

Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Flächen, Agri-PV
und Potenziale für eine naturverträglichere Gestaltung

Sonja Rosenthal, Joachim Pertagnol
Stefanie Beithan, Dieter Günnewig
Wolfgang Peters und Bernhard Wern

BfN-Schriften

705

2024





Bundesamt für
Naturschutz

Photovoltaik-Freiflächenanlagen

**Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Flächen, Agri-PV
und Potenziale für eine naturverträglichere Gestaltung**

Sonja Rosenthal
Joachim Pertagnol
Stefanie Beithan
Dieter Günnewig
Wolfgang Peters
Bernhard Wern

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
Zusammenfassung	7
Summary	12
1 Einleitung	16
1.1 Projektziele und Forschungsfragen	17
1.2 Methodik	18
2 Kurzübersicht Rechtsrahmen	19
2.1 Baurecht	19
2.2 Energierecht	19
2.3 Naturschutzrecht	21
3 Auswirkungen von PV-FFA auf Natur und Landschaft	22
3.1 Bau-, anlage-, und betriebsbedingte Wirkfaktoren	22
3.2 Auswirkungen auf Natur und Landschaft	24
3.2.1 Fauna	24
3.2.2 Flora	33
3.2.3 Fläche	34
3.2.4 Boden	35
3.2.5 Wasser	35
3.2.6 Mikroklima	35
3.2.7 Landschaftsbild und Erholungsnutzung	36
3.3 Maßnahmen zur Vermeidung, Minderung und naturverträglichen Gestaltung	36
4 Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen	40
4.1 Entwicklungen bis heute	40
4.2 Aktuelle Entwicklungen: Naturverträgliche PV-FFA und Agri-PV	42
4.3 Aktuelle Diskussion und Fachdebatte	43
4.4 Handlungsempfehlungen und Leitfäden, Schwerpunkt Planung und Flächeneignung	44
5 Agri-PV-Freiflächenanlagen	50
5.1 Konzept und Begriffsverständnis	50
5.2 Anlagentechnik und -konzepte	51
5.2.1 Abmessung der Anlagen	52
5.2.2 Hangneigung	54
5.2.3 Bodenverankerung	55
5.2.4 Waldabstand/Verschattung	55
5.2.5 Spitzenpeak	56
5.2.6 Niederschlag	56
5.2.7 Landwirtschaftliche Kulturen	57
5.3 Internationale Entwicklungen	58
5.4 Rechtliche Aspekte	60
5.5 Bau-, anlage-, und betriebsbedingte Wirkfaktoren	62
5.6 Spezifische Auswirkungen von Agri-PV-Anlagen auf Natur und Landschaft	63
5.6.1 Fauna	64

5.6.2	Flora	67
5.6.3	Fläche	68
5.6.4	Boden	70
5.6.5	Wasser	71
5.6.6	Mikroklima	71
5.6.7	Landschaftsbild und Erholungsnutzung	72
5.6.8	Einordnung der potenziellen Auswirkungen auf Natur und Landschaft ...	75
5.7	Wirtschaftlichkeit und Förderung	77
5.7.1	Refinanzierungen durch das EEG und agrarrechtliche Förderungen	77
5.7.2	Wirtschaftlichkeit.....	79
5.7.3	Einordnung der Wirtschaftlichkeit, Ausbautrends und Förderoptionen	84
6	Naturverträgliche PV-Freiflächenanlagen und weiteres Aufwertungspotenzial.....	86
6.1	Ansatz und Praxisbeispiele	86
6.2	Potenziale zur Förderung einzelner Schutzgüter durch PV-FFA	92
6.2.1	Fauna	92
6.2.2	Flora	96
6.2.3	Einordnung des Potenzials zur Förderung einzelner Schutzgüter	96
6.3	Ansätze für eine naturschutzfachliche Ergänzung von APV-FFA	97
6.4	Stichprobenhafte Analyse von Planunterlagen einzelner PV-FFA	99
6.5	Anforderungen an naturverträgliche PV-FFA	102
6.5.1	Planungsphase.....	102
6.5.2	Bau- und Rückbauphase	104
6.5.3	Anlagengestaltung	104
6.5.4	Betriebsphase.....	104
6.5.5	Prozedurale Anforderungen.....	105
6.5.6	Anreize für naturschutzfachliche Aufwertungen	105
7	Forschungs- und Entwicklungsbedarf	109
8	Literaturverzeichnis	112

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Freiflächenzubau nach Flächenkategorien.....	41
Abb. 2:	Ernte unter einer hoch aufgeständerten Agri-Photovoltaikanlage.....	53
Abb. 3:	Arbeitsbreite des Mähwerks gibt den Reihenabstand für die Module vor.....	53
Abb. 4:	Technische Vorgaben zum Bau einer APV.....	54
Abb. 5:	Vertikale bifaciale PV-Module von Next2Sun in hügeligem Gelände.....	55
Abb. 6:	Spezifische Erzeugerleistung von klassischer PV-FFA und vertikaler PV-FFA...	56
Abb. 7:	Schattentoleranz unterschiedlicher Kulturen.....	57
Abb. 8:	Schema der LNR einer Agri-PV-Anlage.....	69
Abb. 9:	Visualisierung kPV-FFA als Referenzanlage.....	72
Abb. 10:	Hoch aufgeständerte, horizontale Anlage.....	73
Abb. 11:	Nahansicht einer vertikalen APV-FFA.....	74
Abb. 12:	Fernansicht einer vertikalen APV-FFA.....	74
Abb. 13:	Pachtpreisentwicklung von 1999-2016 für Ackerland.....	79
Abb. 14:	Vorhabenbezogener Bebauungsplan „SO Solaranlage Oberndorf“.....	87
Abb. 15:	Solarfeld Oberndorf, Schafbeweidung.....	88
Abb. 16:	B-Plan Entwurf zum „Solarpark Frauendorf“.....	90
Abb. 17:	Solarfeld „Frauendorf“, Übersicht.....	91
Abb. 18:	Solarfeld „Frauendorf“, extensives Grünland mit Bienen-Beuten.....	91
Abb. 19:	Magerrasen im Solarfeld „Frauendorf“ während einer Begehung.....	92
Abb. 20:	Darstellung des Agri-Photovoltaik-Konzepts der Krinner Carport GmbH.....	98
Abb. 21:	Agri-Photovoltaik-Anlage mit integrierten Blühstreifen.....	98

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Bezeichnung unterschiedlicher Photovoltaik-Konzepte im vorliegenden Bericht.....	17
Tab. 2:	Übersicht der Inanspruchnahme von benachteiligten Gebieten für PV-FFA, Stand 11/2021.....	20
Tab. 3:	Bau-/rückbaubedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.....	22
Tab. 4:	Anlagebedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.....	23
Tab. 5:	Betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.....	24
Tab. 6:	Kategorien der DIN SPEC 91434 „Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung“.....	51
Tab. 7:	Übersicht ausgewählter internationaler APV-Anlagen.....	59
Tab. 8:	Relativer Vergleich der Investitionskosten von Agri-PV-Anlagen zu klassischen PV-Freiflächenanlagen (PV-FFA).....	80
Tab. 9:	Produktionskosten von klassischen PV-Freiflächenanlagen und Agri-PV-Anlagen in €-cent/kWh.....	82
Tab. 10:	Beispielrechnung zum Flächenbedarf bei fixer Anlagen-Leistung.....	82
Tab. 11:	Übersicht laufender Forschungsvorhaben zu PV-FFA.....	111

Abkürzungsverzeichnis

APV/Agri-PV	Agri-Photovoltaik
BauGB	Baugesetzbuch
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BMU	Bundesumweltministerium
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
DirektZahlDurchfG	Direktzahlungen-Durchführungsgesetz
DirektZahlDurchfV	Direktzahlungen-Durchführungsverordnung
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FFA	Freiflächenanlagen
FNP	Flächennutzungsplan
GRZ	Grundflächenzahl
h	hour = Stunde
ha	Hektar
HE	Hessen
IPBES	Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kW	Kilowatt
kPV	klassische Photovoltaik
LER	Land Efficiency Rate
LNR	Landnutzungsrate
MW	Megawatt
NI	Niedersachsen
PV-FFA	Photovoltaik- Freiflächenanlagen
RP	Rheinland-Pfalz
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt

Zusammenfassung

Im Zuge des Umbaus des Energiesystems auf erneuerbare Energieträger muss die Photovoltaik (PV) stärker ausgebaut werden als bisher gedacht. Der Energiebedarf vieler Anwendungen im Bereich der Wärme und der Mobilität, der bisher durch z. B. fossile Energieträger oder teilweise Biomasse bereitgestellt wurde, soll künftig durch Strom gedeckt werden (Prognos et al. 2021a). So hat die Bundesregierung im Juli 2021 die Prognose für den künftigen Strombedarf in 2030 von 580 Terrawattstunden (TWh) auf 655 TWh pro Jahr erhöht (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021b). Diese Erhöhung der Stromproduktion aus Photovoltaik wird nicht ohne die Nutzung von Freiflächen möglich sein, wie auch das Umweltbundesamt in der RESCUE Studie berechnet (Purr et al. 2019).

Im Bereich der Freiflächen-Photovoltaik ist dabei aktuell zu beobachten, dass landwirtschaftliche Flächen erneut bevorzugt für eine Inanspruchnahme in den Fokus geraten, u. a. aufgrund der zunehmenden und teils umfänglichen Öffnung von landwirtschaftlichen Flächen in „benachteiligten Gebieten“ in aktuell sieben Bundesländern (BW, BY, HE, NI, RP, SR, SN). Auch die Projektierungsaktivitäten außerhalb des EEG fokussieren sehr ausgeprägt auf derzeit landwirtschaftlich genutzte potenzielle Anlagenstandorte.

Forschungsgegenstand und Projektziel

Die Anlage- und Nutzungskonzepte klassischer Photovoltaik-Freiflächenanlagen (kPV-FFA)¹ sind vielfältig und werden derzeit durch zwei spezielle Ausprägungen ergänzt. Die Agri-Photovoltaik (APV), als erste Ausprägung, kombiniert die landwirtschaftliche mit der solarenergetischen Nutzung auf der gleichen Fläche. Untersuchungsergebnisse zu den gelegentlich als Biodiversitäts- oder Biotop-PV bezeichnete zweiten Ausprägung zeigen auf, dass sich Solarparks bei extensiver Pflege der Fläche im Laufe der Zeit intensiv besiedeln und somit einer Reihe von gefährdeten Arten Lebensraum bieten können.

Ziel des vorliegenden Projektes ist die Analyse der naturschutzfachlichen Relevanz dieser beiden Anlagenkonzepte sowie eine Schärfung der Position des Naturschutzes in diesem Themenfeld.

Agri-Photovoltaik

Die Bandbreite derzeit verfügbarer Agri-PV-FFA reicht von vertikal aufgestellten bifacialen Modulen bis hin zu hoch aufgeständerten Konstruktionen. In Deutschland existiert inzwischen eine Vornorm, die DIN SPEC 91434 „Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung“ (DIN Deutsches Institut für Normung 2021). Um die APV von der klassischen Photovoltaik abzugrenzen, sind dort als Kriterien unter anderem ein Flächenanteil der verbleibenden landwirtschaftlichen Nutzung von mindestens 90 Prozent für hoch aufgeständerte PV-Anlagen und 85 Prozent für Flächen mit niedrig aufgeständerten PV-

¹ Für eine Übersicht der hier betrachteten unterschiedlicher Photovoltaik-Konzepte s. Tab. 1

Anlagen angegeben². Die Hauptnutzung der Fläche ist dabei stets die landwirtschaftliche Nutzung, die Solarnutzung wird entsprechend als Sekundärnutzung betrachtet.

Die Ausgestaltung der PV-Anlage folgt dementsprechend den Anforderungen der landwirtschaftlichen Nutzung. Dies betrifft zum einen die Abmessungen, wie z. B. den Modulreihenabstand und bei hoch aufgeständerten Anlagen die lichte Höhe in Abhängigkeit von den eingesetzten Maschinen und Geräten. Zum anderen sind APV-Anlagen geeignet, v. a. Folien und Netze zum Schutz vor Witterung wie Hagel oder Starkregen bei Sonderkulturen wie Beerenobst oder bei Obstgehölzen zu ersetzen. Abgesehen von vertikalen Anlagen, zumeist auf Grünland, sind in Deutschland dabei bislang lediglich kleinflächige sowie Pilotanlagen realisiert worden.

Agri-PV-FFA sind bezogen auf die installierte Leistung insgesamt aufwändiger und kostenintensiver als klassische PV-FFA. Während Anlagen mit vertikalen bifacialen Modulen kostenseitig noch mit üblichen Anlagenkonstellationen vergleichbar sind, sind hoch aufgeständerte Anlagen oder solche mit Nachführtechniken teurer. Die Anlagenkonfiguration beeinflusst dabei die erzielbare Leistung der Solaranlage bezogen auf die Flächeneinheit. Synergieeffekte sind auch für die Landwirtschaft vorteilhaft wirksam, z. B. durch den Ersatz sonstiger Schutzvorkehrungen durch PV-Module. Vertikale Anlagen haben sich dabei auf Grünlandflächen unter bestimmten Voraussetzungen bereits am Markt etabliert.

Die Umweltwirkungen der Agri-PV werden national wie international erforscht, insbesondere mit Blick auf die Kompatibilität und Optimierung der Nutzungskombination. Im Vordergrund stehen dabei die Auswirkungen der Anlagen auf das pflanzenverfügbare Licht sowie den Wasserhaushalt (Hassanpour Adeg et al. 2018; Parkinson und Hunt 2020). Agri-PV-FFA könnten dabei, z. B. aufgrund der Reduzierung der Sonneneinstrahlung oder den geringeren Bodenwasserverlust, in ariden und semiariden Gebieten überhaupt erst eine produktive Landwirtschaft ermöglichen. In sonstigen Gebieten steht eine gesteigerte Flächeneffizienz mit einer erhöhten Landnutzungsrate im Mittelpunkt (Trommsdorff et al. 2020). In Regionen bislang gemäßigten Klimas könnte Agri-PV zukünftig an Bedeutung zur Steigerung der Resilienz der Landwirtschaft gegenüber den Folgen der Klimakrise gewinnen (Trommsdorff et al. 2020).

Zu den Wirkungszusammenhängen aus naturschutzfachlicher Perspektive liegen spezifisch zu Agri-PV-Anlagen national wie international praktisch keine Untersuchungen vor. Bei der Betrachtung der potenziellen Auswirkungen von APV-FFA auf Natur und Landschaft ist zunächst festzustellen, dass im Gegensatz zu kPV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen, nicht mit einer Änderung der Bewirtschaftungsintensität – also einer Extensivierung, wie diese in der Regel bei kPV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen, stattfindet – zu rechnen ist. Untersuchungsergebnisse, die auf den Wirkungszusammenhang der extensivierten Bewirtschaftung zurückzuführen sind, spielen bei APV entsprechend keine oder nur eine untergeordnete Rolle.

Anlagenseitig sind Abweichungen der potenziellen Auswirkungen auf Natur und Landschaft im Vergleich zu kPV-FFA zu erwarten. Dies betrifft etwa eine intensivere Beeinträchtigung des Landschaftsbildes oder ein erhöhtes Konfliktrisiko durch Scheuchwirkung für gegenüber

² Landwirtschaftlich nutzbare Fläche nach DIN: „Flächenanteil des Schlages, der ohne bauliche Maßnahmen und technische Einschränkungen nach dem Bau der Agri-PV-Anlage weiterhin landwirtschaftlich genutzt werden kann.“

Vertikalstrukturen sensiblen Vogelarten. In Bezug auf die Umzäunung der Anlagenfläche konnten im Vorhaben unterschiedliche Aussagen in der Spannweite von „nicht nötig“ bis „obligatorisch“ recherchiert werden. Ist die Anlagenfläche umzäunt, tritt die damit verknüpfte Barrierewirkung ebenso wie die visuellen Effekte auf.

Baubedingte Unterschiede in den Wirkfaktoren zwischen kPV- und APV-Anlagen liegen nicht vor, da die zur Anwendung kommenden Bauteile, insbesondere Aufständering, Gründung und Kabel, mit denen der kPV vergleichbar sind. Bei APV ist davon auszugehen, dass die bodenbezogenen Bedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung bestmöglich erhalten werden und mittel-/langfristige Effekte auf das unbedingt erforderliche Maß reduziert sind.

Darüber hinaus gilt für APV-FFA gleichermaßen, dass das Auftreten sowie die Intensität potenzieller Auswirkungen vom konkreten Einzelfall und damit sowohl von den Eigenschaften des Standortes, als auch von der Konfiguration und Ausgestaltung der Anlage abhängen.

Naturverträgliche Photovoltaik und weiteres Aufwertungspotenzial

Solarparks jeglicher Art sind in der Regel Bauvorhaben in der freien Landschaft, oder baurechtlich ausgedrückt, im Außenbereich. Die Standorte sind möglichst konfliktarm auszuwählen, d. h. aus Sicht der Belange von Natur und Landschaft hochwertige Gebiete sind zu meiden. Es soll zu keiner unmittelbaren Inanspruchnahme derartiger Landschaftsteile kommen, und kultur- sowie naturlandschaftlich bedeutende Landschaftsräume mit hoher Sensibilität gegenüber technischer Überprägung sind zu schützen.

Mit entsprechender Zielsetzung hat das EEG von Beginn an Anlagenstandorte vergütet, die die Vorbelastung als Standortmerkmal in den Vordergrund rückt. Über einen gewissen Zeitraum war die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen außerhalb des 150- bzw. 200-m-Bereichs entlang von Infrastrukturtrassen nicht vergütungsfähig. Inzwischen sind die landwirtschaftlichen Flächen innerhalb der nach EU-Vorgabe benachteiligten Gebiete, bei entsprechender Landesverordnung, wieder eine der wichtigsten Standortkategorien geworden.

Klassische PV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen zeichnen sich insbesondere dadurch aus, dass deren Bewirtschaftung eher im Sinne einer Pflege, häufig als extensives Grünland, stattfindet. Insbesondere auf zuvor intensiv landwirtschaftlich bearbeiteten Flächen können sich positive ökologische Effekte einstellen und klassische PV-FFA als technische Anlagen zu einer naturschutzfachlich beschreibbaren Verbesserung der Lebensraumqualität bzw. der Biodiversität im Vergleich zur Ausgangssituation führen.

Vertreter der Solarwirtschaft, aber auch Naturschutzverbände verweisen verstärkt mit Bestandsaufnahmen auf die besondere ökologische Qualität der Anlagen. Im Falle der Etablierung und Pflege von blühreichen, extensiven Grünländern, steigt die Vielfalt verschiedener Artengruppen (z. B. Avifauna, Insekten).

Um die vorhandenen Möglichkeiten zu nutzen und Solarparks möglichst naturverträglich, d. h. mit positiven Wirkungen für den Naturhaushalt auszugestalten, ist die Erfüllung naturschutzfachlicher Anforderungen entscheidend. Dazu sind neben der Anwendung entsprechender Flächenkriterien bei der Standortauswahl Anforderungen an die Anlagengestaltung zu stellen. So sollte z. B. der maximale Überdeckungsgrad der Fläche mit Modulen, nicht mehr als 40 Prozent betragen und die Modulreihen möglichst große Abstände zueinander haben.

Die Umsetzung solcher Maßnahmen, auch über den naturschutzrechtlichen Verpflichtungsrahmen der Eingriffsregelung und des Artenschutzes hinaus, ist als Beitrag zur dringend notwendigen Umkehr der Biodiversitätskrise in Agrarlandschaften unbedingt wünschenswert sowie notwendig. Entsprechende öffentliche Aussagen zur Selbstverpflichtung der Energieunternehmen sind vorhanden und lassen sich auch mit gängigen Verfahrensweisen und Standards des behördlichen Vorgehens in Zusammenhang bringen. Für die Umsetzung besonderer Maßnahmen über die rechtliche Verpflichtung hinaus werden im vorliegenden Bericht aber auch Anreizinstrumente besprochen, wie etwa die Möglichkeiten und Grenzen der Aufnahme und des Handels von Solarparkflächen in Flächenpools und Ökokontobestimmungen oder die ergänzende Zertifizierung solcher Flächen.

Ausblick

Die erreichte Konkurrenzfähigkeit des Solarstroms von Freiflächen hat in den vergangenen Jahren zu einer deutlichen Zunahme der Ausbaudynamik geführt, sowohl im EEG-Rahmen als auch außerhalb davon. Die Rahmenbedingungen der aktuellen und insbesondere der künftigen Klimapolitik mit dem notwendigen Umbau des Energiesystems fordern auch die Standortpolitik für PV-Freiflächenanlagen heraus. Der überwiegende Teil aller Szenarien für den Ausbau der erneuerbaren Energien sehen in der Photovoltaik, neben der Windenergienutzung, den Schlüssel zur Erreichung der Ausbauziele.

Aus Sicht des Naturschutzes haben sowohl Agri-PV-FFA wie auch naturverträglichere klassische PV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen das Potenzial, einen Beitrag dazu zu leisten, den Zielkonflikt zwischen Förderung der Biodiversität und dem Schutz des Klimas abzumildern. Beide Technologien enthalten den Ansatz, über die Kombination von Mehrfachfunktionen die Flächeneffizienz zu verbessern, allerdings ggf. zu dem Preis, dass für die Stromerzeugung insgesamt mehr Fläche in Anspruch zu nehmen ist, d. h. die Landschaft entsprechend mit technischen Anlagen zu „möblieren“ sein wird. Der Einsatz von Agri-PV wie auch die Optimierung der Naturschutzverträglichkeit der Anlagen erfordern eine Erhöhung des bisher durchschnittlichen Bedarfs an Flächen für Anlagentechnik von 1,25 Hektar pro Megawatt auf im Einzelfall das Zwei- bis Dreifache. Es wird beim weiteren Ausbau der Erzeugungskapazitäten darauf ankommen, die jeweiligen örtlichen und regionalen Rahmenbedingungen weiterhin mit Augenmaß zu berücksichtigen, d. h. auch in Verbindung mit Akzeptanzfragen unterschiedliche Anlagenkonzepte zu realisieren. Mehr auf Dezentralität angelegte Lösungen mit individuellen und kreativen, angepassten Lösungen zur Agri-PV oder zur Stärkung des Biotopverbundes vor Ort sind ebenso erforderlich wie ggf. auch die üblichen Maßstäbe überschreitende Großanlagen. Bis 2030 wird es nach aktuellen Prognosen und Szenarioberechnungen (s. u. a. Gerhards et al. 2021; Prognos et al. 2021b; Wirth 2020) relativ schnell möglicherweise zu einer Vervierfachung der derzeit installierten Leistungen kommen müssen. Je nach Anlagenkonzept wird es dabei sicherlich immer um ein hohes Maß an Naturverträglichkeit, aber vor allem auch auf ein jeweils optimiert hohes Maß an Effizienz der energetischen Flächennutzung ankommen.

Voraussetzung dafür ist aber in allen Fällen, dass die Umsetzung entlang naturschutzfachlicher Anforderungen, begonnen mit der Standortplanung über die Ausgestaltung der Anlage bis hin zum Rückbau, stattfindet und darüber hinaus geeignete und praxistaugliche Anreize geschaffen werden, über die gesetzlichen Anforderungen hinaus, das naturschutzfachliche

Potenzial der Anlagenflächen zu heben. Neben APV-spezifischen Wirkungszusammenhängen sollten vor dem Hintergrund des voraussichtlichen Ausbaubedarfs auch generelle Wissenslücken der Freiflächen-Photovoltaik zeitnah geschlossen werden. Dies betrifft sowohl die potenziellen Auswirkungen auf die Schutzgüter des Naturschutzes, als auch die ökologische Wirksamkeit von naturschutzfachlichen Maßnahmen zur Aufwertung der Flächen. Ein wesentlicher Schlüsselfaktor ist darüber hinaus die Operationalisierung von naturverträglichen bzw. -fördernden PV-Konzepten durch die Schaffung geeigneter Bedingungen, etwa in Bezug auf den Rechtsrahmen, und die Qualifizierung der Kommunen als Träger der Bauleitplanung und Hauptverantwortliche für die Ausgestaltung der Photovoltaik in der Freifläche vor Ort.

Summary

In the course of the conversion of the energy system to renewable energy sources, photovoltaics (PV) must be expanded more strongly than previously thought. The energy demand of many applications in the field of heat and mobility, which has been provided by fossil energy sources or partly biomass, is to be covered by electricity in the future (Prognos et al. 2021b). In July 2021, for example, the German government increased its forecast for future electricity demand in 2030 from 580 terawatt hours (TWh) to 655 TWh per year (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021b). This increase in electricity production from photovoltaics will not be possible without the use of open space, as also calculated by the Federal Environment Agency in the RESCUE study (Purr et al. 2019).

In the field of ground-mounted photovoltaics, it can currently be observed that agricultural land is once again the preferred focus for utilization, partly due to the increasing and in some cases extensive opening of agricultural land in "disadvantaged areas" in currently seven German states (BW, BY, HE, NI, RP, SR, SN). The project planning activities outside the EEG also focus very distinctly on potential plant locations currently used for agriculture.

Object of research and project goal

The installation and utilization concepts of classic photovoltaic open-field systems (kPV-FFA)³ are diverse and are currently complemented by two special forms. Agri-photovoltaics (APV), as the first type, combines agricultural and solar-energy use on the same area. Research results on the second type of PV, sometimes referred to as „biodiversity or biotope PV“, indicate that solar farms can become intensively colonized over time if the area is extensively maintained, thus providing habitat for a number of endangered species.

The aim of the present project is to analyze the relevance of these two plant concepts for nature conservation and to sharpen the position of nature conservation in the area of this subject.

Agri-Photovoltaics

The spectrum of currently available Agri-PV-FFA ranges from vertically mounted bifacial modules to highly elevated constructions. A preliminary standard now exists in Germany, DIN SPEC 91434 "Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung"(DIN Deutsches Institut für Normung 2021). In order to distinguish APV from classic photovoltaics, the criteria specified include an area share of the remaining agricultural use of at least 90 percent for high-mounted PV systems and 85 percent for areas with low-mounted PV systems⁴. The main use of the land is always agricultural use, and solar use is considered a secondary use.

The design of the PV system follows the requirements of agricultural use. On the one hand, this concerns the dimensions, such as the module row spacing and, in the case of elevated

³ For an overview of the different photovoltaic concepts considered here, see Tab. 1

⁴ Agricultural usable area according to DIN: "Area portion of the field that can continue to be used for agricultural purposes without constructional measures and technical restrictions after the construction of the Agri-PV system."

systems, the clear height depending on the machines and equipment used. On the other hand, APV systems are suitable to replace films and nets for protection against weather conditions such as hail or heavy rain in special crops such as soft fruits or fruit trees. Apart from vertical systems, mostly on grassland, only small-scale and pilot systems have been implemented in Germany so far.

Agri-PV-FFA are more complex and cost-intensive in relation to the installed capacity compared to classical PV-FFA. While systems with vertical bifacial modules are still comparable with conventional system configurations in terms of costs, systems with high elevations or tracking techniques are more expensive. Furthermore, the system configuration influences the achievable output of the solar system in relation to the unit area. Synergy effects are also beneficial for agriculture, e.g. by replacing other protective measures with PV modules. Vertical systems have already established on the market on grassland areas under certain conditions.

