effecten op drinkwaterwinning.

Publicaties waarin effecten op grondwater worden beschreven gaan meestal over zonnecentrales waarbij energie door spiegels wordt gebundeld, en wordt omgezet in stoom om een turbine aan te drijven. Deze systemen gebruiken vaak grondwater voor koeling of als proceswater. De grondwateronttrekking kan effecten hebben op de grondwatervoorraad voor drinkwatervoorziening, of op de natuur/landbouw in de omgeving van een dergelijke centrale. Ook deze bronnen zijn niet direct relevant voor de vraag naar effecten van een zonnepark in een waterwingebied in Nederland.

Een andere categorie van publicaties is die over fysische veranderingen in de bodem en luchttemperatuur, bodemvocht en transport van water in de bodem. Deze publicaties zijn meer van toepassing voor het inschatten van effecten op de kwaliteit van het grondwater. Deze publicaties gaan echter over gebieden of bodemtypes (tropische regio's, woestijnen) die sterk afwijken van de Nederlandse situatie. De concentratie van regenwater in 'lekranden' verandert het vochtgehalte in de bodem onevenredig, waardoor doorlaatbaarheid toeneemt. Er zijn echter ook publicaties die laten zien dat het watertransport na ca. 1 m-mv weer als een volledig gemengd systeem kan worden beschouwd.

Een andere categorie van publicaties is die over de zware metalen die worden gebruikt in de verschillende typen zonnepanelen. De meest gebruikte poly- en mono-kristallijne zonnecellen worden gekoppeld en bevestigd ('ingepakt') achter een inerte glasplaat, om gezamenlijk een zonnepaneel te vormen. Dit type panelen bevatten relatief weinig zware metalen die schadelijk kunnen zijn voor het milieu. De silicium kristallen in de zonnecellen zelf bevatten kleine hoeveelheden borium, gallium, fosfor of arseen om er een halfgeleider van te maken. De elektrische componenten en verbindingen in een zonnepaneel bevatten metalen (zoals cadmium, koper, lood) die ook voorkomen in (consumenten)elektronica.

Ondanks dat (glazen)zonnepanelen als inert worden beschouwd, is uit recent onderzoek in een zonnepark van de State University van New York in Buffalo gebleken dat gehaltes aan selenium, strontium, lithium, nikkel en barium significant zijn verhoogd in de bodem dichtbij zonnepanelen (Robinson en Meindl 2019). Deze stoffen zijn in de panelen aanwezig. Voor lood en cadmium gold dit niet. De verhoogde metaalgehalten waren volgens de auteurs echter niet van een dusdanig niveau dat effecten op het ecosysteem te verwachten zijn.

Panelen gemaakt volgens de zogenaamde dunnelaagtechnologie c.q. amorf silicium, of dunne laag composieten, hebben als nadeel dat er veel meer metalen in zijn verwerkt (koper, indium, gallium en selenide). Het voordeel is dat deze panelen flexibel zijn, waardoor veel meer toepassingsmogelijkheden ontstaan. Ze zijn echter minder inert en gevoeliger voor beschadigingen. In dat geval is er een groter probleem met het uitspoelen van toxische metalen.

Voor zover er LCA-studies (Life Cycle Assessment) zijn gedaan, beperken die zich meestal tot het vergelijken van CO<sub>2</sub>-productie bij traditionele methoden van energie-opwekking versus zonne-energie (carbon footprint; Campos-Guzmán et al. 2019). Soms wordt hier het benodigde beslag op het landoppervlak bij betrokken, of effecten op de regionale biodiversiteit. Zowel in de Verenigde Staten van Amerika als in Zuid-Afrika is onderzoek gedaan naar de vogelsterfte in zonneparken (Grippio et al. 2014). Alhoewel de oorzaken niet altijd duidelijk zijn, worden regelmatig (resten van) dode vogels aangetroffen. Voor het type calamiteiten maakt het uit of er sprake is van centrales met fotovoltaïsche panelen of 'concentrating solar power'. De laatste kan bijvoorbeeld verbrandingen veroorzaken, maar is niet relevant voor de Nederlandse situatie, omdat deze installaties niet in Nederland worden aangelegd. In Amerika is het sterftecijfer van vogels in zonneparken ca. 10 per megawatt geschat. Bij het onderzoek in Zuid-Afrika werd een gemiddeld sterftecijfer gevonden van 4,5 per megawatt. Voor een groot park van 180 ha, loopt dit jaarlijks op tot gemiddeld 435 dode vogels.

Er zijn geen gegevens gevonden van vogelsterfte in of door zonneparken in Nederland. Wanneer dit een relevant effect blijkt te zijn, zou het een effect kunnen hebben voor de microbiologische toestand van het oppervlaktewater (verhoogde gehalten van pathogene micro-organismen in water). Pathogene micro-organismen worden bij de bodempassage verwijderd door hechting aan gronddeeltjes en door afsterving. Daarmee levert dit geen risico op voor de drinkwaterwinning.

De ingrepen die gepaard gaan met het aanleggen van een zonnepark worden treffend geïllustreerd in een Duitse publicatie in een technisch vakblad voor de bouw. In een zonnepark met 7600 panelen werden (bovengronds) 3800

betonnen elementen geplaatst van 480 kg per stuk. Ondanks dat er bij dit systeem niet hoeft te worden gegraven, werd de bodem onder de elementen eerst gestabiliseerd met 10.000 ton 'mineral mix'. Voor de verdere inrichting en afwerking (vergroening) tussen de rijen werk nog eens 15.000 ton grond verzet. Hieruit blijkt dat de aanleg van een zonnepark als een grote bouwactiviteit gezien kan worden.

Bijlage 2 bevat een referentielijst met de titels en auteurs van de meest relevante literatuur.

## 2.2 Consultatie provincies en externe deskundigen

De provincie Overijssel heeft net als Limburg ook de vraag gesteld over effecten van zonneparken op grondwater en drinkwaterwinning. Op dit moment wordt gewacht met vergunningsverlening, totdat er meer duidelijkheid is.

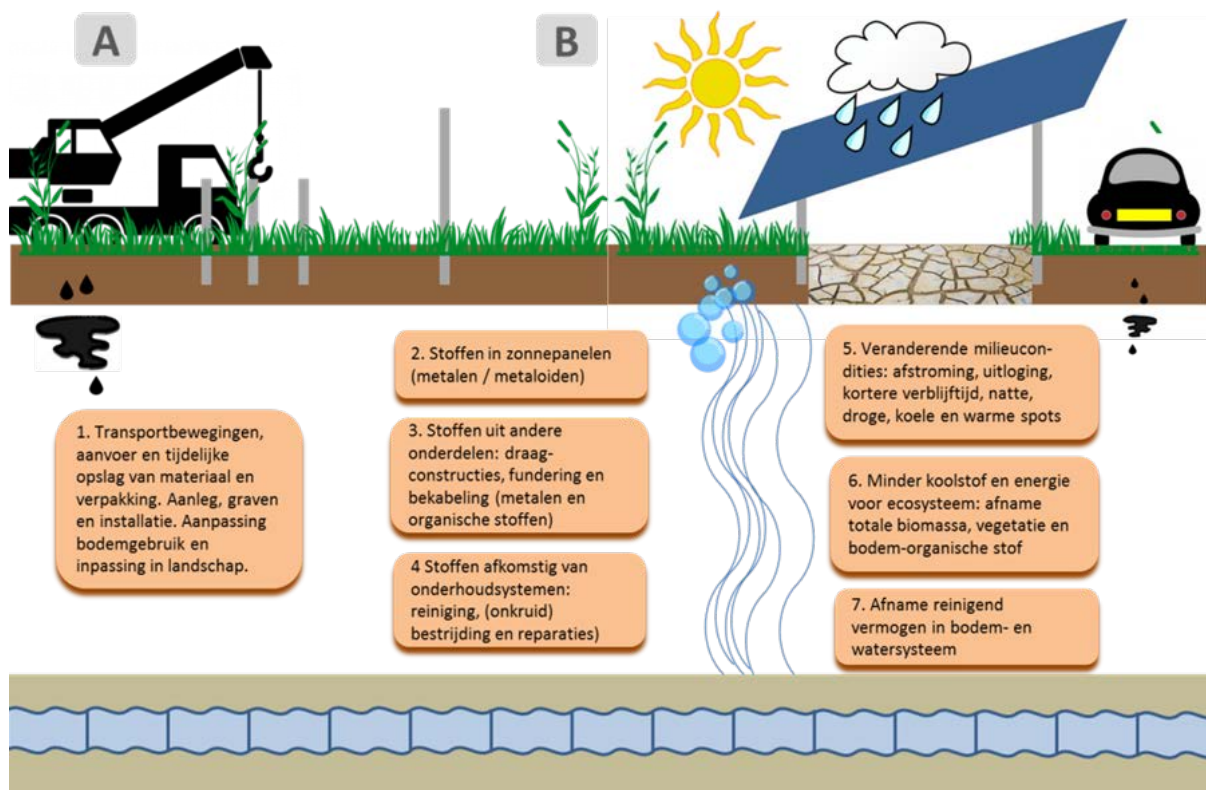
Duitsland is eerder begonnen met de aanleg van grondgebonden zonneparken en er zijn diverse richtlijnen beschikbaar, ook voor aanleg in drinkwaterwingebieden: Merkblatt Nr1.2/9 Planung und Errichtung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen in Trinkwasserschutzgebieten (BLU 2013). Met andere woorden, er is staand beleid voor de aanleg van zonneparken in drinkwaterwingebieden. De veronderstelling is dat de risico's acceptabel zijn, mits aan voorwaarden wordt voldaan bij de bouw en het gebruik van de zonneparken. Voor de schatting van de risico's wordt verwezen naar een rapport van Herden et al. (2009). De nieuwste literatuur over bijvoorbeeld uitloging van PV panelen is hierin niet verwerkt. Opvallend is dat in de richtlijn (BLU 2013) rekening gehouden wordt met zonerings bij drinkwaterwinning: in beschermingsgebieden type A en B wordt onder voorwaarden de aanleg van zonneparken toegestaan. In de zone met de hoogste bescherming is de aanleg van zonneparken verboden. Het is interessant om te achterhalen welke argumenten aan het verbod verbonden zijn en welke voorwaarden (en waarom) worden gesteld aan de aanleg in beschermingsgebieden type A en B.

## 2.3 Resultaten consultatie RIVM experts

De vijf gesprekken met RIVM experts zijn gevoerd aan de hand van onderstaande vraag. De resultaten zijn samengevoegd en niet meer herleidbaar naar de persoon. Vaak werden dezelfde elementen door verschillende personen aangedragen, dat levert dubbelingen op die niet zijn weergegeven. De samengevoegde resultaten zijn gebruikt om het conceptuele model op te stellen.

De vraag die aan de deskundige gesteld werd luidde als volgt:

*Welke relatie zie je tussen de aanleg, aanwezigheid en ontmanteling van een grondgebonden zonnepark en de mogelijke effecten op het grondwatersysteem en de grondwaterwinning voor drinkwaterproductie. Bij beantwoording gaat het (nog) niet om een inschatting van de omvang van de potentiële effecten, of de kans dat het effect daadwerkelijk optreedt. Daarnaast wordt niet uitgegaan van maatregelen die de risico's van een grondgebonden zonnepark beperken of uitsluiten. Voor een helder beeld wordt uitgegaan van een zeer groot zonnepark (~100 ha) met een zuid-opstelling (bodembedekking van ongeveer 50%), laag gemonteerd op een draagconstructie zonder specifieke eisen voor wat betreft de gebruikte materialen, de wijze van installatie, het onderhoud aan de installatie, en ontmanteling aan het einde van de levensduur.*



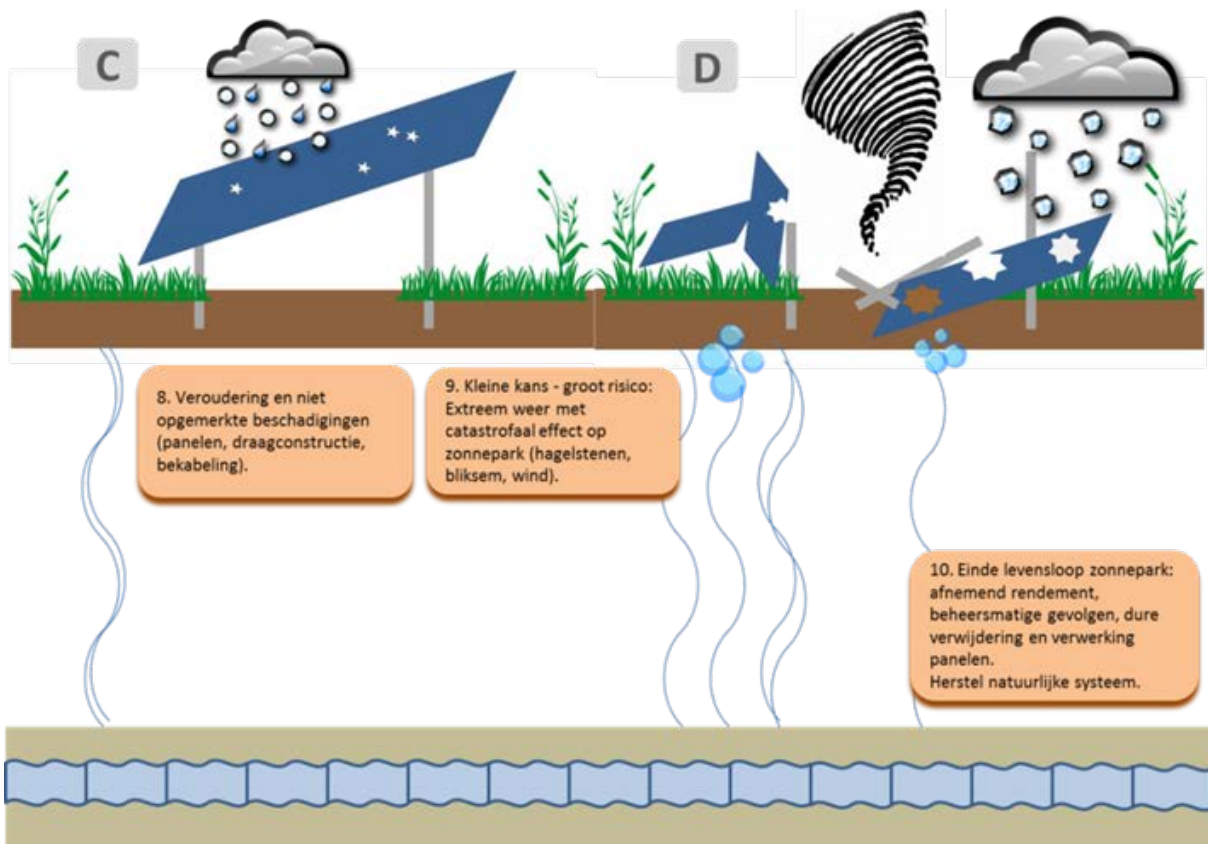
Figuur 2. Eerste versie van een conceptueel model met tien modules voor de risicobeoordeling van grondgebonden zonneparken bij drinkwaterwingebieden. Zie tekst voor uitleg.

Al met al gaan we in dit stadium uit van een inventariserend onderzoek waarbij diverse aspecten voorlopig allemaal een gelijk gewicht krijgen om zo alle 'potentiële' risico's in kaart te brengen. Dit wijkt af van een worst-case scenario, waarbij de onzekerheid over de effecten doorwerkt in de berekening van het risiconiveau. In de praktijk zijn potentiële effecten niet allemaal vergelijkbaar, en afhankelijk van de exacte wijze van aanleg, omvang en gebruikte materialen. Soms zelfs irrelevant als een bepaalde probleemstof bijvoorbeeld niet in de panelen aanwezig is. Door de gekozen uitgangspunten komen in ieder geval alle potentiële risico's in beeld. Als er oplossingen voor problemen voorgesteld worden en beschikbaar zijn, dan dienen alle gevolgen van de oplossing te worden bestudeerd, ook de vaak onbedoelde neveneffecten.

### Conceptueel model

Voor de uitwerking van het conceptueel model is gekozen om mogelijke effecten van een zonnepark te structureren in verschillende fasen (figuur 2, naar analogie van figuur 1). De structuur en de losse modules zijn gebaseerd op de informatie die uit de interviews naar voren is gekomen:

- A. aanlegfase grondgebonden zonnepark
  1. Transportbewegingen, aanvoer en tijdelijke opslag van materiaal en verpakking. Bouwrijp maken, graven en installatie. Aanpassing bodemgebruik en inpassing in landschap.
- B. normaal gebruik
  2. Stoffen in zonnepanelen (metalen en metalloïden)
  3. Stoffen uit andere onderdelen: draagconstructies, funderingen bekabeling (metalen en organische stoffen)



Figuur 2. Vervolg.

4. Stoffen afkomstig van onderhoud systemen: reiniging, (onkruid)bestrijding, reparaties
5. Veranderende milieucondities: afstroming, uitloging, kortere verblijftijd, natte, droge, koele en warme spots
6. Minder koolstof en energie voor ecosysteem: afname totale biomassa, vegetatie en bodemorganische stof
7. Afname reinigend vermogen in bodem- en watersysteem
- C. niet opgemerkte beschadiging en verminderd functioneren
  8. Veroudering en niet opgemerkte beschadigingen (panelen, draagconstructie, bekabeling).
- D. grote calamiteiten en einde levensloop zonnepark, eventueel hergebruik en ontmanteling
  9. Kleine kans - groot risico: Extreem weer met catastrofaal effect op zonnepark (hagelstenen, bliksem, wind)
  10. Einde levensloop zonnepark: afnemend rendement, beheersmatige gevolgen, dure verwijdering en verwerking panelen. Herstel natuurlijke systeem.

