



Literatuurstudie naar mogelijkheden voor een ecologische inrichting van zonneparken

publieksversie



university of
 groningen



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

GRAUWE
KIEKENDIEF
KENNISCENTRUM
AKKERVOGELS



Literatuurstudie naar mogelijkheden voor een ecologische inrichting van zonneparken

Raymond Klaassen^{1,2}, Tonio Schaub², Henk-Jan Ottens², Alex Schotman³, Judit Snethlage³ & Gerben Mol³

1. Rijksuniversiteit Groningen RUG, Groningen
2. Grauwe Kiekendief - Kenniscentrum Akkervogels KA, Scheemda
3. Wageningen Environmental Research WUR, Wageningen



Definitieve versie, 14 november 2018. Hoofdstekst opgesteld door Raymond Klaassen en Alex Schotman. Henk-Jan Ottens en Tonio Schaub leverden commentaar op eerdere versie. Rapportage is gebaseerd op literatuurstudies uitgevoerd door Tonio Schaub, Judit Snethlage en Alex Schotman. Het concept eindrapportage is bekeken en becommentarieerd door Alco van Klinken (Provincie Groningen), Matthijs van Oosterhout (Provincie Noord-Holland), Diederik van Dullemen (Provincie Groningen) en Rob Appels (Provincie Groningen).

In opdracht van de Provincie Groningen en Provincie Noord-Holland

Groningen, 19 november 2018



Inhoudsopgave

Samenvatting van conclusies	3
Inleiding	4
Box I. Boerenlandvogels: akker- en weidevogels	5
Box II. Bodemkwaliteit	7
Kaders, aanpak en methodieken	9
<i>Effecten van zonneparken op boerenlandvogels</i>	9
<i>Effecten van zonneparken op bodem, insecten, vegetatie en bodembiodiversiteit</i>	9
Box III. Verschillende typen zonneparken	10
<i>Analyse en samenvatting</i>	11
Resultaten	12
<i>Algemeen</i>	12
<i>Effecten van zonneparken op vogels</i>	12
<i>Effecten van zonneparken op andere soortgroepen</i>	14
<i>Effecten van zonneparken op de bodem en bodembiodiversiteit</i>	15
<i>Maatregelen om biodiversiteit te bevorderen in zonneparken</i>	16
Box IV. Voorbeelden van ecologisch beheerde zonneparken in NL	17
Box V. Scheiden of verweven van functies	18
Discussie	19
<i>Effecten van zonneparken op de biodiversiteit, en maatregelen om biodiversiteit te bevorderen</i>	19
<i>Maatwerk: verschillende maatregelen in verschillende landschappen</i>	20
<i>Aanbevelingen voor monitoring</i>	20
<i>Kennislacunes</i>	21
<i>Aanbevelingen voor beleid ten aanzien van de ecologische inrichting van zonneparken</i>	23
Literatuurlijst	24

Samenvatting van conclusies

De opwekking van duurzame – niet van fossiele brandstoffen afhankelijke – energie kent momenteel een sterke groei. De aanleg van zonneparken in landbouwgebieden zet extra druk op de toch al schaarse ruimte in het buitengebied. Daarnaast gaat de aanleg van zonneparken ten koste van het leefgebied van boerenlandvogels (akker- en weidevogels), soortsgroepen die toch al sterk onder druk staan. Bovendien zijn er zorgen over mogelijk bodembederf (bodemdegradatie en bodemerosie) als gevolg van zonneparken. Echter, door een ecologische inrichting en beheer van zonneparken zouden deze juist ook een groene plus op het leefgebied van akkervogels kunnen zetten, en zou de bodemkwaliteit juist ook verbeterd kunnen worden, met name in gebieden die momenteel lage natuurwaarden en door intensieve landbouw uitgeputte bodems kennen. Voor de provincies Groningen en Noord-Holland hebben we middels een literatuurstudie de kennis over effecten van zonneparken op biodiversiteit (met name boerenlandvogels) en bodemkwaliteit op een rij gezet.

Uit voorbeelden uit de literatuur blijkt dat het effect van zonneparken op boerenlandvogels en biodiversiteit in het algemeen soms negatief, soms neutraal, en soms positief is. In de regel is het effect positief als (a) het zonnepark wordt aangelegd in een gebied met van origine zeer lage natuurwaarden (bijvoorbeeld intensief landbouwgebied), als (b) het zonnepark een ecologische inrichting kent (bijvoorbeeld kruidenrijk grasland en relatief veel ruimte tussen rijen zonnepanelen), en als (c) het zonnepark extensief beheerd wordt (bijvoorbeeld extensief maaibeheer in plaats van begrazing door schapen). Een belangrijke constatering is dat met de aanleg van een zonnepark er veelal een verschuiving plaatsvindt in de samenstelling van de lokale vogelgemeenschap. Een toename van het aantal vogels hoeft dus niet te betekenen dat er een plus op het leefgebied van de doelsoorten (boerenlandvogels) is gezet.

Wanneer de bodem onder de panelentafels bijna volledig wordt afgeschermd van licht en regenwater (reductie van 75% of meer) zal de ondergroei afsterven en het bodemleven verstoken blijven van de aanvoer van verse organische stof. Als gevolg daarvan neemt de bodemvruchtbaarheid af, almede de hoeveelheid organische stof en de opnamecapaciteit voor water. In hoeverre dit doorwerkt op het bodemleven zal afhankelijk zijn van grondsoort en beheer. Andere risico's betreffen bodemdegradatie bij de aanleg door verdichting erosie en verslemping bij de aanleg.

Hoewel er redelijk veel literatuur over zonneparken en biodiversiteit (boerenlandvogels) en bodem bestaat, is de wetenschappelijke onderbouwing veelal flinterdun. Er wordt bij aanbevelingen vaak uitgegaan van algemeenheden ("het is algemeen bekend dat ...") zonder dat effecten en maatregelen specifiek in de context van zonneparken getoetst zijn. Hier liggen belangrijke kennislacunes. Er bestaat een grote behoefte aan goede effectmonitoring volgens het stigente *before-after control-impact* protocol, en gericht onderzoek te doen middels experimenten met inrichting en beheer.

De overheid zou een doelgericht stimuleringsbeleid moeten voeren voor een ecologisch duurzame inrichting van zonneparken mede ook om het maatschappelijk draagvlak voor zonneparken te vergroten. Een positieve bijdrage aan biodiversiteit en bodem (groene duurzame plus) en een bijdrage aan kennisontwikkeling omtrent ecologisch duurzame inrichting van zonneparken zouden als voorwaarden voor de vergunningverlening gesteld kunnen worden.

Inleiding

Een belangrijke uitdaging voor de komende decennia is de transitie naar duurzame – niet van fossiele brandstoffen afhankelijke – energiebronnen. Een substantiële bijdrage wordt hierbij verwacht van wind- en zonne-energie. De praktijk leert dat voor de realisatie van de opwekking van met name zonne-energie er, naast bebouwd en industrieel gebied, door ontwikkelaars en beleidsmakers vooral ook wordt gekeken naar het agrarisch gebied. Deze nieuwe functie zet extra druk op de toch al schaarse ruimte in het buitengebied en op de kwaliteit van het leefgebied voor soorten die in het buitengebied voorkomen. Daarnaast roept de aanleg van zonneparken soms maatschappelijke weerstand op.

De motivatie voor de transitie naar duurzame energie is een belangrijke milieuwinst door een reductie aan CO₂ uitstoot. Opwekking van duurzame energie kan echter ook een keerzijde hebben, omdat het negatieve effecten op natuur en milieu kan hebben. Zo kan de aanleg van een zonnepark in het buitengebied bijvoorbeeld ten koste gaan van het leefgebied van daar voorkomende boerenlandvogels (akker- en weidevogels - zie box I). Ook bestaan er zorgen over het verlies van ondergrondse biodiversiteit alsmede bodemdegradatie en bodemerosie (bodemkwaliteit zie box II) door de aanleg van zonneparken. Echter, met een juiste (ecologische) inrichting zouden zonneparken juist ook een plus op het leefgebied van boerenlandvogels kunnen zetten, en juist ook de bodemkwaliteit kunnen bevorderen. Het laten zien dat een zonnepark met een ecologische inrichting een positief effect op boerenlandvogels en biodiversiteit in het algemeen heeft, kan ook de acceptatie van de aanleg van zonneparken door omwonenden bevorderen.



Figuur 1. Van bedreiging voor het leefgebied tot groene plus.

De provincies Groningen en Noord-Holland onderkennen de mogelijke negatieve effecten van zonneparken op biodiversiteit en willen zorg dragen voor het realiseren en optimaliseren van ecologische randvoorwaarden ter bevordering van de boven- en ondergrondse biodiversiteit bij de aanleg van zonneparken. Grauwe Kiekendief - Kenniscentrum Akkervogels, Rijksuniversiteit Groningen en Wageningen Environmental Research is verzocht om bestaande kennis over effecten van zonneparken op de biodiversiteit, alsmede informatie over biodiversiteit bevorderende maatregelen, te verzamelen en te bundelen. Het uiteindelijke doel is om met een juiste ecologische inrichting van zonneparken het leefgebied voor boerenlandvogels te verbeteren, waarmee economische exploitatie (opwekken energie) en ecologische waarden (leefgebied boerenlandvogels) beter in balans komen. Behalve het verzamelen en samenvatten van reeds bestaande kennis achten

provincie Groningen en Noord-Holland het van belang dat aansluitend onderzoek zal worden gedaan naar de effectiviteit van biodiversiteit bevorderende maatregelen. Hiertoe worden in dat rapport de belangrijkste kennislacunes benoemd.

De resultaten van het literatuuronderzoek worden gepresenteerd door middel van een overzicht van de effecten van zonneparken op biodiversiteit, en welke maatregelen getroffen kunnen worden om de biodiversiteit in zonneparken te verbeteren. Hierbij is met name gekeken naar de effecten van zonneparken op akkervogels en bodemkwaliteit (bodembiodiversiteit).

Box I. Boerenlandvogels: akker- en weidevogels

Landbouwgebieden zijn van oudsher rijk wat betreft biodiversiteit door een grote variatie in habitats en een hoge agrarische dynamiek van het milieu. Landbouwgebieden bieden door hun openheid en dynamiek een leefomgeving voor tal van specifieke soorten die zonder landbouw een marginaal bestaan in Nederland zouden hebben.