The environmental impacts of Agri-PV are being researched upon both nationally and internationally, particularly with regards to compatibility and optimization of crop-use combinations. The focus lays on the impact of plants depending on the plant-available light as well as water balance (Hassanpour Adeh et al. 2018, Parkinson und Hunt 2020). Agri-PV FFAs could thereby enable productive agriculture in the first place in arid and semiarid areas, for example, due to reduced solar radiation or reduced soil water losses. In other areas, the focus is on increased land efficiency with increased rates of land use (Trommsdorff et al. 2020) In regions of temperate climate so far, Agri-PV could gain importance in the future for increasing the resilience of agriculture to the consequences of the climate crisis (Trommsdorff et al. 2020).

Currently however, there are practically no national or international studies on the interrelationships of effects from a nature conservation perspective specifically for APV systems. When considering the potential impacts of APV FFA on nature and landscape, it should first be noted that, in contrast to kPV FFA on agricultural land, no change in management intensity – i.e. extensification, as usually occurs with kPV FFA on agricultural land – is to be expected. Accordingly, study results that can be attributed to the effect relationship of the extensified management play no or only a subordinate role in APV.

On the plant side, deviations in the potential impacts on nature and landscape are to be expected compared to kPV-FFA. This concerns, for example, a more intensive impairment of the landscape or an increased risk of conflict due to the scaring effect for bird species which are sensitive to vertical structures. With regards to the fencing of the plant areas, different statements ranging from “not necessary” to “obligatory” could be researched in the project. If the plant area is fenced the associated barrier effect and the visual effects occur.

Construction-related differences in the impact factors between kPV and APV plants do not exist, since the components used, in particular elevation, foundation and cables, are comparable to those of kPV. For APV, it can be assumed that the soil-related conditions for agricultural use are maintained as best as possible and medium/long-term effects are reduced to the absolute necessary level.

Furthermore, it is equally true for APV-FFA that the occurrence as well as the intensity of potential effects depend on the concrete individual case and thus on the characteristics of the site as well as on the configuration and design of the installation.

Nature-compatible photovoltaics and further enhancement potential

Solar parks of any kind are usually construction projects in the open countryside, or in terms of building law, in the outdoor area. The sites are to be selected with as little conflict as possible, i.e. areas of high value from the point of view of nature and landscape are to be avoided. There should be no direct use of such parts of the landscape, and landscape areas of cultural and natural significance with a high degree of sensitivity to technical encroachment should be protected.

With this objective in mind, the EEG has from the very beginning paid compensation for plant locations that emphasize the prior impact as a site characteristic. For a certain period, the use of agricultural land outside the 150 or 200 m range along infrastructure routes was not eligible for compensation. In the meantime, the agricultural areas within the less-favored areas according to EU regulations have become one of the most important location categories again.

Classical PV-FFA on agricultural land are characterized in particular by the fact that their cultivation takes place rather in the sense of maintenance, often as extensive grassland. Positive ecological effects can occur on areas that were previously intensively farmed, and classic PV FFA as technical installations can lead to an improvement in habitat quality or biodiversity that can be described in terms of nature conservation compared to the initial situation.

Representatives of the solar industry, but also nature conservation associations, increasingly refer to the special ecological quality of the plants with status reports. In the case of the establishment and maintenance of flowering, extensive grasslands, the diversity of various species groups (e.g. avifauna, insects) increases.

In order to take advantage of the available opportunities and to design solar parks in a way that is as compatible with nature as possible, i.e. with positive effects on the natural balance, it is crucial to fulfill the requirements of nature conservation. For this purpose, in addition to the application of appropriate area criteria in site selection, requirements must be placed on the system design. For example, the maximum degree of coverage of the area with modules should not exceed 40 percent and the module rows should be spaced as far apart as possible.

The implementation of such measures, even beyond the scope of the obligations under nature conservation law, the impact regulation, and species protection, is absolutely desirable and necessary as a contribution to the urgently needed reversal of the biodiversity crisis in agricultural landscapes. Corresponding public statements on the self-commitment of the energy companies are available and can also be related to common procedures and standards of the official approach. For the implementation of special measures beyond the legal obligation, however, this report also discusses incentive instruments, such as the possibilities and limits of including and trading solar park areas in areal pools and eco-account provisions or the supplementary certification of such areas.

Outlook

The achieved competitiveness of solar power from open spaces has led to a significant increase in expansion dynamics in recent years, both within and outside of the EEG framework. The framework conditions of current and especially future climate policy with the necessary restructuring of the energy system also challenge the location policy for ground-mounted PV

systems. The majority of scenarios for the expansion of renewable energies see photovoltaics, along with the use of wind energy, as the key to achieving the expansion targets.

From the point of view of nature conservation, both APV FFA and more nature-friendly classic PV FFA on agricultural land have the potential to contribute to mitigating the conflict of goals between promoting biodiversity and protecting the climate. Both technologies contain the approach of improving land efficiency by combining multiple functions, but possibly at the price that overall, more land has to be taken up for electricity generation, i.e. the landscape will have to be “furnished” with technical installations accordingly. The use of Agri-PV and the optimization of the plant’s compatibility with nature conservation require an increase in the average area required for plant technology from 1.25 hectares per megawatt to two or three times that amount in individual cases. In the further expansion of generation renewable energy production capacities, it will be important to continue to take into account the respective local and regional framework conditions with a sense of proportion, i.e. to implement different plant concepts, also in connection with acceptance issues. More decentralized solutions with individual and creative, adapted solutions for agricultural PV or for strengthening the local bio-topo network are just as necessary as large-scale plants that exceed the usual standards. According to current forecasts and scenario calculations (see among others (Gerhards et al. 2021; Prognos et al. 2021b; Wirth 2020), currently installed capacities may relatively quickly have to quadruple until 2030. Depending on the plant concept, it will certainly always be a question of a high degree of compatibility with nature, but above all also a question of optimized high degree of efficiency of the energetic land use.

However, the prerequisite for this in all cases is that implementation takes place in accordance with nature conservation requirements, starting with site planning and continuing with the design of the plant through to it’s dismantling, and that suitable and practicable incentives are created to increase the nature conservation potential of the plant areas beyond the legal requirements. In addition to APV-specific interactions, general gaps in the knowledge of ground-mounted photovoltaics should also be closed in a timely manner against the background of the anticipated need for expansion. This concerns both the potential effects on the protected goods of nature conservation, as well as the ecological effectiveness of nature conservation measures for the upgrading of the areas. Furthermore, a key factor is the operationalization of nature-friendly or nature-promoting PV concepts through the creation of suitable conditions, for example with regards to the legal framework, and the qualification of the municipalities as responsible bodies for urban land use planning and the main responsible parties for the on-site design of photovoltaics in open spaces on site.

1 Einleitung

Die Klima- und Biodiversitätskrise sind unbestritten die größten Herausforderungen unserer Zeit (IPBES 2019; IPCC 2018). Für die Reduktion der Treibhausgase zur Eingrenzung der negativen Folgen der globalen Klimakrise ist der Umbau des Energiesystems mit dem deutlichen Ausbau der erneuerbaren Energieträger unverzichtbar (Prognos et al. 2021a). Eine derzeit monetär günstige sowie technisch erprobte Option ist die Freiflächen-Photovoltaik. Nach einer Hochphase des Ausbaus, die mit den Jahren 2010/2011 endete, erfährt die Technik in den vergangenen Jahren aufgrund der technischen Lernkurven und der damit verbundenen Preisreduzierungen erneuten Aufschwung (Kelm et al. 2019a; Schindele et al. 2020).

Mit diesen Entwicklungen stehen derzeit, u. a. aufgrund der Möglichkeit der Inanspruchnahme von benachteiligten Gebieten in den Bundesländern, die von der entsprechenden Länderöffnungsklausel Gebrauch gemacht haben (vgl. Tab. 2), sowie aufgrund der zunehmenden Wirtschaftlichkeit von Anlagen unabhängig von einer Förderung über das EEG, erneut landwirtschaftliche Flächen bei den Projektentwicklern bevorzugt als Standorte im Fokus.

Neben der Errichtung klassischer Photovoltaik-Freiflächenanlagen (kPV-FFA) sind dabei zwei weitere Entwicklungen zu beobachten: mit der Agri-Photovoltaik (APV) steht seit kürzerer Zeit ein integriertes Konzept für Freiflächenanlagen zur Verfügung, bei dem die landwirtschaftliche mit der solarenergetischen Flächennutzung kombiniert werden kann. Ist der Einsatz in anderen Regionen, insbesondere in Ländern des asiatischen Raums, bereits weiter verbreitet, existieren in Deutschland, abgesehen von einzelnen kleineren und mittelgroßen Projekten, bislang ausschließlich Pilotanlagen (Schindele et al. 2020). Insbesondere die APV-Anlage in Heggelbach wurde dabei wissenschaftlich begleitet (Trommsdorff et al. 2020).

Eine weitere Tendenz bezieht sich auf das Potenzial von kPV-FFA-Flächen für eine naturschutzfachliche Aufwertung, gelegentlich auch als sog. Biotop- oder Biodiversitäts-Photovoltaik bezeichnet. Insbesondere auf zuvor landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen haben zahlreiche Beispiele gezeigt, dass durch die Extensivierung der Flächennutzung, teilweise in Kombination mit weitergehenden Naturschutzmaßnahmen, positive Effekte erreichbar sind (F&P Netzwerk Umwelt GmbH 2021; Peschel et al. 2019; Raab 2015; Randle-Boggis et al. 2020).

Da die derzeit verfügbaren Anlagenkonzepte und -konfigurationen eine eindeutige Abgrenzung zwischen den verschiedenen Ausprägungen der Freiflächen-Photovoltaik nicht immer zulassen und teilweise fließende Übergänge bestehen, eine Zuordnung von Aussagen zu bestimmten Anlagentypen jedoch notwendig und sinnvoll ist, gibt die folgende Tabelle eine Übersicht dazu, wie die Begrifflichkeiten im vorliegenden Projekt verwendet werden.

Tab. 1: Bezeichnung unterschiedlicher Photovoltaik-Konzepte im vorliegenden Bericht.

Bezeichnung	Abkürzung	Erläuterung
Photovoltaik-Freiflächenanlage	PV-FFA	Übergreifende Bezeichnung für Photovoltaikanlagen auf Freiflächen, unabhängig von Anlagentyp, Anlagenkonfiguration oder Art der Flächennutzung.
klassische Photovoltaik-Freiflächenanlagen	kPV-FFA	Bezeichnung für verschiedene Anlagentypen, die auf Freiflächen üblicherweise errichtet werden. Charakteristisch ist eine eher niedrigere Aufständering fest installierter Module. Auf landwirtschaftlichen Flächen wird auf der Anlagenfläche überwiegend Grünland entwickelt, selten ausschließlich Ruderalvegetation.
einachsige nachgeführte Photovoltaik-Freiflächenanlagen (sog. Tracker)		Bezeichnung für Anlagen, deren Module durch eine horizontale Achse der Sonne nachgeführt werden können, um den Ertrag gegenüber festmontierten Modulen zu steigern. Diese Anlagen kommen sowohl in kPV-Konzepten als auch als Agri-PV vor, werden aber aufgrund der höheren Investitionskosten bislang seltener eingesetzt.
zweiachsige nachgeführte Photovoltaik-Freiflächenanlagen (sog. Mover)		Bezeichnung für Anlagen, deren Module durch eine horizontale und vertikale Achse der Sonne nachgeführt werden können um den Ertrag gegenüber festmontierten Modulen sowie Trackern zu steigern. Diese Anlagen kommen sowohl in kPV-Konzepten als auch als Agri-PV vor, werden aber aufgrund der höheren Investitionskosten bislang seltener eingesetzt.
Ost-West-Photovoltaik-Freiflächenanlagen		Bezeichnung für einen Anlagentyp mit sowohl nach Osten als auch Westen ausgerichteten Modulen. Die Module sind niedrig aufgeständert und überschirmen die Fläche aufgrund sehr geringer Modulreihenabstände nahezu vollständig.
Agri-Photovoltaik-Freiflächenanlage	APV-FFA	Bezeichnung für verschiedene Anlagentypen, die eingesetzt werden, um auf der landwirtschaftlichen Fläche auch nach Errichtung der PV-FFA weiter Landwirtschaft als Hauptnutzung betreiben zu können. Typische Vertreter sind hoch aufgeständerte und so durch landwirtschaftliche Maschinen unterfahrbare Anlagen sowie Anlagen mit in Reihe aufgestellten vertikalen Modulen. Eingesetzt werden aber auch andere Anlagenkonfigurationen wie Tracker oder Mover (s. o.).

1.1 Projektziele und Forschungsfragen

Inhaltlich verfolgt das vorliegende Vorhaben im Schwerpunkt das Ziel, den aktuellen Entwicklungs- und Anwendungsstand der Agri-PV zusammen zu stellen und deren Auswirkungen auf ausgewählte Schutzgüter des Naturschutzes einzuordnen. Für ein möglichst vollständiges Bild wurden dafür auch internationale wie wirtschaftliche Aspekte einbezogen. Aufgrund mangelnder Untersuchungen zu den Auswirkungen von APV-FFA auf Natur und Landschaft, wird

darüber hinaus auch der aktuelle Stand des Wissens zu den potenziellen Auswirkungen von kPV-FFA auf Natur und Landschaft dargestellt, um anhand der Unterschiede zwischen den PV-Konzepten Besonderheiten der APV abzuleiten.

Weiter erfolgte eine nähere Betrachtung von Anlagen und Konzepten, die als sog. Biodiversitäts-PV-Anlagen vorgeben, zu einer naturschutzfachlichen Aufwertung der Flächen beizutragen. Der Fokus liegt dabei sowohl auf der Betrachtung der Wirkungsforschung zu solchen naturverträglicheren kPV-FFA, als auch auf dem Potenzial, das sich aus Perspektive des Naturschutzes für landwirtschaftliche Flächen ergeben könnte und welche Anforderungen dabei aus naturschutzfachlicher Sicht formuliert werden können.

Folgende Forschungsfragen wurden im Schwerpunkt bearbeitet:

Agri-Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen

- Wie ist der aktuelle Stand der Umsetzung von APV-Freiflächenanlagen in Deutschland und international, welche Konzepte existieren und wie entwickelt sich dieser Markt?
- Welche positiven und welche negativen potenziellen Auswirkungen und Effekte haben APV-FFA auf Natur und Landschaft und wie sind diese aus naturschutzfachlicher Perspektive einzuordnen?
- Liegt in Bezug auf die Mehrfachnutzung der Fläche eine „win-win-Lösung“ für den Naturschutz, den Bedarf der Energieerzeugung und die betriebswirtschaftlichen Notwendigkeiten der Agrarbetriebe vor?

Naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen

- Welche Anlagenkonzepte/Best-Practice-Beispiele existieren?
- Welche naturschutzfachlichen Anforderungen müssen erfüllt werden, um dem Anspruch einer naturschutzfachlichen Aufwertung im Sinne einer naturverträglicheren PV-FFA zu genügen?
- Welche Potenziale zur ökologischen Aufwertung von PV-FFA bestehen über die Erfüllung des gesetzlichen Rahmens hinaus? Bestehen in diesem Zusammenhang Ansatzpunkte, die potenziellen Entwicklungen auch zur Schaffung von PV-FFA-Flächenpools zu nutzen, und welche Anforderungen sind aus Sicht des Naturschutzes dazu zu formulieren?

1.2 Methodik

Die Arbeitsergebnisse basieren zunächst auf einer umfassenden nationalen sowie internationalen Literatur- und Projektrecherche von wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Projektberichten, Planungs- und Genehmigungsunterlagen sowie Praxisbeispielen. Ergänzend wurden Interviews mit Vertreter*innen u. a. aus dem Bereich APV geführt. Die Ergebnisse werden entlang der Forschungsfragen systematisch aufbereitet. Auf dieser Grundlage erfolgt dann die Einordnung der Rechercheergebnisse aus naturschutzfachlicher Sicht.

2 Kurzübersicht Rechtsrahmen

2.1 Baurecht

Bei Photovoltaik-Freiflächenanlagen handelt es sich um bauliche Anlagen, die im Regelfall im Außenbereich errichtet werden. Für den Außenbereich differenziert das Baugesetzbuch (BauGB) nach privilegierten und sonstigen Vorhaben. Dabei gilt zunächst, dass es sich bei PV-FFA im Sinne des § 35 Abs. 1 BauGB nicht um privilegierte Vorhaben handelt. Öffentliche Belange können entsprechend regelmäßig entgegenstehen. Diese umfassen neben sonstigen Plänen auch mögliche Festlegungen im Flächennutzungsplan (FNP). Mit der regelhaften Aufstellung des Bebauungsplanes im Zuge der Genehmigung für eine PV-FFA kann daher die Änderung des FNP einhergehen (Kelm et al. 2019a).

Für eine geplante Errichtung ergibt sich daraus zum einen das zulassungsrelevante Erfordernis einer Baugenehmigung und zum anderen die Aufstellung eines Bebauungsplans für die planungsrechtliche Zulässigkeit. Die Festsetzung im Bebauungsplan erfolgt dann als entsprechend benanntes Sondergebiet. Die Entsprechung des Vorhabens zu den Festsetzungen im Bebauungsplan ist die Voraussetzung für die Erteilung der Baugenehmigung. Liegt die geplante Anlage im Geltungsbereich eines Bebauungsplans und bedarf es keiner Ausnahme, Befreiung oder Abweichung, ist weiterhin die Erschließung gesichert und die zuständige Kommune erklärt nicht, dass ein Genehmigungsverfahren notwendig ist, kann auf dieses verzichtet werden (vgl. Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020).

Grundsätzlich können die Kommunen also als Träger der Planungshoheit durch entsprechende Festsetzungen im Flächennutzungs- und Bebauungsplan eine Angebotsplanung für Photovoltaik-FFA erstellen. Tritt ein potenzieller Vorhabenträger mit einem Standortgesuch an die Gemeinde heran, besteht außerdem die bauplanerische Option der Aufstellung eines vorhabenbezogenen Bebauungsplans, bei dem die Planungs- und Erschließungskosten durch den Vorhabenträger aufgebracht werden.

Unabhängig davon welche Variante gewählt wird, können die Planungsträger im Bebauungsplan zahlreiche Festsetzungen treffen. Dies betrifft z. B. die Freihaltung bestimmter Teilflächen, die Art der Einzäunung, die Mindesthöhe zwischen Boden und unterer Modulkante, Ausgestaltung von Pflanzungen sowie Maßnahmen zum Schutz sowie zur Pflege und Entwicklung (etwa Angaben zur Verwendung bestimmter Saadmischungen und zu Mahdterminen).

Die planerische Sicherung und Zulassung von Agri-Photovoltaikanlagen erfolgen analog zu der klassischer PV-Anlagen. Detailliertere Ausführungen dazu befinden sich in Kap. 5.4.

2.2 Energierecht

Als Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien zählen Photovoltaik-Freiflächenanlagen zum Geltungsbereich des EEG (vgl. § 3 Nr. 1). Neben Zielaussagen zur Steigerung des Anteils von Strom aus erneuerbaren Quellen, zu den Ausbaupfaden der einzelnen Energieträger sowie zur Treibhausgasneutralität, regelt das EEG auch die Vergütung für PV-FFA sowie die daran geknüpften Bedingungen.

Photovoltaik-Freiflächenanlagen zählen nach § 3, Abs. 1 Nr. 4a EEG zum sog. ersten Segment, da sie typischerweise weder auf, an oder in einem Gebäude noch auf einer Lärmschutzwand (zweites Segment) errichtet werden. Grundsätzliche Fördervoraussetzungen für

Solaranlagen des ersten Segments ist u. a. ein gültiger Bebauungsplan mit entsprechender Festsetzung zur solarenergetischen Nutzung. Die weiteren Förderoptionen sind an die Höhe der installierten Leistung der Anlage geknüpft. Zwischen 300 bis einschließlich 750 Kilowatt (kW) sind die folgenden Flächenkategorien vergütungsfähig (§ 37, Abs. 1, Nr. 2 EEG):

- Per Bebauungsplan festgesetzte Gewerbe- oder Industriegebiete.
- Flächen von bis zu 200 Metern längs von Autobahnen oder Schienenwegen.
- Flächen die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans bereits versiegelt waren.
- Konversionsflächen.

Im Falle von Anlagen mit mehr als 750 Kilowatt installierter Leistung wird die Höhe der Vergütung per verpflichtender Ausschreibung ermittelt. Anlagen in diesem Größensegment sind im EEG nur über diesen Weg im Falle eines Zuschlags förderfähig (§ 48 Nr. 5 EEG). Nach oben begrenzt ist die installierte Leistung einer Einzelanlage hier bei 20 Megawatt (MW) (§ 38a Nr. 1 Satz 5). Auch die Gesamtmenge der Ausschreibung ist per Gesetz festgelegt: Dabei gilt die für Anlagen mit einer installierten Leistung unter 750 Kilowatt oben dargestellte Flächenkulisse im Wesentlichen ebenso, weitere Optionen sind:

- Flächen im Eigentum des Bundes oder der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben und nach dem 31. Dezember 2013 von der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben verwaltet und für die Entwicklung von Solaranlagen veröffentlicht worden sind.
- Landwirtschaftliche Flächen in benachteiligten Gebieten außerhalb der genannten Flächenkulisse.

Voraussetzung für die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen in benachteiligten Gebieten ist dabei die Anwendung der Länderöffnungsklausel nach § 37c EEG und deren Umsetzung im jeweils betreffenden Bundesland.

Umgesetzt haben die Länderöffnungsklausel derzeit insgesamt sieben Bundesländer. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick wo sie Anwendung findet und welche Ausbaugrößen für Photovoltaik in den jeweiligen Bundesländern festgesetzt sind.

Tab. 2: Übersicht der Inanspruchnahme von benachteiligten Gebieten für PV-FFA, Stand 11/2021. (Quelle: Bundesnetzagentur 2021b)

Baden-Württemberg	100 MW/Jahr
Bayern	200 Anlagen/Jahr
Hessen	35 MW/Jahr
Niedersachsen	150 MW/Jahr
Rheinland-Pfalz	50 MW/Jahr
Saarland	100 MW/Jahr bis 2022
Sachsen	180 MW/Jahr

2.3 Naturschutzrecht

Im Rahmen der Aufstellung des Bebauungsplans zur Ausweisung von Flächen für die solar-energetische Nutzung werden auch die Belange des Umwelt- und Naturschutzes geprüft (§ 2 Satz 4 BauGB). Die Ergebnisse dieser Umweltprüfung sind ein selbstständiger Teil der Begründung zum Planentwurf. Sie werden im Umweltbericht zusammengefasst und dienen als Grundlage zur Berücksichtigung der Belange im Rahmen der Abwägung zum Planbeschluss.

Da bei PV-FFA stets von der Erfüllung des Tatbestandes der Erheblichkeit des Eingriffs auszugehen ist, ist der Vorhabenträger wiederum zur Anwendung der Eingriffsregelung verpflichtet (§ 1a BauGB). Zu begründen ist die Erheblichkeit insbesondere mit der negativen Veränderung des Landschaftsbildes sowie der Versiegelung von Teilflächen (§ 14 Bundesnaturschutzgesetz - BNatschG).

Die Eingriffsregelung wird dabei, neben den anderen ggf. relevanten Prüferfordernissen nach § 2 BauGB, in die Umweltprüfung integriert und dessen Ergebnis im Umweltbericht als selbstständiger Teil der Begründung zum Planentwurf dargestellt.

Neben der Eingriffsregelung ist es im Rahmen der Bauleitplanung notwendig, die mögliche Erfüllung eines oder mehrerer Tatbestände des speziellen Artenschutzes entsprechend § 44 BNatschG zu überprüfen. Dies geschieht in der speziellen artenschutzrechtlichen Prüfung (saP), die ebenfalls in den Umweltbericht integriert wird.

Könnten durch die Planung Fauna-Flora-Habitat- (FFH) oder Vogelschutzgebiete (Special Protected Areas - SPA) in den für ihre Erhaltungsziele oder ihren Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen betroffen sein, ist eine FFH-Vorprüfung durchzuführen (§ 34 BNatschG). Kommt diese zu dem Ergebnis, dass erhebliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden können, ist eine vollständige Verträglichkeitsprüfung durchzuführen.

3 Auswirkungen von PV-FFA auf Natur und Landschaft

Die Auswirkungen von Photovoltaikanlagen auf Natur und Landschaft sind zum aktuellen Zeitpunkt überwiegend bekannt und beschrieben. Entsprechend der Ausbaudynamik haben sich bisherige Untersuchungen dabei auf kPV-FFA auf Landwirtschafts- und Konversionsflächen konzentriert. Im Folgenden wird der Stand des Wissens sowohl zu den Wirkfaktoren als auch den Auswirkungen auf die Schutzgüter des Naturschutzes zusammengefasst dargestellt. Ausführliche Darstellungen sind z. B. in Herden et al. 2009 zu finden, eine neuere Zusammenstellung liefern Badelt et al. 2020.

3.1 Bau-, anlage-, und betriebsbedingte Wirkfaktoren

Bei der Errichtung von PV-FFA wirken über die Projektphasen verschiedene Faktoren, die als Grundlage für Analyse und Bewertung herangezogen werden. Dazu zählen jene projektbezogenen Sachverhalte, Tätigkeiten und Eigenschaften, „die bei Empfindlichkeit der Schutzgüter zu Auswirkungen auf Natur und Landschaft führen“ (Badelt et al. 2020).

Ob, über welchen Zeitraum und in welcher Intensität die im Folgenden dargestellten Wirkfaktoren ausgeprägt sind, hängt vom konkreten Einzelfall und damit sowohl von den Eigenschaften des Standortes, als auch von der Konfiguration und Ausgestaltung der Anlage ab.

Beim Bau von PV-FFA stehen der Baustellenverkehr, die Baustelleneinrichtung und die Erdarbeiten zur Installation bzw. Errichtung der Module inklusive Fundamentierung, der Nebengebäude sowie der Verkabelung inklusive des Netzanschlusses im Vordergrund. Die daraus abzuleitenden Wirkfaktoren treten dabei temporär während der Bauzeit auf.

Tab. 3: Bau-/rückbaubedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.

	Baustellenverkehr/ Maschineneinsatz	Baustelleneinrichtung	Modulinstallation/ Errichtung Nebengebäude	Erdverkabelung/ Netzanschluss
Bodenverdichtung	x	x	x	x
Bodenumlagerung/ -durchmischung		x	x	x
stoffliche Emissionen	x		x	x
Schall-/Lichtemissionen	x			
Erschütterungen	x			

Aufgrund des Einsatzes schwerer Maschinen und Fahrzeuge, u. a. für die Anlieferung der Bauteile als auch z. B. für die Installation von Rammfundamenten, ist stets von einer Bodenverdichtung während des Anlagenbaus auszugehen. Ebenso kommt es insbesondere durch das Legen von Erdkabeln und den dafür notwendigen Aushub zur Bodenumlagerung sowie -durchmischung. Stoffliche Emissionen können sowohl auf die Emissionen der Fahrzeuge und Maschinen, als auch auf das Einbringen von Fremdsubstrat, etwa zur Einrichtung von

Baustraßen, zurückzuführen sein. Ebenso gehen Schall- und Lichtemissionen sowie Erschütterungen vor allem von den Fahrzeugen und Maschinen aus. Lichtemissionen können z. B. durch die Beleuchtung der Baustelle auftreten.

Anlagebedingte Wirkfaktoren gehen vor allem von den Modulen, der Aufständering, Nebengebäuden und der Einzäunung aus.

Tab. 4: Anlagebedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.

	Module	Aufständering	Nebengebäude	Einzäunung
Überschirmung	x	x		
Versiegelung		x	x	x
Barrierewirkung	x			x
visuelle Effekte	x	x	x	x

Wesentlich ist hier die Überschirmung, die sich durch die Modulfläche ergibt. Dieser Effekt geht in geringem Maße auch von der Aufständering aus. Versiegelung tritt bei PV-FFA lediglich durch die Aufständering, die Umzäunung bzw. die Nebengebäude auf. Durch die Umzäunung und ggf. auch durch die Module kommt es außerdem zu Barrierewirkungen.

Visuelle Wirkungen treten in verschiedener Ausprägung auf. Durch die Oberflächenbeschaffenheit sowohl der Module als auch der Unterkonstruktion kann es zu Reflexionseffekten und ggf. zu Blendwirkungen kommen (Herden et al. 2009; Schmidt et al. 2018a). Die Intensität ist abhängig von den verwendeten Materialien sowie der Ausrichtung bzw. dem Betrachtungswinkel (Herden et al. 2009). In diesem Zusammenhang spielen außerdem – wiederum abhängig von den verwendeten Materialien, insbesondere der Module – Spiegelungen und die Polarisation des Lichtes eine Rolle. Je nach Standort, Größe, Flächenzuschnitt und Anlagenkonfiguration sowie der Höhe der Modultische, ist die optische Wirkung der Anlage unterschiedlich stark ausgeprägt. Eine wesentliche Rolle spielt dabei deren Lage zur Horizontlinie und ob die Anlage diese überragt (Herden et al. 2009).

Im Betrieb einer PV-Anlage gehen Wirkungen von den Modulen, den Kabeln sowie insbesondere durch die Wartung bzw. Instandhaltung der Anlage und der Bewirtschaftung bzw. Pflege der Fläche aus.

Tab. 5: Betriebsbedingte Wirkfaktoren von PV-FFA.

	Module	Kabel	Wartung/ Instandhaltung	Pflege/Bewirt- schaftung Fläche
stoffliche Emissionen			x	x
Schall-/ Lichtemissio- nen	x		x	x
Erwärmung	x	x		
elektromagne- tische Felder		x		

So kann es bei der Reinigung der Module zu stofflichen Emissionen durch die dabei verwendeten chemischen Mittel kommen, aber auch Schall- und Lichtemissionen können durch die Wartung im Falle der Präsenz von Fahrzeugen und Personen ausgehen. Ebenso sind Lichtemissionen durch künstliche Lichtquellen (ggf. erforderlich aus Gründen der Sicherheit und von Betriebsabläufen) möglich. Bei der Pflege bzw. Bewirtschaftung der Fläche kann es durch Maschineneinsatz ebenso zu Emissionen kommen. Auch der Eintrag von Schutzanstrichen oder Mitteln zur Imprägnierung der Aufständering ist möglich (Herden et al. 2009). Durch den Betrieb der Anlage erwärmen sich Kabel sowie Moduloberflächen. Außerdem bilden sich elektrische und magnetische Felder um die Kabelsysteme (Herden et al. 2009).

3.2 Auswirkungen auf Natur und Landschaft

3.2.1 Fauna

3.2.1.1 Fledermäuse

Fledermäuse waren bislang nur eingeschränkt Untersuchungsgegenstand im Zusammenhang mit kPV-FFA, die Datenlage ist dementsprechend lückenhaft. Einschätzungen zu den potenziellen Auswirkungen reichen dabei von der Annahme, dass Fledermäuse die PV-Module „[...] problemlos als Hindernisse erkennen [...] dürften“ (Herden et al. 2009) sowie „[...]“, dass für Fledermäuse Photovoltaik-Anlagen i. d. R. allenfalls eine Bedeutung als Nahrungshabitat haben“ (Peschel et al. 2019). Für weitergehende Aussagen ist der Forschungsstand „aktuell nicht ausreichend“ (ebd.). Harrison et al. (2017) finden keine Hinweise für ein mögliches Kollisionsrisiko von Fledermäusen an kPV-FFA.

Während der Bauphase sind jedoch Beeinträchtigungen durch Lärm, Licht und Erschütterungen denkbar (Günnewig et al. 2007). Im Anlagenbetrieb finden Montag et al. (2016) auf drei der betrachteten Kontrollflächen eine signifikant höhere Aktivität im Vergleich zu den Solarparkflächen.

Bei allen übrigen Flächen waren keine signifikanten Unterschiede der Aktivität feststellbar. Als mögliche Erklärung vermuten die Forschenden Schwierigkeiten der Tiere, die künstlichen glatten Oberflächen der Module als Hindernisse zu erkennen. In Bezug auf die Interpretation wird allerdings einschränkend darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse insgesamt nicht schlüssig

sind. Die Artenanzahl war in der Gesamtbetrachtung zwischen Kontroll- und Solarpark nicht signifikant unterschiedlich (ebd.).

Weiter bestehen Vermutungen, dass das durch die Erwärmung der Module erhöhte Insektenvorkommen als Nahrungsquelle wiederum eine Attraktionswirkung auf Fledermäuse haben könnte und kPV-Flächen auf Grünland geeignete Jagdhabitats darstellen könnten (Harrison et al. 2017; Herden et al. 2009; Montag et al. 2016). Bis sich dieser mögliche Effekt einstellt, kann es nach Montag et al. (2016) Jahre dauern, da Fledermäuse besonders langlebige Tiere sind. Auch könnte sich die Aufwertung breiter Randstrukturen eher positiv auswirken, als die Aufwertung des Grünlandes innerhalb der mit Modulen überstellten Fläche (ebd.).

Montag et al. (2016) weisen außerdem darauf hin, dass die Orientierung von Fledermäusen durch glatte Oberflächen beeinträchtigt sein kann (Greif, mündl. Mitteilung). In Untersuchungen zum Flugverhalten von Fledermäusen an glatten, vertikalen Oberflächen stellten sich diese als sogenannte „sensorische“ oder „ökologische Falle“ heraus: die Tiere missinterpretierten die Oberfläche, so dass sie nicht von einem Hindernis, sondern von einem frei zu durchfliegenden Bereich ausgingen. Deutet die Echoortung nicht auf eine raue vertikale Oberfläche hin, gehen die Tiere von einer freien Flugbahn aus. In der angesprochenen Untersuchung kam es sowohl unter Labor- wie auch Freilanduntersuchung zu Kollisionen mit der vertikalen Oberfläche (Greif et al. 2017).

Eine mögliche Aufwertung der betreffenden Fläche für Fledermäuse durch die Entwicklung eines artenreichen Grünlandes auf der PV-Fläche gegenüber einer intensiven, z. B. ackerbauartigen, Vornutzung in Bezug auf das Nahrungsangebot von insbesondere Fluginsekten halten Peschel et al. (2019) und Herden et al. (2009) für möglich.

3.2.1.2 Weitere Säugetiere

Die Bautätigkeit mit Maschineneinsatz und die häufige wie regelmäßige Anwesenheit von Personen im Bau Feld kann zu einer Meidung mindestens des Nahbereichs der Anlage durch Säugetiere führen (Demuth et al. 2018; Herden et al. 2009).

Aus versicherungstechnischen Gründen sind kPV-FFA in der Regel durch eine vollständige Umzäunung gesichert. In der Folge kommt es für Mittel- und Großsäuger wie Feldhase, Fuchs oder Rotwild zu Barrierewirkungen mit, je nach konkreter Ausgestaltung, Verlust von (Teil-) Lebensräumen bzw. zu deren Zerschneidung (Demuth et al. 2018). Insbesondere bei großflächigen Anlagen und in Abhängigkeit des Flächenzuschnitts können außerdem tradierte Habitatverbindungen und Wanderkorridore beeinträchtigt werden. Die Wirkung der Umzäunung als Barriere variiert in ihrer Intensität mit der Anlagengröße. Insbesondere großflächige Anlagen mit mehreren hundert Metern Länge stellen für alle Arten, welche die Umzäunung nicht über- oder unterqueren können, eine unüberwindbare Barriere dar.

Unabhängig von der Umzäunung können Klein- und Mittelsäuger von Beeinträchtigungen betroffen sein. Besonders relevant ist dies für gefährdete bzw. stark gefährdete Arten wie Feldhase (Deutschland: gefährdet) und Feldhamster (Deutschland und international: vom Aussterben bedroht). Im Fall des Feldhamsters sind durch den Anlagenbau Lebensraumentwertungen denkbar, etwa wenn die Ackernutzung eingestellt wird. Umgekehrt ist es möglich, dass Rückzugsräume und Nahrungshabitats für diese Art entstehen könnten, deren Bestände v. a. unter der Intensivierung der Landwirtschaft leiden (Herden et al. 2009). Vorkommen von Feldhasen

auf kPV-FFA wurden sowohl in Herden et al. (2009) als auch Parker und McQueen (2013) festgestellt.

Auch für weitere Säugetierarten, neben den Fledermäusen, wie Feld- und Spitzmaus und dadurch auch für Raubtiere wie Fuchs und Marderartige, kann durch die Extensivierung der Fläche mit artenreichem Grünland ein verbessertes Nahrungsangebot entstehen (Herden et al. 2009) und so potenziell als Trittsteinbiotop und Lebensraum dienen (Bundesamt für Naturschutz 2020).

3.2.1.3 Avifauna

Die Auswirkungen von kPV-FFA auf die Avifauna sind vielfältig und können sowohl Synergien als auch Konflikte aufweisen. Darüber hinaus sind einige spezifische Wirkungszusammenhänge, wie das Meideverhalten von Offenlandarten, bislang nur teilweise untersucht (Herden et al. 2009) bzw. haben umfänglichere Untersuchungen v. a. auf Konversionsstandorten stattgefunden (Tröltzsch und Neuling 2013). Grundsätzlich kommt es sowohl durch den Anlagenbau selbst wie auch ggf. durch eine Änderung der Vegetationszusammensetzung zu einer Umstrukturierung der Brutvogelgemeinschaft, z. B. im Hinblick auf die Artenzusammensetzung (Landeck et al. 2014).

Habitatnutzung

Insbesondere auf zuvor intensiv genutzten Ackerstandorten führt die Installation einer PV-FFA im Falle einer damit einhergehenden Extensivierung der Flächennutzung zu Lebensraumaufwertungen für zahlreiche Arten. Umgekehrt ist aber ein Verlust bzw. die Zerstörung von Habitaten im Falle der Inanspruchnahme von avifaunistisch wertvollen Offenlandflächen ebenso möglich (Demuth et al. 2018).

Herden et al. (2009) fanden überwiegend für Singvogelarten, dass diese die Anlagenstrukturen als Jagdansitz und Singwarte nutzten und ebenso zwischen den Modulen nach Nahrung suchten. Schneefreie Bereiche unterhalb der Module dienten Kleinvögeln als Nahrungshabitate genutzt (ebd.). Raab (2015) nennt, neben weit verbreiteten und häufigen Arten, Rebhuhn (in 2 Solaranlagen), Neuntöter (3), Baumpieper (2), Schafstelze (2), Dorngrasmücke (4), Schwarzkehlchen (1), Feldsperling (4), Bluthänfling (2) und Goldammer (5) als typische Arten in Solarparks.

Bodenbrütende Arten wie das Rebhuhn, eine durch die intensive Landwirtschaft stark gefährdete und typische Art der Agrarlandschaft, können in kPV-Anlagen Deckung und geeignete Brutmöglichkeiten finden (F&P Netzwerk Umwelt GmbH 2021). Auch Feldlerchen wurden auf Anlagenflächen nachgewiesen, wobei die Randbereiche hier zur Jagd und die Wiesenflächen zwischen den Modulreihen als Bruthabitate dienten (ebd.). Demgegenüber stehen Ergebnisse von Neuling (2009), der im Solarpark Turnow ein massives Meideverhalten der Modulflächen durch Feldlerchen und weitere Arten feststellte. Dieses Ergebnis konnte in Untersuchungen an einem anderen Solarpark jedoch nicht bestätigt werden (Tröltzsch und Neuling 2013). Als möglicher Grund für die abweichenden Befunde wird der unterschiedliche Reihenabstand von knapp fünf Metern im Solarpark Turnow-Preilack zu knapp sieben Metern in Finow 1 angegeben (ebd.). Eine aktuelle Auswertung von Studien fasst zusammen, dass „die Eignung von Solarparks als Habitate für bodenbrütende Offenlandvogelarten unterschiedlich bewertet

sind“ (KNE 2021b). Allgemeine Aussagen dazu, unter welchen Bedingungen sich welche Arten ansiedeln, schätzt das KNE als aktuell nicht möglich ein (ebd.). Für eine Habitataignung für Offenlandarten spricht, dass kPV-FFA typische Gefährdungsfaktoren für die intensiv genutzte Agrarlandschaft, wie eine intensive und häufige Bodenbearbeitung zur Brutzeit und eine intensive Düngung, nicht oder stark eingeschränkt aufweisen (ebd.).

Herden et al. (2009) sehen in kPV-FFA keine Jagdhindernisse für Greifvögel. Mäusebussarde wurden in ihren Untersuchungen regelmäßig jagend innerhalb der Anlage beobachtet, Habicht und Sperber wurden über den Anlagen gesichtet. Vermutet wird, dass das Nahrungsangebot bei extensiver Pflege innerhalb der Anlage standortabhängig besser ist (ebd.). In der gleichen Untersuchung wurden Greifvögel beobachtet, die Modulstrukturen als Ansitz- und Sonnplatz nutzten. Das KNE sieht weitere Wissenslücken in den Auswirkungen von Solarparks auf deren Funktion als Nahrungshabitat für Greifvögel, da hier bisher nur wenig bekannt sei (KNE 2021a).

Für Durchzügler und Nahrungsgäste konnten Herden et al. (2009) bei den beobachteten Arten keine negativen Wirkungen der untersuchten Anlagen feststellen (u. a. Braunkehlchen und Wiesenpiper als bodennah ziehende Arten). Hochfliegend wurden lediglich einzelne Individuen beobachtet, die die Anlage in großer Höhe überflogen. Auf einer Wiese unmittelbar neben der Anlage wurden u. a. zwei Graugänse als Wintergäste beobachtet.

Stör- und Scheuchwirkung

Zu Stör- und Scheuchwirkungen mit entsprechenden (Teil-)Lebensraumverlusten kann es zunächst temporär durch den Bau einer kPV-FFA kommen (Günnewig et al. 2007).

Während des Anlagenbetriebs konnten Herden et al. (2009) bei keiner der beobachteten Arten spezielle räumliche Muster als Reaktion auf kPV-FFA feststellen, sondern gehen davon aus, dass die Nutzungspräferenzen der Arten auf die unterschiedlichen Biotopausstattungen des Betrachtungsraums zurückzuführen sind. Ebenso konnten keine Muster in Bezug auf den von Arten eingehaltenen Abstand auf Flächen außerhalb der Anlage abgeleitet werden. Weiter konnten keine als negative Reaktion von Vogelarten auf kPV-FFA zu interpretierenden Beobachtungen gemacht werden, allerdings wurden entsprechende sensible Arten in den Untersuchungen nicht nachgewiesen (ebd.).

Die visuelle Wirkung der Anlage mit dem sogenannte Silhouetteneffekt kann jedoch auf störungsempfindliche Arten, insbesondere Vögel der Offenlandschaft, wirken. Zu einer Beeinträchtigung oder dem Verlust von Habitaten durch Stör- und Scheuchwirkungen kann es insbesondere bei avifaunistisch wertvollen Offenlandflächen kommen (Demuth et al. 2018; Herden et al. 2009). Davon betroffen sein können, neben der Anlagenfläche selbst, auch angrenzende Rast- und Nisthabitate. Zu den störungsempfindlichen Arten zählen insbesondere jene Rastvögel die überwiegend in der Agrarlandschaft vorkommen, wie nordische Gänsearten, Zwerg- und Singschwäne sowie Kraniche und Kiebitze. Eine art- oder artengruppenspezifische Quantifizierung der Wirkdistanzen existiert derzeit nicht (Demuth et al. 2018; Herden et al. 2009).

Kollision

Herden et al. (2009) fanden keinerlei Hinweise auf Kollisionsereignisse unter Brut- wie auch Zugvögeln und Nahrungsgästen. Ein Kollisionsrisiko konnte für die in der Untersuchung nicht betrachtete Arten, Anlagentypen, topografische Bedingungen sowie Biotoptypen, andere Witterungsbedingungen und nachts nicht ausgeschlossen werden, wobei das Risiko insgesamt als sehr gering eingeschätzt wurde. In anderen Untersuchungen wurden Kollisionsopfer an kPV-FFA gefunden. Kosciuch et al. (2020) fanden in einer Metastudie mit Daten aus Nordamerika, dass insbesondere bodenbrütende Arten kollidieren. Weiter ergab die Datenanalyse, dass jährliche Kollisionsraten bei maximal 2,99 Kollisionen pro Megawatt pro Jahr ($\pm 1,03$ Kollisionen pro Hektar pro Jahr) lagen, ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Kollisionsereignisse und der pro Anlage installierten Kapazität konnte dabei nicht festgestellt werden. Die Studie hat weiter Hinweise für ein möglicherweise erhöhtes Kollisionsrisiko wassergebundener Arten gefunden, ein signifikanter Zusammenhang konnte allerdings nicht festgestellt werden. Auch ergab sich kein Zusammenhang zwischen Kollisionshäufigkeit und Zug- bzw. Flugverhalten sowie zwischen Kollisionshäufigkeit und Häufigkeit der Nutzung der Anlagenflächen.

In der Untersuchung von Kagan et al. (2014) wurden an der kPV-FFA „Desert Sunlight“ (Süd-Kalifornien) insgesamt 61 Individuen durch Nachsuchen aufgefunden. Kagan et al. (2014) postulieren ebenso Hinweise auf eine möglicherweise erhöhte Betroffenheit von wassergebundenen Vögeln. Dort waren entsprechende Arten an der untersuchten kPV-FFA „Desert Sunlight“ im Vergleich zu den anderen untersuchten solarenergetischen Anlagen (Parabol-Solarkraftwerk „Genesis Solar Energy Project“ und Solarwärme-Kraftwerk „Ivanpah“, beide Mojav-Wüste Kalifornien, USA) mit 44 Prozent überproportional häufig vertreten. Harrison et al. (2017) stellten fest, dass das Kollisionsrisiko für kPV-FFA zwar gering, aber nicht ausgeschlossen ist, wobei die mit der kPV-FFA ggf. verbundene Infrastruktur wie Freileitungen ein höheres Risiko darstellt. Landeck et al. (2014) berichten von häufigen und gezielten Tiefflügen bzw. Landeversuchen ausschließlich an Wasserlebensräume gebundene Arten wie Höckerschwan, Rohrweihe und Fischadler, wobei durch gezielte Nachsuchen keine Anflugopfer nachgewiesen werden konnten (ebd.).

3.2.1.4 Reptilien

Entscheidend für die Habitateignung von Flächen für Reptilien ist deren Ausstattung in Bezug auf die Vegetation, Habitatstrukturen und Unterschlupfmöglichkeiten (Badelt et al. 2020). Landeck et al. (2014) sehen hier für kPV-FFA eine nur geringe Eignung, da die entsprechenden Strukturen durch Anlagenbau und die damit verbundenen Arbeiten wie Baufeldvorbereitung teilweise entfernt werden. Auch halten sie es für möglich, dass die Temperatursummen aufgrund der Verschattungseffekte der Module für den Schlupf der Eier unzureichend sein könnte (ebd.). Badelt et al. (2020) verweisen auf einzelne Nachweise von Zaun- und Waldeidechsen in PV-FFA, weitere Studien fanden sowohl adulte wie auch Jungtiere der Zauneidechse.

Betriebsbedingt hat die Auswertung von Monitorings gezeigt, dass der Modulreihenabstand wesentlichen Einfluss auf die Populationsdichte wärmeliebender Arten und insbesondere von Zauneidechsen als häufigste planungsrelevante Art hat. Peschel et al. (2019) fanden in ihrer

Metastudie, dass die Populationsdichte bei Verfügbarkeit von besonnten Streifen von mindestens drei Metern Breite deutlich zunahm.

Als entscheidenden Faktor für die faunistische Ausstattung und Diversität einer PV-FFA auf ehemaligen Ackerflächen weist Raab (2015) auf das Vorhandensein von Quellpopulationen wertgebender Arten im direkten Umfeld hin.

3.2.1.5 Amphibien

Untersuchungsergebnisse zu Amphibien im Kontext kPV-FFA liegen nur vereinzelt vor. Bei denen von Peschel et al. (2019) ausgewerteten Studien gab es nur bei 15 Prozent Ergebnisse zu dieser Gruppe mit der Begründung, dass im überwiegenden Teil der Fälle keine aquatischen Lebensräume und damit Fortpflanzungshabitate vorkamen. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass Landlebensräume und Wanderrouten eine hohe Bedeutung für Amphibien besitzen, da diese einen Großteil ihres Lebens außerhalb des Wassers verbringen (ebd.).

Als Voraussetzung für die Nutzung von kPV-FFA durch Amphibien geben Badelt et al. (2020) das Vorhandensein von Gewässern auf dem Gebiet der Anlage an und verweisen auf Nachweise von Bergmolch, Kreuzkröte, Laubfrosch und Teichfrosch auf einem strukturreichen Standort mit vielen Gewässern sowie den Fortpflanzungsnachweis von Kreuzkröten auf einer kPV-FFA.

Nach Landeck et al. (2014) dienen kPV-FFA für Amphibien in der Regel nur als Sommerlebensraum, wobei die Tiere die Flächen im Zuge ihrer Wanderungen zwischen Laich- und Überwinterungshabitat passieren können. Auch weisen sie darauf hin, dass extensivierte Flächen unter PV-FFA von Bedeutung sein können, wenn sie in strukturarmen und intensiv bewirtschafteten Agrarlandschaften verortet sind. In diesem Fall werden die Flächen auch von Wechsel-, Knoblauchs- und Kreuzkröte genutzt (ebd.).

Mit Bezug zur zunehmenden Inanspruchnahme von landwirtschaftlichen Flächen gehen Peschel et al. (2019) davon aus, dass die Bedeutung von kPV-FFA, insbesondere in eiszeitlich geprägten, gewässerreichen Agrarlandschaften wie dem nordostdeutschen Tiefland, als Amphibienlebensräume zunimmt.

3.2.1.6 Insekten

Baubedingte Auswirkungen sind in Bezug auf Insekten in erster Linie von temporärem (Teil-) Lebensraumverlust oder Barrierewirkungen durch das Anlegen von Nutzwegen, das Befahren mit Baufahrzeuge, die Aufschüttung von Boden oder der Ablage von Materialien bestimmt. Von der Anlage von Zufahrtswegen oder durch Rodungen bzw. dem Verlust der Vegetation, sowie von Bodenverdichtungen sind insbesondere vegetations- und bodennistende Arten bzw. Artengruppen wie u. a. Bienen, Tagfalter oder auch Heuschrecken betroffen.

Übergreifend führt die Überschirmung von Teilflächen durch die Module zu veränderten Standortbedingungen, insbesondere in Bezug auf die Verfügbarkeit von sonnenbeschienen Bereichen sowie auf die Vegetationszusammensetzung und -ausprägung. Die Intensität dieser Effekte nehmen mit dem Anteil der überschirmten Flächen zu. In beiden Fällen kann es in der Folge zu, auch großflächigen, Verlusten von (Teil-) Lebensräumen kommen (Bundesamt für Naturschutz 2020).

Im Betrieb der Anlage wirkt sich eine Extensivierung der Flächennutzung, insbesondere in strukturarmen Agrarlandschaften auch auf die Gruppe der Insekten überwiegend positiv aus (F&P Netzwerk Umwelt GmbH 2021). Es können Trittsteinbiotope und Lebensräume entstehen (Bundesamt für Naturschutz 2020).

Hinsichtlich der technischen Spezifika für Photovoltaik stehen besonders das Reflektions- und Polarisationsverhalten und die damit einhergehende Attraktionswirkungen der Module in der Diskussion. Die glatten und spiegelnden Oberflächen bedingen in erster Linie eine Rückstrahlung des Sonnenlichtes. Dies führt zu einer Lockwirkung auf die meisten Insektenarten und betrifft sowohl landlebende, aber insbesondere aquatische Arten (Harrison et al. 2017; Horváth et al. 2010). Die Reflektion von polarisiertem Licht imitiert Wasseroberflächen und führt so zu häufigeren Kontaktflygen bei der Nahrungssuche oder zu vermehrter Eiablage auf den Modulen. Es entstehen sog. „ökologische“ bzw. „sensorische Fallen“ die sich auf Populationen negativ auswirken können (Peschel 2010).

Auch kann die Orientierung der Tiere beeinträchtigt werden. Nach Horváth et al. (2010) sind die potenziellen Auswirkungen durch diesen Effekt auf die Populationen von Wasserinsekten derzeit noch unklar. KPV-FFA in der Nähe von Feuchtgebieten und Gewässern können zur Irritation von Individuen und dadurch ggf. zu Beeinträchtigungen vorhandener Populationen führen. Die Forschenden benennen in diesem Zusammenhang vor allem Eintagsfliegen, Steinfliegen, Arten der Gruppe der Langbeinfliegen sowie Bremsen, die entweder am stärksten von Solarmodulen angelockt wurden oder ihre Eier bevorzugt daran ablegten, auch wenn sich Wasserflächen in der Nähe befanden (ebd.).

Herden et al. (2009) beschreiben, dass es durch Erhitzung der Moduloberflächen zu einer Beeinflussung des lokalen Mikroklimas kommen kann. Die aufsteigende Warmluft könnte dann, insbesondere bei kühler Witterung, Insekten verstärkt anlocken. Die höhere Abundanz von Individuen kann so zu einer erhöhten Vulnerabilität der Population gegenüber Beutegreifern wie Vögeln und Fledermäusen führen (Harrison et al. 2017). Auch Kollisionsrisiken sind für Insekten nicht auszuschließen (Herden et al. 2009).

Anlage- und betriebsbedingt kann es jedoch auch zu positiven Effekten kommen. Diese ergeben sich durch eine gewisse Schutzwirkung der Module vor Witterungseinflüssen oder durch die betriebsbedingte Freihaltung von Teilbereichen (z. B. Wege), die als Offenhabitate fungieren können (Demuth et al. 2018).

Für die Einordnung der Auswirkungen von KPV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen sind Insektengruppen relevant, die einen Großteil ihres Lebens in der Agrarlandschaft verbringen, sowie typisch für bestimmte agrargeprägte Lebensräume (Ackerland, Grünland, Sonderkulturen, damit einhergehende Strukturen) sind (Stommel et al. 2018). Hierzu zählen bspw. bestäubungsrelevante Artengruppen der Bienen und Tagfalter. Für diese, aber auch zu Heuschrecken, existieren bereits spezifische Untersuchungen bzgl. der Auswirkungen von KPV-FFA.

Bienen

Von den mehr als 550 in Deutschland nachgewiesenen Bienenarten gehören mit Ausnahme der Honigbiene alle Arten zu den Wildbienen. Ausschlaggebend für eine artenreiche Wildbienenfauna ist die zur Verfügung stehende Pflanzenvielfalt und das zeitlich gestaffelte Auftreten der benötigten Pollenquellen während der Aktivitätszeit (Timling 2014). Ungefähr 75 Prozent

der nestbauenden Wildbienenarten legen ihre Nisthöhlen außerdem im Erdboden an. Bevorzugte Standorte sind Böden mit maximaler Sonnenstrahlung. Die benötigten Bodenarten unterscheiden sich je nach Art und reichen von Sand- und Lehm bis hin zu Lößböden. Solitär lebende bodennistende Wildbienen meiden vorrangig stark humushaltige und stark verdichtete Böden. Für andere Arten ist das Vorhandensein artspezifischer Nistbaumaterialien entscheidend (ebd.).

Bau- und anlagebedingt kommt es durch kPV-FFA aufgrund der Zerschneidung und Zerstörung strukturreicher und wärmebegünstigter Lebensräume zu einer Veränderung der Lebensgrundlagen für Wildbienen. Hierzu zählt die Verdichtung des Bodens, auch im Zusammenhang mit Veränderungen der Vegetationszusammensetzung sowie einer Verschlechterung der Vegetationsentwicklung (Herden et al. 2009). Durch die Überdeckung mit Modulen kommt es weiterhin zur Verschattung mit geringerer Wasserversorgung der darunter liegenden Bereiche. Weiterhin kann bei großflächigen Anlagen durch die Überdeckung eine verringerte Wasserversorgung der oberflächigen Bodenschichten gegeben sein. Dies ist insbesondere im Winter zu beobachten, wenn die Bereiche unterhalb der Module vollständig schneefrei bleiben (Herden et al. 2009). Dies fördert unter Umständen die Etablierung von trockenheitsverträglichen Pflanzenarten und führt damit ggf. zu einer Verschiebung des Nahrungsangebotes (Timling 2014). Diese Effekte sind zum aktuellen Stand allerdings noch unzureichend zu belegen. Die Forschungsgemeinschaft bestätigt hingegen, dass die Verschattung zu einer geringeren Verdunstung und damit zu einer höheren Bodenfeuchte beiträgt. Zusätzlich versorgen die Kapillarkräfte den Boden aus der Tiefe mit Wasser (Herden et al. 2009). Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Polarisation des Lichts auch bei Bienen zu einer Störung der Orientierung führen kann (Scheurer 2016).

Anlage- und betriebsbedingt sind bei Wildbienen durch abstrahlende Wärme keine erhöhten Attraktionswirkungen belegbar.

Heuschrecken

Auch Heuschrecken besiedeln Habitate der Agrarlandschaft bzw. liegen dort deren Vorkommensschwerpunkte (Gottwald und Stein-Bachinger 2016). Heuschrecken bevorzugen Offenlandschaften und warme Temperaturen. Ackerkultur- und Grünlandstandorte gehören dabei zu den essenziellen Lebensräumen. Hinsichtlich der potenziellen Auswirkungen von kPV-FFA auf die Populationen, sind die Raumnutzung um die Module herum sowie Effekte, die sich durch Verschattung ergeben, von Relevanz.

Auswirkungen durch den Bau zeigen sich auch hier insbesondere als Veränderung des Bodengefüges sowie der Vegetation. Wie auch bei Wildbienen, legen einige Arten ihre Eier in das Erdreich ab. Daher kann, besonders für kPV-FFA mit Fundamenten, davon ausgegangen werden, dass durch Rodung, das Aufbrechen des Bodens oder durch baubedingte Verdichtungen oder Materialeinträge negative Entwicklungsbedingungen für Eier und Larven gegeben sind oder diese zerstört werden können (Herden et al. 2009).

Als wechselwarme Tiere sind viele Heuschreckenarten tagaktiv. Dementsprechend benötigen sie Bereiche, mit größtmöglicher Exploration zu Sonne und Wärme. Anlagebedingt konnten Herden et al. (2009) zeigen, dass die durch nachgeführte Module verschatteten Bereiche, im Vergleich zu besonnten Streifen, von Heuschrecken deutlich gemieden werden. Nicht

eindeutig zu bestimmen waren jedoch Auswirkungen, die mit der Veränderung der Luftfeuchtigkeit im Rahmen der Verschattung einhergehen.

Nicht auszuschließen ist außerdem, dass horizontale Module auch eine negative Attraktionswirkung entfalten können, in dem ihre Oberflächen als alternative Aufwärmplätze genutzt werden. Dies beträfe vorrangig niedrige Module, da die in Deutschland vorkommenden Heuschrecken nur geringe Flughöhen erreichen (Fischer et al. 2020). Sofern Heuschrecken und Grillen Module als Aufwärmplätze nutzen, sind anlagebedingt negative Auswirkungen durch eine höhere Gefährdung durch Beutegreifer anzunehmen, da die Insekten auf den Modulen vergleichsweise exponiert und ungeschützt sind. Herden et al. (2009) schlussfolgern zudem, dass eine Präferenz für die besonnten Bereiche nicht gleichzeitig bedeutet, dass beschattete Teilflächen ohne funktionelle Bedeutung sind. Für vegetationsnutzende Arten können die gleichen Module bspw. auch eine Schutzwirkung entfalten, da die Gelege vor Witterung und Prädatoren geschützt sind, oder zur Nahrungsaufnahme genutzt werden. Insgesamt trägt Verschattung zu einer „Strukturierung bzw. Differenzierung“ des Lebensraumes bei (ebd.).

In Deutschland kommen keine wandernden Heuschreckenarten (z. B. Europäische Wanderheuschrecke) mehr vor. Zudem legen viele der in Deutschland vorkommenden Arten fliegend zwar durchaus weite Strecken zurück, sie erreichen hierbei aber keine großen Höhen. Eine durch Reflektion oder Polarisation ausgehende Ablenkung in Bezug auf die Orientierung bei Flug kann daher ausgeschlossen werden (Fischer et al. 2020).

Herden et al. (2009) betonen zudem, dass Effekte die durch die Nutzungsart und Nutzungsdichte entstehen, Auswirkungen der Verschattung erheblich überlagern können. Heuschrecken ist es durch ihre Mobilität jedoch möglich auf diese Effekte kurzfristig zu reagieren.

Tagfalter

Baubedingte Auswirkungen sind für Tagfalter in gleichem Umfang zu erwarten wie für Bienen und Heuschrecken, weshalb nicht noch einmal hierauf eingegangen wird.

Das Vorkommen von Tagfaltern wird auch bei kPV-FFA vordergründig von der vorkommenden Vegetation bestimmt. Da Tagfalter im Gegensatz zu ihren nachtaktiven Verwandten weniger stark von Lichtquellen angezogen werden, dürften sich anlagenbedingt durch Reflexion nur geringe Attraktionswirkungen ergeben. Auch Tagfalter nutzen die Polarisation des Lichtes zur Orientierung im Flug und zur Nahrungssuche. Welche Effekte PV-Module hinsichtlich ihrer Polarisationseigenschaften auf Tagfalter im Speziellen haben, konnte anhand der Literatur nicht ermittelt werden. Negative Auswirkungen können daher nicht ausgeschlossen werden. Inwiefern sich Reflexion und Polarisation auf Tagfalter auswirken, konnte von Herden et al. (2009) bspw. ebenfalls nicht eindeutig beantwortet werden. Zwar fanden sich bei den unter und an den Modulen gefangenen, blütenbesuchenden Spezies auch viele Tagfalter, doch ist nicht auszuschließen, dass es sich hierbei um Strukturnutzer oder Zufallsfänge handelte.

Da Tagfalter, wie auch Bienen, deutlich mobiler als Heuschrecken sind, stellen Modultische oder vertikale Modulreihen trotz bestehendem Kollisionsrisiko keine nennenswerten Barrieren dar. Das gleiche gilt für Umzäunungen der Anlagen. Tatsächlich wurden Tagfalter eher häufig nahe der zaunhaften Saumstrukturen nachgewiesen (Badelt et al. 2020).

Montag et al. (2016) zeigten zudem, dass auf Flächen mit kPV-FFA keine signifikant höhere oder niedrigere Individuenzahl im Vergleich zu Kontrollflächen ohne kPV-Anlagen nachzuweisen waren. Daraus lässt sich schließen, dass niedrige Anlagen nur geringfügige Einflüsse auf das Vorkommen und die Abundanz von Tagfaltern haben dürften. Trotz der bekannten Empfindlichkeit von Tagfaltern gegenüber Habitatfragmentierung gehen auch Guiller et al. (2017) insgesamt von keiner direkten Gefährdungen durch kPV-FFA auf Tagfalter aus, weshalb anlage- und betriebsbedingte Effekte kaum gegeben sind.

3.2.2 Flora

Auswirkungen von kPV-FFA auf die Flora können sowohl bau-, wie auch anlage- und betriebsbedingt auftreten.

Beim Bau von kPV-FFA kann es durch Wegebau, Baustellenverkehr, Materiallagerung und Bodenaushub, insbesondere für die Kabelgräben, zu erheblichen Störungen sowie Schädigungen der Vegetation kommen. Zu einer vollständigen Beseitigung des Bestandes kommt es in der Regel nicht, es sei denn, Waldflächen werden gerodet. Auch die durch den Anlagenbau bedingte Bodenverdichtung kann aufgrund der veränderten Standortverhältnisse eine veränderte Vegetation zur Folge haben bzw. kann es zu Standortverlusten für bestimmte Arten kommen (Demuth et al. 2018).

Bei Standorten für kPV-FFA handelt es sich häufig um Offen- seltener um halboffene Standorte auf Konversions-, Deponie- oder landwirtschaftlichen Flächen. Die anlagenseitige Überschirmung von Teilflächen führt auf diesen Flächen zu veränderten Licht- und mikroklimatischen Bedingungen mit entsprechendem Einfluss auf die Vegetationsausprägung sowie die Artenzusammensetzung. Hierbei stehen die veränderten Lichtverhältnisse im Vordergrund: die Untersuchung verschiedener kPV-Standorte in Landeck et al. (2014) zeigten, dass diese für knapp 60 Prozent der vorkommenden Pflanzen maßgeblich war. Es kann zum Verschwinden lichtliebender Arten sowie zu Veränderungen im Wuchs und Verschiebungen der annualen Entwicklung kommen. Eine verminderte Vermehrung und die Ausbreitung standortfremder Arten kann eine Folge sein (Demuth et al. 2018).

Bei Untersuchungen eines Deponiestandortes, floristisch charakterisiert als Ruderalvegetation des Offenlandes, stellten Seidler et al. (2013) fest, dass die Pflanzen unter den Paneelen zwar üppiger, jedoch aufgrund des Lichtmangels vergeilt (vermehrtes Längenwachstum, schwache Ausprägung von Festigungsgewebe) wuchsen. Nach der Mahd war der Neuaustrieb insbesondere zwischen unterer Modulkante und Modulmitte verlangsamt sowie insgesamt vermindert. Entsprechend dem Lichtgradienten wurden außerdem zeitliche Veränderungen in der Entwicklung z. B. hinsichtlich der Blüten- und Samenausprägung festgestellt, wobei die stark verschatteten Flächen verzögert entwickelt waren. Übergreifend und unabhängig von den auf der Fläche ausgesäten Arten wurde eine ungleichmäßige Vegetationsbedeckung festgestellt, begründet durch die unterschiedliche Lichtverfügbarkeit sowie mit dem Abtropfen von Niederschlag an den Modulkanten (ebd.). Auch Demuth et al. (2018) sehen die Möglichkeit, dass sich aufgrund der erhöhten Wasserverfügbarkeit entlang der Traufkanten standortuntypische Arten wie z. B. Moose ansiedeln könnten. Durch die Lichteinschränkung vollständig vegetationsfreie Bereiche schließen Herden et al. (2009) aufgrund des verfügbaren Streulichts aus.

Der Grad der Verschattung, von dauerhaft bis im Tagesverlauf zeitlich beschränkt, ist dabei von der Anlagenkonfiguration, insbesondere der Größe der zusammenhängenden Modulfläche und der Höhe ihrer Aufständigung abhängig (Herden et al. 2009).

Werden zuvor intensiv genutzte Grün- oder Ackerlandflächen für kPV-FFA genutzt und in diesem Zuge betriebsseitig extensiv gepflegt, sind aus naturschutzfachlicher Sicht keine negativen Auswirkungen zu erwarten. Im Gegenteil ist mit der Etablierung von extensiver Vegetation – insbesondere bei einer entsprechend angepassten Pflege von extensivem, artenreichem Grünland – eine Zunahme der Biodiversität verbunden (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; Raab 2015). F&P Netzwerk Umwelt GmbH (2021) sehen außerdem das Potenzial, dass sich in Abhängigkeit von Beschattung und Niederschlagseinfluss ein vielfältiges Strukturmosaik aus verschiedenen schatten-, halbschatten-toleranten sowie lichtliebenden Pflanzen etablieren kann.

3.2.3 Fläche

Für die Betrachtung des Schutzgutes Fläche im Kontext kPV-FFA liegt die Betrachtung verschiedener Ebenen nahe. Dies betrifft zunächst die Ebene des Flächenbedarfs pro erzeugter Energieeinheit. Sinnvoll zu unterscheiden ist außerdem zwischen der tatsächlich versiegelten und der nicht versiegelten, jedoch durch die Module überschirmten Fläche.

Der spezifische Flächenbedarf für kPV-FFA lag in 2018 bei durchschnittlich 1,34 Hektar pro Megawatt, wobei dieser Wert v. a. aufgrund der steigenden Effizienz der Modultechnologie wie einer flächenoptimierten Anlagenauslegung seit 2006 (hier lag er bei 4,1 Hektar pro Megawatt) kontinuierlich fällt (Kelm et al. 2019a). Relativ hängt der Flächenbedarf pro Anlage auch von deren Gesamtgröße ab. Bei Anlagen bis 750 Kilowatt installierter Leistung sind es in 2018 1,54 Hektar pro Megawatt, bei Anlagen größer als 750 Kilowatt installierter Leistung sind es nur 1,28 Hektar pro Megawatt. Kelm et al. (2019a) sehen den Grund in einem verhältnismäßig großen Anteil von Randflächen bei den kleineren Anlagen. Bei größeren Anlagen werden außerdem häufiger Ost-West-Anlagen oder Anlagen beispielsweise auf Deponiehängen mit ebenfalls geringeren Modulreihenabständen installiert (ebd.).

Bis Ende 2018 sind in Deutschland rund 29.300 Hektar Fläche von PV-FFA in Anspruch genommen, mit einem Konversionsflächenanteil von 61 Prozent was rund 17.900 Hektar entspricht (Kelm et al. 2019a). Weiter ist bei über 90 Prozent der Anlagen entlang von Autobahnen und Schienenwegen davon auszugehen, dass diese auf ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen errichtet wurden (ebd.). Dazu können halbversiegelte Wege, die auch über den Bau hinaus für Wartung und Reparatur genutzt werden, kommen.

Gemessen an der insgesamt durch eine PV-FFA in Anspruch genommene Fläche ist der Grad der tatsächlich versiegelten Fläche vergleichsweise gering. Herden et al. (2009) nehmen für zu diesem Zeitpunkt moderne Aufständigungssysteme rund 0,15 bis 0,2 Quadratmeter pro 100 Kilowatt installierter Leistung an. Weitere Einrichtungen wie Wechselrichter oder Wartungsgebäude sind aus Sicht der Autoren im Verhältnis zur Gesamtanlagengröße unbedeutend (ebd.). Die tatsächlichen Anteile der versiegelten Flächen in Herden et al. (2009) von weniger als zwei Prozent bei in Reihe aufgestellten Anlagen sowie unter fünf Prozent bei nachgeführten Anlagen scheinen bis heute zu gelten, zumindest finden sich keine abweichenden Angaben dazu. Andere Akteure formulieren die Anforderung von maximal fünf Prozent als

Gesamtversiegelungsgrad pro Anlage (Honecker et al. 2020; NABU und BSW 2021). Bei größeren bzw. engeren Reihenabstände, verschiebt sich der durch die Aufständigung bedingte Anteil am Gesamtversiegelungsgrad entsprechend nach unten bzw. oben.

3.2.4 Boden

Die Auswirkungen auf das Schutzgut Boden finden bei kPV-FFA im Schwerpunkt während der Bau- sowie in der Rückbauphase statt. Es kann zu Verdichtung von Boden, zu Umlagerung/Durchmischung, zu Teilversiegelung und dem Einbringen von Fremdsubstraten kommen. Auch der Eintrag von stofflichen Emissionen ist möglich. Welche Effekte in welcher Ausprägung vorkommen, ist abhängig von der anlagenspezifischen Konfiguration, also den verwendeten Bauteilen der Anlage inklusive der Gründung sowie dem Grad der Bodendurchnässung in der Bauphase.

Je nach Bauform der kPV-FFA kommt es mit unterschiedlichen Flächenanteilen zu Bodenversiegelung. Diese ergibt sich im Wesentlichen aus dem Betriebsgebäude für den Wechselrichter sowie dessen Fundamentierung, wie für die Modulunterkonstruktionen. Hier sind verschiedene Gründungen, von Betonfundamenten mit höherem Versiegelungsgrad bis zu Rammfundamenten oder Spinnankern mit geringeren bzw. wesentlich geringeren Versiegelungsgraden, möglich. Die Recherche ergab an dieser Stelle, dass überwiegend betonlose Gründungen Einsatz kommen, Betonfundamente sind aber je nach Beschaffenheit des Untergrundes nicht auszuschließen. Der konzentrierte Wasserablauf entlang der Modulkanten und ggf. der Aufständigung kann insbesondere bei Starkregenereignissen und auf Standorten ohne geschlossene Vegetationsdecke sowie in Hanglagen zu Erosion führen (Herden et al. 2009; Hernandez et al. 2014).

3.2.5 Wasser

Die Überschirmung von Flächen durch die Module hat Einfluss auf den Wasserhaushalt, insbesondere auf die Verteilung der Niederschläge. Der Niederschlag wird unterhalb der Module zum einen reduziert, zum anderen wird der Teil, der nicht auf den Modulen verdunstet, umverteilt und entlang der Modulkanten bzw. der Aufständigung abgeleitet (Demuth et al. 2018). Dementsprechend kommt es in den oberen Bodenschichten sowohl zu Austrocknung wie auch partiell zu stärkerer Vernässung. Landeck et al. (2014) fanden in den untersuchten kPV-FFA keine Hinweise auf ein langfristiges oberflächliches Austrocknen der Böden. Nachgewiesen werden konnte jedoch, dass Tropfwasser in einem Muster, abhängig von den Moduleigenschaften und den Räumen dazwischen, auf die Bodenoberfläche auftrifft, mit entsprechender Änderung auf Ebene von Kleinstandorten (ebd.). In den unteren Bodenschichten ist davon auszugehen, dass Kapillarkräfte diese Unterschiede ausgleichen (Herden et al. 2009). In den Wintermonaten bleiben die Bereiche unterhalb der Module schneefrei. Bei Tauwetter kommt es so zu erhöhtem Schmelzwasseraufkommen in den Traufbereichen, sowie durch Abrutschen der Schneeaufgabe von den Modulen zu höheren Schneelagen (Landeck et al. 2014).

3.2.6 Mikroklima

Auch Veränderungen der mikroklimatischen Bedingungen werden im Wesentlichen durch die Überschirmung der Flächen und den damit einhergehenden Veränderungen der Licht- und Wasserbedingungen unterhalb der Module hervorgerufen. Jedoch auch eine Veränderung der

Vegetation durch den Anlagenbau und -betrieb kann zu Effekten auf das Mikroklima führen. Im Falle einer verringerten Vegetation etwa die Reduzierung von verschatteten Flächen mit erhöhter Absorption der Wärmeenergie durch den Boden (Barron-Gafford et al. 2016).

Die Verschattung kann dabei die Verdunstung, die Windverhältnisse sowie die Lufttemperatur verändern (Badelt et al. 2020; Seidler et al. 2013). Armstrong et al. (2016) fanden im Sommer bis zu 5,2 Grad geringere und im Winter wärmere Temperaturen unter den Modulen im Vergleich zu den Flächen der Modulzwischenräume bzw. der Referenzflächen.

Die Erwärmung von Moduloberflächen und Erdkabeln können potenziell ebenso zu mikroklimatischen Veränderungen im Nahbereich der Anlage führen. Barron-Gafford et al. (2016) konnten zeigen, dass die Lufttemperatur über den untersuchten PV-FFA in der Nacht regelmäßig um drei bis vier Grad Celsius höher lagen als in der freien Natur. Untersucht wurden dabei drei Anlagenstandorte: eine Anlage in einem natürlichen Wüstenökosystem, eine in bebauter Umgebung sowie ein PV-Kraftwerk (keine nähere Angabe zum Standort) (ebd.).

Im Kontext von Agri-Photovoltaikanlagen sind aktuellere Untersuchungsergebnisse verfügbar, diese sind in Kap. 5.6.6 dargestellt.

3.2.7 Landschaftsbild und Erholungsnutzung

Die Installation von kPV-FFA kann zu deutlichen, teils erheblichen, Auswirkungen auf das Landschaftsbild führen. Diese sind standortseitig umso intensiver ausgeprägt, desto empfindlicher der betreffende Landschaftsraum ist (Demuth et al. 2018). Anlagenseitig kann die technische Überprägung der Landschaft durch kPV-FFA als landschaftsfremde Objekte, insbesondere wenn die Module die Horizontlinie überragen, zu Beeinträchtigungen führen. Hierbei spielt auch die Gesamtgröße der Anlage, ebenso wie die Farbgebung der Module eine Rolle. Darüber hinaus können Reflexionseffekte der Module sowie der Aufständigung zu Blendwirkungen führen. Die Intensität ist abhängig von den verwendeten Materialien, der Ausrichtung der Module bzw. dem Betrachtungswinkel (Bosch und Peyke 2011; Herden et al. 2009).

Einfluss auf die Landschaftsbildveränderung hat ebenso die Sichtbarkeit der Anlage, beeinflusst durch den Standort. Eine erhöhte Sichtbarkeit ist z. B. an exponierten Standorten und auf Hanglagen in reliefiertem Gelände gegeben (Bosch und Peyke 2011). Herden et al. (2009) fanden in ihren Untersuchungen zu Wirkräumen von kPV-FFA Sichtbarkeiten mit Distanzen von bis zu 4.000 Metern. In Tallagen oder vor anderen Landschaftselementen wie Wäldern, wird der Sichtraum entsprechend eingeschränkt (Schmidt et al. 2018b).

3.3 Maßnahmen zur Vermeidung, Minderung und naturverträglichen Gestaltung

Die konkreten Auswirkungen von PV-FFA hängen immer auch von den standörtlichen Gegebenheiten und den Details der Anlagenplanung vor Ort ab, so dass diese letztendlich nur im individuellen Fall abschließend bewertet werden können (Demuth et al. 2018). Dies bedeutet ebenso, dass nicht in jedem Einzelfall sämtliche potenziellen Auswirkungen auch tatsächlich auftreten. Auch deren Intensität ist vom Einzelfall abhängig (Guerin 2017; Turney und Fthenakis 2011 in Badelt et al. 2020). Zahlreiche Beeinträchtigungen können bereits durch eine naturschutzfachlich optimierte Standortwahl ganz vermieden oder zumindest gemindert werden. Dies betrifft insbesondere die Inanspruchnahme von für den Arten- und

Biodiversitätsschutzschutz bedeutsamen Gebieten sowie empfindlichen Landschaftsbildbereichen. Insbesondere im Falle großflächiger PV-FFA ist eine entsprechende Betrachtung mittels regionalplanerischer Flächenkriterien sinnvoll (vgl. Kap. 4.4). Darüber hinaus sind für kPV-FFA zahlreiche bau-, anlage- und betriebsbezogene Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung erheblicher Beeinträchtigung sowie zur naturverträglicheren Gestaltung im Sinne einer Aufwertung bekannt. In Honecker et al. (2020) sowie KNE (2021c) finden sich dazu ausführliche Zusammenstellungen, die im Folgenden, partiell ergänzt, wiedergegeben werden:

Maßnahmen während des Anlagenbaus sowie des Rückbaus

- Einsatz einer ökologischen und einer bodenkundlichen Baubegleitung. (BUND et al. 2021; Demuth et al. 2018; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021)
- Anpassung der Bauzeiten an Brut- und Wanderzeiten vorkommender Tierarten, an die Vegetationsperiode sowie Beachtung der Witterungsverhältnisse, z. B. bei anhaltender Bodennässe. (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND et al. 2021; Demuth et al. 2018; Herden et al. 2009; NABU 2021)
- Begrenzung des Baufeldes, Minimierung der Bodeneingriffe bzw. der Bodenbearbeitung, Verwendung von Baufahrzeugen mit geringem Bodendruck, ggf. Auflockerung zuvor verdichteter Flächen.(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND et al. 2021; Herden et al. 2009; NABU und BSW 2021; Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020)
- Verzicht auf Befestigung der Wege. (BUND Naturschutz in Bayern 2021; Demuth et al. 2018; Herden et al. 2009)
- Oberboden sachgerecht wieder aufbringen. (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021)
- Verzicht auf Einbringen von (belasteten) Fremdsubstraten und Baustoffen mit Schadstoffgehalt. (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Herden et al. 2009; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019)
- Kennzeichnung und Absperrung bestehender naturschutzfachlich wertvoller Bereiche und Biotope. (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014)
- Freihaltung wertvoller Bereiche bzw. Schaffung von inselartigen Freiflächen. (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND Naturschutz in Bayern 2021; NABU 2021; NABU und BSW 2021)
- Minimierung der Schadstoffemissionen. (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Herden et al. 2009)
- Verzicht auf den Einbau von Fremdsubstraten bzw. wo dieser erforderlich ist, Verwendung unbelasteter und standortgerechter Substrate. (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Herden et al. 2009)
- Rückbau der Baustellenstraßen. (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014)
- Sorgfältige Entsorgung von Restbaustoffen und Betriebsstoffen. (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Herden et al. 2009)

Maßnahmen zur Anlagengestaltung

- Minimierung der Bodenversiegelung (maximal zwei beziehungsweise fünf Prozent inklusive aller Gebäude). (BUND et al. 2021; Demuth et al. 2018; Herden et al. 2009; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021; Ministerium für Umwelt, Klima

und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020)

- Maximale Überschirmung der Fläche 40 beziehungsweise 50 Prozent.
(BUND et al. 2021; Herden et al. 2009; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; NABU 2021)
- Größtmögliche Abstände zwischen den Modulreihen. Empfohlener allg. Mindestwert des Abstandes: zwei- bis dreifach im Verhältnis zur Modulhöhe bei Nord-Süd-Ausrichtung (Vermeidung der Beschattung), besonnter Streifen von mind. 2,5 Meter (erst ab dieser Breite Nistnachweis für Feldlerche auf mehreren PV-Untersuchungsflächen) Empfehlung: mind. 3 Meter, Anlagen mit deutlich breiterem Modulreihenabstand zeigten höhere Arten- und Individuendichte bei Insekten, Reptilien und Brutvögeln.
(Demuth et al. 2018; Peschel et al. 2019)
- Mindestabstand von 80 Zentimetern zwischen Modulunterkante und Boden.
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND et al. 2021; Herden et al. 2009; Kolbe et al. 2012; NABU 2021)
- Lücken zwischen den Modulen so gestalten, dass Wasserablauf und Lichteinfall möglich ist.
(Herden et al. 2009; NABU 2021; NABU und BSW 2021)
- Unterteilung der Module durch weiße Ränder oder Rastern sowie Verwendung reflexionsarmer Materialien zum Schutz von aquatischen Insekten.
(NABU 2021)
- Für Klein- und Mittelsäuger barrierearme Gestaltung der Umzäunung (Mindestabstand 15 bis 20 Zentimetern zwischen Bodenober- und Zaununterkante, ausreichend große Maschen, kein Stacheldraht in Bodennähe).
(BUND et al. 2021; BUND und NABU Baden-Württemberg 2021; Demuth et al. 2018; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020)
- Bei großen Anlagen Korridore als Querungshilfen für Großsäuger schaffen (mindestens 30 beziehungsweise 50 Meter breit, jeweils pro Kilometer, Anpflanzungen als Leitlinie).
(BUND et al. 2021; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; NABU und BSW 2021)
- größere Freiflächen in den Anlagen einplanen.
(Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021; NABU 2021)(Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg 2020)
- Unauffälliges und für Wildtiere ungefährliches Design des Zaunes.
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Herden et al. 2009; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019)
- Optische und funktionale Einbindung der Anlage in den umgebenden Landschaftsraum mit Ergänzung bestehender Biotopstrukturen.
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014)
- Möglichst breite Anpflanzung der Eingrünung.
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014)
- Prüfung des Einsatzes grüner Module in empfindlicheren Landschaftsbildräumen.
(Next2Sun GmbH 2021)

Maßnahmen im Anlagenbetrieb

- Entwicklung eines Konzepts zur extensiven Bewirtschaftung inklusive naturschutzfachlichem Pflegeregime mit Pflege- und Entwicklungskonzept.

- (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND et al. 2021; Herden et al. 2009; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020)
- Strukturvielfalt (Relief, Untergrund und Strukturen) standortangepasst erhalten und fördern (z. B. Stein-/Totholzhaufen, Hecken, Rohbodenstellen, Wurzelstubben, Kleingewässer, offene Inseln).
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND und NABU Baden-Württemberg 2021; Herden et al. 2009; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019)
 - Kein Einsatz von synthetischen Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln oder Reinigungsmikalien.
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND und NABU Baden-Württemberg 2021; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021b; Demuth et al. 2018; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; NABU und BSW 2021; Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020)
 - Autochtones, artenreiches Saat- und Pflanzgut verwenden
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND et al. 2021; Demuth et al. 2018; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021; NABU und BSW 2021; Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020)
 - Fläche durch naturschutzförderndes Beweidungs- oder Mahdregime offenhalten.
(BUND und NABU Baden-Württemberg 2021; Demuth et al. 2018; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021; NABU 2021; NABU und BSW 2021)
 - Natürliche Sukzession teilweise lenken oder zulassen.
(Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; NABU 2021; NABU und BSW 2021)
 - Brutmöglichkeiten für Offenlandarten schaffen.
(Demuth et al. 2018)
 - Nisthilfen für Insekten und Vögel anbringen.
(BUND Naturschutz in Bayern 2021; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019)
 - Maßnahmen gegen Bodenerosion ergreifen (z. B. Regenwasserversickerung).
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021)
 - Aushagerung des Bodens fördern.
(BUND Naturschutz in Bayern 2021; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019)
 - Auf Wachhunde, regelmäßige Anwesenheit von Personal und künstliche Lichtquellen verzichten.
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND et al. 2021; Herden et al. 2009)
 - Monitoringkonzept zur Umsetzungs- und Funktionskontrolle einführen.
(Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; BUND et al. 2021; Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021; Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; NABU 2021)

4 Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen

4.1 Entwicklungen bis heute

Landwirtschaftliche Flächen waren von Beginn an einer der bevorzugtesten Standorttypen für kPV-Freiflächenanlagen und durch die Festsetzungen im EEG 2004 zunächst uneingeschränkt vergütungsfähig. In den Jahren 2009 und 2010 lag der Anteil des Zubaus von Anlagen auf Ackerflächen in Deutschland bei ca. 75 Prozent der installierten Leistung (Kelm et al. 2019a). Mit dem Höhepunkt der Inanspruchnahme dieser Flächen in 2010 wurde das EEG angepasst, die Vergütungsfähigkeit für Ackerflächen als Anlagenstandort zunächst vollständig ausgeschlossen bzw. auf Randstreifen von Autobahnen und Schienenwegen beschränkt. Durch die Novellierung des EEG 2015 mit der Einbeziehung von landwirtschaftlichen Flächen in benachteiligten Gebieten, wurde die Flächenkulisse erneut erweitert (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2015b).

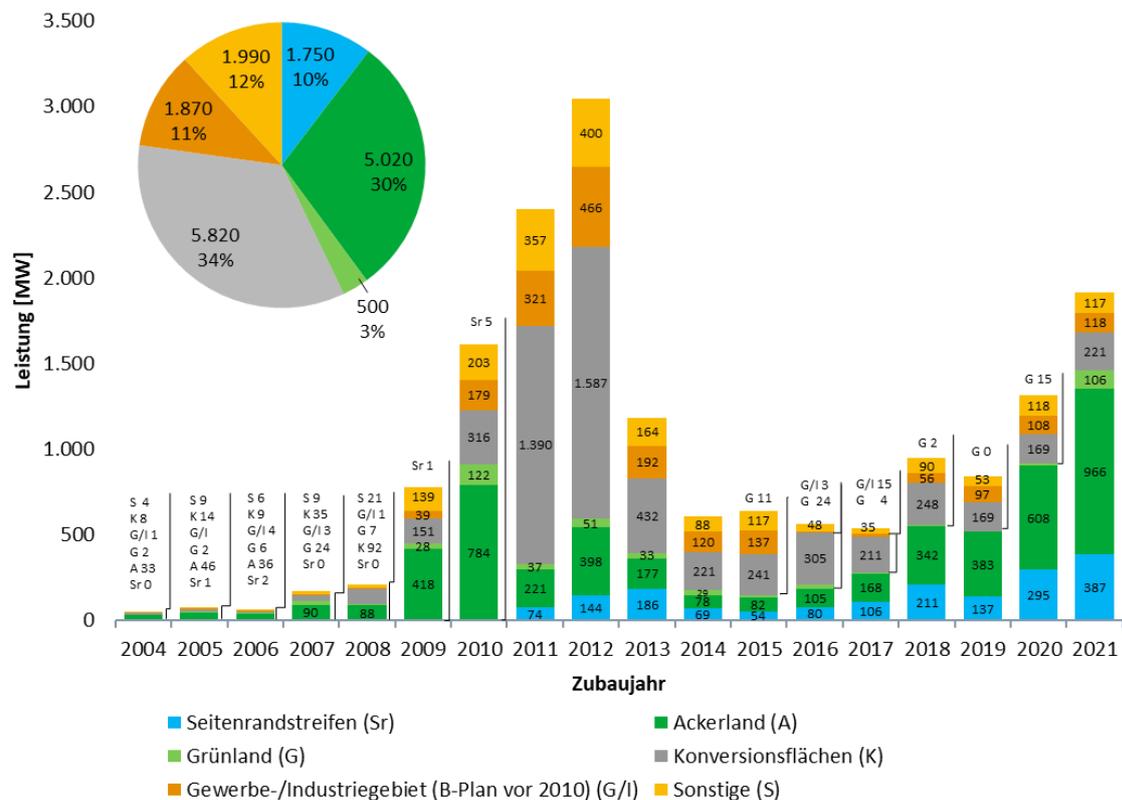
Ein Hauptgrund für die Änderung des EEG 2010 war der globale Verfall der Modulpreise und die damit einhergehende Überförderung mit den im EEG gewährten Vergütungssätzen. Auch das Ausmaß der Flächeninanspruchnahme für PV-FFA wurde seinerzeit kontrovers diskutiert. Der Großteil war zu diesem Zeitpunkt den ehemaligen Ackerflächen zuzurechnen (s. Abb. 1). Es folgte die Beschränkung der Kulisse der landwirtschaftlichen Fläche auf Randstreifen von Autobahnen und Schienenwegen.

Die deutliche Einschränkung dieser Flächen führte zu einem verstärkten Ausbau großflächiger Solarparks auf Konversionsflächen wie z. B. stillgelegte Militärgelände. Problematisch waren die hierdurch verstärkt auftretenden Konflikte mit dem Arten- und Naturschutz (BUND Sachsen 2014). Konversionsflächen sind häufig bedeutsame Lebensräume und von naturschutzfachlich hohem Wert, da sie aufgrund ihrer Standorteigenschaften oder nutzungsbedingten Störfaktoren die Entwicklung seltener Biotop- und ökologischer Nischen begünstigen. Auch Standorte entlang von Verkehrsinfrastruktur sind aus naturschutzfachlicher Sicht aufgrund ihrer Vernetzungsfunktion nicht zwingend unproblematisch (Niemann et al. 2017).

Im Jahr 2015 wurde die Förderung von Ackerflächen über die Freiflächenausschreibungsverordnung in eingeschränkter Form wieder aufgenommen. Neben der bestehenden Flächenkulisse wurde nun die Förderung von PV-FFA auf Ackerflächen ermöglicht, die sich in sogenannten benachteiligten Gebieten befinden. Hierzu gehören vordergründig landwirtschaftliche Flächen mit schwach ertragsfähigen landwirtschaftlichen Flächen und deutlich unterdurchschnittlichen Produktionsergebnissen sowie einer geringen oder abnehmenden Bevölkerungsdichte, wobei die Bevölkerung überwiegend auf die Landwirtschaft angewiesen ist (Europäische Kommission 1997). Auch diese Flächen sind durch die Form der Bewirtschaftung oder aufgrund der gegebenen Standortbedingungen häufig von naturschutzfachlicher Bedeutung. Der Ausbau auf diesen Flächen blieb zunächst auf zehn Anlagen pro Kalenderjahr beschränkt (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2015a).

Mit der Länderöffnungsklausel 2017 im Rahmen der erneuten Anpassung des EEGs entfiel die Freiflächenausschreibungsverordnung und damit die Möglichkeit der regulären Förderung von kPV-FFA in benachteiligten Gebieten. Die im EEG neu verankerte Länderöffnungsklausel ermächtigt nun die Länder, mittels Rechtsverordnungen PV-FFA im Zuge der Ausschreibungsverfahren (vgl. Kap. 2.2) auch für innerhalb benachteiligter Gebiete liegende

Landwirtschaftsflächen wieder zuzulassen. Je nach Länderregelung sind aktuell 50 bis 180 Megawatt (BW, HE, NI, RP, SR, SN) bzw. 200 Anlagen pro Jahr (BY) zulässig (s. Tab. 2). Seitdem steigt der Anteil der installierten Leistung im Bereich der Freiflächenanlagen, die größtenteils aus dem Ausschreibungssystem stammen, wieder deutlich an. Auch der Zubau von Anlagen außerhalb der Ausschreibungen erfährt derzeit ein starkes Wachstum. Ihr Leistungsanteil hat sich seit 2017 bereits verdreifacht (Kelm et al. 2019a).



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis des Marktstammdatenregisters und der EEG-Stamm- und Bewegungsdaten 2020. Datenstand MaStR Ende Februar 2022. Alle Angaben vorläufig.

Abb. 1: Neu installierte Leistung in Megawatt von PV-Freiflächenanlagen nach Inbetriebnahmejahren und Flächenkategorien (Säulen); Anlagenbestand 2021 (Kreisdiagramm). (Quelle: Günnewig et al. 2022 unveröffentlicht)

Die oben gezeigte Abb. 1 gibt die eng mit dem förderrechtlichen Rahmen verknüpfte Dynamik der Nutzung der verschiedenen Flächenkategorien wieder. Mit Stand Ende 2018 waren rund 37 Prozent des Gesamtbestandes der PV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen installiert. Dies entspricht einer Gesamtfläche von rund 11.00 Hektar und 0,07 Prozent der gesamten landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland (Kelm et al. 2019a).

Die Abhängigkeit der für PV-FFA genutzten, von der über das EEG vergütungsfähigen Flächenkulisse könnte sich zukünftig weniger eng darstellen. Grund dafür ist der Trend, große Anlagen nicht mehr über das EEG sondern über sogenannte PPAs (Power Purchase Agreement = Stromlieferverträge) zwischen Anlagenbetreiber und Stromabnehmer bzw. über die schiere Größe der Anlage förderfrei wirtschaftlich zu betreiben (Kelm et al. 2019a). Die Bindung an die Flächenkulisse des EEG und damit auch dessen räumlich steuernde Wirkung wird in den kommenden Jahren also zumindest in gewissen Bereichen nachlassen.

4.2 Aktuelle Entwicklungen: Naturverträgliche PV-FFA und Agri-PV

Für die Errichtung von PV-Anlagen auf landwirtschaftlichen Flächen können aktuell – neben der Errichtung klassischer PV-Anlagen – zwei Diskussionsstränge verfolgt werden:

- Aus Nachhaltigkeitsüberlegungen, aus Gründen der Einsparung von Flächeninanspruchnahmen und insbesondere mit Blick auf eine effiziente Flächennutzung wird die Idee der Agri-Photovoltaik vorangetrieben. Im Mittelpunkt steht dabei v. a., den Anbau von Nutzpflanzen beizubehalten und teilweise die PV-Struktur in einer der Landwirtschaft dienenden Funktion einzusetzen, z. B. als Witterungsschutz. Dabei spielen die Interessen des Naturschutzes, soweit er flächenkonkret auf den Lebensraum von Tieren und Pflanzen ausgerichtet ist – zumindest aktuell – nur eine untergeordnete Rolle.
- Auf der anderen Seite steht unbestritten, dass die naturschutzfachliche Situation in intensiv genutzten Agrarlandschaften zutiefst unbefriedigend ist (hoher Grad der Ausräumung, intensiver Stoffeinsatz, etc.). In jüngerer Zeit kommt daher sowohl aus der Solarwirtschaft als auch von den Naturschutzverbänden der gedankliche Ansatz auf, Solarparks auf landwirtschaftlichen Flächen unter bestimmten Voraussetzungen aufzuwerten (in diesem Kontext gelegentlich auch als sog. Biodiversitäts- oder Biotopsolarparks bezeichnet). Dies können insbesondere gezielte naturschutzfachliche Aufwertungsmaßnahmen wie auch weitere Standards sein, die der Minimierung und dem Ausgleich des Eingriffs sowie der Aufwertung der Anlage entlang den Zielen des Naturschutzes, dienen. Denkbar wäre in diesem Zusammenhang auch die Übernahme von Funktionen als Trittsteinbiotop, welche die Biodiversität der Agrarlandschaft messbar bereichern oder einen Beitrag zum Biotopverbundsystem leisten können.

Die Recherchen im Rahmen des vorliegenden Vorhabens haben dabei gezeigt, dass zwar die oben genannten Hauptrichtungen besprochen werden, eine eindeutige Zuordnung einer einzelnen Anlage häufig jedoch nur eingeschränkt möglich ist. Aus naturschutzfachlicher Sicht besteht oft ein Gradient von Anlagen mit Fokus auf die Wirtschaftlichkeit bis hin zu Anlagen mit Fokus auf die naturschutzfachliche Aufwertung, und zwar unabhängig vom Anlagentyp, etwa in Bezug auf die verwendete Aufständerung oder die zum Einsatz kommende Modultechnik. Um die im vorliegenden Bericht getroffenen Aussagen zu systematisieren ist, trotz der teilweise fließenden Übergänge, zwischen Anlagentypen eine gewisse Kategorisierung notwendig. Einen Überblick dazu gibt Tab. 1.

Ein wesentlicher Faktor in diesem Zusammenhang ist die Bewirtschaftungsintensität der Flächen. Diese kann von der konventionell intensiven Landwirtschaft, inklusive dem breiten Einsatz mineralischer Düngung und Pestiziden, auf Monokulturen bis hin zu extensiven Kulturen, insbesondere extensiven Grünländern mit gebietsheimischen Arten und einer im Sinne des Naturschutzes optimierten Pflege, reichen. Auch der Anteil der mit Modulen überstellten Fläche von nahezu vollständiger Überschildung der Anlagenfläche bis hin zu sehr geringen Anteilen überstellter Fläche spielt eine Rolle. Bei der Einordnung ist weiter entscheidend, ob und wenn ja, welche weiteren naturschutzbezogenen Maßnahmen, abgesehen von der Bewirtschaftungsintensität, realisiert und unterhalten werden. Auch hier existieren Beispiele von Anlagen, mit Umsetzung lediglich des Minimalaufwandes, bis hin zu Anlagenkonzepten mit umfangreichen naturschutzfachlichen Maßnahmenkonzepten.

Um ein aus naturschutzfachlicher Sicht vollständiges Bild zu zeichnen, muss neben dem Zustand nach Anlagenbau ebenso der Ausgangszustand vor der Errichtung und dem Betrieb der

PV-FFA im Sinne einer Vorher-Nachher-Betrachtung einbezogen werden. Ebenso von Belang ist der Prozess der Standortwahl der Anlage. Hier ist die Frage zu stellen, welche Aspekte geprüft und miteinbezogen worden sind, bevor die Standortfestsetzung erfolgt ist. Auf diese und weitere Aspekte wird in den Kap. 5 und 6 detailliert eingegangen.

4.3 Aktuelle Diskussion und Fachdebatte

Die fachliche Debatte um PV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen wird seit rund zwei Jahren erneut intensiv geführt. Deutlich zu Wort gemeldet haben sich dabei insbesondere Interessensvertreter der Landwirtschaft, die eine Inanspruchnahme zum Zwecke der PV-Nutzung durchgehend kritisch sehen bzw. ablehnen. Aber auch die Solarbranche sowie die Naturschutzverbände äußern sich sowohl zum Thema Agri-PV als auch zum Potenzial naturschutzfachlicher Aufwertung von PV-Flächen.

Auf Seiten der Bauernverbände bzw. Landwirtschaftskammern wird zunächst, wie auch von Seiten des Naturschutzes, darauf hingewiesen, dass die PV prioritär auf Dach-, Konversions- und versiegelten sowie weiteren, stark vorbelasteten Flächen auszubauen ist (Bayerischer Bauernverband 2020; BUND et al. 2021; Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz 2019; NABU und BSW 2021), auch da diese Flächen ausreichende Potenziale zur Umsetzung der Energiewende bieten würden (Bauern- und Winzerverband Rheinland-Nassau 2021). Im Falle von Überlegungen zur Inanspruchnahme von landwirtschaftlichen Flächen für PV ist „bei allen Planungen zu vermeiden, dass durch den Ausbau der erneuerbaren Energien der bäuerlichen Landwirtschaft die Grundlage der Bewirtschaftung entzogen werden“ (Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz 2019) bzw. sind agrarstrukturelle Belange stets zu beachten (Bayerischer Bauernverband 2020).

Aus landwirtschaftlicher Perspektive spielt die Nutzung der Fläche zum Zwecke der Landwirtschaft nach der PV-Nutzung eine große Rolle: diese sollte stets vollumfänglich wieder möglich sein, auch dann, wenn sich schützenswerte Biotope entwickelt haben sollten (z. B. (Bauernverband Sachsen-Anhalt e.V. 2020). Der Status einer landwirtschaftlichen Fläche sollte außerdem zur Berechtigung des Erhalts von Direktzahlungen beibehalten werden (vgl. dazu auch Kap. 5.4), auch damit die Flächen nach der PV-Nutzung als Greening-Maßnahme anerkannt werden können (ebd.). Auf einen Ausgleich des durch PV verursachten Eingriffs sollte auf landwirtschaftlichen Flächen verzichtet bzw. sollten die positiven Wirkungen für die Umwelt als Kompensation für andere Eingriffe angerechnet werden (Bauern- und Winzerverband Rheinland-Nassau 2021; Bayerischer Bauernverband 2020; Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz 2019). Der Bauernverband Sachsen-Anhalt lehnt in diesem Kontext zusätzliche Ausgleichs-/Ersatzmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen ab (2020).

Einzelne Positionen gehen explizit auf Agri-Photovoltaik-FFA ein. In Sachsen-Anhalt werden hoch aufgeständerte APV-Anlagen z. B. dann für denkbar gehalten, wenn sie einen Zusatznutzen (Hagelschutz etc.) bringen und im Gemüsebau mit geringen Arbeitsbreiten eingesetzt werden. Außerdem sollten APV-Anlagen als vergütungsfähig ohne Flächeneinschränkung in das EEG aufgenommen und durch Änderung des § 35 BauGB im Außenbereich als privilegierte Vorhaben eingestuft werden (Bauernverband Sachsen-Anhalt e.V. 2020). In Bezug auf die Innovationsausschreibung des EEG (vgl. Kap. 5.7.1) fordern (Deutscher Bauernverband und Fraunhofer ISE 2021) die Aufhebung sowohl der Beschränkung auf Ackerflächen als auch

den Zwang zur Kombination der APV-Anlage mit anderen Anlagen. Die Möglichkeit zum Eigenverbrauch des erzeugten Stroms sollte dagegen eingeräumt werden (2021). Direktzahlungen aus der EU-Agrarförderung sollten laut (Bauern- und Winzerverband Rheinland-Nassau 2021) nur bei APV-Anlagen gezahlt werden (2021).

Aus Perspektive von Vertreter*innen des Naturschutzes hängt die Einschätzung der Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen für PV-FFA von der Vornutzung der betreffenden Fläche ab. Aufgrund des Aufwertungspotenzials sehen die Verbände aus diesem Grund intensiv genutzte Flächen als besonders geeignet an, da dort im Falle der Realisierung von kPV eine signifikante Verbesserung der Biodiversität erreichbar ist (BUND et al. 2021; NABU 2021; NABU und BSW 2021). Unabhängig davon stellen PV-FFA grundsätzlich einen Eingriff in Natur und Landschaft dar und können, abhängig vom Standort, natürliche Lebensräume beeinträchtigen (ebd.). Dabei kommt der Vermeidung von Konflikten beim Eingriffstyp PV auf landwirtschaftlichen Flächen eine hohe Bedeutung zu (NABU 2021).

Die Beschränkung der Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen (neben der bisher gültigen Flächenkulisse im EEG, vgl. Kap. 2.2) auf benachteiligte Gebiete wird kritisch und ökologisch als nicht sinnvoll betrachtet, da sie „oft wichtige Lebensräume für Flora und Fauna und damit wertvoll für den Naturschutz“ sind (BUND et al. 2021). Entsprechend stellt diese Flächenkulisse „keine angemessene Grundlage“ für die Flächenauswahl dar (ebd.).

Um innerhalb von kPV-FFA einen hohen Mehrwert für Natur- und Artenschutz zu erreichen, sehen BUND et al. (2021) Ökopunkte als ein geeignetes Anreizmittel, „denn durch Mehrkosten können „Natur-Solarparks“ im Ausschreibungsverfahren kostengünstigeren Vorhaben unterliegen (2021). Freiwillige ökologische Maßnahmen sollten darum als Ökopunkte anerkannt werden (ebd.).

In der Agri-PV sehen BUND et al. (2021) eine Chance, der Flächenkonkurrenz entgegenzuwirken, da so große Photovoltaikanlagen im Freiland errichtet werden können, ohne die Bewirtschaftung deutlich einzuschränken (2021). Außerdem sprechen sie sich für die Doppelförderung aus EEG und der Agrarförderung von APV-FFA aus (ebd.). Mit Blick auf konkrete potenzielle Konflikte ist allerdings im Falle von APV besonders auf mögliche Vorkommen von Bodenbrütern wie Feldlerche, Rebhühnern, Kiebitzen oder Grauammern zu achten (BUND und NABU Baden-Württemberg 2021).

Übergreifend hingewiesen wird auf die Notwendigkeit einer frühzeitigen Miteinbeziehung verschiedener Akteursgruppen wie Bürger*innen, regionale Naturschutzverbände sowie Landwirt*innen und der Umsetzung von Beteiligungsmöglichkeiten, z. B. über Genossenschaften, im Zusammenhang mit der Planung von PV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen (Bayerischer Bauernverband 2020; BUND et al. 2021).

4.4 Handlungsempfehlungen und Leitfäden, Schwerpunkt Planung und Flächeneignung

Auch wenn die Kommunen im Rahmen der Bauleitplanung für die Standortsteuerung und Zulassung von Freiflächen-PV zuständig sind, haben verschiedene Akteure, v. a. Träger der Landes- und Regionalplanung, aber auch Naturschutzverbände und Fachbehörden Handlungsempfehlungen und Hinweise in diesem Zusammenhang formuliert. Insbesondere die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen sowie auch naturschutzbezogene Aussagen (beispielsweise

zur Berücksichtigung entsprechender Planungen) sind dabei häufig inhaltlicher Gegenstand. Naturschutzbezogene Aussagen zielen insbesondere auf die Vermeidung von Beeinträchtigungen durch eine naturverträgliche Standortwahl wie auf die ökologische Ausgestaltung – auch im Rahmen der Kompensation – ab. Deutlich wird, dass Agri-PV-FFA dabei bislang nur eine untergeordnete Rolle einnehmen und vom derzeit herrschenden Regelfall der kPV auf landwirtschaftlichen Flächen ausgegangen wird.⁵ Im Folgenden werden die für die vorliegende Betrachtung relevanten Aspekte zusammengefasst dargestellt. Für eine detaillierte Zusammenstellung naturschutzfachlicher Maßnahmen s. Kap. 3.3.

Nahezu allen betrachteten Empfehlungen ist gemein, dass sie die Notwendigkeit der vorrangigen Erschließung von Dach- und anderen bereits versiegelten sowie weiteren stark vorbelasteten Flächen für den Ausbau der Photovoltaik betonen (vgl. z. B. Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg 2021; Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020; Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim 2020). Ebenso übergreifend wird auf die Vorteile einer Angebotsplanung durch die kommunalen Planungsträger und die dabei bestehenden Optionen zur Vorhabenausgestaltung hingewiesen, auch aus Gründen der zunehmenden Anzahl von Investor*innenanfragen und der ebenso zunehmenden Suche nach Flächen außerhalb der EEG-Kulisse. Dazu zählt z. B. die Erstellung eines Standortkonzeptes für erneuerbare Energien bzw. Photovoltaik (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014; Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020). Die regionale Planungsgemeinschaft Anhalt Bitterfeld-Wittenberg weist auf die Option hin, in der Bauleitplanung sowie in städtebaulichen Verträgen weitere Anforderungen zur Ausgestaltung des im Bebauungsplan festgesetzten Sondergebiets bzw. zu Kompensationsmaßnahmen zu treffen (2021). Auch BUND et al. (2021) unterstützen die Forderung nach einer Angebotsplanung. Bei der Planung von Biotopverbundsystemen sollte außerdem das Potenzial von PV-FFA dazu einbezogen werden (ebd.).

In Bezug auf die Inanspruchnahme von landwirtschaftlichen Flächen für die PV-Nutzung haben insbesondere die Bundesländer Empfehlungen bzw. Vollzugshinweise formuliert, welche die EEG-Länderöffnungsklausel umgesetzt haben. So ist in Rheinland-Pfalz geregelt, dass der Bau von PV-FFA nur auf ertragsschwachen Standorten mit Ertragsmesszahlen kleiner 35 erfolgen kann, regionalplanerisch ausgewiesene Vorrangflächen Landwirtschaft sind in der Regel auszuschließen (Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz 2018). In den Empfehlungen der Regionalen Planungsgemeinschaft Oderland-Spree sind landwirtschaftliche Flächen dann ggf. geeignet, wenn sie ertragsschwach sind (Bodenzahl kleiner 30), eine lokale Betrachtung sei diesbezüglich aber notwendig. Die Möglichkeit einer Doppelnutzung als Agri-PV sollte geprüft und wenn technisch möglich, auch umgesetzt werden (Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020). Ebenfalls in Brandenburg macht die Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim auf die zunehmenden Aktivitäten von PV-FFA jenseits des EEG aufmerksam und formuliert ebenfalls Standortkriterien. Als Negativkriterium für landwirtschaftliche Flächen wird auch hier auf die natürliche Bodenfruchtbarkeit mit BMZ über 23 abgestellt. APV-Anlagen sollten als sinnvolle Energieerzeugungsanlagen

⁵ Eine Zusammenstellung aktueller Kriterien für eine naturverträgliche Standortwahl sowie für eine naturverträgliche Anlagengestaltung bietet das Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende, vgl. KNE (2021d; 2021c).

gesondert betrachtet und unterstützt werden (Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim 2020). Wiederum in Brandenburg geht auch das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz auf die Möglichkeit der APV ein und empfiehlt in den „Vorläufigen Handlungsempfehlungen [...] für großflächige PV-FFA“, diese insbesondere bei steigender Bodenqualität anzustreben. Den Kommunen wird ausdrücklich empfohlen, APV bei der Planung zu unterstützen, auch in Bezug auf die damit verbundenen Optionen für Landwirt*innen zur Anpassung an den Struktur- und Klimawandel (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021). Den Ausschluss von Vorranggebieten für die Landwirtschaft für PV-FFA empfiehlt auch die Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg (2021). Vorbehaltsgebieten für die Landwirtschaft ist bei der Abwägung erhöhtes Gewicht beizumessen. Auch hier wird auf die Situation der landwirtschaftlichen Unternehmen hingewiesen: vor der Aufstellung eines Bebauungsplans sollte geprüft werden, wie sich das Vorhaben auf deren Erhalt auswirken wird. Für den Ausschluss hochwertiger Landwirtschaftsflächen sprechen sich auch die Bodensee Stiftung zusammen mit weiteren Naturschutzverbänden aus Baden-Württemberg aus (Bodensee-Stiftung et al. 2017).

Mecklenburg-Vorpommern sieht für eine mögliche Inanspruchnahme von landwirtschaftlichen Flächen ein besonderes Vorgehen vor. Die Tatsache, dass nach Landesraumentwicklungsprogramm PV-FFA lediglich auf der im EEG aufgeführten Flächenkulisse möglich sind, macht für eine Inanspruchnahme ein Zielabweichungsverfahren nötig. Als Voraussetzung für den Erfolg eines solchen Verfahrens ist das Erreichen von mind. 100 Punkten in dem dazugehörigen Kriterienschema erforderlich. Gedeckelt sind PV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen bei insgesamt 5.000 Hektar. Neben obligatorisch zu erfüllenden Kriterien wie der Inanspruchnahme von Flächen mit einer Bodenwertigkeit von max. 40 Bodenpunkten und der Garantie der erneuten landwirtschaftlichen Nutzung nach Anlagenrückbau, werden Kriterien mit Bezug zu Akzeptanz (z. B. „fortschrittliche Kommunal- und/oder Bürgerbeteiligung, 20 Punkte), Wertschöpfung (z. B. „gemeindlicher Nutzen über die Gewerbesteuererinnahmen hinaus“), aber auch zu naturschutzbezogenen Aspekten formuliert. Zu letzteren zählt der ökologische Nutzen der Fläche (20 Punkte) oder die Förderung von naturschutzfachlichen Projekten (15 Punkte). Für Anlagen größer 100 Hektar Gesamtfläche werden zehn Punkte abgezogen (Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung Mecklenburg-Vorpommern 2021).

Auch die Landwirtschaftsverbände setzen sich mit der räumlichen Steuerung der PV-Nutzung auseinander. Neben der Forderung, regionalplanerisch für die Landwirtschaft ausgewiesene Flächen nicht für PV zu nutzen, formulieren sie zusätzliche Kriterien zur räumlichen Verteilung von Anlagen bzw. Energiemengen. Einer räumlichen Konzentration von Standorten soll so entgegenwirkt werden (Bayerischer Bauernverband 2020) und die installierte Leistung pro Anlage auf 15 bzw. 20 Megawatt (Bauern- und Winzerverband Rheinland-Nassau 2021; Bauernverband Sachsen-Anhalt e.V. 2020) bzw. 750 Kilowatt für APV-Anlagen (Bayerischer Bauernverband 2020) beschränkt sein. Einzelne Anlagen sollten außerdem einen Abstand von mindestens fünf Kilometern zueinander haben. Bezogen auf eine Obergrenze der Flächen, die für PV-FFA in Anspruch genommen werden, unterscheidet der Bauernverband Sachsen-Anhalt zwischen EEG-geförderten Anlagen und PPA-Anlagen. Für erstere sollen in benachteiligten Gebieten im Bundesland höchstens 100 Hektar pro Jahr zur Verfügung stehen (entspricht rund einem Prozent der benachteiligten Fläche bis 2050), für PPA-Anlagen höchstens fünf Prozent bezogen auf die Gemarkung (2020). Nach dem Bauern- und

Winzerverband Rheinland-Nassau (2021) sollten es pro Gemeinde maximal zwei Prozent der landwirtschaftlichen Fläche, pro Verbandsgemeinde maximal ein Prozent sein. Die Errichtung einer PV-FFA auf landwirtschaftlicher Fläche sollte außerdem dann unzulässig sein, wenn im betreffenden Landkreis bzw. der betreffenden kreisfreien Stadt der Anteil erneuerbarer Energien den regionalen Stromverbrauch um mehr als ein Drittel übersteigt. Auch Flächen im Umkreis von 400 Metern um landwirtschaftliche Hofstellen im Außenbereich sollten für PV-FFA ausgeschlossen werden (Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz 2019).

Die Belange von Natur- und Umweltschutz werden in vielfältiger Weise aufgegriffen⁶. Die rheinland-pfälzischen Vollzugshinweise geben Flächen mit besonderer Bedeutung für wandernde Arten als Ausschlusskriterium an (Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz 2018). Auch die Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim (2020) nimmt dieses Thema auf: Zu den Negativkriterien zählen Flächen des Freiraumverbunds, Landschaftsschutzgebiete, sehr hochwertige Landschaftsbildbereiche, landschaftsprägende Hänge und Kuppen, Grünland- und Niedermoorstandorte und auch ökologische Korridore/-Wildtierkorridore. Unzerschnittene störungsarme Räume sowie hochwertige Landschaftsbildbereiche werden als Abwägungskriterium mit negativer Wirkung aufgeführt (ebd.). Die Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg (2021) empfiehlt, den Vorbehaltsgebieten für den Aufbau eines ökologischen Verbundsystems sowie für Wiederbewaldung ein erhöhtes Gewicht bei der Abwägung zukommen zu lassen und u. a. Vorranggebiete für Natur und Landschaft, Moorböden sowie Kompensationsflächen für die PV-Nutzung auszuschließen. In Bezug auf die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes sollten in Frage kommende Flächen außerdem visualisiert werden (ebd.).

Bodensee-Stiftung et al. (2017) weisen darauf hin, dass in benachteiligten Gebieten auch ökologisch hochwertige Flächen ohne Schutzstatus auszuschließen sind. Beispiele dafür sind Äcker mit Ackerwildkrautarten der Roten Liste. Außerdem sollte der Fachplan Biotopverbund Berücksichtigung finden. Für NABU und BSW (2021) kommen die Kategorien Naturparks, Landschaftsschutzgebiete und Entwicklungszonen von Biosphärenreservaten für PV-FFA im Ausnahmefall in Frage, sofern das Vorhaben dem jeweiligen Schutzzweck nicht entgegensteht (2021). FFH-Gebiete sind von einer Inanspruchnahme auszuschließen (ebd.).

Abgesehen von Flächenkriterien mit Bezug zur Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen durch PV bzw. eine naturverträgliche Standortwahl, werden auch darüber hinaus gehende Empfehlungen und Hinweise mit Naturschutzbezug gegeben. Einige wesentliche werden hier exemplarisch dargestellt, für eine umfängliche Zusammenstellung s. Kap. 3.3.

Der Praxisleitfaden des Landesumweltamtes Bayern weist darauf hin, dass PV-Flächen dann positive Wirkungen entfalten können, wenn Flächen mit bisher geringer naturschutzfachlicher Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz, entsprechend aufgewertet werden (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014). Die Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim (2020) empfiehlt übergreifend im Falle einer Inanspruchnahme von Flächen in benachteiligten Gebieten, auf eine Erhöhung der Biodiversität zu achten. In Baden-Württemberg wird insbesondere auf das Potenzial von PV-FFA hingewiesen, Landschafts- und Naturschutzziele zu

⁶ In der folgenden Darstellung werden aufgrund des gültigen Rechtsrahmens obligatorisch auszuschließende Schutzgebietskategorien wie Naturschutzgebiete nicht explizit aufgeführt

erreichen, wobei dafür pro Anlage ein Freiflächenanteil von 25 bis 50 Prozent anzustreben ist. Auch könnten PV-FFA Funktionen als Trittsteine im Biotopverbund übernehmen. Darum sollten PV-FFA einen optimalen Biotopverbund berücksichtigen und optimal in die Umgebung eingebunden werden (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019).

Neben der Standortwahl sollten weitere Optionen zur Minimierung auch im Zuge des Anlagenbaus, wie Mindestabstände von Lagerplätzen zu bestehenden Gewässern, separate Lagerung von Bodenaushub und Mutterboden, Minimierung der Versiegelung und die Abgrenzung sensibler Bereiche, umgesetzt werden (NABU und BSW 2021).

Für Begrünungsmaßnahmen sollten zertifiziertes gebietsheimisches Saatgut bzw. entsprechende Pflanzen und Gehölze verwendet werden (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019). PV-FFA auf Agrar- und Grünlandschaften sollten den jeweiligen Naturraum aufgreifen und gezielt aufwerten, indem z. B. in durch Grünland geprägten Landschaften der Freiflächenanteil der Anlage als biologisch bewirtschaftetes Grünland (Wiese, Weide oder Magerrasen) genutzt wird. Maßnahmen im Kontext der Eingriffsregelungen sollten insgesamt auf die Mehrung artenreicher Grünländer abzielen (BUND et al. 2021). Auf eine flächige Düngung und das Ausbringen von „Agrargiften“ sollte vollständig verzichtet werden (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019).

Über ein naturschutzfachliches Pflegekonzept der Fläche z. B. in Bezug auf das Mahdregime oder die Beweidung hinaus können weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Strukturvielfalt wie z. B. die Anlage von Steinhaufen, Nisthilfen, Kleingewässern u. ä. umgesetzt werden (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019; NABU und BSW 2021).

Für großflächige PV-FFA empfiehlt das MLUK Brandenburg eine Überstellung der Fläche mit Modulen von mehr als 40 Prozent zu vermeiden sowie eine bodenkundliche Baubegleitung einzusetzen (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021). Die eingesetzten Fundamente sollten einen möglichst geringen Versiegelungsgrad aufweisen, wie er z. B. mit Ramm- oder Schraubfundamenten erreicht wird. Betonfundamente sind soweit wie möglich zu vermeiden (C.A.R.M.E.N. e. V. 2021). Die ausreichende Versickerung von Niederschlägen sollte durch die Anlagenausgestaltung (ausreichend breite Modulreihenabstände, breite Montagefugen) ermöglicht werden (NABU und BSW 2021). Im Falle von großen PV-FFA sind außerdem Querungshilfen vorzusehen (ebd.). Die in der Regel obligatorische Einzäunung der Anlage sollte möglichst durchlässig gestaltet werden (Bodenabstand von 20 Zentimetern oder ausreichende Maschengröße und Verzicht auf Stacheldraht in Bodennähe) (NABU und BSW 2021).

Mit Bezug zu Eingriffs-Ausgleichsmaßnahmen fordern NABU Baden-Württemberg et al. ein Monitoring mit Veröffentlichung der Ergebnisse. Ein betriebsbegleitendes Langzeit-Monitoring mit Aufnahme des Nullzustandes empfehlen (NABU und BSW 2021). Die zusammenfassende Darstellung der naturschutzfachlichen und ästhetischen Gestaltung der PV-FFA in einem ökologischen Gesamtkonzept empfiehlt das Umweltministerium Baden-Württemberg: „Es umfasst die Ziele und Gestaltungsmaßnahmen für die Freiflächen innerhalb der Anlage und ihrer

näheren Umgebung“ (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019).

5 Agri-PV-Freiflächenanlagen

5.1 Konzept und Begriffsverständnis

Auf Seiten der Solarstromerzeugung existieren aktuell diverse Systemtechniken, die gleichzeitig eine landwirtschaftliche und solarenergetische Nutzung derselben Fläche ermöglichen. Erreicht wird dies durch die Bauart der Agri-Photovoltaik-Anlage⁷, die sich gegenüber klassischen PV-FFA insbesondere dadurch unterscheidet, dass sie den Anforderungen der landwirtschaftlichen Nutzung angepasst ist, z. B. durch große Modulreihenabstände oder eine große lichte Höhe, die das Unterfahren der Module mit landwirtschaftlichen Maschinen ermöglicht.

Für die Kombination aus Photovoltaik und Landwirtschaft stehen derzeit für verschiedenste Applikationen – von niedrig aufgeständerten Anlagen mit festmontierten oder nachgeführten Modulen, über vertikale APV-FFA bis hin zu hoch aufgeständerten Systemen – mehr oder weniger etablierte Konzepte zur Umsetzung bereit. Eine übergreifende anerkannte Definition bzw. Abgrenzung zu klassischen PV-FFA (vgl. Tab. 1) bzw. innerhalb der APV existiert derzeit nicht. Wesentliche Kriterien sind jedoch, ob auf der betreffenden Fläche ein landwirtschaftliches Produktionsziel besteht sowie die Intensität der Flächenbearbeitung, insbesondere in Bezug auf den Maschinen- und Personaleinsatz sowie die Dichte des Besatzes mit Tieren. Je höher das landwirtschaftliche Produktionsziel und je intensiver die Flächenbearbeitung, desto eher kann von einem APV-Konzept gesprochen werden.

In Deutschland liegt inzwischen eine DIN-Vornorm für APV vor: „Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung“ (91434) (DIN Deutsches Institut für Normung 2021). Darin wird die Flächenbewirtschaftung entweder durch Maschinen, durch Arbeitsenergie oder Tierbesatz auf dem deutlich überwiegenden Teil der Fläche als zentrales Abgrenzungskriterium gesehen. Für den Flächenanteil der landwirtschaftlichen Nutzung ist ein Minimum von 90 Prozent für aufgeständerte PV-Anlagen und 85 Prozent für Flächen mit bodennahen PV Anlagen angegeben⁸. Bezogen auf die Wirtschaftlichkeit der betreffenden Fläche muss sichergestellt sein, dass der Ertrag im Vergleich zur Nutzung vor der Errichtung der APV-FFA mindestens 66 Prozent des Referenzertrages beträgt. Die Hauptnutzung bei Agri-PV ist dabei stets die landwirtschaftliche Nutzung. Die Solarnutzung wird entsprechend als Sekundärnutzung betrachtet.

Trommsdorff et al. (2020) beschränken Agri-PV in Bezug auf die landwirtschaftliche Nutzung auf die Pflanzenproduktion und merken an, dass teilweise auch mit PV-Modulen ausgestattete Tierunterstände zu Agri-PV zählen, „dort fehlen jedoch differenzierte Merkmale zum gewöhnlichen PV-Dach“ (ebd.). Die DIN SPEC spricht an dieser Stelle von „landwirtschaftlichen Erzeugnissen“ als „Produkte, die durch landwirtschaftliche Tätigkeit erzeugt wurden, vermarktet werden oder zum Eigenverbrauch dienen“.

⁷ Das vorliegende Vorhaben nutzt das im Englischen („Agrivoltaics“) verwendete Präfix „Agri“. Darüber hinaus werden in die Präfixe Agro/Agrar vereinzelt analog verwendet.

⁸ Landwirtschaftlich nutzbare Fläche nach DIN: „Flächenanteil des Schlages, der ohne bauliche Maßnahmen und technische Einschränkungen nach dem Bau der Agri-PV-Anlage weiterhin landwirtschaftlich genutzt werden kann.“

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht dazu, welche Kategorien und Arten der Flächennutzung nach DIN SPEC zur APV-zählen.

Tab. 6: Kategorien der DIN SPEC 91434 „Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung“. (Quelle : DIN Deutsches Institut für Normung 2021)

Agri-PV-Systeme	Nutzungsweise	Beispiele
Kategorie 1: Aufständigung mit lichter Höhe, Bewirtschaftung unter der Agri- PV-Anlage	1A: Dauerkulturen und mehrjäh- rige Kulturen	Obstbau, Beerenobstbau, Weinbau, Hopfen
	1B: Einjährige und überjährige Kulturen	Ackerkulturen, Gemüsekultu- ren, Wechselgrünland, Acker- futter
	1C: Dauergrünland mit Schnitt- nutzung	Intensives Wirtschaftsgrünland, extensiv genutztes Grünland
	1D: Dauergrünland mit Weide- nutzung	Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)
Kategorie 2: Bodennahe Aufständigung, Bewirtschaftung zwischen den Agri-PV-Anlagenreihen	2A: Dauerkulturen und mehrjäh- rige Kulturen	Obstbau, Beerenobstbau, Weinbau, Hopfen
	2B: Einjährige und überjährige Kulturen	Ackerkulturen, Gemüsekultu- ren, Wechselgrünland, Acker- futter
	2C: Dauergrünland mit Schnitt- nutzung	Intensives Wirtschaftsgrünland, extensiv genutztes Grünland
	2D: Dauergrünland mit Weide- nutzung	Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)

Die bauliche Kategorisierung definiert die lichte Höhe der Kategorie 1 mit mindestens 2,10 Meter. Die Art der Module und der Anbringung (Winkel) sind dabei ebenso wie die teilweise oder vollständige Überdachung mit Modulen nicht weiter definiert. Die Kategorie 2 der bodennah aufgeständerten APV zeichnet sich durch eine Bewirtschaftung zwischen den Modulreihen aus, mit der Unterscheidung von Anlagen bei denen Module in einem bestimmten Winkel festmontiert und solche die entweder vertikal fest installiert sind oder zum Zweck der Flächenbewirtschaftung vertikal aufgestellt werden können.

5.2 Anlagentechnik und -konzepte

Für die Landwirtschaft sind solche PV-FFA von Interesse, die parallel zur Solarnutzung eine hohe landwirtschaftliche Flächennutzung zulassen. Hieraus ergeben sich zwei Anlagentypen bzw. Anlagenkonzepte. Zum einen hoch aufgeständerte Anlagen (Bsp. Heggelbach, Schindele et al. 2020) die von Landmaschinen unterfahren werden können, und zum anderen vertikale Anlagen, bei denen die maschinelle Bearbeitung zwischen den Modulreihen stattfindet (ohne Höhenbegrenzung). Nachgeführte Systeme stellen meist eine der zwei genannten

Anlagentypen dar, die durch die beweglichen Module die Effizienz der Anlage steigern bzw. zum Zweck der Befahrbarkeit vertikal gestellt werden können. Weitere Anlagentypen wie die klassischen PV-FFA mit einem erhöhten Reihenabstand lassen zwar eine landwirtschaftliche Nutzung zu, stellen allerdings im Vergleich zu den anderen beiden Modellen weniger landwirtschaftliche Nutzfläche bereit. Dabei hat sich bis jetzt noch kein einzelner Anlagentyp durchgesetzt. Grund dafür ist, dass die Anforderungen aus landwirtschaftlicher Sicht sehr unterschiedlich sind. So sind die Voraussetzungen zur Grünlandbewirtschaftung andere als bei Sonder- oder Ackerkulturen.

5.2.1 Abmessung der Anlagen

Grundlegend werden alle Anlagentechniken von den Maßen der landwirtschaftlichen Maschinen beeinflusst. Für hoch aufgeständerte Anlagen sind die Höhe und Breite der üblicherweise eingesetzten Maschinen von Bedeutung (s. Abb. 2). Die Art der Maschine hängt wiederum von der angebauten Kultur ab. Zwar sind auch die landwirtschaftlichen Maschinen an die Straßenverkehrsordnung gebunden, die eine max. Höhe von vier Metern für Fahrzeuge vorschreibt. Auf dem Feld können Maschinen jedoch zusätzliche Module ausklappen oder Fahrerkabinen anheben, so dass die Arbeitshöhe vier Meter überschreiten kann. Da sowohl bei hoch aufgeständerten als auch bei vertikalen Modulen Mais als Anbaupflanze ausscheidet, wird bei hoch aufgeständerten Anlagen eine max. Höhe von ca. fünf Metern erreicht. Diese Höhe wurde auch bei der Anlage in Heggelbach gewählt. Dabei beschreiben die fünf Meter die lichte Höhe, also den Abstand zwischen der Geländeoberfläche bis zur Unterkante der Trägerkonstruktion (Trommsdorff et al. 2020). Ausnahmen würden sich nur für Kulturen wie Hopfen oder Obstkulturen ergeben, bei denen die Pflanzen mehr oder weniger die benötigte Anlagenhöhe vorgeben.



Abb. 2: Ernte unter einer hoch aufgeständerten Agri-Photovoltaikanlage (Hofgemeinschaft Heggelbach, Gemeinde Herdwangen-Schönach, Baden-Württemberg). (© Max Trommsdorff - Own work, CC BY-SA 4.0)

Der Abstand zwischen den Trägerpfosten bei hoch aufgeständerten Anlagen oder der Reihenabstand zwischen den vertikalen Modulen hängt von den Arbeitsbreiten der landwirtschaftlichen Maschinen ab. Für Grünland sind das Mähwerk (s. Abb. 3) und Schwader, im Ackerbau sind es die Arbeitsbreiten von Pflanzenschutzspritzen in der konventionellen Landwirtschaft sowie die Breite der Erntemaschinen wie Mähdrescher.



Abb. 3: Arbeitsbreite des Mähwerks gibt den Reihenabstand für die Module vor. (© IZES)

Dabei gibt es einen Mindestabstand, der sich nach dem größten Arbeitsgerät plus zusätzlichen Sicherheitsabstand richtet (s. Abb. 4), sowie die Eigenverschattung der Module berücksichtigt. Der Sicherheitsabstand hängt von der Topografie des Anlagenstandorts und dem Maschineneinsatz ab. In flachen Regionen kann dieser Abstand geringer sein, wo hingegen auf einer Fläche mit Hangneigung größere Abstände notwendig sind.

Bei vertikalen Modulen gibt es zusätzlich einen Mindestabstand von ca. 6 Metern, um die gegenseitige Verschattung der Module zu verhindern (s. Abb. 4). Dieser ist aber abhängig von der Bauhöhe der Anlage. In der Regel liegt der Abstand zwischen 10 bis 12 Metern, aber auch Abstände bis 30 Meter werden in der Praxis umgesetzt. Der Maximalabstand wird bei einer hoch aufgeständerten Anlage von Seiten der Statik vorgegeben bzw. erhöhen sich mit zunehmender Breite die Installationskosten. Insgesamt ist bei größeren Abständen immer mit dem Faktor der Arbeitsbreite zu rechnen, da sonst Arbeitswege ausgeführt werden, die zu keiner vollen Auslastung der Arbeitsmaschine führen und damit die Bewirtschaftungskosten erhöhen.

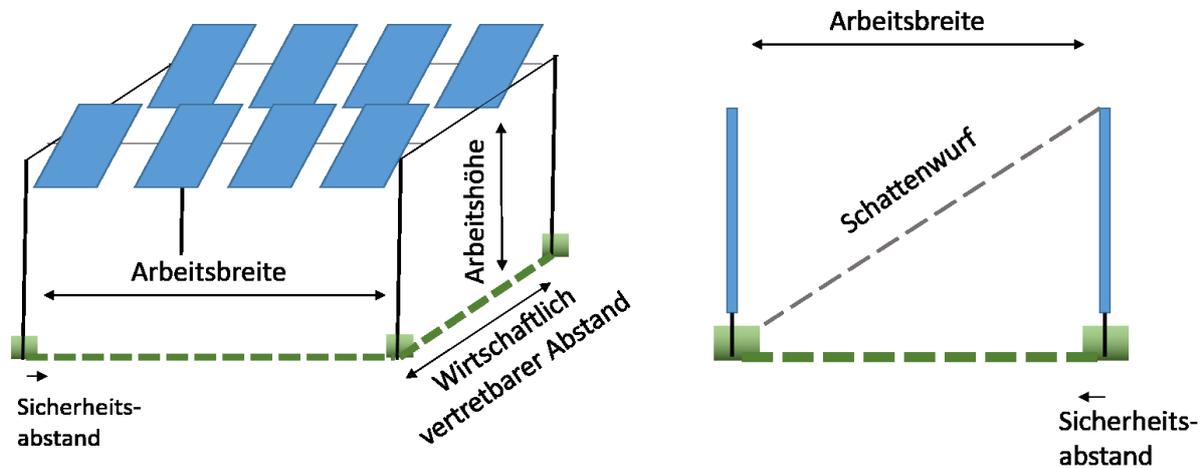


Abb. 4: Technische Vorgaben zum Bau einer APV. (Quelle: IZES)

Neben der Durchfahrtsbreite gibt es bei hoch aufgeständerten Anlagen noch die Längsbreite zwischen den Trägerpfosten. Diese wird so groß gewählt, wie es die Kombination aus Statik und Kosten zulassen.

Der Bodenabstand von vertikalen Modulen zwischen Modulunterkante und Geländeoberfläche beträgt zwischen 0,6 und 1 Meter, kann aber bei Bedarf auf 1,2 Meter erhöht werden. Bei größeren Abständen ergeben sich statische Probleme.

5.2.2 Hangneigung

Allgemein ist eine landwirtschaftliche Feldbearbeitung auf flachem Gelände einfacher und kostengünstiger als in hügeliger Landschaft. Für hoch aufgeständerte Anlagen wird von Trommsdorff et al. (2020) empfohlen, Flächen mit nur geringer Neigung zu nutzen. Hierbei wird sich speziell auf Anlagen auf Ackerflächen bezogen. Next2Sun gibt für deren vertikale Anlagen eine Geländeneigung von bis zu 20 Grad an. Derzeit stehen die meisten Anlagen von Next2Sun auf Grünlandflächen (s. Abb. 5).



Abb. 5: Vertikale bifaciale PV-Module von Next2Sun in hügeligem Gelände. (© IZES)

5.2.3 Bodenverankerung

Sowohl bei der hoch aufgeständerten Anlage in Heggelbach, als auch bei den vertikal aufgestellten Modulen von Next2Sun wird auf Betonfundamente verzichtet, was zu einer Ressourcen- und Bodenschonung beiträgt. In Heggelbach wurden mittels Spinnenankern die tragenden Pfosten im Boden befestigt. Diese sind für alle Geologien mit Ausnahme von reinem Fels geeignet (Supp und Semprich 2010). Dagegen können bei vertikalen Anlagen Pfosten senkrecht in den Boden gerammt werden, an denen die bifacialen Module befestigt werden. Auch hier ist reines Felsgestein der limitierende Faktor. Bei der Beachtung des Sicherheitsabstandes von rund einem Meter zu den Pfosten sollte es bei beiden Systemen zu keinen technischen Schäden an der Anlage bei der Bodenbearbeitung kommen.

5.2.4 Waldabstand/Verschattung

Je höher eine Anlage über der Geländeoberfläche errichtet ist, desto geringer ist deren Verschattung aufgrund von Strukturen im Anlagenumfeld. Aus diesem Grund haben hoch aufgeständerte Anlagen einen Vorteil gegenüber Anlagen, die in Bodennähe errichtet werden. Neben der Topografie sind vor allem Wälder in Bezug auf eine mögliche Verschattung relevant. Der Abstand zum Wald sollte mindestens 50 Meter betragen. Dies ergibt sich zum einen aus dem Schattenwurf und zum anderen aus dem Fällradius der Bäume als Gefahrenraum. Dieser entspricht je nach Gelände (hangauf oder -abwärts) der einfachen bis vierfachen max. Wuchshöhe des jeweiligen Baumbestandes. Bei vertikalen APV-Anlagen, die nach Osten und

Westen ausgerichtet sind, sollte der Abstand zu Wäldern in beide Himmelsrichtungen ca. 100 Meter betragen. Durch die auf- bzw. untergehende Sonne ergeben sich lange Schattenwürfe, die in den Wintermonaten weiter zunehmen. Dagegen gilt für Wälder im Norden und Süden die gleiche Regel wie bei kPV-FFA.

5.2.5 Spitzenpeak

Grundlegender Unterschied zwischen klassischen PV-FFA, die in der Regel nach Süden ausgerichtet sind, und den vertikalen bifacialen Modulen, die eine Ausrichtung nach Osten und Westen aufweisen, sind die Zeiträume der maximalen Leistung, die sie in das Netz einspeisen. Während kPV-FFA einen Peak zur Mittagszeit beim Höchststand der Sonne zeigen, haben bifaciale vertikale Anlagen zwei Peaks (s. Abb. 6), einen morgens und einen abends.

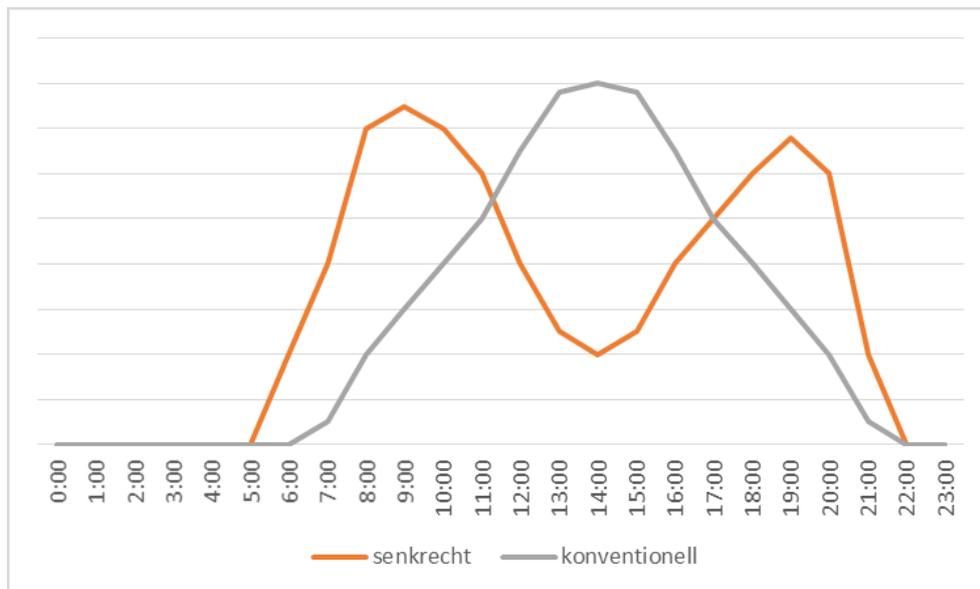


Abb. 6: Schematische Darstellung der spezifischen Erzeugerleistung von nach Süden ausgerichteter klassischer PV-FFA und vertikaler PV-FFA im Tagesverlauf im Sommer. (Quelle: IZES)

Diese Peaks sind zwar etwas niedriger als der einer südausgerichteten Anlage, dafür entsprechen diese Peaks des Stromangebots eher der Stromnachfrage und führen zu entsprechend erhöhten Strompreisen an der Strombörse. Zusätzlich ist der Gesamtertrag einer vertikalen bifacialen Anlage etwas höher gegenüber dem einer kPV-FFA, die nach Süden ausgerichtet ist. Auch bei der Agri-PV-Versuchsanlage in Heggelbach wurden bifaciale Module verwendet. Diese sind im geneigten Winkel Richtung Süden montiert und zeigen einen höheren Ertrag als monofaciale Module, da sie von der Reflektion der Sonnenstrahlung am Boden profitieren. Insgesamt sind bifaciale Module über dem 40. Breitengrad effizienter als monofaciale (Rodríguez-Gallegos et al. 2018).

5.2.6 Niederschlag

Niederschlag spielt in der Landwirtschaft eine wichtige Rolle. Dabei können APV-Anlagen positiv wie auch negativ Einfluss nehmen. Bei klassischen PV-Anlagen kann es bei einer sehr dicht und bodennah aufgeständerten Anlage Oberbodenbereiche geben, die nicht direkt von Niederschlägen erreicht werden, wodurch es zu einem selektiven Pflanzenwachstum kommt.

Bei hoch aufgeständerten Anlagen (z. B. in Heggelbach oder bei TubeSolar⁹) ist durch die Höhe und den größeren Reihenabstand zwischen den Modulen eine ausreichende Niederschlagsverteilung gegeben. Allerdings wurde bei der Anlage in Heggelbach festgestellt, dass es an den Abtropfkanten zu Erosionsschäden kommen kann. Im Fall von TubeSolar kann der Niederschlag mehr oder weniger ungehindert zwischen den Modulen ablaufen. Es ist davon auszugehen, dass vertikale Module durch ihre Ausrichtung einen nur geringen Einfluss auf die Niederschlagsverteilung haben. Lediglich bei Regen mit stärkeren Winden ist der Niederschlag auf der jeweils windabgewandten Seite geringer. Zugleich kann das an den Modulen aufgefangene Wasser an diesen herabtropfen. Bis jetzt wurden noch keine Untersuchungen zu ermittelten Auswirkungen veröffentlicht.

Neben der Niederschlagsverteilung können Module, die horizontal ausgerichtet sind einen Schutz vor Hagel bieten. Ob und wie gut dieser Schutz ist und ob sich dadurch etwa Kosten für eine Hagelversicherung kompensieren lassen, wurde bisher in den vorliegenden Studien noch nicht untersucht.

5.2.7 Landwirtschaftliche Kulturen

Die Wahl der Anbaukultur unter den Anlagen hängt im Wesentlichen von der Schattentoleranz und der Beschattung der Früchte ab. Gleichzeitig dürfen die Anbaufrüchte nicht zu hoch aufwachsen, um diese v. a. bei vertikalen Anlagen nicht zu verschatten. Im Bereich der Schattentoleranz gibt es bereits mehrere Untersuchungen zum Lichtbedarf von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen (Kolbe et al. 2012; Malec et al. 2017; Meyercordt et al. 2012). Pflanzen, die viel Sonnenlicht benötigen sind z. B. Mais, aber auch Weizen oder Obstkulturen. Weniger Sonnenlicht benötigen Kartoffeln, Salate oder Leguminosen (s. Abb. 7).

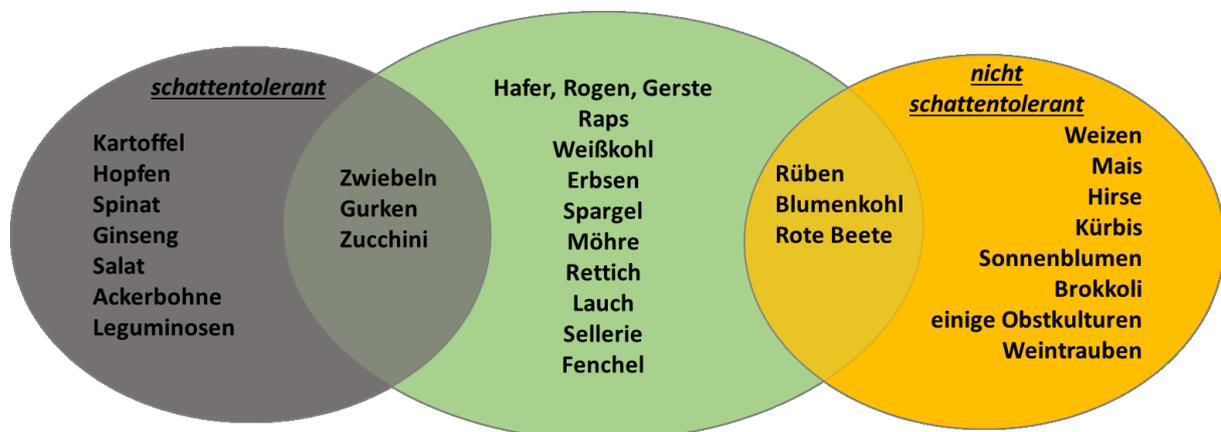


Abb. 7: Schattentoleranz unterschiedlicher landwirtschaftlicher Kulturen. (Quelle: verändert nach Trommsdorff et al. 2020 & Keinath (2021))

⁹ Bei TubeSolar sind die Module nicht flächenhaft, sondern in Röhren nebeneinander angeordnet. So wird ein Teil des einfallenden Lichts zwischen den Röhren durchgelassen. Durch den höheren Anteil an hindurchfallendem Licht im Vergleich zu Flachmodulen, ist eine Reduzierung der Spiegelwirkung denkbar. Durch die durchbrochene Struktur (geringer Oberfläche die der Sonnenstrahlung auf einmal ausgesetzt ist) und eine hierdurch bessere Durchlüftung, dürfte sich die Luft über den Modulen und die Oberfläche der Panels selbst weniger stark erhitzen. Untersuchungen und Angaben hierzu fehlen allerdings bisher. Inwiefern sich die TubeSolar-Module durch den Betrieb selbst erhitzen ist derzeit unbekannt.

Der Schattenanteil hängt bei den hoch aufgeständerten Anlagen mit der Dichte (Abstand) der Module und deren Aufbau (Platte oder Röhren) zusammen. Bei vertikalen Modulen sind die Modulhöhe und der Modulreihenabstand entscheidend. Bei vertikalen Anlagen laufen erste Untersuchungen zu dem Einfluss des Schattens auf die Vegetation.

Insgesamt wird bei der Schattentoleranz von normalen Witterungsbedingungen ausgegangen. Wenn es zu höherer Sonneneinstrahlung als gewohnt kommt, können auch nicht schattentolerante Pflanzen unter einer APV Anlage einen höheren Ertrag erzielen als dieselbe Kultur auf dem freien Feld. Dies zeigten auch die Ergebnisse der Versuchsanlage von Fraunhofer ISE in Heggelbach. Hierbei spielen neben der direkten Sonneneinstrahlung auch indirekte Punkte wie eine geringere Verdunstung eine Rolle.

Für vertikale APV-Anlagen ist die Höhe der Kultur entscheidend. Die Unterkante der Module kann maximal 1,2 Meter über dem Boden installiert werden. Somit können Kulturen bis zu einer Wuchshöhe von ca. 1,5 Meter angebaut werden. Dies beinhaltet den Großteil der in Deutschland gängigen Ackerkulturen. Ausgeschlossen werden hingegen unter anderem Biomassepflanzen wie Mais oder die Durchwachsende Silphie aber auch Obstbäume, Weinreben oder Hopfen.

5.3 Internationale Entwicklungen

Mit aktuellem Stand beträgt die weltweit installierte Leistung von APV-Systemen rund 2,9 Gigawatt (Trommsdorff et al. 2020). In Europa entwickelte Frankreich bereits 2010/2011 eine der ersten Pilotanlage nahe Montpellier. Bei dem experimentellen hoch aufgeständerten System mit 50 Kilowatt installierter Leistung und einer lichten Höhe von vier Metern stand unter anderem die Erforschung der Erträge von verschiedenen Nutzpflanzen in Kombination mit PV im Vordergrund (Brohm und Nguyen 2018). Mittlerweile treibt Frankreich die Entwicklung der Agri-PV stetig voran und sicherte 2017 im Rahmen von Ausschreibungen 15 Megawatt installierte Leistung an Agri-PV-Anlagen zu. Im März 2020 stieg deren Anteil bereits auf 40 Megawatt. Frankreichs bisher größte APV-Anlage mit nachgeführten Modulen im Weinanbau entstand 2018 (Trommsdorff et al. 2020).

In Europa strebt auch Kroatien seit 2016 die Entwicklung und Errichtung von APV-Anlagen an und realisierte in der Region Slawonien eine 500-Kilowatt-Pilotanlage, mit einem Ertrag von jährlich rund 576 Megawatt-Stunden in Kombination mit verschiedenen Gemüsesorten (Brohm und Nguyen 2018).

Japan führte 2013/2014 die erste Richtlinie für die solare Stromerzeugung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ein und regulierte die Genehmigung dahingehend, dass potenzielle Ertragseinbußen durch die Verschattung der Module auf max. 20 Prozent beschränkt wurden (Brohm und Nguyen 2018). 2018 passte Japan den Zeitraum, in dem Ackerland für eine Doppelnutzung mit Solaranlagen umgewandelt werden darf, von drei auf zehn Jahre an. Bis 2016 wurden 775 in der Mehrzahl vergleichsweise kleine Anlagen mit max. 50 Kilowatt installierter Leistung errichtet (ebd.). Bis 2020 stieg die Zahl realisierter APV-Anlagen auf 1.800 an (Trommsdorff et al. 2020).

Auch Indien sieht in APV-Anlagen Potenziale. Im Rahmen eines ersten distriktübergreifenden Solarstromprogramms soll es Landwirt*innen ermöglicht werden, Strom nicht nur für den Eigenbedarf zu generieren, sondern Überschüsse auch in das Netz einzuspeisen und hierfür

eine Vergütung zu erhalten. Für dieses Pilotprojekt sind 175 Megawatt installierte Leistung prognostiziert. Zudem fassen Brohm und Nguyen weiter zusammen, dass auf landesweitem Maßstab eine Doppelnutzung 16.000 Gigawatt-Stunden Strom erzeugen würde. Hiermit könnten 15 Millionen Menschen in Indien mit Strom versorgt werden (Brohm und Nguyen 2018).

China (Stand 2020) hält mit 1,9 Gigawatt nicht nur den größten Anteil installierter Leistung im Bereich APV, sondern hat mit einer installierten Leistung von 700 Megawatt derzeit auch die größte Einzelanlage realisiert (Trommsdorff et al. 2020).

Die nachstehende Tabelle gibt eine Übersicht zu international realisierten Projekten.

Tab. 7: Übersicht ausgewählter internationaler APV-Anlagen. (Quelle: Brohm und Nguyen 2018; Lasta und Konrad 2018)

Projekt	Installierte Leistung/ Kapazität	Information zur Anlage	System
Monticelli, Italien (2011)	3,23 MW _p	190 kW _p /ha	Einachsige Trackermodule.
Norditalien (2010-2011)	10.000 kW _p	Keine Angaben	12 m lange Rohre mit je 4 Flügelmodulen, lichte Höhe: 4,5 m, pro 1 MW _p = 1,5-2,2 ha Land.
Teramo, Italien	800 kW _p	Keine Angaben	67 hochaufgeständerte zweiachsige Tracker, lichte Höhe: 6 m.
Kazusatsumai, Präfektur Chiba, Japan (2011)	34,8 kW _p	450 kW _p /ha	Nicht nachgeführte Module; lichte Höhe: 3 m.
Montélimar, Frankreich	2,5 MW _p	ca. 3 GWh/Jahr	13.440 nicht nachgeführte Module; lichte Höhe: 3,5 m; Fläche: 4 ha.
Heggelbach, Deutschland (2015)	194 kW _p	580 kW _p /ha	Hoch aufgeständert, lichte Höhe: 5 m.
Awajishima, Japan (2015)	87 kW _p	500-600 kW _p /ha	Lichte Höhe: 3,5 m, 5 m Reihenabstand.
La Réunion, Frankreich (2016)	1,5 MW _p ; 7,5 MW _p	Keine Angaben	Beide Systeme sind mit 9 MWh Batterien kombiniert.
Anhui, Provinz Jinzhai, China (2016)	544 kW _p	500 kW _p /ha	Einachsige Tracker.
Shaoshi, Präfektur Chiba, Japan (2017)	1.000 kW _p	313 kW _p /ha	Keine Angaben.
Miyagi, Japan (2017)	1,8 MW _p ; 2,2 MW _p	780-970 kW _p /ha	Nicht nachgeführte Modultische.
Tresserre, Frankreich (2018)	2.100 kW _p	420 kW _p /ha	Tracker

Lasta und Konrad (2018) verweisen darauf, dass auch bei den international installierten Anlagen keine spezifische Modultechnologie herauszustellen ist, da alle Anlagen zum einen standortspezifisch als auch aufgrund der unterschiedlichen Zielstellungen der Betreiber- bzw. Flächeneigentümer*innen dimensioniert und determiniert sind.

Ebenso wie Indien und China ist auch Chile in Raum Santiago von trocken-heißem Klima geprägt. Hier entstanden bis 2018 in Zusammenarbeit mit Fraunhofer ISE drei APV-Anlagen mit je 13 Kilowatt installierter Leistung. Forschungsschwerpunkt war der Einfluss der APV-Anlagen auf die klimatischen Rahmenbedingungen an den jeweiligen Standorten (Trommsdorff et al. 2020).

Liu et al. (2019) fassen zusammen, dass trocken-heisse Gebiete häufig empfindlich gegenüber Umweltveränderungen sind, die sich durch Landnutzungsänderungen und damit einhergehender Winderosion ergeben. Solarmodule können zur Stabilisierung der mikroklimatischen Bedingungen beitragen, indem sie u. a. heterogene Strahlungsintensitäten schaffen oder Windgeschwindigkeiten verringern. Insgesamt verdeutlichen die ermittelten Ergebnisse, dass die Etablierung von APV-FFA durch eine positive Vegetations-Wasser-Rückkopplung die Widerstandsfähigkeit eines Gebietes gegenüber Winderosion erhöhen und unter ungünstigen klimatischen Bedingungen positive ökologische Effekte verbessern können. Barron-Gafford et al. (2019) bestätigten bspw. positive Effekte von APV-Anlagen insbesondere auf die Bodenfeuchtigkeit. Nach einer zweitägigen Bewässerung in Trockengebieten im Südwesten der USA blieb die Bodenfeuchte unter den Anlagen im Vergleich zu der unbebauten Referenzfläche um ca. 15 Prozent erhöht. Sie schließen daraus auf hohe Potenziale von APV-Systemen in arid-heissen Gebieten. Dabei könnten dieses ein gegenüber Klimaschwankungen unempfindliches Energie-Nahrungsmittelsystem sein. Außerdem zeigt die Studie von Liu et al. (2019), dass großflächige Solarparks in trocken-sandigen Gebieten durchweg signifikante lokale mikroklimatische Auswirkungen haben und damit auf die Vegetationsentwicklung einwirken. Welche Einflüsse kleinere Anlagen in ariden Gebieten haben, ist noch nicht erforscht. Trommsdorff et al. (2020) führen an, dass eine durch die Module verringerte Verdunstung sowie verringerte Luft- und Bodentemperaturen, im Zuge der ansteigenden Trockenperioden, auch für Deutschland gebietsweise ein relevantes Standortkriterium darstellen könnte.

Interessant könnte dies für Brandenburg und Regionen in Bayern sein. Insbesondere im Frühjahr und Frühsommer ist hier vermehrt mit trockenen-warmem Wetter zu rechnen. Im Zeitraum von 1931 bis 2015 haben die Niederschläge in Bayern insgesamt um 19 bis 23 Prozent abgenommen. Agri-PV-Anlagen bieten somit nicht nur in ariden und semiariden Schwellenländern hohe Potenziale zur Nutzbarmachung oder Ertragssteigerung von Trockengebieten. Im Hinblick auf die zunehmenden Hitzewellen in Mitteleuropa sollten Agri-PV-Anlagen als eine an Bedeutung zunehmende Komponente zur Klimaanpassung betrachtet werden (Scharf et al. 2021).

5.4 Rechtliche Aspekte

Aktuell existieren zu Agri-PV-Anlagen keine spezifischen rechtlichen Regelungen. Die einzige Ausnahme in diesem Zusammenhang stellt die Möglichkeit der Förderung über die Innovationsausschreibungen des EEG dar (s. Kap. 5.7.1). Für die Anwendung des gültigen

Rechtsrahmens ergeben sich Unsicherheiten bzw. Kontroversen, insbesondere zu Aspekten der agrarrechtlichen Förderung.

Die unionsrechtlichen Bestimmungen zeichnen einen Rahmen für die EU-Agrarförderung für alle Mitgliedsstaaten. Hierunter werden Agrarbeihilfen für Flächen gewährt, die hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt werden. In diesem Kapitel wird – unter Bezugnahme auf die aktuelle Rechtsprechung – erläutert, warum der Anspruch auf Agrardirektzahlungen für landwirtschaftlich genutzte Flächen mit Agri-PV-Anlagennutzungen mittelfristig bestehen bleiben könnte.

Die Verordnung (EU) Nr. 1307/2013 über Direktzahlungen an Inhaber*innen landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen von Stützungsregelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) definiert den Begriff „beihilfefähige Hektarfläche“ als jede landwirtschaftliche Fläche eines Betriebs, die für eine landwirtschaftliche Tätigkeit genutzt wird oder – wenn die Fläche daneben auch für nichtlandwirtschaftliche Tätigkeiten genutzt wird – jede landwirtschaftliche Fläche eines Betriebs, die hauptsächlich für eine landwirtschaftliche Tätigkeit genutzt wird. Wird die landwirtschaftliche Fläche eines Betriebs auch für nichtlandwirtschaftliche Tätigkeiten genutzt, so gilt diese Fläche als hauptsächlich für eine landwirtschaftliche Tätigkeit genutzte Fläche, wenn die landwirtschaftliche Tätigkeit ausgeübt werden kann, ohne durch die Intensität, Art, Dauer oder den Zeitpunkt der nichtlandwirtschaftlichen Tätigkeiten stark eingeschränkt zu sein (Art. 32 Abs. 2 lit. A) i. V. m. Abs. 3 lit. A) der Verordnung (EU) Nr. 1307/2013). Die Fortführung des Agrarbeihilfeanspruchs bei Doppelnutzungen auf landwirtschaftlichen Flächen wird bei Einhaltung der oben aufgeführten Voraussetzungen durch die Demmer-(Europäischer Gerichtshof, Urt. V. 02.07.2015 – C-684/13) und Wree-Urteile (Europäischer Gerichtshof, Urt. V. 2.7.2015 – C-422/13) des Europäischen Gerichtshofs in der Praxis bestätigt.

Da die Mitgliedstaaten Kriterien für die Umsetzung der EU-Agrarförderung Nr. 1307/2013 auf ihrem Hoheitsgebiet festlegen müssen, gelten die Vorgaben nach dem deutschen Recht des Direktzahlungen-Durchführungsgesetz (DirektZahlDurchfG) und der Direktzahlungen-Durchführungsverordnung (DirektZahlDurchfV). Hieraus ergibt sich eine Spezifizierung für Solaranlagen nach deutschem Recht. In § 12 Abs. 3 Nr. 6 DirektZahlDurchfV werden Flächen, auf denen sich Anlagen zur solaren Strahlungsenergie befinden, einer hauptsächlich nicht landwirtschaftlichen Flächennutzung zugesprochen und erhalten folglich keine Agrarbeihilfe auf doppelt genutzten Flächen. Urteile deutscher Gerichtshöfe lehnen sich zwar stark an der europarechtlichen Auslegung an (kein Verlust des Agrarbeihilfeanspruchs bei Doppelnutzungen siehe BVerwG Urt. V. 04.07.2019 – 3C11.17; VGH München, Beschluss v. 27.03.2020 – 6 ZB17.2395) weisen aber keinen Solarbezug auf. Das Verwaltungsgericht Regensburg ist jedoch in seinem Urteil vom 15.11.2018 – RO 5 K 17.1331 zur Beihilfefähigkeit eines Solarparks erstinstanzlich zu dem Schluss gekommen, dass die Beihilfefähigkeit einer Fläche allein von ihrer tatsächlichen Nutzung als landwirtschaftliche Fläche abhängt. Dass landwirtschaftlich genutzte Flächen auch anderen Zwecken, wie zum Beispiel dem gewerblichen Betrieb eines Solarparks dienen, führe trotz des § 12 Abs. 3 Nr. 6 DirektZahlDurchfV nicht dazu, dass die Flächen ihre Eigenschaft als „beihilfefähige Flächen“ verlieren. Sofern keine starke Einschränkung der landwirtschaftlichen Nutzung bestehe (Art. 9 Abs. 1 VO (EG) Nr. 1120/2009) und eine hauptsächlich landwirtschaftliche Nutzung weiterhin ausgeübt werden kann, stünde die Doppelnutzung dem Beihilfeanspruch nicht entgegen. Der Streitfall über § 12 Absatz 3 Nummer 6 DirektZahlDurchfV wurde beim Bayerischen VGH jedoch zur Berufung gebracht, wobei das VGH Urteil vom 1. Juni 2021 die Agrarprämien für die strittigen Flächen erneut zusprach. Das

Urteil bestätigt die erstinstanzliche Rechtsprechung des VG Regensburg und akzentuiert, dass die tatsächliche Nutzung einer Fläche für dessen Einordnung als beihilfefähig entscheidend ist. Dies entspricht der europarechtskonformen Auslegung insofern, dass agrarwirtschaftliche Tätigkeiten nicht stark eingeschränkt werden dürfen, um weiterhin beihilfefähig zu sein (landwirtschaftliche Nutzungsverhältnisse). Interessant ist, dass es sogar unerheblich ist, dass die Energiegewinnung auf den Flächen den Zweck der landwirtschaftlichen Tätigkeit weitaus überlagert sowie dass durch die Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz eine weitere Refinanzierung entstehen kann. Gegen das Urteil des VGH wurde Revision eingelegt, die vom Bayerischen Verwaltungsgerichtshof nicht zugelassen wurde. Derzeit liegt eine Nichtzulassungsbeschwerde beim Bundesverwaltungsgericht vor, so dass das Urteil des Bayerischen VGH noch nicht rechtskräftig ist.

Die Thematik zeigt zudem politische Brisanz. Vorgeschlagen wurde seitens weniger Länder im Rahmen der Agrarministerkonferenz (23.-25.09.2020 in Weiskirchen), eine Änderung der Direktzahlungen-Durchführungsverordnung in dem Sinne vorzunehmen, dass mit Agri-Photovoltaikanlagen genutzte landwirtschaftliche Flächen nicht vom Bezug von Direktzahlungen auszuschließen seien. Hintergrund ist, dass mit Agri-PV-Anlagen eine gleichzeitige Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen zur Energiegewinnung und für die Landwirtschaft möglich ist.

Nach derzeitiger Rechtslage ist eine kombinierte Nutzung im Rahmen der DirektZahlDurchfV so lange nicht beihilfefähig, bis das Urteil des Bayerischen VGH Rechtskraft zeigt. Aktuell zahlen die exekutiven Organe noch keine Agrardirektzahlungen im Saarland aus.

Neben den rechtlichen Unsicherheiten im Bereich der Agrarförderung bringen sowohl Vertreter*innen der Landwirtschaftsverbände, jedoch auch der Wissenschaft die zumindest teilweise Aussetzung der Eingriffsregelung für APV-FFA ein. Trommsdorff et al. (2020) weisen darauf hin, dass bei APV regelmäßig „auch die Frage zu beantworten ist, ob es sich dabei um Eingriffe in den Naturhaushalt handelt“ und stellt weiter die Überlegung an, „ob die Flächennutzung den Regeln der guten landwirtschaftlichen Praxis zugeordnet wird und damit keinen Eingriff im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) darstellt“, und weiter „ob eine Agri-PV-Anlage sogar Ökopunkte nach der ÖKVO (Ökokonto-Verordnung) generieren kann“. Ähnliches fordert der Bauern- und Winzerverband Rheinland-Nassau (2021) in seinem Positionspapier zu PV-FFA: „Bei der Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen ist auf einen naturschutzfachlichen Ausgleich vollständig zu verzichten. Die Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen ist grundsätzlich selbst als naturschutzfachlicher Ausgleich mindestens im Verhältnis 1:3 anzusetzen, um den Flächenverbrauch an landwirtschaftlichen Produktionsflächen zu kompensieren.“ Dem ist zu entgegnen, dass es sich bei PV-FFA, unabhängig von der vorliegenden Anlagenkonfiguration, um Eingriffe in Natur und Landschaft handelt, auch wenn diese in Kombination mit einer landwirtschaftlichen Nutzung stattfinden (vgl. Kap. 2.3).

5.5 Bau-, anlage-, und betriebsbedingte Wirkfaktoren

Die Beschreibung der Wirkfaktoren von APV-FFA ist insbesondere dadurch erschwert, dass die Bandbreite an baulich unterschiedlichen APV-FFA groß ist vgl. (Kap. 5.2). Aus diesem Grund wird im Folgenden auf einzelne Aspekte wie Bauhöhe und Modulreihenabstand eingegangen, die unabhängig einzelnen Anlagentypen zugeordnet werden können. Darüber hinaus gehen auch von der Art der landwirtschaftlichen Flächennutzung Wirkfaktoren aus, die aber

unabhängig vom Betrieb der APV-FFA auftreten. Hier wird darum lediglich auf die Aspekte eingegangen, die in direktem Zusammenhang mit dem Anlagenbetrieb stehen.

Baubedingte Unterschiede der Wirkfaktoren zwischen kPV- und APV-Anlagen liegen nicht vor, da die zur Anwendung kommenden Bauteile, insbesondere Aufständerung, Gründung und Kabel, mit denen der kPV vergleichbar sind. Auch die Anlage von Baustraßen und Lagerplätzen muss standortabhängig für die Logistik der Baustelle vorgehalten werden (vgl. Kap. 3.1).

In Bezug auf die Umzäunung der Anlagenfläche konnten im Vorhaben unterschiedliche Aussagen recherchiert werden. Während Trommsdorff et al. (2020) davon ausgehen, dass „Eine Einzäunung [...] bei Agri-PV-Systemen in der Regel [...] nicht nötig [ist]“, zeigen andere Praxisbeispiele wie auch Aussagen in geführten Interviews, dass eine Umzäunung aus versicherungstechnischen Gründen bei APV-FFA wie auch bei kPV-FFA die Regel darstellt (Agri-Photovoltaik GbR 2021; Next2Sun GmbH 2021). Mögliche Unterschiede ergeben sich durch die Anlagenhöhe, wobei im Falle von hoch aufgeständerten APV-FFA aufgrund der erschwerten Erreichbarkeit einiger Anlagenkomponenten wie der Module und teilweise der Kabel ggf. eher auf eine Umzäunung verzichtet werden kann, als bei niedrig aufgeständerten Anlagen. Ist die Anlagenfläche umzäunt, treten damit verbundene Barrierewirkungen und visuellen Effekte auf.

Anlagebedingte Wirkfaktoren können sich gar nicht bis erheblich von kPV-FFA unterscheiden. Im Falle von niedrig aufgeständerten, fest installierten oder nachgeführten Anlagen mit höheren Reihenabständen unterscheiden sich die Wirkfaktoren nicht voneinander. Abweichungen sind insbesondere in Bezug auf visuelle Effekte und die optische Wahrnehmung von hoch aufgeständerten Anlagen zu erwarten. Ähnliches gilt auch für vertikal niedrig aufgeständerte Anlagen, da die Anordnung der Module von der anderer Anlagentypen abweicht. Von Bedeutung könnten in diesem Zusammenhang auch die bei einigen Anlagentypen verwendeten Stahlseilkonstruktionen zur Aufständerung sein.

APV-FFA können mit sehr unterschiedlichen Modulreihenabständen abhängig von der bewirtschafteten landwirtschaftlichen Kultur installiert werden. Die Effekte der Überschirmung nehmen dabei mit dem Anteil der überstellten Fläche zu. Gleiches gilt für die Versiegelung durch die Aufständerung. Je mehr Modulreihen proportional zur Gesamtfläche installiert werden, desto höher der Grad der Versiegelung. Dennoch bewegt sich dieser, analog zu kPV-FFA, bei einem im Vergleich zur Anlagenflächen sehr geringen Anteil von max. fünf Prozent.

Spezifisch betriebsbedingte Wirkungen von APV-FFA im Vergleich zu kPV-FFA ergeben sich, abgesehen von der Art der Flächenbewirtschaftung, insbesondere durch den zur Aufständerung bzw. den Modulen einzuhaltenen Sicherheitsabstand von rund einem Meter, der für eine maschinelle Flächenbearbeitung nicht zur Verfügung steht.

5.6 Spezifische Auswirkungen von Agri-PV-Anlagen auf Natur und Landschaft

National wie international bestehen Aktivitäten zur Erforschung von APV-FFA. Die Untersuchungen zielen dabei im Schwerpunkt auf die Kompatibilität und Optimierung der Nutzungskombination aus Photovoltaik und Landwirtschaft ab, mit Fokus auf die Auswirkungen der Anlagen auf das pflanzenverfügbare Licht sowie den Wasserhaushalt. Für aride und semiaride Gebiete steht im Vordergrund, Landflächen durch APV-Systeme überhaupt bzw. produktiver

landwirtschaftlich nutzbar zu machen, in sonstigen Gebieten spielt die Optimierung der Flächeneffizienz (also die Maximierung der Erträge aus landwirtschaftlicher Erzeugung und Solarenergie, angegeben als LER = Land Efficiency Rate, vgl. Kap. 5.6.3) als Beitrag zur Lösung von zunehmenden Flächenkonkurrenzen, eine Rolle. Spezifisch zu Agri-PV-Anlagen, unabhängig von der Bauform, liegen national wie international praktisch keine Untersuchungen zu den Wirkungszusammenhängen aus naturschutzfachlicher Perspektive vor. APV-spezifische Aussagen aus naturschutzfachlicher Sicht sind immer dann möglich, wenn sich aus Perspektive der Forschenden inhaltliche Überschneidungen mit landwirtschaftlichen Fragestellungen ergeben. Für andere Schutzgüter, insbesondere die biologische Vielfalt und das Landschaftsbild, sind Übertragungen und Analogieschlüsse aus der Forschung zu kPV-FFA notwendig. Die folgende Analyse grenzt darum den Stand des Wissens zu APV-FFA ab und stellt dort wo es fachlich sinnvoll und möglich ist, Analogieschlüsse zwischen den Nutzungskonzepten von kPV- und APV-FFA her. Fokussiert wird dabei insbesondere auf anlagebedingte Unterschiede, etwa in Bezug auf die Anlagenhöhe oder die Modulausrichtung bei vertikalen APV-FFA.

5.6.1 Fauna

5.6.1.1 Fledermäuse

Für Fledermäuse gelten für APV-FFA die an kPV-FFA gewonnenen Erkenntnisse gleichermaßen (s. Kap. 3.2.1.1). Für vertikale APV-FFA ist auf die Untersuchungsergebnisse von Greif et al. (2017) hinzuweisen, nach denen Fledermäuse sowohl im Labor wie unter Freilandbedingungen an glatten, vertikalen Oberflächen kollidierten. Ob dieses Phänomen möglicherweise auf vertikale APV-FFA übertragen werden kann, kann hier nicht festgestellt werden. Weiter ist davon auszugehen, dass die für hoch aufgeständerte APV-FFA teilweise genutzten Stahlseile aufgrund ihrer statischen Befestigung kein Risiko für Fledermäuse darstellen.

5.6.1.2 Weitere Säugetiere

Bei APV-FFA ist zunächst von gleichen Effekten für den Anlagenbau sowie die Umzäunung auszugehen, betriebsbedingt sind keine Abweichungen zu den Auswirkungen von kPV-FFA zu erwarten (s. Kap.3.2.1.2).

Anlagebedingt ist unklar, ob APV-FFA mit Gesamthöhen von über sieben Metern eine ausgeprägtere Störwirkung mit daraus resultierendem Meideverhalten und (Teil-)Lebensraumverlust hervorrufen als niedrig aufgeständerte Anlagen, wo Herden et al. (2009) mit keiner andauernden Meidung für Groß- und Mittelsäuger rechnen.

Ebenso ist für vertikale APV-FFA bislang nicht untersucht, ob diese spezifische Bauform Auswirkungen auf Säugetiere hat. Denkbar ist eine Barrierewirkung für Mittel- und Großsäuger aufgrund der geschlossenen Modulreihen, allerdings nur dann, wenn die Fläche nicht umzäunt bzw. trotz der Umzäunung für die betreffenden Arten erreichbar ist. Für Kleinsäuger dürften die Modulreihen mit einem Bodenabstand von mindestens 0,2 Metern keine Barriere darstellen.

In vielen Fällen wird die aufgrund des Sicherheitsabstandes zur Aufständigung aufwachsende Vegetation zwar gemäht, jedoch nicht vollständig entfernt. Es stellt sich die Frage, ob diese in der Regel rund einen Meter pro Seite breiten Vegetationsstreifen – eine an naturschutzfachlichen Zielen ausgerichteten Etablierung und Pflege vorausgesetzt – Habitatfunktionen in Form von Deckung oder ggf. Nahrung übernehmen könnten (vgl. dazu auch Kap. 6.3).

5.6.1.3 Avifauna

Für potenzielle Auswirkungen auf die Avifauna sind baubedingt nur geringe Unterschiede zwischen kPV-FFA und APV-FFA absehbar.

Eine schützende Funktion bzw. schneefreie Flächen sind bei hochaufgeständerten Anlagen in geringerem Maße zu erwarten, auch breitere Reihenabstände dürften entsprechende Effekte abschwächen. Die Nutzung der Aufständeringung als Nistplätze ist möglicherweise durch die größere Exponiertheit hoch aufgeständerter APV-FFA ebenfalls gemindert; bei vertikalen APV-FFA wird durch die Anlagenkonstruktion ebenfalls eine geringe Nutzungsmöglichkeit der Anlage als Nisthilfe gesehen.

Bieten kPV-Anlagen für einige Arten des Offenlandes Deckung und Brutmöglichkeiten (F&P Netzwerk 2021) ist dies auch bei niedriger aufgeständerten vertikalen sowie eingezäunte APV-FFA, abhängig von der Art der Bewirtschaftung und der Störungsintensität, denkbar. Eindeutige Aussagen sind hier jedoch aufgrund der aktuellen Datenlage nicht möglich.

In Bezug auf eine Störwirkung der Anlage selbst ist die Wirkintensität des zugrundeliegenden Silhouetteneffekts neben dem Landschaftsrelief und weiteren Vertikalstrukturen im räumlichen Zusammenhang der Anlage, von der Höhe der Vertikalstruktur abhängig (Herden et al. 2009). Eine deutlicher ausgeprägte Scheuchwirkung mit zunehmender Anlagenhöhe und damit zunehmender Reichweite schätzen die Forschenden als denkbar ein (ebd.).

Bei hoch bzw. höher aufgeständerte APV-FFA ist dementsprechend von einem höheren Konfliktrisiko auszugehen. Dieser Effekte könnte sich insbesondere in ausgeräumten Agrarlandschaften mit fehlenden oder nur gering vorhandenen weiteren Vertikalstrukturen verstärken. In der Literatur finden sich diesbezüglich keine quantifizierte Angaben wie Abstandswerte, potenziell können jedoch auch Habitate angrenzender Flächen betroffen sein. Im Vergleich zu anderen, wesentlich höheren Strukturen wie Windenergieanlagen erwarten Herden et al. (2009) von kPV-FFA keine weit in die Umgebung hineinwirkenden Effekte, auch weil es sich bei kPV-FFA nicht um bewegte Silhouetten handelt. Für gegenüber Vertikalstrukturen besonders sensiblen Arten wie Wiesenvogelarten und rastenden Wasservögeln gehen die Forschenden davon aus, dass deren Rast- oder Nisthabitate durch kPV-FFA und damit auch durch APV-FFA sowie deren Umfeld im Wert gemindert werden (ebd.).

Für das Risiko von Kollisionen an Anlagenteilen werden zunächst keine begründbaren Unterschiede zwischen kPV- und APV-FFA gesehen. Für vertikale APV-FFA gibt es keine Hinweise, die auf ein erhöhtes oder reduziertes Kollisionsrisiko sprechen. Insgesamt ist darauf hinzuweisen, dass ein potenzielles Kollisionsrisiko von Vögeln an PV-FFA bislang nur wenig untersucht wurde. Ob die bei hoch aufgeständerten APV-FFA zum Einsatz kommenden Stahlseile ein erhöhtes Risiko für Kollisionen darstellt, ist theoretisch denkbar, kann derzeit jedoch nicht abgeschätzt werden.

5.6.1.4 Reptilien

Für Reptilien und insbesondere die Zauneidechse als häufigste kPV-FFA-relevante Reptilienart (Peschel et al. 2019) ergeben sich grundsätzlich keine Unterschiede hinsichtlich des Wirkungsspektrums von kPV-FFA und APV-FFA. Insbesondere die baubedingten Wirkungen sind hier dieselben (s. Kap. 3.2.1.4).

Darüber hinaus wurden Reptilienarten in nur wenigen Untersuchungen betrachtet (Badelt et al. 2020). Bei APV-FFA dürften bisherige Untersuchungsergebnisse an kPV-FFA aufgrund der deutlich unterschiedlichen Art und Intensität der Flächennutzung nur bedingt übertragbar sein. Da für die Habitateignung für Reptilien auch der Anteil der sonnenbeschienenen Fläche entscheidend ist, könnten sich bei APV-FFA mit großen Reihenabständen positive Effekte einstellen. In intensiv genutzten Agrarlandschaften ist deren Vorkommen, u. a. aufgrund der Strukturarmut und der Bewirtschaftungsintensität, jedoch unwahrscheinlich. Beispielsweise besiedelt die Zauneidechse zwar Sekundärhabitats wie Eisenbahndämme oder Sand- und Kiesgruben (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2021), konventionell intensiv bewirtschaftete landwirtschaftliche Flächen dürften aber aufgrund des Fehlens eines kleinräumigen Mosaiks aus vegetationsfreien und grasigen Flächen sowie Gehölzen und anderen als Sonnplätzen genutzten Strukturen ungeeignet sein. Ob der Aufwuchs entlang der Aufständigung für diese Artengruppe zu positiven Effekten führen könnte, kann aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht eingeschätzt werden.

5.6.1.5 Insekten

Baubedingt ergeben sich die gleichen Auswirkungen, wie sie bei kPV-Anlagen zu erwarten sind (s. Kap. 3.2.1.6). Ebenso wie bei kPV-FFA können auch APV-FFA Unterschlupfmöglichkeiten, Nistplätze oder Schutz vor Niederschlägen für Insekten bieten. Anlagenbedingt ist außerdem von den gleichen Attraktionswirkungen auszugehen wie bei kPV-FFA, da sich die Modultechnik nicht wesentlich unterscheidet. Denkbar ist für hoch aufgeständerte Anlagen eine erhöhte Exposition von Insekten gegenüber Beutegreifern. Da auch für Insekten keine APV-spezifischen Untersuchungen existieren, ist dieser Zusammenhang derzeit nicht belegbar.

Betriebsbezogen steht die Art der landwirtschaftlichen Nutzung und deren Auswirkungen im Vordergrund. Dies betrifft die Nutzungsform und deren Intensität sowie die angebaute Kultur. Intensiv bewirtschaftete Acker- und Agrarstandorte sind häufig von humosen, schweren, teils verdichteten Böden gekennzeichnet, was sie für eine Vielzahl bodennistender Insekten, vor allem für Wildbienen, weniger attraktiv als potenziellen Lebensraum macht, da sie deutlich schwerer zu durchgraben sind (Timling 2014). Sowohl für Grünland- als auch für Ackerstandorte wirkt sich insbesondere die Nutzungsintensität auf Insekten aus. Werden z. B. Grünlandstandorte häufig gemäht oder intensiv beweidet, ergeben sich erhebliche Auswirkungen durch den flächigen Verlust des Blühpflanzenangebotes. Gleichzeitig führt eine mit Maschinen intensiv praktizierte Bewirtschaftung zur wiederholten Zerstörung der ruhenden Insekten bzw. ihrer sich in der Vegetation befindlichen unterschiedlichen Entwicklungsstadien (Eier, Larven, Puppen). Ähnlich negative Auswirkungen entfalten sich auch bei der tendenziell schonenderen Beweidung bei einem zu dichten Besatz mit Weidetieren (Demuth et al. 2018).

Auf ackerbaulich genutzten APV-Flächen sind Heuschrecken und Grillen durch die Bearbeitung des Bodens und die Störung der Bodenruhe, (z. B. Pflügen) gefährdet. Weiter können Mahd oder Ernte zu Verlusten von Randstrukturen oder Altgrasstreifen beitragen, die damit nicht mehr als Rückzugorte zur Verfügung stehen. Der Verlust von lebensraumvernetzenden Strukturen fördert insbesondere bei den wenig mobilen Arten die Isolation in Teilpopulationen (Becker et al. 2020).

Auf APV-Flächen könnten Modulbestandteile Schutz- bzw. Rückzugsbereiche während der Ernte bieten. Hoch aufgeständerte oder vertikale APV-FFA mit großen Modulreihenabständen

dürften insgesamt geringe Auswirkungen auf die Raumnutzung von Heuschrecken oder Bienen haben, da es hier einerseits zu einer geringeren flächenhaften Verschattung kommt bzw. der Schattenschlag temporär ist. Damit gehen auch geringere Veränderungen der Luftfeuchtigkeit einher.

Ob der prinzipiell für naturschutzfördernde Maßnahmen geeignete Schutzstreifen (vgl. zu Flora in Kap. 5.6.2) neben den Modulen bzw. der Aufständigung auch zur Förderung der Gruppe der Insekten geeignet sein kann, ist ohne entsprechende Untersuchungsergebnisse nur schwer abschätzbar. In einer Feldstudie haben Bötzel et al. (2021) in Bezug auf die Frage nach den Effekten von Blühflächen in der Agrarlandschaft auf die Artenvielfalt von Bestäubern und natürlichen Feinden von Agrarschädlingen gezeigt, dass „Blühflächen Lebensraum für ein breites Spektrum an Arten in der Agrarlandschaft bieten“ und dass dabei die zeitliche Kontinuität eine wesentliche Rolle spielt. Neben anderen Faktoren benennen sie die Flächengröße als eher untergeordneten Aspekt.

5.6.2 Flora

Bei der Betrachtung des Schutzguts Flora ist zunächst festzustellen, dass die Nutzungsart des überwiegenden Flächenanteils durch die Landwirtschaft als Hauptnutzung bestimmt ist. Im Gegensatz zu kPV, wo auf landwirtschaftlichen Flächen in der Regel extensiv gepflegtes Grünland entwickelt wird, ändert die Installation einer APV-FFA zunächst nichts an der Intensität der Flächenbewirtschaftung. Dies gilt gleichermaßen für einen etwaigen Wechsel zwischen Acker- bzw. Sonderkulturen und Wirtschaftsgrünland. Derzeit sind keine wesentlichen Tendenzen absehbar, in denen die Art bzw. Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung durch die Installation einer APV-FFA beeinflusst würde.

Grundsätzlich erfolgt die Auswahl des passenden APV-Systems eher anhand der vorgesehenen Anbaukultur bzw. daran, welche zusätzliche Funktion das APV-System, z. B. als Witterungsschutz, übernehmen soll. Umgekehrt dienen APV-FFA ja gerade dazu, die gleichzeitige Nutzung der Fläche für Landwirtschaft und Energieerzeugung zu ermöglichen.

Beim Anlagenbau unterscheiden sich APV-Konzepte hinsichtlich potenzieller Auswirkungen auf die Flora nicht von kPV-FFA auf ehemaligen Agrarflächen (s. Kap. 3.2.2). Auf Agrarflächen kann es durch die Anlagenerrichtung zu negativen Auswirkungen kommen, insbesondere dann, wenn naturschutzfachlich wertvolle Randstrukturen durch den Baustellenbetrieb genutzt und so geschädigt oder zerstört werden. Mindestens temporäre Beeinträchtigungen oder Verluste von z. B. Ackerrandstreifen sind durch das Befahren mit Fahrzeugen oder die Nutzung als Lagerplätze für Material oder Bodenaushub denkbar. Auf bestehendem Dauergrünland ist in der Bauphase mit teils erheblichen Beeinträchtigungen zu rechnen, die im Wesentlichen auf die Befahrung und den Aushub des Bodens zurückzuführen sind. Es kann zu großflächiger Schädigung der Vegetationsdecke kommen. Kleinräumigere Vegetationsverluste können sich darüber hinaus durch Bodenverdichtung ergeben (Demuth et al. 2018). Von dauerhaften Effekten auf Grund der Einbringung von Fremdsubstraten, z. B. für den Wegebau, ist im Falle von APV-FFA aufgrund der landwirtschaftlichen Hauptnutzung und damit verbundenen Gründen der Wirtschaftlichkeit weniger auszugehen.

Anlagebedingt ist der Einfluss des Überschirmungsgrades der Solarmodule auf den Wasserhaushalt und das pflanzenverfügbare Licht ebenso an die bewirtschafteten Kulturen

angepasst. Bei APV-FFA auf Wirtschaftsgrünland resultieren daraus in der Regel große Reihenabstände von rund sieben Metern. Durch die verschatteten Bereiche kann es ggf. zu geringfügigen Verschiebungen der Artenzusammensetzung kommen (Demuth et al. 2018). Im Fall von intensiv genutzten, artenarmen Wirtschaftsgrünländern, mit mäßig bis geringem naturschutzfachlichen Wert, ist dies jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Betriebsbedingt stehen, wie oben erwähnt, die Auswirkungen der Flächennutzung in der Landwirtschaft im Vordergrund. Die DIN SPEC 91434 (DIN Deutsches Institut für Normung 2021) legt in diesem Kontext fest, dass, der Umbruch von Grünland bezogen auf eine bestimmte Fläche mit unterschiedlichen Nutzungsarten lediglich bilanziell möglich ist. Auch wenn durch eine mögliche Nutzungsänderung so kein Grünland verloren geht, entsteht aus naturschutzfachlicher Sicht abhängig von der Flächengröße und weiteren, den naturschutzfachlichen Wert des Grünlandes bestimmen Faktoren wie die Artenzusammensetzung, ein Schaden. Zu begründen ist dies im Wegfall etablierter Strukturen, wie z. B. der Durchwurzelung des Bodens und der geschlossenen Vegetationsdecke; ebenso kommt es beim Grünlandumbruch und der damit verbundenen Umsetzung von Biomasse zu CO₂-Emissionen.

Wird durch den Bau einer APV-FFA Ackerland in Grünland umgewandelt, stellen sich aus naturschutzfachlicher Perspektive überwiegend positive Effekte ein. Entscheidend für die naturschutzfachliche Qualität ist jedoch die Ausprägung des Wirtschaftsgrünlandes. Insbesondere eine Wechselgrünlandbewirtschaftung mit regelmäßigem Umbruch, auch durch Zuhilfenahme von Totalherbiziden, ist aus naturschutzfachlicher Perspektive eher dem Fruchtfolgenwechsel auf Ackerland zuzuordnen (Jedicke 2014).

Die Anlagenstruktur von APV-Systemen führt dazu, dass nicht die gesamte Fläche maschinell bewirtschaftet werden kann. Dies betrifft die Bereiche links und rechts neben der Aufständigung, hier muss ein Sicherheitsabstand von in der Regel rund einem Meter pro Seite eingehalten werden. So entstehen in Reihe angeordnete Streifen, die entweder brach liegen und durch spontanen Aufwuchs oder, wie in einigen APV-Konzepten vorgesehen (vgl. Kap. 6.3), durch artenreiche Aussaatmischungen begrünt werden. Einschränkungen im Aufwuchs sind möglich, wenn durch Freischneiden die Verschattung der Module vermieden wird. Ebenso einschränkend kann sich, insbesondere bei konventionell bewirtschafteten Flächen, der Einsatz von Herbiziden und Dünger auswirken.

5.6.3 Fläche

In der Diskussion um die Möglichkeiten und Vorteile, welche die APV-Technik eröffnet, wird vor allem der Punkt der gesteigerten Flächeneffizienz durch Doppelnutzung betont (z. B. (Baldelt et al. 2020; Tietz 2017; Trommsdorff et al. 2020). Aus naturschutzfachlicher Perspektive ist dabei entscheidend: ergibt sich aus der Anwendung von APV-FFA ein signifikantes Flächensparnis im Rahmen des notwendigen Zubaus von PV-FFA (vgl. Kelm et al. 2019b; Prognos et al. 2020).

Die Ermittlung des Effizienzgrades für APV-FFA erfolgt über die Berechnung der Landnutzungsrate (LNR). Ursprünglich beschreibt die LNR das „Verhältnis der Fläche, die im Einzelfruchtanbau benötigt wird, um einen gewissen Ertrag aus zwei oder mehr Kulturen zu erhalten, zur Fläche, die im Mischfruchtanbau benötigt wird, um diesen Ertrag zu erhalten“ (Scharf et al. 2021). Dieses Konzept lässt sich auf APV-Systeme übertragen, indem die

„kombinierten Erträge aus Landwirtschaft und Stromproduktion einer Agri-PV-Anlage mit den Erträgen, die auf einer rein landwirtschaftlichen Nutzfläche bzw. einer reinen [k]PV-FFA erwirtschaftet werden, ins Verhältnis gesetzt“ werden (ebd.).

Die folgende Abbildung veranschaulicht das Prinzip anhand von Kartoffelanbau in Kombination mit vertikalen Modulreihen.

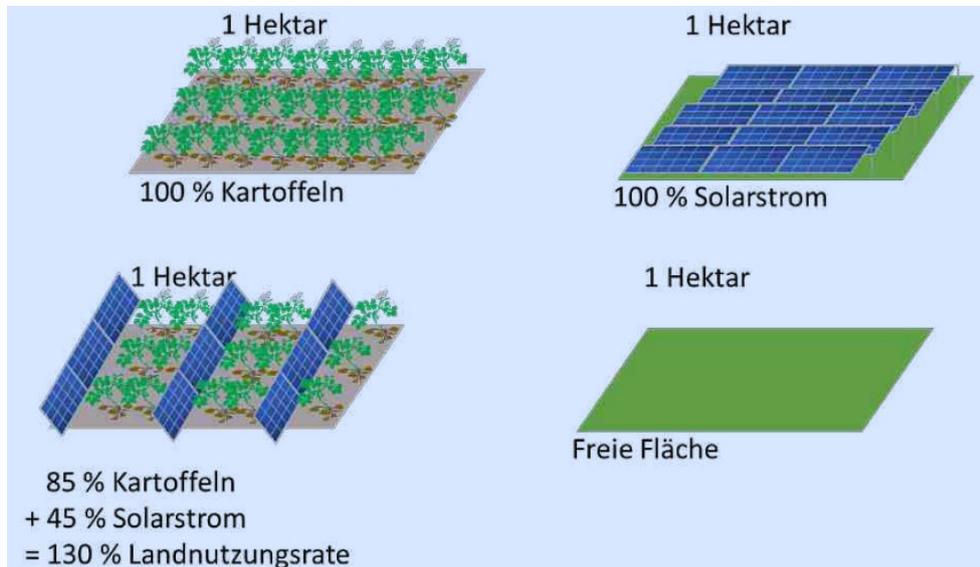


Abb. 8: Schema der LNR einer Agri-PV-Anlage. (Quelle: eigene Darstellung nach Scharf et al. 2021)

Hierbei handelt es zunächst allerdings um einen theoretischen Wert für die Flächeneffizienz, die eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit eines Projekts nicht zulässt. Der Flächeneffizienz muss der notwendige Aufwand gegenübergestellt werden (Scharf et al. 2021). Praktisch wurde die LNR bislang nur im Projekt „APV Resola“ des Fraunhofer ISE ermittelt. Für das Jahr 2017 konnte dort eine LNR von 160 Prozent an der hoch aufgeständerten horizontalen Pilotanlage erreicht werden (Trommsdorff et al. 2020). