

Möglichkeiten und Grenzen des artenschutzrechtlichen Ausgleichs in Solarparks

Fachgutachten



Auftraggeber:

Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende KNE gGmbH

Neue Grünstraße 18

10179 Berlin

Das Gutachten wurde im Projekt "Solarenergie und Naturschutz: Mehr Biodiversität in Solarparks umsetzen" (SuN-divers, FKZ 3523861000) erarbeitet, gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.

Bearbeitung:

Dr. Stephan Feldmeier

unter Mitarbeit von:

Sandra Folz, Joachim Konrad, Daniel Müller, Martin Seibert

Der Text gibt die Auffassung und Meinung der AutorInnen wieder, die nicht mit der Auffassung des Zuwendungsgebers oder des Auftraggebers übereinstimmen muss.

Die BGHplan Umweltplanung und Landschaftsarchitektur GmbH ist verantwortlich im Sinne des Presserechts und für die Verwendung der Abbildungen in der Publikation.

Stand 11/2024



Landschaftsarchitekten bdlA | Beratende Ingenieure IKRP

Geschäftsführung: Sandra Folz, Christoph Heckel | HRB 41337 | AG Wittlich

Fleischstraße 57 | 54290 Trier

Fon +49 651 / 145 46-0 | www.bghplan.com | mail@bghplan.com

INHALT

1	Einleitung.....	4
1.1	Hintergrund.....	4
1.2	Fragestellung / Ziele	5
1.3	Methodik	6
2	Planungsrechtliche Grundlagen.....	7
2.1	Vorgaben aus der Raumordnung, dem Baugesetzbuch sowie dem BNatSchG.....	7
3	Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA).....	9
3.1	Aufbau von PV-FFA.....	9
3.2	Wirkfaktoren von PV-FFA	11
3.3	Naturverträgliche PV-FFA.....	13
4	Auswirkungen von PV-FFA auf Arten und Biotope.....	15
4.1	Aktueller Wissensstand und Defizite.....	15
4.2	Biotoptypen / Vegetation.....	17
4.2.1	Fazit Vegetation.....	21
4.3	Arthropoden / Insekten	24
4.3.1	Bestäuberinsekten / Tagfalter	24
4.3.2	Heuschrecken.....	25
4.3.3	Laufkäfer und weitere Ordnungen	26
4.3.4	Aquatische Insekten.....	27
4.3.5	Fazit Arthropoden / Insekten.....	27
4.4	Reptilien / Amphibien	31
4.4.1	Fazit Amphibien / Reptilien	31
4.5	Säugetiere.....	35
4.5.1	Fledermäuse	35
4.5.2	Nicht fliegende Säuger.....	36
4.5.3	Fazit Säugetiere	37
4.6	Vögel.....	40
4.6.1	Allgemeine Auswirkungen auf Vögel	40
4.6.2	Auswirkungen auf Arten des Offen- und Halboffenlands.....	41
4.6.3	Fazit Vögel	48

5 Möglichkeiten und Grenzen des artenschutzrechtlichen Ausgleichs	51
5.1 Gesamtfazit.....	51
5.2 Zusammenfassung / Kernaussagen	54
6 Quellenverzeichnis	56

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 Blick auf eine konventionelle südexponierte PV-FFA und Kombistation.....	9
Abb. 2 Süd-Ansicht einer Ost-West-Anlage mit geringen Reihenabständen	10
Abb. 3 Zerstörung der Grasnarbe und Bodenverdichtungen durch das großflächige und unkoordinierte Befahren der Fläche bei nasser Witterung	18
Abb. 4 Blick unter den Modultisch mit spärlicher Vegetationsdecke im Falle einer südexponierten Anlage und einer Ost-West-Anlage.....	19

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1 Baubedingte Wirkfaktoren von PV-FFA und mögliche Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen.....	11
Tab. 2 Anlagenbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA und mögliche Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen	11
Tab. 3 Betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA und mögliche Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen	12
Tab. 4 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von Biotoptypen/ Vegetation durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.....	22
Tab. 5 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von Arthropoden/ Insekten durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.....	29
Tab. 6 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von Reptilien und Amphibien durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.....	33
Tab. 7 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von Fledermäusen und nicht fliegenden Säugetieren durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.....	38
Tab. 8 Eignungstrends verschiedener Anlagenbereiche als Brutrevier von in PV-FFA-kartierten Brutvogelarten	44
Tab. 9 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von Vögeln durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.....	49
Tab. 10 Zusammenfassung der Habitateignung bzw. des Ausgleichspotenzials v.a. wertgebender Biotoptypen und Arten ausgewählter Gruppen in Abhängigkeit verschiedener Anlagenbereiche von PV-FFA.....	52

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Zur Reduzierung der negativen Auswirkungen des Klimawandels hat sich Deutschland das Klimaschutzziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral zu sein (§ 3 (2) KSG). In den letzten 20 Jahren wurde die installierte Leistung von Photovoltaikanlagen von unter 1 GW auf aktuell ca. 85,9 GW¹ ausgebaut (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), 2023). Zum Erreichen der Klimaziele soll die installierte Leistung von Photovoltaikanlagen weiter bis zum Jahr 2030 auf 215 GW, bis zum Jahr 2040 sogar auf 400 GW – hälftig auf Gebäude- und Freiflächenanlagen aufgeteilt – ausgebaut werden (§ 4 EEG).

In Deutschland werden etwa die Hälfte (ca. 45 %) aller Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) auf landwirtschaftlichen Nutzflächen, ca. 30 % auf Konversionsflächen und ca. 25 % auf sonstigen Flächen (Gewerbe- und Industriegebiete, planfestgestellte Flächen u. ä.) errichtet. Unter den landwirtschaftlichen Nutzflächen sind bislang mehr als zweidrittel an Ackerflächen für die Umsetzung von PV-FFA genutzt worden, mit steigender Tendenz zur Umsetzung von PV-FFA auf Grünlandflächen (Stand 2022, Kelm & Stauch, 2024). Aufgrund der aktuellen Entwicklungen und der klimapolitischen Ziele ist somit auch weiterhin mit einem steigenden Flächenverbrauch, besonders von landwirtschaftlicher Nutzfläche (Acker und Grünland), zu rechnen. Gleichzeitig ist es ein Ziel der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung Deutschland, 2021), dass bis zum Jahr 2050 netto keine neuen Freiflächen mehr von Siedlungs- und Verkehrsflächen beansprucht werden. Bei der Errichtung von PV-FFA sollten der Flächenverbrauch unter dem Aspekt eines flächenschonenden Ausbaus also möglichst minimiert werden.

Der Bau einer PV-FFA im Außenbereich erfordert i. d. R. die Aufstellung eines Bebauungsplans und stellt einen Eingriff in Natur und Landschaft dar, dessen unvermeidbare Beeinträchtigungen zu kompensieren sind. Als Teil der Umweltprüfung werden im Rahmen der Eingriffsregelung und der artenschutzrechtlichen Beurteilung der Planung zur Vermeidung der Zugriffsverbote gem. §44 BNatSchG standortabhängig mehr oder weniger umfangreiche interne und/oder externe Vermeidungs-, Minimierungs- und Ausgleichs- / Ersatzmaßnahmen notwendig, welche den Flächenbedarf der Planung erhöhen.

¹ Stand: 1. Quartal 2024, <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/ausbau-erneuerbare-energien-2225808>

Kommunen müssen bei der Planung einer PV-FFA den Bedarf für Ausgleichsflächen mitberücksichtigen und die erforderlichen Flächen ebenfalls planungsrechtlich sichern. Diese Verpflichtung stellt die Kommunen vor die Herausforderung, bei ohnehin begrenzter Flächenverfügbarkeit zu den in der Regel großen PV-FFA zusätzlich auch Ausgleichsflächen zu sichern. Insofern haben Kommunen ein Interesse daran, neben den Ausgleichsverpflichtungen aus der Eingriffsregelung, auch den artenschutzrechtlichen Ausgleich bereits innerhalb von PV-FFA zu erbringen. Auf diese Weise würde sich die Flächeninanspruchnahme sowie der Aufwand für die Aufstellung von Bebauungsplänen reduzieren.

1.2 Fragestellung / Ziele

Ziel des Fachgutachtens ist die Klärung der Frage, ob und unter welchen Voraussetzungen ein artenschutzrechtlicher Ausgleich innerhalb von PV-FFA, d. h. ohne Inanspruchnahme externer Ausgleichsflächen, erfolgreich umsetzbar ist.

Aufgrund der unterschiedlichen Bauweisen und Ausgestaltungen von PV-FFA wird im Rahmen des Gutachtens der Ausgleich als „innerhalb von PV-FFA“ bewertet, wenn dieser innerhalb des technisch überprägten Bereiches umgesetzt wird. Der technisch überprägte Bereich umfasst dabei den mit Solarmodulen überstellten sowie mit Nebenanlagen (Wechselrichter, Trafostationen, Speicher, Zaun u.ä.) überplanten Raum, der als direkter Eingriffsverursacher einen entsprechende Ausgleichsbedarf erzeugt. Bei auf max. Energieertrag ausgelegten, „naturfernen“ PV-FFA stellt dies den für die Umsetzung der Anlage in Anspruch genommenen Raum dar. Mögliche Freiflächen umfassen hier nur die technisch maximal erforderlichen Abstände zur Umsetzung, zum Betrieb und Pflege (i. d. R. durch Mulchen) der Anlage.

Darüberhinausgehende, an die technisch überprägten Bereiche angrenzende Freiflächen, z. B. Waldabstandsflächen sowie großflächige, nicht überstellte Bereiche im direkten Umfeld der technischen Komponenten (z. B. weitläufigere Abstände zwischen Modulen und Zuananlage), können i. S. einer naturverträglichen oder biodiversitätsfördernden PV-FFA (vgl. Kap. 3.3) für naturschutzfachliche Maßnahmen herangezogen werden. Da sie jedoch nicht im direkten Zusammenhang mit der eigentlichen technischen Anlage stehen, fallen sie nicht in die hier zugrunde gelegte Definition eines Ausgleichs innerhalb der PV-FFA. Wohl können diese angrenzenden Flächen in einem Bebauungsplan aus planungsrechtlichen Gründen mit in den Geltungsbereich des Bebauungsplanes aufgenommen werden.

Grundlage der fachgutachterlichen Bewertung stellt der aktuell veröffentlichte Wissensstand zu den (v. a. anlage- und betriebsbedingten) Auswirkungen von PV-FFA auf Arten und Lebensräume dar. Der Schwerpunkt liegt hier auf Angaben zur Raumnutzung der Arten innerhalb der Anlagen, aus der wiederum das entstehende Ausgleichspotenzial durch die Umsetzung der PV-FFA abgeleitet werden kann. Als interner Ausgleich wird hier v. a. der Erhalt, die Wiederherstellung bzw. die Aufwertung von Habitaten innerhalb der Anlagen verstanden. Die Ergebnisse des Gutachtens sollen in erster Linie als Bewertungshilfe für die Kommunen als Träger

der Bauleitplanung, Projektentwickler oder Genehmigungsbehörden kompakt dargestellt werden.

Es werden v. a. gängige eingegrünte Solarparkkonzepte mit nach Süden ausgerichteten Modulen im Offen- und Halboffenland betrachtet, an relevanten Stellen wird kurz Bezug zu Ost-West-ausgerichteten Anlagen genommen. Agri-PV, Moor-PV oder PV-Anlagen auf Wasserflächen (Floating-PV) werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

1.3 Methodik

Die Bearbeitung der Fragestellung erfolgte auf der Grundlage einer Literaturrecherche zu den Auswirkungen von PV-FFA auf die Biodiversität bzw. der grundlegenden Habitataignung für Arten. Hierbei wurden aus Gründen der Übertragbarkeit v. a. Studien aus Europa ausgewertet, Studien aus z. B. ariden Wüstenregionen in den USA wurden i. d. R. nicht berücksichtigt. Die Recherche erfolgte unter Benutzung entsprechender Suchabfragen auf Englisch und Deutsch (Biodiversität / Artengruppen in Kombination mit Photovoltaik / Solarenergie, utility-scale solar energy...) in Google Scholar und ResearchGate, in Zeitschriften zu den Themen Naturschutz, Ökologie und Landschaftspflege sowie einer weitergehenden Recherche nach dem „Schneeballsystem“. Zudem dienten rezente systematische Literaturstudien zu dem Thema als Grundlagen für die Recherche (Schlegel, 2021; Lafitte *et al.*, 2023; Gómez-Catasús *et al.*, 2024). Eigene Untersuchungen sowie eine systematische Abfrage wissenschaftlicher Datenbanken mit kombinierten Suchstrings wurden daher nicht durchgeführt.

Weitere wichtige Übersichtswerke und rezente Veröffentlichungen zu Auswirkungen von PV-FFA auf Arten sind u.a. Badelt *et al.* (2020), Bennun *et al.* (2021), Strohmeier & Kuhn (2023), Chock *et al.* (2021), Dhar *et al.* (2020), Herden *et al.* (2009), Trautner *et al.* (2022) oder Peschel *et al.* (2019).

Neben bevorzugten systematischen, wissenschaftlichen Veröffentlichungen (peer-reviewed) wurde in der Auswertung auch „graue Literatur“ berücksichtigt, die in Form von Berichten, Gutachten und Veröffentlichungen von Verbänden und Ministerien einen Großteil der Referenzen ausmachen. Viele Gutachten und Monitorings zu bestehenden PV-FFA liegen nur in unveröffentlichter Form vor und standen für die Auswertung nicht zur Verfügung. Eine Liste mit den Kernaussagen (inkl. fachlicher Anmerkungen) vieler dieser unveröffentlichten Gutachten wird von der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (LAG VSW) auf ihrer Homepage zur Verfügung gestellt². Da eine Bewertung bzw. Einordnung der Ergebnisse ohne Vorlage der Originalgutachten nicht möglich ist, wurden diese Kernaussagen für die Auswertung nicht berücksichtigt.

² http://www.vogelschutzwarten.de/downloads/publikationen_ffpva.pdf

2 Planungsrechtliche Grundlagen

2.1 Vorgaben aus der Raumordnung, dem Baugesetzbuch sowie dem BNatSchG

Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) stellen u.a. aufgrund ihrer Flächengröße in den meisten Fällen raumbedeutsame Planungen gem. § 3 Abs. 1 Nr. 6 Raumordnungsgesetz (ROG) in Verbindung mit den Landesplanungsgesetzen dar. Hier existieren bundeslandbezogen unterschiedliche Vorgaben, ab wann von einer Raumbedeutsamkeit auszugehen ist (0,5 bis 10 ha) (siehe hierzu auch KNE, 2022).

Aufgrund des erforderlichen Ausbaus von PV-FFA und der verstärkten Umsetzung großflächiger Anlagen auch außerhalb der Kulisse des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) kann eine gesamtäumliche Steuerung innerhalb der Regionalplanung durch die Ausweisung von Vorrang- oder Vorbehaltsgebieten Photovoltaik sinnvoll sein, was in einzelnen Regionalplänen bereits umgesetzt wird.

Für PV-FFA ist nach den Vorgaben des Baugesetzbuches (BauGB, Stand Juni 2024) lediglich eine beschränkte Privilegierung gegeben, da sie ihrem Wesen nach nicht an den Außenbereich gebunden sind. Seit 01.01.2023 gelten PV-FFA gem. § 35 Abs. 1 Nr. 8 lit.b) BauGB entlang von Autobahnen und Schienenwegen des übergeordneten Netzes in einer Entfernung von 200 m gemessen vom äußeren Fahrbahnrand als privilegiert. Ein Planerfordernis im Sinne einer vorbereitenden und verbindlichen Bauleitplanung im Außenbereich besteht in diesem Planungsbereich nicht mehr. Zum 07.07.2023 wurde auf Bundesebene darüber hinaus beschlossen, mit § 35 Abs. 1 Nr. 9 BauGB bestimmte Agri-PV-Anlagen im Außenbereich beschränkt zu privilegieren. Hierfür ist es erforderlich, dass das Vorhaben in räumlich-funktionalem Zusammenhang mit einem landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieb steht und eine Grundfläche von maximal 2,5 Hektar nicht überschreitet. Pro Hofstelle kann nur eine derartige Anlage privilegiert errichtet werden.

Für darüberhinausgehende Planungsräume scheidet eine Zulassung als sonstige Vorhaben im Sinne von § 35 Abs. 2 BauGB in der Regel wegen der Veränderung des Landschaftsbildes und der damit nicht von vorneherein gegebenen Vereinbarkeit mit öffentlichen Belangen aus. Demzufolge kann die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit (mit Ausnahme der privilegierten Vorhaben) nur über die kommunale Bauleitplanung erreicht werden. Es bedarf demnach neben der vorbereitenden Bauleitplanung über den Flächennutzungsplan aktuell zwingend der Aufstellung eines Bebauungsplanes durch die jeweilige Kommune. Die vorbereitende Bauleitplanung stellt über den Flächennutzungsplan die fachliche Koordinierungsebene zur umwelt- und siedlungsverträglichen Steuerung von PV-Freiflächenanlagen dar. Die Standortwahl von PV-FFA hat einen erheblichen Einfluss auf die artenschutzrechtlichen Wirkungen der Anlagen. Zu beachten ist also die Einflussmöglichkeit kommunaler Planungsträger, wenn im Rahmen der Flächenauswahl diese Wirkungen mitbedacht werden.

Unter Beachtung des gem. § 2 Abs. 3 BauGB bestehenden Abwägungsgebotes in der Bauleitplanung ist auch immer eine Prüfung von Standortalternativen durchzuführen. Diese hat „nach objektiven Kriterien zu erfolgen, wobei insbesondere die allgemeinen Belange der Siedlungsentwicklung, der Bau- und Bodendenkmäler, des Landschaftsbildes sowie des Umwelt- und Naturschutzes zu berücksichtigen und abzuwägen sind. Die Gemeinde muss sich in ihrer planerischen Abwägung mit Standortalternativen auseinandersetzen, dabei mehrere - sich anbietende - Varianten in den Blick nehmen und im Ergebnis eine den allgemeinen Planungsvorgaben in § 1 Abs. 6 BauGB gerecht werdende Abwägungsentscheidung treffen“ (vgl. OVG SH Beschluss vom 05.07.2012, Az.: 1LA30/12).

Eine Möglichkeit, sich mit Standortalternativen auseinanderzusetzen, stellen informelle Planungsinstrumente für den Ausbau und die Entwicklung von PV-FFA auf dem jeweiligen Gemeindegebiet dar. Gem. § 1 Abs. 6 Nr. 11 BauGB sind die Ergebnisse eines von der Gemeinde beschlossenen städtebaulichen Entwicklungskonzeptes im Rahmen der Bauleitplanung entsprechend zu berücksichtigen. Ziel einer derartigen Konzeption kann es sein, mit Hilfe der Festlegung von Ausschlusskriterien den weiteren Ausbau der Freiflächenphotovoltaik in einem definierten Rahmen zu steuern und die Umsetzung von Projekten an geeigneten Standorten innerhalb des Gemeindegebietes zu ermöglichen. Bereits hier besteht die Möglichkeit, naturschutzfachliche und artenschutzrechtliche Belange zu berücksichtigen (vgl. Demuth *et al.*, 2019; Günnewig *et al.*, 2007; Herden *et al.*, 2009; Trautner *et al.*, 2022).

Der Bau einer PV-FFA auf Freiflächen im planerischen Außenbereich gem. § 35 BauGB stellt gem. §14 BNatSchG einen Eingriff in Natur und Landschaft dar, dessen unvermeidbare Beeinträchtigungen sowohl bei der Neuaufstellung von Bebauungsplänen als auch für privilegiertere Vorhaben auszugleichen oder zu ersetzen sind (§§15, 18 BNatSchG, §1a Abs. 3 BauGB).

Da sich dieses Fachgutachten auf das artenschutzrechtliche Ausgleichspotenzial von PV-FFA konzentriert, sind v. a. die anlage- und betriebsbedingten Auswirkungen auf Tier- und Pflanzenarten relevant. Entsprechend sind v. a. die Vorschriften des besonderen Artenschutz, d. h. die Zugriffsverbote gem. § 44 Abs. 1 i. V. m. Abs. 5 BNatSchG zu beachten. Da in den meisten Quellen hauptsächlich Angaben zum Vorkommen von Arten innerhalb von PV-FFA gemacht werden, wird letztlich bewertet, ob durch den Bau von PV-FFA gegen den Schutz der Lebensstätten nach §44 Abs.1 Nr. 3 BNatSchG verstoßen wird und ob eine Beeinträchtigung innerhalb des Solarparks ausgeglichen werden kann.