De tien modules worden hieronder uitgelegd en uitgewerkt, waarbij in cursief ook een korte analyse wordt gepresenteerd over de belangrijkste onderzoeksvragen inclusief schatting van de benodigde inspanningen:

- Gering: enkele weken, met beperkte inzet experts
- Matig: enkele maanden tot jaar, met beperkte inzet experts
- Omvangrijk: jaren met veel experts en meerdere wetenschappelijke publicaties



*Figuur 3. De aanleg van een zonnepark gaat soms gepaard met intensief vrachtverkeer, bouwrijp maken van de bodem en andere graafwerkzaamheden (foto van het AVRI zonnepark bij Beneden-Leeuwen).*

***A1: Aanlegfase zonnepark: transportbewegingen, aanvoer en tijdelijke opslag van materiaal en verpakking. Aanleg, graven en installatie.***

***Aanpassing bodemgebruik en inpassing in landschap.***

Bij de aanleg van een zonnepark leiden veel transportbewegingen tot verdichting van de bodem en een grotere kans dat systeemvreemde stoffen het systeem inkomen (bijv. olie lekkage; figuur 3). Tijdens de opslag kunnen stoffen uit verpakkingen of constructiemateriaal komen. Graafwerkzaamheden en verstoring van het bodemprofiel (funderingspalen, kabels etc.) kunnen voor extra kortsluitstromen zorgen die de hydrologie in het bodem- en watersysteem aantast (zie ook B5, voor meer effecten op de hydrologie).

Van belang is ook de inpassing in het landschap en het oorspronkelijke bodemgebruik. Bijvoorbeeld de oorspronkelijke begroeiing en de vraag of deze moet worden verwijderd voor de aanleg van een zonnepark. Als het om een beboste omgeving gaat en er bomen moeten worden gerooid om zonnepanelen te plaatsen, dan heeft dat eenmalige, extra effecten op de CO<sub>2</sub>-balans. Het rooien van bomen heeft tevens gevolgen voor de uitspoeling van stikstof en uitloging van andere elementen, door de verstoring van de evenwichten in het bodemsysteem. Ook het voormalige bodemgebruik is mogelijk van belang. In de provincie Limburg liggen agrarische beheerde bodems soms nabij of zelfs in de waterwingebieden. Een maïsakker wordt normaliter bemest en dat vervalt bij een zonnepark, waardoor het risico op nitraatuitspoeling mogelijk kleiner wordt. Er is echter ook geen opname van stikstof als de gewassen worden verwijderd, dus in eerste instantie kan de uitspoeling ook groter worden.

*Deze module is zeer gevarieerd in de soorten van impact, namelijk: zeer afhankelijk van gekozen inrichting en materialen, oorspronkelijk bodemgebruik en vegetatie, wijze van installatie, hoeveelheid grondverzet, vervoerintensiteit, aanleg ontsluitingswegen, publieke perceptie, et cetera. In grote lijnen kan hiervoor met experts (geringe tot matige inspanning) een afwegingskader voor worden ontwikkeld, maar locatiespecifiek maatwerk om de inschatting realistisch te maken blijft altijd nodig.*

**B2: Normaal gebruik: Stoffen uit panelen (metalen en metalloïden).**

Zonnepanelen bevatten een scala aan materialen en stoffen, die over het algemeen goed zijn vastgelegd in de constructie en zijn afgedekt met een kunststof film of laag van glas. Toch lijkt onderzoek aan te geven dat deze stoffen bij normaal gebruik uit de panelen kunnen komen. Lokale risicodrempels voor verontreiniging in de bodem worden bij onbeschadigde panelen echter niet overschreden (Robinson en Meindl 2019). Zogenaamde dunne film panelen (CIS) zijn gevoeliger voor beschadigingen, die bij normaal gebruik kunnen ontstaan, en waardoor stoffen kunnen uitloggen (zie C8 en D9; Espinosa et al. 2016, Tammaro et al. 2016). Sommige stoffen zijn toxisch en potentieel risicovol. Zonnepanelen bevatten, afhankelijk van het type, verschillende mengsels van uitloogbare metalen (en metalloïden). De belangrijkste zijn: aluminium, barium, lood, cadmium, zink, lithium, selenium, strontium, tin, nikkel, tellurium, koper en zilver.

In tabel 1 zijn de resultaten van metalen in uitloogexperimenten getoond van 26 verbrokkelde kristallijne silicium zonnepanelen (Tammaro et al. 2016). De auteurs merken bij deze resultaten op dat de zonnepanelen (in de tijd, en per fabrikant) zo sterk van elkaar verschillen, dat er geen algemeen gemiddelde kan worden gegeven voor de samenstelling van dit type paneel (zie spreidingsmaten tabel 1). Om een inschatting te geven van de hoeveelheid metalen die in een worst-case situatie zou kunnen vrijkomen uit verbrokkelde delen, is een aanvullende berekening gemaakt van concentraties, naar een uitspoelbare hoeveelheid (mg/m<sup>2</sup>) in de rechter kolom van tabel 1.

*Tabel 1. Gemiddelde waarde en spreidingsmaten voor metalen in ongefiltreerde elutriaten (schudproef van 24 uur in demi-water) van verbrokkelde monsters van 26 Silicium zonnepanelen (naar Tammaro et al., 2016). De panelen vertegenwoordigen een tijdreeks van bouwjaren tussen 1985 en 2012. Sommige metalen komen niet in alle panelen voor (zie "number out of 26"). In de laatste kolom is een 'worst-case-schatting' gemaakt van de hoeveelheid metalen die uit een vierkante meter paneel kunnen uitspoelen volgens de gehanteerde methode.*

| <b>Metal</b> | Mean<br>(µg/l) | Stdev | CV% | number<br>out of 26 | content<br>mg/m <sup>2</sup> |
|--------------|----------------|-------|-----|---------------------|------------------------------|
| <b>Al</b>    | <b>214</b>     | 199   | 93  | 26                  | 14,3                         |
| <b>Cr</b>    | <b>4</b>       | 2     | 41  | 16                  | 0,2                          |
| <b>Mn</b>    | <b>6</b>       | 2     | 30  | 16                  | 0,4                          |
| <b>Cu</b>    | <b>12</b>      | 9     | 77  | 14                  | 0,7                          |
| <b>Cd</b>    | <b>7</b>       | 8     | 117 | 6                   | 0,5                          |
| <b>Pb*</b>   | <b>171</b>     | 254   | 148 | 23                  | 8,0                          |
| <b>Se</b>    | <b>5</b>       | 1     | 29  | 4                   | 0,2                          |
| <b>Sn</b>    | <b>64</b>      | 141   | 222 | 23                  | 4,3                          |
| <b>Zn</b>    | <b>50</b>      | 44    | 87  | 26                  | 3,2                          |
| <b>Te</b>    | <b>7</b>       | 2     | 37  | 3                   | 0,6                          |
| <b>Sb</b>    | <b>6</b>       | 4     | 57  | 15                  | 0,5                          |
| <b>Ag*</b>   | <b>11</b>      | 14    | 121 | 13                  | 0,7                          |
| <b>Mo</b>    | <b>6</b>       |       |     | 1                   | 0,2                          |
| <b>Ba</b>    | <b>36</b>      | 127   | 352 | 23                  | 3,5                          |
| <b>Ni</b>    | <b>12</b>      | 11    | 87  | 20                  | 0,9                          |

Pb\* en Ag\* = values without 2 or 1 outlier(s) resp.

In twee andere literatuurbronnen werden gegevens aangetroffen voor de totale hoeveelheid zilver in de panelen per m<sup>2</sup> zonnepark (Latunussa et al. 2016, ITRPV 2018). Dit bleek respectievelijk ongeveer 2 en 3 gram zilver per m<sup>2</sup> zonnepark te bedragen. Deze gehalten zijn veel hoger dan de geschatte uitspoelbare waarden in tabel 1. Op basis van de 2 à 3 gram zilver per m<sup>2</sup> hebben we een eenvoudige orde grootte schatting uitgevoerd om te bepalen of er voldoende stoffen in de panelen aanwezig kunnen zijn om een risico voor het grondwatersysteem te kunnen vormen. Als alle zilver vrij komt in het milieu, dan is er sprake van bodemverontreiniging of grondwaterverontreiniging ruim boven de achtergrondwaarde (p95: 1,7 mg/kg DG). Zonnepanelen bevatten ook andere metalen: de hoeveelheid koper is bijvoorbeeld twee keer hoger dan zilver (Latunussa et al. 2016) en kan theoretisch dus ook tot bodemverontreiniging leiden. Espinosa et al. (2016) komen aan de hand van uitloogproeven met zilver in dunne-film-organische-polymeer-panelen tot de conclusie dat er weliswaar stoffen in de panelen zitten, maar dat bij normaal gebruik panelen beperkt uitlogen, waardoor een verantwoorde toepassing van dit type misschien mogelijk is.

*De uitloging van zonnepanelen is een relatief nieuwe onderwerp en momenteel in onderzoek bij diverse instituten en universiteiten in binnen- en buitenland. Op de korte termijn valt te verwachten dat veel meer publicaties over het uitlooggedrag van zonnepanelen zullen verschijnen, omdat dit probleem breed herkend wordt. De karakteristieken van de bijbehorende impact zijn afhankelijk van de gekozen panelen, de omvang van het systeem, en de beleidsuitgangspunten bij grondwaterbescherming en waterwinning: tussen 'elk molecuul telt' en 'interventiewaarden voor bodem, water en grondwater' zit een gapend (beleids)gat. Experimenteel onderzoek hieraan is kostbaar en tijdrovend, en inherent onzeker bij extrapolaties, maar deskundigen kunnen aan de hand van de keuzes wel schattingen doen. Schattingen van de potentiële risico's moeten overigens parallel met verduidelijking van de beleidsuitgangspunten uitgevoerd worden (is enige potentiële verontreiniging aanvaardbaar? En zo ja, op welk niveau ligt dat?).*

**B3: Normaal gebruik: Stoffen uit andere onderdelen: draagconstructies, funderingen en bekabeling (metalen en organische stoffen).**

Zonnepanelen worden vaak op een rek van (gegalvaniseerd) metaal gemonteerd. Soms in combinatie met een fundering in beton. Van hoogspanningspalen ten behoeve van elektriciteitstransport en vangrails is bekend dat blootstelling van gegalvaniseerd metaal aan weer, wind en vocht leidt tot belasting van de bodem. Soms worden de stellingen geankerd in een betonnen voet, met een specifieke uitlogingskarakteristiek. Ook voor de bekabeling geldt dat ze aan licht, weer, wind en vocht wordt blootgesteld, wat kan leiden tot veroudering en verpulvering (microplastic) of kabels die bij beschadiging bloot komen te liggen.

*De risicobeoordelingsmethodologie die toepasbaar is voor dit aspect van zonneparken is relatief goed ontwikkeld, vanwege parallellen met andere al veel langer bestaande installaties, zoals hoogspanningsmasten en vangrails. Voor die systemen is relatief veel literatuur beschikbaar. Uitgaande van de meest gangbare materialen is voor dit onderwerp met een geringe inspanning een relatief betrouwbare beoordeling te doen. Ook hiervoor geldt dat de beleidsprincipes over aanvaardbaarheid van enige potentiële verontreiniging helder dienen te zijn (zie ook B2).*

**B4: Normaal gebruik: Stoffen afkomstig van onderhoud systemen: reiniging, (onkruid)bestrijding, reparaties.**

Als gevolg van onderhoud en reparaties is er regelmatig (gemotoriseerde) inspectie. Zonnepanelen worden regelmatig schoongemaakt, en reinigingsmiddelen kunnen in de bodem terechtkomen. Onder de panelen kan onkruidbestrijding plaatsvinden waarbij pesticiden worden gebruikt.

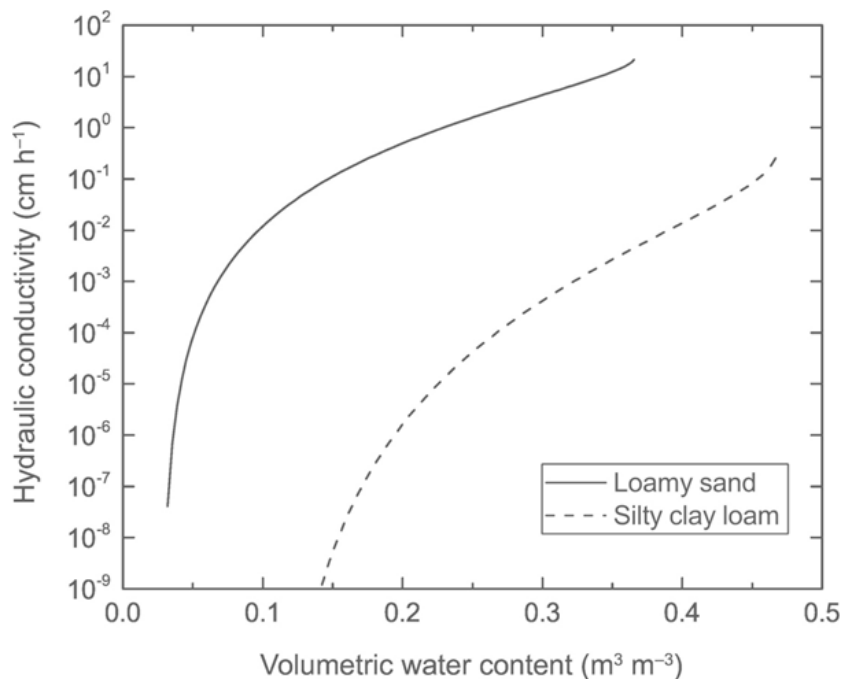
*Als bekend is welke middelen worden gebruikt, is met een relatief geringe inspanning een risicobeoordeling uitvoerbaar. Het spreekt voor zich dat vele opties mogelijk zijn voor het regelmatige onderhoud en reparaties aan de installatie. Het gebruik van schadelijke stoffen kan worden gereguleerd, en het toezicht op naleving behoeft aandacht.*

**B5: Normaal gebruik: Veranderende milieucondities: afstroming, uitloging, kortere verblijftijd, natte, droge, koele en warme spots.**

Zonnepanelen in een zonnepark hebben effect op de hydrologische toestand van het bodem- en watersysteem. Regenwater wat normaal gespreid en homogeen over de vegetatie wordt verdeeld, valt nu deels op de gladde panelen en stroomt lijnvormig af naar de bodem. Hierdoor ontstaan natte plekken waar regenwater snel doorheen loopt, zodat er minder verdampt, en stoffen sneller kunnen uitlogen. Direct onder de panelen is de bodem droog, maar door schaduwwerking wordt het overdag minder warm. Ook is bekend dat zonneparken een hitte-eiland effect opwekken doordat de donkere panelen door de zon sterk opwarmen, en de verkoelende vegetatie ontbreekt. Een hitte-eiland effect leidt tot meer en intensievere regen- en hagelbuien.

Er is verband tussen de vochtigheid van de bodem en de infiltratiesnelheid. Water kan in een natte bodem factoren 10, 100 of meer dan 1000 keer sneller infiltreren dan in een droge bodem. In figuur 4 is de hydraulische doorlaatbaarheid als functie van het vochtgehalte van de bodem uitgezet voor twee grondsoorten; de infiltratiesnelheid van regenwater is evenredig met deze hydraulische doorlaatbaarheid. Dit betekent dat zonder zonnepanelen in geval van kleine buien, en zeker bij motregen, het regenwater weinig infiltreert in de droge bodem, boven in de bodem blijft hangen en vervolgens verdampt. Door de aanwezigheid van zonnepanelen kan er in dat geval een veel snellere infiltratie van regen plaatsvinden, omdat ten gevolge van de lijnvormige input aan de rand van het zonnepaneel de bodem natter wordt en er door schaduwwerking minder verdamping optreedt.

Het is de vraag wat het netto resultaat in de bodem onder een zonnepark zal zijn. Onder de panelen is het een stuk droger, onder de lekrand wordt het regenwater geconcentreerd. Vanuit de lekrand zal het water zich in de diepte ook weer horizontaal gaan verspreiden tot een homogene vochtigheid. De resultante van deze processen is waarschijnlijk dat de verblijftijd korter wordt. Het is ook denkbaar dat door meer en grotere kortsluitstromen verschuivingen optreden in de omtrek van het waterwingebied.



Figuur 4. Relatie tussen vochtgehalte in de bodem op x-as en de hydraulische geleidbaarheid (y-as). Overgenomen uit Bonan (2019).

Voor de kwantiteit van het grondwater is de omvang van het waterwingebied van ondergeschikt belang. De aanvoer wordt met name bepaald door het intrekgebied (grondwaterbeschermingsgebied), en dat is meestal veel groter dan een waterwingebied of zonnepark (hoewel 100 ha een flink park betreft, maar dat is slechts ter gedachtenvorming). Door de nieuwe activiteiten is het risico op de inbreng en uitspoeling van ongewenste stoffen wel groter.