Bij boerenlandvogels maken we onderscheid tussen akker- en weidevogels. Akkervogels zijn soorten die voor (een deel van) hun levenswijze afhankelijk zijn van akkers, bijvoorbeeld omdat ze daar broeden, of omdat ze daar hun voedsel vergaren. Typische akkervogels zijn bijvoorbeeld de Veldleeuwerik, Gele Kwikstaart, Patrijs, Grauwe Kiekendief en Geelgors. Weidevogels zijn soorten die voor (een deel van) hun levenswijze afhankelijk zijn grasland (veelal veenweidegebieden). Typische weidevogels omvat de Grutto, Kievit en Tureluur. Het onderscheid tussen akker- en weidevogels is overigens niet glashard. Bijvoorbeeld de Veldleeuwerik was van oudsher ook een graslandvogel. Echter door het moderne zeer intensieve graslandbeheer vormt grasland voor Veldleeuweriken tegenwoordig een ecologische val, en is de Veldleeuwerik in veenweidegebieden dan ook vrijwel verdwenen. Verder is de Kievit ook een soort die zowel in graslandgebieden als op akkers voorkomt. De Kievit wordt daarom zowel onder de akker- als weidevogels geschaard.

Analyses van de trends van vogels laten zien dat met name vogels van het boerenland de laatste decennia sterk in aantallen achteruit zijn gegaan, vooral door de intensivering van de landbouw. Deze intensivering omvat de intensivering van het landgebruik (hoge mestgiften, veelvuldig gebruik van gewasbeschermingsmiddelen), specialisatie (steeds minder gewassen die verbouwd worden), en schaalvergroting (inclusief het verlies aan houtwallen, akkerranden en andere extensieve structuren). Boerenlandvogels kunnen niet voortbestaan in een landschap met de huidige intensiteit van landbouw. Extensivering van het landgebruik is noodzakelijk om boerenlandvogels te behouden. Er worden nationaal en regionaal maatregelen getroffen om boerenlandvogels te helpen, zoals vormgegeven in het Agrarisch Natuurbeheer als uitwerking van de Europese vergroening (bijvoorbeeld Bos *et al.* 2010).

Akkervogels

De Veldleeuwerik is een voorbeeld van een akkervogel die jaarrond op akkers verblijft. Hij broedt op de akkers en vind daar jaarrond zijn voedsel. Akkervogels omvatten ook soorten die alleen afhankelijk zijn van akkerbouwgebieden gedurende een bepaald deel van het jaar, zoals bijvoorbeeld vinkachtigen (Vink en Keep) uit noordelijk gelegen broedgebieden die in de winter op akkers naar voedsel zoeken. Als het gaat over akkervogels in Groningen en Noord-Holland kunnen we twee groepen onderscheiden:

a. Akkervogels van het open land. Dit zijn soorten van open landschappen die op de grond hun nesten bouwen. Deze soorten worden vooral bedreigd door intensivering van het landgebruik en specialisatie, en zijn dan ook gebaat bij braaklegging en de teelt van extensieve gewassen zoals bijvoorbeeld Luzerne. Voorbeelden van soorten zijn Veldleeuwerik, Gele Kwikstaart, Kievit en Grauwe Kiekendief.

b. Akkervogels van ruigte en struweel binnen het open akkerland. Deze soorten zijn afhankelijk van akkerranden, veldstruweel en hagen en heggen, waarin ze hun nesten bouwen en waar ze naar voedsel zoeken. Deze soorten worden vooral bedreigd door schaalvergroting, en kunnen geholpen worden met de aanleg van extensief beheerde landschapselementen. Voorbeelden zijn Paapje, Geelgors, Grasmus en Patrijs.



Figuur 2. “Droombeeld” van een rijk akkervogelgebied (tekening door Elwin van der Kolk).

Bij akkervogels kunnen we verder onderscheid maken tussen soorten die alleen in de zomer in Nederland voorkomen (zomergasten, bijvoorbeeld Gele Kwikstaart), soorten die alleen gedurende de trektijd en winter voorkomen (wintergasten, bijvoorbeeld Keep), en soorten die jaarrond in akkerbouwgebieden te vinden zijn (bijvoorbeeld Patrijs, Geelgors). Bij soorten die jaarrond voorkomen kunnen verschillende populaties betrokken zijn. De meeste Geelgorzen die in Nederland broeden blijven jaarrond in Nederland en kunnen daarom als standvogels beschouwd worden. In de winter komen er echter ook grote aantallen Geelgorzen van elders, waarschijnlijk uit noordelijke en oostelijke broedgebieden, om in Nederland de winter door te brengen. Het moge duidelijk zijn dat akkerbouwgebieden jaarrond leefgebied voor akkervogels vormen. Het is dan ook belangrijk om bij de ecologische inrichting van zonneparken een jaarrond perspectief te hebben.

Weidevogels

Met name de nattere veenweidegebieden, waar akkerbouw vrijwel niet voorkomt, zijn belangrijke hotspots voor weidevogels. Akker- en weidevogelgebieden zijn hierdoor ruimtelijk gescheiden. De Provincie Groningen kent slechts een paar relatief kleine weidevogelgebieden. Noord-Holland is daarentegen juist één van de (of zelfs *de*) belangrijkste weidevogelprovincies van Nederland. De meeste weidevogels zijn trekvogels die alleen in de zomer in Nederland voorkomen. Weidevogels nestelen in het grasland, en zoeken daar ook naar voedsel. Bij weidevogels kennen we niet het onderscheid tussen soorten van open gebieden en soorten van struwelen en andere opgaande

vegetatie, omdat eigenlijk alle weidevogels soorten van zeer open gebieden zijn. De belangrijkste soorten zijn Grutto, Kievit, Scholekster en Tureluur. Regenwormen vormen een belangrijk onderdeel van het dieet van de volwassen vogels, terwijl hun kuikens voor een groot deel afhankelijk van insecten zijn. In de winter worden graslandgebieden bevolkt door Goudplevieren, een trekvogel afkomstig uit Scandinavië en Rusland. Deze Goudplevieren profiteren van de hoge dichtheden aan regenwormen in de natte veenweidegebieden. Graslandgebieden worden in de winter ook door grote groepen ganzen en eenden bezocht. Deze herbivoren worden echter niet onder de weidevogels maar onder de watervogels geschaard.

Box II. Bodemkwaliteit

De bodem is de bovenste laag van de aardkorst, maar de definitie in de bodemkunde is specifiek, namelijk die laag van de aardkorst die door planten beworteld wordt (de rhizosfeer), of waarin zich bodemvormende processen afspelen. De bodem vervult een groot aantal functies die kunnen worden beschreven als ecosysteemdiensten. Voorbeelden zijn: de bodemvruchtbaarheid voor landbouw, het bufferend en reinigend vermogen voor water, afbraak van organische stof en opslag van koolstof, archieffunctie voor fysisch geografisch, biologisch en cultureel erfgoed, etc. De vervulling van die diensten heeft vaak geen economische betekenis en komt nogal eens in het nauw door rooibouw op grondstoffen en ruimte. Een bodem die alle beoogde functies goed vervult noemen we een gezonde bodem.

Een vruchtbare bodem is rijk aan organische stof, houdt water goed vast en bevat veel voedingsstoffen voor planten. Hoe vruchtbaarder de grond, hoe beter we gewassen kunnen produceren als voedsel voor mensen en dieren. Bodemvruchtbaarheid omvat alle chemische, fysische en biologische bodemeigenschappen die nodig zijn voor de groei van planten. In de landbouw draait het erom dat planten zo efficiënt mogelijk hun voedingsstoffen kunnen vinden en opnemen. Tegelijkertijd mogen zo weinig mogelijk voedingsstoffen verloren gaan naar lucht, water of diepere bodemlagen, waar ze onbereikbaar worden voor de plantenwortels.

Een gezonde bodem voor de landbouw is niet per definitie het beste voor behoud van de biodiversiteit aan wilde planten en de insecten en vogels die daarvan profiteren. Doordat men er in de moderne landbouw steeds beter in slaagt door bewerking, bemesting en chemische bestrijding van ongewenste organismen de toestand te optimaliseren voor de gewassen, blijft er weinig ruimte over voor natuurwaarden. Enkele decennia geleden was er veel meer ruimte voor wilde planten, insecten, zoogdieren en vogels. Het natuurbeleid en –beheer in Nederland streeft ernaar zoveel mogelijk van die soorten verbonden aan het oude biodivers rijke cultuurlandschap te behouden. Een minder intensief bewerkte bodem (minder intensieve landbouw), of een bodem die een tijd met rust wordt gelaten (braaklegging – geen landbouw), zal gezonder worden en meer waarde voor de natuur hebben.

Fysische bodemvruchtbaarheid omvat de structureigenschappen van de bodem. Deze moet een structuur bieden waarin plantenwortels vocht en voedingsstoffen kunnen opnemen. Ook moet de grond blijven liggen waar die ligt. Dus niet bij de eerste de beste regenbui wegspoelen, of met de wind wegwaaien (erosie). De eigenschappen van een bodem zijn onder andere afhankelijk van de textuur, oftewel de korrelgrootteverdeling van een bodem. Kleigronden bevatten relatief veel deeltjes die kleiner zijn dan twee micrometer. Zandgronden bevatten vooral deeltjes groter dan 64 micrometer. Veengronden bestaan volledig uit organische stof. Als ze niet te nat zijn bieden ze meestal een goede basis voor een goede fysische bodemvruchtbaarheid. Ontwatering bevordert

Kaders, aanpak en methodieken

De literatuurstudie omvat twee onderdelen, een studie naar effecten van zonneparken op boerenlandvogels (weide- en akkervogels, door Grauwe Kiekendief - Kenniscentrum Akkervogels) en een studie naar effecten van zonneparken op bodem en bodembiodiversiteit (door Wageningen Environmental Research).

Effecten van zonneparken op boerenlandvogels

Er is gezocht naar literatuur over a) effecten van zonneparken op vogels/biodiversiteit in het algemeen en b) mogelijkheden voor vogel/biodiversiteits-vriendelijke inrichting en beheer van zonneparken. Bij dit onderdeel van het literatuuronderzoek lag de focus op vogels. Andere soortgroepen (planten, dieren) zijn meegenomen, maar hier is de literatuurstudie niet als compleet te beschouwen.

Literatuur over op het water drijvende zonneparken is niet meegenomen, de zoektocht is beperkt tot zonneparken op het land. Verder is de literatuurstudie beperkt tot zonneparken met panelen bestaande uit fotonvoltaïsche cellen, in plaats van “*concentrated solar power*” (zie box III).

Er is gezocht binnen *Web of Science* (de grootste database van Engelstalige wetenschappelijke literatuur) met combinaties van devolgende zoektermen: “*solar farm*”, “*solar park*”, “*solar energy*”, “*photovoltaic*”, “*biodiversity*” en “*bird**”. Binnen het *Ornithologische Schriftenschat* (Duitstalige ornithologische literatuur) is gezocht op “*Solar*”, “*Sonne*”, “*Photovoltaik*”. Daarnaast is er in GoogleScholar en Google met verschillende combinaties van bovengenoemde zoektermen gezocht.

