



Umgang mit Naturschutzkonflikten bei Freiflächensolaranlagen in der Regionalplanung

Orientierungshilfe zum Arten- und Biotopschutz
für die Region Bodensee-Oberschwaben



Dezember 2022

Umgang mit Naturschutz- konflikten bei Freiflächen- solaranlagen in der Regionalplanung

Orientierungshilfe zum Arten- und
Biotopschutz für die Region Bodensee-
Oberschwaben

Dezember 2022

Bearbeitung:

Jürgen Trautner (Landschaftsökologe)

Adrian Attinger (M. Sc. Evolution und Ökologie)

Dr. Thorleif Dörfel (Zoologe)

Unter Mitarbeit von:

Florian Straub (Dipl.-Forstwiss.)

Anna Jungkunst

Auftraggeber:

Regionalverband Bodensee-Oberschwaben



**Arbeitsgruppe für Tierökologie
und Planung GmbH**

Johann-Strauß-Str. 22
70794 Filderstadt
Telefon 07158 2164
info@tieroekologie.de
www.tieroekologie.de

Titel:

Eindrücke von bestehenden Freiflächensolaranlagen in Baden-Württemberg
(Fotos: J. Trautner).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Aufgabenstellung	7
2	Grundlagen und Methoden	8
2.1	Regionalplanerische Festlegungen	8
2.2	Biotopverbund	9
2.3	Freiflächensolaranlagen	10
2.4	Vorgehen im Rahmen des Projekts	13
3	Spannungsfeld „Freiflächensolaranlagen – Arten- und Biotopschutz/Biotopverbund“	15
3.1	Übersicht zu relevanten Wirkfaktoren	15
3.2	Übergreifende Feststellungen	16
4	Empfehlungen	19
5	Erläuterungen/Begründungen	25
5.1	Freiflächensolaranlagen und vorrangige Ziele des Naturschutzes bzw. des Biotopverbunds	25
5.2	Kenntnisstand und Vermittlung in der Öffentlichkeit	27
5.3	Mortalitätsrisiken für Wirbeltiere	29
5.4	Anlock- und Mortalitätsrisiken für (vorwiegend) aquatische Insekten	30
5.5	Freiflächensolaranlagen und Vogelarten (vorwiegend) des Offenlandes	31
5.6	Strukturelle Ausstattung und Pflege: Potenziale und Potenzialausnutzung von Freiflächensolaranlagen	36
5.7	Agri- und Floating PV	38
6	Fazit	41
7	Zitierte Literatur	43
8	Weitere gesichtete/verwendete Arbeiten	48

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Im Rahmen der Ziele der Bundesregierung, den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch insbesondere im Interesse des Klima- und Umweltschutzes stark und rasch zu steigern, wird der Photovoltaik (PV) eine wichtige Bedeutung beigemessen. Die Errichtung und der Betrieb von PV-Anlagen einschließlich dazu gehörender Nebenanlagen wird – wie andere Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien – gesetzlich im überragenden öffentlichen Interesse und als der öffentlichen Sicherheit dienend gesehen (Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien – EEG 2021, § 2)¹.

Baden-Württemberg hat im Oktober 2021 sein Klimaschutzgesetz² geändert, wobei u. a. § 4b eingefügt wurde, der das Flächenziel enthält, dass in den einzelnen Regionalplänen Gebiete in einer Größenordnung von mindestens 2 % der jeweiligen Regionsfläche für die Nutzung von Windenergie und Photovoltaik auf Freiflächen festgelegt werden sollen.

Darauf basierend hat das Ministerium für Landentwicklung und Wohnen (MLW) gemeinsam mit den Regionalverbänden in Baden-Württemberg eine „Regionale Planungsoffensive“ initiiert, die eine schnelle Umsetzung dieses 2 %-Flächenziels gewährleisten soll.

Für die Region Bodensee-Oberschwaben bedeutet die Umsetzung nach Unterlagen des Regionalverbands eine Flächensicherung von mindestens 7.000 ha für die Nutzung von Windenergie und Photovoltaik auf Freiflächen.

„Zur Festlegung der regionalbedeutsamen Gebiete werden im Planungsprozess die Potenzialflächen schrittweise durch die Anwendung von Ausschluss-, Restriktions- und Eignungskriterien konkretisiert. Über die Festlegung dieser Vorrang- und Vorbehaltsgebiete sowie die Ausschusswirkung von Festlegungen der Regionalen Freiraumstruktur wird eine Lenkung der Flächeninanspruchnahme in der Region gewährleistet. Vor dem Hintergrund, dass die Flächenkulisse von 7.000 ha zu einer deutlichen Überprägung der Landschaft als Ganzes führen wird, erscheint diese regionalplanerische Steuerung dringend geboten. Darüber hinaus kommt der Abstimmung mit den Gemeinden, sowohl bei den regionalen, als auch bei den kommunalen Flächenplanungen für Windkraft und Freiflächensolaranlagen große Bedeutung zu.“ (Regionalverband Bodensee-Oberschwaben, Planungsausschuss am 30. März 2022, Vorlage zu TOP 2, Fortschreibung des Regionalplans Bodensee-Oberschwaben Regionale Infrastruktur – Teilregionalplan Energie).

Im Rahmen des in Aufstellung befindlichen Teilregionalplans Energie wird in der Region Bodensee-Oberschwaben im Sinne des Landesflächenziels die gesamte Region auf Potenziale für Freiflächensolaranlagen überprüft und es werden geeignete Gebiete festgelegt. Diese sollen sich laut Regionalverband durch „eine

¹ Erneuerbare-Energien-Gesetz v. 21.7.2014 (BGBl. I S. 1066), zuletzt geändert durch Art. 4 G v. 20.7.2022 (BGBl. I S. 1353).

² Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg (KSG BW) v. 23.7.2013 (GBl. S. 229), zuletzt geändert durch G v. 12.10.2021 (GBl. S. 837).

größtmögliche Raumverträglichkeit und ein möglichst geringes Konfliktpotenzial auszeichnen.“ (s. obenstehend zitierte Unterlage). Dabei sollen auch die derzeit aufgrund von Festlegungen der regionalen Freiraumstruktur bestehenden Restriktionen überprüft und dort, wo es sich als geeignet erweist, angepasst werden.

In diesem Rahmen erging auch der Auftrag, eine Orientierungshilfe³ zum Umgang mit Freiflächensolaranlagen in der Regionalplanung, insbesondere hinsichtlich möglicher Zielkonflikte mit als Vorranggebieten gesicherten Flächen des regionalen Biotopverbunds sowie als Grundlage für die Bestimmung von Planungskriterien im Rahmen der Teilfortschreibung Energie, zu erarbeiten. Hierbei soll insbesondere auch der Frage nachgegangen werden, unter welchen Rahmenbedingungen ggf. eine ausnahmsweise Zulassung in Vorranggebieten für Naturschutz und Landschaftspflege in Frage kommen könnte.⁴

Diese Handreichung stellt eine fachgutachterliche Ausarbeitung dar und hat insoweit hinweisenden und empfehlenden Charakter.⁵ Es wird ausschließlich auf Fragen des Arten- und Biotopschutzes bzw. der Biodiversität einschließlich des Biotopverbunds eingegangen. Landschaftsbild und Erholung werden nicht thematisiert.

2 Grundlagen und Methoden

2.1 Regionalplanerische Festlegungen

Im rechtskräftigen Regionalplan 1996 sind Freiflächensolaranlagen weder in Regionalen Grünzügen, noch in Grünzäsuren oder in den ausgewiesenen „Schutzbedürftigen Bereichen für Naturschutz und Landschaftspflege“ zulässig.⁶

Im aktuellen Regionalplan-Entwurf⁷ sind Freiflächensolaranlagen in Grünzäsuren und den jetzt abgegrenzten Vorranggebieten für Naturschutz und Landschaftspflege nicht zulässig [Plansätze 3.1.2 Z (2), 3.2.1 Z (2)], während sie in Regionalen Grünzügen unter den Voraussetzungen nach Plansatz 3.1.1 Z (4) als ausnahmsweise zulässig eingestuft sind. Diese Voraussetzungen beschränken sich – soweit keine weiteren Festsetzungen des Regionalplans entgegenstehen – auf die folgenden

³ Orientierungs- und Bewertungshilfe

⁴ Unter der weiteren Voraussetzung, dass dann im Regionalplan eine entsprechende Grundlage in der Formulierung der Planungsziele geschaffen würde.

⁵ Ein Abstimmungsprozess in der Fachöffentlichkeit und mit Behörden hat im Rahmen der Bearbeitung nicht stattgefunden und war auch nicht Auftragsinhalt. Der Bericht kann zu einem solchen aber sicherlich beitragen.

⁶ Im Fall der Schutzbedürftigen Bereichen für Naturschutz und Landschaftspflege als sogenanntes „Soll-Ziel“, welches nach Angaben des Regionalverbands in der Planungspraxis bislang als zu beachtendes Ziel der Raumordnung ausgelegt und angewendet wurde, von dem keine Abweichung zulässig ist. Der Umgang mit Soll-Zielen in der Raumordnung ist demnach allerdings rechtlich umstritten, was hier nicht vertieft wird.

⁷ S. <https://www.rvbo.de/Planung/Fortschreibung-Regionalplan>

Aspekte: (a) es darf sich nicht um Waldflächen handeln, (b) es dürfen keine Gebiete mit den besten landwirtschaftlichen Standorten in Anspruch genommen werden und (c) die betreffenden Flächen müssen „außerhalb von Landschaftsräumen von herausragender Vielfalt, Eigenart und Schönheit liegen“. Für die ausnahmsweise Zulässigkeit von Freiflächensolaranlagen in Regionalen Grünzügen sind insoweit keine (unmittelbaren) Kriterien des Biotopverbunds einschlägig.⁸ Daher kann aus den diesbezüglichen, eine Ausnahme beschränkenden Kriterien, auch kein Anhaltspunkt auf Kriterien für die Frage einer ggf. ausnahmsweisen Zulässigkeit in Naturschutz-Vorranggebieten im Rahmen des Auftrags gewonnen werden.

Nach Plansatz 3.2.1 Z (1) sind die Vorranggebiete für Naturschutz und Landschaftspflege „insbesondere zur Sicherung und Entwicklung eines regionalen Biotopverbundsystems“ festgelegt und in der Raumnutzungskarte dargestellt. Die Belange des Arten- und Biotopschutzes sowie die damit aus fachlicher und rechtlicher Sicht (s. Kap. 2.2) eng verknüpften Belange des Biotopverbunds haben hier Vorrang vor konkurrierenden Raumnutzungen. „Ausgeschlossen sind daher alle Vorhaben und Planungen, die zu erheblichen Beeinträchtigungen der Lebensbedingungen naturschutzfachlich bedeutsamer Arten, der Qualität ihrer Lebensräume und der Funktionalität des Biotopverbunds führen können“ [Plansatz 3.2.1 Z (2)].

2.2 Biotopverbund

Der Biotopverbund ist, wie in verschiedenen aktuellen Arbeitshilfen⁹ für dessen Umsetzung in Baden-Württemberg betont wird, funktional ausgerichtet. Zitat von der Webseite des Bundesamtes für Naturschutz (Stand 2022)¹⁰: „Ziel des Biotopverbundes ist [...] die Bewahrung, Wiederherstellung und Entwicklung funktionsfähiger, ökologischer Wechselbeziehungen in der Landschaft. Dabei stehen die ökologischen und räumlich-funktionalen Ansprüche der heimischen Arten an ihren Lebensraum im Vordergrund.“ Diesem Umstand wird mit der entsprechenden Formulierung in § 22 Abs.1 NatSchG BW¹¹ Rechnung getragen, wonach auf ein „Netz räumlich und funktional verbundener Biotope“ abgestellt wird.

Dabei beschränkt sich der Biotopverbund nicht auf die Sicherung eines Status-quo und könnte dies auch nicht, ohne die gesetzlich verankerten und fachlich erforderlichen Ziele zu verfehlen. Vielmehr sind bisher dargestellte Biotopverbundelemente der landesweiten Fachpläne u. a. durch „Biotopgestaltungsmaßnahmen und durch Kompensationsmaßnahmen mit dem Ziel zu ergänzen, den funktionalen

⁸ Da Regionale Grünzüge aber auch zur Erhaltung der biologischen Vielfalt ausgewiesen werden wäre ggf. zu prüfen, ob in die eine Ausnahme beschränkenden Kriterien auch solche des Arten- und Biotopschutzes, insbesondere des Biotopverbunds aufgenommen werden sollten. Dies kann sich am später erläuterten Kriterienset orientieren.

⁹ S. etwa Trautner (2021a, 2021b)

¹⁰ <https://www.bfn.de/pflege-und-verbund>

¹¹ Gesetz des Landes Baden-Württemberg zum Schutz der Natur und zur Pflege der Landschaft (Naturschutzgesetz- NatSchG) v. 23.6.2015 (GBl. 2015 S. 585), zuletzt geändert durch G v. 17.12.2020 (GBl. S. 1233, 1250).

Biotopverbund zu stärken“ (§ 22 Abs. 3 NatSchG BW). Hier kommt im landesweiten Fachplan¹² vorrangig den Kernräumen einschließlich ggf. erforderlichen Puffern und Entwicklungsflächen im Nahbereich eine hohe Bedeutung zu, weil diese zu sichern, zu optimieren und oft auch auszudehnen sind. Darüber hinaus müssen die so genannten „Suchräume“ für entsprechende Maßnahmen in den Blick genommen werden, weil in diesen vorrangig zusätzliche Verbundelemente/-räume zu verbessern oder überhaupt neu zu entwickeln sind.

Für die Regionalverbände besteht die gesetzlich verankerte Aufgabe, den Biotopverbund im Rahmen der Regionalpläne soweit erforderlich und geeignet planungsrechtlich zu sichern (§ 22 Abs. 4 NatSchG BW). In der Region Bodensee-Oberschwaben hat hierzu ein vom Land Baden-Württemberg gefördertes Modellprojekt beigetragen, in dessen Rahmen u. a. ein Fachbeitrag zum regionalen Biotopverbund erarbeitet worden war.¹³ Weitergehende Informationen finden sich in Winkelhausen (2017, 2022) bzw. im Internetangebot des Regionalverbands.¹⁴

Beim Biotopverbund ist eine Priorisierung von Zielen und von Maßnahmen erforderlich. Diese müssen auf rückläufige und gefährdete Zielarten sowie inzwischen im Mangel befindlichen Eigenschaften der Landschaft fokussieren, und nicht gerade das zusätzlich fördern, was ohnehin schon seit Jahrzehnten zunimmt.¹⁵ Mit Biotopverbundmaßnahmen soll konkreten Arten- und Habitatdefiziten entgegenge wirkt werden.

2.3 Freiflächensolaranlagen

Unter einer Freiflächensolaranlage wird eine Anlage verstanden, die einen Teil der Sonneneinstrahlung mittels Solarzellen und -modulen in elektrische Energie umwandelt (Photovoltaik, PV) und die nicht an oder auf einem Gebäude¹⁶, sondern i. d. R. ebenerdig mit geeigneter Ausrichtung auf einer Freifläche errichtet ist. Neben fest ausgerichteten Anlagen gibt es solche, die dem Sonnenstand nachgeführt werden.

Zumindest derzeit noch Sonderformen sind Anlagen der Agri-Photovoltaik (Kombination aus Photovoltaik und landwirtschaftlicher Nutzung)¹⁷ sowie schwimmende

¹² Zur Raumkulisse s. den Daten- und Kartendienst der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, LUBW, unter <https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de>

¹³ Trautner und Förth (2017)

¹⁴ S. <https://www.rvbo.de/Konzepte/Regionales-Biotopverbundsystem>

¹⁵ Schon lange nehmen insbesondere Hecken und andere Gehölze im Offenland zu (auch in Baden-Württemberg) und tragen u. a. durch Verschattung und strukturelle Veränderung zur Gefährdung der Funktionsfähigkeit von Landschaften für die besonders gefährdeten Lebensgemeinschaften des Offenlandes bei. Auch nährstoffreiche Standorte nehmen zu.

¹⁶ Anlagen, die an oder über Verkehrstrassen (etwa als Überdachung oder an Lärmschutzwänden), sonstigen Bauwerken oder als Abgrenzungen (etwa an Zäunen, auch im landwirtschaftlichen Kontext) angebracht sind oder diskutiert werden, werden hier nicht als Freiflächensolaranlagen betrachtet.

¹⁷ S. etwa Fraunhofer ISE (2022).

Anlagen auf Binnengewässern oder im marinen Bereich (floating photovoltaic, FPV, s. z. B. Review bei Essak und Ghosh (2022)). Auf diese wird an späterer Stelle noch in beschränktem Umfang eingegangen.



Abb. 1 Freiflächensolaranlage während der Bauphase. Die erforderlichen Kabel sind bereits verlegt und die Trägerkonstruktion im Aufbau (Fotos, soweit nicht anders vermerkt: J. Trautner).



Abb. 2 Freiflächensolaranlagen werden aus Sicherheitsgründen in der Regel zugangsbeschränkt und teils überwacht.

Freiflächensolaranlagen führen auf einem größeren Flächenanteil zu Beschattungswirkungen und teils weiteren mikroklimatischen Veränderungen sowie Differenzierungen innerhalb der Anlage. Durch Beschattung sind relativ große Flächenanteile in Solarparks „üblicher“ Belegung betroffen, wobei zwischen voll- oder ganz überwiegend und den lediglich zeitweise beschatteten Bereichen zu differenzieren ist. Durch Streulicht ist bei üblichen Mindestabständen zum Boden in allen Bereichen unter den Modulen die Möglichkeit pflanzlicher Primärproduktion gegeben (s. zu diesem und weiteren der o. g. Punkte z. B. die schon ältere Arbeit von Herden et al. (2009)).

Solarpanels werden auf Trägerkonstruktionen befestigt, die wiederum über Fundamente oder lediglich über Einschlag/Rammen im Untergrund verankert sind. Die Kabel in Solarparks sind i. d. R. unterirdisch verlegt und es sind weitere technische Betriebselemente erforderlich, die jedoch innerhalb der Parks einen sehr geringen Flächenanteil und auch eine sehr geringe Versiegelung mit sich bringen. Baubedingt können jedoch relativ umfangreiche Eingriffe in den Untergrund – auch je erforderlichem Maschineneinsatz – notwendig werden. Betriebswege sind entweder unausgebaut oder i. d. R. in Form teilversiegelter – z. B. geschotterter – Wege ausgebaut. In vielen Fällen wird bzw. wurde eine Umzäunung der Parks vorgenommen, insbesondere aus Sicherheitsgründen und im Rahmen einer realisierten Beweidung. Hierfür finden offenbar vorzugsweise Maschendraht- oder Stabgitterzäune Verwendung. Die Grünflächenpflege innerhalb der Anlagen ist u. a. darauf ausgerichtet, Beschattungen der Panels zu vermeiden.