*De veranderende milieuocondities (abiotisch) in zonneparken zijn onderwerp van diverse onderzoeken, maar effecten op het grondwater en drinkwaterwinning zijn nog onduidelijk. De relatie tussen het bovengrondse systeem en het grondwater is sterk afhankelijk van de bodemopbouw, waardoor inschattingen van de impact van een zonnepark hier altijd op afgestemd dient te worden. Toepassing van geohydrologische modellen is een vereiste, en is met een matige inspanning te realiseren. Bijvoorbeeld inschattingen van effecten op de 60 dagen zone lijken met een matige inspanning haalbaar.*

**B6: Normaal gebruik: Minder koolstof en energie voor ecosysteem: afname totale biomassa, vegetatie en bodemorganische stof**

Zonnepanelen vangen veel licht weg, onder de panelen tot 90% van het voor fotosynthese (door planten) noodzakelijk licht. Schaduwminnende planten zouden kunnen gedijen, maar uiteindelijk is de input van koolstof en energie in het ecosysteem als ultieme resultante van de activiteit van fotosynthetiserende organismen (primaire productie in competitie met kunstmatige energieopwekking) sterk verminderd. Tussen de panelen (ongeveer 50% van het totale oppervlak) valt er meer licht dan onder de panelen, maar ook daar is door de schaduwwerking de totale lichtinval kleiner dan in een systeem zonder zonnepanelen. Een verminderde instroom van koolstof en energie leidt tot een vermindering van de totale biomassa in het systeem, een kleinere omvang van de vegetatie, en afname van de bodemorganische koolstof onder de panelen (Kok et al. 2018; Frambach en Schurer 2019). Deze laatste is gedurende

honderden jaren opgebouwd en zal maar langzaam verdwijnen. In experimenten met braakliggende gronden (geen input van koolstof) in Engeland en in Europa is na ongeveer 50 jaar nog steeds organische koolstof in de bodem aanwezig, en is deze nog steeds dalende (Barré et al. 2010).

*Het onderzoek aan de ecologie in relatie tot de omgevingscondities van zonneparken is nieuw en uitdagend complex, niet in de laatste plaats omdat de bodem een traag reagerend en heterogeen compartiment is. Het onderzoek naar het effect van ecologie op het grondwater is ook een betrekkelijk onontgonnen terrein. Er is nagenoeg geen informatie over installaties die te vergelijken zijn met zonnepanelen beschikbaar. Effecten op de bodem (ontwikkeling) zijn onbekend, laat staan de effecten op het grondwater. Dat er impacts zullen zijn valt te verwachten, op basis van de systeemkenmerken zoals in het voorgaande is toegelicht. Momenteel wordt er veel onderzoek bij zonneparken over dit aspect opgestart, maar nog niet specifiek gericht op grondwater. Monitoring van de milieucondities inclusief bodemkwaliteit wordt gezien als een passend antwoord op het gebrek aan informatie. Op dit onderwerp is relatief veel inspanning nodig, en de eerste resultaten zullen enige tijd op zich laten wachten.*

#### **B7. Normaal gebruik: Afname reinigend vermogen.**

Het reinigende vermogen van het bodem- en watersysteem is een belangrijke eigenschap voor de kwaliteit van het grondwater ten behoeve van de drinkwaterwinning. Als gevolg van de lagere totale biomassa (B6) en kortere verblijftijden van water en opgeloste stoffen (B5) kan verondersteld worden dat het zelfreinigende vermogen van het bodem- en watersysteem onder een zonnepark aangetast wordt, en bijvoorbeeld pesticiden, reinigingsmiddelen (B4) en nutriënten zoals nitraat in potentie in hogere concentraties naar het grondwater kunnen lekken. In welke mate en op welke tijdschaal dit speelt is lastig in te schatten en sterk afhankelijk van grondsoort, bodemtype en de lokale (geohydrologische) omstandigheden.

*Onderzoek aan dit onderwerp is net als bij B6 uitermate complex. Voor grondwaterbescherming en drinkwaterproductie is het reinigende vermogen zeer belangrijk, maar er zijn geen goede indicatoren beschikbaar, ook niet voor natuurlijke systemen. In feite is dit onderwerp, net als bijvoorbeeld het onderwerp 'biodiversiteit', een abstract begrip met een multidimensioneel karakter. Met een geringe tot matige inspanning is het met voldoende experts wel mogelijk om specifiek voor dit onderdeel een verbeterd en gedetailleerd conceptueel model samen te stellen, wat als uitgangspunt toegepast kan worden bij de risicobeoordeling van zonneparken.*

#### **C8. Veroudering en niet opgemerkte beschadigingen (panelen, draagconstructie, bekabeling).**

Veroudering van de zonnepanelen en niet opgemerkte beschadigingen kunnen gedurende langere tijd een extra risico vormen voor de bodem en de grondwaterkwaliteit. Dit betreft kleine beschadigingen van de panelen bijvoorbeeld als gevolg van beperkte hagelschade (grote hagelschade wordt gemakkelijk opgemerkt door verminderde opwekking of is visueel goed zichtbaar; figuur 5). Vraatschade aan de bekabeling kan kabels blootleggen en geringe veroudering van bekabeling kan leiden tot belasting van het bodem- en watersysteem met organische stoffen en polymeren (microplastics).

*Dit onderwerp is een logisch vervolg op B2 en B3 (panelen en ondersteunende constructie), en kan in samenhang er mee worden opgepakt. Hoewel de*

*bijbehorende vragen meer gericht zijn op de daadwerkelijke risico's in plaats van potentiële risico's, zullen de antwoorden met meer onzekerheden gepaard gaan.*

**D9. Kleine kans - groot risico: Extreem weer met catastrofaal effect op zonnepark (hagelstenen, bliksem, wind) en vandalisme**

Geregeld komen catastrofale schades aan zonneparken in het nieuws (figuur 5). Er zijn nog maar weinig gevallen uit Nederland bekend. De frequentie en intensiteit van zware storm en zware hagelbuien neemt toe met de voortschrijdende klimaatverandering. Daarnaast breidt het areaal zonneparken in Nederland sterk uit, en neemt de kans op extreme buien bij zonneparken toe door het hitte eiland effect, zodat de kans dat er ergens catastrofale schade ontstaat steeds groter wordt. Na een dergelijke calamiteit dient direct te worden begonnen met sanering van het zonnepark, want ernstig beschadigde panelen vormen een risico voor het bodem- en grondwatersysteem.

Een ander moeilijk te kwantificeren aspect met een mogelijke impact is moedwillige schade aan de installatie of het stelen van zonnepanelen (vandalisme, diefstal).

*Voor dit onderwerp is het zeer moeilijk om realistische schattingen te doen. Ten dele kan dit worden ondervangen door duidelijke beleidsuitgangspunten te ontwikkelen, die de kaders concreet maken. Een belangrijk principe wat bij milieubeleid toegepast wordt, is het voorzorgbeginsel (precautionary principle). Dit principe treedt in werking als er onzekerheden zijn over de impact van een bepaalde inrichting of conditie, en de kans dat dit op treedt. Er bestaat een continuüm van maximale toepassing van het voorzorgbeginsel (alle risico's uitsluiten, ook de zeldzame) en een liberale toepassing van het voorzorgbeginsel (uitgaan van gemiddelde kansen op basis van ervaring uit het verleden, of elders). Het negeren van het voorzorgbeginsel kan zelfs leiden tot de inschatting dat er geheel geen risico's zijn, terwijl ze er wel zijn (vals negatieve inschatting).*

**D10: Einde levensloop zonnepark: afnemend rendement, beheersmatige gevolgen, dure verwijdering en verwerking panelen. Herstel natuurlijk systeem.**

Een verouderd zonnepark kan leiden tot een verhoogd risico voor het bodem- en grondwatersysteem, als gevolg van materiaalmoetheid van de installatie, kleine schades aan panelen en de bevestiging, toenemend onderhoud en reparatie, en verminderde beheersmatige aandacht (zie ook C8). Als de technische en economische levensduur is verstreken moeten er netto kosten gemaakt worden om het park in bedrijf te houden of te ontmantelen. Snelle verwijdering van de gedeeltelijke afdekking (in plaats van stapsgewijze verwijdering van de panelen), in combinatie met een in ecologische zin onaangepast systeem leidt tot snelle veranderingen in de hydrologie en de vegetatie die vergelijkbaar is met de veranderingen in de aanlegfase (A1). Herstel naar een gezond en goed functionerend natuurlijk systeem zonder panelen kost vele (tientallen) jaren. De opbouw van organische stof in de bodem is daarvoor een geschikte indicator.

*Deze laatste module sluit aan op de uitgangspunten van module A1 en kan er mee in samenhang worden ontwikkeld. Er zijn veel opties waarvan er, afhankelijk van de locatie specifieke kenmerken, slechts enkele realistisch zijn. Dus wederom kan in grote lijnen met experts een afwegingskader hiervoor worden ontwikkeld, maar locatiespecifiek maatwerk om de inschatting enigszins betrouwbaar te maken blijft nodig. Bij deze module speelt de factor tijd een grote rol; hoe zal de situatie zijn over ongeveer 30 jaar?*



*Figuur 5. Voorbeelden van catastrofale schade aan zonneparken als gevolg van extreem weer (respectievelijk wind en hagel).*

### **Scoren van aspecten voor de risicobeoordeling**

Ter evaluatie en verificatie van het conceptuele model is aan de RIVM experts in een tweede ronde gevraagd om de tien losse modules in het model een gewicht te geven. De score voor het gewicht diende gebaseerd te worden op de veronderstelde betekenis voor de betreffende module in de risicobeoordeling van een zonnepark. Deze exercitie diende om het resultaat van de interviews concreet te maken, eventuele omissies te ontdekken, overbodige elementen in een vroegtijdig stadium te signaleren en eventuele patronen te herkennen. De exercitie was niet bedoeld als eerste stap in een toekomstige risicobeoordeling. Daar is dit onderzoek nog niet voldoende voor uitgediept.

Allereerst is geïnventariseerd of bepaalde modules door een expert als volkomen onbelangrijk werden geacht. Dat was niet het geval: de laagste score was 2 en die werd zeven keer (van in totaal zestig scores) uitgedeeld. Dit geeft aan dat alle tien modules in het conceptuele model van belang wordt geacht voor verdiepend onderzoek. Alle scores zijn opgenomen in onderstaande tabel 2.

Tabel 2. Scores deskundigenoordeel, voor het belang van verschillende modules in het conceptueel model, in het totale risico van een zonnepark op een drinkwaterwinning. De schaal loopt van 0 (vermoedelijk onbelangrijk aspect in de risicobeoordeling) tot 10 (vermoedelijk uiterst belangrijk aspect in de risicobeoordeling).

| deskundigen oordeel |   |   |    |   |   |   |   |      |        |
|---------------------|---|---|----|---|---|---|---|------|--------|
|                     | Beoordelingsaspect                                    | 1 | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | Gem. | St.dev |
| A1                  | Bouw van het zonnepark                                | 5 | 10 | 6 | 2 | 7 | 9 | 6,5  | 2,9    |
| B2                  | Normaal gebruik: stoffen in panelen                   | 2 | 4  | 2 | 5 | 4 | 3 | 3,3  | 1,2    |
| B3                  | Normaal gebruik: stoffen in andere onderdelen         | 4 | 8  | 4 | 8 | 7 | 4 | 5,8  | 2,0    |
| B4                  | Normaal gebruik: stoffen bij onderhoud                | 5 | 6  | 5 | 6 | 5 | 4 | 5,2  | 0,8    |
| B5                  | Normaal gebruik: veranderende milieuecondities        | 8 | 5  | 9 | 8 | 8 | 6 | 7,3  | 1,5    |
| B6                  | Normaal gebruik: minder koolstof en energie, ecologie | 8 | 5  | 4 | 6 | 6 | 5 | 5,7  | 1,4    |
| B7                  | Normaal gebruik: minder reinigend vermogen            | 7 | 5  | 5 | 4 | 8 | 5 | 5,7  | 1,5    |
| C8                  | Veroudering en slijtage (niet opgemerkt)              | 3 | 3  | 4 | 2 | 2 | 4 | 3,0  | 0,9    |
| D9                  | Calamiteit  | 4 | 8  | 5 | 2 | 2 | 7 | 4,7  | 2,5    |
| D10                 | Einde levensloop zonnepark                            | 6 | 7  | 5 | 6 | 6 | 9 | 6,5  | 1,4    |

De laagste gemiddelde scores van de zes respondenten bedroegen 3,0 (C8: veroudering en kleine beschadigingen) en 3,3 (B2: stoffen in de panelen). De hoogste gemiddelde score was 7,3 (B5: veranderende milieuecondities). Een opvallend feit was verder dat de deskundigen relatief ongelijk scoorden (grote verschillen in scores) op de aspecten A1: bouw van het zonnepark en C9: catastrofe.

Volgens de toelichting van de experts vormt het conceptuele model een bevredigend weergave van de interviews en representeert het de onderwerpen die een verdiepend onderzoek rechtvaardigen, in het geval van risico's van grondgebonden zonneparken op bodem en grondwater bij drinkwaterwinning.

## deel 2 Drijvende zonneparken



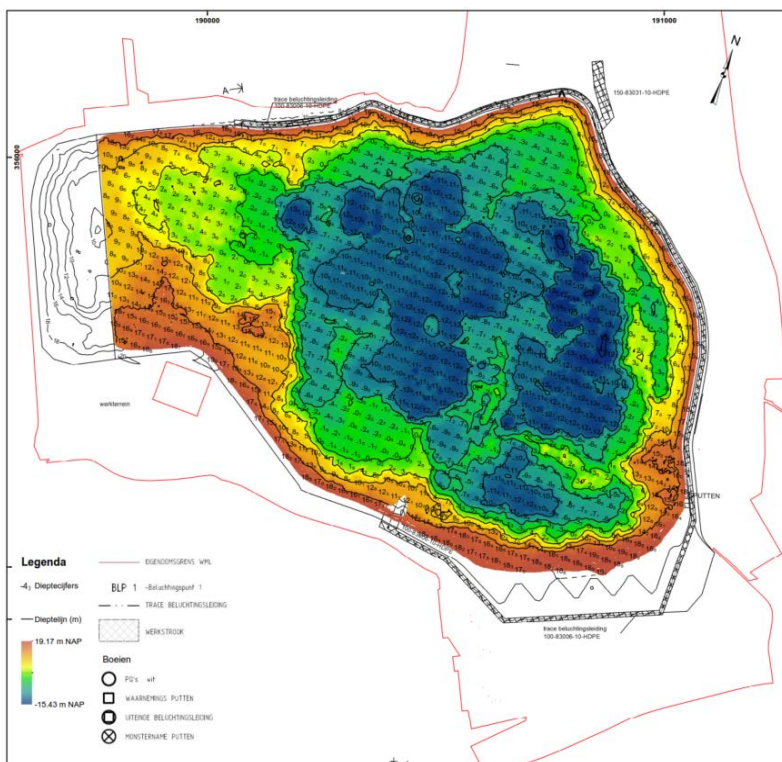
### 3 Aanpak

#### Locatie

De Lange Vlieter is een drinkwaterbekken gelegen langs de Maas ten Westen van Roermond. De Lange Vlieter is in eigendom van de Waterleiding Maatschappij Limburg (WML). De Lange Vlieter wordt gebruikt om water uit de Maas, samen met instromend grondwater, te zuiveren middels oeverfiltratie om voor de bereiding van drinkwater geschikt te maken. Het Maaswater wordt ingelaten in het westelijk gelegen analysebekken, waarna het overgepompt wordt naar het oostelijke gelegen hoofdbekken. Voor het hoofdbekken wordt nu verkend welke effecten de plaatsing van een zonnepark op het water zou kunnen hebben.

De Lange Vlieter is een stratificerende diepe plas met in de zomer hogere temperaturen aan het wateroppervlak en relatief lage temperaturen bij de bodem. De stratificatie zorgt voor een verminderde menging tussen de waterlagen. In de zomer treden er bij de bodem hogere concentraties aan nutriënten op, als gevolg van verminderde zuurstofconcentraties in het bodemwater. Met bellenbeluchters wordt gepoogd de stratificatie te verminderen. In figuur 6 is het diepteprofiel van de plas weer gegeven.

Naar opgave van WML ontvangt De Lange Vlieter jaarlijks vermoedelijk circa 9 miljoen m<sup>3</sup>/jaar uit de Maas. De productie van ruw water voor de drinkwaterbereiding, dat uit de oever opgepompt wordt, is circa 18 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, waarvan circa 2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar diep grondwater. Hiermee is de verblijftijd van De Lange Vlieter ruim een half jaar.



Figuur 6. Bathymetrische kaart van De Lange Vlieter

### **Tools Zon-op-Water**

Door het Nationaal Consortium Zon op Water is de vergunbaarheid van zonneparken op water onderzocht. De relevante delen van het instrumentarium van het project Zon-op-Water zijn toegepast. Hiermee is een inschatting te maken of en zo ja in welke mate een zonnepark op De Lange Vlieter tot de mogelijkheden behoort en welke randvoorwaarden hierbij van belang zijn.