Welche Artengruppen artenschutzrechtlich relevant sind, hängt dabei von der Art des Vorhabens einerseits und andererseits der Biotoptypenausstattung des geplanten Standorts sowie dessen Umgebung ab. Peschel & Peschel (2023) empfehlen zur Eingrenzung betroffener Artengruppen bei Planungen die Methodik aus Albrecht *et al.* (2014) anzuwenden. Die Auswahl relevanter Arten ist im Einzelfall letztlich mit der zuständigen Naturschutzbehörde abzustimmen.

3 Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA)

3.1 Aufbau von PV-FFA

Im Folgenden werden die Auswirkungen gängiger Konzepte für erdgebundene, aufgeständerte PV-Anlagen betrachtet. Grundlage der Bewertung stellt das bislang am häufigsten umgesetzte Konzept der südausgerichteten PV-FFA dar (s. Abb. 1). In diesen werden die einzelnen Photovoltaikmodule auf sogenannten Modultischen zusammengefasst, welche wiederum in parallelen, nach Süden ausgerichteten Reihen angeordnet werden. Die Modultische bestehen dabei meistens aus einem filigranen Stützwerk aus Metall. Dieses wird von Stützpfeilern getragen, welche i. d. R. ohne die Verwendung von Fundamenten in den Boden gerammt werden. Nur unter bestimmten Voraussetzungen und in Ausnahmefällen ist das Aufständern auf Betonfundamenten aus statischen Gründen notwendig.



Abb. 1 Blick auf eine konventionelle südexponierte PV-FFA ein halbes Jahr nach dem Bau (2016) (links) und Kombistation (Trafo, Zentralwechselrichter und Schaltanlage) auf Streifenfundamenten (rechts)

Die Modultische beginnen i. d. R. in etwa 0,70 bis 0,80 m über Geländeniveau und können eine Gesamthöhe von über 4 m über Geländeniveau erreichen. Je nach Modultyp und Aufständerrangart können Flächen fast vollständig mit Modulen überstellt werden.

Als Nebenanlagen werden meist Transformatorenstationen bzw. mit Zentralwechselrichtern kombinierte Kompaktstationen errichtet (s. Abb. 1). Alternativ können die Wechselrichter als String-Wechselrichter direkt an den Modulgestellen montiert werden. Je nach Bauweise werden diese Stationen auf einer Schottertragschicht oder unter Verwendung von Punkt- oder Streifenfundamenten aufgestellt. Der erzeugte Strom wird aus den Anlagen über Erdkabel verteilt. Es ist davon auszugehen, dass PV-FFA zukünftig immer häufiger mit weiteren Nebenanlagen zu Speicherung von Strom (Batteriespeicher, Elektrolyseure zur Erzeugung und Speicherung von Wasserstoff u. ä.) ausgestattet werden. Abhängig von der Art dieser Speicher sind die sich daraus ergebenden baulichen Auswirkungen zu ermitteln und zu bewerten.

Aus versicherungstechnischen Gründen werden PV-FFA üblicherweise eingezäunt und zur Reduzierung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild eingegrünt.

Die unversiegelten Flächen werden i. d. R. als Grünland erhalten bzw. entwickelt und über die Betriebszeit der Anlage (durch Beweidung, Mahd oder Mulchen) gepflegt. Kleinere Flächen innerhalb des Anlagengebietes werden z. B. für den Transport der schweren Infrastruktur (Trafo-Stationen) meist als geschotterte Wege ausgebaut. Die z. B. bei der Kabelverlegung nur in geringen Mengen anfallenden Aushubmassen können i. d. R. ohne Beeinträchtigungen im Gelände wiederverwendet werden. Eine externe Bodendeponierung entfällt somit in den meisten Fällen.

Hintergrund der südausgerichteten PV-FFA stellt das Bestreben dar, maximale Leistungserträge in der Stromproduktion zu erzielen. Hierbei sind bei der Planung der Anlage bspw. gewisse Reihenabstände zu berücksichtigen, um Verschattungen der einzelnen Module untereinander zu vermeiden. Die technische Entwicklung der letzten Jahre zeigt dabei eine deutliche Steigerung der Modulgrößen, was in Summe zu einer Vergrößerung der Modultische geführt hat. Unter der Beachtung technischer Weiterentwicklungen mit Blick auf geringere Ertragseinbußen durch Verschattungen stellen sich neuere PV-FFA in vielen Fällen als größere und kompaktere (geringere Reihenabstände) technische Anlage dar.

Aufgrund von Netzstabilitätsaspekten sowie betriebswirtschaftlicher Hintergründe ist nach Erfahrung der AutorInnen – zumindest regional – ein deutlicher Trend zur Planung und Umsetzung sogenannter Ost-West-Anlagen erkennbar. Hier werden die Modulreihen gegenläufig ausgerichtet angeordnet und entsprechen somit einer einfachen Satteldachkonstruktion. Aufgrund der Ost-West-exponierten Anordnung spielen Verschattungsaspekte eine untergeordnete Rolle für den Betrieb der Anlage, wodurch die Reihenabstände nochmal deutlich reduziert werden können. Diese Entwicklung ist im Rahmen der Bewertung artenschutzrechtlicher Eingriffe durch PV-FFA entsprechend zu berücksichtigen.



Abb. 2 Süd-Ansicht einer Ost-West-Anlage mit geringen Reihenabständen

3.2 Wirkfaktoren von PV-FFA

Im Folgenden (Tab. 1 bis Tab. 3) werden zur Übersicht die allgemeinen Wirkfaktoren von PV-FFA dargestellt (nach Günnewig *et al.*, 2007, verändert).

Tab. 1 Baubedingte Wirkfaktoren von PV-FFA und mögliche Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen (nach Günnewig *et al.*, 2007, verändert).

Baubedingte (durch die Vorbereitung und Durchführung der Bauarbeiten)	
Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen
Baufeldfreimachung und Baustelleneinrichtung	<ul style="list-style-type: none"> – Beseitigung der Vegetationsdecke – Rodung von Gehölzen – Entwertung von Habitatstrukturen – (temporärer/vollständiger) Verlust von Habitaten – Störung, Vertreibung von Tieren
Maschineneinsatz, Baustellenverkehr und Bautätigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> – Störung, Vertreibung von Tieren – Verletzen/ Töten von Individuen – Beeinträchtigung der natürlichen Bodenfunktionen

Tab. 2 Anlagenbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA und mögliche Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen (nach Günnewig *et al.*, 2007, verändert).

Anlagenbedingte (von den baulichen Anlagen selbst verursacht)	
Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen
Flächenversiegelung (durch Modulpfosten, Fundamente und Nebenanlagen)	<ul style="list-style-type: none"> – Verlust der natürlichen Bodenfunktionen – vollständiger Verlust von Habitaten
Überstellung der Bodenoberfläche mit Modulen	<ul style="list-style-type: none"> – mikroklimatische Veränderungen durch die Verschattung des Bodens – kleinräumige Veränderung des (Boden-) Wasserhaushaltes – Eingeschränkte Entwicklung einer geschlossenen Vegetationsdecke – Entwertung von Habitatstrukturen – (teilweiser bis vollständiger) Verlust von Habitatstrukturen

Zaunanlage	<ul style="list-style-type: none"> – Barrierewirkung – Zerschneidung von Wanderkorridoren – Tötungsrisiko für Vögel, Fledermäuse, Kleinsäuger durch das Anbringen von Stacheldraht als Übersteigschutz
Visuelle Wirkung der Modulfläche	<ul style="list-style-type: none"> – Silhouetteneffekt – Reflexionen/ Spiegelungen – Verwechslung mit Wasserflächen

Tab. 3 Betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA und mögliche Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen (nach Günnewig *et al.*, 2007, verändert).

Betriebsbedingte (dauerhaft mit der Nutzung der Anlage verbunden)	
Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen
Bewirtschaftung (Mulchen, Mahd oder Beweidung)	<ul style="list-style-type: none"> – Entwertung von Habitatstrukturen – temporäre Störung – Verletzen/ Töten von Individuen
elektromagnetische Strahlung (im unmittelbaren Umfeld der Module und Nebenanlagen)	<ul style="list-style-type: none"> – Vermutlich vernachlässigbar
Geräuschemissionen (durch Lüfter der Wechselrichter, Trafostationen und sonst. Nebenanlagen)	<ul style="list-style-type: none"> – Meidungsverhalten
Stofflicher Austrag (durch Leckagen oder Auswaschungen von den Modulen und der Modulgestelle)	<ul style="list-style-type: none"> – Beeinträchtigung der natürlichen Bodenfunktionen und des Grundwassers

Einen wesentlichen Einfluss auf die Wirkfaktoren und die damit verbundenen Beeinträchtigungen für Arten und Biotope stellt die Standortwahl für die Umsetzung einer PV-FFA dar. Ausmaß und Grad der naturschutzfachlichen und artenschutzrechtlichen Beeinträchtigungen ergeben sich dabei sehr stark aus dem Ausgangszustand der Planfläche sowie den Standortbedingungen bei der Umsetzung der Anlage (Demuth *et al.*, 2019; Günnewig *et al.*, 2007; Herden *et al.*, 2009; Trautner *et al.*, 2022).

Auch wenn der grundlegende Aufbau verschiedener PV-FFA ähnlich ist, so können sich die anlagenbedingten Wirkungen verschiedener Solarparks in den mit Modulen überstellten Bereichen aufgrund unterschiedlicher Ausprägungen technischer Parameter (überstellte Fläche, Modulhöhe, -tiefe, -reihenabstand) durchaus deutlich unterscheiden. Bezüglich der Veränderung der Standortbedingungen unter und neben den Modulen (s. Kap. 4.2) oder der

Silhouettenwirkung einer Anlage spielt neben dem Modulreihenabstand z. B. auch andere technische Parameter eine Rolle. In vielen älteren Anlagen sind die Modultische beispielsweise lediglich ein Modul (ca. 1 m) tief, während bei vielen neueren Anlagen pro Modultisch bis zu sechs Module (ca. 6 m) übereinander angebracht werden (bei Ost-West-Anlagen somit bis zu 12 Module). Während die Höhe der Oberkante der Module bei älteren Anlagen oft relativ niedrig ist (< 1,5 m), werden in neueren Anlagen teilweise Modulhöhen von über 4 m geplant. Dies macht es für manche Arten (z. B. Vogelarten) schwierig, Untersuchungsergebnisse aus älteren Bestandsanlagen für die Bewertung der Auswirkungen neuer Planungen heranzuziehen.

In der öffentlichen Diskussion, aber auch in Bewertungen im Rahmen von Umweltprüfungen oder Artenschutzfachbeiträgen, werden Solarparks nach dem Empfinden der AutorInnen – zumindest teilweise – unabhängig von der technischen Gestaltung pauschal die möglichen positiven Eigenschaften einiger besonders artenreicher Anlagen (durch z. B. bereits hochwertigen Ausgangszustand bzw. dem Vorkommen naher hochwertiger Spenderbiotope) zugesprochen. Negative Auswirkungen einzelner Planungen auf Arten werden hierdurch potenziell unterschätzt (vgl. auch Trautner *et al.*, 2022).

3.3 Naturverträgliche PV-FFA

PV-FFA können als sogenannte naturverträgliche oder biodiversitätsfördernde PV-FFA umgesetzt werden. In diesen werden durch eine entsprechende bauliche Gestaltung (z. B. der Schaffung von Freiflächen durch Reduzierung der überstellten Flächen, Verringerung der Barrierewirkungen des Zauns bzw. der Gesamtanlage, Bau von Ersatzhabitaten) und Pflege- und Maßnahmenkonzepte (z. B. durch extensive an Zielarten angepasste Pflege, Erhöhung der Struktur- und Habitatdiversität) die Beeinträchtigungen von Arten minimiert bzw. die Habitategung optimiert.

Hierzu ist anzumerken, dass es keine feste Definition gibt, ab wann eine Anlage als naturverträglich oder biodiversitätsfördernd gilt. Zur Umsetzung solcher Anlagen gibt es jedoch zahlreiche Publikationen (Blaydes *et al.*, 2022; Blaydes *et al.*, 2021; Engl *et al.*, 2020; Demuth *et al.*, 2019; Hietel *et al.*, 2021b; KNE, 2021; Niedermeir-Stürzer & Klett, 2014; Niedersächsischer Landkreistag *et al.*, 2023; Seidel *et al.*, 2024; Peschel, 2010; Peschel & Peschel, 2023; Reinke, 2022) und Positionspapiere (Ammermann *et al.*, 2022; Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V., 2022; Neumann & Frobel, 2022; DNR – Deutscher Naturschutzring *et al.*, 2022; Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V., 2021).

Eine naturverträgliche Gestaltung von PV-FFA ist jedoch – mit Ausnahme von Maßnahmen, die im Rahmen der Eingriffsregelung oder der Artenschutzprüfung als Vermeidungs- oder Kompensationsmaßnahmen zwingend notwendig werden – nicht verpflichtend. In vielen Fällen steht die Naturverträglichkeit von Anlagen unter biodiversitätsfördernden Gesichtspunkten aufgrund des damit verbundenen erhöhten Freiflächenbedarfs im Gegensatz zu der technisch maximal installierbaren Leistung. Dies kann zu Konflikten mit den finanziellen Interessen der Projektentwickler bzw. auch der Kommunen als Träger der Bauleitplanung führen. Gerade

für kleine Kommunen im ländlichen Raum können PV-FFA wichtige Einnahmequellen darstellen. Gleichzeitig zeigen sich in den ländlichen Regionen, welche den räumlichen Schwerpunkt zum Ausbau der PV-FFA bilden, zunehmend Grenzen der Netzeinspeisekapazitäten. Für großflächige PV-FFA sind regelmäßig Umspannwerke und Speicher zu errichten, verbunden mit ggf. langen Netzanschlusswegen. Dies bedarf i. d. R. einer höheren installierten Leistung zur Darstellung der Wirtschaftlichkeit der erforderlichen Infrastruktur, was ggf. im Konflikt zur Umsetzung einer naturverträglichen PV-FFA steht.

4 Auswirkungen von PV-FFA auf Arten und Biotope

Zur Bewertung der Kompensationsmöglichkeiten innerhalb von Solarparks stellt sich zunächst die Frage des potenziellen Ausgleichsbedarfs. Hierzu wird in diesem Kapitel die nach aktuellem Wissensstand zu erwartenden (v. a. anlage- und betriebsbedingten) Beeinträchtigungen durch PV-FFA für bisher untersuchte Arten bzw. Artengruppen sowie die generelle Habitategnung von PV-FFA, falls möglich mit Bezug zur Raumnutzung verschiedener Anlagenbereiche, dargestellt und bewertet.

Da der Ausgleichsbedarf vom jeweiligen Ausgangszustand der Plangebiete (u. a. der Biotop- und Artausstattung) sowie den technischen Parametern der Planung (vgl. Kap. 3.2) abhängig ist, ist dieser immer standortspezifisch zu bestimmen.

Nach jedem artengruppenbezogenen Unterkapitel werden zur Übersicht die Beeinträchtigungen unter Berücksichtigung der in Kap. 3.2 dargestellten Wirkfaktoren mit ggf. notwendigen internen bzw. externen Vermeidungs- und Kompensationsmaßnahmen steckbriefhaft aufgelistet. Weiterführende Informationen zu konkreten artspezifischen Maßnahmen können entsprechenden Leitfäden entnommen werden (z. B. Landesbetrieb Mobilität (LBM) Rheinland-Pfalz, 2020; MKULNV NRW, 2013; Runge *et al.*, 2010).

4.1 Aktueller Wissensstand und Defizite

Viele der Erkenntnisse zu den Auswirkungen von PV-FFA auf Arten basieren auf nicht-systematischen (teils unveröffentlichten) Untersuchungen von einzelnen bzw. wenigen Anlagen. Aufgrund teils unterschiedlicher Methoden lassen sich aus diesen Quellen v. a. lokale Aussagen, weniger aber allgemeingültige Ergebnisse ableiten (Schlegel, 2021). Dies bezieht sich v. a. auf die nachfolgend genannten Aspekte: fehlende aussagekräftige quantitative Erhebungen, fehlende Vorher-Nachher-Betrachtungen, fehlende Beschreibung der Vegetation zum Kartierungszeitpunkt, fehlende Einbeziehung der Umgebung bzw. von Kontrollen in die Erhebungen, fehlende Informationen zu den Bauweisen der Anlagen oder fehlende exakte Verortung von Artvorkommen innerhalb der Anlagen. Umfassende Untersuchungen zum Potenzial von Solarparks für den Arten- und Biotopschutz „im Sinne harter empirischer Evidenz“ (Peschel & Peschel, 2023) stehen selbst für gut untersuchte Artengruppen wie z. B. Vögel immer noch aus (Strohmeier & Kuhn, 2023; Dhar *et al.*, 2020; Jarčuška *et al.*, 2024; Peschel & Peschel, 2023; Schlegel, 2021; Schwaiger, 2022; Zaplata & Dullau, 2022).

Der aktuelle Stand der wissenschaftlichen Literatur zu den Auswirkungen von PV-FFA auf die Biodiversität wurde in zwei rezenten Literatur-Reviews dargestellt (Gómez-Catasús *et al.*, 2024; Lafitte *et al.*, 2023):

- Lafitte *et al.* (2023) weisen in ihrem Review (Stand 06/2022) u. a. darauf hin, dass Deutschland bzgl. veröffentlichter Studien im Vergleich zur installierten Leistung stark unterrepräsentiert ist. Hier wurden in ihrer Recherche keine englischsprachigen

wissenschaftlichen Studien aus Deutschland gefunden (vgl. aber Zitzmann *et al.*, 2024). Die meisten Studien stammen aus den USA und dem Vereinigten Königreich und beschäftigen sich am häufigsten mit den Auswirkungen auf Pflanzen und Arthropoden, hier v. a. Bestäuber (v. a. Bienen, Hummeln und Schmetterlinge). Bemerkenswert ist, dass lt. den AutorInnen bislang keine wissenschaftlichen Studien zu den Auswirkungen von Solarparks auf Reptilien und Amphibien und nur wenige zu nicht-fliegenden Säugetieren und Fledermäuse vorliegen.

- Gómez-Catasús *et al.* (2024) (Stand 09/2023) bestätigen, dass die Forschung im Bereich der Auswirkungen von PV-FFA nicht proportional zu ihrer Entwicklung zunimmt und im Vergleich zur Windenergie deutliche Wissenslücken vorliegen. Zudem liegen die meisten Erkenntnisse aus Wüstenökosystemen in Nordamerika vor, die sich hierdurch nur bedingt auf Agrarlandschaften in Europa übertragen lassen. Die AutorInnen fanden im Gegensatz zu Lafitte *et al.* (2023) wenige Studien zu Reptilien, die sich jedoch v. a. auf Wüstenlebensräume beschränkten. Über die Hälfte der analysierten Studien betrachten lediglich einzelne Anlagen und die Bedingungen vor dem Bau der Anlagen werden nur selten angegeben. Gómez-Catasús *et al.* (2024) betonen, dass sich die Auswirkungen kumulativer Effekte bzw. Effekte über längere Zeiträume sowie größere Räume durch das Fehlen standardisierter und robuster Methoden nicht bewerten und somit auch keine übertragbaren Ergebnisse ableiten lassen.