Freiflächensolaranlagen stellen typisierend betrachtet technische Anlagen zur Energiegewinnung mit hohem Anteil unversiegelter, zugleich vergleichsweise hohem Anteil überschirmter Fläche dar, und naturschutzfachlich gesehen Eingriffe in Natur und Landschaft. Als nicht-privilegierte Vorhaben im Außenbereich benötigen sie zur Ermöglichung einer Realisierung grundsätzlich einen Bebauungsplan und ggf. eine Änderung des Flächennutzungsplans¹⁸; in diesem Zusammenhang muss eine Umweltprüfung durchgeführt werden. Die öffentlich-rechtlichen Vorschriften sind bei der Aufstellung der Bauleitpläne umfassend zu beachten (auch der besondere Artenschutz)¹⁹ und die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung ist im Rahmen der Abwägung zu berücksichtigen.

¹⁸ Vgl. Hinweise zum Ausbau von Photovoltaik-Freiflächenanlagen, Rundschreiben des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg an die kommunalen Planungsträger v. 18.02.2018, <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/erneuerbare-energien/sonnenenergie/photovoltaik/photovoltaik-freiflaechenanlagen/>

¹⁹ Zur Berücksichtigung des Artenschutzes in der Bauleitplanung und bei Bauvorhaben wurde ein Handlungsleitfaden seitens des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau veröffentlicht (Trautner et al. (2019)) der zwar nicht auf Solaranlagen abzielt, aber für die allgemeine Planungs- und Genehmigungspraxis einschließlich solcher Anlagen wichtige Informationen bereit stellt.

2.4 Vorgehen im Rahmen des Projekts

Wesentliche Basis für die Erarbeitung der Handreichung bildete zunächst eine Literaturrecherche primär im deutsch- und englischsprachigen Raum zu Wirkfaktoren und Wirkungen von Freiflächensolaranlagen insbesondere auf Flora und Fauna. Diese erfolgte primär über Suchabfragen via GoogleScholar und Researchgate, die Sichtung gängiger Fachzeitschriften und Nachfrage bei einer Reihe an externen Kolleg:innen. Dabei wurde nach Möglichkeit auch so genannte „graue Literatur“, d. h. unveröffentlichte bzw. nicht in Fachzeitschriften, Reihen oder Buchform publizierte Arbeiten oder Gutachten, berücksichtigt.

Die Literaturrecherche und -auswertung, obwohl in vglw. großem Umfang durchgeführt, hat nicht den Charakter eines eigenständigen Literatur-Reviews, sondern diente als Unterstützung bei der Erarbeitung der Handreichung. Eine formale Protokollierung und Auswertung von Suchvorgängen oder eine systematische Aufarbeitung in einer Datenbank konnte – anders als etwa bei Schlegel (2021) – in diesem Rahmen nicht vorgenommen werden. Die vorstehend genannte Studie, die während des Zeitraums unserer Bearbeitung zugänglich gemacht wurde, stellte durch die Auswertungen und die angeführten Quellen eine wichtige Grundlage dar, wenngleich Bewertungen dazu nicht bzw. nicht in allen Fällen übereinstimmen müssen.

Seitens bosch + partner GmbH (Herne) wurde uns dankenswerterweise eine Reihe an Unterlagen zu Bestandsaufnahmen bzw. Monitoring von Freiflächen-Solaranlagen im Bereich Lieberose (Brandenburg) zur Verfügung gestellt²⁰, auf deren Basis wir bestimmte Fragen näher diskutieren konnten, und die wir für ein weiter ausgearbeitetes Beispiel heranziehen konnten. Ähnliches gilt für Bestandsdaten zu einem Solarpark in Sachsen-Anhalt.²¹ Ergänzend fanden auch eigene Daten und Einschätzungen, insbesondere aus der Inaugenscheinnahme einer Reihe an Freiflächen-Solaranlagen sowie in einem Fall aus einem laufenden langjährigen Monitoring, das zwischenzeitlich auch die Fläche einer neu errichteten Freiflächensolaranlage mit umfasst, Berücksichtigung.

Die Hinweise und Empfehlungen gründen sich darüber hinaus auf umfangreiche Erfahrungen mit Fragen des Arten- und des Biotopschutzes, sowie auf diesbezügliche Arbeiten zum Biotopverbund in Baden-Württemberg und speziell in der Region Bodensee-Oberschwaben. Zu letzteren zählen neben der Mitarbeit am ersten Fachplan für den landesweiten Biotopverbund im Offenland Baden-Württembergs und der entsprechenden Arbeitshilfe (s. LUBW 2014a, 2014b) insbesondere das Gutachten zum regionalen Biotopverbund (Trautner und Förth 2017) in der gegenständlichen Region sowie neuere Arbeitshilfen zu für den Biotopverbund wichtigen Zielarten und Maßnahmen im landesweiten Kontext.²²

²⁰ Mit Zustimmung durch Wealthcap GmbH und Juwi AG, auch bezüglich einer weitergehenden Auswertung und Verwendung. Bei bosch + partner danken wir insbesondere Dieter Günnewig für das Heraussuchen und die Bereitstellung der Unterlagen sowie ergänzende Informationen.

²¹ Hier gilt unser Dank insbesondere dem Büro Rana (Halle/Saale), dort Martin Schulze und Frank Meyer, die auch weitere Informationen und Einschätzungen beitrugen.

²² Trautner (2021a, 2021b, Förth und Trautner (2022), Trautner (2022).



Abb. 3 Randbereich einer Freiflächensolaranlage mit umgrenzendem Zaun. Abhängig von Größe und Dichte der Panelreihen sowie der Blickrichtung übt die Anlage auch eine Kulissenwirkung auf das Umfeld aus. Die Umzäunung kann Teilbarriere bzw. Raumwiderstand für größere Säugetiere bilden.

Abweichend zu sonst üblichen Berichtsgliederungen und im Fokus auf die Empfehlungen und Hinweise folgen zunächst ein Kapitel mit übergreifenden Feststellungen zum Spannungsfeld „Freiflächensolaranlagen – Arten- und Biotopschutz/ Biotopverbund“ und danach die Empfehlungen. An diese schließen sich Erläuterungen und Begründungen an, auf die Verweise in den Feststellungen und Empfehlungen gesetzt sind. Den Abschluss bildet das Literaturverzeichnis.

3 Spannungsfeld „Freiflächensolaranlagen – Arten- und Biotopschutz/Biotopverbund“

3.1 Übersicht zu relevanten Wirkfaktoren

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht zur Relevanz von Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Freiflächensolaranlagen und Belangen des Arten- und Biotopschutzes/Biotopverbunds nach aktueller Einschätzung.

Hierzu wurden insbesondere die Übersichts-Tabellen oder Ausführungen zu Wirkfaktoren in Chock et al. (2021), Knoll und Groiss (2011), Moore-O’Leary et al. (2017) sowie Schlegel (2021) herangezogen. Die Einträge in den Spalten Relevanz und Anmerkungen stellen jeweils eine eigene Einstufung dar.

Weitere Ausführungen und Hinweise sind v. a. Kap. 3.2 und Kap. 5 zu entnehmen.

Tab. 1 Relevanz von Wirkfaktoren im Zusammenhang mit Freiflächensolaranlagen und dem Arten- und Biotopschutz/Biotopverbund nach aktueller Einschätzung.

Wirkfaktor / Auswirkungen	Relevanz	Anmerkungen
Flächeninanspruchnahme	■	Standortwahl entscheidend
Boden-/Standortveränderung (bau- und anlagebedingt)	■	Standortwahl entscheidend
(Teil) Verschattung	■	Standortwahl entscheidend
Umzäunung – funktionale (Teil-) Barriere	■	Standortwahl entscheidend, Minderung vor Ort dürfte i. d. R. möglich sein
Änderung der Strukturen, Nutzung und Pflege innerhalb Anlage	■	Standortwahl und Standortvorbereitung entscheidend
Randeffekte (z. B. über Kulissen)	■	Standortwahl entscheidend
Anlock- und Mortalitätseffekte für v. a. wasserbewohnende Insekten mit flugfähigen Stadien ²³	■	Standortwahl entscheidend
Anlock- und Mortalitätseffekte für Wirbeltiere	□	Standort relevant
Veränderung von Biomasse, Nahrungsnetzen u. a.	(□)	Im Fall von Floating-PVA möglicherweise von besonders hoher Relevanz und noch eingehend zu prüfen
Mikro- und/oder lokalklimatische Veränderungen	(□)	Im Fall von Floating-PVA möglicherweise von besonders hoher Relevanz und noch eingehend zu prüfen
Schädliche Stoffe inkl. Pestizide	□	Bei bisher intensiver landwirtschaftlicher Nutzung regelmäßig Entlastung erwartbar
Elektromagnetische Felder, Vibrationen, Akustik (ohne Baubetrieb), Sonstiges	-	Bislang kein Hinweis auf (besondere) Relevanz

■ regelmäßig von besonderer Bedeutung, □ relevant, (□) bereits über andere Aspekte subsummiert oder eher in speziellen Fällen von Bedeutung

²³ Hier bezogen auf Effekte der Module bzw. Panels. Es wird davon ausgegangen, dass Freiflächensolaranlagen ohne nächtliche Beleuchtung betrieben werden können und betrieben werden. Andernfalls wäre die Beurteilung im Einzelfall auch auf die Auswirkung von Beleuchtungsanlagen auszudehnen.

3.2 Übergreifende Feststellungen

- I. Freiflächensolaranlagen sind - ungeachtet eines hohen Anteils unversiegelter Fläche - technische Anlagen zur Energiegewinnung, die geeignet sind, Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft hervorzurufen. Sie bedürfen einer adäquaten Umweltprüfung und u. a. auch einer artenschutzfachlichen und -rechtlichen Beurteilung unter Berücksichtigung der jeweiligen Standort- und Raumspezifika.
- II. Bei der naturschutzfachlichen Bewertung von Freiflächensolaranlagen und ihrer Wirkungen spielt insoweit die (günstige – möglichst unkritische) Standortwahl eine entscheidende Rolle. Insoweit soll eine Freiflächensolaranlage, um umweltfachlich positiv eingeschätzt werden zu können, „weder direkt noch indirekt ökologisch sensible Lebensräume“ beeinträchtigen und es sollen bei ihrer Standortwahl „in erster Linie bereits versiegelte oder intensiv genutzte Flächen berücksichtigt werden“ (Schlegel 2021 mit Verweis auf Demuth und Maack (2019)).
- III. Freiflächensolaranlagen stehen aufgrund bestimmter Eigenschaften im Widerspruch zu vorrangigen Zielen des Naturschutzes und des Biotopverbunds im Offenland (s. Kap. 5.1). Ungeachtet des Aspekts, dass in ihnen enthaltene Flächen(anteile) naturschutzfachliche Zielsetzungen sektoral unterstützen²⁴, und im Vergleich zu bestimmten landwirtschaftlich intensiven Nutzungen verringerte stoffliche Belastungen aufweisen, kann ihre Errichtung nicht mit raumrelevanten bzw. standortspezifischen Zielen des Naturschutzes begründet werden. Freiflächensolaranlagen sind insoweit auch nicht als geeignetes Mittel zur Realisierung des Biotopverbunds einzustufen. Dass sie gleichwohl nicht an jeder Stelle der Verbundraumkulisse (nicht: Kernraumkulisse) dem Biotopverbund entgegenstehen müssen, bleibt unbenommen und ist unter bestimmten Maßgaben im Einzelfall zu prüfen.²⁵
- IV. Der Ausschluss von Freiflächensolaranlagen in Vorranggebieten für Naturschutz und Landschaftspflege, wie er im bisherigen Regionalplan und im vorliegenden Entwurf mit Satzungsbeschluss festgelegt wurde, ist plausibel und fachlich nach vorliegender Einschätzung auch geboten, um mit den Vorranggebieten tatsächlich dem vorrangigen Zweck unter möglichst weitgehender Ausschöpfung der Potenziale zu dienen. Sofern dennoch aus Sicht des Regionalverbands Ausnahmen ermöglicht werden sollen wird empfohlen, hierbei insbesondere die Empfehlungen und Hinweise in Kap. 4 zu berücksichtigen.

²⁴ Ähnliches gilt auch für Freiflächen bei günstiger Pflege bzw. in günstigem Sukzessionszustand etwa in Gewerbe- und Industriegebieten sowie an Straßen.

²⁵ Die Verbundraumkulisse enthält regelmäßig Flächenanteile (aktuell) geringwertiger Flächen im Sinne von „Suchräumen“, bei denen nicht (immer) davon ausgegangen werden kann, dass sie mittel- oder langfristig vollständig für Zwecke des Biotopverbundes entwickelt werden können. „Ihre Bedeutung liegt in der Regel in ihrem standortökologisch begründeten Entwicklungspotenzial und/oder ihrer Lage zwischen den zu vernetzenden Biotopflächen“ (Winkelhausen 2022).

- V. Die tatsächliche naturschutzfachliche Bedeutung und die naturschutzfachlichen Potenziale von Freiflächensolaranlagen werden derzeit nach eigener Einschätzung in der Öffentlichkeit zu positiv dargestellt (s. Kap. 5.2). Dies geht – neben einer von Wunschvorstellungen deutlich abweichenden Pflege – u. a. auf falsche, (noch) unzureichende, nicht ausreichend abgesicherte oder unzulässig verallgemeinernde Aussagen zurück.
- VI. Freiflächensolaranlagen sind nicht frei von Mortalitätsrisiken für bestimmte Wirbeltierarten, doch erreichen diese im Fall der bei uns verwendeten Anlagen nach derzeitigem Kenntnis- und Einschätzungsstand bei weitem nicht das diesbezügliche Konfliktpotenzial von Windenergieanlagen (s. Kap. 5.3).
- VII. Relevante Anlock- und Mortalitätsrisiken von Freiflächensolaranlagen werden nach derzeitigem Kenntnis- und Einschätzungsstand bei wasserbewohnenden Insekten mit flugfähigen Entwicklungsstadien gesehen (s. Kap. 5.4). Dem soll vorsorglich durch Standortwahl und Abstände zu entsprechend sensiblen Bereichen begegnet werden.²⁶
- VIII. Für „Feldvogelarten“ des Offenlandes wie die Feldlerche werden Freiflächensolaranlagen – auf den noch heterogenen Informationsstand und teils gegenteilige Beispiele und Einschätzungen in diversen Quellen wird ausdrücklich hingewiesen – als i. d. R. negativ bzw. kritisch eingeordnet (vgl. Kap. 5.5). Dies gilt auch für Funktionen des Vogelzugs bei Arten, die offene Landschaftsräume benötigen. Hierauf ist bei der Standortwahl besonders zu achten und es sind Abstände zu entsprechend sensiblen Bereichen erforderlich.
- IX. Naturschutzfachliche Potenziale von Freiflächensolaranlagen sind (neben der Standortwahl als solcher) wesentlich von (a) Standortvorbereitung, (b) großen, nicht von Modulen überschirmten und nicht beschatteten Flächenanteilen und (c) einer auf naturschutzfachlich bedeutsame Arten und Lebensgemeinschaften ausgerichteten Pflege der Freiflächen abhängig (s. Kap. 5.6). Hinzu kommt (d) die Umfeldsituation. Bei Punkt (b) besteht ein wesentlicher Zielkonflikt darin, dass die Flächengröße der Anlagen möglichst geringgehalten und insoweit eine hohe Ausnutzung für Zwecke der Energieproduktion erreicht werden sollte. Diesbezüglich könnte als Faustregel angenommen werden, dass die Relevanz einer effizienten Ausnutzung von Flächen absinkt, je geringer die naturschutzfachliche Bedeutung der betroffenen Flächen und ihres Umfeldes ist und je höher ihr Angebot.
- X. Der Kenntnisstand zu Auswirkungen von Freiflächensolaranlagen auf Arten und Biotope (einschließlich Biotopverbund) ist noch immer unbefriedigend. Insbesondere fehlen, worauf z. B. auch bei Schlegel (2021) hingewiesen wird, methodisch und in der Dokumentation vergleichbare Vorher-Nachher-Studien mit ausreichender Abdeckung lokal bzw. naturräumlich differierender Situationen. Dies erschwert die Beurteilung und erfordert

²⁶ Entsprechend der technischen Entwicklung und dem Forschungsstand kann hier zu einem späteren Zeitpunkt, wenn eine weitgehende Vermeidung gesichert ist, durch Reduzierung oder Aufgabe von Abständen nachgesteuert werden.

dringend Verbesserungen, wobei auch dem projektbezogenen, standardisierten Monitoring eine wichtige Rolle beigemessen wird (s. Kap. 5.2). Im Hinblick auf bereits festgestellte oder potenziell hohe Konflikte, etwa des Feldvogelschutzes oder der Kombination mit Maßnahmen der Wiedervernässung (s. Kap. 5.1), ist unter anderem in Anbetracht der hohen Flächenforderungen für Freiflächensolaranlagen ein konsequent vorbeugender Ansatz bei der Standortfindung erforderlich.



Abb. 4 Randbereich einer Freiflächensolaranlage in Bündelung (hier: längerer Parallelführung) mit einer Autobahn. Die Kombination von Freiflächensolaranlagen mit Verkehrstrassen wurde in einigen Räumen bereits intensiver verfolgt und ist unter verschiedenen Aspekten zu diskutieren. Im vorliegenden Bericht wurden hierzu keine Kriterien geprüft bzw. entwickelt, unter anderem da im konkreten Raumbezug der Orientierungshilfe nur in vergleichsweise geringem Umfang Autobahnen verlaufen.

4 Empfehlungen

Die nachfolgenden Empfehlungen und Hinweise wurden primär vor dem Hintergrund der Frage formuliert, ob es und wenn ja welche Kriterien es geben könnte, die bei der Prüfung der Möglichkeit einer ausnahmsweisen Zulassung von Freiflächensolaranlagen in regionalplanerisch festgesetzten Vorranggebieten für Naturschutz und Landschaftspflege herangezogen werden sollten. Derzeit besteht die Möglichkeit einer solchen Ausnahme in Vorranggebieten lt. Entwurf des Regionalplans nicht (s. Kap. 2.1).

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass in den Empfehlungen nicht nur auf die zur damaligen Erarbeitung der regionalplanerischen Kulisse herangezogenen Grundlagen (s. Winkelhausen 2017, 2022) und ihre Ergebnisse abgestellt wird, sondern auch auf weitere, darunter neu vorliegende Grundlagen aus dem landesweiten Biotopverbund. Dies bedeutet nicht, dass hierdurch ggf. neu adressierte Flächen zu Vorranggebieten „mutieren“. Allerdings können die Empfehlungen insoweit auch für andere Fragen/Planungsebenen von Interesse sein, auch außerhalb von Vorranggebieten. Bei bestimmten Kriterien wird auf die mögliche Situation abgestellt, dass die landesweite – später erarbeitete – Biotopverbundkulisse außerhalb von Vorranggebieten betroffen ist.