## 4 Resultaten

### 4.1 Huidige situatie

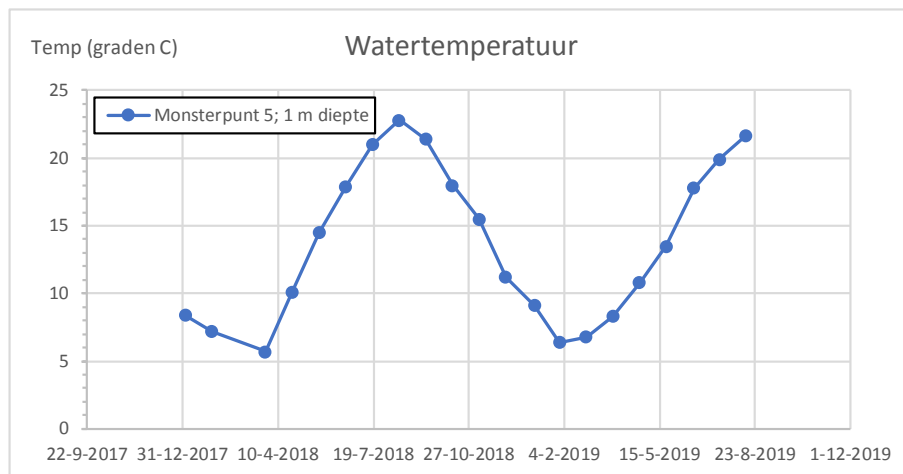
#### *Wettelijke status*

De Lange Vlieter is eigendom van WML. Hiermee valt het in de categorie bedrijfswater (water in privaat eigendom dat gebruikt wordt als onderdeel van bedrijfsprocessen). Het water is geen (onderdeel van) een KRW-waterlichaam, zodat de regels en eisen van de Europese Kaderrichtlijn Water niet van toepassing zijn. Het water is ook niet in beheer van een waterschap. In de zin van de Waterwet is De Lange Vlieter dan ook geen oppervlaktewater, waardoor de regels van de Waterwet niet van toepassing zijn.

Voor de KRW is verder nog van belang of er afwenteling op een KRW-Waterlichaam kan plaatsvinden. Omdat er geen oppervlakkige afstroming plaatsvindt, is dit niet het geval. Een lozingsvergunning is hierdoor ook niet van toepassing.

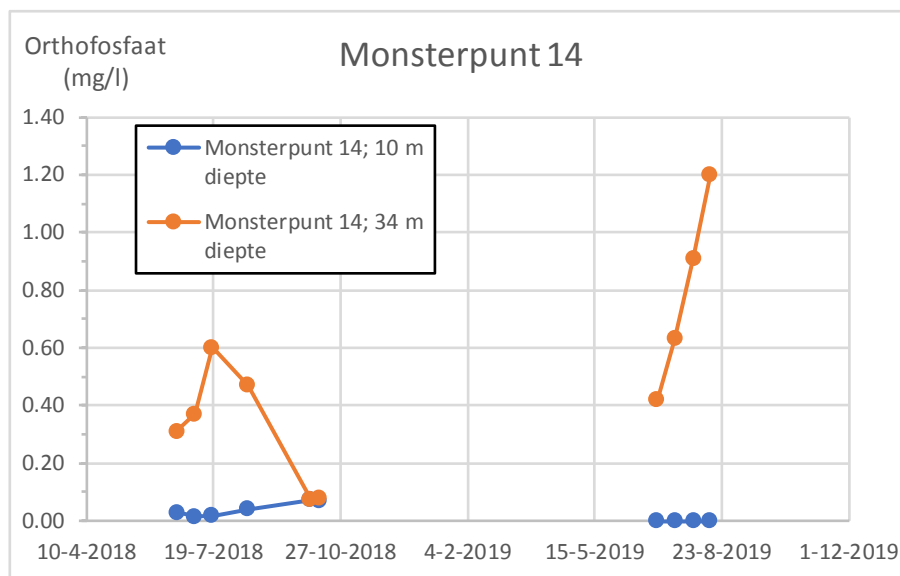
#### *Waterkwaliteit*

De watertemperatuur in de bovenste waterlaag varieert van circa 5 °C in de winter tot 23 °C in de zomer (figuur 7). Er zijn geen temperatuurprofielen over de diepte bekend.



Figuur 7. Watertemperatuur aan het wateroppervlak in De Lange Vlieter 2018-2019 (data: WML).

De concentratie aan orthofosfaat blijft laag in het oppervlaktewater, terwijl in het water bij de bodem in de zomer de concentraties oplopen (figuur 8), waarschijnlijk als gevolg van het optreden van temperatuurstratificatie.



Figuur 8. Concentratie van orthofosfaat aan het wateroppervlak (blauw) en bij de bodem op 34 m diepte (oranje) (data: WML).

#### Natuur

Het gebieds- en soortenbeleid voor natuur is ondergebracht in de Wet Natuurbescherming. Speciale beschermde gebieden zijn de zogenaamde Natura 2000-gebieden. De Lange Vlieter is geen Natura 2000-gebied. De Lange Vlieter ligt meer dan 4 km afstand van de dichtstbijzijnde Natura 2000-gebieden (Grensmaas en Dal van de Swalm). Dit is van belang in verband met een eventueel uitstralend effect van maatregelen die in De Lange Vlieter genomen worden op habitattypen en soorten in Natura 2000-gebieden (de zogenaamde externe werking). Zoals geschetst is vanwege de grote afstand een uitstralend effect naar Natura 2000-gebieden onwaarschijnlijk. Toch moet gekeken worden naar het voorkomen van Natura 2000-soorten die elders een doelstelling hebben. Voor effecten op beschermde soorten moet gekeken worden naar de oevers (voor effecten van aanleg en aanwezigheid van kabels en de aanleg van het zonnepark) en naar het open water (voor effecten van permanente aanwezigheid van het zonnepark).

Om te achterhalen welke soorten in het gebied aanwezig zijn, moet er een zogenaamde NatuurScan gedaan worden. Hierbij wordt uit openbaar beschikbare gegevens een overzicht gemaakt van de aanwezige soorten en wordt het mogelijke effect geschetst. Indien niet uitgesloten kan worden dat er effecten op beschermde soorten optreden, geldt er een compensatieplicht (zie ook Van de Leemkolk et al, 2018). Op dit moment is er geen gebiedsdekkende inventarisatie van het water en de oevers van De Lange Vlieter beschikbaar. Voor een quick scan (1<sup>e</sup> fase) of een passende beoordeling (2<sup>e</sup> fase) is dit wel noodzakelijk. Uit een eerste snelle scan van gegevens van waarneming.nl en het NDFD (Nationale Databank Flora en Fauna) komen vooral algemene soorten naar voren (bijvoorbeeld in totaal 71 soorten vogels waarvan 11 gevoelige soorten en 4 kwetsbare soorten). Op het water betreft dit vooral algemene soorten als meerkoet en fuut, wat betekent dat er zowel waterplanten als vissen in het water aanwezig zijn. Daarnaast zijn incidenteel gevoelige en kwetsbare soorten als brilduiker, geoorde fuut, roodhalsfuut en slobeend waargenomen. Welke soorten hiervan broeden op De Lange Vlieter moet verder worden uitgezocht. Kwetsbare (broedende) soorten op de oever zijn grote lijster, koekoek en nachtegaal. In de studie Maas en Mensen (Beheersvisie Maasplassen Limburg,

Buro Hemmen, 2005) wordt De Lange Vlieter aangeduid als van belang voor wintervogels en broedvogels.

Een aantal soorten zoogdieren is in het gebied waargenomen (waarneming.nl). Het meest algemeen zijn konijn, bever, rode eekhoorn en mol. De rosse woelmuis is in ieder geval in 2016 in het gebied waargenomen. Daarnaast zijn ook de volgende vleermuissoorten waargenomen: gewone dwergvleermuis, ruige dwergvleermuis, laatvlieger en watervleermuis. Vleermuizen en rosse woelmuis zijn bedreigde en kwetsbare soorten welke strikt beschermd zijn. De vleermuizen zullen het gebied (en zeker de oevers en het open water van De Lange Vlieter) gebruiken om voedsel te zoeken. Vleermuizen volgen patronen in het landschap, zoals houtwallen en randen van het bos. Het is het meest waarschijnlijk dat ze boven De Lange Vlieter de oevers volgen waarbij ze de bomen en struiken op de oever gebruiken om zich te oriënteren.

Deze opsomming beoogt niet een compleet beeld te geven van het eventueel voorkomen van beschermde soorten in, rond en boven De Lange Vlieter. Hiervoor zal het officiële traject doorlopen moeten worden, inclusief Natuurscan en inventarisaties in meerdere seizoenen.

#### *Medegebruik*

Bij bestaande wateren is het tevens van belang om te letten op medegebruikers van het watersysteem. In de waterleidingplas mag niet worden gezwommen of gevaren. Er mag niet worden gevestigd in De Lange Vlieter. In het geval van De Lange Vlieter bestaat de recreatie vooral uit wandelaars op de oever van de plas. De Lange Vlieter is in meerdere wandelingen opgenomen die op het internet worden aangeprezen.

## **4.2 Situatie met een zonnepark**

### *Aanlegfase*

In principe zijn er effecten te verwachten op het gebied in de aanlegfase van een zonnepark. Er moet immers materiaal aangevoerd worden, dit moet op de oever opgeslagen worden, en het zonnepark moet vanaf de oever opgebouwd worden. Elke leverancier heeft haar eigen systeem van modules die tijdens de constructiefase worden opgebouwd. Er zijn systemen die vanaf de kant worden opgebouwd en daarna naar de bewuste plek worden versleept en verankerd. Alle systemen moeten worden verankerd, of met kabels aan palen die in de bodem zijn geplaatst, dan wel met kabels naar de oever.

Niet ver van de plaats van de aanlanding van de kabels moet een huisje gebouwd worden waarin de omvormers worden geplaatst. Deze zorgen voor het omzetten van de gelijkstroom van de zonnepanelen naar de wisselstroom die aan het elektriciteitsnet geleverd kan worden.

Mogelijke effecten zijn te mitigeren en/of te minimaliseren door een slimme techniek voor de opbouw van het zonnepark te kiezen waardoor relatief weinig ruimte op de oever nodig is. Ook moet er (zo mogelijk ruim) buiten het vogelbroedseizoen gewerkt worden. Palen dienen in de bodem geschroefd te worden. Het huisje voor de omvormers kan verdekt worden opgesteld en landschappelijk worden ingepast.

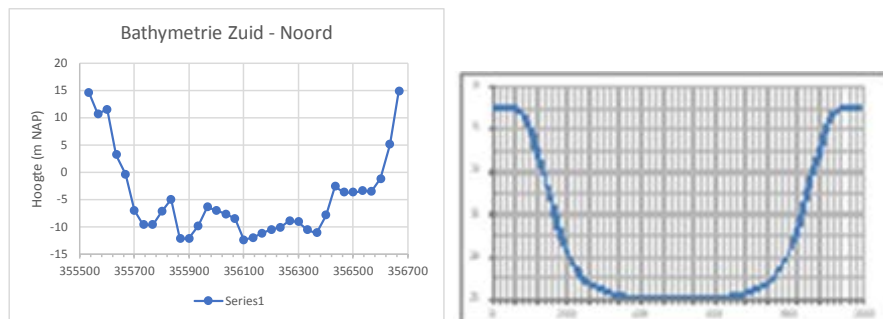
### *Gebruiksfase*

Belangrijkste effecten tijdens de gebruiksfase zijn te verwachten als gevolg van het afdekken van een deel van het watersysteem door de zonnepanelen (dit zijn

zowel effecten op de waterkwaliteit als effecten op natuur) en als gevolg van het onderhoud dat aan de installatie gedaan moet worden.

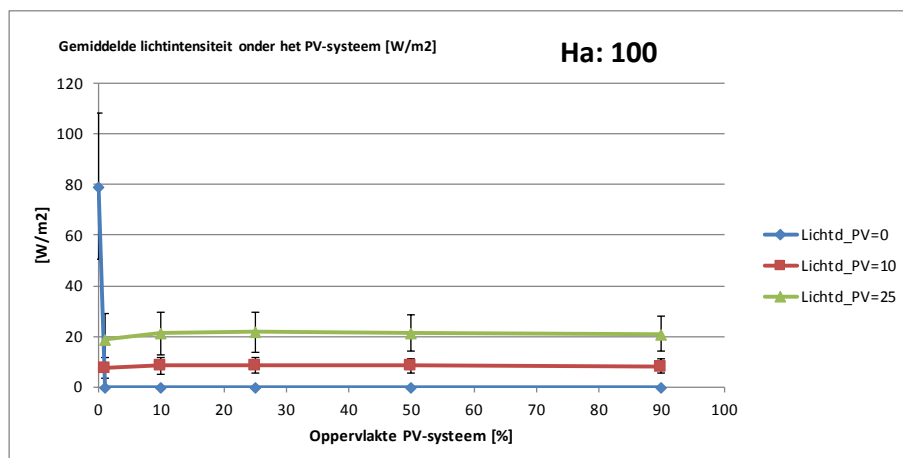
**Effecten op de waterkwaliteit (Toepassing Analysetool Zon-op-Water)**

Voor het toepassen van de binnen het Consortium Zon-op-Water ontwikkelde analysetool is De Lange Vlieter vergeleken met de meest-gelijkende standaard plas waarvoor een model is opgesteld (zie ook Loos & Wortelboer, 2019). Dit is een ronde plas met een oppervlakte van 100 ha, 25 m diep, eutroof, met een zandbodem en zonder doorstroming (figuur 9). Dit is een worst-case benadering: De Lange Vlieter is mogelijk minder eutroof dan hier is voorgesteld (waardoor de effecten iets kleiner zullen zijn). In De Lange Vlieter vindt wel enige doorstroming plaats (en beluchting) waardoor de effecten eveneens kleiner kunnen zijn.

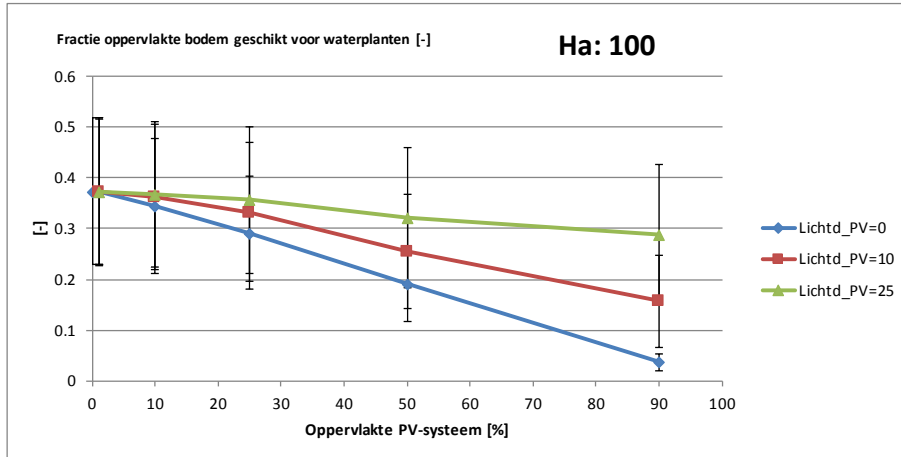


Figuur 9. Bathymetrie van De Lange Vlieter (links) en van de standaard plas van 100 ha en 25 m diep (rechts).

Door het opvangen van **licht** aan het wateroppervlak door het zonnepark is de lichtintensiteit in het water beduidend lager dan buiten het zonnepark (figuur 10). Wanneer het zonnepark in de oeverzone van de plas wordt aangelegd (worst-case benadering van analysetool) dan loopt de oppervlakte van de onderwaterbodem waarop waterplanten kunnen groeien (voldoende licht krijgen) sterk af (figuur 11). Echter, indien het zonnepark als geheel niet al het licht wegvangt maar een deel ervan doorlaat, dan worden de effecten minder.

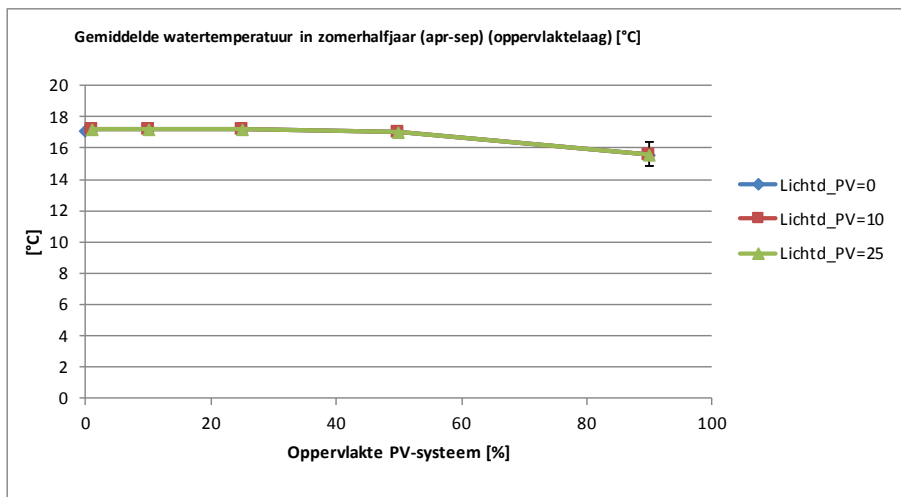


Figuur 10 Gemiddelde lichtintensiteit in de bovenste waterlaag onder het zonnepark (y-as) als functie van de bedekking van het zonnepark (x-as) en de lichtdoorlatendheid van het zonnepark (lijnen in de figuur voor lichtdoorlatendheid van 0%, 10% en 25%). Zie voor verdere uitleg Loos & Wortelboer, 2019.

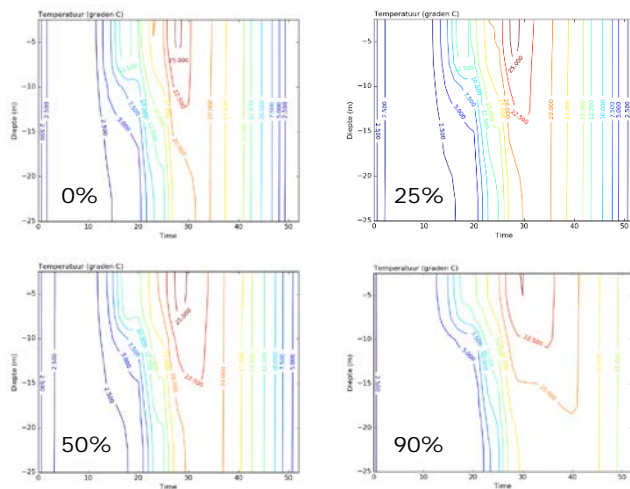


Figuur 11 Berekend effect op de fractie bodem (y-as) waarop voldoende licht valt voor de groei van waterplanten (> 4% van het invallend licht) als functie van de bedekking van het zonnepark (x-as) en de lichtdoorlatendheid van het zonnepark (lijnen in de figuur voor lichtdoorlatendheid van 0%, 10% en 25%). Zie voor verdere uitleg Loos & Wortelboer, 2019.