Das Vorkommen von Arten in PV-FFA kann von vielen sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren abhängig sein, wie z. B. dem Vegetationstyp und der Vegetationsstruktur, der Entwicklungszeit nach Bau, der Nutzung bzw. Pflege, der Isolation bzw. Vernetzung des Gebiets sowie dem Vorkommen von (hochwertigeren) Biotoptypen und Arten in der Umgebung. Um die Gründe für das Vorkommen und v. a. auch die Abwesenheit von Arten besser bewerten zu können, sollten zukünftige systematische Untersuchungen soweit möglich folgende Aspekte berücksichtigen bzw. aufnehmen (vgl. auch Chock *et al.*, 2021; Dhar *et al.*, 2020; Gómez-Catasús *et al.*, 2024; Schlegel, 2021; Zitzmann *et al.*, 2024):

- Vollständige Angabe des Alters und der technischen Parameter einer PV-FFA (überstellter Flächenanteil, Modulreihenabstand, Modulhöhe und -tiefe)
- Faunistische und floristische Kartierung des Zustands vor dem Bau und anschließendes Monitoring über längere Zeiträume, inkl. Kartierung der Umgebung (Spenderflächen/Quellpopulationen)
- Bei Vergleich mit Kontrollflächen Berücksichtigung von vergleichbaren Acker- und Grünlandbiotoptypen im räumlichen Zusammenhang
- Exakte Verortung der Artvorkommen innerhalb der Anlagen (Randbereich, zwischen bzw. unter den Modulen, Sonderstrukturen) mit Vegetationsbeschreibung in den jeweiligen Bereichen bzw. Differenzierung von freien und überstellten Teilflächen innerhalb der Anlagen bei Kartierungen

- Tatsächliche Nutzung/Pflege (Mahd inkl. der Art und der Zeitpunkte, Beweidung inkl. Zeitraum und Besatzstärke, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln/Dünger) vor und nach der Umsetzung der PV-FFA

Um die bestehenden Wissenslücken zu schließen, laufen aktuell weitere Forschungsvorhaben. So werden z. B. im Rahmen des Projekts „Biodiversität im Solarpark“ (BIODIV-SOLAR) die Auswirkungen verschiedener Samenmischungen bzw. Pflegekonzepte oder auch verschiedener Bauweisen und Modultypen auf die Biodiversität untersucht. Zudem wird aktuell die bne-Studie „Solarparks - Gewinne für die Biodiversität“ (Peschel *et al.*, 2019) fortgeschrieben, in der die Entwicklung der Biodiversität in PV-FFA auf ehemaligen Ackerflächen untersucht wird.

Aufgrund der beschriebenen Quellenlage ist die Bewertung in diesem Gutachten keinesfalls abschließend und kann sich entsprechend v. a. auf die „graue“ Literatur mit den oben genannten Defiziten und nur punktuell auf wissenschaftliche Studien stützen. Diese Einschränkung gilt aktuell jedoch generell für Aussagen zu den Auswirkungen von PV-FFA auf die Biodiversität, insbesondere auch zu solchen, die Solarparks pauschal einen hohen Wert für die Biodiversität zuschreiben.

4.2 Biotoptypen / Vegetation

Durch im Offen- bzw. auch Halboffenland errichtete PV-FFA können eine Vielzahl von Biotoptypen und -strukturen beeinträchtigt werden. Neben intensiv genutzten artenarmen Acker-, Grünland- oder Konversionsflächen können – teilweise auch nur kleinräumig - naturschutzfachlich hochwertige und gefährdete Biotoptypen (vgl. Finck *et al.*, 2017) wie extensive Äcker mit artenreicher Segetalvegetation, Trocken- und Halbtrockenrasen, Borstgrasrasen, Zwergstrauchheiden, artenreiches extensives Grünland oder auch einzelne Gehölze, Bäume sowie Streuobstbestände beeinträchtigt werden.

Viele dieser hochwertigen Biotoptypen sind nach §30 BNatSchG gesetzlich geschützt oder ziehen im Rahmen der Eingriffsregelung, falls überhaupt eine Ausnahme oder Befreiung erreicht werden kann, aufgrund der hohen Bedeutung als Lebensraum für gefährdete Arten einen erhöhten Ausgleichsbedarf nach sich. Aus naturschutzfachlicher Sicht sollten solche Flächen im Rahmen der Standortwahl für PV-FFA im Vorhinein ausgeschlossen bzw. in Teilbereichen mit hohen Anforderungen an die Planung, Umsetzung und Pflege der Flächen nach Umsetzung von PV-FFA verbunden werden. Jedoch zeigt die Praxis, dass auch immer wieder hochwertigere Biotoptypen überplant werden, gerade (aber nicht ausschließlich), wenn diese kleinräumig innerhalb weniger hochwertiger Flächen liegen. Verstärkt wird diese Entwicklung auch durch die Diskussion um den zunehmenden Flächenverbrauch hochwertiger landwirtschaftlicher Nutzflächen durch Siedlungsentwicklungen, Verkehrsprojekte sowie den Ausbau der erneuerbaren Energien.

Neben den anlagenbedingten Auswirkungen von PV-FFA sind an baubedingten Auswirkungen v. a. die Rodung von Gehölzen, die teils großflächige Zerstörung der Vegetationsdecke und die potenzielle starke Bodendegradation (v. a. der Bodenstruktur) (Lambert *et al.*, 2021)

durch den Bau der Anlage zu erwähnen, welche wiederum die gewünschte Vegetationsentwicklung negativ beeinflussen kann. Zur Vermeidung der Tötung und Störung von im Offenland brütenden Vogelarten wird der Bau von PV-FFA oft in der vegetationsfreien Zeit (1.10. bis 28.2.) durchgeführt. Da Herbst und Winter in den letzten Jahren immer nasser werden³, ist mit der Zunahme negativer Wirkungen auf den Boden und damit verbundener Konsequenzen auf die Vegetation zu rechnen. Zur Vermeidung von erheblichen Beeinträchtigungen der Bodenstruktur durch das Befahren und die Bearbeitung nasser Böden sollten bei der Planung von Anlagen Bodenschutzkonzepte erstellt werden, deren Umsetzung bzw. Einhaltung durch ein bodenkundliche Baubegleitung überprüft werden sollte.



Abb. 3 Zerstörung der Grasnarbe und Bodenverdichtungen durch das großflächige und unkoordinierte Befahren der Fläche bei nasser Witterung

Die anlagenbedingten Wirkungen der PV-Module gehen v. a. von der Veränderung der mikroklimatischen Standortbedingungen unter und neben den Modultischen aus. Durch die Überstellung mit Modulen werden vorrangig besonnte Lebensräume großflächig beschattet, zudem werden v. a. die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit unterhalb der Module beeinflusst. Mehrere Studien haben gezeigt, dass PV-Module Temperaturschwankungen im Jahres- und Tagesverlauf reduzieren und die Bereiche unter den Modulen im Sommer kühler sowie im Winter wärmer sind als die Umgebung, zudem ist die Luftfeuchtigkeit unter den Modulen höher als außerhalb der Module (Armstrong *et al.*, 2016; Knecht *et al.*, 2021; Vervloesem *et al.*, 2022; Zitzmann *et al.*, 2024).

Diese Veränderungen der Standortbedingungen können zu geringerer Vegetationsdeckung und -biomasse, Vergeilung (d. h. beschleunigtes Längenwachstum auf Kosten der Entwicklung von Festigungsgewebe), geringerem Artenreichtum, mehr offenen Bodenstellen, verringerter Bodenbiodiversität, sowie Veränderungen in den Pflanzengesellschaften unterhalb der Module führen (Ambjörn & v. Brackel, 2022; Armstrong *et al.*, 2016; Clarkson & Woods, 2019, 2020; Knecht *et al.*, 2021; Lambert *et al.*, 2022; Lambert *et al.*, 2023; Landeck *et al.*, 2013; Seidler

³ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-niederschlagshoehe#teilweise-sehr-regenreiche-jahre-seit-1965>

et al., 2013; Solar Energy UK, 2023, 2024; Uldrijan *et al.*, 2022). Des Weiteren zeigten in einigen Anlagen Zeigerpflanzen (Säure, Stickstoff, Phosphor, Salz) unterhalb der Module extremere Bodenverhältnisse an, welche potenzielle Etablierungsstellen für invasive Arten sein können (Uldrijan *et al.*, 2023; Vervloesem *et al.*, 2022). Die Mechanismen hinter den beobachteten Nährstoffverlagerungen und Bodenbedingungen sind noch unbekannt (Uldrijan *et al.*, 2023; Vervloesem *et al.*, 2022).



Abb. 4 Blick unter den Modultisch mit spärlicher Vegetationsdecke im Falle einer südexponierten Anlage (links) und einer Ost-West-Anlage mit geringen Reihenabständen (rechts)

Es ist jedoch auch zu erwähnen, dass Unterschiede in der Vegetation zwischen den überstellten und offenen Bereichen nicht immer ausgeprägt sein müssen. Montag *et al.* (2016) berichten beispielsweise, dass von 11 untersuchten Solarparks nur zwei Anlagen signifikant geringere Artenzahlen von Blütenpflanzen unterhalb der Module aufwiesen, in einem Fall wurden sogar mehr Arten unter den Modulen erfasst. Die AutorInnen erklären dieses Ergebnis mit einer möglichen Verarmung der Artenzahlen zwischen den Modulreihen durch das regelmäßige Mähen der Anlage. Biesmeijer *et al.* (2020) fanden in einer Anlage ebenfalls keine Unterschiede in Artenzahlen, Deckung oder Höhe der Vegetation zwischen den Bereichen unterhalb und neben den Modultischen. Zur Interpretation des Ergebnisses verweisen die AutorInnen jedoch auf den heißen Sommer im Erfassungsjahr, durch den für die Vegetation in den beschatteten Bereichen durch eine verringerte Evapotranspiration bessere Wachstumsbedingungen vorliegen

Während die Vegetation unter den Modulen wie oben beschrieben eine geringere Relevanz für die Biodiversität haben kann (i. S. der Anzahl an Arten, die diese als Nahrungsquelle oder Habitat nutzen, Uldrijan *et al.*, 2022), können die besonnten Bereiche zwischen den Reihen bzw. in Randbereichen jedoch als naturnahes Grünland entwickelt werden und wichtige Ökosystemfunktionen übernehmen (Lambert *et al.*, 2023; Uldrijan *et al.*, 2022; Uldrijan *et al.*, 2023). Monitorings im Vereinigten Königreich geben an, dass die Randbereiche und die Modulzwischenbereiche floristisch die artenreichsten sind (Clarkson & Woods, 2019, 2020; Solar Energy UK, 2023, 2024). Raab (2015) berichtet ebenfalls, dass der hohe naturschutzfachliche

Wert einer betrachteten Anlage v. a. an größeren nicht mit Modulen überstellten extensiven Wiesenflächen liegt.

Die einzige den AutorInnen bekannte Studie, die die Begrünung innerhalb von PV-FFA direkt mit artenreichem Extensivgrünland im Umfeld der Anlage vergleicht, stammt von Hietel *et al.* (2021a). Bei einem Vergleich des Grünlands innerhalb von PV-FFA (Reihenabstände 3 - 6 m, mind. 8 Jahre in Betrieb, gemulcht, Vornutzung Acker) mit umliegenden Referenzflächen (mageres Flachland-Mähwiesen, FFH-LRT 6510) in Rheinland-Pfalz zeigte sich, dass die Anteile an lebensraumtypischen Arten und Magerkeitszeigern in den PV-FFA geringer waren als auf den Referenzflächen. Zudem fanden sich weniger Neophyten und Störzeiger auf den Referenzflächen, Rote-Liste-Arten fanden sich nur auf dem Referenzgrünland. Zur Vegetation unter den Modulen werden keine Aussagen getroffen. Die absoluten Artenzahlen waren jedoch aufgrund der diverseren Habitatstrukturen (Licht- und Schattenbereiche, Rand- und Saumstrukturen) innerhalb der PV-FFA höher. Hietel *et al.* (2021a) kommen zu dem Schluss, dass Solarparks, die auf Ackerflächen errichtet wurden, extensiv bewirtschaftet werden (Mulchen zweimal jährlich) und sich über mehrere Jahre entwickeln konnten, durchaus artenreiche Vegetationsbestände aufweisen können. Da sie jedoch nicht die Naturwertigkeit von extensiv genutztem artenreichem Grünland ohne Modulüberstellung erreichen, wird empfohlen Solarparks nicht auf derartigen Grünland-Standorten zu errichten.

Die potenzielle Entwicklung von artenreichem Grünland innerhalb von PV-FFA, auch in den Randbereichen, ist in der Regel mit einem an den Standort angepassten dauerhaften, an Zielarten angepassten, extensiven Pflegeregime (z. B. Mahd mit Abräumen, Extensivweide) verbunden (vgl. Dullau & Tischew, 2019; Hietel *et al.*, 2021b; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2019; Reinke, 2022). An gewissen Standorten kann unter speziellen Rahmenbedingungen auch ein angepasstes Mulchen zu artenreicherem Grünland führen, jedoch ist dies nicht pauschal zu erwarten (Hietel *et al.*, 2021a; Dullau & Tischew, 2019; Schreiber, 2013). Bei PV-FFA auf artenarmen Ausgangsflächen ohne umliegende Spenderflächen wertgebender Arten ist für das Ziel der Entwicklung von hochwertigerem Grünland in Absprache mit den zuständigen Naturschutzbehörden, ggf. nach einer Aushagerungsphase, die Ansaat mit einer standortgerechten autochtonen Saatgutmischung bzw. auch die Mahdgutübertragung von hochwertigen Spenderflächen notwendig. Die Entwicklung der Vegetation in PV-FFA wird jedoch ebenfalls von den lokalen Standortbedingungen, der bereits vorhandenen Samenbank bzw. vegetativen Pflanzenteilen sowie dem Eintrag von Arten aus der Umgebung abhängig sein (Seidler *et al.*, 2013). Nach Inbetriebnahme der Anlagen können sich aufgrund der baubedingten Störungen auch erst einmal von Ruderalarten geprägte, artenarme Vegetationsbestände entwickeln, die die Entwicklung des gewünschten Zielbiotops erschweren bzw. verzögern können (Ambjörn & v. Brackel, 2022; Herden *et al.*, 2009; Seidler *et al.*, 2013).

4.2.1 Fazit Vegetation

Beeinträchtigungen von offenen und halboffenen Lebensräumen können je nach natur-schutzfachlicher Wertigkeit des Ausgangszustand prinzipiell innerhalb von Solarparks ausgeglichen werden. Zum Erhalt, der standortgerechten Wiederherstellung bzw. Aufwertung überplanter hochwertiger Biototypen eignen sich jedoch v. a. Randbereiche und besonnte Streifen zwischen den Modulreihen⁴, vorausgesetzt die Flächen werden zielgerecht gepflegt. Gehölzrodungen können i. d. R. durch die Eingrünung der Randbereiche (Anpflanzung von Sträu-chern) kompensiert werden.

Die Bereiche unter den Modulen sind aufgrund der deutlich veränderten Standortbedingun-gen bei der Eingriffsbewertung und -bilanzierung differenziert zu betrachten. Dies führt v. a. bei Ost-West-Anlagen zu erheblichen Auswirkungen auf Biotope. Bei Ost-West-Anlagen kön-nen die Beeinträchtigungen durch die Beschattung evtl. durch die Einhaltung eines Abstands der Modultische am „Dachfirst“ minimiert werden. Die im Rahmen der Eingriffsbewertung im-mer wieder pauschal getroffene Annahme, dass sich im gesamten Solarpark als Zielbiotop flä-chig extensives (artenreiches) Grünland entwickelt, wird aufgrund der oben dargestellten Aus-wirkungen der Modulüberstellung als nicht haltbar bewertet.

Dies bedeutet, dass sich lediglich Biototypen geringer Wertigkeit, für die nach dem Bau keine Verschlechterung zu erwarten ist bzw. die auf den besonnten Teilbereiche ausreichend aufge-wertet werden können, innerhalb der PV-FFA kompensiert werden können. Der Ausgleich großräumig vorkommender höherwertiger Biototypen löst i. d. R. einen externen Ausgleichs-bedarf aus und kann nicht innerhalb von PV-FFA erbracht werden.

Eine umfassende Übersicht von Maßnahmen zur Vermeidung potenzieller Verbotstatbe-stände nach § 44 BNatSchG, die sich durch Beeinträchtigungen aus den verschiedenen bau-, anlage- und betriebsbedingten Wirkfaktoren von PV-FFA (s. Kap. 3.2) ergeben, ist in der fol-genden Tab. 4 dargestellt.

⁴ Die Breite der besonnten Streifen in ebenen, südausgerichteten Solarparks kann hier berechnet werden: <https://gute-solarparks.de/besonnter-streifen-in-solarparks>

Tab. 4 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von **Biototypen/ Vegetation** durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA (nach Hietel *et al.*, 2021b; Günnewig *et al.*, 2007; Seidel *et al.*, 2024, ergänzt u. verändert).

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
Baufeldfreimachung und Baustelleneinrichtung sowie Maschineneinsatz, Baustellenverkehr und Bautätigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> – Großflächige Schädigung/ Beseitigung der vorhandenen Vegetationsdecke – Zerstörung/ Verlust hochwertiger und geschützter Biotopstrukturen – Rodung von Gehölzen – Verstärkte Bodendegradation durch Verdichtung und Umschichtung 	<ul style="list-style-type: none"> – Bodenschutzkonzept/ Bodenkundliche Baubegleitung nach DIN 19639 – Erstellen eines Baustelleneinrichtungsplan mit Baueinrichtungsflächen, Baustraßen, Lager- und Stellflächen sowie Tabuflächen – Frühzeitiger Ausschluss hochwertiger und geschützter Biotopstrukturen – Erhalt kleinräumiger Biotopstrukturen (Gehölze, Einzelbäume) – frühzeitige Einsaat von Ackerflächen mit einer Feldgrasmischung (Bodenschutz) – Gleichwertige Wiederherstellung der Biotopstrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> – Ersatz/ Ausgleich durch die Neuanlage von Biotopstrukturen – Neupflanzung von Gehölzen
anlagenbedingt		intern	extern
Flächeninanspruchnahme (Flächenversiegelung und Überstellung der Bodenoberfläche mit Modulen)	<ul style="list-style-type: none"> – Kleinflächiger dauerhafter Verlust von Vegetationsflächen durch Versiegelung – Geringere Vegetationsdeckung, geringerer Artenreichtum und vegetationslose Flächen unter den Modultischen 	<ul style="list-style-type: none"> – Minimierung/ Begrenzung der zulässigen Versiegelung – Festlegung einer Mindesthöhe für die Module von 80 cm – Größere Modulreihenabstände mit besonnten Bereichen 	<ul style="list-style-type: none"> – Ersatz/ Ausgleich durch die Neuanlage von Biotopstrukturen

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
	<ul style="list-style-type: none"> - Verringerte Wasserverfügbarkeit für Pflanzen unter den Modultischen 	<ul style="list-style-type: none"> - Lückenhafte Montage der Module zur breitflächigen Verteilung des Niederschlagswassers unter den Modultischen - Begrenzung der Modultischtiefe um die Verschattung zu minimieren - Festlegung von Mindestabständen im Falle von Ost-West-ausgerichteter Anlagen im Bereich der Modulober- und Unterkanten - Einsaat mit standortgerechter, autochthoner Saatgutmischung oder Mahdgutübertragung 	
betriebsbedingt		intern	extern
Bewirtschaftung	<ul style="list-style-type: none"> - Verlust von Artenvielfalt durch eine ungeeignete Bewirtschaftung 	<ul style="list-style-type: none"> - Abschnittsweise Bewirtschaftung - Extensive Bewirtschaftung (Mahd mit Abräumen des Mahdguts oder Beweidung mit begrenzter Besatzdichte) - Ausschluss von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln - Belassen von Altgrasstreifen 	

4.3 Arthropoden / Insekten

4.3.1 Bestäuberinsekten / Tagfalter

Besonders im Vereinigten Königreich wurden auf ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen zahlreiche Aufnahmen von Bestäuberinsekten, v. a. Hummeln und Tagfaltern, sowie Untersuchungen zur Aufwertung von PV-FFA durch Blühflächen durchgeführt und haben gezeigt, dass Bestäuberinsekten die Anlagen nutzen und insbesondere von der Anlage von Blühflächen profitieren (Blaydes *et al.*, 2021; Blaydes *et al.*, 2022; Blaydes *et al.*, 2024; Clarkson & Woods, 2019, 2020; Montag *et al.*, 2016; Parker & McQueen, 2013; Solar Energy UK, 2023, 2024). Wo die Lage verschiedener Aufnahmetransekte in der Auswertung angegeben wurde, wurden jedoch mehr Arten und Individuen in den besonnten Randbereichen und artenreichen Biodiversitätsflächen erfasst als zwischen den Modulreihen (keine Angabe von Reihenabständen). Vergleiche mit umliegenden Grünland-Kontrollflächen wurden nicht durchgeführt. Zudem wurden teils eher verbreitete, generalistische Arten in ähnlichen Häufigkeiten wie in anderen Agroökosystemen kartiert (Blaydes *et al.*, 2024; Solar Energy UK, 2024). Graham *et al.* (2021) konnten für eine Anlage in den USA zeigen, dass Artenzahlen und Häufigkeit von Bestäubern in der Sonne und im Halbschatten höher als im Vollschatten waren, zudem hat sich der Blühzeitraum von Pflanzen im Halbschatten verzögert, wovon Insekten, die noch später im Jahr aktiv sind, profitieren könnten.