De volgende typen documenten zijn verzameld:

- onderzoeksliteratuur (wetenschappelijke peer-reviewed literatuur en “grijze” non peer-reviewed literatuur)
- reviews (wetenschappelijke en “grijze” literatuur)
- documenten met richtlijnen voor de inrichting van zonneparken
- natuurtoetsen voor geplande zonneparken (alleen aanvullend)
- *Biodiversity Management Plans (BMP)* voor geplande zonneparken (alleen aanvullend)
- handreikingen alle provincies van Nederland (voor zover beschikbaar)

Effecten van zonneparken op bodem, insecten, vegetatie en bodembiodiversiteit

De literatuurstudie naar effecten van zonneparken op de bodem, insecten, vegetatie en bodembiodiversiteit is volgens een vergelijkbare aanpak uitgevoerd. Er is gezocht naar publicaties die het effect van beschaduwning door zonnepanelen op bodemleven en vegetatie beschrijven. In GoogleScholar zijn in verschillende combinaties de volgende zoektermen gebruikt: “*solar farm*”, “*solar park*”, “*solar energy*”, “*photovoltaic*”, “*microclimat*”, “*soil*”, “*shading*”, “*agrivoltaic*”, “*PV*”, “*vegetation*”, “*precipitation*”. Door Jaap Bloem (WUR) zijn contacten in Duitsland bevraagd op het bestaan van onderzoek naar en publicaties over dit onderwerp. In de gevonden publicaties zijn de literatuurlijsten doorzocht op mogelijke bronnen. Zoals al eerder geconstateerd door Kok *et al.* (2018) zijn er vrijwel geen publicaties beschikbaar gewijd aan dit onderwerp. In bestaande handreikingen en richtlijnen is gezocht naar passages over de bodem.

Box III. Verschillende typen zonneparken

Er bestaan drie typen zonneparken. 1) Zonneparken met fotovoltaïsche panelen. Fotovoltaïsche panelen zetten zonlicht direct om in elektrische stroom. 2) Zonneparken met concentrerende spiegels, een techniek die ook wel *concentrating solar power* (CSP) wordt genoemd. Hierbij concentreren spiegels het zonlicht om warmte te produceren. Elektriciteit wordt vervolgens met stoom opgewekt. 3) Een geheel ander type zonnepark betreft zonnethermiekparks waarbij een vloeistof in panelen wordt opgewarmd. Zonnethermiekparks worden verder in dit rapport niet apart behandeld omdat deze qua opzet en configuratie op gangbare fotovoltaïsche zonneparken lijken.



Figuur 4. Voorbeeld van een zonnepark met fotovoltaïsche panelen (links) en voorbeeld van een “concentrating solar power” zonnepark.

Ecologische effecten van de verschillende typen zonneparken zijn heel verschillend. Een specifiek effect van CSP parks betreft de verbranding van vogels die door de geconcentreerde zonnestralen vliegen. CSP werd echter tot nu vooral in Spanje en de VS toegepast, en is technisch gezien geen reële optie voor landen met relatief weinig zonnestraling (zoals Nederland). De literatuurstudie is daarom dan ook tot parks met fotovoltaïsche panelen beperkt.



Figuur 5. Voorbeeld van een zonnepark met een oost-west opstelling van panelen. Delfzijl, Groningen.

Naast gangbare fotovoltaïsche zonneparken met naar het zuiden gerichte onder een lage hoek staande panelen dichtbij de grond zijn er een viertal andere configuraties mogelijk. (1) In opkomst zijn zogenaamde oost-west opstellingen waarbij panelen naar oost en west georiënteerd zijn in plaats van naar het zuiden. Bij een oost-west opstelling kunnen de zonnetafels zeer dicht op elkaar

geplaatst worden, waardoor vrijwel de gehele oppervlakte door panelen afgedekt wordt (figuur 5). Een oost-west opstelling is hiermee weliswaar efficiënt wat betreft energieopwekking omdat vrijwel het gehele oppervlak benut wordt voor de opwekking van energie, maar effecten op biodiversiteit en bodem zijn mogelijk buitenproportioneel omdat de bodem vrijwel geheel beschaduwd wordt.

(2-3) De volgende twee mogelijke opstellingen van zonnepanelen zijn interessant omdat deze een combinatie van akkerbouw en zonne-energie mogelijk maken (“agro- fotovoltaïsch” of “agrivoltaic”). Eén concept betreft horizontale panelen hoog boven grond (> 5m) op een draagconstructie gemonteerd. Onder de panelen is er ruimte voor akkerbouw of veehouderij. Een tweede concept betreft verticale “bifaciale” panelen. Het voordeel van verticale panelen is het feit dat regenwater niet door panelen opgevangen wordt.



Figuur 6. Voorbeeld van een zonnepark hoog boven de grond waardoor landbouw onder de stellages mogelijk blijft (links). Voorbeeld van bifaciale panelen (rechts) die eveneens landbouw tussen rijen panelen mogelijk maakt (bron: https://de.wikipedia.org/wiki/Photovoltaik-Freifl%C3%A4chenanlage#Agrophotovoltaik,_Agrovoltaik).

(4) In het buitenland bestaan daarnaast opstellingen met met de zon meedraaiende panelen.

Analyse en samenvatting

Alle studies die relevant werden geacht zijn opgenomen in de hoofdtabel (bijlage 1). Hierin wordt een overzicht gegeven van verzamelde bronnen, inclusief een korte kenschets van het precieze onderwerp en de belangrijkste bevindingen. Voor iedere studie staan samengevat informatie over type en aanpak studie, eigenschappen zonneparken, vastgestelde vogelsoorten, samenvatting van uitkomsten, en inschatting waarde voor de literatuurstudie. Locatie-specifieke aanbevelingen uit natuurtoetsen of BMP's voor specifieke zonneparken zijn hierin niet meegenomen.

Resultaten

Algemeen

Er is literatuur gevonden uit het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Verenigde Staten, Zuid-Afrika, Nederland (weinig), Australië (alleen locatie-specifieke plannen; voor deze studie niet van toepassing) en Hongarije (met name studies over de problematiek van polarotactische insecten). Er werden voor Nederland geen studies gevonden waarin uitgebreid gemonitord is in een bestaand zonnepark, wat we als een belangrijke kennislacune zien. De literatuur uit Nederland omvat:

- a) handreikingen van provincies (Provincie Fryslân 2017, Provincie Groningen 2018, Provincie Noord-Holland 2016, Provincie Overijssel 2017), gemeenten (bijvoorbeeld Gemeente Oldambt) en natuurorganisaties (GNMF 2018). Opgemerkt wordt dat het in deze handreikingen nauwelijks over natuur en biodiversiteit gaat. Een belangrijk vaak terugkomen punt is wel dat natuurvriendelijke maatregelen ook als positief wat betreft landschaps-esthetica beschouwd worden (dubbele functie)
- b) natuurtoetsen in planfase (bijvoorbeeld Engels & Kleyheeg-Hartman 2016)
- c) plannen voor ecologische inrichting van zonneparken (bijvoorbeeld Midden-Groningen – Eelerwoude 2018, Stadskanaal – BügelHajema 2018)
- d) voorbeelden van zonneparken die specifiek natuurvriendelijk ingericht zijn en beheerd worden (bijvoorbeeld “De Kwekerij” in Gelderland en “Ubbena” in Drenthe). Echter, voor deze zonneparken waren geen onderzoeksrapporten beschikbaar.

Effecten van zonneparken op vogels

Zonneparken worden wel degelijk door vogels gebruikt (bijvoorbeeld Herden *et al.* 2009, Visser 2016, Raab 2015, Montag *et al.* 2016, Sinha *et al.* 2018). Ook in de technische literatuur worden broedvogels in zonneparken benoemd, opvallend genoeg veelal als probleem (vogelpoep, bijvoorbeeld Lamont & El Chaar 2011).

In studies waarin het voorkomen van vogels werd vergeleken tussen zonneparken en de situatie voor de bouw van het park of tussen zonneparken en de omgeving (referentiegebied), werden soms negatieve effecten gevonden (aantal vogelsoorten: DeVault *et al.* 2014, Montag *et al.* 2016, Tröltzsch & Neuling 2013; aantal individuen/territoria: Heindl 2016, Tröltzsch & Neuling 2013), soms werd er geen effect gevonden (neutraal; aantal vogelsoorten en -individuen: Visser 2016), en soms werd er juist een positief effect gevonden (aantal vogelsoorten: Montag *et al.* 2016, Lieder & Lumpe 2012). De richting van het effect van de aanleg van een zonnepark lijkt door drie factoren te worden beïnvloed:

- a) de aard van het gebied voor de constructie van het zonnepark. Effecten van de aanleg van zonneparken kunnen positief zijn als deze worden gebouwd op intensieve landbouwgrond (aangetoond in Montag *et al.* 2016; aanwijzingen verder in Raab 2015, Herden *et al.* 2009, Lieder & Lumpe 2012). Effecten van zonneparken zijn veelal negatief als deze worden aangelegd in meer natuurlijke habitats en natuurgebieden (bijvoorbeeld Tröltzsch & Neuling 2013, Heindl 2016).
- b) de configuratie van de panelen. Zonneparken zijn aantrekkelijker voor vogels als er meer ruimte tussen de panelen bestaat. Bijvoorbeeld, Tröltzsch & Neuling (2013) vonden meer nesten in zonneparken met meer ruimte tussen panelen.
- c) het beheer van het zonnepark (aangetoond in Raab 2015, aanwijzingen in Montag *et al.* 2016, Herden *et al.* 2009). Positieve effecten werden gevonden in het geval van een extensief

beheer van het zonnepark, zoals de aanleg van kruidenrijk grasland. Begrazing lijkt zelfs in lage dichtheden al negatieve effecten op biodiversiteit te hebben.

In het algemeen is door de aanleg van een zonnepark een verschuiving in de samenstelling van de soorten die het gebied gebruiken te verwachten, omdat verschillende soortgroepen vermoedelijk verschillend op de aanleg van een zonnepark reageren. Dit wordt aangetoond door Visser (2016).

Voor bepaalde akkervogels blijken zonneparken potentieel broedhabitat te vormen. Akkervogels die als broedvogels in zonneparken werden aangetroffen zijn Veldleeuwerik (Tröltzsch & Neuling 2013, Lieder & Lumpe 2012, Herden *et al.* 2009, Raab 2015), Graspieper (Lieder & Lumpe 2012), Gele Kwikstaart (Raab 2015), Kneu (Tröltzsch & Neuling 2013, Lieder & Lumpe 2012, Raab 2015), Ringmus (Raab 2015), Geelgors (Tröltzsch & Neuling 2013, Lieder & Lumpe 2012, Herden *et al.* 2009, Raab 2015), Grauwe Klauwier (Heindl 2014, Raab 2015), Paapje (Tröltzsch & Neuling 2013, Heindl 2016, Raab 2015) en Patrijs (Herden *et al.* 2009, Raab 2015). Een akkervogel die zonneparken lijkt te mijden is de Grauwe Gors (Heindl 2016, Lieder & Lumpe 2012).