De **watertemperatuur** aan het wateroppervlak verandert gemiddeld weinig tot niet door aanleg van een zonnepark (figuur 12). Gedetailleerdere resultaten laten zien dat het water onder een zonnepark minder opwarmt overdag en minder afkoelt 's nachts. Door de veranderde menging van het water leidt de aanleg van een zonnepark in de modelberekeningen tot een verlengde stratificatieperiode (figuur 13).

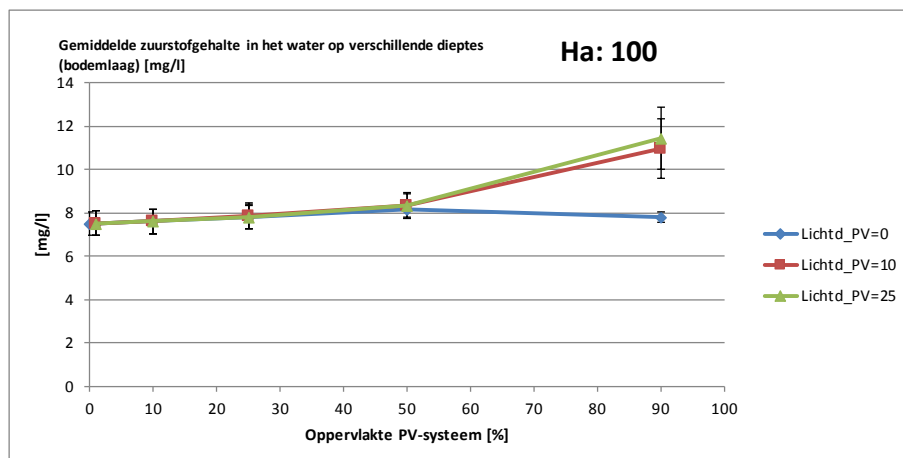


Figuur 12 Berekend effect op de gemiddelde watertemperatuur gedurende het zomerhalfjaar in de bovenste waterlaag (y-as) als functie van de bedekking van het zonnepark (x-as) en de lichtdoorlatendheid van het zonnepark (lijnen in de figuur voor lichtdoorlatendheid van 0%, 10% en 25%). Zie voor verdere uitleg Loos & Wortelboer, 2019.



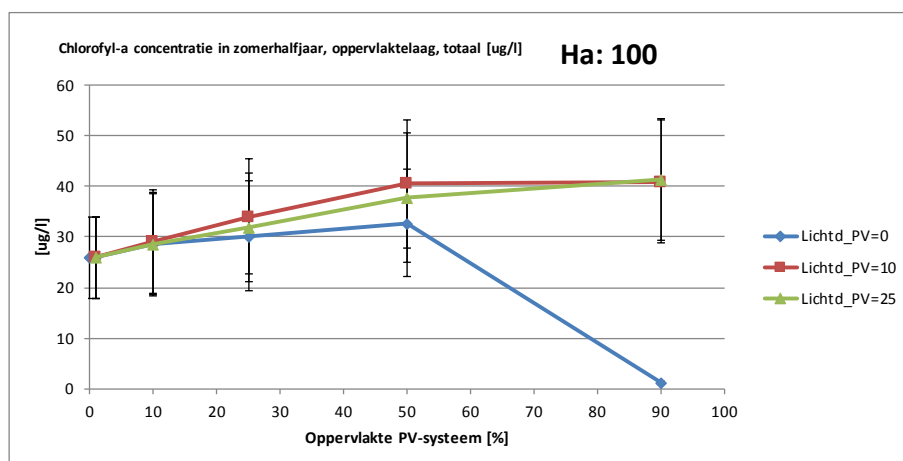
Figuur 13 Gesimuleerd verloop van de watertemperatuur en de stratificatie in een situatie zonder zonnepanelen (linksboven), met 25% (rechtsboven), met 50% bedekking (linksonder) en met 90% (rechtsonder) bedekking door zonnepanelen. Standaard eutroof meer van 100 ha en 25 m diep met zandbodem zonder doorstroming. Zie voor verdere uitleg Loos & Wortelboer, 2019.

De **zuurstofconcentratie** bij de bodem vermindert gedurende het zomerhalfjaar als gevolg van de stratificatie: er treedt daardoor een verminderde aanvoer van zuurstof vanaf het wateroppervlak op terwijl de zuurstofconsumptie in de bodem door afbraak van organisch materiaal (dode algen) aanhoudt (figuur 14). Bij een hoge bedekking (90%) van het water door het zonnepark treedt er een verandering op in de balans tussen zuurstofproductie door algen, transport van zuurstof vanuit de oppervlakkige waterlagen en zuurstofconsumptie door de bodem. Bij een lichtdoorlatendheid van 10% en 25% heeft dit hogere zuurstofconcentraties bij de bodem tot gevolg (figuur 14)



Figuur 14 Berekende gemiddelde zuurstofconcentratie bij de bodem als functie van de bedekking van het zonnepark (x-as) en de lichtdoorlatendheid van het zonnepark (lijnen in de figuur voor lichtdoorlatendheid van 0%, 10% en 25%). Zie voor verdere uitleg Loos & Wortelboer, 2019.

Het gemiddelde **chlorofyl-gehalte** in de bovenste waterlaag gedurende het zomerhalfjaar neemt met toenemende bedekking van een zonnepark iets toe, mogelijk als gevolg van een combinatie van minder foto-inhibitie en horizontale stromingen waardoor de algen afwisselend in het licht en in een donkerder situatie bevinden (figuur 15). Bij een 90% bedekking en 0% lichtdoorlatendheid van het zonnepark zijn de algen nagenoeg uit het water verdwenen vanwege te weinig licht onder water in de plas.



Figuur 15 Berekende gemiddelde chlorofyl-a gehalte in de bovenste waterlaag gedurende het zomerhalfjaar (y-as) als functie van de bedekking van het zonnepark (x-as) en de lichtdoorlatendheid van het zonnepark (lijnen in de figuur voor lichtdoorlatendheid van 0%, 10% en 25%). Zie voor verdere uitleg Loos & Wortelboer, 2019.

### **Uitloging**

Een apart effect op de waterkwaliteit betreft uitloging van stoffen uit de materialen waaruit het zonnepark is opgebouwd. Hier kan in de vergunningsvoorwaarden al rekening mee gehouden worden. Voor een drinkwaterbekken lijkt het een voor de hand liggende eis om materialen te gebruiken die zo min mogelijk uitlogen (zoals in de drinkwaterwereld gebruikelijk is). Voor het afschermen van constructies wordt in de drinkwaterwereld gebruik gemaakt van coatings die uitloging voorkomen. Uitloging door zonnepanelen (van de afzonderlijke materialen) treedt echter wel op (zie ook deel 1), maar in welke mate is de vraag. Dit is nu niet verder gekwantificeerd.

### **Effecten op natuur**

De effecten op natuur van de aanleg van een zonnepark op water kunnen divers zijn. Aspecten waaraan gedacht kan worden zijn:

1. Vermindering van het leefgebied;
2. Vermindering van de draagkracht van het gebied;
3. Aanbod van nieuw of extra habitat;
4. Andere effecten.

Hier is verder geen onderzoek naar gedaan en slechts beperkt bekend van ander situaties (zie verder de discussie).

### **Onderhoud**

Onderhoud zorgt voor de aanwezigheid van mensen op en om De Lange Vlieter, wat versturend kan werken op broedvogels en rustende en foeragerende

watervogels. Wanneer het om broedvogels gaat die nesten op de installatie van het zonnepark hebben gemaakt, kan dit het uitvoeren van onderhoud belemmeren. Reiniging van zonnepanelen zal vooral mechanisch moeten gebeuren om zo min mogelijk belasting van het water te veroorzaken.

#### *Verwijderingsfase*

Uiteindelijk zal het zonnepark nadat de levensduur verlopen is, ook weer opgeruimd moeten worden, dan wel vervangen moeten worden door een nieuw zonnepark. Het is aan te bevelen om de constructie van zonnepark, verankering en aanlanding zo te maken dat deze gemakkelijk weer te verwijderen zijn zonder dat er in het water of in de grond delen achterblijven. De effecten en verstoring zullen vergelijkbaar zijn met die in de aanlegfase.

### 4.3 Risico's

Niet-geplande gebeurtenissen kunnen risico's met zich meebrengen. Gedacht kan worden aan aardbevingen, stormen, hagel, brand en vandalisme. De risico's van dergelijke gebeurtenissen zullen hier kort worden toegelicht.

**Aardbevingen** komen met enige regelmaat voor in Limburg (2016, 2018, 2019). Het betreft aardbevingen door het schuiven van platen in de ondergrond en is daarmee een natuurlijk fenomeen. Zware aardbevingen rond Roermond dateren alweer van vele jaren geleden: 1993 (sterkte 3,0) en 1992 (sterkte 5,8). Een aardbeving zal mogelijk gevolgen hebben voor de kabels naar en van het zonnepark, maar waarschijnlijk niet voor het zonnepark zelf.

**Stormen** kunnen problemen opleveren voor drijvende zonneparken vanwege beschadiging van de constructie en panelen als gevolg van sterke winden (dynamiek) en het losslaan van (delen van) het zonnepark. Gezien de beschutte ligging van een zonnepark op De Lange Vlieter is het risico van stormschade als gevolg van bijvoorbeeld een zuidwesterstorm waarschijnlijk beperkt. Anders is dit als het gaat om **windhozen en wervelwinden**. Deze kunnen ontstaan onder zware onweersbuien. Meestal zijn deze zwak waardoor alleen papier en los materiaal de lucht in gaan. Recent (juni 2019) is rond Roermond en Reuver een heftiger windhoos opgetreden. Deze heeft plaatselijk schade veroorzaakt aan bomen en daken van huizen. In mei 2018 trok een stevige wervelwind (tornado) over Lobberich, in Duitsland net over de grens bij Tegelen (25 km van Roermond). De kans dat een wervelwind precies over het zonnepark op De Lange Vlieter trekt, is zeer klein.

**Hagel** kan schade aan constructies veroorzaken. Ook een zonnepark kan hiervan schade ondervinden, ook al staan de zonnepanelen over het algemeen schuin waardoor ze minder gevoelig zijn voor schade door hagelstenen dan wanneer ze vlak zouden liggen.

**Brand** kan ontstaan door kortsluiting in elektrische installaties of door oververhitting van materialen. Brand in een drijvend zonnepark is onwaarschijnlijk (en nog minder waarschijnlijk dan in een zonnepark op het land) vanwege de lage elektrische spanning waarmee gewerkt wordt, maar afscherming van vocht is wel van belang. Oververhitting is onwaarschijnlijk in een drijvend zonnepark vanwege de afkoelende werking van het water.

**Vandalisme** is ook op De Lange Vlieter mogelijk. Het gebied is openbaar toegankelijk en iemand zou naar het zonnepark kunnen zwemmen of varen. Dat

het gebied openbaar toegankelijk is geeft daarentegen ook wel een bepaald niveau van sociale controle, waardoor bepaalde activiteiten eerder opgemerkt en gemeld zullen worden.

In het algemeen is WML er beducht voor dat delen van het zonnepark door de een of andere onvoorziene reden op de bodem van De Lange Vlieter terecht kunnen komen. Hiervoor is het wellicht zinvol om te kijken naar het type drijflichaam (dat de zonnepanelen boven het water moet houden) en een verdere integratie van zonnepanelen en drijflichamen.

#### **4.4 Informatievoorziening**

In alle fasen van een eventuele plaatsing van een zonnepark op De Lange Vlieter (van voorbereidingsfase tot verwijderingsfase) is het van groot belang om voldoende informatie te verstrekken van wat er gaande is. Dit kan vervelende verrassingen in bijvoorbeeld de plaatselijke pers voorkomen als mensen ter plekke dingen ervaren waarmee ze niet bekend zijn en waar geen informatie over beschikbaar is. Een discussie over de geplande activiteiten moet niet uit de weg gegaan worden. Ook als is het terrein eigendom van WML, het is ook openbare ruimte en daarmee een beetje eigendom van iedereen.

#### **4.5 Discussie en conclusies**

Effecten op de omgeving (en de natuur) zullen zich waarschijnlijk in alle levensfasen van het zonnepark op De Lange Vlieter voordoen.

De belangrijkste (en langdurigste) fase van het zonnepark is de gebruiksfase. Boven de 50% bedekking treden er in de modelsystemen grote veranderingen op in de waterkwaliteit. Let wel: dit is op basis van een worst-case benadering voor een plas die wel lijkt op De Lange Vlieter, maar dat niet is. Hier kleven ook de nodige onzekerheden aan: het toegepaste waterkwaliteitsmodel heeft zich in het verleden wel bewezen in toepassingen voor specifieke meren, maar naar de processen die onder zonnepanelen optreden zijn (voor zover wij weten) in het veld nog geen onderzoeken gedaan. Er zijn dus geen metingen beschikbaar. De modelresultaten konden dus ook niet gevalideerd worden. Lagere percentages bedekking zullen minder effect sorteren.

Voor **licht** geldt dat effecten zich vooral zullen voordoen in ondiepe en minder diepe delen van een plas, daar waar waterplanten zich nog kunnen vestigen. Dit is maximaal tot zo'n 10 m diepte, maar in veel plassen (door troebelheid en algen in het water) is dit slechts 3 m. Waterplanten concurreren met algen voor licht, en hoewel deze concurrentie in het waterkwaliteitsmodel niet is meegenomen, is dit wel een aspect om rekening mee te houden. Mitigatie van effecten is dus mogelijk door de ligging van een zonnepark te beperken tot de diepe delen van een plas. De Lange Vlieter (hoofdbassin) is voor 56% dieper dan 20 m (bodem ligt lager dan 0 m NAP). In dit deel is dus ruimte te vinden om over stel 20-25% van de oppervlakte van de plas een zonnepark aan te leggen zonder dat de groei van waterplanten in het geding komt.

Ook is mitigatie van de effecten op licht mogelijk door niet al het licht op te vangen, maar een deel door te laten (zie figuur 11). Dit is afhankelijk van de constructie van het zonnepark (drijflichamen en zonnepanelen) en de technieken die gebruikt worden, o.a. eenzijdig dan wel tweezijdig gebruik van de zonnepanelen, opstelling van de zonnepanelen in het zonnepark (oriëntatie op

het zuiden of juist oost-west, statisch dan wel meedraaiend met de zon, enz.). Dit verschilt per bedrijf en type installatie.

Er wordt wel gedacht dat het **chlorofyl-gehalte** in het water automatisch afneemt als gevolg van de aanleg van een zonnepark (doordat er minder licht in het water aanwezig is). De modelresultaten laten zien dat dit niet het geval hoeft te zijn in de bovenste waterlagen. Dit als gevolg van een complexe interactie tussen effecten van minder licht in slechts een deel van de plas, stroming tussen het deel van de plas dat onder het zonnepark ligt en het deel erbuiten, stratificatie en aanwezigheid van nutriënten. Beperking van de hoeveelheid nutriënten in het aangevoerde water kan deze effecten wel mitigeren.

De modelresultaten dienen gevalideerd te worden met metingen in het veld. Hoewel de modelresultaten plausibel zijn, zijn de beschreven effecten uit de praktijk nog niet gebleken aangezien er nog geen gedetailleerde metingen gedaan zijn. De effecten op de natuur kunnen divers zijn, maar gaan ook met veel onzekerheid gepaard. De kennis van effecten op natuur beperkt zich vooralsnog tot incidentele waarnemingen die ogenschijnlijk geen samenhang vertonen.

De effecten kunnen grofweg worden ingedeeld in:

1. Vermindering van het leefgebied

Door de aanwezigheid van het zonnepark is het wateroppervlak niet meer beschikbaar voor zwemmende vogels om op te rusten. Onduidelijk is hoe soorten reageren op de aanwezigheid van een zonnepark op het water. Komen ze wel in de buurt? Blijven ze op grote afstand? Of worden ze juist aangetrokken door het zonnepark?

Voor vleermuizen is nog van groot belang of en zo ja hoe een zonnepark in het midden van de plas interfereert met hun gebruik van de plas en hun gedrag. Is een ruimtelijke scheiding van zonnepark in het midden van de plas ten opzichte van een vliegzone langs de oeverzone voldoende? Of gebruiken de vleermuizen de gehele plas? Hier is op korte termijn meer kennis over nodig.

2. Vermindering van de draagkracht van het gebied

Door de aanwezigheid van het zonnepark verandert de biomassa van de algen in het water en daarmee de voedselpyramide in het water en dus ook het voedselaanbod voor zoöplankton, vissen en vogels. Minder voedsel betekent bijvoorbeeld dat er minder futen in De Lange Vlieter voldoende voedsel kunnen vinden. De vraag is wel of dit voor de gehele plas in dezelfde mate geldt. Aangezien waarschijnlijk alleen in de oeverzone van De Lange Vlieter waterplantengroei optreedt, speelt het overgrote deel van de voedselketen zich waarschijnlijk ook in deze oeverzone en het aangrenzende diepere water af. Het open water is dan minder interessant en effecten van een zonnepark op het zeer diepe open water van De Lange Vlieter zal dan mogelijk minder effect hebben op het voedselweb van de plas als geheel.