Peschel *et al.* (2019) werteten Kartierungen von PV-FFA auf Konversionsflächen aus, die zeigten, dass viele seltene bzw. spezialisierte Tagfalterarten die Anlage nutzen. Nach dem Bau wurden fast gleich viele Arten wie vor dem Bau kartiert. Hier ist anzumerken, dass sich in den Anlagen durch extensive Pflege (Mahd mit Abräumen) Trockenrasen entwickelt haben und sich im Umfeld hochwertige trockene Quellbiotop befinden. Generell wurde für Insekten beobachtet, dass der Abstand der Modulreihen zueinander einen Einfluss auf die Artenzahl und auf die erreichten Populationsdichten hat. Durch besonnte Streifen von mind. 3 m wurde in den untersuchten Kartierungen die Diversität erheblich erhöht.

Im Gegensatz hierzu wurde beispielweise bei der Kartierung einer Anlage in Niederbayern (Gabriel, 2018) eine eher artenarme Tagfalterfauna aufgenommen, obwohl für Tagfalter gute kleinklimatische und strukturelle Voraussetzungen vorlagen. Alle Probetransekte lagen in damals jungen Maßnahmenflächen außerhalb der überstellten Modulflächen. Begründet wurde dies durch das stark reduzierte Blütenangebot der Flächen verbunden mit dem naturschutzfachlich suboptimalen Pflegeregime (Mulchen, Mahd zu ungünstigen Zeitpunkten sowie Beweidung). Die eingezäunten Modulflächen wurden als vergleichsweise monoton beschrieben, weswegen keine weiteren Artenfunde erwartet wurden. Bei der Kartierung der Anlage Schornhof bei Berg im Gau (Stille, 2023) dominierten häufige, generalistische Arten und Arten der offenen Kulturlandschaften ohne besonderen Schutzstatus die Tagfalterfauna. Die vorliegende Ruderalvegetation wies hier ebenfalls eine geringe Diversität an Blütenpflanzen auf. Beide PV-FFA (Gabriel, 2018; Stille, 2023) liegen zudem relativ isoliert in intensiv genutzter Agrarlandschaft mit teils dokumentiertem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, was die Besiedlung spezialisierter und wenig mobiler Arten erschwert.

Zu den Auswirkungen von PV-FFA auf Tagfalter ist insbesondere eine Feldstudie von Reich *et al.* (2019) hervorzuheben, in der die Habitatnutzung unterschiedlicher Teilbereiche (Freiflächen, Modulzwischenräume) einer PV-FFA (ca. 3 m Reihenabstand) und die Bewegungsmuster der Falter auf der PV-FFA untersucht wurden. In der Anlage wurden v. a. typische Grünlandarten gefunden, jedoch auch der in Niedersachsen stark gefährdete bzw. vom Aussterben bedrohte Art-Komplex Kleiner/ Großer Sonnenröschen-Bläuling. Auf der PV-FFA wurden vor allem die Randbereiche der Flächen genutzt, die eine hohe Besonnung und ein vermehrtes Angebot blühender Pflanzen aufwiesen, v. a. auch geschotterte Zaunbereiche mit lückiger, weniger grasdominierter Vegetation. Die Bereiche zwischen den Modulreihen wurden weniger genutzt, wobei sowohl Individuen auf einzelnen Blüten sitzend als auch durchfliegend entlang der Reihen beobachtet wurden. Negative Effekte der technischen Elemente der Anlage konnten nicht beobachtet werden, einzelne Falterindividuen wurden sitzend auf den Modulen beobachtet. Zudem stellte die Einzäunung keine Barriere für die Falter dar, die Modulreihen konnten von den meisten Arten über- und unterflogen werden. Auch bei Einzäunung sind PV-FFA für Tagfalter nicht isoliert. Die AutorInnen kamen zu dem Schluss, dass die Strukturvielfalt, ein hohes Blütenangebot und verschiedene Feuchtegradienten auf PV-FFA – neben dem Einwanderungspotenzial der umliegenden Landschaft – entscheidende Faktoren für die Artenvielfalt sind. Auch ältere Studien bestätigten, dass das Vorkommen und die Artenzahlen von Tagfalterarten auf Vegetationstyp und Blütenreichtum zurückzuführen sind. Auch hier hielten sich Tagfalter, insbesondere nach der Mahd auf den PV-FFA, häufig in zaunnahen Saumstrukturen auf (Hübner *et al.* 2014 & Landeck *et al.* 2014 in Reich *et al.*, 2019).

4.3.2 Heuschrecken

Herden *et al.* (2009) konnten zeigen, dass auf Betriebsflächen mit heterogener Vegetation (ohne Einsaat, keine Pestizidbehandlung) auch anspruchsvollere Heuschreckenarten vorkommen können und dass die besonnten Streifen gegenüber den von den Modulen beschatteten Streifen deutlich bevorzugt werden. Dieser Effekt war sowohl bei trockenheitsliebenden als auch bei mesophilen und feuchtigkeitsliebenden Arten feststellbar.

Landeck *et al.* (2013) berichten ebenfalls, dass in PV-FFA u.a. für Heuschrecken kleinräumige Unterschiede zwischen Standorten in den Modulzwischenräumen und unterhalb der Module feststellbar waren. Während die Lebensgemeinschaften zwischen den Modulreihen meist noch mit denen des Offenlands außerhalb der Modulreihen vergleichbar sind, weisen die Gemeinschaften unterhalb der Module eine andere Artenzusammensetzung mit oftmals geringerer Besiedlungsdichte auf.

Bei einem Vergleich zweier benachbarter PV-FFA mit unterschiedlichem Reihenabstand (1,5 - 2,5 m und 5 - 6 m) konnte gezeigt werden, dass in der Anlage mit den breiteren Abständen mit 21 Arten 40 % mehr Heuschreckenarten als in der anderen Anlage gefunden werden konnten (Peschel *et al.*, 2019; Peschel & Peschel, 2023). Weiterhin wurden besonders auf Magerrasen oder vegetationsarme oder -lose Flächen angewiesene stenöke Arten wie Blauflügelige Sandschrecke, Italienische Schönschrecke und Rotleibiger Grashüpfer nur in der Anlage mit größerem Reihenabstand gefunden.

Wie bei den Tagfaltern wurde bei Gabriel (2018) auch eine eher artenarme Heuschreckenfauna aufgenommen, allerdings wurden mit der Lauschschrecke und dem Wiesengrashüpfer zwei auf der Vorwarnstufe der Roten Liste Bayerns eingestufte Arten mit regionaler Bedeutung kartiert. Im Gebiet liegen gute kleinklimatische und strukturelle Voraussetzungen für Heuschrecken vor, jedoch erschwert die isolierte Lage in einer intensiv genutzten Agrarlandschaft die Besiedlung. Bei Stille (2023) wurden ebenfalls, wie bei den Tagfaltern, auch bei den Heuschrecken v. a. Arten des Wirtschaftsgrünlands und der Brachen ohne Schutzstatus vorgefunden.

4.3.3 Laufkäfer und weitere Ordnungen

Eine der wenigen wissenschaftlichen Studien zu Arthropoden kommen von Zitzmann *et al.* (2024), die in drei PV-FFA (Reihenabstand 3,5 - 4 m, Tischtiefe 3 m) in Niedersachsen die Habitatnutzung innerhalb der Anlagen von Laufkäfern untersucht haben. Hierbei wurde die Nutzung der Randbereiche mit den Bereichen zwischen und unter den Modulreihen verglichen. In den Anlagen wurden 51 fast ausschließlich weit verbreitete generalistische Arten gefunden, für die die Randbereiche und Bereiche zwischen den Modulreihen ähnlich gute Habitatbedingungen aufwiesen. Die offeneren Bereiche unter den Modulen waren bzgl. der gefundenen Artenzahlen und der Aktivität der Käfer stark verarmt. Da selbst anpassungsfähige, weit verbreitete Arten Bereiche unter den Modulen kaum nutzen, wurde gefolgert, dass diese für seltene xerotherme Arten vermutlich keinen Wert als Habitat aufweisen.

Auch Landeck *et al.* (2013) berichten, dass in PV-FFA u.a. für Laufkäfer und Spinnen kleinräumige Unterschiede zwischen Standorten in den Modulzwischenräumen und unterhalb der Module feststellbar waren. Während die Lebensgemeinschaften zwischen den Modulreihen meist noch mit denen des Offenlands außerhalb der Modulreihen vergleichbar sind, weisen die Gemeinschaften unterhalb der Module eine andere Artenzusammensetzung mit oftmals geringerer Besiedlungsdichte auf.

Neben dem Vergleich des Grünlands innerhalb und außerhalb von PV-FFA verglichen Hietel *et al.* (2021 a) ebenfalls die Arthropodenfauna innerhalb und außerhalb der Anlagen. Innerhalb der Anlage wurde zwischen Licht- und Schattenbereichen, also Bereiche neben und unterhalb der Module, unterschieden. Die gefundenen Arthropoden-Abundanzen waren in Solarparks zwar vergleichbar mit den Referenzflächen, dies ließ sich jedoch nur mit der größeren Vielfalt an Lebensraumstrukturen, insbesondere Licht- und Schattenstrukturen in den Solarparks erklären, die auf den Referenzflächen ohne Modulüberstellung nicht vorhanden waren. Bei der hochwertigsten Grünland-Referenzfläche (FFH-LRT 6510) waren die Abundanzen höher als im Solarpark. Dennoch können PV-FFA vielfältige Arthropodengemeinschaften aufweisen. Aus den Fängen ließ sich ableiten, dass sehr tiefe Modultische (hier 7,5 m) aufgrund der ausgeprägten Schattenverhältnisse offenbar keinen guten Lebensraum mehr für Arthropoden darstellen. Während mehr Käfer auf den Flächen außerhalb der PV-FFA gefangen wurden, profitierten Spinnen und Weberknechte von der Strukturvielfalt in den Anlagen. Springschwänze wurden ebenfalls häufiger in den Anlagen, hier vermehrt in den Schattenbereichen gefangen. Zudem wurden relativ wenige Bestäuberinsekten, z. B. kaum Bienen, gefangen. Heuschrecken wurden fast ausschließlich in den besonnten Bereichen gefangen.

4.3.4 Aquatische Insekten

Solarmodule können durch ihre Reflexion von polarisiertem Licht von aquatischen Insekten mit Wasserflächen verwechselt werden und sogar zu Eiablage verleitet werden, wodurch die Module „ökologische Fallen“ darstellen können (Horváth *et al.*, 2010). Dieser „lake-effect“ kann durch eine Partitionierung der Module mit weißen Ränder oder speziellen Beschichtungen reduziert werden, es wird aber empfohlen PV-FFA nicht in die unmittelbare Nähe von Gewässern zu bauen (Fritz *et al.*, 2020; Száz *et al.*, 2016). Gewerblich nutzbare Systeme sind jedoch aktuell noch nicht bekannt. Die Lockwirkung der Module auf verschiedene Insekten wurde ebenfalls von Herden *et al.* (2009) untersucht, die Autoren konnten jedoch keine abschließende Bewertung abgeben. Aktuell gibt es nur wenig Belege über eine kausale Wirkung der lake-effect-Hypothese (Gómez-Catasús *et al.*, 2024).

4.3.5 Fazit Arthropoden / Insekten

Käfer, Bestäuber, Tagfalter und Heuschrecken zeigen die klare Präferenz in PV-FFA vorrangig die besonnten Randbereiche und Streifen zwischen den Modulreihen zu nutzen. Als ektotherme Artengruppe, deren Vorkommen eng an mikroklimatische Bedingungen, heterogene Vegetationsstrukturen und ein diverses Blühpflanzenangebot gebunden ist (Fartmann *et al.*, 2021), ist dies nicht unerwartet. Durch die Überstellung mit Modultischen ist nach dem aktuellen Kenntnisstand somit mit einer Beeinträchtigung der Lebensräume zu rechnen.

Für einen notwendigen internen Erhalt bzw. Ausgleich betroffener geschützter Arthropodenarten ist es unabdingbar, dass die überplanten Lebensräume innerhalb der Anlage erhalten bzw. gleichartig und gleichwertig wiederhergestellt und durch ein angepasstes extensives Pflegeregime dauerhaft erhalten werden (Bonari *et al.*, 2017; Fumy *et al.*, 2023). Entwickeln sich artenarme homogene Vegetationsbestände, ist mit einer Verarmung der Artengemeinschaften zu rechnen. Als mögliche Flächen eignen sich wie im vorherigen Unterkapitel v. a. die Randbereiche und besonnte Streifen zwischen den Modulreihen.

Die Möglichkeit betroffene geschützte Arthropodenarten innerhalb von PV-FFA zu erhalten bzw. wieder anzusiedeln hängt bei möglicher Erhaltung bzw. fachgerechter Wiederherstellung der Ausgangsbiotope zudem von dem Grad des Habitatverlusts durch die Modulüberstellung und je nach Grad der Beeinträchtigung während der Bauphase auch von der Möglichkeit der Wiederbesiedlung aus Rückzugsräumen oder benachbarten artenreichen Flächen ab. Die Berücksichtigung des Wiederbesiedlungspotenzials ist besonders bei isolierten „Biotopinseln“ von besonderer Bedeutung. Im Falle einiger streng geschützter, spezialisierter Tag- oder Nachtfalter, die an das Vorkommen weniger oder einzelner Wirtspflanzen gebunden sind (z. B. Dunkler Wiesenknopf-Ameisenbläuling, Quendel-Ameisenbläuling, Blauschillernder Feuerfalter), ist das kurzfristige Ausgleichspotenzial auch in den Randbereichen von PV-Anlagen kritisch zu sehen. Durch die baubedingten Störungen kann die Entwicklung des gewünschten Zielbiotoptyps mehrere Jahre in Anspruch nehmen.

Empfehlungen für Mindest-Reihenabstand zum teilweisen Erhalt der Habitate im Bereich der Module lassen sich lediglich aus Beobachtungen einzelner Anlagen ableiten. So geben einige

AutorInnen besonnte Mindestbreiten zwischen den Modulreihen von 2,5 - 3 m an, was in der Anlage einem Reihenabstand von ca. 5 - 6 m entsprach (Peschel *et al.*, 2019; Peschel & Peschel, 2023), andere empfehlen pauschal einen Reihenabstand von mind. 3,5 m, im Optimalfall 5 - 6 m (Hietel *et al.*, 2021a; Hietel *et al.*, 2021b). Ein systematischer Vergleich der Auswirkungen der Breite besonnener Streifen auf die Diversität und Aktivität von Artengruppen steht noch aus. Aufgrund der unterschiedlichen Reihenabstände und Modulhöhe von PV-FFA scheint die besonnte Breite als Kennwert das bessere Maß zu sein, in Bebauungsplänen sind besonders in bewegtem Gelände jedoch feste Reihenbreiten einfacher festzusetzen. Ist der Erhalt geschützter Arten bzw. die Entwicklung artenreicher Grünlandbestände das Ziel, sollten hier konservativ größere Reihenabstände von 5 - 6 m festgesetzt werden.

Eine umfassende Übersicht von Maßnahmen zur Vermeidung potenzieller Verbotstatbestände nach § 44 BNatSchG, die sich durch Beeinträchtigungen aus den verschiedenen bau-, anlage- und betriebsbedingten Wirkfaktoren von PV-FFA (s. Kap. 3.2) ergeben, ist in der folgenden Tab. 5 dargestellt.

Tab. 5 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von **Arthropoden/ Insekten** durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA (nach Hietel *et al.*, 2021b; Günnewig *et al.*, 2007; Seidel *et al.*, 2024, ergänzt u. verändert).

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
Baufeldfreimachung und Baustelleneinrichtung sowie Maschineneinsatz, Baustellenverkehr und Bautätigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> – Temporärer bis vollständiger Verlust des Habitats – Störung, Vertreibung, Tötung von Tieren – Störung von Nachtinsekten durch Baustellenbeleuchtung 	<ul style="list-style-type: none"> – Bauzeitenregelung – Freihaltung von Teilflächen – Erhalt und Integration wertvoller Biotopstrukturen (z. B. Saumstrukturen) – Verzicht oder Minimierung der Baustellenbeleuchtung – Insektenfreundliche Beleuchtung 	<ul style="list-style-type: none"> – Anlage angrenzender Ausweichhabitats
anlagenbedingt		intern	extern
Flächeninanspruchnahme (Flächenversiegelung und Überstellung der Bodenoberfläche mit Modulen)	<ul style="list-style-type: none"> – Keine geschlossenen Vegetationsdecke unter den Modulen – ggf. artenarme homogene Vegetation zwischen den Modulreihen – Verlust von Habitatstrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> – Belassen von Flächen mit lückenhafter Vegetation – Aussparung von besonnten Freiflächen zur Anlage von Blüh- und Saumstreifen – Größere Modulreihenabstände mit besonnten Bereichen – Begrenzte Tiefe der Modultische 	<ul style="list-style-type: none"> – Vernetzung mit angrenzenden Biotopen zur Steigerung des Einwanderungspotentials
Visuelle Wirkung der Modulfläche	<ul style="list-style-type: none"> – Verwechslung mit Wasserflächen (ökologische Falle) 	<ul style="list-style-type: none"> – PV-FFA nicht in der Nähe von sensiblen Gewässern errichten – Partitionierung der Module oder anti-reflektierende bzw. bioreplizierte Beschichtung (noch nicht verfügbar) 	

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
Baufeldfreimachung und Baustelleneinrichtung sowie Maschineneinsatz, Baustellenverkehr und Bautätigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> – Temporärer bis vollständiger Verlust des Habitats – Störung, Vertreibung, Tötung von Tieren – Störung von Nachtinsekten durch Baustellenbeleuchtung 	<ul style="list-style-type: none"> – Bauzeitenregelung – Freihaltung von Teilflächen – Erhalt und Integration wertvoller Biotopstrukturen (z. B. Saumstrukturen) – Verzicht oder Minimierung der Baustellenbeleuchtung – Insektenfreundliche Beleuchtung 	<ul style="list-style-type: none"> – Anlage angrenzender Ausweichhabitate
betriebsbedingt		intern	extern
Bewirtschaftung	<ul style="list-style-type: none"> – ggf. artenarme homogene Vegetation zwischen den Modulreihen – Beeinträchtigungen der Artenzahl und -vielfalt durch „falsche“ Pflege (großflächiges Mulchen) 	<ul style="list-style-type: none"> – Zeitlich angepasste Bewirtschaftung – Abschnittsweise Bewirtschaftung – Extensive Bewirtschaftung (Mahd mit Abräumen des Mahdguts oder Beweidung mit begrenzter Besatzdichte) – Ausschluss von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln – Belassen von Altgrasstreifen 	

4.4 Reptilien / Amphibien

Zu den Auswirkungen von Solarparks auf Reptilien und Amphibien liegen bislang immer noch keine wissenschaftlichen Studien aus vergleichbaren Lebensräumen vor (Schlegel, 2021; Lafitte *et al.*, 2023; Gómez-Catasús *et al.*, 2024).

Die Zauneidechse (FFH-Anhang IV) stellt jedoch eine der am häufigsten betroffenen planungsrelevanten Arten in PV-FFA dar, für die regelmäßig Vermeidungsmaßnahmen sowie interne Kompensationsmaßnahmen in den Randbereichen der Parks (Anlage von Sonn-, Versteck-, Eiablage- und Überwinterungsplätzen) sowie auf eigenen Maßnahmenflächen durchgeführt werden (Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V., 2021; Peschel *et al.*, 2019; Peschel & Peschel, 2023). Die Art besiedelt nachweislich Anlagen nach dem Bau wieder und profitiert hier deutlich von Reihenabständen von 5 - 6 m (Peschel & Peschel, 2023).

Je nach Region könnten auch weitere streng geschützte Reptilienarten wie z. B. die Mauereidechse oder auch die Schlingnatter betroffen sein, die oft syntop mit der Zauneidechse vorkommt. In England wurden in PV-FFA die Ringelnatter und die Waldeidechse als weitere in Deutschland besonders geschützte Reptilienarten gesichtet (Clarkson & Woods, 2020).