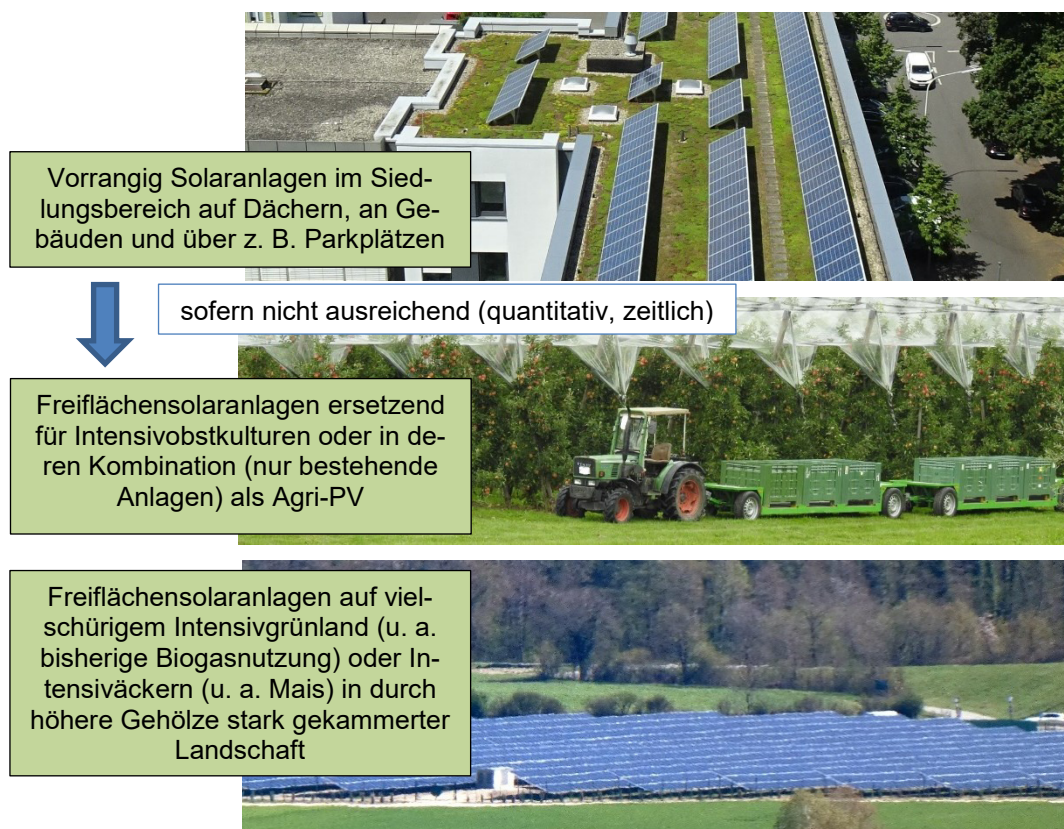


Abb. 5 Positiv-Kriterien: Basis-Entscheidungsbaum für die Platzierung von Solaranlagen. Lage- und Abstands- sowie ggf. weitere Kriterien nach Tab. 2 sind bei der Standortwahl zu berücksichtigen.

Grundsätzliche Fragen wie etwa solche der Bedarfs- und Alternativenprüfung bleiben ansonsten nachfolgend unberücksichtigt. Für Naturschutzgebiete wird davon ausgegangen, dass Freiflächensolaranlagen dort grundsätzlich nicht genehmigungsfähig sind, weshalb jene in der Tabelle nicht spezifisch benannt sind.

Landschaftsbild und Erholung werden – wie eingangs des Berichts genannt, aber hier nochmals zu betonen - nicht thematisiert.

Die Empfehlungen sind so gefasst, dass sie jeweils einzeln geprüft und berücksichtigt werden können, auch Überlagerungen zu erwarten sind, sie sich aber gegenseitig nicht vollständig ersetzen (müssen). Daher ist eine vollständige, additive Prüfung zu empfehlen, jedenfalls soweit nicht ein Kriterium bereits zum Ausschluss führt. Für Spalte 3 (Sonstige Flächen und nachgeordnete Planungsebenen) wird davon ausgegangen, dass Gebiete nach Spalte 2 bereits abgeschichtet sind oder andernfalls die dort genannten Kriterien ebenfalls auf nachgeordneten Planungsebenen beachtet werden.

Es wird auf das Regionale Biotopverbundsystem (RBV) wie in den Übersichts- und Begründungskarten zum Regionalplan-Entwurf dargestellt und auf die landesweite Biotopverbundkulisse (Offenland, Fließgewässer und Auen, Feldvogelräume, Generalwildwegeplan), hier abgekürzt mit LBK, zurückgegriffen. Mit dem Begriff „Kernräume“ sind Kernräume inklusive der Kernflächen gemeint, Verbundräume des RBV umfassen auch die dort separat dargestellten Verbundachsen.

Tab. 2 Empfehlungen und Hinweise für Belange des Arten- und Biotopschutzes /Biotopverbunds (primär) zur Prüfung der Möglichkeit einer ausnahmsweisen Zulassung von Freiflächensolaranlagen in regionalplanerisch festgesetzten Vorranggebieten für Naturschutz und Landschaftspflege, ergänzend im Fall sonstiger Flächen bzw. nachgeordneter Planungsebenen. Z=Ziffer.

Z	Vorranggebiete des Regionalplans für Naturschutz und Landschaftspflege	Sonstige Flächen und nachgeordnete Planungsebenen	Zur Begründung
01	Vermeidung neuer Barrieren. Besonderer Schutz von Vorranggebieten großräumiger Ausdehnung und gegenüber der weiteren Verschmälerung an Engstellen. Durchgängigkeit, Funktionalität und Entwicklungsfähigkeit des RBV müssen zwingend dauerhaft gewährleistet sein. Keine Ausnahme, soweit dies in Frage steht. ²⁷ In Anlehnung an die Empfehlung von Beier (2018) sollen im RBV (Wald und Offenland) unbedingt möglichst breite Korridore / Ver-	Gleichartige Anwendung für Ausschluss von Standorten empfohlen, soweit landesweite Kulisse des Biotopverbunds außerhalb von Vorranggebieten betroffen.	Kap. 5.1

²⁷ Im Einzelfall kann etwa der Verzicht auf Zäunung als wesentliche Minderungsmaßnahme gewertet werden, jedoch sind auch weitere Vorhabeneigenschaften bezüglich einer funktionalen Beeinträchtigung in Bedacht zu nehmen (zum Beispiel Kulissenwirkung, siehe an späterer Stelle). Unter Berücksichtigung der aktuellen Ausstattung und der Entwicklungspotenziale sollen bei ausnahmsweiser Zulassung (potenziell) nutzbare Verbundräume möglichst angrenzend bzw. im engen funktionalen Zusammenhang ausgeglichen werden.

Z	Vorranggebiete des Regionalplans für Naturschutz und Landschaftspflege	Sonstige Flächen und nachgeordnete Planungsebenen	Zur Begründung
	<p>bundräume erhalten werden²⁸, da diese die Funktionen – bei zudem geeigneter Ausstattung und Lage – am besten erfüllen können. Empfohlen wird daher:</p> <p>Bei Ausdehnung des Korridors von > 2.000 m keine Ausnahme für Freiflächensolaranlagen.</p> <p>Zwischen 1.000 und 2.000 m entlang des betreffenden Vektors maximal 5 % Verringerung,</p> <p>Unter 1.000 m entlang des betreffenden Vektors maximal 10 % Verringerung.²⁹</p>		
02	Wildtierkorridore internationaler Bedeutung sollten grundsätzlich nicht unter 1.000 m verschmälert werden, sonstige Wildtierkorridore regionaler oder nationaler Bedeutung auch an Engstellen nicht unter 500 m.	Gleichartige Anwendung für Ausschluss von Standorten empfohlen.	Kap. 5.1
03	<p>Keine Ausnahme für <u>Kernräume</u> des RBV.</p> <p>Für <u>Verbundräume</u> gilt: Im feuchten und im trockenen Standortbereich keine Ausnahme für alle (potenziell) bedeutenden Verbundräume des RBV, soweit dort geeignete Standortbedingungen für die Unterstützung des Biotopverbunds vorliegen, insbesondere auch geeignete Maßnahmenflächen für eine Wiedervernässung (s. kritische Anmerkungen zu „Moor-PV-Anlagen“ in Kap. 5.1, S. 26).</p> <p>Je nach erreichbarem Ziel vor dem Hintergrund der landschaftlichen Ausstattung sind zudem die Abstandskriterien bezüglich sensibler Vogelarten des Offenlandes zu berücksichtigen (vgl. Tabelle in Kap. 5.5).</p> <p>Im mittleren Standortbereich sollten jedenfalls Flächen innerhalb von Verbundräumen, die im engen räumlichen Zusammenhang mit bereits bestehenden mageren Flachlandmähwiesen oder Bergmähwiesen besonders hohes Potenzial für eine entsprechende Entwicklung aufweisen (fallweise Prüfung), nicht für Freiflächensolaranlagen in Anspruch genommen werden.</p>	Gleichartige Anwendung für Ausschluss von Standorten auch für die Kernräume und Verbundräume des LBK im Offenland (Suchräume 500 m und 1.000 m) empfohlen.	Kap. 5.1 (ergänzend 5.5)
04	Gleichartige Anwendung der Kriterien aus Spalte 3, soweit nicht bereits durch die Kernräume des RBV abgedeckt.	Ausschluss von Standorten in Kernräumen sowie Entwicklungs-	s. a. Kap. 5.4

²⁸ Mit „Breite“ ist die Ausdehnung in jede Richtung gemeint. Im Fall (abschnittsweise) getrennter Teilräume ist die Dimensionierung pro Teilraum zu sehen. Aufgrund der Seltenheit entsprechend breiter Korridore (> 2.000 m) im Offenland der gegenständlichen Region wird hier der Bezug der „Breite“ für Wald und Offenland gemeinsam gewählt.

²⁹ Das Vorgehen zielt nicht auf den besonderen Schutz bereits eher kleinerer, sondern der eher größeren Biotopverbundkulissen ab, weshalb bei Letzteren auch der Orientierungswert strenger angesetzt wurde. Es sind auch die Verbundräume mit zu berücksichtigen.

Z	Vorranggebiete des Regionalplans für Naturschutz und Landschaftspflege	Sonstige Flächen und nachgeordnete Planungsebenen	Zur Begründung
		potenzialen des LBK Gewässerlandschaften (Fließgewässer und Auen). ³⁰	
05	Keine Ausnahme für die bei Trautner und Förth (2017) in Karte 5 dargestellten Schwerpunktgebiete für die Sicherung und Förderung der Feldvogelarten der offenen Flur (mindestens 1. Kategorie). Mindestabstände entsprechend (potenzieller) Artenausstattung zwischen 75 und 300 m (s. Tabelle im nebenstehend genannten Kapitel). Abweichungen bei Nachweis fehlender oder sehr geringer aktueller Bedeutung und fehlender oder objektiv stark eingeschränkter Entwicklungspotenziale möglich.	Gleichartige Anwendung für Ausschluss von Standorten empfohlen, soweit die in Spalte 2 benannten Schwerpunktgebiete außerhalb der Vorranggebiete des Regionalplans liegen. Vertiefte Prüfung sonstiger Standorte in prioritären und i. d. R. auch für sonstige Offenlandflächen des LBK Feldvogelkulissee. Mindestabstände entsprechend (potenzieller) Artenausstattung zwischen 75 und 300 m (s. Tabelle im nebenstehend genannten Kapitel). Im Fall der Entwicklungsflächen Halboffenland der o. g. Kulisse sollten jedenfalls keine größeren Flächeninanspruchnahmen erfolgen (bis max. 10 % der jeweiligen Entwicklungsfläche) und spezifische Gestaltungs-/Entwicklungsvorgaben berücksichtigt werden.	Kap. 5.5
06	Gleichartige Anwendung der Kriterien aus Spalte 3, soweit nicht bereits durch die Kernräume des RBV abgedeckt.	Ausschluss von geschützten Biotopen, sofern es sich nicht um Feldgehölze (Biototyp 41.10) oder Feldhecken mittlerer Standorte (41.20 und Subtypen) handelt. ³¹	Kap. 5.1
07	Gleichartige Anwendung der Kriterien aus Spalte 3, soweit nicht bereits durch die Kernräume des RBV abgedeckt.	Ausschluss im Nahbereich von Quellen, Stillgewässern oder auf Stillgewässern selbst (floating photovoltaic), soweit es sich um natürliche Quellen/Stillgewässer oder solche mit besonderen Funktionen für den Arten- und Biotopschutz handelt. ³² Als Nahbereich wird die	Kap. 5.4 und Kap. 5.7 (ergänzend 5.3)

³⁰ Aufgrund des sehr schlechten Zustands von Auen und des massiven Bedarfs an ihrer Entwicklung (einschließlich Überflutungsbereichen) ist hier fachlicherseits keine Unterscheidung zwischen Kernräumen und weiteren Kategorien geboten. Der Ausschluss für Freiflächensolaranlagen begründet sich hier primär in der uneingeschränkten Sicherung und Entwicklung als barrierefreie Überflutungsbereiche und für eine ansonsten eigendynamische Entwicklung der Gewässer.

³¹ Geschützte Biotope des Offenlandes sollten weitgehend in den Kernräumen des Biotopverbundes Offenland abgedeckt sein. Feldhecken mittlerer Standorte und Feldgehölze bedürfen sowohl einer Prüfung im Einzelfall als auch im Fall der Inanspruchnahme einer entsprechenden Befreiung, können jedoch nach fachlicher Einschätzung aufgrund ihrer Häufigkeit und Zunahme in den letzten Jahrzehnten sowie der oft nur geringen oder mittleren tatsächlichen naturschutzfachlichen Bedeutung nicht (eigenständig) als Ausschlussflächen gewertet werden. Dies gilt trotz ihres Status als geschützte Biotope.

³² Alle gesamthaft oder in Teilen als geschützte Biotope einzustufenden Stillgewässer (hierbei ist auch Ufer- bzw. Verlandungsvegetation zu berücksichtigen) werden als solche mit besonderen Funktionen für den Arten- und Biotopschutz eingeordnet. In allen anderen Fällen ist

Z	Vorranggebiete des Regionalplans für Naturschutz und Landschaftspflege	Sonstige Flächen und nachgeordnete Planungsebenen	Zur Begründung
		Distanz bis 50 m (beidseits), im Fall besonders hochwertiger Gewässer für die aquatische Insektenfauna bis 250 m eingestuft. ³³ Dies sollte auch für Fließgewässer einschließlich Grabensystemen gelten, soweit sie nicht bereits auch abstandsmäßig unter Ziffer 04 erfasst sind.	
08	Keine Ausnahme innerhalb der im Gutachten von Trautner und Förth (2017) in Karte 6 dargestellten Dichtezentren von Gewässern (drei ausgewiesene Stufen). Dies beschränkt sich nicht auf die Gewässer, sondern schließt dazwischen liegende Räume (abgesehen von Siedlungen und Freiräumen innerhalb von Siedlungsbereichen) ein. ³⁴	Gleichartige Anwendung für Ausschluss von Standorten empfohlen, soweit die in Spalte 2 benannten Dichtezentren außerhalb der Vorranggebiete des Regionalplans liegen.	Kap. 5.3 und 5.4
09	Abbaugelände und militärische Übungsflächen, aber auch Deponien, können ein sehr hohes Konfliktpotenzial aus naturschutzfachlichen und artenschutzrechtlichen Gründen aufweisen. ³⁵ Freiflächensolaranlagen können hier auszuschließen, nur auf Teilflächen oder unter hohen Restriktionen sowie mit umfangreicherem externem, funktionserhaltenden Flächenbedarf zulässig sein.		-
10	Für eine Ausnahme kommen unter Berücksichtigung der übrigen hier gelisteten Ziffern vor allem Flächen in Frage, bei denen es sich um artenarmes Grünland, Äcker oder Sonderkulturen ohne besondere Entwicklungspotenziale handelt, die bereits durch benachbarte oder umgebende Bauwerke bzw. Gehölzbestände deutlich durch Kulissen beeinträchtigt sind und teils angrenzende Flächen selbst belasten (insbesondere Intensivobstkulturen). Dies gilt auch für Agri-PV-Anlagen.		Kap. 5.1
11	Belange des Artenschutzes nach § 44 ff. BNatSchG sind unabhängig ³⁶ von o. g. Kriterien zu berücksichtigen und können auch durch Beeinträchtigungen während der Bauphase (etwa durch Tötung von Individuen oder Zerstörung von Lebensstätten) sowie durch Störung zulassungsrelevant sein. Hierzu sollte für die Bewertung auf regionalplanarischer Ebene jedenfalls eine Grobeinordnung im jeweiligen Einzelfall vorgenommen werden bzw. es sind entsprechende Unterlagen vorzulegen. Die detaillierte Abarbeitung dieser Belange kann i. d. R. erst in nachgeordneten Verfahrensebenen erfolgen.		-

(Fortsetzung der Tabelle auf der Folgeseite)

insbesondere eine Prüfung auf wesentliche Funktionen für die Vogelfauna (auch Bedeutung als Rastplatz) sowie naturschutzfachlich bedeutende Arten dynamischer Standorte bzw. früher Sukzessionsstadien (etwa an und in Kies-Seen) erforderlich.

³³ Datenlage zur Beurteilung der „besonders hochwertigen Gewässer“ sicherlich heterogen; fallweise ist eine entsprechende Beurteilung nur nach Datenerfassung vorzunehmen.

³⁴ Soweit seitens des Regionalverbands hierfür eine neuere Grundlage bereitgestellt wird, kann ggf. auch auf jene zurückgegriffen werden. Es erscheint jedoch wesentlich, den fachlichen Ansatz der Dichtezentren zu berücksichtigen.

³⁵ Dies ist dann auf spezifische Standort-, Nutzungs- und teils historische Rahmenbedingungen (Entstehungsgeschichte im Kontext der ehemaligen naturräumlichen Ausstattung des Umfeldes) zurückzuführen und wird häufig zunächst unterschätzt, da diese Standorte unter anderen Gesichtspunkten als „vorbelastet“ eingeordnet werden.

³⁶ Fragestellungen und Bewertungen können sich gleichwohl überschneiden bzw. decken.

Z	Vorranggebiete des Regionalplans für Naturschutz und Landschaftspflege	Sonstige Flächen und nachgeordnete Planungsebenen	Zur Begründung
12	Für Natura 2000-Gebiete (FFH- und Vogelschutzgebiete) sind unabhängig von o. g. Kriterien die sich aus § 34 BNatSchG in Verbindung mit der Rechtsprechung und fachlich adäquaten Methoden/Daten ergebenden Prüfmaßstäbe zu berücksichtigen. An dieser Stelle wird lediglich der Hinweis auf das Erfordernis der Berücksichtigung charakteristischer Arten der Lebensraumtypen gegeben. Zur Verträglichkeit sollte für die Bewertung durch den Regionalverband jedenfalls eine Voreinschätzung im jeweiligen Einzelfall vorgenommen werden bzw. dem Verband sind entsprechende Unterlagen vorzulegen.	Für Natura 2000-Gebiete (FFH- und Vogelschutzgebiete) sind unabhängig von o. g. Kriterien die sich aus § 34 BNatSchG in Verbindung mit der Rechtsprechung und fachlich adäquaten Methoden/Daten ergebenden Prüfmaßstäbe zu berücksichtigen. An dieser Stelle wird lediglich der Hinweis auf das Erfordernis der Berücksichtigung charakteristischer Arten der Lebensraumtypen gegeben.	-

Inwieweit darüber hinaus Flächenkulissen, die im Rahmen der Umsetzung des § 45d BNatSchG (Nationale Artenhilfsprogramme) erarbeitet werden, Kriterien zu Ausschluss oder Restriktion gegenüber der Zulassung von Freiflächensolaranlagen bieten – und hierdurch überhaupt Flächen zur bereits in Tab. 2 genannten Kriterienanwendung hinzutreten – lässt sich derzeit nicht absehen. Den Bearbeitern des gegenständlichen Berichts lagen hierzu noch keine Informationen bzw. Flächenkulissen vor. Primär ist zu erwarten, dass solche Kulissen schwerpunktmäßig auf den Schutz und insbesondere die risikoarme Reproduktion von Arten abzielen, die durch Windenergieanlagen andernorts erhöhten Mortalitätsrisiken ausgesetzt sind. Inwieweit z. B. auch das Thema der durch erneuerbare Energien (Bioenergie, Ausbau von Freiflächensolaranlagen) stark betroffenen Offenlandarten, speziell der Feldvogelfauna, mit berücksichtigt sein wird, ist bislang nicht bekannt.

5 Erläuterungen/Begründungen

5.1 Freiflächensolaranlagen und vorrangige Ziele des Naturschutzes bzw. des Biotopverbunds

Klimakrise und Biodiversitätskrise können als Gefahren und zugleich Herausforderungen gleicher Bedeutung für die Menschheit angesehen werden (z. B. Europäische Kommission 2020). Maßnahmen des Klimaschutzes und des Biodiversitätsschutzes sollten daher idealerweise für beide Bereiche positiv und effizient zusammenwirken, wie es etwa die Wiedervernässung mit dem Ziel der Moorregeneration auf für die Landwirtschaft meliorierten und durch diese bisher intensiv genutzten Flächen bei geeigneter Folgenutzung oder -pflege vermag.

Die Sicherung der biologischen Vielfalt - grundlegende gesetzliche Aufgabe (§ 1 Abs. 2 BNatSchG) - muss weit über konservierende Ansätze hinausgehen, auch aufgrund dessen, dass bereits gravierende Verluste eingetreten und durch bisherige Tätigkeiten vorgezeichnet sind. Es ist dringendes Handeln erforderlich, wobei Maßnahmen zur Förderung der biologischen Vielfalt vorrangig auf gefährdete Lebensgemeinschaften bzw. gefährdete Arten und deren Habitate (darunter verstärkt Arten, für die besondere Schutzverantwortung besteht) abzielen müssen³⁷. Unter Berücksichtigung deren spezieller Ansprüche bedeutet dies unter anderem die Wiederherstellung struktureller sowie standörtlicher Vielfalt in ausreichender Flächengröße, wobei gezielt Defizite in der Landschaft beseitigt werden müssen. Hier setzt auch der Biotopverbund an, der funktionsfähige, ökologische Wechselbeziehungen in der Landschaft unter besonderer Berücksichtigung ökologischer und räumlich-funktionaler Ansprüche der heimischen Arten an ihren Lebensraum im Fokus hat (s. Kap. 2.2).

Gravierend in Defizit sind heute insbesondere artenreiche, unbeschattete Lebensräume des Offenlandes, barrierearme und barrierefreie, nicht fragmentierte Landschaften sowie (mit dem ersten Punkt verbunden) nährstoffarme Standorte extensiver Nutzung. Zugleich sind weiträumig, insbesondere auch in Baden-Württemberg, kulissenfreie Landschaften als Lebensraum entsprechend empfindlicher Feldvogelarten im Mangel. Diese Sachverhalte drücken sich auf verschiedenste Weise etwa in den landes- und bundesweiten Roten Listen von Arten und Biotopen, Ergebnissen von Landschaftsanalysen und Biotopkartierungen sowie den Bilanzen der Wald- und Gehölzentwicklung zuungunsten des Offenlandes aus. So ist die Situation für Waldlebensräume und -arten (mit Ausnahme solcher sehr lichter Waldstrukturen und bestimmter Alt- und Totholzlebensräume) oftmals unkritisch oder deutlich weniger kritisch als für Lebensgemeinschaften des Offenlandes (vgl. Finck et al. 2017), die Waldfläche hat europaweit und in Deutschland über Jahrzehnte deutlich zugenommen (FOREST EUROPE 2020, Trautner et al. 2015) und in der neuesten Kartierungsperiode der Biotopkartierung Baden-Württemberg ab 2010 haben insbesondere Feldhecken und Feldgehölze – obwohl bereits die in Anzahl

³⁷ In diesem Sinne s. auch BVerwG, Hinweisbeschluss v. 2.10.2014 – 7A 14.12, Rn. 18 zur Rolle dieser Arten in der Umweltprüfung.

und Fläche in Summe dominierenden Typen - „insgesamt große Zuwächse zu verzeichnen“ (nach Auswertung der LUBW³⁸). Dies hat auch dazu geführt, dass in der neuen Arbeitshilfe zum landesweiten Biotopverbund bezüglich empfohlener Maßnahmen im Offenland (Trautner 2021a) gehölzbetonte Maßnahmen, die zu einer weiter zunehmenden Beschattung im Offenland führen können, kritisch bewertet und für den Regelfall nicht empfohlen werden, was auch z. B. die Neuentwicklung von Hecken einschließt.

Vor diesem Hintergrund stehen Freiflächensolaranlagen eindeutig im Widerspruch zu vorrangigen naturschutzfachlichen Zielen für die Landschaft Baden-Württembergs, indem sie den Anteil beschatteter Fläche weiter vergrößern, die Fragmentierung der Landschaft (zumindest als Teilbarriere für bestimmte Arten) verstärken und in offenen Landschaften über Kulissenwirkung Lebensräume für Brutvögel der Feldflur sowie für Zug- und Rastvögel entwerten (s. dazu noch Kap. 5.5).³⁹

In besonderem Maße gilt dies für Räume, die vorrangig für den Naturschutz vorzuhalten bzw. in bestimmten Eigenschaften zu sichern sind (s. Vorranggebiete auf Ebene der Regionalplanung, europäisches Schutzgebietsnetz Natura 2000, landesweiter Biotopverbund einschließlich Feldvogelkulisser u. a.).

Gerade aufgrund der für größere Teile des Verbandsgebiets besonders bedeutsamen Moorlebensräume und entsprechender Entwicklungsflächen(potenziale) ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass – wie eingangs ausgeführt – Wiedervernässungs- bzw. Moorregenerationsmaßnahmen als solche zwar sehr hohe Synergieeffekte zwischen Klimaschutz- und Biodiversitätsschutzmaßnahmen zugesprochen werden müssen und sie unzweifelhaft zu vorrangigen Naturschutzzielen gehören. Dies lässt sich aber aller Voraussicht nach nicht gleichzeitig mit einer zusätzlichen Nutzung für Freiflächensolaranlagen („Moor-PV-Anlagen“) verbinden. Denn auch hier ist es so, dass die vorrangig gefährdeten und zu fördernden Arten und Lebensgemeinschaften voll besonnte Standorte benötigen und ein Teil der hier relevanten Vogelarten kulissenmeidend ist. Große Potenziale solcher Wiedervernässungsflächen für die biologische Vielfalt würde man insoweit opfern, wenn man hier eine Kombination mit Freiflächensolaranlagen anstrebt. Dies ist vor dem Hintergrund einerseits der kritischen Situation offener Moorlebensräume und ihrer Zönosen, andererseits voraussichtlich sonstiger ausreichender Potenzialflächen für Solaranlagen i. d. R. nicht vertretbar.

Allenfalls in Situationen, in denen außerhalb naturschutzfachlicher Vorrangräume (die ausdrücklich nicht nur Flächen mit aktuellem Schutzstatus umfassen können, s. o.) potenzielle Regenerationsflächen in einem Umfang zu Verfügung stehen, der nicht (voll) für die gleichzeitige Aufwertung zugunsten der Biodiversität genutzt werden kann, könnten Kombinationen aus Wiedervernässung und Freiflächen-

³⁸ <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/ergebnisse>

³⁹ Dass sie bei geeigneter Pflege andererseits über Teilflächen auch Arten extensiver genutzten Offenlandes und nährstoffärmerer Standorte fördern können, bleibt hier unbenommen. Solches gilt für begleitende Grünflächen etwa von Industrie- und Gewerbegebieten sowie für extensive Verkehrsbegleitflächen, wenngleich bei diesen Typen in der Regel zusätzliche negative Auswirkungen etwa über erhöhte Versiegelungsgrade zu verzeichnen sind.

solaranlagen naturschutzfachlich akzeptabel sein. Auf eventuelle weitere schwierigere Aspekte der Erstellung und Unterhaltung so genannter „Moor-PV-Anlagen“ (Boden, Rahmenbedingungen für Torfmooswachstum u. a.) wird hier nicht näher eingegangen.

Was die Lage und Dimensionierung von geplanten Freiflächensolaranlagen in Relation zu naturschutzrelevanten Flächen angeht, so sind hier einerseits die konkret vorliegenden Kulissen (etwa der regionalen Vorranggebiete) zu berücksichtigen, andererseits Mindestbreiten oder -abstände zur Aufrechterhaltung bestimmter Funktionen bzw. zur Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen (s. dazu in mehreren der Folgekapitel). In Ziffer 01 von Tab. 2 wurde hierzu auf die im internationalen Rahmen von Beier (2018) vorgeschlagene Minstdimensionierung von Verbundräumen/-korridoren abgestellt. Grundsätzlich sollte vermieden werden, naturschutzrelevante Gebiete zu verkleinern bzw. funktional zu fragmentieren (auch durch Freiflächensolaranlagen). Jedenfalls für größere Tierarten sind Barrierewirkungen – zumindest als Teilbarriere – von gezeigten Freiflächensolaranlagen zu unterstellen.⁴⁰ Bezüglich der Dimensionierung von Wildwegen wurde u. a. auf Land Oberösterreich (2012) zurückgegriffen.

5.2 Kenntnisstand und Vermittlung in der Öffentlichkeit

Der bisherige Kenntnisstand zu Freiflächensolaranlagen ist ausgesprochen heterogen und erlaubt noch keinesfalls eine abschließende und verallgemeinerbare naturschutzfachliche Bewertung.

In diesem Aspekt stimmen die Bearbeiter des vorliegenden Berichts mit Schlegel (2021) überein, wonach sich „die meisten Untersuchungen nur auf einzelne bzw. einzelne wenige Freiflächen-PVA abstützen, weshalb bestenfalls lokal bezogene Aussagen möglich sind. Zudem mangelt es oft an quantitativen Resultaten und somit an wissenschaftlicher Evidenz.“ Hinzu kommt, dass bei einer Reihe von Angaben, auch aus der so genannten „grauen Literatur“, oder deren weiteren Rezeption nicht oder nicht einfach klar wird, ob sich die Ergebnisse auf Flächen innerhalb der Solarpanelfelder, auf Randflächen oder gar dem Vorhaben zuzurechnende Ausgleichsflächen beziehen, ob es sich um völlig neu entwickelte Artbestände oder eher „Restvorkommen“ von Arten handelt, die auf den von den Freiflächensolaranlagen in Anspruch genommenen Flächen schon vorher - und dann ggf. sogar häufiger - vertreten waren, und ob sich Erkenntnisse über mehrere Jahre bestätigen lassen.

Gleichzeitig hat es den Anschein, als würde in der Öffentlichkeit von vielen Seiten - Energieunternehmen, teils Behörden und politische Entscheidungsträger, teils Umweltverbände - ein reich bebildertes, positives Image von Freiflächen-

⁴⁰ Eine Fragmentierung kann in diesem Fall (zumindest als Teilbarriere) durch die jedenfalls bislang i. d. R. erforderliche massive Umzäunung (Minderungsmaßnahmen sind möglich, vgl. etwa Landesjagdverband Schleswig-Holstein e.V. (2022)), aber auch durch Kulissenwirkung oder Standortveränderung entstehen.

solaranlagen aufgebaut.⁴¹ Dem stehen der persönliche Eindruck des Hauptbearbeiters bei der Inaugenscheinnahme einer ganzen Reihe an Freiflächensolaranlagen vor allem im südwestdeutschen Raum und bestimmte Auswertungen (s. Kap. 5.5) entgegen, die Anlagen mit eng gestellten Panels, überwiegend arten- und strukturarmen Freiflächenanteilen und einheitlicher Pflege sowie das überwiegende oder vollständige Fehlen anspruchsvollerer Brutvogelarten des Offenlandes in den Anlagen selbst indizieren. Auch dies bildet selbstverständlich keine Basis, die bereits eine abschließende Bewertung erlauben würde. Aber es stellt einen Kontrapunkt und Anlass dar, um die positive Darstellung von Freiflächenanlagen als „Solarbiotope“ auf Basis des bisherigen unzureichenden Kenntnisstandes zu relativieren und verstärkt zu hinterfragen.

Hierzu ein Beispiel aus einer Veröffentlichung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE):

Zitat: „Zerstören PV-Anlagen ökologisch wertvolle Flächen? Nein, ganz im Gegenteil, gewöhnlich fördern sie die Renaturierung. Wird eine Fläche aus der intensiven Landwirtschaft, bspw. aus dem Energiepflanzenanbau, herausgenommen, in Grünland umgewandelt und darauf eine PV-Freiflächenanlage (PV-FFA) errichtet, dann nimmt die Biodiversität grundsätzlich zu [...]. In PV-FFA wird nicht gedüngt, so dass weniger anspruchsvolle Pflanzen eine Chance erhalten. Die Einzäunung der PV-FFA schützt die Fläche gegen unbefugten Zutritt und freilaufende Hunde, was u. a. Bodenbrütern entgegenkommt.“ (Wirth 2022, S. 37).

Anmerkungen hierzu:

- a) Unter Renaturierung wird gewöhnlich nicht nur eine Nutzungsänderung bei Beibehaltung oder neuer Ausrichtung anthropogen vorrangiger Nutzungen mit ihren Erfordernissen (hier: Energieerzeugung) verstanden, sondern etwa die „aktive Wiederherstellung eines möglichst naturnahen Zustands von Landschaften oder ihrer einzelnen Elemente“ wobei das „renaturierte Ökosystem [...] dadurch die Möglichkeit einer ungestörten natürlichen Weiterentwicklung“ erhält.“⁴² So sicherlich nicht in Solarparks gewährleistet oder durch sie gefördert.
- b) Es mag sein, dass die Herausnahme einer Fläche aus der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung und deren Umwandlung in einen Solarpark mit Grünland i. d. R. die biologische Vielfalt im Sinne einer reinen Betrachtung von Artenzahlen erhöht. Dies ist jedoch weder ein ausreichender naturschutzfachlicher noch ggf. -rechtlicher Maßstab. Von entscheidender Bedeutung ist vielmehr, wie es sich bezüglich der naturraumtypischen Artenvielfalt und der Bestände gefährdeter Arten verhält. Grünland mit einem höheren Anteil an teil- oder voll beschatteter Fläche vermag aller Wahrscheinlichkeit nach auch in Solarparks weder hochgradig gefährdete Ackerwildkrautgesellschaften noch gefährdete, kulissenmeidende Brutvogelarten der

⁴¹ Jedenfalls haben die Bearbeiter des vorliegenden Berichts bei der Recherche diesen Eindruck gewonnen. Eine abgesicherte Auswertung hierzu haben wir jedoch nicht vorgenommen.

⁴² <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/renaturierung/13502>

Äcker zu fördern, genauso wenig die Rastplatzfunktion weiträumig offener Ackergebiete für bedrohte Arten wie etwa den Mornellregenpfeifer. Würde in Flächen mit solchen Funktionen, bei bisher reiner ackerbaulicher Nutzung, ein Solarpark errichtet, so käme es sehr wohl zu „Zerstörung ökologisch wertvoller Flächen“.⁴³ Darüber hinaus können infolge der Nutzungsänderung bei Flächen auch die Entwicklungsmöglichkeiten zugunsten gefährdeter Ackerarten der Flora und Fauna eingeschränkt werden.

- c) Zudem wurden und werden Freiflächenanlagen sehr wohl innerhalb „ökologisch wertvoller“ Flächen errichtet bzw. beantrag⁴⁴ und führen dort auf den betroffenen Flächen zu Beeinträchtigungen oder Zerstörungen (etwa auf Konversionsflächen), die durch Teilerhalt gemindert oder denen - im günstigen Fall - durch randliche oder externe Kompensationsmaßnahme begegnet wurde oder zu begegnen ist. Das Problem kann nicht nur auf den Aspekt intensiv landwirtschaftlich genutzter Flächen reduziert werden, es sei denn, man ließe solche Anlagen in Zukunft ausdrücklich nur dort zu.
- d) Dass wie dann noch im obigen Zitat genannt, die Einzäunung der Freiflächensolaranlagen die betreffenden Flächen „gegen unbefugten Zutritt und freilaufende Hunde“ schützt, bedeutet nicht zwangsläufig, dass dies „Bodenbrütern entgegenkommt“. Vielmehr deuten einige Unterlagen darauf hin, dass Bodenbrüter in den Solarpanelfeldern sowieso teils großräumig fehlen oder in der Brutdichte deutlich gegenüber umgebenden Flächen ohne Solaranlagen absinken (s. a. Kap. 5.5). Im Übrigen ist oder wäre die potenziell „wildtierdichte“ Einzäunung ein Problem der Landschaftsfragmentierung.

5.3 Mortalitätsrisiken für Wirbeltiere

Mortalität von Vögeln an Freiflächensolaranlagen ist in größerem Umfang u. a. durch Studien aus Nordamerika belegt, wobei die untersuchten Anlagen überwiegend Landschaftsräume und teils auch technische Anlagen(bestandteile) repräsentieren, wie sie in Deutschland nicht auftreten. So sind etwa bei Anlagen mit Helio- staten Verbrennungen nachgewiesen (Walston Jr. et al. 2015, Dwyer et al. 2018),

⁴³ Hierbei handelt es sich nicht um rein theoretische Überlegungen, wie aktuelle Beispiele zu geplanten Anlagenstandorten in Baden-Württemberg zeigen.

⁴⁴ So etwa auf Konversionsflächen ehemaliger militärischer Nutzung. Beispiel ist eine der Flächen aus der Untersuchung von Raab (2015), zu der er u. a. schreibt „Die meisten Rote Liste-Pflanzenarten kommen [hier] vor, so Sonnentau (*Drosera rotundifolia*), Arnika (*Arnica montana*), Flügelginster (*Genista sagittalis*) und Sparrige Binse (*Juncus squarrosus*). Dies ist jedoch dem Umstand geschuldet, dass auf der früheren Militäranlage schon vor der Solaranlage eine hohe Biotopvielfalt (unter anderem Tümpel, Feuchtbereiche, Magergrünland) vorhanden war und Steinschüttungen die Lebensraumpalette ergänzten. Insgesamt ist aus floristischer Sicht die Wertigkeit der Solarparks mit Ausnahme [dieses Parks] noch relativ gering.“ Und an anderer Stelle wird die „weiterhin hohe naturschutzfachliche Qualität“ für – offenkundig nur Teilbereiche des Geländes - insoweit begründet, dass dies insbesondere daran liege, „dass immer wieder größere, offene und nicht mit Solarpaneelen zugestellte Bereiche vorhanden sind, an denen die für das Gelände typischen extensiven Wiesen in akzeptablen Flächengrößen erhalten geblieben sind.“

der Einsatz dieser Technologie dürfte jedoch in Deutschland auf absehbare Zeit keine bzw. keine signifikante Rolle spielen.

Die bisherigen Studien und Bewertungen weisen eine nicht unerhebliche Zahl an verunfallten Vögeln aus, wobei jedoch noch Ursachenforschung betrieben wird und die Zahlen getöteter Individuen möglicherweise bisher unterschätzt wurden. So geht die neue Studie von Smallwood (2022) mit rund 11,6 getöteten Vögeln pro Megawatt und Jahr für Photovoltaik-Freiflächenanlagen⁴⁵ in Kalifornien von höheren Zahlen als früher ermittelt aus, wofür methodische Ursachen wesentlich sind (der Großteil verunfallter Vögel war dabei von geringer Körpergröße). Die Zahlen für die separat an Umgrenzungszäunen ermittelten Kollisionsopfer liegen noch etwas höher. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass es sich bei uns gegenüber der Situation in Nordamerika um – wie bereits angemerkt – andere Landschaftsräume und stark abweichende Artenspektren handelt, so dass die dortigen Erkenntnisse nicht ohne weiteres übertragbar erscheinen.

Bei Smallwood (2022) werden – u. E. erstmals – auch Kollisionsopfer von Fledermäusen spezifisch in Photovoltaik-Anlagen genannt, jedoch offenbar nicht an den PV-Panels, sondern an anderen Anlagenbestandteilen (wie Zäunen).

Für Deutschland konnten bisher keine bzw. keine belastbaren Aussagen zu Kollisionszahlen bzw. -häufigkeiten von Vögeln und Fledermäusen an Freiflächensolaranlagen gefunden werden. Potenzielle Ursachen für Kollisions- oder Verletzungsrisiken könnten im Anziehungseffekt polarisierenden Lichts (schon in anderen Arbeiten erwähnt, s. Schlegel 2021) sowie in Spiegelungen oder Blendungen u. a. unerfahrener Jungvögel zu suchen sein. Auf Basis des bisherigen Kenntnisstandes werden entsprechende Konflikte vorläufig als gering eingeschätzt, insbesondere im Vergleich mit anderen anthropogenen Mortalitätsrisiken wie dem Vogelschlag an Leitungen und Glasscheiben sowie durch Katzen im Siedlungs- und Siedlungsnahbereich (vgl. z. B. LAG VSW 2019).

Für weitere Wirbeltiere liegen keine Hinweise auf naturschutzrelevante Mortalitätsrisiken an oder in Freiflächensolaranlagen vor.

5.4 Anlock- und Mortalitätsrisiken für (vorwiegend) aquatische Insekten

Es bestehen eine Anlock- und Fallenwirkung der PV-Module für aquatische Insekten mit flugfähigen Stadien, da z. B. Anflüge und auch Eiablageversuche dokumentiert wurden (z. B. Horváth et al. 2010). Diese Wirkungen resultieren aus der Wahrnehmung und aus Reaktionen von Arten auf polarisiertes Licht, wobei auch auf andere entsprechend emittierende Oberflächen Anflüge erfolgen. Dabei gibt es Ansätze zur Vermeidung oder Minderung. Anti-reflektive Beschichtungen können die

⁴⁵ Dies beinhaltet nicht die separat ausgewerteten und zahlenmäßig deutlich höheren Kollisionsopfer an Solaranlagen anderer Bauart („solar thermal projects“). Nach Conkling et al. (2022) deuten die bisherigen Daten auf deutlich höhere Mortalitätsraten an so genannten „concentrated solar power facilities“ hin.

Wirkung bei manchen Insektengruppen reduzieren, wirken jedoch je nach Wetterverhältnissen verstärkend auf andere (Száz et al. 2016). Auflagen mit bestimmter Mikroskulptur bewirken eine verringerte Anlockung von Eintagsfliegen und Bremsen (Fritz et al. 2020).

Der derzeitige Kenntnisstand zu qualitativen und quantitativen Effekten sowie der Frage, ob eine weitestgehende Vermeidung negativer Auswirkungen möglich und mit am Markt vorherrschender Technik realisiert ist oder werden kann, ist für eine naturschutzfachlich tragfähige Beurteilung nicht als ausreichend einzuordnen.

Vor dem Hintergrund der allgemein kritischen Situation vieler Insektenarten und -gruppen, und des massiven bereits bestehenden negativen Einflusses durch Beleuchtung im Landschaftsmaßstab, ergänzt durch die bislang nicht befriedigend bewertbare Frage nach qualitativen und quantitativen Auswirkungen des weiteren Ausbaus der Windenergie auf die Populationen fliegender Insekten (vgl. Voigt 2021) ist vorrangig und vorsorglich ein Vermeidungsansatz notwendig.

Dabei sollten sowohl Dichtezentren von Gewässern, in denen mit besonders hohen Flugaktivitäten und Verbundfunktionen gerechnet werden muss, sowie der Gewässernahbereich für die Errichtung von Freiflächenanlagen ausgenommen werden. Entsprechende Empfehlungen wurden in Kap. 4 des Berichts aufgenommen, wobei sich die dort genannten Distanzzonen an bestimmten, bei TRAUTNER in Hötter (2009) genannten Kategorien⁴⁶ orientieren.

Soweit sich der Kenntnisstand verbessert, können und sollen diese Empfehlungen überprüft und ggf. modifiziert werden. Sie erscheinen jedoch neben dem Vorsorgeaspekt auch deshalb anwendbar, weil Freiflächensolaranlagen nur eine geringe Standortspezifität aufweisen und prognostisch ausreichend Flächen mit geringeren Risiken außerhalb des Nah- und Konzentrationsbereichs von Gewässern verbleiben.

5.5 Freiflächensolaranlagen und Vogelarten (vorwiegend des Offenlandes)

Freiflächensolaranlagen können bei entsprechender Qualität (standort-, struktur- und pflegebedingt) Aufenthaltsräume, Nahrungs- oder Bruthabitate von Vogelarten bieten, wobei allerdings das Artenspektrum mehr oder minder regelmäßig jene Anlagen nutzender Arten nach Einschätzung der Bearbeitenden des vorliegenden Berichts stark begrenzt bleibt. Dies gilt insbesondere für den Standardfall vergleichsweise eng gestellter Modulreihen und vollständiger oder weitgehender Ausnutzung der Anlagenfläche für Module. Darüber hinaus spielen hierbei die in vielen Fällen

⁴⁶ In der dortigen Distanztabelle (S 35) Stufe 2 näheres Umfeld (50 % des Maximalwertes vor dem Hintergrund, dass dort die Wirkintensität von aktiven Lichtquellen im Fokus stand)) sowie Stufe 3 mittleres Umfeld (oberer Wert, da im vorliegenden Kontext nur für besonders sensible Bestände empfohlen).

bislang offenkundig einheitlichen und teils ungünstigen Pflegemaßnahmen und -zeitpunkte für größere Flächen der Anlagen eine Rolle, die man beobachten kann.

Auch hierfür gibt es allerdings noch keine insgesamt als befriedigend oder ausreichend einzuschätzende Datenbasis mit vergleichender Untersuchung von Anlagen unter verschiedener Ausstattung und naturräumlichen Verhältnissen (in diesem Sinne auch ein Fazit des KNE 2021a). In der verfügbaren Literatur finden sich teils widersprüchlich erscheinende Ergebnisse, doch ist dabei die jeweilige spezifische Situation der Anlagen und des Umfeldes und auch teils deren Alter zu berücksichtigen (so gibt es Hinweise auf erst zeitlich verzögerte - positive und negative - Auswirkungen in der Besiedlung und Nutzung von Standorten, vergleiche etwa Heindl 2016). Zudem muss zwischen den eigentlichen Anlagen und anderweitigen, gegebenenfalls zugeordneten Flächen unterschieden werden, um ein fachlich adäquates Bild zu erhalten. Listungen diverser Arten, die bereits in Solarparks beobachtet wurden, sind hier wenig hilfreich. Insbesondere ginge es hier um eine Quantifizierung im Vorher-Nachher Vergleich (schwerpunktmäßig auf naturschutzfachlich bedeutsame Artenvorkommen bezogen), im Vergleich moduldominierter Räume, Randbereichen und Umfeld, über verschiedene Naturräume, in Zeitreihen und schließlich in der Frage, inwieweit es tatsächlich zu Bruten kommt und wie sich der Bruterfolg einordnet.

Das KNE (2021a) formuliert unter anderem: „Zumindest für solche Arten, die keine weiträumig störungs- und barrierefreien Offenlandflächen benötigen, scheinen Solarparke als Nahrungsflächen und prinzipiell auch als Bruthabitate (weiterhin) nutzbar zu sein – unter bestimmten Bedingungen offenbar auch für das von Bestandsrückgängen stark betroffene Rebhuhn. Für die Eignung als Bruthabitat allgemein scheinen ausreichend große Freiflächen zwischen den Modulen oder im Randbereich der Anlage eine bedeutende Rolle zu spielen. Insbesondere bei einer Realisierung auf vormals intensiv genutzten Ackerflächen, können für strukturtolerante bzw. strukturliebende Arten zusätzliche Habitate geschaffen werden.“ Insoweit ist die potenzielle Bedeutung von Freiflächensolaranlagen für die Vogelfauna plausiblerweise mit Größe, Qualität und räumlicher Verteilung derjenigen Flächen korreliert, die nicht von Modulen überschirmt sind (vgl. dazu das Folgekapitel).

Im oben genannten Dokument wird allerdings bereits zutreffend eingeschränkt, dass Arten mit besonderen Ansprüchen an eine offene Raumstruktur und gegebenenfalls Störungsarmut als gesonderter Fall zu sehen sind. Vorkommen kulissenmeidender Vogelarten in Freiflächensolaranlagen werden von den Bearbeitenden des vorliegenden Berichts als Ausnahmefälle bzw. auf besondere, nicht allgemein übertragbare Situationen zurückgeführt. Für sie muss jedenfalls nach jetzigem Stand und zudem plausiblerweise in Anbetracht ihrer bekannten Habitatansprüche und des regelhaften Meideverhaltens kulissenbildender Strukturen davon ausgegangen werden, dass Freiflächensolaranlagen (a) keine geeigneten Lebensstätten darstellen und (b) zudem eine Störwirkung auf das Umfeld in unterschiedlicher Distanz entfalten können. Dies kann sich in vollständigem Fehlen von Revieren oder Nutzungsverhalten, in deutlich reduzierter Revierzahl gegenüber geeigneten Flächen des Umfeldes, in ausbleibendem oder vermindertem Bruterfolg oder in nur jahrweise nachweisbarer Besetzung, dann etwa abhängig von einem besonderen

Besiedlungsdruck im Umfeld oder vom Standard abweichender Nahrungssituation, äußern.

Dies zeigt sich etwa bei der Auswertung von Feldlerchendaten aus ornithologischen Erfassungen in und um bestimmte Freiflächensolaranlagen in Sachsen-Anhalt und Brandenburg, die den Bearbeitenden des vorliegenden Berichts freundlicherweise zur Auswertung/Nutzung zur Verfügung gestellt wurden (s. Dank in Kapitel 2.4). Hieraus sowie einem eigenen Datensatz im Vorher-Nachher-Vergleich zu einer Freiflächensolaranlage in Baden-Württemberg wurden die Feldlerchen-Revierdaten und die Revierdaten der verwandten Heidelerche zusammengestellt (Abbildung 6 und folgende). Bei der Feldlerche handelt es sich um eine Art, deren Meideverhalten gegenüber Kulissen bereits seit langem belegt ist (siehe Oelke 1968) und sich auch in aktuellen Analysen in verschiedenem Kontext ausdrückt. Die Heidelerche toleriert demgegenüber als Art, die auch Schlagfluren und andere Lichtungen im Wald- und Waldrandkontext besiedelt – dort insbesondere Ansprüche an lückige Vegetation hat – Kulissen in starkem Maße, wenngleich es sich auch bei ihr um eine Art handelt, die offene, voll besonnte Flächen benötigt und Bodenbrüterin ist.

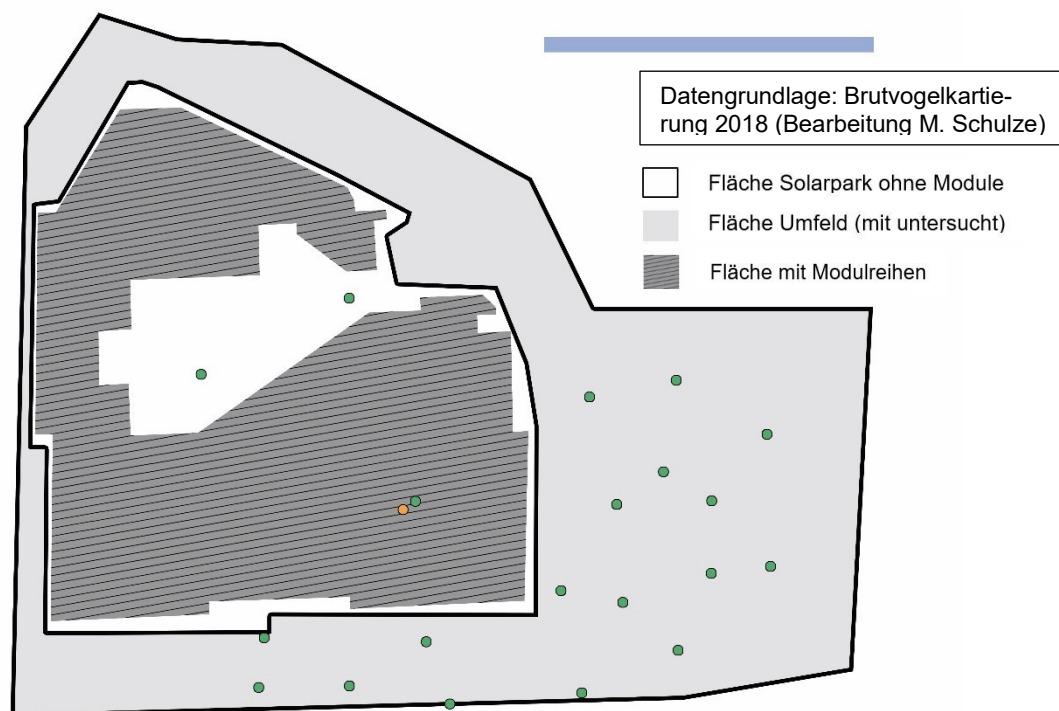


Abb. 6 Revierzentren von Feldlerche (grün) und Heidelerche (orange) in und im Umfeld eines Solarparks in Sachsen-Anhalt. Der Farbbalken über der Abbildung entspricht einer Länge von 400 m. Die kaum vertretene Heidelerche wurde im Untersuchungsjahr mit einem Revier nur innerhalb der Modulflächen verortet. Bei der Feldlerche wird die weitestgehende Meidung der Modulflächen und ihres unmittelbaren Nahbereichs deutlich. Nur ein Revierzentrum von insgesamt 20 im untersuchten Gebiet wurde in den Modulflächen verortet, zu tatsächlicher Brut und Reproduktionserfolg liegen keine Daten vor.



Abb. 7 Revierzentren von Feldlerche (grün) und Heidelerche (orange) in und im Umfeld zweier Solarparkfelder in Brandenburg. (Farbbalken = 400 m). Innerhalb der Modulflächen wurden nur in einem der Jahre einzelne Reviere der Feldlerche verortet, diese überwiegend randlich. Auch hier wird die weitestgehende Meidung der Modulflächen durch diese Art deutlich (teilweise Revierzentren aber grenznah). Bei der Heidelerche waren in allen Jahren Reviere in Teilen der Modulflächen vorhanden. Zu tatsächlicher Brut und Reproduktionserfolg liegen keine Daten vor. Die Verteilung der beiden Arten im Umfeld spiegelt strukturelle Einflüsse durch Sukzession und Pflegemaßnahmen wider.



Datengrundlage: Brutvogelkartierung in den genannten Jahren (Bearbeitung F. Straub u. a.).

Luftbild: Geoportal Baden-Württemberg (Viewer), LGL, www.lgl-bw.de

Abb. 8 Freiflächensolaranlage (schematisch vor Luftbildhintergrund des Vorher-Zustands) in Baden-Württemberg. Die Fläche wurde als Teilfläche im Rahmen eines Monitorings in den Jahren 2018 (vor Errichtung der Anlage) und 2021 (nach Errichtung der Anlage) untersucht. In der Freiflächensolaranlage konnte 2021 keine Brutvogelart nachgewiesen werden, primär aufgrund der intensiven Vornutzung war dies allerdings auch bereits 2018 der Fall. Feldlerchen dürften zudem aufgrund der starken umgebenden Gehölzkulisse gefehlt haben. Insoweit ist dies auch ein Beispiel für die Relevanz des Vorher-Nachher-Vergleichs bei der Beurteilung von Freiflächensolaranlagen.

Neben Brutvogelarten spielen im Hinblick auf kritische Kulissenwirkungen auch Rastgebiete für die Zugvogelfauna und gegebenenfalls Überwinterungsgebiete für Arten weiträumig offener Landschaftsausschnitte eine Rolle. In Baden-Württemberg betrifft dies beispielsweise tradierte Rastgebiete des Mornellregenpfeifers (siehe Agster 2016). Insgesamt sollten planerisch im Kontext von Freiflächensolaranlagen⁴⁷ mindestens die in der folgenden Tabelle genannten Distanzwerte bei der Beurteilung der Betroffenheit sensibler Brut- oder Rastvogelvorkommen mit Kulissenmeidung herangezogen werden. Für die unmittelbar von Anlagen in Anspruch genommenen Flächen ist regelmäßig, eine ausreichende Prognosesicherheit

⁴⁷ Mit Solarpanels in der derzeit verbreiteten Höhe.

zugrunde gelegt, von einem Vollverlust als Brut- und essenzielles Rastgebiet für entsprechenden Arten auszugehen.

Tab. 3 Orientierungswerte für Stördistanzen von Freiflächensolaranlagen primär durch Kulissenwirkung für ausgewählte Arten nach Einschätzung auf Basis des Kenntnisstandes zu Meidedistanzen gegenüber anderen Störquellen. Für Freiflächensolaranlagen wurde auf 50 % üblicher Werte aufgrund der etwa gegenüber Wald, Gehölzrändern und Siedlung niedrigeren Höhe abgestellt. Je nach Landschaftsstruktur und Datenlage kann die Prüfung der Stördistanzen ggf. erst im Rahmen der Bauleitplanung erfolgen.

Art	Stördistanz	Anmerkungen zur Empfehlung
Feldlerche	75 m	Für Revierzentren. Innerhalb der Distanz je nach Rand- und Umgebungsstruktur eher Verlust oder Reduktion Revierdichte (50 %). Geeignete Randflächen der Anlagen (außerhalb der Modulreihen) können (Teil-)Funktion als Nahrungsflächen übernehmen.
Kiebitz	150 m	Verlust (100 %)
Großer Brachvogel und besonders sensible Rastvogelarten offener Landschaften	300 m	Auch auf essenzielle Nahrungs- und sonstige Aufenthaltsflächen anzuwenden.

Abstand vom Rand der Modulreihen oder im Fall die Anlage umgrenzender Hecken/Gehölze von diesen nach außen gerechnet.

5.6 Strukturelle Ausstattung und Pflege: Potenziale und Potenzialausnutzung von Freiflächensolaranlagen

Bei Freiflächenanlagen klaffen nach Eindruck des Hauptbearbeitenden primär aus Begehungen zu Anlagen in Süddeutschland die in der Literatur angesprochenen Potenziale/Empfehlungen und die tatsächliche Situation bislang weit auseinander. Viele Anlagen zeigen ein in den un- oder teilbeschatteten Bereichen mehr oder minder einheitlich ausgeprägtes und gepflegtes, artenarmes Grünland sowie unter den Panels teils eine stärker heterogene Ausprägung von Neophyten oder von sonstigen Stauden nährstoffreicher Standorte.

Bei mehreren Anlagen wurde beobachtet, dass eine großflächig einheitliche Pflege während der Hauptbrutzeit bodenbrütender Vogelarten erfolgte, so dass für den Eventualfall von Vorkommen mit Brutverlusten zu rechnen war. Restflächen oder Flächen mit zeitlich verschobener Pflege beschränkten sich teils auf einen schmalen Streifen außen entlang des Begrenzungszauns.



Abb. 9 Einheitliche Grünlandpflege einer Freiflächensolaranlage in Baden-Württemberg während der Vogel-Hauptbrutzeit.

Unter vorherrschend anderen Standortbedingungen wie in den nordostdeutschen Sandgebieten gibt es deutlich andere, naturschutzfachlich auch höherwertige Ausprägungen. Solche sind auch aus spezifisch angelegten und unter naturschutzfachlichen Gesichtspunkten gepflegten Anlagen bekannt und werden durch „Spenderbiotop“ im Umfeld unterstützt (Beispiel etwa bei Raab 2015 für den dort untersuchten Solarpark Markstetten).

Durch spezifische standörtlich vorbereitende Maßnahmen, Bereitstellung von Strukturen und eine differenzierte, an Ansprüche naturschutzfachlich bedeutsamer Arten angepasste Pflege könnten Freiflächen in Solaranlagen unzweifelhaft aufgewertet werden, wobei hier sicherlich - auch abhängig vom Potenzial des Naturraum und der Umgebung - Grenzen bestehen.

Ein interessanter Fall ist etwa der Bericht über die aktive Ansiedlung einer spezialisierten, wenngleich weiter verbreiteten und an offenen Lehmstellen nistenden Hautflüglerart in einem Solarpark (Witt 2022): In jenem waren bereits seit mehreren Jahren Lehmnisthilfen angebracht gewesen, blieben aber unbesiedelt. Durch aktive Umsiedlung aus einer Spenderpopulation in 320 und 840 m Entfernung konnte dann jedoch eine große Population der betreffenden Art innerhalb des Solarparks begründet werden, ebenso ein Auftreten einer mit dieser assoziierten Goldwespen-Art. Dies weist auf die Bedeutung struktureller Ausstattung und zugleich die wichtige Frage der Besiedlungswahrscheinlichkeit durch anspruchsvollere Arten hin. Relevant auch die Aussage in jenem Artikel, wonach sich nach den

bisherigen Ergebnissen der Untersuchungen über mehrere Jahre der Solarpark ansonsten als „sehr artenarm“ zeigte.

Auf potenziell relevante Strukturen und Aufwertungsmöglichkeiten soll hier nicht näher eingegangen werden. Exemplarisch verwiesen wird auf KNE (2021b), den Leitfaden von Hietel et al. (2021) sowie neuere Publikationen wie etwa Blaydes et al. (2022), Blaydes et al. (2021).

Die entsprechenden Möglichkeiten sind aber insbesondere mit dem Verhältnis an von Modulen überstellter Fläche zu teil- oder vollbesonnener Fläche verbunden. Hier stellt sich je nach Wertigkeit der direkt betroffenen Fläche und Umfeldsituation die Frage, ob eher flächensparend (konzentriert) oder Optionen für die Biodiversität verbessernd vorgegangen werden soll. Beispiel: Großflächige Nutzungskomplexe aus Intensivobstanlagen und/oder stark verarmtem, zur Biogaserzeugung genutztem Grünland im Bodenseeraum in einer ansonsten stärker durch Einzelbäume und Hecken sowie Waldränder gekammerten Landschaft weisen i. d. R. kaum anspruchsvollere Brutvogelarten des Offenlandes auf und auch die Insektenfauna ist i. d. R. verarmt. Unter naturschutzfachlichen Aspekten wäre hier eine höhere Flächeninanspruchnahme durch einen Solarpark mit breiten Abständen zwischen den Modulreihen oder „Modullücken“ sowie angepasster Pflege aller Voraussicht nach günstiger als die vorherige Situation. Würde allerdings ein Solarpark in einem Ackergebiet mit Feldlerchenvorkommen und ggf. weiteren naturschutzfachlich bedeutenden Arten vorgesehen, so wäre – sofern überhaupt dieser Standort gewählt werden muss bzw. kann – eine möglichst dichte Modulplatzierung zur Minderung der Solarparkfläche, in Kombination mit externen Maßnahmenflächen zu artenschutzrechtlichem Funktionserhalt bzw. Kompensation, vorzuziehen.

5.7 Agri- und Floating PV

Wie bereits an früherer Stelle des Berichts vermerkt, sind Anlagen der Agri-Photovoltaik (Kombination aus Photovoltaik und landwirtschaftlicher Nutzung)⁴⁸ sowie schwimmende Anlagen auf Binnengewässern oder im marinen Bereich (floating photovoltaic, FPV, s. z. B. Review bei Essak und Ghosh 2022) jedenfalls derzeit noch Sonderformen. Für beide Formen der Freiflächensolaranlagen ist naturschutzfachlich relevante Literatur bislang nur in geringem Umfang verfügbar.

Bei Agri-PV-Anlagen dürfte – wie bei „klassischen“ Anlagen – ein Hauptkonfliktbereich bei den Feldvögeln offener Landschaftsräume mit Kulissenmeidung zu sehen sein, da für diese je nach Anlagen und vorheriger Lebensraumstruktur ein Ausfall oder eine Reduktion der Habitateignung zu erwarten ist (vgl. Kap. 5.5). In anderen Fällen könnte es von der technischen Ausgestaltung, der Einbindung in die umgebende Landschaft sowie Standorten und Kulturen abhängig sein, wie sich Agri-PV hinsichtlich der biologischen Vielfalt und des Artenschutzes bewerten lässt. Abhängig von Höhe und Deckungsgrad der Module kann etwa eine Reduktion im Pflanzenwachstum durch Beschattung und veränderte Regenexposition zu

⁴⁸ S. etwa Fraunhofer ISE (2022).

erwarten sein (Jahanfar et al. 2019; Touil et al. 2021). Graham et al. (2021) zeigen - allerdings für ein Trockengebiet - dass eine Agri-PV-Anlage in den voll beschatteten Bereichen eine geringere Häufigkeit pflanzenbestäubender Insekten aufwies, in den teilweise beschatteten aber ein höheres Blütenangebot und einen verzögerten Blühbeginn, was als Potenzial zur Förderung jahreszeitlich spät aktiver Bestäuber in Ökosystemen mit begrenzter Wasserverfügbarkeit bewertet wurde. Solche Aspekte wären wiederum in größerem Umfang zu prüfen und unter den naturräumlichen Gegebenheiten in Deutschland naturschutzfachlich zu bewerten. Besonders konfliktarm dürfte sich eine Kombination aus bereits bestehenden Intensivobstkulturen und Photovoltaik darstellen, da Intensivobstkulturen i. d. R. keine oder kaum wesentliche Lebensraumfunktionen übernehmen, umliegende Flächen häufig durch Biozide belasten und bereits eine Raumstruktur aufweisen (insbesondere bei Ausstattung mit Hagelnetzen), die durch Photovoltaik-Module und sonstige erforderliche Installationen kaum weiter negativ verändert werden kann. Andere Aspekte sind derzeit schwierig abzuschätzen.

Bei Floating-PV-Anlagen wären zunächst die spezifischen naturschutzfachlichen Funktionen der in Frage kommenden Gewässer zu berücksichtigen. Soweit diese etwa für Brut-, Zug- oder Rastvogelarten einschließlich Überwinterungsgästen mit vorrangiger oder starker Nutzung offener Wasserflächen eine größere Rolle spielen, können sich hier wesentliche naturschutzfachliche Konflikte ergeben. Zu berücksichtigen ist hierbei auch, dass Wasservogelarten gegenüber Störquellen (etwa Personen mit Hunden oder sonstige anthropogene Nutzungen des Uferbereichs) größere Abstände einhalten. Hier müssten die Gewässer auch im uferfernen Bereich ausreichend Fläche bieten, die nicht durch Solarmodule überstellt ist.

Grundsätzlich ist zudem eine Nutzung für Floating-PV-Anlagen im Fall aller Gewässer derzeit aus Vorsorgegründen auszuschließen, die eine besondere naturschutzfachliche Bedeutung für Wasserinsekten mit flugfähigen, v. a. nachtaktiven Entwicklungsstadien haben. Dies gilt für die Gewässer selbst wie auch für bodengebundene Anlagen in ihrem näheren Umfeld (weiteres hierzu s. Kap. 5.4).

Den Fokus bei der Auswahl – jedenfalls für Testanlagen – in Baden-Württemberg ansonsten auf Kiesseen zu legen, in denen noch Kies gewonnen wird, kann unter bestimmten Aspekten - speziell der aquatischen Flora und Fauna - nachvollzogen werden. Wenn in der Begründung dann allerdings (auch) darauf abgestellt wird, es würde bei „Baggerseen in Auskiesung [...] davon ausgegangen, dass sich durch die andauernden Kiesarbeiten noch kein Ökosystem mit hoher Biodiversität oder geschützten Arten entwickeln konnte“ (FRAUNHOFER ISE⁴⁹) so ist dies eine unzutreffende bis unzureichend verkürzte Information. Denn für bestimmte Arten und Artengruppen – darunter auch geschützte – ist gerade die Phase des Abbaubetriebs und kurz danach, mit jungen Sukzessionsstadien u. a. in Uferbereichen, von besonderer Bedeutung und zu prüfen, inwieweit sich hier negative Auswirkungen

⁴⁹ Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Am Oberrhein größtes Potenzial für schwimmende PV auf Kiesseen in Baden-Württemberg. Internetquelle: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2022/am-oberrhein-groesstespotenzial-fuer-schwimmende-pv-auf-kiesseen-in-baden-wuerttemberg.html> (08.08.2022).

ergeben können. Hier greift auch die – vorläufige – positive Bewertung aus laufenden Untersuchungen zu Floating-PV-Anlagen zu kurz, wenn die Fa. BAYWA⁵⁰ kommuniziert, dass im „Rahmen der Forschungsarbeiten zu den Auswirkungen [...] auf Wasser, Umwelt und Biodiversität [...] Büro Bakker / ATKB festgestellt [haben], dass die Module zu einem niedrigeren Windaufkommen auf der Wasseroberfläche führen. Dies hat eine geringere Erosion der Ufer zur Folge und schützt somit die dortige Vegetation, und regt den Pflanzenwuchs an.“ Tatsächlich mag dieser „Schutzeffekt“ im konkreten Fall negativ sein, denn gerade aktive Erosion in Uferbereichen und eine Verhinderung oder möglichst langfristige Verzögerung der Entwicklung einer dichten Vegetation kann – sowohl im Fall der Ufer natürlicher als auch anthropogener Gewässer - ein entscheidender positiver Faktor für die Biodiversität und insbesondere das Auftreten gefährdeter Uferarten z. B. unter den Pflanzen, Spinnentieren oder Insekten sein.⁵¹

Insgesamt umfasst die Bandbreite der in der Literatur für Floating-PV-Anlagen diskutierten und teils erst ansatzweise untersuchten potenziellen, ggf. als positiv oder negativ eingeschätzten Auswirkungen u. a. (s. a. Exley et al. 2021) Temperaturveränderungen, Abweichungen der Konzentration von gelöstem Sauerstoff in der Wassersäule unter den Modulen im Sommer gegenüber dem umgebenden Wasser, Veränderungen der Windgeschwindigkeit über der Wasseroberfläche (s. o.), Veränderungen der Pflanzenbiomasse (einschließlich Algenwachstum) unterhalb der Module, Auf- bzw. Anwuchs von Tierarten wie Muscheln auf den untergetauchten Anlagenteilen, Änderung der Verdunstung sowie Fragen der Veränderung der Wasserqualität (z. B. Dunham 2021, de Lima, Rui L. Pedroso et al. 2021, Ziar et al. 2021). Ein ausreichender Kenntnisstand zur Bewertung von Umweltauswirkungen und dabei allgemeiner oder standortbezogener Auswirkungen auf die Biodiversität kann bislang nicht gesehen werden.

⁵⁰ Internetquelle: <https://www.baywa-re.com/de/news/details/erste-erkenntnisse-zu-umweltauswirkungen-von-floating-pv> (15.05.2021).

⁵¹ Zur Bedeutung junger Sukzessionsstadien in Abbaubereichen vgl. z. B. Trautner (2016).

6 Fazit

Im Rahmen der Ziele der Bundesregierung, den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch insbesondere im Interesse des Klima- und Umweltschutzes stark und rasch zu steigern, wird der Photovoltaik (PV) politisch und planerisch eine wichtige Bedeutung beigemessen. Im Regionalverband Bodensee-Oberschwaaben müssen hierzu größere Flächenpotenziale geprüft und bereitgestellt werden.

Freiflächensolaranlagen sind allerdings - ungeachtet eines hohen Anteils unversiegelter Fläche - technische Anlagen zur Energiegewinnung, die geeignet sind, Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft hervorzurufen. Sie bedürfen einer adäquaten Umweltprüfung und u. a. auch einer artenschutzfachlichen und -rechtlichen Beurteilung unter Berücksichtigung der jeweiligen Standort- und Raumspezifika. Auch international wird auf entsprechende Notwendigkeiten sowie bereits auf Probleme hingewiesen, die bei Realisierung ohne adäquate Umweltprüfungen auftreten (etwa Kim et al. 2021, Romero Pereira und Sánchez Coria 2022).

Freiflächensolaranlagen stehen aufgrund bestimmter Eigenschaften im Widerspruch zu vorrangigen Zielen des Naturschutzes und des Biotopverbunds im Offenland (s. vor allem Kap. 5.1). Ihre Errichtung kann nicht mit raumrelevanten bzw. standortspezifischen Zielen des Naturschutzes begründet werden. Wesentliche Konfliktfelder werden nach bisherigem Kenntnisstand bzw. aktueller Einschätzung dargestellt und begründet. Freiflächensolaranlagen sind insoweit auch nicht als geeignetes Mittel zur Realisierung des Biotopverbunds einzustufen. Dass sie gleichwohl nicht an jeder Stelle der Verbundraumkulisse (nicht: Kernraumkulisse) dem Biotopverbund entgegenstehen müssen, bleibt unbenommen und ist unter bestimmten Maßgaben im Einzelfall zu prüfen. Hierzu wird eine Reihe an Kriterien benannt und es werden ergänzende Hinweise gegeben.

Bei der naturschutzfachlichen Bewertung von Freiflächensolaranlagen und ihrer Wirkungen spielt insoweit die (günstige – möglichst unkritische) Standortwahl eine entscheidende Rolle; insoweit ist eine räumliche Steuerung der Entwicklung wesentlich. Insbesondere im Bereich von kulissenarmen Ackerflächen oder Acker-Grünlandbereichen (Abb. 10) ist hierbei ist nicht nur – obgleich von hoher Bedeutung – das primäre Argument des Schutzes kulissenmeidender Feldvogelarten zu sehen, die europaweit stark im Rückgang sind. Es geht außerdem darum, Konflikte mit der Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Nutzflächen insofern zu verringern, als bereits bei der Standortwahl berücksichtigt wird, dass bei Inanspruchnahme bedeutender Feldvogel-Brutlebensräume und ggf. von Rasthabitaten naturschutzfachlich besonders bedeutsamer Arten für Freiflächensolaranlagen (soweit zulassungsfähig) damit gerechnet werden muss, dass weitere landwirtschaftliche Flächen für funktionale Ausgleichsmaßnahmen mit gegebenenfalls erheblichem Flächenbedarf⁵² erforderlich sind. Dies gilt es ebenfalls zu vermeiden, indem konfliktärmere Standorte gewählt werden.

⁵² Und i. d. R. ohne oder ohne vollständige Ausformung als rein produktionsintegrierte Maßnahmen, um eine ausreichende Wirksamkeit zu erzielen.

Als naturschutzfachlich unproblematisch werden i. d. R. Freiflächensolaranlagen ersetzend für Intensivobstkulturen oder in Kombination mit bereits bestehenden Intensivobstkulturen als Agri-PV sowie Freiflächensolaranlagen auf vielschürigem Intensivgrünland (u. a. bisherige Biogasnutzung) oder Intensiväckern (u. a. Mais) in durch höhere Gehölze stark gekammerten Landschaften eingeordnet (Beispiele in Abb. 11). Hierauf sollten sich erforderliche Standorte im Freiraum konzentrieren.



Abb. 10 Landschaftsausschnitt mit sehr hohem Konfliktpotenzial aufgrund der Kulissenarmut und Eignung für gefährdete Feldvögel in höherer Brutdichte, zusätzlich möglicherweise relevantes Rast- und Überwinterungsgebiet.



Abb. 11 Bereiche mit voraussichtlich geringem Konfliktpotenzial aufgrund der intensiven Vornutzung in Verbindung mit kulissenbildenden Strukturen.