3. Aanbod van nieuw of extra habitat

Een zonnepark zorgt ook voor nieuw of extra habitat in een plas. In dit geval een meer of minder goed begroeibaar element in het open water. Voor mosselen en andere dieren die hun voedsel uit het water filtreren (poliepen, mosdiertjes, sponzen) kan dit een aantrekkelijk plek zijn om zich te vestigen omdat er aan alle kanten water langs stroomt dat voedsel met zich mee

brengt. Als dat geen overmaat aan gewicht voor de drijflichamen van het zonnepark inhoudt, kan dit positief werken op de waterkwaliteit (minder algen). Duikeenden zouden aangetrokken kunnen worden door de extra mosselen die aan het zonnepark groeien. Mosselen die zich voortplanten leveren echter ook weer kleine mosseltjes op die zich op allerlei plekken kunnen vestigen. Zoals in de aan- en afvoerbuizen voor het water dat voor de drinkwaterbereiding gebruikt wordt. Anderzijds vindt er nu al sterke groei van mosselen op de bodem plaats, waardoor de bodem periodiek geschoond moet worden om de doorlatendheid van de bodem te kunnen garanderen. Er zal concurrentie om voedsel optreden tussen mosselen op de bodem en eventuele mosselen aan het zonnepark.

Een zonnepark kan door vogels ook gezien worden als een eiland dat veilig genoeg is om overdag of 's nachts op te rusten, een goede uitkijkpost is om vanaf te jagen, een goede plek is om je veren te laten drogen of gewoon een uitstekende plek om je nest te bouwen en te gaan broeden. Dit kan consequenties met zich meebrengen, die variëren van meer vervuiling van de zonnepanelen tot broedsels waardoor onderhoud van het zonnepark bemoeilijkt of onmogelijk gemaakt wordt (rekening houdend met de beschermde status van nesten van broedvogels). Indien vissen schuilmogelijkheden vinden in de constructie van het zonnepark, zou dit visetende vogels kunnen aantrekken.

#### 4. Andere effecten

Dieren kunnen ook op andere manieren effecten ondervinden van de aanwezigheid van zonnepanelen op water. Waterkevers migreren 's nachts en laten zich leiden door weerspiegelende oppervlakten die zich voordoen als een wateroppervlakte. Indien de aanleg en gebruik van het zonnepark op het water gepaard gaat met de aanwezigheid van lichtbronnen, dient rekening gehouden te worden met de effecten hiervan op dieren.

#### **Conclusie**

Er is nog zeer weinig bekend van de manier waarop een zonnepark op water effect heeft op de waterkwaliteit en op soorten. De modelmatige benadering is slechts een eerste stap. Voor het vervolg is nodig dat er meer wordt gemonitord in bestaande zonneparken op water en dat deze kennis breed gedeeld wordt. Bij een voorzichtige aanpak voor De Lange Vlieter hoort er op kleine basis (met een beperkt oppervlak aan zonnepark) begonnen wordt, dat een brede monitoring (inclusief gedragsstudies) wordt opgezet en dat de resultaten van de monitoring regelmatig geëvalueerd worden. Dit zou dan wel in de vergunningsvoorwaarden opgenomen moeten worden, omdat achteraf hierover afspraken maken erg moeilijk is omdat dan vaak aanspraak wordt gemaakt op de bedrijfsgevoeligheid van de informatie.



## Synthese en beantwoording van de vragen

Het RIVM heeft verkennend onderzoek gedaan om de vragen van de provincie Limburg en WML over grondgebonden zonneparken, grondwaterbescherming en drinkwaterproductie te beantwoorden. Daarbij spelen twee omstandigheden. Ten eerste is het de taak van het RIVM om informatie te verzamelen, te interpreteren en te duiden, maar niet om beleidsmatige uitspraken te doen over de wenselijkheid en kansen van de aanleg van zonneparken op kwetsbare objecten, zoals een kwetsbaar grondwatersysteem. Ten tweede is er tot nu toe weinig (tot geen) gericht onderzoek gedaan naar de effecten van zonneparken op grondwatersystemen.

Om met beide omstandigheden passend om te gaan is begonnen met een 'inventariserend' onderzoek om alle potentieel relevante onderdelen van een toekomstige risicobeoordeling in beeld te brengen. Tijdens deze fase van het onderzoek krijgen alle aspecten voorlopig een gelijk gewicht mee. Dit wijkt daarom af van een 'worst case' onderzoek, waarbij de mate van onzekerheid doorwerkt in de kwantificering van de verschillende risico's. Om vast te stellen of de geïdentificeerde elementen in een specifieke situatie daadwerkelijk van belang zijn, is diepgaander, kwantitatief onderzoek nodig.

Er zijn evidente factoren die deze inventarisatie van mogelijke effecten nuanceren, en die in deze notitie niet verder zijn uitgediept. Ten eerste is de omvang van een zonnepark bepalend voor het niveau van de mogelijke effecten. Bij zonneparken speelt dit sterk omdat verwacht wordt dat het totale areaal aan zonneparken een significant deel van Nederland zal gaan bedekken (Bayer 2018). Dit rechtvaardigt een beleid op een grotere ruimtelijk schaalniveau dan dat van een waterwingebied. Ten tweede is er een categorie risico's als gevolg van het gebruik en de aanwezigheid van systeemvreemde stoffen: als een bepaalde stof (toxisch metaal, pesticide, etc.) niet wordt gebruikt, kan ze geen risico vormen. Ook deze overweging is niet uitgediept in deze inventariserende notitie. Een verantwoorde risicobeoordeling van zonneparken gaat uit van technieken die gebaseerd zijn op een levenscyclus analyse (LCA) in combinatie met een kwantitatieve multicriteria benadering (Campos-Guzman et al. 2019).

Het voorlopige 'conceptuele model' voor grondgebonden zonneparken met denkbare effecten bestaat uit tien modules die grofweg volgens de levenscyclus van een zonnepark gegroepeerd worden: Inpassing en aanleg, normaal gebruik, veroudering, catastrofe en einde levensduur. Dit model kan een uitgangspunt vormen voor generieke of locatiespecifieke risicobeoordeling en bij besluiten over de wenselijkheid van aanleg van zonneparken bij kwetsbare drinkwaterwingebieden. Als eerste toets hebben de betrokken RIVM experts onafhankelijk van elkaar de tien aspecten een gewicht toebedeeld naar vermeend belang voor de risicobeoordeling. Dit om tekortkomingen en overbodige aspecten in een vroegtijdig stadium te kunnen signaleren. Aangezien geen enkele module het gewicht 0 of 1 kreeg in de individuele scores, en gemiddeld niet lager dan 3 (op een schaal van 0 tot 10) kunnen we opmaken dat op basis van deze beperkte inventarisatie alle aspecten verdiepend onderzoek rechtvaardigen, om een toekomstige risicobeoordeling te kunnen uitvoeren.

Voor drijvende zonneparken is door Deltares een beschrijving gegeven over de huidige stand van kennis met betrekking tot zonneparken op water voortkomende uit het onderzoek binnen het nationaal Consortium Zon-op-water en de toepassing daarvan op De Lange Vlieter. Voor de achtergronden en uitgebreide toelichting wordt verwezen naar het Stroomschema Zon-op-Water (Colibri Advies & Deltares, 2018), het bijbehorende achtergronddocument (Van de Leemkolk et al, 2018) en de toelichtende handreiking (Loos & Wortelboer, 2019).

De Provincie Limburg heeft specifieke vragen gesteld die hieronder beantwoord worden:

### ***Effecten op grondwater***

*Zijn er effecten te verwachten tijdens de aanleg van zonneweides? Denk aan bijvoorbeeld graafwerkzaamheden of gebruik van machines. Zo ja, zijn er maatregelen mogelijk waarmee de effecten geheel kunnen worden weggenomen of vermeden.*

Antw: ja, aanleg en inpassing van zonnepark is een aspect wat in de risicobeoordeling meegenomen dient te worden, volgens de inzichten van deskundigen (deze notitie). De omvang van de effecten op de drinkwaterwinning is niet bekend, en wordt qua belang verschillend ingeschat. Er zijn mitigerende maatregelen mogelijk, maar de effectiviteit is zeer afhankelijk van uitvoering en omstandigheden. Niet alle mogelijke effecten kunnen geheel worden vermeden.

*Zijn er effecten te verwachten tijdens de exploitatie? Afhankelijk van de opstelling (zuid opstelling of oost-west opstelling) en bedekkingspercentage blokkeren panelen in meer of mindere mate neerslag en zonlicht.*

Antw: in het algemeen hebben grotere zonneparken en parken met een hogere bedekkingsgraad een grotere kans op mogelijke effecten. Bij gelijke omvang (in ha, niet in opgewekte energie) van het zonnepark heeft een oost-west opstelling daarom altijd een grotere impact dan een traditionele zuid-opstelling. Potentiele effecten van zonneparken bij normaal gebruik zijn inderdaad het gevolg van een veranderende hydrologie (verdeling van regenwaterinfiltratie) en verminderde primaire productie (koolstof- en energievoorziening van het ecosysteem), naast de effecten van potentiële stoffen. Dat kan invloed hebben op het bodemleven en op uitlogingskarakteristieken, zie het WUR-rapport 'Zonneparken natuur en landbouw'.

*Vragen die daarbij onder meer relevant zijn:*

*Wat zijn de gevolgen voor het infiltrerende water?*

Antw: vermoedelijk infiltreert het regenwater sneller dan zonder zonnepark, de mate waarin is sterk afhankelijk van lokale condities (o.a. grondsoort en vegetatie). Er ontstaan relatief vochtige en droge spots. Door uitloging kunnen systeemeigen stoffen (bijv. nitraat) en systeemvreemde stoffen uit de opstelling sneller naar het grondwater getransporteerd worden.

*Brengt het geconcentreerd op de bodem brengen van neerslag risico's met zich mee? Is dit te mitigeren of minimaliseren?*

Antw: dit dient nader onderzocht te worden. Er is mogelijk kans op snellere uitloging van stoffen. Oplossingen kunnen gezocht worden in beïnvloeding van afstroming van regenwater en homogener verdeling over het bodemoppervlak.

*Welke effecten kan het gebruik van bepaalde materialen hebben (uitloging, slijtage)?*

Antw: dit is sterk afhankelijk van materialen, intensiteit van blootstelling en wijze van veroudering. Ervaringen met effecten van hoogspanningsmasten en vangrail langs snelwegen op stoffen in de bodem, rechtvaardigen gericht onderzoek naar de risico's voor een drinkwaterwinning.

*Welke effecten hebben innovatieve bevestigingsmethoden van zonopstellingen op het grondwater (bijvoorbeeld bakkenopstelling of rijdende constructie)?*

Antw: De opzet en omvang van het onderzoek was te beperkt om hier aandacht aan te besteden; we zijn van een gangbaar zonnepark uitgegaan.

*Welke effecten kunnen optreden door beheer en onderhoud van de zonneweides, bijv. gebruik reinigingsmiddelen of andere stoffen.*

Antw: dit punt is door deskundigen benoemd als relevant beoordelingsaspect: reinigingsmiddelen, bestrijdingsmiddelen en middelen die bij reparaties worden gebruikt vormen een potentieel risico voor het grondwater. Dit is sterk afhankelijk van de hoeveelheid van de stoffen die worden toegepast, de maatregelen die getroffen worden om de stoffen niet in de bodem terecht te laten komen, de mate waarin deze stoffen uitlogen naar het grondwater en hoe schadelijk ze zijn. In de eerste paar jaar kan het bijvoorbeeld aantrekkelijk zijn om herbiciden toe te passen om ongewenste plantengroei onder en naast de panelen te voorkomen. Experimenteel onderzoek kan hier meer inzicht verschaffen.

*Wat is de levensduur van de panelen en is de tijd dat de zonnepanelen aanwezig zijn een factor, met andere woorden treden bepaalde effecten pas na verloop van tijd op?*

Antw: Panelen gaan lang mee (20 – 30 jaar), maar hoe lang is nog niet goed bekend. Milieueffecten op het bodem- en grondwatersysteem zijn soms heel traag, dus sommige effecten zullen pas na verloop van tijd zichtbaar zijn. Een bekend voorbeeld is de bodem-organische stof. Dit is een belangrijk aspect van de bodemkwaliteit. Bodemorganische stof daalt gedurende tientallen jaren bij verminderde of geen primaire productie. Het zal nog meer tijd kosten om het gehalte weer op peil te brengen nadat het zonnepark ontmanteld is.

*Welke faalmechanismen zijn er en hoe werken die door op de grondwaterkwaliteit? Als panelen worden beschadigd door bijvoorbeeld brand, vandalisme of weersinvloed en, hoe werkt dat dan door op het grondwater?*

Antw: dit is een belangrijk beoordelingsaspect, maar moeilijk te kwantificeren omdat het heel sterk afhankelijk is van de soort catastrofe. Het betreft zeldzame gebeurtenissen, met een potentieel zeer grote impact per gebeurtenis (kleine kans - groot risico). Bijvoorbeeld als er een catastrofale hagelbui veel zonnepanelen sterk beschadigt (figuur 5), zullen stoffen snel het paneel uitlogen. Directe sanering is dan de enige oplossing, maar drinkwaterproductie is in dat opzicht een relatief kwetsbare activiteit.

### ***Effecten op oppervlaktewater***

*Zijn er effecten te verwachten tijdens de aanleg van drijvende zonnepanelen? Denk aan gebruik van varend materieel. Zijn de mogelijke effecten te mitigeren of minimaliseren?*

Antw: ja, aanleg en inpassing van drijvende zonnepanelen is een aspect wat in de risicobeoordeling meegenomen dient te worden, volgens de inzichten van deskundigen (deze notitie). De omvang van de effecten is niet bekend. Er zijn

mitigerende maatregelen mogelijk, maar de effectiviteit is zeer afhankelijk van uitvoering en omstandigheden. Niet alle mogelijkheden effecten kunnen geheel worden vermeden.

*Zijn er effecten te verwachten tijdens de exploitatie? Afhankelijk van de opstelling blokkeren panelen in meer of mindere mate invallend zonlicht. Vragen die daarbij onder meer relevant zijn: wat zijn de gevolgen voor het oppervlaktewater, denk aan stratificatie, temperatuur, chemische samenstelling, effect op biologie zoals algengroei. Welke effecten kan het gebruik van bepaalde materialen hebben? Daarbij ook aandacht voor bijvoorbeeld uitloging en slijtage van drijvers en de materialen die daarbij vrij kunnen komen, aangroei op de drijvers (mosselen), extra input van stoffen bijvoorbeeld meststoffen doordat de panelen vogels aantrekken. Zijn de effecten te mitigeren?*

Antw: afhankelijk van de constructie van het zonnepark (drijflichamen en zonnepanelen) en de technieken die gebruikt worden, o.a. eenzijdig dan wel tweezijdig gebruik van de zonnepanelen, opstelling van de zonnepanelen in het zonnepark (oriëntatie op het zuiden of juist oost-west, statisch dan wel meedraaiend met de zon, enz.) zullen er grotere of minder grote effecten optreden. Boven de 50% bedekking zijn er grote veranderingen in de waterkwaliteit in modelsystemen te verwachten.

*Welke effecten kunnen optreden door beheer en onderhoud van de zonneweides, b.v. gebruik reinigingsmiddelen of andere stoffen.*

Antw: reinigingsmiddelen, bestrijdingsmiddelen en middelen die bij reparaties worden gebruikt vormen een potentieel risico voor de waterkwaliteit. Dit is sterk afhankelijk van de hoeveelheid van de stoffen die worden toegepast, de maatregelen die getroffen worden om de stoffen niet in het water te laten komen, de afbreekbaarheid van deze stoffen en hoe schadelijk ze zijn voor het ecosysteem. Het is misschien aantrekkelijk om zeepachtige stoffen voor het reinigen van de panelen te gebruiken om vogeluitwerpselen te verwijderen. Kwantitatief onderzoek van middelen en methodes kan hier meer inzicht verschaffen.

*Welke faalmechanismen zijn er en hoe werken die door op de oppervlaktewaterkwaliteit en daarmee mogelijk ook op de kwaliteit van het opgepompte grondwater? Als panelen worden beschadigd of zinken door bijvoorbeeld brand, vandalisme of weersinvloeden.*

Antw: dit is een belangrijk beoordelingsaspect, maar moeilijk te kwantificeren omdat het heel sterk afhankelijk is van de soort catastrofe. Het betreft zeldzame gebeurtenissen, met een potentieel zeer grote impact per gebeurtenis (kleine kans - groot risico). Bijvoorbeeld als er een catastrofale hagelbui veel zonnepanelen sterk beschadigt (figuur 5), zullen stoffen snel het paneel uitlogen. Directe sanering in het oppervlaktewater is in tegenstelling tot een grondgebonden zonnepark praktisch niet mogelijk. Het is niet uit te sluiten dat uitlogende materialen via infiltrerend oppervlaktewater het grondwater bereiken en daarmee de kwaliteit van het opgepompte grondwater mogelijk kunnen beïnvloeden. De kwantificering van dit risico en mogelijk effect is complex.