Bei Amphibien geht man davon aus, dass PV-FFA geeignete Landlebensräume darstellen bzw. als Wanderrouten dienen. Liegen Gewässer planungsrelevanter Amphibienarten bereits in Plangebieten vor, werden diese i. d. R. erhalten und umliegende Flächen gemäß der jeweiligen Habitatansprüche entwickelt (Peschel *et al.*, 2019). Amphibien können nachträglich PV-FFA besiedeln, falls sich dort geeignete stehende Gewässer entwickeln. So ist z. B. die nachträgliche Besiedlung der Kreuzkröte (FFH-Anhang IV) in einem Solarpark in Schleswig-Holstein bekannt (Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V., 2021). Hier ist anzumerken, dass die Art in ihrem Verbreitungsgebiet auch in temporären Kleingewässern auf Äckern vorkommen kann, weswegen Ackerflächen als Standort nicht pauschal als konfliktarm anzusehen sind. In PV-FFA Anlagen in England wurden mit dem Kammmolch (FFH Anhang IV) sowie dem in Deutschland jeweils besonders geschützten Teich- und Fadenmolch weitere geschützte Arten gefunden (Clarkson & Woods, 2020). Die Beschattung durch die Module wird für Amphibien im Landlebensraum als eher positiv bewertet (Peschel *et al.*, 2019), weswegen Reihenabstände von keiner besonderen Bedeutung zu sein scheinen. Jedoch könnten Amphibien indirekt von größeren Reihenabständen profitieren, da diese den Insektenreichtum im Gebiet fördern können (vgl. Kap. 4.3).

4.4.1 Fazit Amphibien / Reptilien

Aus den oben dargelegten Erfahrungswerten lässt sich schließen, dass die Erhaltung geschützter Reptilien- und Amphibienarten bei Erhaltung bzw. fachgerechter Wiederherstellung der Ausgangsbiootope möglich ist. U. U. ist die Umsetzung interner Kompensationsmaßnahmen erforderlich, die einen erhöhten Flächenbedarf (z. B. durch den Erhalt von Bestandsgewässern (inkl. Puffer)) und damit verbunden einen verringertem Flächenertrag durch erhöhte

Modulreihenabstände (ca. 5 - 6 m) bedingen. Für die Anlage von Sonn-, Versteck-, Eiablage- und Überwinterungsplätzen für Reptilien eignen sich v. a. die Randbereiche der Anlagen.

Eine umfassende Übersicht von Maßnahmen zur Vermeidung potenzieller Verbotstatbestände nach § 44 BNatSchG, die sich durch Beeinträchtigungen aus den verschiedenen bau-, anlage- und betriebsbedingten Wirkfaktoren von PV-FFA (s. Kap. 3.2) ergeben, ist in der folgenden Tab. 6 dargestellt.

Tab. 6 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von **Reptilien und Amphibien** durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA (nach Hietel *et al.*, 2021b; Günnewig *et al.*, 2007; Seidel *et al.*, 2024, ergänzt u. verändert).

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
Baufeldfreimachung und Baustelleneinrichtung sowie Maschineneinsatz, Baustellenverkehr und Bautätigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> – Temporärer Verlust von Habitaten – Töten, Verletzen oder Stören von Tieren 	<ul style="list-style-type: none"> – Erhalt und Integration wertvoller Biotopstrukturen (Kleingewässer, Feucht- oder Trocken Steinbiotope u.a.) – Bauzeitenregelung (z. B. Krötenwanderung) 	<ul style="list-style-type: none"> – Schaffung (temporärer) Ausweichhabitats – Umsiedlung
anlagenbedingt		intern	extern
Flächeninanspruchnahme (Flächenversiegelung und Überstellung der Bodenoberfläche mit Modulen)	<ul style="list-style-type: none"> – Teilweiser bis vollständiger Verlust von Habitatstrukturen 	<ul style="list-style-type: none"> – Wiederherstellung der beanspruchten Habitatstrukturen (Sonn-, Versteck-, Eiablage- und Überwinterungsplätze) – Größere Modulreihenabstände mit besonnten Bereichen – Aussparung von besonnten Freiflächen zur Anlage von Blüh- und Saumstreifen – Anlage von Kleinstrukturen (Le-sesteinhaufen, Kleinstgewässer o.a.) – Anlage von flachen Rückhalte- und Versickerungsmulden (Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes) 	<ul style="list-style-type: none"> – Ausgleich durch Neuanlage von Habitatstrukturen außerhalb der PV-FFA

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
Zaunanlage	<ul style="list-style-type: none"> – Barrierewirkung bei undurchlässigen Zaunanlagen/ Einfassung mit Kantensteinen o.ä. – Zerschneidung von Wanderkorridoren 	<ul style="list-style-type: none"> – Durchlässige Zaunanlage – Freihaltung/ Anlage von Wanderkorridoren 	
betriebsbedingt		intern	extern
Bewirtschaftung	<ul style="list-style-type: none"> – ggf. artenarme homogene Vegetation auf der Anlagenfläche durch Mulchen 	<ul style="list-style-type: none"> – Abschnittsweise Bewirtschaftung – Extensive Bewirtschaftung (Mahd mit Abräumen des Mahdguts oder Beweidung mit begrenzter Besatzdichte) – Ausschluss von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln – Belassen von Altgrasstreifen 	

4.5 Säugetiere

4.5.1 Fledermäuse

Auch zu Fledermäusen gibt es bisher kaum wissenschaftliche Untersuchungen (Lafitte *et al.*, 2023), in den letzten Jahren wurden jedoch erste wissenschaftliche Studien zu der Artengruppe veröffentlicht (Barré *et al.*, 2024; Szabadi *et al.*, 2023; Tinsley *et al.*, 2023).

Montag *et al.* (2016) lieferten für PV-FFA in England erste Hinweise, dass die Anlagen im Vergleich zu Kontrollflächen zwar nicht die Artenzahl, wohl aber die Aktivität von Fledermäusen negativ beeinflussen.

In Ungarn wurde die Aktivität von Fledermäusen in 15 PV-FFA und deren Umgebung untersucht (Szabadi *et al.*, 2023). In den Solarparks wurden 8 der insgesamt 9 vorkommenden Arten bzw. Artengruppen nachgewiesen. Die Anlagen wurden besonders häufig von Fledermausarten als Nahrungshabitat genutzt, die auch innerhalb von Siedlungen und auf landwirtschaftlichen Flächen jagen (v. a. Alpenfledermaus, Großer Abendsegler und Weißbrandfledermaus). Diese Arten wurden in den PV-FFA jedoch weniger häufig erfasst als in Grünflächen innerhalb von Siedlungen, was mit einem geringeren Wert der Solarparks für die Arten aufgrund fehlender Gehölze erklärt wurde. Arten wie Mopsfledermaus, Mückenfledermaus und Mausohren wurden in den Anlagen nicht bzw. in geringerer Aktivität als im Umland erfasst. Zudem vermerkten die AutorInnen, dass die Tiere durch die Oberflächen der PV-Module scheinbar nicht in ihrer Orientierung beeinträchtigt wurden. Dass die glatten Moduloberflächen mit Wasserflächen verwechselt werden („lake-effect“) bzw. als potenzielle „akustische Spiegel wirken und zu Kollisionen mit Fledermäusen führen können (Greif & Siemers, 2010; Greif *et al.*, 2017) konnte nicht bestätigt werden. Generell gibt es aktuell wenig Belege über eine kausale Wirkung der lake-effect-Hypothese (Gómez-Catasús *et al.*, 2024), hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

In England untersuchten Tinsley *et al.* (2023) die Fledermausaktivität innerhalb und am Rand von 19 Solarparks und verglichen diese mit Referenzflächen ohne PV-FFA. Sie wiesen insgesamt 10 Arten bzw. Artengruppen nach, die alle sowohl in den Solarparks als auch in den Referenzflächen nachgewiesen wurden. Bei 6 von 8 statistisch auswertbaren Arten/-gruppen wurde eine verringerte Aktivität innerhalb der PV-FFA festgestellt, teilweise in Abhängigkeit zur Lage innerhalb der Parks. Zu den negativ betroffenen Arten gehörten wie bei Szabadi *et al.* (2023) die Mückenfledermaus und Mausohren.

In einer dritten Studie wurden in Frankreich die Flugbahnen und das Jagdverhalten von 7 Fledermausarten bzw. -artengruppen innerhalb von 16 PV-FFA analysiert (Barré *et al.*, 2024). Die gefundenen Änderungen der Flugbahnen waren ein klarer Indikator für ein reduziertes Jagdverhalten, woraus geschlossen wurde, dass PV-FFA die Qualität von Jagdhabitaten verringern.

In einer Studie aus den USA (Smallwood, 2022) werden Fledermäuse als Opfer von Zäunen um PV-FFA genannt, die Schätzung beträgt 2,6 tote Tiere pro km und Jahr. Hierzu besteht weiterer Forschungsbedarf.

4.5.2 Nicht fliegende Säuger

Die einzige den AutorInnen bekannte (Klein)Säugerkartierung wurde in einer eingezäunten Anlage bei Berg im Gau durchgeführt (Stille, 2022). Hierbei wurden an mehreren Standorten innerhalb zweier Teilbereiche der Anlage jeweils 6 bzw. 7 Kleinsäugerarten und 8 bzw. 6 Mittel- und Großsäugerarten aufgenommen, darunter die fast flächendeckend verbreitete Zwergmaus, Arten aus der Familie der Marder, aber auch Feldhase, Fuchs oder Reh. Die meisten Arten wurden in einem Gehölzstreifen mit naturnaher Vegetation sowie einem Schilfbestand gefunden, zwischen und unter den Modulreihen war die Diversität niedriger. Mit Ausnahme der Zwergmaus dominierten generalistische Arten sowie Arten offener Kulturlandschaften die Kleinsäugerfauna. Arten wie die Feldspitzmaus und Zwergmaus besiedelten jedoch auch relativ artenarme Ruderalfluren, möglicherweise profitierten sie von der Deckung gegen Prädatoren (Eulen, Greifvögel).

Einzelne Sichtmeldungen von z. B. Feldhasen, Dachsen, Füchsen oder Rehen gibt es regelmäßig auch in eingezäunten Anlagen (Clarkson & Woods, 2019, 2020; Schwaiger, 2022; Solar Energy UK, 2023, 2024). Für Großsäuger (z. B. Reh, Rotwild) ist dennoch von einer Barrierewirkung durch die Einzäunung auszugehen (Günnewig *et al.*, 2007; Herden *et al.*, 2009), die v. a. im Bereich bedeutender Wildtierwege planerisch berücksichtigt werden sollte (Niemann *et al.*, 2017; Peter *et al.*, 2023).

Zu Beeinträchtigungen von PV-FFA auf streng geschützte Säugetiere (FFH-Anhang IV) wie z. B. Feldhamster, Otter oder Biber sind bisher keine Untersuchungen bekannt.

Durch den Bau einer PV-FFA auf mit Feldhamstern besiedelten Flächen könnten Baue zerstört und der Lebensraum entwertet werden. Andererseits könnten PV-FFA auch geschützte Rückzugsorte für die Art darstellen (Herden *et al.*, 2009). Laut dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019) wurde in einer Anlage bei Wien eine erfolgreiche Feldhamster Ansiedlung gemeldet. In Niedersachsen wird davon ausgegangen, dass Feldhamstervorkommen für PV-FFA nicht geeignet sind (Niedersächsischer Landkreistag *et al.*, 2023). In Solarparks könne aufgrund der dort herrschenden Bedingungen – insbesondere wegen des fehlenden Anbaus von Nahrungspflanzen sowie eines aufgrund des Angebots an An-sitzwarten hohen Prädationsdrucks – der Schutz des Feldhamsters nicht gewährleistet werden.

Inwiefern PV-FFA durch ihren technischen Charakter Wanderrouten von Wildkatze, Luchs, Wolf, Biber bzw. Otter beeinträchtigen können ist bisher ebenfalls nicht bekannt.

Generell ist auf Flächen mit älteren Bäumen oder durchgehenden Gehölzen mit bestehendem Verbund zu Wäldern eine Beeinträchtigung von Bilchen, wie z. B. der Haselmaus (FFH-Anhang

IV) durch die Baufeldfreimachung nicht auszuschließen. Hierbei handelt es sich jedoch um keine PV-spezifische Wirkung.

4.5.3 Fazit Säugetiere

Zur Bewertung der Auswirkungen von PV-FFA auf Fledermäuse (FFH-Anhang IV) ist aktuell noch zu wenig bekannt um abschließende Aussagen zu treffen. Die oben genannten Ergebnisse bilden jedoch eine fachliche Grundlage für die Forderung externer Ausgleichsflächen, falls die Beeinträchtigung von Jagdgebieten als erhebliche Beeinträchtigung der lokalen Population bewertet wird.

Gebiete mit aktuellen Feldhamstervorkommen stellen aufgrund der potenziellen erheblichen Beeinträchtigung der lokalen Vorkommen Ausschlussgebiete für PV-FFA dar.

Erhebliche Beeinträchtigungen von Wild-Populationen durch das Blockieren bedeutender Wildwechsel lassen sich i. d. R. durch die Freihaltung von funktionalen Korridoren (vgl. Peter *et al.*, 2023; Reich *et al.*, 2019), d. h. unter Verringerung der Flächenkulisse vermeiden.

Eine umfassende Übersicht von Maßnahmen zur Vermeidung potenzieller Verbotstatbestände nach § 44 BNatSchG, die sich durch Beeinträchtigungen aus den verschiedenen bau-, anlage- und betriebsbedingten Wirkfaktoren von PV-FFA (s. Kap. 3.2) ergeben, ist in der folgenden Tab. 7 dargestellt.

Tab. 7 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von Fledermäusen und nicht fliegenden **Säugetieren** durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA (nach Hietel *et al.*, 2021b; Günnewig *et al.*, 2007; Seidel *et al.*, 2024, ergänzt u. verändert).

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
Baufeldfreimachung und Baustelleneinrichtung sowie Maschineneinsatz, Baustellenverkehr und Bautätigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> – Temporärer Verlust von Habitaten – Temporäre Störung, Vertreibung von Tieren 	<ul style="list-style-type: none"> – Bauzeitenregelung 	<ul style="list-style-type: none"> – Schaffung (temporärer) Ausweichhabitats
anlagenbedingt		intern	extern
Flächeninanspruchnahme (Flächenversiegelung und Überstellung der Bodenoberfläche mit Modulen)	<ul style="list-style-type: none"> – Evtl. eingeschränkte Nutzung als Jagdhabitat (Fledermäuse) – Verlust von (Teil-)Habitaten durch Nutzungsänderung – Entwertung von Habitatstrukturen durch die Überstellung mit Modulen 	<ul style="list-style-type: none"> – Erhalt und Integration essenzieller Biotopstrukturen – Größere Modulreihenabstände mit besonnten Bereichen – Freihaltung breiter Randstreifen zwischen Zaunanlage und der Modulfläche 	<ul style="list-style-type: none"> – Aufwertung externer Nahrungshabitats
Zaunanlage	<ul style="list-style-type: none"> – Erhöhtes Verletzungs- und Tötungsrisiko durch Übersteigschutz (Stacheldraht) – Barrierewirkung – Zerschneidung von Wanderkorridoren 	<ul style="list-style-type: none"> – Verzicht auf einen Übersteigschutz (Fledermäuse) – Durchlässige Zaunanlage (Kleinsäuger) – Freihaltung/ Anlage von funktionalen Wildkorridoren bei großen PV-FFA (Mittel- u. Großsäuger) 	
betriebsbedingt		intern	extern
Bewirtschaftung	<ul style="list-style-type: none"> – Temporäre Störung – Verletzen/ Töten von Individuen 	<ul style="list-style-type: none"> – Zeitlich angepasste Bewirtschaftung 	

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
	<ul style="list-style-type: none"> – ggf. artenarme homogene Vegetation auf der Anlagenfläche durch Mulchen 	<ul style="list-style-type: none"> – Abschnittsweise Bewirtschaftung – Extensive Bewirtschaftung (Mahd mit Abräumen des Mahdguts oder Beweidung mit begrenzter Besatzdichte) – Ausschluss von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln – Belassen von Altgrasstreifen 	

4.6 Vögel

4.6.1 Allgemeine Auswirkungen auf Vögel

Bei der Beschreibung der allgemeinen Auswirkungen von PV-FFA auf Vogelarten stellte ein aktuelles Review von Birdlife Österreich (Strohmeier & Kuhn, 2023) eine wichtige Grundlage dar, an deren Übersicht sich im Folgenden orientiert wurde. Zu den wichtigsten Veränderungen durch PV-FFA gehört die Veränderung des Brut-, Rast- und Nahrungslebensraums. Durch die technischen Anlagenbestandteile werden Offen- und Halboffenlandbiotop technisch überprägt und im Charakter je nach Umsetzung der Anlage stark verändert. Verstärkt werden mögliche Wirkungen durch die sich i. d. R. ändernde Bewirtschaftung der betroffenen Flächen. Zudem können sich durch Rodungen von Gehölzen, Landschaftselemente verändern. Dies kann z. B. für gehölzbrütende Arten (Neuntöter, Raubwürger, Bluthänfling) zum direkten Verlust von Fortpflanzungsstätten führen, für andere Arten lediglich das Nahrungsangebot verschlechtern. Durch den Zaun, die Modultische sowie die Randeingrünung werden wiederum auch neue Ansitz- und Singwarten geschaffen, die von vielen Arten genutzt werden (Neuntöter, Bluthänfling, Steinschmätzer, Gelbspötter, Bachstelze, aber auch Greifvögel wie Mäusebussard, Turmfalke) und die sich v. a. in strukturarmen Gebieten für Arten wiederum positiv auswirken können (Herden *et al.*, 2009; Lieder & Lumpe, 2011; Schwaiger, 2022; Tröltzsch & Neuling, 2013; Strohmeier & Kuhn, 2023). Zudem konnten im Winter in schneefreien Bereichen unter den Modulen nahrungssuchende Kleinvögel beobachtet werden (Herden *et al.*, 2009).

Für v. a. Offenlandarten, die auf eine weiträumig offene Landschaft angewiesen sind, können die neugeschaffenen Vertikalstrukturen wiederum zu einer kompletten Meidung der Anlage oder der Verlagerung ihrer Reviere in größere Freiflächen innerhalb der Anlagen führen. Es gibt jedoch Brutnachweise, die dafür sprechen, dass in Einzelfällen das Abstandsverhalten von z. B. Kiebitz und Feldlerche gegenüber PV-FFA geringer ist, als gegenüber geschlossenen Gehölzreihen und Waldrändern (Schwaiger, 2022). Neben den baulichen Veränderungen sind die Bewirtschaftung und die sich hierdurch entwickelnde Vegetation entscheidend für die Habitaneignung von PV-FFA für Vogelarten.

Es gibt zudem Hinweise auf mögliche Kollisionen von Vögeln mit PV-Modulen. Informationen zu Faktoren die das Kollisionsrisiko beeinflussen sowie Schätzungen von Opferzahlen sind kaum vorhanden, zudem sind zugrunde liegenden Mechanismen noch unklar (Gómez-Catasús *et al.*, 2024). Als Ursache für Kollisionen wird v. a. die Verwechslung mit Wasserflächen diskutiert, für eine kausale Wirkung dieser lake-effect-Hypothese gibt es aktuell jedoch noch wenig Belege (Gómez-Catasús *et al.*, 2024; Kosciuch *et al.*, 2021).

In einer Studie aus Südafrika wurden für eine 170 ha große PV-FFA ca. 435 Schlagopfer pro Jahr extrapoliert (Visser *et al.*, 2019). In Kalifornien wurden für PV-FFA ca. 12 Kollisionsopfer pro MW und Jahr geschätzt (Smallwood, 2022). Laut Jarčuška *et al.* (2024) scheint es, dass Kollisionsopferzahlen bei PV-FFA niedriger sind als bei anderen anthropogenen Strukturen, jedoch besteht noch weiterer Forschungsbedarf. Strohmeier & Kuhn (2023) berichtet von einigen

Studien, die Verhaltensweisen bei Vögeln beobachteten, die einer Inspektion von Wasserflächen glich.

Es ist prinzipiell möglich, dass durch großflächige PV-FFA Migrationsrouten unterbrochen werden können und bekannte Rastplätze ihre Funktion verlieren können. Hierzu besteht noch grundlegender Forschungsbedarf. Es wird vermutet, dass Zug- und Gastvögel neue Anlagen mit Wasserflächen und somit Orientierungsmarken verwechseln können (Strohmeier & Kuhn, 2023).

Mögliche Blendwirkungen, Schall- und Lichtemissionen werden aufgrund der geringen Relevanz bzw. der räumlichen Begrenzung um Traföhäuschen als vernachlässigbar bewertet (Strohmeier & Kuhn, 2023; Herden *et al.*, 2009). Sensible Vogelarten (z. B. Flussregenpfeifer) können durch Wartungs- oder Reinigungsarbeiten bei der Brut gestört werden (Tröltzsch & Neuling, 2013).

4.6.2 Auswirkungen auf Arten des Offen- und Halboffenlands

Die Vögel gehören zu der Gruppe von Arten, die standardmäßig bei PV-Planungen untersucht werden. Zu den Auswirkungen von PV-FFA auf konkrete Arten liegen mit der Aufnahme von Jarčuška *et al.* (2024) bisher keine wissenschaftliche Studien vor, die systematisch eine größere Anzahl an PV-FFA vergleichen. Zaplata & Dullau (2022) weisen im Jahr 2022 darauf hin, dass trotz zahlreicher Berichte und einiger Reviews immer noch kein vollständiges Bild der Auswirkungen gibt, aus dem sich Vogelschutzmaßnahmen in PV-FFA ableiten lassen. In vielen Fällen herrscht immer noch Unklarheit darüber, wie sich die Errichtung von PV-FFA auf bestimmte Vogelarten auswirkt (Strohmeier & Kuhn, 2023).

Probleme sind u.a. die in Kap. 4.1 beschriebenen Informationslücken zu einzelnen Vorhaben, aber auch ungenaue Angaben einiger Quellen zu Brutstatus oder Verortung des Nachweises innerhalb des Parks, die eine Bewertung des Einflusses der Modulüberstellung und somit die Übertragbarkeit lokaler Ergebnisse erschweren. Bei der Bewertung einzelner Anlagen sind zudem mehrjährige Monitorings notwendig, damit z. B. die Auswirkungen der Vegetationsentwicklung oder einer verzögerten Aufgabe der Brutplatztreue von Arten auf Vogelbestände bewertet werden kann (Heindl, 2016; Tröltzsch & Neuling, 2013).

Es gibt in den hier zitierten Quellen eine Vielzahl von Vogelarten, die als Nahrungsgast innerhalb von Anlagen gesichtet wurden, auf diese wird hier, mit Ausnahme der Greifvögel, im Detail nicht eingegangen. Im Folgenden werden v. a. die Auswirkungen auf Brutreviere von Vogelarten bewertet.

Die den AutorInnen einzig bekannte wissenschaftliche Studie (Jarčuška *et al.*, 2024) untersuchte in 32 ausschließlich auf Energieerzeugung ausgerichteten (d. h. naturfernen) PV-FFA in der Slowakei die Auswirkungen der Anlagen auf die Vogelfauna. Die Vorkommen in den Anlagen wurden jeweils mit einer Kontrollfläche verglichen, deren Nutzung der Vornutzung der Anlage entsprach (Grünland oder Acker). In den PV-FFA wurde ein größeres Artenreichtum

sowie eine höhere Diversität als auf den Kontrollflächen gefunden, ebenso ein größerer Reichtum und eine größere Häufigkeit an insektenfressenden Arten. In Solarparks, die auf Grünland errichtet wurden, war die Häufigkeit von am Boden jagenden Arten größer als auf Grünland-Kontrollflächen. Für bodenbrütender Arten wurden keine Unterschiede zwischen Solarparks und Kontrollflächen festgestellt. Eine Ordinationsanalyse zeigte, dass Solarparks eine andere Artengemeinschaft aufweisen und die Artenvielfalt in der Agrarlandschaft erhöhen. Hausrotschwanz, Schwarzkehlchen, Bachstelze und Feldsperling wurden von den AutorInnen als „Zeigerarten“ von Solarparks identifiziert. Die Ergebnisse wurden mit der erhöhten Strukturvielfalt in den Solaranlagen erklärt, was die positiven Wirkungen für naturnahe Anlagen noch weiter erhöhen könnte. Hausrotschwanz, Bachstelze und Feldsperling brüteten in den Modulgestellen, das Schwarzkehlchen brütete unter den Modulen bzw. in den Randbereichen. Die Feldlerche wurde hingegen vorwiegend auf den Ackerkontrollflächen erfasst. Die AutorInnen werfen jedoch auch die Frage auf, ob Solarparks nicht als „ökologische Fallen“ wirken können, da die Nester in den Modulgestellen leichter von Räubern wie Mardern oder Eichhörnchen erreicht werden könnten. Hierzu besteht weiterer Forschungsbedarf.

Die Studie bestätigt die Ergebnisse anderer Studien, dass PV-FFA im Vergleich zu intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen auch von Vogelarten mehr genutzt werden (Gabriel, 2018; Lieder & Lumpe, 2011; Montag *et al.*, 2016; Raab, 2015; Peschel *et al.*, 2019). Zu der Eignung als Bruthabitat kann sie aufgrund lediglich zweier Begehungen der Anlagen jedoch, mit Ausnahme der konkret genannten Nestnachweise der Indikatorarten, lediglich Hinweise geben (vgl. Südbeck *et al.*, 2005). Zudem lassen sich keine Schlüsse zur räumlichen Verteilung der Arten innerhalb der Anlage ziehen.

Sichtet man veröffentlichte Gutachten, welche die Lage der Revierzentren bzw. vermutete Neststandorte verorten, so fällt auf, dass diese häufig in Randbereichen oder größeren Freiflächen bzw. breiteren Wegen (vgl. z.B. Abb. 3-9 in Peschel *et al.*, 2019) innerhalb der Anlagen liegen (Gabriel, 2018; Schwaiger, 2022; Tröltzsch & Neuling, 2013). In einem aktuellen Review (Strohmeier & Kuhn, 2023) wurde daher anhand von Quellen, welche Informationen zur Verortung von Revieren bzw. von Brutpaaren enthielten, untersucht, welche Bereiche innerhalb von Anlagen von einzelnen Offenlandarten besiedelt werden. Im Ergebnis kommen die AutorInnen zu dem Schluss, dass zentrale Flächen von PV FFA ohne offene Bereiche artenarm zu sein scheinen und niedrigere Bestandsdichten aufweisen als die Randbereiche. Arten wie Wachtelkönig, Raubwürger, Neuntöter wurden durch die Überbauung mit PV-FFA (und einhergehender Gehölzrodung) völlig verdrängt, hingegen wurden für Nischenbrüter wie die Bachstelze, aber auch den Bluthänfling in den Gestellen neue Nistmöglichkeiten geschaffen. Bei Arten, die (Teil-)Reviere in den Randbereichen der Anlagen haben, ist zumindest davon auszugehen, dass diese durch den Bau angrenzender PV-FFA nicht aus ihrem Habitat verdrängt werden. Die artspezifischen Ergebnisse werden an dieser Stelle nicht im Einzelnen wiedergegeben, hier wird auf das Gutachten (Strohmeier & Kuhn, 2023) verwiesen.

Aufgrund der deutlichen Hinweise auf eine Abhängigkeit der Habitataignung der überbauten Flächen von den Modulreihenabständen für anderer Artengruppen (vgl. vorherige Kapitel

sowie Peschel *et al.*, 2019) wurde im Folgenden der Ansatz von Strohmeier & Kuhn (2023) übernommen und deren Ergebnisse weiter nach den Modulreihenabständen der untersuchten Solarparks differenziert. Die Angaben der Reihenabstände wurden aus den Texten entnommen oder bei fehlender Angabe aus Luftbildern in Kartendiensten ausgemessen. Zudem wurden weitere Quellen berücksichtigt, die Angaben zur Lage von Revieren oder Neststandorten gemacht haben. Da mehr Faktoren die Habitataignung von PV-FFA beeinflussen als nur der Modulreihenabstand (s. Kap.4.1), die Erkenntnisse aus einzelnen Anlagen nicht generell auf andere Anlagen übertragen werden können sowie aufgrund der geringen Stichprobenzahl sollte die in Tab. 8 dargestellte Revier eignung nicht einfach als Bewertungsgrundlage übernommen werden, sondern im Einzelfall unter Berücksichtigung der angegebenen Quellen ebenfalls kritisch überprüft werden. So werden in einigen Veröffentlichungen auch positive Auswirkungen auf Arten beschrieben, die aufgrund fehlender Angabe von Reihenabständen oder der Verortung der Reviere jedoch nicht berücksichtigt werden konnten (z. B. Raab, 2015; Zaplata & Stöfer, 2022).

In der nach Reihenabständen differenzierten Betrachtung (s. Tab. 8) profitieren Arten wie Bluthänfling, Braunkehlchen, Goldammer, Grauammer und evtl. auch die Feldlerche zumindest in den betrachteten Anlagen von größeren Reihenabständen, während die Haubenlerche scheinbar auch bei größeren Reihenabständen in die Randbereiche verdrängt wird. Bei Arten wie der Grauammer oder dem Braunkehlchen, bei denen Bestandsrückgänge beobachtet wurden, ist zudem nicht klar, ob sich der niedrigere Besatz bei größeren Reihenabständen langfristig in der Anlage hält. Bachstelze, Hausrotschwanz, Feldsperling und Schwarzkehlchen brüten wie es scheint unabhängig von den betrachteten Reihenabständen in bzw. unter den Modulen. Viele streng geschützte oder gefährdete Arten werden durch die Überbauung mit Modulen jedoch in die Randbereiche von PV-FFA verdrängt. Kiebitz, Turteltaube oder Wendehals meiden die Anlagen komplett (Strohmeier & Kuhn, 2023; Schwaiger, 2022; Tröltzsch & Neuling, 2013).

Tab. 8 Eignungstrends verschiedener Anlagenbereiche als Brutrevier von in PV-FFA-kartierten Brutvogelarten⁵. Die abgeleiteten Modulreihenabstände dienen der groben Orientierung, PV-FFA mit Reihenabständen zwischen 4 m und 5 m fehlen in den Quellen. Die Quellen Nr. 1 und 2 sind besonders hoch zu bewerten, da in diesen mehrere PV-FFA Anlagen ausgewertet wurden. Die Artenliste stellt keine vollständige Auflistung aller in PV-FFA gesichteten Vogelarten dar.

■: deutliche Hinweise auf Eignung / Nachweise in der Mehrheit der Anlagen, ■: teilweise Eignung / Nachweise in einigen Anlage bzw. in Einzelfällen auch reduzierte Eignung möglich, ■: reduzierte Eignung / Besatzrückgang, ■: Aufgabe von Brutrevieren, ■: widersprüchliche Ergebnisse ohne klaren Trend, -: keine Angaben

wiss. Name	dt. Name	RL-D	Schutz-status	EU-V Anh.1	Brutplatz	Revierzentren / Brutnachweise			Bemerkung	Quellen
						Modulbereiche < 3 - 4 m Reihenabstand	Modulbereiche > 5 - 6 m Reihenabstand	Freiflächen und Randbereiche (inkl. Randeingrünung)		
<i>Motacilla alba</i>	Bachstelze	-	§	-	Nischenbrüter	■	■	-	Brut in Modulträgern	1,3,7,8
<i>Anthus trivialis</i>	Baumpieper	V	§	-	Bodenbrüter	■	-	■		8
<i>Luscinia svecica</i>	Blaukehlchen	-	§§	+	Bodenbrüter	■	-	■		3
<i>Carduelis cannabina</i>	Bluthänfling	3	§	-	Gehölzbrüter	■	■	■	Brut in Modulträgern	2,3,8
<i>Anthus campestris</i>	Brachpieper	1	§§	+	Bodenbrüter	■	-	■		2
<i>Saxicola rubetra</i>	Braunkehlchen	2	§	-	Bodenbrüter	■	■	■		2
<i>Curruca communis</i>	Dorngrasmücke	-	§	-	Gehölzbrüter	■	-	■		3,4,8
<i>Alauda arvensis</i>	Feldlerche	3	§	-	Bodenbrüter	■	■	■		2,3,6,8
<i>Passer montanus</i>	Feldsperling	V	§	-	Höhlenbrüter	■	■	■	Brut in Modulträgern	1,3,4

⁵ Da mehr Faktoren die Habitateignung von PV-FFA beeinflussen als nur der Modulreihenabstand (s. Kap.4.1), die Erkenntnisse aus einzelnen Anlagen nicht generell auf andere Anlagen übertragen werden können sowie aufgrund der geringen Stichprobenzahl sollte die in Tab. 8 dargestellte Reviereignung nicht einfach als Bewertungsgrundlage übernommen werden, sondern im Einzelfall unter Berücksichtigung der angegebenen Quellen ebenfalls kritisch überprüft werden.

wiss. Name	dt. Name	RL-D	Schutz-status	EU-V Anh.1	Brutplatz	Revierzentren / Brutnachweise			Bemerkung	Quellen
						Modulbereiche < 3 - 4 m Reihenabstand	Modulbereiche > 5 - 6 m Reihenabstand	Freiflächen und Randbereiche (inkl. Randeingrünung)		
<i>Charadrius dubius</i>	Flussregenpfeifer	V	§§	-	Bodenbrüter	-	-		Brutaufgabe durch menschliche Störung	7
<i>Hippolais icterina</i>	Gelbspötter	-	§	-	Gehölzbrüter		-			4
<i>Emberiza citrinella</i>	Goldammer	-	§	-	Bodenbrüter					3,4,7
<i>Emberiza calandra</i>	Graumammer	V	§§	-	Bodenbrüter					2,8
<i>Picus viridis</i>	Grünspecht	-	§§	-	Höhlenbrüter		-		Brut in Gehölzen	4
<i>Galerida cristata</i>	Haubenlerche	1	§§	-	Bodenbrüter					2,7
<i>Phoenicurus ochruros</i>	Hausrotschwanz	-	§	-	Nischenbrüter				Brut in Modulträgern	1,3,7,8
<i>Lullula arborea</i>	Heidelerche	V	§§	+	Bodenbrüter					2,8
<i>Vanellus vanellus</i>	Kiebitz	2	§§	-	Bodenbrüter					3
<i>Sylvia corruca</i>	Klappergrasmücke	-	§	-	Gehölzbrüter		-			4
<i>Lanius collurio</i>	Neuntöter	-	§	+	Gehölzbrüter				In Einzelfall Brut in Modulträgern (Heindl, 2014)	2
<i>Lanius excubitor</i>	Raubwürger	1	§§	-	Gehölzbrüter		-			2,7
<i>Perdix perdix</i>	Rebhuhn	2	§	-	Bodenbrüter		-			2,3
<i>Saxicola rubicola</i>	Schwarzkehlchen	-	§	-	Bodenbrüter				Brutnachweis unterhalb der Module (1)	1,2,8
<i>Sylvia nisoria</i>	Sperbergrasmücke	1	§§	+	Bodenbrüter	-	-			2

wiss. Name	dt. Name	RL-D	Schutz-status	EU-V Anh.1	Brutplatz	Revierzentren / Brutnachweise			Bemerkung	Quellen
						Modulbereiche < 3 - 4 m Reihenabstand	Modulbereiche > 5 - 6 m Reihenabstand	Freiflächen und Randbereiche (inkl. Randeingrünung)		
<i>Sturnus vulgaris</i>	Star	3	§	-	Höhlenbrüter		-			3,4,8
<i>Oenanthe oenanthe</i>	Steinschmätzer	1	§	-	Boden-/Nischenbrüter					7
<i>Carduelis carduelis</i>	Stieglitz	-	§	-	Gehölzbrüter		-			3,4,8
<i>Streptopelia turtur</i>	Turteltaube	2	§§	-	Gehölzbrüter		-			7
<i>Coturnix coturnix</i>	Wachtel	V	§	-	Bodenbrüter				Nachweis bei > 40 m breiten Freiflächen	2
<i>Crex crex</i>	Wachtelkönig	1	§§	+	Bodenbrüter	-		-		2
<i>Scolopax rusticola</i>	Waldschnepfe	V	§	-	Bodenbrüter			-		7
<i>Jynx torquilla</i>	Wendehals	3	§§	-	Höhlenbrüter	-	-			2
<i>Upupa epops</i>	Wiedehopf	3	§§	-	Höhlenbrüter		-		Brut in Nistkästen	2,7
<i>Anthus pratensis</i>	Wiesenpieper	2	§	-	Bodenbrüter		-			8
<i>Motacilla flava</i>	Wiesenschafstelze	-	§	-	Bodenbrüter		-			3,5
<i>Caprimulgus europaeus</i>	Ziegenmelker	3	§§	+	Bodenbrüter		-			7

Quellen: 1: Jarčuška *et al.*, 2024, 2: Strohmeier & Kuhn, 2023 (berücksichtigt z.T. 4, 5, 7), 3: Schwaiger, 2022, 4: Gabriel, 2018, 5: Heindl, 2016, 6: Montag *et al.*, 2016, 7: Tröltzsch & Neuling, 2013, 8: Lieder & Lumpe, 2011

RL-D (Rote Liste der Brutvögel Deutschlands. 6. Fassung, Ryslavý *et al.*, 2020): - V: Vorwarnliste1: Vom Aussterben bedroht, 2: Stark gefährdet, 3: Gefährdet; Schutzstatus gem § 7 Abs. 2 Nr.13 und 14 BNatSchG.: §: besonders geschützt, §§: streng geschützt

Auswirkungen auf die Feldlerche

Da in Planungen zu PV FFA auf landwirtschaftlich genutzten Flächen regelmäßig Feldlerchen kartiert werden und einen externen Ausgleichsbedarf, z. B. in Form von „Lerchenfenstern“ oder Blüh- und Brachstreifen auslösen, soll hier kurz auf die widersprüchliche Datenlage eingegangen werden. Es gibt in der Literatur Brutnachweise aus den mit Modulen überstellten Bereichen mit Reihenabständen von 3 m (Lieder & Lumpe, 2011), 4 m (Strohmeier & Kuhn, 2023) oder von über 6 m (Tröltzsch & Neuling, 2013). Gleichzeitig gibt es auch Anlagen mit Reihenabständen von ca. 4 - 5 m (Gabriel, 2018; Schwaiger, 2022; Tröltzsch & Neuling, 2013), in denen die Feldlerche in die Randbereiche oder komplett aus der Anlage vertrieben wurde. Zaplata & Stöfer (2022) berichten von Anlagen mit deutlichen Bestandszuwächsen, auch in bebauten Bereichen, ohne auf bauliche Details einzugehen. In England werden Feldlerchen regelmäßig singend in PV FFA gesichtet, jedoch konnte bis heute kein Nestnachweis innerhalb der Modulbereiche erbracht werden (Fox, 2022; Solar Energy UK, 2023, 2024). Zudem ist dort bekannt, dass sie Anlagen auch mit ihren Jungvögeln als Nahrungshabitat nutzen (Fox, 2022).

Anekdotisch hört man immer wieder von vielen Feldlerchen innerhalb von Anlagen; die AutorInnen des Berichts haben ebenfalls singende Feldlerchen in einer neu gebauten Anlage mit lediglich 2,5 m Reihenabstand gesichtet. In der Anlage waren die Modultische jedoch relativ niedrig (< 2,0 m), auch bei den Nachweisen in der Anlage mit 3 m Reihenabstand wurde die Modulhöhe mit lediglich 1,5 m angegeben (Lieder & Lumpe, 2011). Möglicherweise ist für die Art die Höhe der Anlage ebenfalls relevant. Allerdings könnten solche Sichtungen unmittelbar nach dem Bau, die kein sicherer Nachweis für eine Brut sind, auch durch die Brutplatztreue der Art bedingt sein, welche wie bei anderen erst in der Zukunft verzögert aufgegeben wird (Fox, 2022).

Wie bereits erwähnt, beeinflusst mehr als nur der Reihenabstand die Habitataignung, was im Fall der Feldlerche besonders deutlich zu sein scheint. Angaben zur Vegetationsstruktur und -höhe sowie der Bewirtschaftung sind besonders für die Bewertung von bodenbrütenden Arten relevant. Dies zeigt umso mehr den Bedarf an großräumigen systematischen Untersuchungen, die eine Vielzahl von Parametern in den Anlagen aufnehmen.

Auswirkungen auf Greifvögel

Durch den Bau von PV-FFA wird i. d. R. nicht in Waldflächen oder Horstbäume von Greifvögeln eingegriffen. Beeinträchtigungen von Brutvorkommen von Greifvögeln durch PV-FFA sind nicht bekannt, dennoch werden zur Vermeidung bau- und betriebsbedingte Störungen während der Brutzeit teilweise Tabuzonen von 500 m um z. B. Horste geschützter Greifvogelarten empfohlen (Strohmeier & Kuhn, 2023).

Für viele PV-FFA gibt es jedoch Nachweise, dass Greifvögel (z. B. Mäusebussard, Rotmilan, Schwarzmilan, Turmfalke, Sperber, Rohrweihe) diese als Nahrungshabitat und die Module als Ansitze nutzen (Strohmeier & Kuhn, 2023; Gabriel, 2018; Herden *et al.*, 2009; Lieder & Lumpe, 2011; Raab, 2015; Scheller, 2020). Dabei wurden jagende Mäusebussarde und Turmfalken, teils unterhalb der Modultische in Anlagen mit Reihenabständen von 3 m gesichtet (z. B. Anlage

Mühlhausen) (Herden *et al.*, 2009). Lieder & Lumpe (2011) berichten, dass im Flugverhalten der Greifvögel (z. B. Mäusebussard, Rotmilan, Schwarzmilan) bei der Nahrungssuche über dem Solarpark (3 m Reihenabstand) keine Abweichungen zu anderen nahe gelegenen Freiflächen festgestellt werden konnten. Hingegen gibt es auch Berichte, in denen zwar ein auf Modulen ansitzender Mäusebussard in einer Anlage mit 4 m Reihenabstand gesichtet wurde, aber kein Jagdverhalten innerhalb der Anlage nachgewiesen werden konnte (Schwaiger, 2022). Auch hier ist die Frage der generellen Eignung in Abhängigkeit von der Bauweise noch nicht abschließend geklärt. Zudem können PV-FFA je nach Bewirtschaftung/Biototyp auch deutlich in ihrer Eignung für Beutetiere (z. B. Kleinsäuger, Reptilien) variieren. Auch hier könnten Greifvögel indirekt durch ein besseres Nahrungsangebot in PV-FFA mit größeren Reihenabständen profitieren.

4.6.3 Fazit Vögel

Auch bei den Vögeln zeigt sich mit Ausnahme des Schwarzkehlchens und von kulturfolgenden Nischen- und Höhlenbrütern wie Bachstelze, Feldsperling oder Hausrotschwanz die Tendenz, dass viele Arten in die Randbereiche von PV-FFA vertrieben werden. Arten wie Kiebitz, Turteltaube oder Wendehals meiden PV-FFA scheinbar komplett.

In den Randbereichen von Anlagen lassen sich jedoch Reviere vieler Arten erhalten, für Gehölzbewohnende Arten können durch die Gehölzanpflanzungen in der Randeingrünung Habitatstrukturen geschaffen werden. Alternativ können größere Freiflächen innerhalb der mit Modulen überstellten Bereichen zum Erhalt von Brutrevieren führen. Von größeren Modulreihenabständen von 5 - 6 m scheinen einige Arten zu profitieren, allerdings ist das Bild nicht so eindeutig wie bei anderen, direkter an die kleinräumige Vegetation gebundene Arten. Für einen ähnlichen Effekt wie bei den Frei- und Randflächen scheinen breitere Abstände notwendig zu sein. Wie bei den anderen Artengruppen ist der Erhalt bzw. die Wiederherstellung der überplanten Habitate Voraussetzung. Gerade für bodenbrütende Vogelarten ist zudem ein zielartenangepasstes Pflegeregime notwendig, dass z. B. die Mahd in den Brutzeiträumen ausschließt.

Übertrifft die Besatzdichte der betroffenen Arten in den Plangebieten das Besatzpotenzial der Randbereiche und sind im räumlichen Zusammenhang keine geeigneten, unbesetzten Ersatzhabitate vorhanden, können jedoch externe Ausgleichsmaßnahme notwendig werden.

Bis eindeutige Ergebnisse zu den Habitatansprüchen der Feldlerche in PV-FFA vorliegen, ist ein sicherer Erhalt der Brutreviere im Sinne eines Vorsorgeprinzips nur durch die Freihaltung von Flächen innerhalb der Anlage bzw. externe Ausgleichsmaßnahmen, d. h. unter erhöhtem Flächenbedarf bzw. verringertem Flächenertrag, möglich.

Eine umfassende Übersicht von Maßnahmen zur Vermeidung potenzieller Verbotstatbestände nach § 44 BNatSchG, die sich durch Beeinträchtigungen aus den verschiedenen bau-, anlage- und betriebsbedingten Wirkfaktoren von PV-FFA (s. Kap. 3.2) ergeben, ist in der folgenden Tab. 9 dargestellt.

Tab. 9 Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen für potenzielle Beeinträchtigungen von **Vögeln** durch bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA (nach Hietel *et al.*, 2021b; Günnewig *et al.*, 2007; Seidel *et al.*, 2024, ergänzt u. verändert).

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
Baufeldfreimachung und Baustelleneinrichtung sowie Maschineneinsatz, Baustellenverkehr und Bautätigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> – Störung des Brutgeschäftes, Verdrückung von Vögeln – Zerstörung der Gelege – Verletzen/ Töten von Individuen – Temporärer Verlust von Brut- oder Jagdhabitaten 	<ul style="list-style-type: none"> – Bauzeitenregelung (keine Bauarbeiten während der Brutzeit) – Erstellen eines Baustelleneinrichtungsplan mit Baueinrichtungsflächen, Baustraßen, Lager- und Stellflächen sowie Tabuflächen – Freihaltung von Teilflächen – Erhalt und Integration wertvoller Biotopstrukturen (Gehölze, Einzelbäume u.a.) – Rodungsarbeiten ausschließlich im gesetzlich vorgegebenen Zeitraum nach §39 Abs. 5 Nr. 2 BNatSchG – Vergrämungsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> – Schaffung (temporärer) Ausweichhabitats
anlagenbedingt		intern	extern
Flächeninanspruchnahme (Flächenversiegelung und Überstellung der Bodenoberfläche mit Modulen)	<ul style="list-style-type: none"> – Vollständiger Habitatverlust durch versiegelte Flächen – Vollständiger Habitatverlust durch die Rodung von Gehölzen (Heckenbrüter) – Entwertung und Reduzierung von Habitatstrukturen und 	<ul style="list-style-type: none"> – Erhalt und Integration essenzieller Gehölze – Anpflanzung von Sträuchern/ Gehölzen in den Randbereichen – Aussparung von Freiflächen oder breiter begrünter Wege innerhalb der Modulfläche – Größere Modulreihenabstände 	<ul style="list-style-type: none"> – Schaffung von Ersatzhabitats (z. B. Feldlerchenfenster, Blühflächen in Kombination mit Brachestreifen, Ackerbrachen mit Selbstbegrünung) – Anpflanzung von Sträuchern/ Bäumen im (näheren) Umfeld der PV-FFA

Wirkfaktoren	Beeinträchtigungen	Vermeidungs-, Minimierungs- oder Ausgleichsmaßnahmen	
baubedingt		intern	extern
	potenziellen Bruthabitaten durch die Überstellung mit Modulen	<ul style="list-style-type: none"> – Freihaltung breiter Randstreifen zwischen Zaunanlage und der Modulfläche 	<ul style="list-style-type: none"> – Nutzung von (Wald-) Abstandsflächen zur Anlage von Blüh-/ Saumstreifen
Visuelle Wirkung der Modulfläche	<ul style="list-style-type: none"> – Störwirkung durch Silhouetteneffekt für Rastvögel 	<ul style="list-style-type: none"> – Abstand zu Rastgebieten 	
Bewirtschaftung	<ul style="list-style-type: none"> – Störung des Brutgeschäftes durch eine Bewirtschaftung während der Brutzeit 	<ul style="list-style-type: none"> – An Brutzeiten zeitlich angepasste Bewirtschaftung – Abschnittsweise Bewirtschaftung – Extensive Bewirtschaftung (Mahd mit Abräumen des Mahdguts oder Beweidung mit begrenzter Besatzdichte) – Ausschluss von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln – Belassen von Altgrasstreifen 	

5 Möglichkeiten und Grenzen des artenschutzrechtlichen Ausgleichs

5.1 Gesamtfazit

Photovoltaik-Freiflächenanlagen können bei entsprechender Standortwahl und Ausgestaltung durchaus geeignete Lebensräume für geschützte und gefährdete Arten darstellen (s. Kap. 4). Hier ist jedoch zu betonen, dass es immer noch ein erhebliches Forschungsdefizit über die Auswirkungen von PV-FFA auf Arten, insbesondere auch auf Vogelarten, gibt. Dementsprechend sind die Folgerungen aus diesem Gutachten – ebenso wie verallgemeinernde positive Aussagen zu den Auswirkungen von PV-FFA auf die Biodiversität – anhand zukünftiger systematischer, methodisch robuster Erhebungen kritisch zu prüfen (vgl. Kap. 4.1). Zudem ist anzumerken, dass sich die Auswirkungen bzw. Beeinträchtigungen verschiedener Solarparks aufgrund unterschiedlicher Bauweisen (überstellte Fläche, Lage und Größe von Freiflächen, Modulhöhe, -tiefe, -reihenabstand) und Standortwahl deutlich unterscheiden können. Dies ist aufgrund der technischen Entwicklungen der letzten Jahre insbesondere auch bei der Interpretation älterer Quellen zur Bewertung von aktuellen Vorhaben zu berücksichtigen. Die im öffentlichen Diskurs oft undifferenzierte Betrachtung von PV-FFA kann nach Ansicht der AutorInnen zu unzulässigen Schlussfolgerungen führen, beispielsweise wenn der (oft in Freiflächen lokalisierte) hohe Artenreichtum besonders hochwertiger „Vorzeiganlagen“ (z. B. aufgrund eines hochwertigen Ausgangszustands bzw. hochwertigen Spenderbiotopen im Umfeld) auf die mit Modulen überstellten Bereiche naturferner Anlagen in ausgeräumten Agrarlandschaften übertragen wird.

Die durchgeführte Literaturrecherche zu den Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen durch PV-FFA hat gezeigt, dass sich nach aktuellem Kenntnisstand nur Teilbereiche der Solarparks als Lebensraum für einen Großteil wertgebender Arten eignen (vgl. Tab. 10). Zur Entwicklung artenreicher Biotoptypen als Lebensräume für v. a. wärmebedürftige Artengruppen wie Tagfalter, Heuschrecken und Reptilien eignen sich innerhalb der Solarparks lediglich die besonnten Randbereiche und breitere Streifen zwischen den Modulreihen, sowie die innere breitere Wege-Erschließung mit ihren Säumen. Für bodenbrütende Vogelarten eignen sich v. a. die Freiflächen und breite Randbereiche der Anlagen (tlw. auch breitere Modulzwischenräume), für gehölzbrütende Arten die Gehölze der Randeingrünung als Bruthabitat. Ein systematischer Vergleich bestehender Auswirkungen der Breite einzelner Modulreihenabstände (in Abhängigkeit der Vegetation) auf die Diversität und Aktivität von Artengruppen steht jedoch ebenfalls noch aus. Ist der Erhalt geschützter Arten bzw. die Entwicklung artenreicher Grünlandbestände das Ziel, sollten hier konservativ größere Reihenabstände von 5 - 6 m (besonnte Streifen von mind. 3 m) umgesetzt werden.

In dicht mit Modulen überstellten, technisch überprägten Bereichen eignen sich die großteils beschatteten Zwischenräume der Modulreihen bzw. die Bereiche unter den Modulen i. d. R. höchstens für artenärmere Vegetationsbestände und verbreitete, anspruchslose Arten. In naturfernen, auf Energieertrag ausgelegten, Anlagen beschränkt sich die Habitateignung wertgebender Arten somit auf größere besonnte Randbereiche. Dieser Umstand ist v. a. bei der Abschätzung des Zielbiotops von Solarparks und v. a. auch der Eingriffsbilanzierung (durch Punkteverfahren oder verbal-argumentativ) entsprechend zu berücksichtigen.

Tab. 10 Zusammenfassung der Habitateignung bzw. des Ausgleichspotenzials v.a. wertgebender Biotoptypen und Arten ausgewählter Gruppen in Abhängigkeit verschiedener Anlagenbereiche von PV-FFA (s. Kap. 4). Voraussetzung für die Eignung von Tierarten ist das Vorhandensein geeigneter Habitatstrukturen und Biotope. Insbesondere zur Eignung der überstellten Bereiche naturferner Anlagen besteht deutlicher Forschungsbedarf. Die abgeleiteten Modulreihenabstände dienen der groben Orientierung. Die Bewertung gilt nicht für weit verbreitete, generalistische Arten.

Biotope / Arten- gruppe	Habitateignung / Ausgleichspotenzial		
	„naturferne“ PV-FFA	„naturverträgliche“ PV-FFA	
	Reihenabstände < 3 (-4) m, nur technisch notwendige Frei- und Randflächen	Modulbereiche (Reihenabstand > 5 - 6 m)	Freiflächen und breite Randbereiche
artenreiche extensive Offenlandbiotope	wenige besonnte Bereiche geeignet	besonnte Bereiche geeignet	
Brutvögel des Offen- und Halboffenlands	für bodenbrütende Arten eher ungeeignet (max. breitere Randbereiche), v. a. für in Modulgestellen brütende Arten geeignet	für einige bodenbrütende Arten geeignet	für Arten ohne nachgewiesenen Meideverhalten von PV-Anlagen geeignet, Eignung zur Anlage von Gehölzstrukturen oder Nisthilfen
Greifvögel	Eignung als Nahrungsgebiet		
Tagfalter / Heuschrecken / Laufkäfer	Reduzierte Eignung	besonnte Bereiche prinzipiell geeignet	
Reptilien	Reduzierte Eignung	besonnte Bereiche geeignet	besonnte Bereiche geeignet, Eignung zur Anlage von Ersatzquartieren
Amphibien	Eignung als Landlebensraum, Wanderkorridor		Eignung als Landlebensraum, Wanderkorridor, zur Anlage von Ersatzgewässern
Fledermäuse	reduzierte Eignung als Jagdhabitat		
Kleinsäuger	Eignung als Lebensraum (außer Feldhamster), Wanderkorridor		
Mittel- / Großsäuger	Barrierewirkung (oder mögl. Meidewirkung) auf z. B. Schalenwild, Luchs, Wolf, Wildkatze		

Soll die Frage eines möglichen Ausgleichs innerhalb von PV-FFA beantwortet werden, so hängt das Ergebnis immer vom Ausgangszustand der Fläche (und damit vom Einzelfall) ab. Vor allem intensiv genutzte, artenarme Acker- und Grünlandflächen als Ausgangsbestand

werden i. d. R. durch die Umwandlung in eine extensive Grünlandnutzung und die randlichen Gehölzpflanzungen naturschutzfachlich aufgewertet, sofern keine geschützten Vogelarten wie z. B. Feldlerche oder Kiebitz betroffen sind. Dies gilt prinzipiell auch in naturfernen Anlagen, in denen sich lediglich artenarmes mesophiles Grünland entwickeln lässt.

Werden jedoch hochwertigere Offenlandbiotop überplant, die bereits geeignete Lebensräume für gefährdete oder geschützte Arten darstellen, kann nicht davon ausgegangen werden, dass diese Arten in naturfernen PV-FFA erhalten werden können. In diesen Fällen können allenfalls durch die Anlage breiter Randbereiche oder eine Erhöhung des Modulreihenabstandes, d. h. unter erhöhtem Flächenbedarf bzw. unter verringertem Energieertrag, Bereiche geschaffen werden, in denen durch Erhalt, Wiederherstellung oder Aufwertung der Ausgangsbiotop Beeinträchtigungen von geschützten Arten vermieden oder kompensiert werden können. Diese Maßnahmen schließen jedoch nicht aus, dass weitere externe Maßnahmen notwendig werden. Dies hängt immer vom Einzelfall ab und ist im Rahmen der Umweltprüfung zu bewerten und zu bilanzieren. Bei großflächig betroffenen hochwertigeren Biotopen oder einer Vielzahl an betroffenen Brutrevieren können die potenziellen Ausgleichsflächen auch innerhalb von „naturverträglichen“ PV-FFA für einen Ausgleich immer noch unzureichend sein.

In PV-FFA erfolgt die Kompensation der überplanten Biotoptypen im Optimalfall intern durch die Begrünung des Solarparks. Zudem erfolgt die artenschutzrechtliche Beurteilung von PV-Planungen ebenfalls anhand der Habitataignung des Zielbiototyps für betroffene Arten. Ist aufgrund des Ausgangszustands oder den Ansprüchen betroffener Arten die Entwicklung artreicher Zielbiotop notwendig, sind diese i. d. R. nur über eine vergleichsweise aufwändige, standortangepasste, extensive Pflege (z. B. Mahd mit Abräumen des Mahdguts) oder auch Standortvorbereitungen zu entwickeln und dauerhaft zu erhalten. In der Praxis besteht das Risiko, dass derartige festgesetzte Pflegemaßnahmen nicht immer entsprechend umgesetzt werden und somit, entgegen der Bewertung der artenschutzrechtlichen Prüfungen, dennoch Verbotstatbestände nach § 44 BNatSchG ausgelöst werden können. Nach Ansicht der Autorinnen besteht bzgl. der Einhaltung solcher festgesetzten Pflegemaßnahmen und der Entwicklung höherwertiger Zielbiotop häufig ein Kontrolldefizit.

Das wichtigste Mittel zur Minimierung des potenziellen Ausgleichsbedarfs von PV-FFA stellt eine übergeordnete Standortsteuerung dar, welche natur- und artenschutzrechtliche Belange (z. B. Schutzgebiete, schutzwürdige Biotoptypen, bekannte Vogelrastgebiete, wichtige Flächen des Biotopverbunds) im Vorfeld berücksichtigt und somit die Anlagen auf naturschutzfachlich „geringwertige“ Flächen lenkt (Demuth *et al.*, 2019; Günnewig *et al.*, 2007; Trautner *et al.*, 2022). Dies trifft i. d. R. auf intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen zu. Hier ist jedoch zu beachten, dass z. B. Ackerflächen nicht pauschal als unkritisch zu betrachten sind, da diese durchaus Habitate für geschützte oder gefährdete Arten (z. B. Feldhamster, Kreuzkröte, gefährdete Segetalflora) oder bedeutende Rastplätze für Vogelarten darstellen können (Trautner *et al.*, 2022).

5.2 Zusammenfassung / Kernaussagen

- PV-FFA können sich nach Standort, Umgebung, Bauweise und Bewirtschaftung in ihren Auswirkungen bzw. der zu erwartenden naturschutzfachlichen Entwicklung deutlich voneinander unterscheiden, was bei der Bewertung von Vorhaben und Studienergebnissen sowie dem generellen öffentlichen Diskurs mehr berücksichtigt werden sollte (vgl. Kap. 3).
- Zur Frage der Eignung von PV-FFA als Lebensraum für Arten herrscht immer noch ein erhebliches Defizit an systematischen, methodisch robusten Studien, die übertragbare Aussagen für unterschiedliche Varianten von PV-FFA zulassen (vgl. Kap. 4.1). Entsprechende Aussagen – auch die Bewertung in diesem Gutachten – sind aufgrund der defizitären Quellenlage im Einzelfall kritisch zu hinterfragen.
- Bei genauer Betrachtung stellen v. a. größere Freiflächen, d. h. breitere Randbereiche und Wege sowie breitere Streifen zwischen den Modulreihen die wichtigsten Lebensräume für die meisten wertgebenden Arten(-gruppen) (wie Pflanzen, Heuschrecken, Tagfalter, Reptilien, Brutvögel) dar. In diesen Bereichen können bei standortgerechter extensiver Pflege am ehesten artenreichere Offenlandbiotope erhalten bzw. entwickelt werden. Dementsprechend kann v. a. in diesen Bereichen ein Ausgleich für betroffene Offenland-Arten erbracht werden (vgl. Kap. 4.2 - 4.6).
- Dicht mit Modulen überstellte, technisch überprägte Bereiche, d. h. die großteils beschatteten Bereiche zwischen den Modulreihen bzw. unterhalb der Module, eignen sich nach aktuellem Kenntnisstand eher für artenärmere Vegetationsbestände und verbreitete, anspruchslose Arten (vgl. Kap. 4.2 - 4.6).
- In der bedeutenden Gruppe der Brutvögel verlagern viele Arten ihr Reviere in die Randbereiche, hier sind die Auswirkungen von PV-FFA für viele Arten noch nicht ausreichend verstanden. Einige nischen- und höhlenbrütende Arten können die Gestelle als Brutplatz nutzen, jedoch könnte für die Nester eine erhöhte Prädationsgefahr bestehen (vgl. Kap. 4.6).
- Bei Untersuchungen in PV-FFA sollten möglichst umfangreiche Anlagen-Parameter aufgenommen werden und bei Artnachweisen zwischen den mit Modulen überstellten, technisch geprägten Bereichen (unterhalb und zwischen den Modulreihen) und größeren Freiflächen außerhalb der Modulbereiche unterschieden werden. Letztere sind i. d. R. keine charakteristischen Bestandteile von PV-FFA, sondern gerade in auf Energieertrag ausgelegten, naturfernen PV-FFA eher die Ausnahme. Positive Eigenschaften auf die Biodiversität von größeren Freiflächen oder Pflege- und Entwicklungsflächen einzelner Solarparks können nicht pauschal PV-FFA –hier v. a. nicht den mit Modulen überstellten Bereichen – zugeschrieben werden.

- Sind naturschutzfachlich hochwertige Biototypen und Arten von einem geplanten Solarpark betroffen, ist nach aktuellem Kenntnisstand davon auszugehen, dass Beeinträchtigungen nur unter einem erhöhtem Flächenbedarf (d. h. durch externe Maßnahmen) bzw. einem verringertem Flächenertrag durch erhöhte Modulreihenabstände und größeren Freiflächen zu vermeiden sind.

6 Quellenverzeichnis

- Albrecht, K., Hör, T., Henning, F.W., Töpfer-Hofmann, G. & Grünfelder, C. (2014). Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen im Zusammenhang mit landschaftsplanerischen Fachbeiträgen und Artenschutzbeitrag. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 02.0332/2011/LRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Schlussbericht 2014.
- Ambjörn, R. & v. Brackel, J. (2022). Vegetationskartierung und Vegetationsaufnahmen auf dem Solarpark Schornhof bei Berg im Gau, Lkr. Neuburg-Schrobenhausen. Abschlussbericht.
- Ammermann, K., Bunzel, K. & Igel, F. (2022). Eckpunkte für einen nachverträglichen Ausbau der Solarenergie. Positionspapier.
- Armstrong, A., Ostle, N.J. & Whitaker, J. (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 11, 74016.
- 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).
- Barré, K., Baudouin, A., Froidevaux, J.S.P., Chartendrault, V. & Kerbiriou, C. (2024). Insectivorous bats alter their flight and feeding behaviour at ground-mounted solar farms. *Journal of Applied Ecology*, 61, 328–339.
- 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. IUCN, International Union for Conservation of Nature.
- Biesmeijer, K., van Kolschoten, L., Wit, F. & Moens, M. (2020). The effects of solar parks on plants and pollinators: the case of Shell Moerdijk.
- Blaydes, H., Gardner, E., Whyatt, J.D., Potts, S.G. & Armstrong, A. (2022). Solar park management and design to boost bumble bee populations. *Environmental Research Letters*, 17, 44002.
- Blaydes, H., Potts, S.G., Whyatt, J.D. & Armstrong, A. (2021). Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111065.
- Blaydes, H., Potts, S.G., Whyatt, J.D. & Armstrong, A. (2024). On-site floral resources and surrounding landscape characteristics impact pollinator biodiversity at solar parks. *Ecological Solutions and Evidence*, 5.
- Bonari, G., Fajmon, K., Malenovský, I., Zelený, D., Holuša, J., Jongepierová, I., Kočárek, P., Konvička, O., Uříčář, J. & Chytrý, M. (2017). Management of semi-natural grasslands benefiting both plant and insect diversity: The importance of heterogeneity and tradition. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246, 243–252.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2023). Photovoltaik-Strategie. Handlungsfelder und Maßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der Photovoltaik.

- Bundesregierung Deutschland (2021). Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021.
- Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V. (2021). GEO-Tag der Natur 2021. Biodiversität in Solarparks.
- Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V. (2022). Gute Planung - Best Practice für PV-Freilandanlagen.
- Chock, R.Y., Clucas, B., Peterson, E.K., Blackwell, B.F., Blumstein, D.T., Church, K., Fernández-Juricic, E., Francescoli, G., Greggor, A.L., Kemp, P., Pinho, G.M., Sanzenbacher, P.M., Schulte, B.A. & Toni, P. (2021). Evaluating potential effects of solar power facilities on wildlife from an animal behavior perspective. *Conservation Science and Practice*, 3.
- Clarkson & Woods (2019). Solarview. Ecological monitoring of solar sites - Overview of 2019 surveys.
- Clarkson & Woods (2020). Solarview. Ecological monitoring of solar sites - Overview of 2020 surveys.
- Demuth, B., Maack, A. & Schumacher, J. (2019). Klima- und Naturschutz. Hand in Hand ; ein Handbuch für Kommunen, Regionen, Klimaschutzbeauftragte, Energie-, Stadt- und Landschaftsplanungsbüros, Berlin 2019 (Bearbeitungsstand: Juni 2018). Bundesamt für Naturschutz, Leipzig.
- Dhar, A., Naeth, M.A., Jennings, P.D. & Gamal El-Din, M. (2020). Perspectives on environmental impacts and a land reclamation strategy for solar and wind energy systems. *The Science of the total environment*, 718, 134602.
- DNR – Deutscher Naturschutzring, BUND, DUH, Germanwatch, Greenpeace, WWF & Hrsg. (NABU) (2022). Solaranlagen: Chance für Naturschutz, Erfordernis für Klimaschutz. Forderungen der Umwelt- und Naturschutzorganisationen für einen naturverträglichen Ausbau.
- Dullau, S. & Tischew, S. (2019). Grünlandleitfaden. Bewirtschaftungsempfehlungen für den Lebensraumtypen 6440, 6510 und 6520 in Sachsen-Anhalt, 1. Auflage. Hochschule Anhalt, Bernburg.
- Engl, A., Reinke, M., Gnädinger, J. & Zwander, H. (2020). Endbericht EULE. Evaluierungssystem für eine umweltfreundliche und landschaftsverträgliche Energiewende, am Beispiel von Solarfeldern.
- Fartmann, T., Stuhldreher, G., Streitberger, M. & Helbing, F. (2021). Die Bedeutung der Habitatqualität für den Schutz der Insektendiversität - Mikroklima, Phytodiversität, Habitatheterogenität und Totholz sind Schlüsselfaktoren für artenreiche Insektengemeinschaften. *Naturschutz und Landschaftsplanung (NuL)*, 53, 12–17.
- Finck, P., Heinze, S., Raths, U., Riecken, U. & Ssymank, A. (2017). Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Dritte fortgeschriebene Fassung 2017. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- Fox, H. (2022). Blithe Spirit: Are Skylarks Being Overlooked in Impact Assessment? *Inpractice*, 117.

- Fritz, B., Horváth, G., Hünig, R., Pereszlényi, Á., Egri, Á., Guttmann, 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, e0243296.
- Fumy, F., Schwarz, C. & Fartmann, T. (2023). Intensity of grassland management and landscape heterogeneity determine species richness of insects in fragmented hay meadows. *Global Ecology and Conservation*, 47, e02672.
- Gabriel, M. (2018). Ökologische Evaluierung des Solarfeldes Gänsdorf (Landkreis Straubing-Bogen, Niederbayern).
- Gómez-Catasús, J., Morales, M.B., Giralt, D., del Portillo, D.G., Manzano-Rubio, R., Solé-Bujalance, L., Sardà-Palomera, F., Traba, J. & Bota, G. (2024). Solar photovoltaic energy development and biodiversity conservation: Current knowledge and research gaps. *Conservation Letters*.
- Graham, M., Ates, S., Melathopoulos, A.P., Moldenke, A.R., DeBano, S.J., Best, L.R. & Higgins, C.W. (2021). Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific reports*, 11, 7452.
- Greif, S. & Siemers, B.M. (2010). Innate recognition of water bodies in echolocating bats. *Nature communications*, 1, 107.
- Greif, S., Zsebők, S., Schmieder, D. & Siemers, B.M. (2017). Acoustic mirrors as sensory traps for bats. *Science (New York, N.Y.)*, 357, 1045–1047.
- Günnewig, D., Sieben, A., Püschel, M., Bohl, J. & Mack, M. (2007). Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen.
- Heindl, M. (2014). Aufständigung eines Solarmoduls als Brutstätte des Neuntöters *Lanius collurio*. *Ornithol. Rundbr. Mecklenbg.-Vorpomm.*, 48.
- Heindl, M. (2016). Brutbestandsentwicklung von Braunkehlchen *Saxicola rubetra* und Grauammer *Emberiza calandra* auf einer Photovoltaik-Freiflächenanlage bei Demmin. *Ornithol. Rundbr. Mecklenbg.-Vorpomm.*, 48.
- Herden, C., Gharadjedaghi, B. & Rasmus, J. (2009). Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. BfN – Skripten 247.
- Hietel, E., Lenz, C. & Schnaubelt, H.L. (2021a). Untersuchungsbericht zum Forschungsprojekt „Wissenschaftliche Untersuchungen zur Entwicklung eines Modellkonzepts für naturverträgliche und biodiversitätsfreundliche Solarparks“. PDF-Datei, verfügbar über die Hochschule Bingen.
- Hietel, E., Reichling, T. & Lenz, C. (2021b). Leitfaden für naturverträgliche und biodiversitätsfreundliche Solarparks – Maßnahmensteckbriefe und Checklisten.
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, A., Kriska, G., Seres, I. & Robertson, B. (2010). Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. *Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology*, 24, 1644–1653.

- Jarčuška, B., Gálffyová, M., Schnürmacher, R., Baláž, M., Mišík, M., Repel, M., Fulín, M., Kerestúr, D., Lackovičová, Z., Mojžiš, M., Zámečník, M., Kaňuch, P. & Krištín, A. (2024). Solar parks can enhance bird diversity in agricultural landscape. *Journal of environmental management*, 351, 119902.
- Kelm, T. & Stauch, D. (2024). Flächeninanspruchnahme von PV-Freiflächenanlagen, Update 2023.
- KNE (2021). Kriterien für eine naturverträgliche Gestaltung von Solar-Freiflächenanlagen Übersicht und Hinweise zur Gestaltung.
- KNE (2022). Anfrage Nr. 329 zur Raumbedeutsamkeit von Solarparken. Antwort vom 02. Februar 2022.
- Knegt, C., van Wijngaarden, K., Verweij, P. & Soons, M. (2021). Ecological impacts of ground-mounted solar parks on local vegetation - vegetation, soil, and micro-climate in thirteen solar parks in the Netherlands. *Landschap*.
- Kosciuch, K., Riser-Espinoza, D., Moqtaderi, C. & Erickson, W. (2021). Aquatic Habitat Bird Occurrences at Photovoltaic Solar Energy Development in Southern California, USA. *Diversity*, 13, 524.
- Lafitte, A., Sordello, R., Ouédraogo, D.-Y., Thierry, C., Marx, G., Froidevaux, J., Schatz, B., Kerbiriou, C., Gourdain, P. & Reyjol, Y. (2023). Existing evidence on the effects of photovoltaic panels on biodiversity: a systematic map with critical appraisal of study validity. *Environmental Evidence*, 12.
- Lambert, Q., Bischoff, A., Cueff, S., Cluchier, A. & Gros, R. (2021). Effects of solar park construction and solar panels on soil quality, microclimate, CO₂ effluxes, and vegetation under a Mediterranean climate. *Land Degradation & Development*, 32, 5190–5202.
- Lambert, Q., Bischoff, A., Enea, M. & Gros, R. (2023). Photovoltaic power stations: an opportunity to promote European semi-natural grasslands? *Frontiers in Environmental Science*, 11.
- Lambert, Q., Gros, R. & Bischoff, A. (2022). Ecological restoration of solar park plant communities and the effect of solar panels. *Ecological Engineering*, 182, 106722.
- Landeck, I., Kempe, K. & Hildmann, C. (2013). Leben unter Sonnenstrom - Wie Photovoltaik-Freiflächenanlagen Offenlandlebensräume verändern, 27, 22–23.
- Landesbetrieb Mobilität (LBM) Rheinland-Pfalz (2020). Leitfaden CEF-Maßnahmen - Hinweise zur Konzeption von vorgezogenen Ausgleichsmaßnahmen (CEF) in Rheinland-Pfalz. Bearbeiter FÖA Landschaftsplanung GmbH (Trier): J. Bettendorf, N. Böhm, U. Jahns-Lüttmann, J. Lüttmann, J. Kuch, M. Klußmann, K. Mildenerger, F. Molitor, J. Reiner. Schlussbericht.
- Lieder, K. & Lumpe, J. (2011). Vögel im Solarpark – eine Chance für den Artenschutz? Auswertung einer Untersuchung im Solarpark Ronneburg „Süd I“.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019). Freiflächensolaranlagen Handlungsleitfaden.
- MKULNV NRW (2013). Leitfaden „Wirksamkeit von Artenschutzmaßnahmen“ für die Berücksichtigung artenschutzrechtlich erforderlicher Maßnahmen in Nordrhein-Westfalen.

- Forschungsprojekt des MKULNV Nordrhein-Westfalen (Az.: III-4 - 615.17.03.09). Bearb. FÖA Landschaftsplanung GmbH (Trier): J. Bettendorf, R. Heuser, U. Jahns-Lüttmann, M. Klußmann, J. Lüttmann, Bosch & Partner GmbH: L. Vaut, Kieler Institut für Landschaftsökologie: R. Wittenberg. Schlussbericht (online).
- Montag, H., Parker, G. & Clarkson, T. (2016). The Effects of Solar Farms on Local Biodiversity; A Comparative Study.
- Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. (2021). Der naturverträgliche Ausbau der Photovoltaik.
- Neumann, W. & Frobel, K. (2022). BUND-Position 72: Naturverträgliche Freiflächen-Solaranlagen für Strom und Wärme.
- Niedermeir-Stürzer, H. & Klett, S. (2014). Praxis-Leitfaden für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen.
- Niedersächsischer Landkreistag, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz & Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (Hrsg.) (2023). Hinweise für einen naturverträglichen Ausbau von Freiflächen-Photovoltaikanlagen. Stand 11.10.2023.
- Niemann, K., Rüter, S., Bredemeier, B., Diekmann, L., Reich, M. & Böttcher, M. (2017). Photovoltaik-Freiflächenanlagen an Verkehrswegen in Deutschland. 0028-0615, 92, 119–128.
- Parker, G. & McQueen, C. (2013). Can Solar Farms Deliver Significant Benefits for Biodiversity? Preliminary Study July-August 2013.
- Peschel, R. & Peschel, T. (2023). Photovoltaik und Biodiversität – Integration statt Segregation! - Solarparks und das Synergiepotenzial für Förderung und Erhalt biologischer Vielfalt. Naturschutz und Landschaftsplanung (NuL), 55, 18–25.
- Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M. & Hauke, J. (2019). Solarparks - Gewinne für die Biodiversität.
- Peschel, T. (2010). Solarparks – Chancen für die Biodiversität. Renew's Spezial.
- Peter, F., Reck, H., Trautner, J., Böttcher, M., Strein, M., Herrmann, M., Meinig, H., Nissen, H. & Weidler, M. (2023). Lebensraumverbund und Wildtierwege -erforderliche Standards bei der Bündelung von Verkehrswegen und Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Naturschutz und Landschaft, 98, 507–515.
- Raab, B. (2015). Erneuerbare Energien und Naturschutz - Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. ANLIEGEN NATUR Zeitschrift für Naturschutz und angewandte Landschaftsökologie .
- Reich, M., Rüter, S., Niemann, K., Wix, N., Bredemeier, B. & Böttcher, M. (2019). Photovoltaik-Freiflächenanlagen und die Vernetzung von Lebensräumen an überörtlichen Verkehrswegen. Hannover : Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung.
- Reinke, M. (2022). Biodiversitätsoptimiertes Management von Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Rundbrief Winter 2022, 44–48.

- Runge, H., Simon, M. & Widdig, T. (2010). Rahmenbedingungen für die Wirksamkeit von Maßnahmen des Artenschutzes bei Infrastrukturvorhaben. Umweltforschungsplan 2007 ; Forschungskennziffer 3507 82 080 ; Endbericht ; FuE-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umweltschutz, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz - FKZ 3507 82 080. Planungsgruppe Umwelt; Simon & Widdig GbR [u.a.], Hannover, Marburg u.a.
- Ryslavy, T., Bauer, H.-G., Gerlach, B., Hüppop, O., Stahmer, J., Südbeck, P. & Sudfeldt, C. (2020). Rote Liste der Brutvögel Deutschlands. 6. Fassung, 30. September 2020.
- Scheller, W. (2020). Studie zu Auswirkungen von Photovoltaik-Anlagen auf Schreiadlerlebensräume. Teil 1.
- Schlegel, J. (2021). Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf Biodiversität und Umwelt.
- Schreiber, K.-F. (ed.) (2013). Artenreiches Grünland in der Kulturlandschaft. 35 Jahre Offenhaltungsversuche Baden-Württemberg, 2. Aufl. Verl. Regionalkultur, Heidelberg, Ubstadt-Weiher, Basel.
- Schwaiger, H. (2022). Kartierung der Brutvögel und Nahrungsgäste im Bereich der Freiflächen-Photovoltaikanlage Schornhof im Donaumoos 2021/2022.
- Seidel, A., Schmidt, C. & Richter, F. (2024). Förderung von Biodiversität in Freiflächensolaranlagen: fachliche Vorschläge zur Gestaltung und Umsetzung. Vorveröffentlichung.
- Seidler, C., Haase, H., Blechinger, K., Kändler, M. & Kamenz, J. (2013). Einfluss der Solarpaneele auf die Vegetationsentwicklung am Beispiel der Deponie Bautzen-Nadelwitz.
- Smallwood, K.S. (2022). Utility-scale solar impacts to volant wildlife. *The Journal of Wildlife Management*, 86.
- Solar Energy UK (2023). SolarHabitat: Ecological trends on solar farms in the UK.
- Solar Energy UK (2024). SolarHabitat 2024: Ecological trends on solar farms in the UK.
- Stille, D. (2022). Kleinsäugerkartierung auf der Photovoltaikanlage Schornhof bei Berg im Gau 2021. Kleinsäuger in Bayern.
- Stille, D. (2023). Insektenkartierung auf der PVA Schornhof bei Berg im Gau 2023. Abschlussbericht.
- Strohmeier, B. & Kuhn, C. (2023). Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Vogelschutz in Österreich – Konflikt oder Synergie?
- Südbeck, P., Andretzke, H., Gedeon, K., Schikore, T., Schröder, K., Fischer, S. & Sudfeldt, C. (2005). Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands. Max-Planck-Institut für Ornithologie. Vogelwarte Radolfzell.
- Szabadi, K.L., Kurali, A., Rahman, N.A.A., Froidevaux, J.S., Tinsley, E., Jones, G., Görföl, T., Estók, P. & Zsebők, S. (2023). The use of solar farms by bats in mosaic landscapes: Implications for conservation. *Global Ecology and Conservation*, 44, e02481.
- Száz, D., Mihályi, D., Farkas, A., Egri, Á., Barta, A., Kriska, G., Robertson, B. & Horváth, G. (2016). Polarized light pollution of matte solar panels: anti-reflective photovoltaics reduce

- polarized light pollution but benefit only some aquatic insects. *Journal of Insect Conservation*, 20, 663–675.
- Tinsley, E., Froidevaux, J.S.P., Zsebők, S., Szabadi, K.L. & Jones, G. (2023). Renewable energies and biodiversity: Impact of ground-mounted solar photovoltaic sites on bat activity. *Journal of Applied Ecology*, 60, 1752–1762.
- Trautner, J., Attinger, A. & Dörfel, T. (2022). Umgang mit Naturschutzkonflikten bei Freiflächensolaranlagen in der Regionalplanung - Orientierungshilfe zum Arten- und Biotopschutz für die Region Bodensee-Oberschwaben.
- Tröltzsch, P. & Neuling, E. (2013). Die Brutvögel großflächiger Photovoltaikanlagen in Brandenburg. *Vogelwelt*, 155–179.
- Uldrijan, D., Černý, M. & Winkler, J. (2022). Solar Park – Opportunity or Threat for Vegetation and Ecosystem. *Journal of Ecological Engineering*, 23, 1–10.
- Uldrijan, D., Winkler, J. & Vaverková, M.D. (2023). Bioindication of Environmental Conditions Using Solar Park Vegetation. *Environments*, 10, 86.
- Vervloesem, J., Marcheggiani, E., Choudhury, M.A.M. & Muys, B. (2022). Effects of Photovoltaic Solar Farms on Microclimate and Vegetation Diversity. *Sustainability*, 14, 7493.
- Visser, E., Perold, V., Ralston-Paton, S., Cardenal, A.C. & Ryan, P.G. (2019). Assessing the impacts of a utility-scale photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa. *Renewable Energy*, 133, 1285–1294.
- Zaplata, M.K. & Dullau, S. (2022). Applying Ecological Succession Theory to Birds in Solar Parks: An Approach to Address Protection and Planning. *Land*, 11, 718.
- Zaplata, M.K. & Stöfer, M. (2022). Metakurzstudie zu Solarparks und Vögeln des Offenlands.
- Zitzmann, F., Stern, M., Schmidt, M. & Schirmel, J. (2024). Carabid beetles in solar parks: assemblages under solar panels are severely impoverished compared to gaps between panel rows and edge areas. *Journal of Insect Conservation*.