7 Zitierte Literatur

- Agster N (2016) Durchzug des Mornellregenpfeifers in Baden-Württemberg. Ornithol Jh Bad-Württ 32(1/2 Doppelheft):3–17.
- Beier P (2018) A rule of thumb for widths of conservation corridors. Conservation Biology doi:10.1111/cobi.13256.
- Blaydes H, Gardner E, Whyatt JD, Potts SG, Armstrong A (2022) Solar park management and design to boost bumble bee populations. Environ Res Lett 17:art044002 doi:10.1088/1748-9326/ac5840.
- Blaydes H, Potts SG, Whyatt JD, Armstrong A (2021) Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. Renew Sustain Energy Rev 145:art111065 doi:10.1016/j.rser.2021.111065.
- Chock RY, Clucas B, Peterson EK, Blackwell BF, Blumstein Daniel T., Church K, Fernández-Juricic E, Francescoli G, Greggor AL, Kemp P, et al. (2021) Evaluating potential effects of solar power facilities on wildlife from an animal behavior perspective. Conservation Science and Practice 3:e319 doi:10.1111/csp2.319.
- Conkling TJ, Vander Zanden HB, Allison TD, Diffendorfer JE, Dietsch TV, Duerr AE, Fesnock AL, Hernandez RR, Loss SR, Nelson DM, et al. (2022) Vulnerability of avian populations to renewable energy production. R Soc open sci 9:art211558 doi:10.1098/rsos.211558.
- de Lima, Rui L. Pedroso, Paxinou K, Boogaard FC, Akkerman O, Lin F-Y (2021) In-Situ Water Quality Observations under a Large-Scale Floating Solar Farm Using Sensors and Underwater Drones. sustainability 13:art6421 doi:10.3390/su13116421.
- Demuth B, Maack A (2019) Photovoltaik-Freiflächenanlagen: Planung und Installation mit Mehrwert für den Naturschutz. (Klima- und Naturschutz: Hand in Hand; vol. 6) ISBN: 978-3-9821029-6-2.
- Dunham A (2021 May) Exploring the potential for floating photovoltaic solar on man-made reservoirs in the United States [Masterarbeit]. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University, Energy Policy & Climate 53 p.
- Dwyer JF, Landon MA, Mojica EK (2018) Impact of Renewable Energy Sources on Birds of Prey. In: Sarasola JH, Grande JM, Negro JJ, editors. Birds of Prey: Biology and conservation in the XXI century (Springer International Publishing):303–321.
- Essak L, Ghosh A (2022) Floating Photovoltaics: A Review. Clean Technol 4:752–769 doi:10.3390/cleantechnol4030046.
- Europäische Kommission (2020) EU-Biodiversitätsstrategie für 2030 - Mehr Raum für die Natur in unserem Leben: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Brüssel. (COM(2020) 380 final) 28 p.
- Exley G, Hernandez RR, Page T, Chipps M, Gambro S, Hersey M, Lake R, Zoannou K-S, Armstrong A (2021) Scientific and stakeholder evidence-based assessment: Ecosystem response to floating solar photovoltaics and

- implications for sustainability. *Renew Sustain Energy Rev* 152:art111639 doi:10.1016/j.rser.2021.111639.
- Finck P, Heinze S, Rath U, Riecken U, Ssymank A (2017) Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands: dritte fortgeschriebene Fassung. Bonn-Bad Godesberg (BfN). (Naturschutz und Biologische Vielfalt; vol. 156) ISBN: 978-3-7843-4056-2 doi:10.19213/973156.
- [FOREST EUROPE] Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe (2020) State of Europe's Forests 2020. Bratislava 394 p.
- Förth J, Trautner J (2022) Landesweiter Biotopverbund Baden-Württemberg: Raumkulisse Feldvögel – Ergänzung zum Fachplan Offenland (Regierungspräsidien Baden-Württemberg) 13 p.
- Fraunhofer ISE, editor (2022) Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende: Ein Leitfaden für Deutschland. 2. Aufl. Freiburg 76 p.
- Fritz B, Horváth G, Hünig R, Pereszlényi Á, Egri Á, Guttman M, Schneider M, Lemmer U, Kriska G, Gomard G (2020) Bioreplicated coatings for photovoltaic solar panels nearly eliminate light pollution that harms polarotactic insects. *PLoS ONE* 15(12):e0243296 doi:10.1371/journal.pone.0243296.
- Graham M, Ates S, Melathopoulos AP, Moldenke AR, DeBano SJ, Best LR, Higgins CW (2021) Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Sci Rep* 11:art7452 doi:10.1038/s41598-021-86756-4.
- Heindl M (2016) Brutbestandsentwicklung von Braunkehlchen *Saxicola rubetra* und Grauammer *Emberiza calandra* auf einer Photovoltaik-Freiflächenanlage bei Demmin. *Ornithol Rundbr Mecklenbg-Vorpomm* 48(3):303–307.
- Herden C, Rassmus J, Gharadjedaghi B (2009) Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Bonn-Bad Godesberg. (BfN-Skripten; vol. 247) 195 p.
- Hietel E, Reichling T, Lenz C (2021) Leitfaden für naturverträgliche und biodiversitätsfreundliche Solarparks: Maßnahmensteckbriefe und Checklisten (Hochschule Bingen) 58 p.
- 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* doi:10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x.
- Hötter H, editor (2009) Bestimmung der Erheblichkeit und Beachtung von Summationswirkungen in der FFH-Verträglichkeitsprüfung. Expertenworkshop; 27.10. - 29.10.2009; Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm 168 p.
- Jahanfar A, Drake J, Sleep B, Margolis L (2019) Evaluating the shading effect of photovoltaic panels on green roof discharge reduction and plant growth. *Journal of Hydrology* 568:919–928 doi:10.1016/j.jhydrol.2018.11.019.
- Kim JY, Koide D, Ishihama F, Kadoya T, Nishihiro J (2021) Current site planning of medium to large solar power systems accelerates the loss of the remaining semi-natural and agricultural habitats. *Sci Total Environ* 779:art146475 doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146475.

- [KNE] Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (2021a) Anfrage Nr. 318 zu den Auswirkungen von Solarparks auf bodenbrütenden Offenlandarten: Antwort vom 17. September 2021 7 p;
<https://www.naturschutz-energiewende.de/fragenundantworten318-auswirkungen-von-solarparks-auf-bodenbruetende-offenlandarten>.
- [KNE] Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (2021b) Kriterien für eine naturverträgliche Gestaltung von Solar-Freiflächenanlagen: Übersicht und Hinweise zur Gestaltung 6 p.
- Knoll T, Groiss M (2011) Photovoltaik in der Landschaft: Steuerungsstrategie für Photovoltaik-Freiflächenanlagen aus der Sicht des Naturschutzes und der Raumordnung: Im Auftrag der Landesumweltanwaltschaften Oberösterreich, Niederösterreich, Burgenland, Kärnten, Wien. Wien: Knoll Planung & Beratung 54 p.
- [LAG VSW] Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (2019) Vermeidung von Vogelverlusten an Glasscheiben: Bewertungsverfahren zur Abschätzung der Gefährdung von Vögeln durch Kollisionen an Glasscheiben 39 p.
- Land Oberösterreich (2012) Wildtierkorridore in Oberösterreich 101 p.
- Landesjagdverband Schleswig-Holstein e.V., editor (2022) Solarenergie wildtierfreundlich planen: Empfehlungen für Freiflächenphotovoltaikanlagen 21 p.
- [LUBW] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, editor (2014a) Fachplan Landesweiter Biotopverbund: Arbeitsbericht. 2. überarb. Aufl. (Naturschutz-Praxis, Landschaftsplanung; vol. 2) 72 p.
- [LUBW] Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, editor (2014b) Fachplan Landesweiter Biotopverbund: Arbeitshilfe. Karlsruhe (LUBW). (Naturschutz-Praxis, Landschaftsplanung; vol. 3) 68 p.
- Moore-O’Leary KA, Hernandez R, Johnston DS, Abella SR, Tanner KE, Swanson AC, Kreidler J, Lovich JE (2017) Sustainability of utility-scale solar energy – critical ecological concepts. *Front Ecol Environ* doi:10.1002/fee.1517.
- Oelke H (1968) Wo beginnt bzw. wo endet der Biotop der Feldlerche? *J Ornithol* 109:25–29 doi:10.1007/BF01678101.
- Raab B (2015) Erneuerbare Energien und Naturschutz - Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. *ANLiegen Natur* 37(1):67–76.
- Romero Pereira MC, Sánchez Coria A (2022) Impactos ambientales de sistemas de energía solar fotovoltaica: una revisión de análisis de ciclo de vida y otros estudios. *Revista EIA* 19(38):Reia3825 doi:10.24050/reia.v19i38.1570.
- Schlegel J (2021) Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf Biodiversität und Umwelt: Literaturstudie im Auftrag von EnergieSchweiz: ZHAW, Forschungsgruppe Umweltplanung 72 p.
- Smallwood KS (2022) Utility-scale solar impacts to volant wildlife. *J Wildlife Manage* 86:e22216 doi:10.1002/jwmg.22216.

- 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. *J Insect Conserv* 20:663–675 doi:10.1007/s10841-016-9897-3.
- Touil S, Richa A, Fizir M, Bingwa B (2021) Shading effect of photovoltaic panels on horticulture crops production: a mini review. *Rev Environ Sci Biotechnol* doi:10.1007/s11157-021-09572-2.
- Trautner J, editor (2016) Entwicklung einer Kiesabbauandschaft im Hegau am westlichen Bodensee: Ergebnisse aus Untersuchungen zur Vegetation und Fauna im Zeitraum 1992 bis 2013. Deiningen (Steinmeier) ISBN: 978-3-943599-47-3.
- Trautner J (2021a) Landesweiter Biotopverbund Baden-Württemberg: Arbeitshilfe – Maßnahmenempfehlungen Offenland 16 p.
- Trautner J (2021b) Landesweiter Biotopverbund Baden-Württemberg: Arbeitshilfe – Zielarten Offenland 18 p.
- Trautner J (2022) Landesweiter Biotopverbund Baden-Württemberg: Arbeitshilfe – Umgang mit der Zielartenliste Offenland (Regierungspräsidien Baden-Württemberg) 19 p.
- Trautner J, Förth J (2017) Regionaler Biotopverbund für die Region Bodensee-Oberschwaben. Fachbericht zur Konkretisierung der Raumkulisse hinsichtlich Fauna/Artenschutz.: Im Auftrag des Regionalverbands Bodensee-Oberschwaben. Filderstadt: Arbeitsgruppe für Tierökologie und Planung.
- Trautner J, Mayer J, Fischer M, Stein W, Kaiser W (2019) Artenschutz in der Bauleitplanung und bei Bauvorhaben: Handlungsleitfaden für die am Planen und Bauen Beteiligten. Stuttgart (Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg) 79 p.
- Trautner J, Straub F, Mayer J (2015) Artenschutz bei häufigen gehölzbrütenden Vogelarten. Was ist wirklich erforderlich und angemessen? *Acta Ornithoecologica* 8(2):75–95.
- Voigt CC (2021) Insect fatalities at wind turbines as biodiversity sinks. *Conservation Science and Practice* 3:e366 doi:10.1111/csp2.366.
- Walston LJ Jr., Rollins KE, Smith KP, LaGory KE, Sinclair K, Turchi C, Wendelin T, Souder H (2015) A Review of Avian Monitoring and Mitigation Information at Existing Utility-Scale Solar Facilities: Prepared for U.S. Department of Energy, SunShot Initiative and Office of Energy Efficiency & Renewable Energy 82 p.
- Winkelhausen H (2017) Modellprojekt Regionalverband Bodensee-Oberschwaben – Biotopverbund in der Regionalplanung. *NaturschutzInfo* 2:48–51.
- Winkelhausen H (2022) Der Regionale Biotopverbund Bodensee-Oberschwaben: ein Fachbeitrag der Landschaftsrahmenplanung zur Regionalplanfortschreibung. Ravensburg: Regionalverband Bodensee-Oberschwaben 17 p.
- Wirth H (2022) Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland: Fraunhofer ISE 97 p.

- Witt R (2022) Artenschutz in der Planungspraxis - Gezielte Ansiedlung der solitären Faltenwespe *Odynerus spinipes* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Vespidae). *Ampulex* 13:75–78.
- Ziar H, Prudon B, Lin F(Roeffen B, Heijkoop D, Stark T, Teurlincx S, de Senerpont Domis L, Garcia Goma E, Garro Extebarria J, et al. (2021) Innovative floating bifacial photovoltaic solutions for inland water areas. *Prog Photovolt Res Appl* 29:725–743 doi:10.1002/pip.3367.

8 Weitere gesichtete/verwendete Arbeiten

Die bereits in Kapitel 7 gelisteten Arbeiten sind hier nicht enthalten.

- Agha M, Lovich JE, Ennen JR, Todd BD (2020) Wind, sun, and wildlife: do wind and solar energy development 'short-circuit' conservation in the western United States? *Environ Res Lett* 15:art075004 doi:10.1088/1748-9326/ab8846.
- Allentoft ME, Sikora M, Refoyo-Martínez A, Irving-Pease EK, Fischer A, Barrie W, Ingason A, Stenderup J, Sjögren K-G, Pearson A, et al. (2022) Population Genomics of Stone Age Eurasia doi:10.1101/2022.05.04.490594;
- Armstrong A, Ostle NJ, Whitaker J (2016) Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environ Res Lett* 11:art074016 doi:10.1088/1748-9326/11/7/074016.
- Armstrong A, Page T, Thackeray SJ, Hernandez R, Jones ID (2020) Integrating environmental understanding into freshwater floatovoltaic deployment using an effects hierarchy and decision trees. *Environ Res Lett* 15:art114055 doi:10.1088/1748-9326/abbf7b.
- Badelt O, Niepelt R, Wiehe J, Matthies S, Gewohn T, Stratmann M, Brendel R, Haaren C von (2020) Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft (INSIDE): Im Auftrag des Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz. Hannover 235 p.
- Bannas L, Löffler J, Riecken U (2017) Die Umsetzung des länderübergreifenden Biotopverbunds: rechtliche, strategische, planerische und programmatische Aspekte. Bonn-Bad Godesberg. (BfN-Skripten; vol. 475) ISBN: 978-3-89624-212-9 doi:10.19217/skr475.
- [LfU] Bayerisches Landesamt für Umwelt, editor (2014) Praxis-Leitfaden für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen 70 p.
- Bennun L, van Bochove J, Ng C, Fletcher C, Wilson D, Phair N, Carbone G (2021) Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development: Guidelines for project developers. Gland (Switzerland), Cambridge (IUCN; The Biodiversity Consultancy) ISBN: 978-2-8317-2101-9 doi:10.2305/IUCN.CH.2021.04.en.
- Bennun L, van Bochove J, Ng C, Fletcher C, Wilson D, Phair N, Carbone G (2021) Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development (Annex 1 - Catalogue of resources). Gland (Switzerland), Cambridge (IUCN; The Biodiversity Consultancy).
- Bergesen J, Suh S, Heath G, O'Donoghue P (2012) Hybrid Life Cycle Assessment of US Manufactured CIGS and CdTe Thin Film Photovoltaic Systems. In: RERO, editor. Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim:207.
- Bergner J, Quaschnig V (2019) Sinnvolle Dimensionierung von Photovoltaikanlagen für Prosumer. Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft 47 p.
- BirdLife Österreich (2021) Kriterien für eine naturverträgliche Standortsteuerung für Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Kriterien für die Errichtung und den

- Betrieb einer naturverträglichen Photovoltaik-Freiflächenanlage
doi:10.13140/RG.2.2.24256.46089.
- Breshears DD, Rich PM, Barnes J, Campbell K (1997) Overstory-imposed heterogeneity in solar radiation and soil moisture in a semiarid woodland. *Ecological Applications* 7(4):1201–1215.
- Buck O, Kleinewillinghöfer L, Biscan A, Müller S, Völker A, Haub C (2020) Landnutzungsänderungen in 2000-Gebieten: Methodenvergleich und Anwendungsbeispiele der Satelliten-Fernerkundung [Abschlussbericht des F+E-Vorhabens „Bedeutung und Auswirkungen Erneuerbarer Energien auf Natura 2000-Gebiete. Daten und Methoden der Satelliten-Fernerkundung" (FKZ 3515 82 3800)]. Bonn-Bad Godesberg. (BfN-Skripten; vol. 566) ISBN: 978-3-89624-327-0.
- [bne] Bundesverband Neue Energiewirtschaft e. V. (2021) Biodiversität in Solarparks 6 p.
- [C.A.R.M.E.N.] Centrales Agrar-Rohstoff Marketing und Energie-Netzwerk e.V. (2021) Positionspapier zu Freiflächen- und Agri-PV. Straubing 8 p.
- Csikós N, Szilassi P (2020) Impact of Energy Landscapes on the Abundance of Eurasian Skylark (*Alauda arvensis*), an Example from North Germany. *sustainability* 12:art664 doi:10.3390/su12020664.
- Dahl EL, Bevanger K, Nygård T, Røskoft E, Stokke BG (2011) Reduced breeding success in white-tailed eagles at Smøla windfarm, western Norway, is caused by mortality and displacement. *Biol Conserv* doi:10.1016/j.biocon.2011.10.012.
- Deutsche Wildtier Stiftung (2022) Im Schatten wächst kein Sonnentau: Die Deutsche Wildtier Stiftung lehnt den Bau von Photovoltaikanlagen in Mooren ab. Hamburg 4 p.
- Donald PF, Muirhead LB, Buckingham DL, Evans AD, Kirby WB, Gruar DJ (2001) Body condition, growth rates and diet of Skylark *Alauda arvensis* nestlings on lowland farmland. *Ibis* 143:658–669.
- Dunham A (2021 May) Exploring the potential for floating photovoltaic solar on man-made reservoirs in the United States [Masterarbeit]. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University, Energy Policy & Climate 53 p.
- Elamri Y, Cheviron B, Mange A, Dejean C, Liron F, Belaude G (2018) Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots. *Hydrol Earth Syst Sci* 22:1285–1298 doi:10.5194/hess-22-1285-2018.
- Enseldo-Cárdenas AS, Rocha-Ortega M, Schneider D, Robertson BA, Córdoba-Aguilar A (2021) Ultraviolet polarized light and individual condition drive habitat selection in tropical damselflies and dragonflies. *Anim Behav* doi:10.1016/j.anbehav.2021.04.019.
- Exley G, Armstrong A, Page T, Jones ID (2021) Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification. *Solar Energy* doi:10.1016/j.solener.2021.01.076.
- Faltin T (2022 Aug 8) Ein schwimmendes „Atomkraftwerk“. *Stuttgarter Zeitung* (181).

- Fraleigh DC, Barratt Heitmann J, Robertson BA (2021) Ultraviolet polarized light pollution and evolutionary traps for aquatic insects. *Anim Behav* doi:10.1016/j.anbehav.2021.08.006.
- Fraunhofer ISE (2022) Am Oberrhein größtes Potenzial für schwimmende PV auf Kiesen in Baden-Württemberg 3 p.
- Fraunhofer ISE (2022) Photovoltaik in Verkehrswegen und PV-Lärmschutzwände (RIPV) 4 p.
- Fraunhofer ISE (2022) Services für Schwimmende Photovoltaik (FPV) 6 p.
- Gabler K, Jurkschat M, Gerdes K, Rebitzer J (2019) Beweidung von Photovoltaik-Anlagen mit Schafen: Anforderungen an die Bauweise der Anlage und die Haltung der Schafe, die Vertragsgestaltung sowie die Vergütung. 2. Aufl. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) 39 p.
- Gessner B, Metsio Sienne J, Brune S (2013) Geplante Photovoltaik-Anlage auf dem Gelände des ehemaligen Standortübungsplatzes in der Gemeinde Saarbürg. FFH-Verträglichkeitsprüfung/ Abschätzung möglicher Beeinträchtigungen auf die angrenzende FFH-Gebiete „Serriger Bachtal und Leuk und Saar“ (FFH-6405-303) und „Wiltinger Wald“ (FFH-6305-301) sowie zusätzliche Berücksichtigung der artenschutzrechtlichen Belange aller Fledermausarten (Anhang-IV-Arten): Im Auftrag von BGHplan. Schweich: Gessner Landschaftsökologie 85 p.
- Gjessing J, Marstein ES, Sudbø AS (2012) Light trapping in ultrathin solar cells. In: RERO, editor. Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim:186.
- Glanz M (2009) Vorhabenbezogener Bebauungsplan mit integriertem Grünordnungsplan „Solarkraftwerk Obernbreit II“ der Gemeinde Obernbreit, Landkreis Kitzingen: Naturschutzfachliche Angaben zur speziellen artenschutzrechtlichen Prüfung (saP) 27 p.
- Greif S, Siemers BM (2010) Innate recognition of water bodies in echolocating bats. *Nature Communications* 1:art107 doi:10.1038/ncomms1110.
- Greifswald Moor Centrum (2022) Informationspapier des Greifswald Moor Centrum zu Photovoltaik-Anlagen auf Moorböden 6 p.
- Günnewig D, Johannwerner E, Kelm T, Metzger J, Wegner N (2022) Anpassung der Flächenkulisse für PV-Freiflächenanlagen im EEG vor dem Hintergrund der erhöhten Ausbauziele. Notwendigkeit und mögliche Umsetzungsoptionen. UBA Texte 76/2022, Dessau-Roßlau 54 p.
- Günnewig D, Sieben A, Püschel M, Bohl J, Mack M (2007) Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen: Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Hannover: ARGE Monitoring PV-Anlagen 116 p.
- Harrison C, Lloyd H, Field C (2017) Evidence review of the impact of solar farms on birds, bats and general ecology. (NEER012) ISBN: 978-1-78354-414-1.
- Hathcock C (2018) Literature review on impacts to avian species from solar energy collection and suggested mitigations 4 p.
- Haug H, Nordseth Ø, Monakhov EV, Marstein ES (2012) Surface passivation of crystalline silicon solar cells. In: RERO, editor. Book of abstracts: Technoport

- Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim:182.
- Hawkes RW, Smart J, Brown A, Jones H, Dolman PM (2018) Experimental evidence that ground-disturbance benefits Woodlark Lullula arborea. Ibis doi:10.1111/ibi.12696.
- Hietel E, Lenz C, Schnaubelt HL (2021) Untersuchungsbericht zum Forschungsprojekt „Wissenschaftliche Untersuchungen zur Entwicklung eines Modellkonzepts für naturverträgliche und biodiversitätsfreundliche Solarparks“. Bingen: Hermann-Hoepke-Institut 63 p.
- Hooper T, Armstrong A, Vlaswinkel B (2020) Environmental impacts and benefits of marine floating solar. Solar Energy doi:10.1016/j.solener.2020.10.010.
- Horváth G, Pereszlényi Á, Egri Á, Fritz B, Guttman M, Lemmer U, Gomard G, Kriska G (2020) Horsefly reactions to black surfaces: attractiveness to male and female tabanids versus surface tilt angle and temperature. Parasitology Research 119:2399–2409 doi:10.1007/s00436-020-06702-7.
- Interfloat corporation, editor (2009) Blendung durch Solarglas 2 p.
- Jellea BP, Breivik C (2012) State-of-the-Art Building Integrated Photovoltaics. In: RERO, editor. Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim:189.
- Jellea BP, Breivik C (2012) The Path to the Building Integrated Photovoltaics of Tomorrow. In: RERO, editor. Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim:190.
- Jessel B, Kuler B (2006) Naturschutzfachliche Beurteilung von Freilandphotovoltaikanlagen: Analysen und Vorschläge zur Beurteilung am Beispiel Brandenburgs. NuL 38(7):225–232.
- Kelm T, Schmidt M, Taumann M, Püttner A, Jachmann H, Capota M, Dasenbrock J, Barth H, Spiekermann R, Braun M, et al. (2014) Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG - Vorhaben IIc Solare Strahlungsenergie: Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Stuttgart: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg 216 p.
- Kim D-C, Munshi MA, Dheeraj DL, Lim CG, Fauske VT, Helvoort ATJ van, Fimland B-O, Weman H (2012) Semiconductor Nanowire Based Solar Cells - A Nordic Toplevel Research Initiative. In: RERO, editor. Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim:183.
- Koch L (2010) Construction of a new Solar Energy Plant, Loeriesfontein – Northern Cape Province, South Africa: Biodiversity Assessment: SiVEST Environmental Division 47 p.
- [KNE] Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (2021) Auswahlbibliografie Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Naturschutz. 3. Fassung 6 p.
- Kragten S (2009 Dec) Breeding birds on organic and conventional arable farms [Thesis]: Leiden University 176 p.

- Lammerant J, Laureysens I, Driesen K (2020) Potential impacts of solar, geothermal and ocean energy on habitats and species protected under the birds and habitats directives: Final report under EC Contract ENV.D.3/SER/2017/0002 Project: “Reviewing and mitigating the impacts of renewable energy developments on habitats and species protected under the Birds and Habitats Directives”. Brussels: Arcadis Belgium, Institute for European Environmental Policy, BirdLife International, NIRAS, Stella Consulting, Ecosystems Ltd 54 p.
- Letcher TM, Fthenakis VM, editors (2018) A comprehensive guide to solar energy systems: With special focus on photovoltaic systems (Elsevier) ISBN: 978-0-12-811479-7.
- Lieder K, Lumpe J (2011) Vögel im Solarpark – eine Chance für den Artenschutz?: Auswertung einer Untersuchung im Solarpark Ronneburg „Süd I“. Thüringer ornithologische Mitteilungen 56:13–25.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2018) Hinweise zum Ausbau von Photovoltaik-Freiflächenanlagen [Rundschreiben]. Stuttgart 18 p. 2018 Feb 16; [updated 2018 Feb 16].
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, editor (2019) Freiflächensolaranlagen: Handlungsleitfaden. Stuttgart 84 p.
- Mono R, Kirschey T (2012) Freiflächenphotovoltaikanlagen in Schutzgebieten - Pro und Kontra. Natur und Landschaft 87(12):546–547.
- Montag H, Parker G, Clarkson T (2016) The Effects of Solar Farms on Local Biodiversity: A Comparative Study (Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity) ISBN: 978-1-5262-0223-9.
- Müller U, Strein M, Suchant R (2003) Wildtierkorridore in Baden-Württemberg. (Berichte Freiburger Forstliche Forschung; vol. 48) 50 p.
- Murphy-Mariscal M, Grodsky SM, Hernandez R (2018) Solar Energy Development and the Biosphere. In: Letcher TM, Fthenakis VM, editors. A comprehensive guide to solar energy systems: With special focus on photovoltaic systems (Elsevier):391–405.
- [NABU] Naturschutzbund Deutschland e.V. (2021) Der naturverträgliche Ausbau der Photovoltaik: Nutzung von Solarenergie in urbanen und ländlichen Räumen, auf Dächern und in der Fläche 28 p.
- [NABU] Naturschutzbund Deutschland e.V., [BSW-Solar] Bundesverband Solarwirtschaft e. V. (2021) Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen: Gemeinsames Papier 8 p.
- Neuling E (2009 Sep) Auswirkungen des Solarparks „Turnow-Preilack“ auf die Avizönose des Planungsraums im SPA „Spreewald und Lieberoser Endmoräne“ [Abschlussarbeit]: Fachhochschule Eberswalde, Landschaftsnutzung und Naturschutz 135 p.
- Neuling E (2011 Mar 26) Lieberose - Photovoltaik im Vogelschutzgebiet: Ergebnisse des Brutvogelmonitorings im Baufeld Nord des Solarparks Turnow-Preilack; Potsdam 25 p.
- Niemann K (2019 Mar 14) Tagfalterbeobachtungen auf PV-Freiflächenanlagen: Erhebungen im Rahmen des Forschungsprojekts „Naturschutzfachliche Fragen des Ausbaus der erneuerbaren Energien an überörtlichen Verkehrswegen und

- dessen Auswirkungen auf die Wiedervernetzung von Lebensräumen“ (FKZ 3515823300) 18 p.
- Niemann K, Rüter S, Bredemeier B, Diekmann L, Reich M, Böttcher M (2017) Photovoltaik-Freiflächenanlagen an Verkehrswegen in Deutschland: Ausbauzustand und mögliche Folgen für den Biotopverbund. *Natur und Landschaft* 92(3):119–128.
- Niemann K, Rüter S, Wix N, Bredemeier B, Reich M, Böttcher M (2019) Photovoltaik-Freiflächenanlagen und die Vernetzung von Lebensräumen an überörtlichen Verkehrswegen: Ergebnisse des F+E-Vorhabens (FKZ 3515 82 3300) „Naturschutzfachliche Fragen des Ausbaus der erneuerbaren Energien an überörtlichen Verkehrswegen und dessen Auswirkungen auf die Wiedervernetzung von Lebensräumen“ des Bundesamtes für Naturschutz. Hannover 164 p.
- Nordberg EJ, Caley MJ, Schwarzkopf L (2021) Designing solar farms for synergistic commercial and conservation outcomes. *Solar Energy* 228:586–593 doi:10.1016/j.solener.2021.09.090.
- Ottens HJ, Kuiper MW, Flinks H, van Ruijven J, Siepel H, Koks BJ, Berendse F, Snoo GR de (2014) Do field margins enrich the diet of the Eurasian Skylark *Alauda arvensis* on intensive farmland? *Ardea* 102:161–171 doi:10.5253/arde.v102i2.a6.
- Owens AC, Cochard P, Durrant J, Farnworth B, Perkin EK, Seymoure B (2020) Light pollution is a driver of insect declines. *Biol Conserv* 241:art108259 doi:10.1016/j.biocon.2019.108259.
- Paulson M, Chacko M (2019) Marine Photovoltaics: A review Of Research And Developments, Challenges And Future Trends. *IJSTR* 8(9):1479–1488.
- Pérez-García JM, Morant J, Arrondo E, Sebastián-González E, Lambertucci SA, Santangeli A, Margalida A, Sánchez-Zapata JA, Blanco G, Donázar JA, et al. (2022) Priority areas for conservation alone are not a good proxy for predicting the impact of renewable energy expansion. *PNAS* 119(33):e2204505119 doi:10.1073/pnas.2204505119.
- Peschel R, Peschel T, Marchand M, Hauke J (2019) Solarparks - Gewinne für die Biodiversität. Berlin (Bundesverband Neue Energiewirtschaft eV) 73 p.
- Peschel T (2010) Solarparks – Chancen für die Biodiversität: Erfahrungsbericht zur biologischen Vielfalt in und um Photovoltaik-Freiflächenanlagen. (Renews Spezial; vol. 45) 19 p.
- Pfeffer G (2020) Photovoltaik-Anlagen: Die bauplanungs- und bauordnungsrechtliche Behandlung von Photovoltaik-Anlagen und weitere damit zusammenhängende Fragestellungen. Ammerbuch 17 p.
- Pimentel Da Silva, Gardenio Diogo, Castelo Branco A (2018) Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. *Impact Assessment and Project Appraisal* 36(5):390–400 doi:10.1080/14615517.2018.1477498.
- Place Services (2022) Consultation on S62A/22/0000004 – The erection of a 14.3MW solar photovoltaic farm 3 p.
- Praus L, Weidinger K (2015) Breeding biology of Skylarks *Alauda arvensis* in maize and other crop fields. *Acta Ornithol* 50(1):59–68.

- Querini F, Dagostino S, Morel S, Boch V, Rousseaux P (2012) Greenhouse gas emissions of electric vehicles associated with wind and photovoltaic electricity. In: RERO, editor. Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim:204.
- Rahman ML, Tarrant S, McCollin D, Ollerton J (2012) Influence of habitat quality, landscape structure and food resources on breeding skylark (*Alauda arvensis*) territory distribution on restored landfill sites. *Landscape and Urban Planning* 105:281–287 doi:10.1016/j.landurbplan.2012.01.006.
- Regionalverband Bodensee-Oberschwaben (2021) Regionalplan Bodensee-Oberschwaben: Fortschreibung des Regionalplans ohne Kap. 4.2 Energie [Planentwurf zum Satzungsbeschluss der Verbandsversammlung am 25. Juni 2021]. Ravensburg 170 p.
- Rehbein JA, Watson JEM, Lane JL, Sonter LJ, Venter O, Atkinson SC, Allan JR (2020) Renewable energy development threatens many globally important biodiversity areas. *Glob Change Biol* 00:1–12 doi:10.1111/gcb.15067.
- RERO, editor (2012) Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim 267 p.
- Robertson B, Kriska G, Horváth V, Horváth G (2010) Glass Buildings As Bird Feeders: Urban Birds Exploit Insects Trapped By Polarized Light Pollution. *Acta zool hung* 56(3):283–293.
- Rodrigues Esteves AM (2016 Nov) Untapping The Full Potential Of Solar Farms In The UK: Different Approaches To Land Management [Dissertation]. Bragança: Escola Superior de Tecnologia e Gestão 77 p.
- Safarian J, Tranell G, Tangstad M (2012) Processes for Upgrading Metallurgical Grade Silicon to Solar Grade silicon. In: RERO, editor. Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim:192.
- Sarasola JH, Grande JM, Negro JJ, editors (2018) *Birds of Prey: Biology and conservation in the XXI century* (Springer International Publishing).
- Schalow LE (2013 Aug) Schafbeweidung in Solarparks in Deutschland [Masterarbeit]: Universität Potsdam, Institut für Biochemie und Biologie 141 p.
- Scheller W, Mika F, Köpke G (2020) Studie zu Auswirkungen von Photovoltaik-Anlagen auf Schreiadlerlebensräume - Teil 1: Im Auftrag der BAUKONZEPT Neubrandenburg GmbH. Teterow: SALIX-Büro für Umwelt- und Landschaftsplanung 35 p.
- Schlager P, Ruppert-Winkel C, Schmieder K (2020) Assessing the potential impacts of bioenergy cropping on a population of the ground-breeding bird *Alauda arvensis*: A case study from southern Germany. *Landscape Research* 45(8):1000–1017 doi:10.1080/01426397.2020.1808963.
- Semeraro T, Scarano A, Santino A, Emmanuel R, Lenucci M (2022) An innovative approach to combine solar photovoltaic gardens with agricultural production and ecosystem services. *Ecosystem Services* 56:art101450 doi:10.1016/j.ecoser.2022.101450.

- Serrano D, Margalida A, Pérez-García JM, Juste J, Traba J, Valera F, Carrete M, Aihartza J, Real J, Mañosa S, et al. (2020) Renewables in Spain threaten biodiversity. *Science* 370(6522):1282–1283 doi:10.1126/science.abf6509.
- Sinha P, Hoffman B, Sakers J, Althouse L (2018) Best Practices in Responsible Land Use for Improving Biodiversity at a Utility-Scale Solar Facility. *Case Studies in the Environment*. 1–12 doi:10.1525/cse.2018.001123.
- Smith JA, Dwyer JF (2016) Avian interactions with renewable energy infrastructure: An update. *Condor* 118:411–423 doi:10.1650/CONDOR-15-61.1.
- Sommer-Larsen P (2012) Polymer Solar Cells – Status, perspectives and future. In: RERO, editor. *Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim*:181.
- Soulayman SS, Mahmoud H (2003) Rectangular surface shadow area measurement. *JED* 2:49–52.
- Svensson BG (2012) Oxides for Photovoltaics. In: RERO, editor. *Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim*:180.
- Szilassi P, Gallé R, Szép T, Csikós N (2022) Scale dependence of landscape-structure-based estimation of abundance of Eurasian skylark (*Alauda arvensis*). *Ecological Indicators* 139:art108931 doi:10.1016/j.ecolind.2022.108931.
- Taylor R, Conway J, Gabb O, Gillespie J (2019) Potential ecological impacts of ground-mounted photovoltaic solar panels: An introduction and literature review 22 p.
- Tian H, Sun L (2012) Improving Photovoltaic Properties of P-type Dye-Sensitized Solar Cells Based on Supramolecular Concept. In: RERO, editor. *Book of abstracts: Technoport - Sharing possibilities. Renewable Energy Research Conference; 16-18 April 2012; Trondheim*:191.
- Tröltzsch P, Neuling E (2013) Die Brutvögel großflächiger Photovoltaikanlagen in Brandenburg. *Vogelwelt* 134:155–179.
- Turney D, Fthenakis VM (2011) Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renew Sustain Energy Rev* 15:3261–3270 doi:10.1016/j.rser.2011.04.023.
- Vervloesem J, Marcheggiani E, Choudhury MAM, Muys B (2022) Effects of Photovoltaic Solar Farms on Microclimate and Vegetation Diversity. *sustainability* 14:art7493 doi:10.3390/su14127493.
- Visser E, Perold V, Ralston-Paton S, Cardenal AC, Ryan PG (2018) Assessing the impacts of a utility-scale photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa. *Renewable Energy* doi:10.1016/j.renene.2018.08.106.
- Waeber PO, Fellay A, Garcia CA, Carmenta R, Estrada Carmona N, Falk T, Ghazoul J, Reed J, Willemen L, Zhang W, et al. (2022) Structuring the Complexity of Integrated Landscape Approaches into Selectable, Scalable, and Measurable Attributes (Preprint) doi:10.20944/preprints202208.0249.v1.
- Wakeham-Dawson A, Szoszkiewicz K, Stern K, Aebischer NJ (1998) Breeding skylarks *Alauda arvensis* on Environmentally Sensitive Area arable reversion

- grass in southern England: survey-based and experimental determination of density. *J Appl Ecol* 35:635–648.
- Wit F, Biesmeijer K (2020) The effects of solar parks on plants and pollinators - the case of Shell Moerdijk. Leiden: Pollinator Ecology Group, Naturalis Biodiversity Center 28 p.
- Yashas V, Aman B, Dhanush S (2021) Feasibility study of floating solar panels over lakes in Bengaluru City. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Smart Infrastructure and Construction* doi:10.1680/jsmic.21.00002a.
- Zaplata MK, Dullau S (2022) Applying Ecological Succession Theory to Birds in Solar Parks: An Approach to Address Protection and Planning. *Land* 11:art718 doi:10.3390/land11050718.