## Referenties

- Barré, P., Eglin, T., Christensen, B.T., Ciais, P., Houot, S., Kätterer, T., van Oort, F., Peylin, P., Poulton, P.R., Romanenkov, V., Chenu, C. (2010) Quantifying and isolating stable soil organic carbon using long-term bare fallow experiments. *Biogeosciences* 7: 3839–3850. doi: 10.5194/bg-7-3839-2010
- Bayer, M. (2018) De opmars van de zonneparken: energietransitie overrompelt gemeenten. *RO magazine* 36-03: 16-23.
- BLU (2013) Bayerisches Landesamt für Umwelt: Merkblatt Nr. 1.2/9 Planung und Errichtung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen in Trinkwasserschutzgebieten. Augsburg, Duitsland.
- Bonan, G. (2019) Chapter 8: soil moisture. In: (Bonan, G., ed.) *Climate change and terrestrial ecosystem modeling*. Cambridge University Press doi: 10.1017/9781107339217
- Buro Hemmen (2005) Maas en Mensen. Beheersvisie Maasplassen Limburg. In opdracht van Stichting Limburgs Landschap, Natuurmonument en Staatsbosbeheer.
- Campos-Guzmán, V., García-Cáscales, M.S., Espinosa, N., Urbina, A. (2019) Life Cycle Analysis with Multi-Criteria Decision Making: A review of approaches for the sustainability evaluation of renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 343-366. doi: 10.1016/j.rser.2019.01.031
- Colibri Advies & Deltares (2018) Stroomschema Vergunbaarheid Zon-op-Water. Interactieve presentatie in opdracht van nationaal Consortium Zon-op-Water. 101 pp.
- Espinosa, N., Zimmermann, Y.-S., Dos Reis Benatto, G.A., Lenz, M., Krebs, F.C. (2016) Outdoor fate and environmental impact of polymer solar cells through leaching and emission to rainwater and soil (2016) *Energy and Environmental Science*, 9 (5): 1674-1680. DOI: 10.1039/c6ee00578k
- Frambach, M., Schurer, B.L.M. (2019) De effecten van grondgebonden zonneparken op de bodemgesteldheid: Indicatief bodemonderzoek onder zonnepanelen. *Bodem* 29(1): 34-36.
- Grippo, M., Hayse, J.W., O'Connor B.L. (2014) Solar Energy Development and Aquatic Ecosystems in the Southwestern United States: Potential Impacts, Mitigation, and Research Needs. *Environmental Management*. 55(1): 244-256.
- Herden, C., Rasmus, J., Gharadjedaghi, B. (2009) Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Skripten 247, Bundesamten für Naturschutz. Bonn, Duitsland.
- Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Maestre, F.T., Tavassoli, M., Allen, E.B., Barrows, C.W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., Allen, M.F. (2014) Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 766-779. DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.041
- Kok, L., Van Eekeren, N., Van der Putten, W., Van den Born, G.J., Schouten, T., Rutgers, M. (2017) Zonneparken en bodemafdekking: trade-offs of win-win bij energieopwekking en bodemfuncties? *Bodem* 27(4): 18-21.
- Latunussa, C.E.L., Ardente, F., Blengini, G.A., Mancini, L. (2016) Life Cycle Assessment of an innovative recycling process for crystalline silicon photovoltaic panels. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 156: 101-111.

- Loos, S., Wortelboer, R. (2019) Handreiking voor vergunningverlening drijvende zonnepanelen op water. STOWA rapport 2018-73. STOWA, RWS, RVO, Colibri, Deltares.
- Robinson, S.A., Meindl, G.A. (2019) Potential for leaching of heavy metals and metalloids from crystalline silicon photovoltaic systems. *J. Nat. Res. Develop.* 9: 19-24.
- Tammaro, M., Salluzzo, A., Rimauro, J., Schiavo, S., Manzo, S. (2016) Experimental investigation to evaluate the potential environmental hazards of photovoltaic panels (2016) *Journal of Hazardous Materials* 306: 395-405. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.12.018
- Van de Leemkolk, W., Jongma, C., Handgraaf, S. (2018) Vergunbaarheid omgevingsdeel Zon op Water. Colibri Advies BV.
- Van der Zee, F.F., Bloem, J., Galema, P., Gollenbeek, L., Van Os, J., Schotman, A., De Vries, S. (2019) Zonneparken natuur en landbouw. Rapport 2945, Wageningen Environmental Research, Wageningen.

## BIJLAGE 1: Parameters voor Literatuuronderzoek

### 1.1 Literatuuronderzoek met de SCOPUS database

15 juli 2019, Jeanine Ridder

#### **SCOPUS Deel 1:**

(( TITLE ( solar W/3 ( park\* OR facilit\* OR panel\* OR farm\* OR plant OR utility-scale ) OR photovoltaic W/3 ( park\* OR facilit\* OR panel\* OR farm\* OR plant OR utility-scale OR large-scale ) OR agrophotovoltaic\* OR agrivoltaic\* ) ) OR ( KEY ( solar W/3 ( park\* OR facilit\* OR panel\* OR farm\* OR plant OR utility-scale ) OR photovoltaic W/3 ( park\* OR facilit\* OR panel\* OR farm\* OR plant OR utility-scale OR large-scale ) ) ) ) AND ( TITLE-ABS-KEY ( groundwater\* OR ground-water\* OR soil OR leach\* OR (\*water\* W/3 recharge ) ) ) )

Result: 191 documents

#### **SCOPUS Deel 2:**

( TITLE ( solar W/3 ( park\* OR facilit\* OR panel\* OR farm\* OR plant OR utility-scale ) OR photovoltaic W/3 ( park\* OR facilit\* OR panel\* OR farm\* OR plant OR utility-scale OR large-scale ) ) ) AND ( TITLE-ABS-KEY ( land-use OR heat-island OR ecosystem OR climat\* W/3 effect ) )

Results: 18 documents

#### **SCOPUS Deel 3:**

( TITLE ( solar W/3 ( park\* OR facilit\* OR panel\* OR farm\* OR plant OR utility-scale ) OR photovoltaic W/3 ( park\* OR facilit\* OR panel\* OR farm\* OR plant OR utility-scale OR large-scale ) ) ) AND ( TITLE ( impact ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( ground\* OR soil OR water OR environment\* OR land-use OR ecolog\* OR aquat\* )

Result: 38 documents

Totaal 331 referenties die mogelijk gerelateerd zijn aan de gestelde onderzoeksvraag.

Aangevuld met 5 artikelen uit test search op auteursnaam uit referenties (Grippo, Adeh, Moor-O'Leary, Hernandez (2015), Weselek 2019

### 1.2 Rapporten/grijze literatuur Zonneweiden i.r.t bodem/grondwater

12 juli 2019, door Jeanine Ridder

Bronnen geselecteerd op basis van referenties en expertise van instituten:

#### **- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems**

<https://www.ise.fraunhofer.de/en.html>

- publicaties 2019: geen relevante treffers

mogelijk: Jahresbericht 208/2019

<http://publica.fraunhofer.de/documents/N-540985.html>

=> echter: zoek op "boden", "grund", "wasser", "ekol": geen relevante informatie

- publicaties 2018: verwerking PV modules

<http://publica.fraunhofer.de/documents/N-503964.html>

- publicaties 2017: geen relevante treffers

- Fraunhofer-Publica (database met publicaties)

<http://publica.fraunhofer.de/starweb/pub09/en/index.htm>

solar AND soil  
solar AND groundwater  
=> levert geen relevante referenties

- **Uit literatuurlijst WUR rapport** (van der Zee et al., 2019):  
"Harvesting the sun for Power and Produce - Agrophotovoltaics..." niet van Fraunhofer, maar van Un. Hohenheim.

- **DART (Europese dissertaties)**  
<http://www.dart-europe.eu/basic-search.php>  
solar energy AND soil 30 ref's  
"solar park", 19 ref's  
solar AND groundwater, 12 refs  
=> geen relevante ref's

- **BASE (database Bielefeld, ook grijze literatuur)**  
<https://www.base-search.net/about/en/>  
groundwater OR soil tit:solar park\*: 21 ref's (Armstrong, 2x, geen andere relevante)  
impact\* or effect\* tit:solar tit:park: 18 ref's (Armstrong, 2x, geen andere relevante)  
grundwasser solar 7 refs (niet relevant)  
boden sonnenenergie 9 refs (niet relevant)  
"solar farm" "drinking water" 1 dissertatie, niet relevant  
"solar farm" "groundwater" 6 refs, niet relevant  
"solar farm" soil 10 refs, niet relevant  
"solar farm" leaching/leach\* geen ref's

- **NARCIS (Nederlandse repositories)**  
<https://www.narcis.nl/>  
photovoltaic AND soil 6 refs, niet relevant  
photovoltaic AND groundwater geen hits  
photovoltaic AND leach\* 3 ref's, niet relevant  
solar AND leach\* 9 ref's  
<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/505899>  
Outdoor fate and environmental impact of polymer solar cells through leaching and emission to rainwater and soil (2016)  
<https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/448196>  
Thin-Film Photovoltaic Cells: Long-Term Metal(loid) Leaching at Their End-of-Life (2013)  
<http://solareis.anl.gov/documents/fpeis/index.cfm>  
In literatuurlijst artikel: O'Connor (Quantifying the sensitivity of ephemeral streams to land disturbance activities in arid ecosystems at the watershed scale):  
Final programmatic environmental impact statement (PEIS) for solar energy development in six southwestern states. FES 12-24, DOE/EIS-0403, Bureau of Land Management and U.S (2012) Department of Energy

**- INRA**

<http://institut.inra.fr/en/Research-and-results/Results>  
"solar panel" : <http://www.inra.fr/en/Partners-and-Agribusiness/Results-Innovations-Transfer/All-the-news/Towards-photovoltaic-agrivoltaic>  
"agrivoltaic" geen relevante ref's  
"leach" geen relevante ref's  
Site is lastig te doorzoeken.

**- ETH**

<https://ethz.ch/en.html>  
Zoekfunctie website werkt niet (20190712)  
ETH Renewable Energy Policy Group  
<https://rep.ethz.ch/>  
rapporten:  
<https://rep.ethz.ch/publications/reports.html>  
Naturschutzbund Deutschland – NABU (uit literatuurlijst WUR rapport)  
Behalve rapport uit literatuurlijst (Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen) geen andere relevante publicaties gevonden

**- Duitsland:**

<http://www.agrophotovoltaik.de/>  
Lancaster University  
<https://www.lancaster.ac.uk/>  
Repository:  
<https://eprints.lancs.ac.uk/>  
solar park (2x artikel Armstrong)  
photovoltaic\*  
verder geen relevante ref's  
Google Zoekterm "solarenergie impact grondwasser"

Master Thesis 2017 (Institut für Bodenkultur Wien, <https://boku.ac.at/>)

Technikfolgenabschätzung von schwimmenden Solaranlagen  
Eine energetische und ökologische Betrachtung  
Sandra Kriechhammer BBA  
Zie PDF [fulltext\\_17079.pdf](#)

*"utility-scale solar soil"*  
<http://solareis.anl.gov/guide/environment/>

*"utility-scale solar groundwater"*

Water Use and Supply Concerns for Utility-Scale Solar Projects in the  
Southwestern United States  
<https://prod-ng.sandia.gov/techlib-noauth/access-control.cgi/2013/135238.pdf>

Impact of Water Use by Utility-Scale Solar on Groundwater Resources of the  
Chuckwalla Basin, CA: Final Modeling Report  
<https://escholarship.org/uc/item/1m7191xp>

THE ENVIRONMENTAL REVIEW OF SOLAR FARMS IN THE SOUTHEAST U.S.

[https://www.southernenvironment.org/uploads/audio/Solar\\_EnvReviewProcess\\_SitingSolar\\_Final.pdf](https://www.southernenvironment.org/uploads/audio/Solar_EnvReviewProcess_SitingSolar_Final.pdf)

"solar farm groundwater"

<https://bwa.co.za/the-borehole-water-journal/2016/9/11/protecting-groundwater-on-solar-energy-projects>

Kan niet geopend worden (legal reasons):

[Can Solar Energy Cause Water Pollution? | Education - Seattle PI](https://education.seattlepi.com)

<https://education.seattlepi.com> › [Science](#) ▼ [Vertaal deze pagina](#)

Photovoltaic **solar panels** and concentrated solar power are both methods of ... failure of the plumbing could send the heat transfer fluid into **groundwater**.

geen nieuwe relevante ref's:

"solarenergie impact boden"

"solar park groundwater"

"solar park leaching"

"solar park soil"

Totaal: 331 referenties die mogelijk raakvlakken hebben met het gezochte onderwerp

Desgewenst is een lijst met titels en samenvattingen van de 331 publicaties beschikbaar, als bredere achtergrondinformatie.

BIJLAGE 2: 51 geselecteerde referenties uit het literatuuronderzoek

- 1. Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review.** Weselek A, Ehmann A, Zikeli S, Lewandowski I, Schindele S, Högy P *Agronomy for Sustainable Development*. 2019; 39(4).  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85067597810&doi=10.1007%2fs13593-019-0581-3&partnerID=40&md5=a24d7d42591a717e31595a6c34af6819>
- 2. A multicriteria proposal for large-scale solar photovoltaic impact assessment.** Pimentel Da Silva GD, Magrini A, Branco DAC *Impact Assessment and Project Appraisal*. 2019.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85064887788&doi=10.1080%2f14615517.2019.1604938&partnerID=40&md5=6bb4bb2e01b7116b7ffb8126fe547d6e>
- 3. Impacts and opportunities from large-scale solar photovoltaic (PV) electricity generation on agricultural production.** Guerin TF *Environmental Quality Management*. 2019.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85067896511&doi=10.1002%2ftqem.21629&partnerID=40&md5=a350a2ca7b9737f7207583516194c26f>
- 4. Sustainable groundwater exploitation aiming at the reduction of water vulnerability in the Brazilian semi-arid region.** Cavalcante RG, Jr., Freitas MAV, da Silva NF, de Azevedo Filho FR *Energies*. 2019; 12(5).  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85062655017&doi=10.3390%2fen12050904&partnerID=40&md5=6eff36a271384ab6aff68177b8b93ba7>
- 5. The observed effects of utility-scale photovoltaics on near-surface air temperature and energy balance.** Broadbent AM, Krayenhoff ES, Georgescu M, Sailor DJ *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2019; 58(5): 989-1006.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85066611205&doi=10.1175%2fJAMC-D-18-0271.1&partnerID=40&md5=5f5f7320d09ef4089f14400b72a8a08b>
- 6. Solar energy farming as a development innovation for vulnerable water basins.** Al-Saidi M, Lahham N *Development in Practice*. 2019.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85064529702&doi=10.1080%2f09614524.2019.1600659&partnerID=40&md5=07d5b0519f947ad6aeafe7436bac0d5b>
- 7. Global status of recycling waste solar panels: A review.** Xu Y, Li J, Tan Q, Peters AL, Yang C *Waste Management*. 2018; 75: 450-8.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85042150920&doi=10.1016%2fj.wasman.2018.01.036&partnerID=40&md5=f96f0961b4ef8d16c00a805a588c64dd>
- 8. Shared fields shading: Solar power plants and crops.** Rojas-Hernández I. In: Cardona MN, editor.; 2018: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85061513421&doi=10.1109%2fCONCAPAN.2018.8596668&partnerID=40&md5=6744a1edf91981edd88a18e08b1341e2>

- 9. Concentrating solar power plants versus groundwater resources in Mediterranean areas of Spain: The environmental dilemma.** Moreno Merino L, Imbern Fernández N, Durán Valsero JJ, Aguilera H *Journal of Environmental Management*. 2018;206:409-17.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85032686138&doi=10.1016%2fj.jenvman.2017.10.055&partnerID=40&md5=0f7a6e1d52fef3da5f3ab90f62188bee>
- 10. Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots.** Elamri Y, Cheviron B, Mange A, Dejean C, Liron F, Belaud G *Hydrology and Earth System Sciences*. 2018;22(2):1285-98.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85042257705&doi=10.5194%2fhess-22-1285-2018&partnerID=40&md5=17bd11b5e677638dcb33d51fc0d01702>
- 11. Evaluation of the thermoelectric energy harvesting potential at different latitudes using solar flat panels systems with buried heat sink.** Carvalhaes-Dias P, Cabot A, Siqueira Dias JA *Applied Sciences (Switzerland)*. 2018;8(12).  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85058562870&doi=10.3390%2fapp8122641&partnerID=40&md5=ada3c91e8a0eaab0685e5add971315dc>
- 12. Comparative assessment of solar photovoltaic panels based on metal-derived hazardous waste, resource depletion, and toxicity potentials.** Bang YY, Hong NJ, Sung Lee D, Lim SR *International Journal of Green Energy*. 2018;15(10):550-7.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85052092419&doi=10.1080%2f15435075.2018.1505618&partnerID=40&md5=ee4323b23b2a810efc62ad27f23da7f9>
- 13. Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency.** Adeh EH, Selker JS, Higgins CW *PLoS ONE*. 2018;13(11).  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055916895&doi=10.1371%2fjournal.pone.0203256&partnerID=40&md5=92b67b46bf4081055b244ccc01ad17f6>  
<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0203256&type=printable>
- 14. Study on the local climatic effects of large photovoltaic solar farms in desert areas.** Yang L, Gao X, Lv F, Hui X, Ma L, Hou X *Solar Energy*. 2017;144:244-53.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85009910013&doi=10.1016%2fj.solener.2017.01.015&partnerID=40&md5=e77abf89cb331895e916a6eed3f1e34>
- 15. Experimental Study of the Leakage of Nitrate Molten Salt in the Soil.** Wu JQ, Ding J, Lu JF, Liang MH *Kung Cheng Je Wu Li Hsueh Pao/Journal of Engineering Thermophysics*. 2017;38(6):1300-4.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85029410203&partnerID=40&md5=02f0059f8c720bf08afb981bcefa98af>

16. **Leaching of cadmium and tellurium from cadmium telluride (CdTe) thin-film solar panels under simulated landfill conditions.** Ramos-Ruiz A, Wilkening JV, Field JA, Sierra-Alvarez R *Journal of Hazardous Materials*. 2017; 336: 57-64.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85018416172&doi=10.1016%2fj.jhazmat.2017.04.052&partnerID=40&md5=8ab38ff9d42229d33a27ce045b8b1dce>

17. **Sustainability of utility-scale solar energy – critical ecological concepts.** Moore-O'Leary KA, Hernandez RR, Johnston DS, Abella SR, Tanner KE, Swanson AC, et al. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2017; 15(7): 385-94.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028703977&doi=10.1002%2ffee.1517&partnerID=40&md5=12b1deeac7bf17a5fdc2ebf29a7dc8ed>

18. **A case study identifying and mitigating the environmental and community impacts from construction of a utility-scale solar photovoltaic power plant in eastern Australia.** Guerin T *Solar Energy*. 2017; 146: 94-104.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85013863687&doi=10.1016%2fj.solener.2017.02.020&partnerID=40&md5=182f64594649f43e3a22e8153ce03e15>

19. **The local climate impact of photovoltaic solar farms - Results from a field observation campaign in gobi desert C3 - ISES Solar World Congress 2017 - IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry 2017, Proceedings.** Gao X, Yang L, Hou X, Hui X. In: Renne D, Griffiths S, Romero M, Guthrie K, Mugnier D, editors.; 2017: International Solar Energy Society: p. 1397-408.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85050549832&doi=10.18086%2fswc.2017.22.01&partnerID=40&md5=a82035ccd44199f1593c9afa7afbd887>

20. **Isolation of bacterial strains able to degrade biphenyl, diphenyl ether and the heat transfer fluid used in thermo-solar plants.** Blanco-Moreno R, Sáez LP, Luque-Almagro VM, Roldán MD, Moreno-Vivián C *New Biotechnology*. 2017; 35: 35-41.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84999861925&doi=10.1016%2fj.nbt.2016.11.003&partnerID=40&md5=d838d5da7160095cadbee6e0f1f73e0a>

21. **Soil protection in solar photovoltaic farms by revegetation with mycorrhizal native species.** Ormeño MS, Hervás S, Amorós JA, Navarro FJG, Gallego JC, Pérez-De-Los-Reyes C *Soil Research*. 2016; 54(2): 237-41.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84961960495&doi=10.1071%2fSR15026&partnerID=40&md5=8fb28c69ba129b14d750fd0297825863>

22. **Thermodynamic analysis of a solar chimney power plant system with soil heat storage.** Guo P, Wang Y, Li J, Wang Y *Applied Thermal Engineering*. 2016; 100: 1076-84.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84982300243&doi=10.1016%2fj.applthermaleng.2016.03.008&partnerID=40&md5=8bfe25b62e912cf99bdae39ef7aef529>

**23. Characterization of Micro Inverter Solar Panels C3 - World Environmental And Water Resources Congress 2016: Environmental, Sustainability, Groundwater, Hydraulic Fracturing, and Water Distribution Systems Analysis - Papers from Sessions of the Proceedings of the 2016 World Environmental and Water Resources Congress.** Dudek C, Elmore AC. In: Pathak CS, Reinhart D, editors.; 2016: American Society of Civil Engineers (ASCE): p. 136-43.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84976473762&doi=10.1061%2f9780784479865.014&partnerID=40&md5=cc4f5a4d117d6c96e5a7a9132ff64fd5>

**24. Solar plants, environmental degradation and local socioeconomic contexts: A case study in a Mediterranean country.** Delfanti L, Colantoni A, Recanatesi F, Bencardino M, Sateriano A, Zamboni I, et al. *Environmental Impact Assessment Review*. 2016;61:88-93.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84979499861&doi=10.1016%2fj.eiar.2016.07.003&partnerID=40&md5=e49615642494fab81b7bf373673591e9>

**25. The photovoltaic heat island effect: Larger solar power plants increase local temperatures.** Barron-Gafford GA, Minor RL, Allen NA, Cronin AD, Brooks AE, Pavao-Zuckerman MA *Scientific Reports*. 2016;6.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84991735254&doi=10.1038%2fsrep35070&partnerID=40&md5=edb7aa9e866b8125c37b5c60658adbee>

**26. Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling.** Armstrong A, Ostle NJ, Whitaker J *Environmental Research Letters*. 2016;11(7).

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84979994152&doi=10.1088%2f1748-9326%2f11%2f7%2f074016&partnerID=40&md5=f568b77e63709e547a0f4055c9777104>

**27. Case study on the reservoir seepage at concentrated solar thermal power plant, Rajasthan, India C3 - GA 2016 - 6th Asian Regional Conference on Geosynthetics: Geosynthetics for Infrastructure Development, Proceedings.** Anjana RK, Arneppalli DN, Jain S, Cherishma P, Gandhi SR, Rao KD. 2016: Indian Chapter of International Geosynthetics Society: p. 579-90.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85009061177&partnerID=40&md5=7f434a90b7bdfc29e972641293700297>

**28. Solar power plants - Sustainability in civil works C3 - Proceedings of the IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference 2014, R10 HTC 2014.** Thalluri R, Shenoy S. 2015: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; 2015-January: p. 76-81.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84990943390&doi=10.1109%2fR10-HTC.2014.7026320&partnerID=40&md5=1871c748a0e60630548c8a5a0379bc64>

**29. Heat loss from thermal energy storage ventilated tank foundations.** Suárez C, Pino FJ, Rosa F, Guerra J *Solar Energy*. 2015;122:783-94.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84946434468&doi=10.1016%2fj.solener.2015.09.045&partnerID=40&md5=3c0e3931c2c1a0994ea97c5635de87be>

**30. Solar energy development impacts on land cover change and protected areas.** Hernandez RR, Hoffacker MK, Murphy-Mariscal ML, Wu GC, Allen MF *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2015; 112(44):13579-84.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84946600437&doi=10.1073%2fpnas.1517656112&partnerID=40&md5=b219951034a2408f0168f82b983ee278>

**31. Wind and solar farms underground cables ampacity when lining materials are used in trenches C3 - IEEE Industry Application Society - 51st Annual Meeting, IAS 2015, Conference Record.** Enrique EH, Rees A, Freihaut S. 2015: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84957625431&doi=10.1109%2fIAS.2015.7356929&partnerID=40&md5=d629be3ae80e9cd99c37784494a0ceca>

**32. Impact of photovoltaic-oriented DC stray current corrosion on large-scale solar farms' grounding and third-party infrastructure: modeling and assessment.** Charalambous CA, Demetriou A, Kokkinos ND *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2015; 51(6):5421-30.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84958180725&doi=10.1109%2fTIA.2015.2416241&partnerID=40&md5=97f94298b408326f6e29d5d95e969816>

**33. Solar panel installation: Burks Falls, Ontario, Canada.** *Erosion Control*. 2015; 22(4): 47-50.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84962861323&partnerID=40&md5=2789628dd8696c4ff898ecb32efcf3fe>

**34. Development of foundation systems for solar array at Owens Lake, California C3 - Geotechnical Special Publication.** Pekin O, Woon J, Do S, Kitch WA. 2014: American Society of Civil Engineers (ASCE): p. 3591-604.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84906827880&doi=10.1061%2f9780784413272.348&partnerID=40&md5=d9235585c4088c26350edfa284ec9a4f>

**35. The contribution of Utility-Scale Solar Energy to the global climate regulation and its effects on local ecosystem services.** De Marco A, Petrosillo I, Semeraro T, Pasimeni MR, Aretano R, Zurlini G *Global Ecology and Conservation*. 2014; 2:324-37.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84915811359&doi=10.1016%2fj.gecco.2014.10.010&partnerID=40&md5=4e9a262cfb09b2ace41beaa0deedef9d>

**36. Characterization of dust materials on the surface of solar panel.** Maghami MR, Hizam H, Gomes C, Ismail AG *Life Science Journal*. 2014; 11(SPEC. ISSUE 4): 387-90.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84899136760&partnerID=40&md5=c113d0c95143d700a17db81b850dbf6d>

**37. Environmental impacts of utility-scale solar energy.** Hernandez RR, Easter SB, Murphy-Mariscal ML, Maestre FT, Tavassoli M, Allen EB, et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; 29: 766-79.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84885108696&doi=10.1016%2fj.rser.2013.08.041&partnerID=40&md5=3730af99c90549f9bd7496cf1adf8e81>

38. **Solar Energy Development and Aquatic Ecosystems in the Southwestern United States: Potential Impacts, Mitigation, and Research Needs.** Grippo M, Hayse JW, O'Connor BL *Environmental Management*. 2014; 55(1): 244-56.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84925487300&doi=10.1007%2fs00267-014-0384-x&partnerID=40&md5=e81c226f16e3c67209f517ce012b5b72>
39. **Aspects regarding soil investigation and foundation design for photovoltaic power plants C3 - Springer Proceedings in Physics.** Farcas V, Ilies N. In: Bahsi ZB, Oral AY, Ozer M, editors.; 2014: Springer Science and Business Media, LLC; 155: p. 391-6.  
[https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84927636400&doi=10.1007%2f978-3-319-05521-3\\_50&partnerID=40&md5=aecf4eb3f58e02a8707ca9dc0659446c](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84927636400&doi=10.1007%2f978-3-319-05521-3_50&partnerID=40&md5=aecf4eb3f58e02a8707ca9dc0659446c)
40. **Wind farm and solar park effects on plant-soil carbon cycling: Uncertain impacts of changes in ground-level microclimate.** Armstrong A, Waldron S, Whitaker J, Ostle NJ *Global Change Biology*. 2014; 20(6): 1699-706.  
[https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84900032990&doi=10.1111%2f978-3-319-05521-3\\_50&partnerID=40&md5=c0235b51e07de0183a4f7dc5ebd8b87b](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84900032990&doi=10.1111%2f978-3-319-05521-3_50&partnerID=40&md5=c0235b51e07de0183a4f7dc5ebd8b87b)
41. **Revegetation in solar photovoltaic farms in Mediterranean areas.** Pérez-De-Los-Reyes C, Ormeño MS, Ortíz-Villajos JAA, Navarro FJG, Gallego JC, López RM, et al. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2013; 22(12 A): 3680-8.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84896535625&partnerID=40&md5=da6ae1d7dc9bb0d3dfe265be8cfb637>
42. **Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels?** Marrou H, Guillioni L, Dufour L, Dupraz C, Wery J *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013; 177: 117-32.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84894895796&doi=10.1016%2fj.agrformet.2013.04.012&partnerID=40&md5=63cd87c734d184a8cf4d9899949f457a>
43. **How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil-crop system?** Marrou H, Dufour L, Wery J *European Journal of Agronomy*. 2013; 50: 38-51.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84879398343&doi=10.1016%2fj.eja.2013.05.004&partnerID=40&md5=36cf73fd773d69d7d3620817fe5d7b83>
44. **Analysis of the potential for a heat island effect in large solar farms C3 - Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference.** Fthenakis V, Yu Y. 2013: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.: p. 3362-6.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84896482856&doi=10.1109%2fPVSC.2013.6745171&partnerID=40&md5=aa324bc41c3b7246d23beebba047424a>
45. **Understanding corrosion and its inhibition in chloride based molten salt heat-transfer fluids used in concentrated solar power plants C3 - NACE - International Corrosion Conference Series.** Dutta S, Mohapatra S, Coscia K. 2013.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84883893742&partnerID=40&md5=16f0aea985b1ec8be8a472e08ad4f8a5>

46. **Concrete modules for solar park.** Nüdling FC *Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Plant and Precast Technology*. 2012; 78(4): 28-30.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84861131745&partnerID=40&md5=a9ce9817c228b2b30e518ceee5286869>
47. **Evaluation of the influence of soil thermal inertia on the performance of a solar chimney power plant.** Hurtado FJ, Kaiser AS, Zamora B *Energy*. 2012; 47(1): 213-24.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84868527178&doi=10.1016%2fj.energy.2012.09.040&partnerID=40&md5=ef923ec04e00c8b39bd0ec89e23454d9>
48. **Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants.** Turney D, Fthenakis V *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011; 15(6): 3261-70.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79955895629&doi=10.1016%2fj.rser.2011.04.023&partnerID=40&md5=9742128e806f92a9edefb8d8cd7ba25f>
49. **Impact of solar thermal power plants on water resources and electricity costs in the Southwest C3 - 41st North American Power Symposium, NAPS 2009.** Holbert KE, Haverkamp CJ. 2009.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77954775496&doi=10.1109%2fNAPS.2009.5483989&partnerID=40&md5=acc867ea70ea73cffbb77419196c19b6>
50. **A perspective on thermal energy storage systems for solar energy applications.** Dincer I, Dost S *International Journal of Energy Research*. 1996; 20(6): 547-57.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0030166630&doi=10.1002%2f%28SICI%291099-114X%28199606%2920%3a6%3c547%3a%3aAID-ER173%3e3.0.CO%3b2-S&partnerID=40&md5=24fbfeb9d618579e9768543a09af8d21>
51. **Research and development of evaluation technology of photovoltaic power systems C3 - Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference.** Mine H, Yokouchi H, Oshiro T, Yukawa M, Kurokawa K. In: Anon, editor.; 1994; Piscataway, NJ, United States: IEEE; 1: p. 722-5.  
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028722951&partnerID=40&md5=a0aeef28a04c8267afd06e3e5bcc269c>

## BIJLAGE 3: Reacties Landelijke Werkgroep Gebiedsdossiers

### **Vraag aan de leden**

Voor deze vraag wend ik mij tot de leden van de omdat die het meest met grondwaterbescherming voor de drinkwatervoorziening bezig zijn. Vanuit de gemeente krijgen we de vraag wat we vinden van een zonneweide (perceel met zonnecollectoren) in een waterwingebied.

Afgezien van allerlei juridische zaken (wel of geen inrichting, wie is bevoegd gezag) zijn we op zoek naar de risico's van een zonneweide in het waterwingebied en hoe jullie daarmee om gaan.

Er is een artikel van het Louis Bolk Instituut

(<http://www.louisbolk.org/downloads/3270.pdf>) waarin de effecten van een zonneweide op de bodem in beeld zijn gebracht maar verder is er weinig over gepubliceerd. Bij het waterleidingbedrijf zijn de meningen verdeeld, vanuit duurzaamheid wil men wel zonneweides in het waterwingebied maar vanuit bescherming van het grondwater wil men alleen activiteiten die rechtstreeks met de drinkwaterwinning te maken hebben.

Hebben jullie hier ervaring mee of ideeën over?

Vooralsnog zullen we in grondwaterbeschermingsgebieden zonneweides wel toestaan, eventueel onder voorwaarde dat er geen milieubelastende stoffen worden gebruikt bij aanleg en het beheer en onderhoud.

Alvast dank en met vriendelijke groet

F.J.C. (Eric) Castenmiller

### **Reactie Drenthe**

Voor zover mij bekend zijn er geen plannen of aanvragen voor aanleg van zonneweiden/ parken in Drentse grondwaterbeschermingsgebieden of wingebieden. In onze POV staat aangegeven dat alleen activiteiten in waterwingebieden mogen plaatsvinden die "noodzakelijk zijn voor de openbare drinkwatervoorziening". De in Drenthe zijn overigens in beheer en eigendom van het waterleidingbedrijf. Zij dienen voor elke winning een beheerplan te maken, waarin is aangegeven hoe de gebieden worden ingericht en beheerd.

### **Reactie Gelderland**

In de bijlage een aantal artikelen over de risico's van zonnepanelen.

In Gelderland mogen binnen waterwingebieden alleen maar bestemmingen die geen groter risico kunnen vormen voor de kwaliteit van het grondwater dan de vigerende bestemming.

### **Reactie ministerie IenW**

Ik zag toevallig in de H2O nieuwsbrief dat de Stowa recent een handreiking heeft gepubliceerd over vergunningverlening van (wel drijvende) zonnepanelen.

In mei wordt daar ook een workshop over georganiseerd. Klik hier!

Een van de case studies die daarin uitgewerkt zijn is de plaatsing van panelen in de spaarbekkens van Evides. Nou realiseer ik me ook wel dat plaatsing op land toch echt wel andere koek is, maar er zijn wel parallellen te trekken denk ik.

Gezien zowel de vraag van Eric, en die van Sander in november lijkt het me een goed idee om bij onze bijeenkomst binnenkort hier stil bij te staan om ideeën uit te wisselen.

#### **Reactie VEWIN**

Dank voor je bericht. Niet direct ervaring mee, maar ter overweging, punt dat ik nog wel eens hoor is dat het na aanleg van een zonneweide erg ingewikkeld is om nog bij de leidingen te komen.

#### **Reactie Utrecht**

Wij hebben hier (nog) geen specifiek beleid voor. Er gelden gewoon de PMV regels en volgens mij betekent dat dat er in waterwingebied geen zonneweides zouden kunnen komen. In grondwaterbeschermingsgebied zullen er voorwaarden aan worden verbonden denk ik. (materiaalgebruik, schoonmaakmiddelen, ed).

Van Overijssel kwam enkele weken terug ook al zo'n soort vraag, maar dan meer gericht op de grondwaterbeschermingsgebieden (Annet Niens AGM). Zij gaan een onderzoek (laten) doen naar de effecten van zonneweides op de bodem.

Vanuit ons Energie transitieteam is er ook iemand bezig met het van de grond krijgen van een dergelijk onderzoek. Dat is Robin Koppers.