Roofvogels zoals Buizerd, Rode Wouw en Torenvalk werden niet als broedvogels in zonneparken aangetroffen maar maakten wel regelmatig gebruik van zonneparken om te foerageren (bijvoorbeeld Raab 2015, Visser 2016, Montag *et al.* 2016). Er zijn verschillende aanwijzingen dat grotere vogels, met name soorten die in groepen leven (bijvoorbeeld ganzen) zonneparken weinig gebruiken (DeVault *et al.* 2014). Vermijden van zonneparken door grote vogels en weidevogels wordt ook door Herden *et al.* (2009) en Lieder & Lumpe (2012) vermoed. Het is opmerkelijk dat nergens de aanwezigheid van weidevogels in zonneparken is aangetoond. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de onderzochte zonneparken niet in typische weidevogelgebieden lagen (Herden *et al.* 2009).

Zonnepanelen bieden ook nieuwe nestlocaties (bijvoorbeeld Hernandez *et al.* 2014, Visser 2016, Lamont & El Chaar 2011, Tröltzsch & Neuling 2013, Heindl 2014, Herden *et al.* 2009). Wat Europese vogels betreft is nestelen op de panelenconstructie zelf vastgesteld voor Kneu, Witte Kwikstaart, Zwarte Roodstaart, Grauwe Klauwier en Kramsvogel (Tröltzsch & Neuling 2013, Heindl 2014, Herden *et al.* 2009).

Een ander belangrijk aspect van zonneparken betreft het hekwerk waarmee zonneparken vanwege veiligheid omgeven worden. Aan de ene kant wordt dit hekwerk als een negatieve factor voor met name zoogdieren, amfibieën en reptielen gezien omdat het hekwerk een barrière vormt en daarmee per definitie een stuk leefgebied voor deze soortgroepen verloren gaat (bijvoorbeeld BirdLife Europe 2011, Herden *et al.* 2009). Er worden maatregelen voorgesteld om het hekwerk doordringbaar voor (kleine) zoogdieren, etc. te maken. Verder wordt in sommige bronnen een aanvaringsrisico voor grote zware vogels vermoed (trappen, zwanen en ganzen, BirdLife Europe 2011). Aan de andere kant wordt het hekwerk als iets positiefs beschouwd omdat het vogels die binnen het zonnepark broeden beschermt tegen grondpredatoren (alleen BRE 2014). Hierbij moet worden opgemerkt dat regulier gebruikte hekken in de praktijk geen volledige bescherming tegen grondpredatoren bieden, omdat deze zich onder het hek heen kunnen graven en er over de tijd onbedoelde gaten ontstaan (Herden *et al.* 2009). Er bestaan voorbeelden van grondpredator-veilige hekken, zoals bij het beschermingsproject voor de Grote Trap in Brandenburg, Duitsland (Langgemach & Bellebaum 2005) gebruikt worden, die in principe ook bij zonneparken toegepast zouden kunnen worden.

Een mogelijk negatief effect van zonneparken betreft directe mortaliteit door zonnepanelen. Dit blijkt echter in slechts een aantal specifieke gevallen voor te komen, en niet relevant voor de situatie in Nederland/Europa te zijn. Het is bijvoorbeeld bekend dat vogels kunnen verbranden als ze door

de geconcentreerde zonnestrallen in CSP zonneparken (zie box III) vliegen, of tegen de heliostats (spiegels) aanbotsen die het zonlicht concentreren (McCrary *et al.* 1986; Kagan *et al.* 2014; Walston *et al.* 2016). Mortaliteit van vogels is verder bekend van (normale) fotovoltaïsche zonneparken in de woestijn. Dit betreft watervogels die zonnepanelen met wateroppervlakte verwisselen (“lake effect”, Kagan *et al.* 2014; Walston *et al.* 2016). Deze vogels sterven niet direct maar stranden al dan niet gewond binnen het zonnepark en worden daar gepredeerd (Kagan *et al.* 2014). Bij gedetailleerde studies in Duitsland en in het Verenigd Koninkrijk werden geen slachtoffers in fotovoltaïsche zonneparken gevonden (Feltwell 2013, Lieder & Lumpe 2012, Herden *et al.* 2009). Herden *et al.* 2009 observeerden ook geen landingspogingen van watervogels die over zonneparken vlogen. Ook DeVault *et al.* 2014 (Verenigde Staten) trof geen aanvaringsslachtoffers aan ondanks een grote steekproef. Visser 2016 (Zuid-Afrika) rapporteerde wél kadavers, maar de precieze doodsoorzaak en daarmee de relatie met het zonnepark was onduidelijk.

Effecten van zonneparken op andere soortgroepen

Hier wordt allereerst een korte opsomming gegeven van welke studies informatie over effecten van zonneparken op andere soortgroepen dan vogels geven:

Sprinkhanen:	Herden <i>et al.</i> 2009, Raab 2015
Vlinders:	Raab 2015, Guiller <i>et al.</i> 2017, Montag <i>et al.</i> 2016
Hommels:	Montag <i>et al.</i> 2016
Insecten algemeen:	Herden <i>et al.</i> 2009
Waterinsecten:	Horváth <i>et al.</i> 2009, 2010, Herden <i>et al.</i> 2009
Planten:	Raab 2015, Herden <i>et al.</i> 2009, Montag <i>et al.</i> 2016
Vleermuizen:	Montag <i>et al.</i> 2016, Harrison 2017 (review), Taylor 2014 (review)
Grondgebonden zoogdieren:	Herden <i>et al.</i> 2009

Studies naar effecten van zonneparken op deze soortsgroepen richten zich vooral op het voorkomen van soorten. Er is vrijwel geen onderzoek gedaan naar de ecologie van de soorten. Net zoals bij vogels blijkt het effect van zonneparken op het voorkomen van deze soortsgroepen samen te hangen met wat de Ausgangssituatie was (positief effect van aanleg van zonnepark met ecologische inrichting op plek met daarvoor lage natuurwaarden), configuratie van zonneparken (positief effect bij meer ruimte tussen panelen), en beheer van het zonnepark (positief effect bij een extensief beheer).

Verrassend genoeg blijken effecten van zonnepanelen op waterinsecten goed onderzocht. Zonnepanelen reflecteren gepolariseerd licht en lijken daardoor op watervlaktes (zoals ook andere artificiële structuren zoals glas- en asfaltvlaktes; Horváth *et al.* 2009, 2010). Het blijkt dat waterinsecten sterk worden aangetrokken door zonnepanelen, o.a. voor de eileg (Horváth *et al.* 2009, Herden *et al.* 2009). Panelen worden zelfs geprefereerd over watervlaktes. Panelen werken op deze manier als val, maar tot dusver is er geen onderzoek gedaan naar effecten op populatieniveau. Száz *et al.* (2016) benadrukken wel het “*potential to negatively impact their global populations [of aquatic insects] as solar energy expands*”.

Aantrekkingskracht van panelen op waterinsecten kan verminderd worden door witte strepen op de panelen aan te brengen. Kleine strepen (1.8% van oppervlakte) blijken voldoende (Horváth *et al.* 2010). Matte panelen met anti-reflectieve coatings blijkt niet te helpen (alleen onder bepaalde weersomstandigheden en voor bepaalde soortgroepen; Száz *et al.* 2016). Daarnaast wordt

aanbevolen zonneparken niet te dichtbij watervlaktes te plaatsen (Száz *et al.* 2016), waarbij niet wordt aangegeven welke minimale afstand tot water aangehouden zou moeten worden.

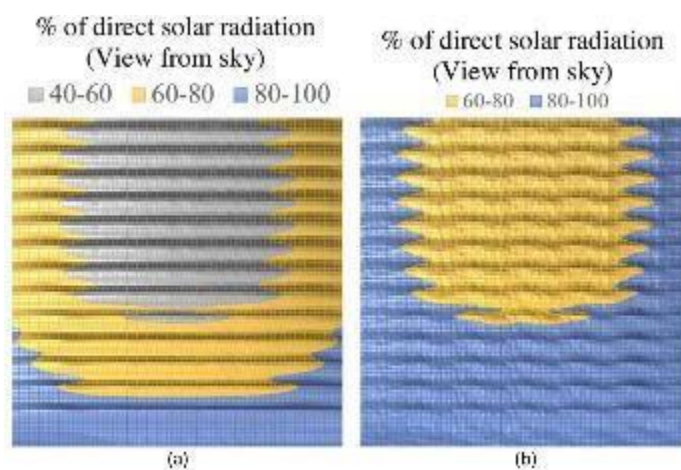
Andere insecten dan waterinsecten zouden ook door het gereflecteerde gepolariseerd licht aangetrokken of anderszins beïnvloedt kunnen worden, bijvoorbeeld hommelmachtigen of andere visueel ingestelde insecten, maar hierover werd geen informatie gevonden.

Tenslotte zijn er aanwijzingen dat ook vleermuizen panelen als wateroppervlakten waarnemen. Het lijkt echter onwaarschijnlijk dat daardoor een aanvaringsrisico bestaat. Er zijn geen studies bekend waar slachtoffers gevonden werden (reviewed door Taylor 2010 en Harrison *et al.* 2017).

Effecten van zonneparken op de bodem en bodembiodiversiteit

Bij een ecologische inrichting van zonneparken met extensief beheerde vegetaties als uitgangspunt, zal de kans op bodembederf nihil zijn, en is juist een positief effect op de structuur en kwaliteit van de bodem te verwachten, vooral als de uitgangssituatie intensieve landbouwgrond was. Omdat de grond voor lange tijd uit productie genomen wordt (verwachte looptijd zonneparken varieert tussen de 15 tot 30 jaar) kan de grond tot rust komen en de bodemkwaliteit herstellen en verbeteren. Een specifiek aandachtspunt is het voorkomen van bodemverdichting tijdens de aanleg van zonneparken. Erosie en verspoeling van de bodem kan een issue zijn als panelen vlak liggen en de ruimte tussen rijen panelen nauw is, vooral als de vegetatie slecht ontwikkeld is, en in het geval het zonnepark op een helling gebouwd is. Erosie kan op alle bodems voorkomen.

Vegetatie onder panelen ontwikkelt zich slechter naar mate een groter deel van het voor de fotosynthese bruikbare directe en diffuse licht wordt tegengehouden (Beattly *et al.* 2017, Dupraz *et al.* 2011, Fraunhofer Institute 2017, Kok *et al.* 2017, Majumdar *et al.* 2018, Valle *et al.* 2017). De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van de eigenschappen van het zonnepark. Een zonnepark bestaat uit 'tafels' waarin een groot aantal panelen zijn samengevoegd tot één geheel. Een zonnetafel (*solar array*) heeft een lengte, een breedte, een minimum en maximumhoogte die de hellingshoek bepalen en een expositie. Binnen de zonnetafel zijn er horizontale en verticale spleten tussen de afzonderlijke panelen van meestal één a twee centimeter breed die licht en regenwater doorlaten. Ze kunnen geheel of gedeeltelijk voorkomen dat regenwater helemaal afstroomt naar de onderrand van de tafel. Al deze eigenschappen bepalen mede hoeveel licht en regenwater er op de bodem onder de tafels valt en daarmee in welke mate vegetatiegroei hierdoor wordt beperkt. Met simulatiemodellen is voor gespecificeerde opstellingen te berekenen hoe groot de lichtreductie over het groeiseizoen of op en bepaald moment van het seizoen of de dag zal zijn (figuur 7).



Figuur 7. Gemodelleerde zonlicht reductie in op het Zuiden gerichte panelen; waarbij de tafels de helft (a) of een kwart van de bodem bedekken (naar Majumdar&Pasqualetti, 2018, overgenomen uit Frambach et al. 2018).

Er bestaat geen overzicht van de eigenschappen van de Nederlandse zonneparken en er zijn geen metingen bekend van de hoeveelheid regenwater en licht onder de zonnetafels. Er zijn slecht enkele publicaties gevonden met meetwaarden onder zonnepanelen (Dupraz *et al* 2011, Armstrong *et al* 2016, Fraunhofer Institute 2017). Het diffuus licht nam af tot ongeveer 60%. In een agrivoltaic systeem met een halve dichtheid aan panelen was de hoeveelheid licht onder panelen van 1 m hoogte 55% tot 85%. Onder hoge zonnepanelen is de lichtreductie veel minder. Er zijn oogstopbrengsten mogelijk die slecht 5% (grasklaver mengsel) en 18 tot 19% (aardappels, tarwe) lager zijn dan anders (Fraunhofer Institute 2017). In Estland zijn proeven gedaan met kunstmatige beschaduwing van 46 grassen en graslandplanten (Semchenko *et al* 2012). De studie laat zien dat veel planten een groot aanpassingsvermogen hebben en dat de soorten verschillend reageren. Er zijn veel schaduwminnende planten die juist profiteren van beschaduwing. Bij een beschaduwing tot 50% van het daglicht nam de droge stofproductie zelfs toe, bij 25% van het daglicht was er nog geen significante afname en pas bij 10% of minder was de vegetatiegroei echt geringer. Met modellen voor de toetreding van licht onder zonnepanelen en voor de groei van gras onder die omstandigheden is het mogelijk een drempelwaarde te bepalen waarbij de productie van organische stof voldoende is, voor behoud van het bodemleven, of b.v. het uitgangspunt de de hoeveelheid organische stof op peil moet blijven. Deze modellen zijn nog niet toegepast waardoor er nu nog geen conclusie te trekken valt over de minimale hoeveelheid licht en over richtlijnen voor installatiekenmerken.

In een recent afgerond studentenonderzoek (Frambach *et al* 2018) is op zonnige dagen de relatieve hoeveelheid licht (PAR, photosynthetic active radiation) gemeten onder zonnepanelen in vier op het zuiden gerichte zonneparken (hoogte minimaal 50-70 cm maximaal 220-245 cm, helling 16 tot 21 graden, breedte van de tafels 4 tot 6 m en de breedte tussen de rijen 4.6 tot 6 m). Aan de randen van de tafels was de relatieve reductie van de hoeveelheid licht op bodemhoogte 58% tot 82%, in het midden 89 tot 95%. Een algemene observatie was dat er midden onder de tafels meestal minder vegetatie was, bestaand uit evenveel maar andere soorten. In de schaduw stonden duidelijk minder bloeiende planten dan in volle zon. Deze vanwege het geringe aantal waarnemingen niets toetsbare observatie geven een eerste indruk. Er kunnen nog geen conclusies aan worden verbonden.

In een korte studie door studenten is in september-oktober van dit jaar (2018) in vier zonneparken gekeken naar de diversiteit en abundantie van regenwormen (Frambach *et al* 2018). De uitkomst was dat er middenonder de panelen minder wormen werden waargenomen (niet toetsbaar vanwege het beperkt aantal waarnemingen). De observaties wijzen ook op minder bodemactiviteit (CO₂ in bodemlucht), nattere omstandigheden aan de zuidkant (drup) en drogere omstandigheden (water infiltratie) onder de panelen. Tussen de parken zijn er behoorlijke verschillen in de waarnemingen zodat eenduidige conclusies nog niet kunnen worden getrokken.

Maatregelen om biodiversiteit te bevorderen in zonneparken

In verschillende studies, richtlijnen en inrichtingsplannen worden aanbevelingen gedaan over het treffen van maatregelen om de biodiversiteit te herstellen. Twee aspecten worden daarbij vaak benoemd, en lijken de kern van een ecologische inrichting te vormen.

(a) extensief beheer van de grond onder en tussen panelenrijen (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007, BRE 2014, Herden *et al* 2009, Lieder & Lumpe 2012, Montag *et al* 2016, NABU 2010, Peschel 2010, Raab 2015).

(b) buffer met een ecologische invulling rondom het zonnepark (zoals struiken en hagen; bijvoorbeeld BirdLife Europe 2011, BRE 2014, Herden *et al* 2009, NABU 2010, Raab 2015, WWF 2013). Buffer omvat ook een brede strook van extensief beheerd kruidenrijk grasland of braakvegetatie.

Maatregelen zijn veelal gebaseerd op algemene kennis, maar de wetenschappelijke onderbouwing ontbreekt grotendeels. Hier ligt een belangrijke opgave voor de toekomst.

Box IV. Voorbeelden van ecologisch beheerde zonneparken in NL

Hier wordt een kort overzicht gegeven van reeds gerealiseerde zonneparken met een uitgesproken ecologisch beheer die als inspiratie voor ideeën voor een ecologische inrichting en specifieke maatregelen kunnen dienen.

De Kwekerij, nabij Hengelo, Gelderland. <http://nlsolarparkdekwekerij.nl/>. Zie ook <http://nlsolarparkdekwekerij.nl/wp-content/uploads/2017/11/Artikel-Solar-park-en-GD-in-vakblad-Groen-nov17-1-2.pdf>

Dit relatieve kleine park van 7 ha is als een park aangelegd, en het is dan ook open voor publiek. Het streeft een combinatie van zonne-energie, natuur en recreatie/educatie na. Er is geen informatie over precieze beheermaatregelen gevonden. Maatregelen om de biodiversiteit te bevorderen omvatten onder andere extensieve begrazing, insectenhôtels, nestkasten, bloemrijke randen, taluds, wadi's (ingezaaid met inheems plantgoed), en deels Meidoorn in plaats van hekwerk.

Ubbena, nabij Assen, Drenthe. <https://www.trouw.nl/groen/ecologisch-zonnepark-is-geen-geldmachine-maar-draagt-wel-zorg-voor-de-natuur~ae059f46/>

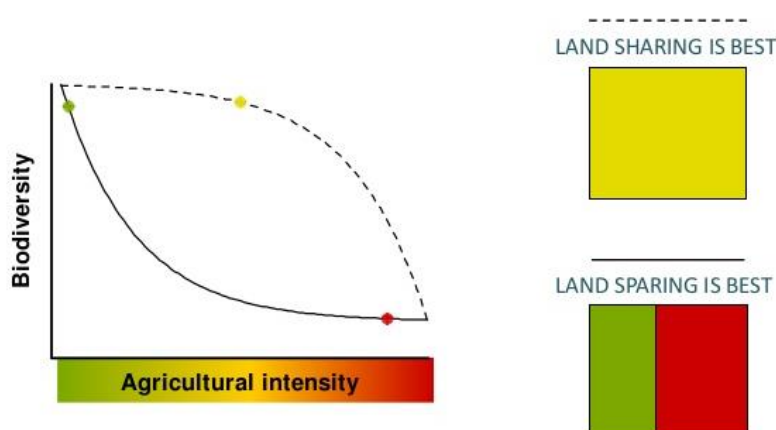
In dit kleine park van 2 ha werkt energiebedrijf Vrijopnaam samen met wildbloemenzaad-bedrijf Cruydt-Hoek. De afstand tussen de panelen is relatief groot, 5 m. Het gehele terrein is ingezaaid met een wildbloemenmengsel. Het beheer bestaat uit maaien en afvoeren. Er vindt geen begrazing plaats. Een medewerker van de Cruydt-Hoek verwacht "geen stormloop van weidevogels", wegens het gebrek aan uitzicht, maar verwacht wel een toename van "bodembroeders".

Duiven, bij Arnhem, Gelderland. <https://www.ginkelgroep.nl/actueel/zonnepark-duiven-kleurt-groen/>

Dit zonnepark is ingezaaid met bloemrijke kruiden. Andere maatregelen zijn takkenrillen onder enkele panelen, en nestkasten. Het hekwerk wordt omringt door een elzenhaag. Het gebied wordt extensief begraasd.

Box V. Scheiden of verweven van functies

In deze rapportage wordt gezocht naar de beste manier om zonneparken ecologisch in te richten. Het achterliggende idee is dat door deze verweving van functies er niet een stuk leefgebied verloren gaat bij de aanleg van een zonnepark, maar dat het leefgebied juist wordt verbeterd. Een geheel andere benadering zou zijn om het zonnepark juist zo compact mogelijk te maken en buiten het zonnepark te compenseren voor het verlies van leefgebied middels het aanleggen van hoogwaardig habitat. In dit geval spreken we dan van het scheiden van functies. Deze twee alternatieve benaderingen om biodiversiteit te verbeteren voeren terug op een oude ecologische discussie over *land sharing* (verweven van functies) en *land sparing* (scheiden van functies). Theoretische beschouwingen demonstreren dat de keuze voor *land sharing* of *land sparing* afhangt van hoe de relatie tussen biodiversiteit en intensiteit van grondgebruik er uit ziet. Is dit een holle functie dan is *land sparing* het alternatief dat biodiversiteit maximaliseert, is dit een bolle functie dan is *land sharing* het optimale alternatief (figuur 8, Phalan *et al* 2011, Fischer *et al* 2008).



Figuur 8. Theoretisch model over land sharing versus land sparing. Afhankelijk van de vorm van de relatie tussen biodiversiteit en intensiteit van grondgebruik maximaliseert een benadering van land sharing of land sparing de biodiversiteit.

In het geval van zonneparken is het niet mogelijk de relatie tussen de intensiteit van grondgebruik (bijvoorbeeld uitgedrukt in het % oppervlak bedekt door panelen) en biodiversiteit omdat gegevens ontbreken. Op voorhand is het daarom niet mogelijk een uitspraak te doen of dat een ecologische inrichting (*land sharing*) een betere optie is dan buiten het zonnepark te compenseren (*land sparing*). Bij *land sparing* moet er een keuze worden gemaakt hoe veel er aan oppervlakte gecompenseerd zou moeten worden. Een grove inschatting is dat dit tussen de 10-20% van het oppervlak van het zonnepark zou moeten zijn. Bij een land sparing strategie kan er tevens voor gekozen worden om niet naast maar op een andere locatie te compenseren, bijvoorbeeld naast een natuurgebied of weidevogelkerngebied om deze te versterken.

Opgemerkt moet worden dat het sterk concentreren van zonnepanelen, bijvoorbeeld middels een dakjesconstructie (zie linker plaatje figuur 1), een negatief effect op de bodemkwaliteit zal hebben. Vanuit het perspectief van bodemkwaliteit zal een *land sharing* strategie altijd beter zijn dan een *land sparing* strategie.

Discussie

Effecten van zonneparken op de biodiversiteit, en maatregelen om biodiversiteit te bevorderen

Niet ecologisch ingerichte zonneparken lijken per definitie ten koste van het leefgebied van boerenlandvogels te gaan, dus nadenken over en het stimuleren van een ecologische inrichting van zonneparken blijkt relevant. Zonneparken lijken alleen voordelig voor boerenlandvogels en biodiversiteit in het algemeen te zijn in het geval het zonnepark op intensieve landbouwgrond met weinig natuurwaarden gebouwd wordt, en mits het zonnepark ecologisch ingericht en beheerd wordt (bijvoorbeeld BirdLife Europe 2011, RSPB 2014, Peschel 2010, Herden *et al* 2009, Raab 2015). Een kanttekening is dat de enige studie die dit echt laat zien door zonneparken te vergelijken met referentiegebieden is Montag *et al* (2016). Dit betreft echter geen peer-reviewed wetenschappelijk artikel en er bestaan veel onduidelijkheden over de precieze opzet van het vogelonderzoek.

Hoewel er redelijk veel literatuur over zonneparken en biodiversiteit bestaat, zijn er maar weinig studies beschikbaar die effecten van zonneparken op een goede manier hebben onderbouwd. Redenen voor het niet kunnen trekken van eenduidige conclusies in veel studies zijn bijvoorbeeld het ontbreken van een referentiegebied (of *before-after* vergelijking), en het niet kwantificeren van aantallen vogels (alleen soortenlijstje). Ook de relatie tussen mogelijke maatregelen en het effect op het voorkomen van specifiek boerenlandvogels blijft onduidelijk omdat hier in veel gevallen geen onderzoek naar is gedaan. Er wordt bij aanbevelingen vaak uitgegaan van algemeenheden ("het is algemeen bekend dat deze maatregel een positief effect op *vogels* heeft") zonder dat maatregelen in de context van zonneparken en specifiek boerenlandvogels getoetst zijn. Hier liggen belangrijke kennislacunes.

Het is belangrijk om te benadrukken dat de aanleg van een zonnepark ten koste gaat van het leefgebied van specifieke soortgroepen, i.e. de akkervogels in akkerbouwgebieden en de weidevogels in veenweidegebieden. Maatregelen ter bevordering van de biodiversiteit zouden in landbouwgebieden dan ook in eerste instantie vooral op deze soortgroepen gericht moeten zijn. Het is te verwachten dat er met de aanleg van een zonnepark er een verschuiving plaatsvindt in de samenstelling van de lokale vogelgemeenschap (bijvoorbeeld toename vogels van half-opene landschappen en nisbroeders). Hoewel hiermee het aantal vogelsoorten kan zijn toegenomen, hoeft dit niet te betekenen dat het zonnepark een ecologische plus op het leefgebied van de akkervogels die daar van origine voorkwamen heeft gezet. Het is daarom van belang dat er in de planningsfase ecologen betrokken worden die advies kunnen geven over hoe lokale doelsoorten met welke maatregelen te kunnen helpen. Het in een vroeg stadium betrekken van specialisten is een belangrijke aanbeveling ook vanuit de internationale literatuur (NABU 2010, BRE 2014).

Wanneer de bodem onder de panelentafels bijna volledig wordt afgeschermd van licht en regenwater zal de ondergroei afsterven en het bodemleven verstoken blijven van de aanvoer van verse organische stof. Als gevolg daarvan zou de bodemvruchtbaarheid ernstig kunnen afnemen, almede de hoeveelheid organische stof en de opnamecapaciteit voor water. Het is echter onbekend in welke mate dit nu optreedt of zou kunnen optreden. Dit is ook niet te voorspellen uit de eigenschappen van gerealiseerde of nog te realiseren installaties. De vegetatiegroei onder Nederlandse zonneparken lijkt in ieder geval op korte termijn niet belemmerd te worden. In de literatuur zijn er aanwijzingen dat pas bij een reductie van de hoeveelheid licht van 75% of meer (op jaarbasis) serieuze effecten te verwachten zijn. De doorwerking op het bodemleven zal bovendien sterk afhankelijk zijn van grondsoort en de gekozen beheervorm zoals het al of niet afvoeren van de vegetatie. Het effect van zonneparken op vegetatie en bodem is een belangrijke kennisleemte. Het kwantificeren van de directe relaties tussen eigenschappen van de zonneparken en de hoeveelheid

licht en regenwater dat de bodem bereikt en de indirecte relaties met vegetatie en bodemleven kan praktische richtlijnen opleveren om negatieve effecten van zonneparken op de gezondheid van de bodem te voorkomen of deze juist te bevorderen.

In diverse documenten met richtlijnen wordt aangegeven dat bij de aanleg van zonneparken voorkeur gegeven zou moeten worden aan minder productieve gronden. De motivatie voor deze richtlijn is dat hiermee de beste landbouwgebieden ‘gespaard’ zouden worden. Echter, minder productieve gronden kennen doorgaans een hogere biodiversiteit. Vanuit biodiversiteitsoogpunt zou het dan ook beter zijn zonneparken juist wel op de hoogproductieve gronden met lage biodiversiteitswaarden te plannen.

Maatwerk: verschillende maatregelen in verschillende landschappen

De noodzaak en effectiviteit van een bepaalde maatregel om de biodiversiteit te bevorderen kent een sterke lokale component doordat akkervogelpopulaties tussen landschappen verschillen. Zo is een maatregel als het aanbieden van kunstmatige nestgelegenheid voor Ringmussen waarschijnlijk zinloos in zeer open akkergebieden waar Ringmussen niet als broedvogel voorkomen. Deze maatregel is juist wel waardevol in meer besloten akkerbouwgebieden of daar waar een zonnepark aansluit bij een bosje of dorp waar Ringmussen van nature al voor komen.

Maatwerk wordt ook geadviseerd bij de aanplant van struwelen rondom een zonnepark. In open landschappen is de aanplant van lager veldstruweel aan te raden, omdat daarmee het open karakter van het landschap niet verloren gaat. In een meer besloten landschap past een brede en hoge haag beter in het landschap, en sluit ook beter aan bij de ecologische randvoorwaarden van de daar voorkomende akkervogels.

Aanbevelingen voor monitoring

Er kunnen een aantal aanbevelingen worden gedaan voor monitoring van boerenlandvogels. Ten eerste zou monitoring zich niet alleen moeten richten op broedvogels, maar zou een jaarrond benadering gekozen moeten worden. Onderstreept wordt het belang van kwantitatieve monitoring (aantal territoria) in plaats van kwalitatieve (alleen soortenlijsten) monitoring. Ook wordt benadrukt dat monitoring gedurende meerdere jaren moet plaatsvinden. Verschillende studies laten zien dat de herkolonisatie of afnames langzaam gaan (Heindl 2016, Lieder & Lumpe 2012, Raab 2015). Specifieke onderzoeken naar het ruimtelijk gebruik van vogels en zonneparken om in te broeden of in te foerageren ontbreken of zijn anekdotisch en vormen daarmee een belangrijke kennishiaat.

Quick-scans die gemaakt worden tijdens de planfase, om een idee te krijgen over welke soorten op de geplande zonnepark locatie voorkomen, beperken zich veelal strict tot het precieze gebied waar het zonnepark gepland is. Ook letten ze doorgaans alleen op soorten met een hoge beschermingsstatus. Echter, soorten die niet in het gebied zelf maar het daarbuiten broeden, en waarvan het geplande zonnepark onderdeel van hun leefgebied is, worden net zo goed door het zonnepark beïnvloed. Quick-scans zijn daarmee onvoldoende om een goed beeld te verkrijgen van het mogelijke effect van een zonnepark op boerenlandvogels.

Om de gezondheid van de bodem te monitoren zijn er verschillende meetmethoden ontwikkeld. Een veelbelovende integrale tool is de *Soil health Index (SHI)* die momenteel ontwikkeld wordt (Bloem en Korthals, in voorbereiding). De Nederlandse variant van de SHI zou de volgende indicatoren

omvatten: de potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) en heet water extraheerbaar koolstof (HWC). Deze SHI kent dus een biochemische basis, waarbij biologische bodemkwaliteit niet gemeten wordt. Voor een breder toepasbaarder SHI gericht op ook bodemdiensten (Griffiths *et al.* 2018) is er meer nodig dan alleen labiele organische stof. Naast mineraliseerbare stikstof en heet water extraheerbaar koolstof zou er dan ook informatie verzameld moeten worden over bacteriële biomassa, schimmelbiomassa, nematoden (aantallen en diversiteit) en regenwormen (aantallen en diversiteit).

Deze belangrijke groepen bodemorganismen kunnen op verschillende manieren worden gemeten. Schimmels, bacteriën en nematoden zijn tot nu toe voornamelijk microscopisch gemeten. Voor schimmels en bacteriën is het lastig om grote aantallen monsters te verwerken. Internationaal gezien worden PLFA analyses steeds vaker toegepast. Daarnaast zijn er diverse ontwikkelingen aangaande kwantitatieve DNA technieken. Er bestaan diverse goede methoden om regenwormen te monitoren. Bij veldmetingen moet rekening worden gehouden met veel variatie. Dit is minder het geval bij metingen die in samengestelde mengmonsters in een lab worden uitgevoerd. Daarnaast is het nodig dat tevens referentiedata worden verzameld (buiten zonnepark), en er ook meer inzicht komt in seizoensvariatie.

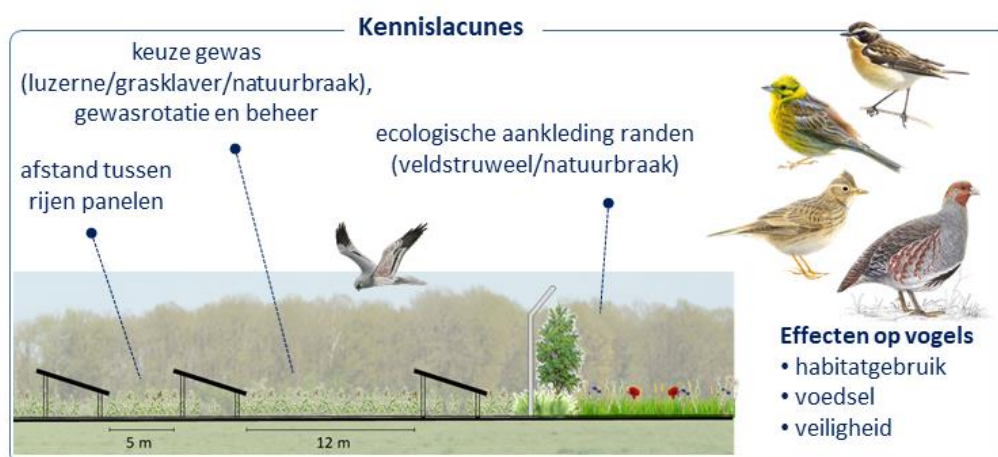
Kennislacunes

Eén van de duidelijkste conclusies uit het literatuuroverzicht is dat er verrassend weinig onderzoek is gedaan naar de ecologische inrichting van zonneparken. Wat levert welke maatregel precies op? De aanbevelingen die worden gedaan in documenten met richtlijnen en in *Biodiversity Management Plans (BMP)* zijn veelal gebaseerd op algemene kennis in plaats van detailonderzoek. Hieronder zetten we de belangrijkste en meest prangende kennislacunes op een rij, inclusief een korte schets van het benodigde onderzoek.

- a) Wat zou voor welke doelsoorten de optimale vegetatie onder en tussen de rijen zonnepanelen zijn? Oftewel, in het geval van broedvogels, welk habitat wordt door welke soorten uitgekozen om in te broeden en naar voedsel te zoeken. Belangrijk hierbij is de lokale context. In open gebieden komen andere doelsoorten voor (Gele Kwikstaart, Veldleeuwerik) die een andere voorkeur zullen hebben dan de doelsoorten van meer gesloten gebieden (Paapje, Patrijs). Een mogelijk aanpak om de selectie van verschillende soorten te testen is een keuze-experiment waarbij de helft van een zonnepark met het ene, en de andere helft met een ander habitat wordt ingericht. Door vervolgens bij te houden welke vogels waar voorkomen, inclusief observaties aan nesten en voedselvluchten, wordt een goed beeld verkregen van de habitatselectie. Resultaten helpen bij het maken van de juiste keuze wat betreft het gewas. Hierbij zullen er belangrijke verschillen zijn tussen akker- en weidevogelgebieden.
- b) In hoeverre zet de aanleg daadwerkelijk een ecologische plus op het leefgebied van boerenlandvogels? Oftewel, zien we een toename van het aantal boerenlandvogels na de aanleg van het zonnepark? Om deze vraag te beantwoorden hebben we goede *before-after control-impact* studies nodig, gerelateerd aan specifieke maatregelen. Dit zou gerealiseerd kunnen worden door een goede BACI studie te verplichten bij de aanleg van ieder park. Waarbij niet alleen ingezet wordt op broedvogelmonitoring maar ook naar het ruimtelijk gebruik door broedvogels van zonneparken wordt gekeken.
- c) Hoe beïnvloedt de afstand tussen de rijen met zonnepanelen het gebruik van het zonnepark, en hoe verschilt dat tussen soorten? Tröltzsch & Neuling (2013) laten zien dat een grotere afstand tussen rijen panelen positief is voor belangrijke doelsoorten zoals de Veldleeuwerik. Een te korte

afstand tussen rijen panelen zou maatregelen om biodiversiteit binnen een park te verhogen inefficiënt kunnen maken wanneer vogels niet tussen de rijen panelen durven te broeden of zelfs foerageren. Een manier om dit te onderzoeken zou zijn om de afstand tussen rijen panelen te variëren (binnen een park, maar ook tussen parken), en vervolgens bij te houden welke vogels waar voorkomen, inclusief observaties aan nesten en voedselvluchten.

- d) Wat is het optimale beheer van de maatregelen in en rondom zonneparken? Voorkomen moet worden dat maatregelen een ecologische val vormen, oftewel dat de soorten naar de zonneparken gelokt worden maar dat hun broedsucces en overleving ondermaats is. Dit zou onderzocht kunnen worden door het broedsucces van vogels te monitoren bij verschillende vormen van maa- en grasbeheer. Variatie bij maaibeheer is bijvoorbeeld de timing van en tijd tussen maaibeurten. Variatie in grasbeheer is bijvoorbeeld de variatie in het aantal dieren.
- e) Profiteert de biodiversiteit het meest van een *land sharing* (ecologische inrichting zonneparken) of *land sparing* (compenseren buiten zonneparken) strategie? Een vergelijking zou kunnen worden gemaakt tussen biodiversiteit in zonneparken met ecologische inrichting en zonneparken waarbij buiten het park gecompenseerd is.
- f) Hoe kan worden voorkomen door de technische opbouw van een zonnepark en beheer dat op de bodem onder de panelen substantieel minder vegetatie groeit en als gevolg daarvan ook de gezondheid van de bodem afneemt? Dit zou onderzocht kunnen worden door regenval en licht onder verschillende opstellingen van zonneparken te monitoren, liefst in een experimentele opzet, en dit te relateren aan de ontwikkeling van de vegetatie. Deze waarnemingen zouden theoretische modellen kunnen voeden die hoeveelheid regenval en licht voor alle mogelijke opstellingen voorspellen.
- g) In hoeverre biedt de aanleg van zonneparken in veengebieden koppelkansen t.a.v. reductie van veenoxidatie door middel van verhoging van de grondwaterstand? Wat zijn hierbij de effecten op biodiversiteit (boerenlandvogels) en op de bodem. Wat is de behaalde reductie aan CO₂-uitstoot? Een pilot studie waarbij veenbodem onder een zonnepark vernat wordt zou eerste inzichten op biodiversiteit en milieu kunnen geven.



Figuur 9. Schematische weergave van de belangrijkste kennislacunes.

Aanbevelingen voor beleid ten aanzien van de ecologische inrichting van zonneparken

De grootschalige ontwikkeling van zonneparken draagt het risico van het verlies van leefgebied van boerenlandvogels met zich mee, een soortgroep waar het al zo slecht mee gaat. Echter, met een juiste landschappelijke inpassing met ecologische inrichting en beheer biedt de aanleg van zonneparken kansen om de biodiversiteit in het agrarisch gebied op te krikken. De overheid zou hiervoor een doelgericht stimuleringsbeleid kunnen voeren mede ook om het maatschappelijk draagvlak voor zonneparken te vergroten. Het opstellen en uitvoeren van een biodiversiteitbeheerplan zou als voorwaarde voor de vergunningverlening gesteld kunnen worden. Wel mag dan verwachten worden dat de maatregelen die worden genomen aantoonbaar een positief effect hebben op de biodiversiteit. Daarom is een begeleidend monitorings- en onderzoeksprogramma dat maatregelen test en verbetert van groot belang. Het sturen op inspanningen (nemen van maatregelen) in plaats van op effecten (toename van biodiversiteit) is in dit geval wenselijk omdat biodiversiteitswinst afhankelijk is van een groot aantal factoren, die deels buiten de invloedssfeer van de ontwikkelaar/eigenaar liggen (bijvoorbeeld dingen die buiten het zonnepark gebeuren).

Om inzicht te krijgen over te verwachten effecten van maatregelen en beheer op biodiversiteit en bodemkwaliteit zou van een grote steekproef aan zonneparken van zo veel mogelijk diergroepen data verzameld moeten worden volgens een landelijk afgesproken protocol. Het verplichten van een betere effectmonitoring volgens het *before-after control-impact* protocol zou zo'n database snel kunnen vullen. Het is van belang dat deze data centraal verzameld wordt en vrij beschikbaar wordt gesteld voor onderzoek.

Zoals hierboven geschetst zijn er een aantal belangrijke kennislacunes over maatregelen en beheer. Het is wenselijk gericht onderzoek te doen middels gerichte experimenten met inrichting en beheer. Zo'n onderzoeksprogramma zou gefinancierd kunnen worden uit een onderzoeksfonds waar ontwikkelaars bij de ontwikkeling van ieder zonnepark aan bijdragen. Omdat er momenteel veel parken gepland worden zal zo'n onderzoeksfonds snel afdoende gevuld zijn voor een ambitieuze onderzoeksagenda.

Literatuurlijst

- ARGE Monitoring PV-Anlagen. 2007. Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen. https://www.bauberufe.eu/images/doks/pv_leitfaden.pdf (17-08-2018).
- Armstrong A, Ostle NJ, & Whitaker J. 2016. Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters* 11(7):074016.
- Armstrong A, Waldron S, Whitaker J, & Ostle NJ. 2014. Wind farm and solar park effects on plant–soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate. *Global change biology* 20(6):1699–1706.
- Beatty B, Macknick J, McCall J, Braus G, & Buckner D. 2017. Native Vegetation Performance under a Solar PV Array at the National Wind Technology Center (No. NREL/TP- 1900-66218). National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO, USA.
- Bloem J & Korthals G. In voorbereiding. Soil Health Index – Biologische Indicatoren voor de Nederlandse toepassing. Concept rapport Wageningen Environmental Research, september 2018.
- BirdLife Europe. 2011. Meeting Europe's renewable energy targets in harmony with nature. [http://www.energiewende-naturvertraeglich.de/index.php%3Fid=1091&L=1&tx_fedownloads_pi2\[download\]=3851](http://www.energiewende-naturvertraeglich.de/index.php%3Fid=1091&L=1&tx_fedownloads_pi2[download]=3851) (17-08-2018).
- Bos JFFP, Sierdsma H, Schekkerman H, & Scharenburg CV. 2010. Een veldleeuwerik zingt niet voor niets!: schatting van kosten van maatregelen voor akkervogels in de context van een veranderend gemeenschappelijk landbouwbeleid (No. 107). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- BRE. 2014. Biodiversity guidance for solar developments. <https://www.bre.co.uk/filelibrary/pdf/Brochures/NSC-Biodiversity-Guidance.pdf%0A> (08-08-2018).
- BügelHajema. 2018. Vogelvriendelijke inrichting Zonnepark Van Boekerenweg Stadskanaal.
- CMS. 2014. Renewable energy technologies and migratory species - guidelines for sustainable deployment. https://www.cms.int/sites/default/files/document/Doc_10_2_2_Guidelines_Renewable_Energy_E.pdf (28-08-2018).
- DeVault TL, Seamans TW, Schmidt JA, Belant JL, Blackwell BF, Mooers N, Tyson LA, & Van Pelt L. 2014. Bird use of solar photovoltaic installations at US airports: implications for aviation safety. *Landscape and Urban Planning* 122:122–128.
- Dupraz C, Marrou H, Talbot G, Dufour L, Nogier A, & Ferard Y. 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renewable energy* 36(10):2725–2732.
- Eelerwoude. 2018. Landschappelijke inpassing Zonnepark Midden Groningen. https://chintsolar.nl/wp-content/uploads/2018/05/180227.Inrichting_beheer_Landsch_inpassing_SP_MG.pdf (22-08-2018).
- Engels BWR & Kleyheeg-Hartman JC. 2016. Natuurtoets zonnepark Haringvliet. Bureau Waardenburg. [https://www.commissiemer.nl/projectdocumenten/00001056.pdf?documenttitle=Bijlage 4C Natuurtoets zonnepark Haringvliet.pdf](https://www.commissiemer.nl/projectdocumenten/00001056.pdf?documenttitle=Bijlage%204%20Natuurtoets%20zonnepark%20Haringvliet.pdf) (22-08-2018).
- Feltwell J. 2013. Are photovoltaic solar arrays an influencing factor in avian mortality? *Newsletter of the Kent Field Club* 77:18-25.
- Fischer J, Brosi B, Daily GC, Ehrlich PR, Goldman R, Goldstein J, ... & Ranganathan J. 2008. Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(7):380–385.
- Fthenakis V, Blunden J, Green T, Krueger L, & Turney D. 2011. Large photovoltaic power plants: wildlife impacts and benefits. 2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference.
- Frambach M, Liu Y, Mazolla L, Schurer B, Tasiopoulos L, & Villar Alegria E. 2018. Combining solar panels and agriculture. Analysing the impact on soil biodiversity. Studentenrapport Wageningen Universiteit.
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. 2017. Harvesting the Sun for Power and Produce – Agrophotovoltaics Increases the Land Use Efficiency by over 60 Percent.
- GNMF. 2018. Handreiking: beleid en criteria voor zonnevelden. <https://www.gnmf.nl/wp-content/uploads/2018/04/20180424-GNMF-handreiking-zonnevelden.pdf> (29-08-2018).

- Griffiths BS, Faber J, & Bloem J. 2018. Applying soil health indicators to encourage sustainable soil use: The transition from scientific study to practical application. *Sustainability (Switzerland)* 10(9):3021.
- Guerin T. 2017. A case study identifying and mitigating the environmental and community impacts from construction of a utility-scale solar photovoltaic power plant in eastern Australia. *Solar Energy* 146:94–104.
- Guiller C, Affre L, Deschamps-Cottin M, Geslin B, Kaldonski N, & Tatoni T. 2017. Impacts of solar energy on butterfly communities in mediterranean agro-ecosystems. *Environmental Progress and Sustainable Energy* 36:1817–1823.
- Harrison C, Lloyd H, & Field C. 2017. Evidence review of the impact of solar farms on birds, bats and general ecology. Natural England. <http://publications.naturalengland.org.uk/file/6000213410447360> (09-08-2018).
- Heindl M. 2014. Mounting structure of a solar module as nesting site for a Red-backed Shrike *Lanius collurio*. *Ornithologischer Rundbrief Mecklenburg-Vorpommern* 48:87–89.
- Heindl M. 2016. Development of the breeding populations of Whinchat and Corn Bunting in an open-area photovoltaic plant near Demmin. *Ornithologischer Rundbrief Mecklenburg-Vorpommern* 48:303–307.
https://www.umweltplan.de/media/download/veroeffentlichungen/Martin_Heindl_Braunkehlchen_Grauwammer_Photovoltaik_Anlage.pdf (02-11-2018).
- Herden C, Rasmus J, & Gharadjedaghi B. 2009. Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. BfN-Skripten 247.
- Horváth G, Blahó M, Egri Á, Kriska G, Seres I, & Robertson B. 2010. Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation Biology* 24:1644–1653.
- Horváth G, Kriska G, Malik P, Robertson B. 2009. Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7:317–325.
- Jeal C. 2015. The impact of a “trough” Concentrated Solar Power facility on birds and other animals in the Northern Cape, South Africa. University of Cape Town.
https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/25010/thesis_sci_2017_jeal_corey.pdf?sequence=1 (17-08-2018).
- Jenkins AR, Ralston-Paton S, & Smit-Robinson HA. 2017. Best practice guidelines: birds & solar energy. BirdLife South Africa. <https://www.birdlife.org.za/documents/renewable-energy/solar-energy/988-blsa-birds-solar-energy-2017> (23-08-2018).
- Kagan RA, Viner TC, Trail PW, & Espinoza EO. 2014. Avian mortality at solar energy facilities in southern California: a preliminary analysis. National Fish and Wildlife Forensics Laboratory.
<https://alternativeenergy.procon.org/sourcefiles/avian-mortality-solar-energy-ivanpah-apr-2014.PDF> (09-08-2018).
- Kok L, van Eekeren N, van der Putten WH, van den Born GJ, Schouten T, & Rutgers M. 2017. Zonneparken en bodemafdekking. *Bodem* 4:18–21.
- Lambers IHR. 2016. Effecten van zonne park Hijken op beschermde soorten en gebieden. Bureau Waardenburg.
[https://www.middendrenthe.nl/website/document/docnr/2828442,,3768338,/Ecologisch onderzoek .pdf](https://www.middendrenthe.nl/website/document/docnr/2828442,,3768338,/Ecologisch%20onderzoek.pdf) (22-08-2018).
- Lamont LA & El Chaar L. 2011. Enhancement of a stand-alone photovoltaic system’s performance: reduction of soft and hard shading. *Renewable Energy* 36:1306–1310.
- Lieder K & Lumpe J. 2012. Vögel im Solarpark - eine Chance für den Artenschutz?
<http://archiv.windenergietage.de/20F3261415.pdf> (09-08-2018).
- Majumdar D & Pasqualetti MJ. 2018. Dual use of agricultural land: Introducing ‘agrivoltaics’ in Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC, USA.
- McCrary MD, McKernan RL, Schreiber RW, Wagner WD, & Sciarrotta TC. 1986. Avian mortality at a solar energy power plant. *Journal of Field Ornithology* 57:135–141.
- Montag H, Parker G, & Clarkson T. 2016. The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. Clarkson & Woods and Wychwood Biodiversity. <http://www.solar-trade.org.uk/wp-content/uploads/2016/04/The-effects-of-solar-farms-on-local-biodiversity-study.pdf> (08-08-2018).

- NABU. 2010. Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen.
<https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/solarenergie/170629-nabu-kriterien-solarparks.pdf> (13-08-2018).
- Peschel T. 2010. Solar parks - opportunities for biodiversity. *Renews Special* 45.
- Phalan B, Onial M, Balmford A, & Green RE. 2011. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science* 333(6047):1289–1291.
- Provincie Fryslân. 2017. Sinnefjilden yn it lânskip.
<https://www.fryslan.frl/document.php?m=7&fileid=27316&f=74bff86465c36f6d482a3dfa7ac672f2&attachment=1> (29-08-2018).
- Provincie Groningen. 2018. Handreiking: locatiekeuze en ontwerp zonneparken.
https://www.provinciegroningen.nl/fileadmin/user_upload/Documenten_2017/Downloads/Handreiking_locatiekeuze_en_ontwerp_zonneparken_feb_2018.pdf (30-08-2018).
- Provincie Noord-Holland. 2016. Nota Perspectief voor Zon in Noord-Holland. <https://www.noord-holland.nl/dsresource?objectid=18561959-22e8-4604-8019-d2d829e8053f&type=PDF> (29-08-2018).
- Provincie Overijssel. 2017. Handreiking kwaliteitsimpuls zonnevelden.
https://www.overijssel.nl/publish/pages/166063/handreiking_kwaliteitsimpuls_zonnevelden_def.pdf (30-08-2018).
- Raab B. 2015. Erneuerbare Energien und Naturschutz – Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. *ANLiegen Natur* 37:67–76.
- RSPB. 2014. Solar energy - RSPB policy briefing, December 2014.
http://ww2.rspb.org.uk/Images/Solar_power_briefing_tcm9-273329.pdf (09-08-2018).
- Semchenko M, Lepik M, Götzenberger L, & Zobel K. 2012. Positive effect of shade on plant growth: amelioration of stress or active regulation of growth rate? *Journal of Ecology* 100:459–466
- Sinha P, Hoffman B, Saker J, & Althouse L. 2018. Best practices in responsible land use for improving biodiversity at a utility-scale solar facility. *Case Studies in the Environment*.
- Smit HA. 2011. Guidelines to minimise the impact on birds of solar facilities and associated Infrastructure in South Africa. http://www.the-eis.com/data/literature/Solar_guidelines_version2.pdf (09-08-2018).
- Száz D, Mihályi D, Farkas A, Egri Á, Barta A, Kriska G, Robertson B, & Horváth G. 2016. Polarized light pollution of matte solar panels: anti-reflective photovoltaics reduce polarized light pollution but benefit only some aquatic insects. *Journal of Insect Conservation* 20:663–675.
- Taylor R. 2014. Potential ecological impacts of ground-mounted photovoltaic solar panels in the UK: an introduction and literature review. *BSG Ecology*. http://www.bsg-ecology.com/wp-content/uploads/2015/01/Solar-panels-and-wildlife-review_RT_FINAL_140109.pdf (30-08-2018).
- Tröltzsch P & Neuling E. 2013. Die Brutvögel großflächiger Photovoltaikanlagen in Brandenburg. *Vogelwelt* 134:155–179.
- Valle B, Simonneau T, Sourd F, Pechier P, Hamard P, Frisson T, ... & Christophe A. 2017. Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied Energy* 206:1495–1507.
- Visser E. 2016. The impact of South Africa's largest photovoltaic energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa. University of Cape Town.
https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/20843/thesis_sci_2016_visser_elke.pdf?sequence=1 (30-08-2018).
- Walston LJ, Rollins KE, LaGory KE, Smith KP, & Meyers SA. 2016. A preliminary assessment of avian mortality at utility-scale solar energy facilities in the United States. *Renewable Energy* 92:405–414.
- WWF. 2013. Solar PV atlas: solar power in harmony with nature.
http://awsassets.panda.org/downloads/solar_pv_atlas_final_screen_version_feb_2013.pdf (29-08-2018).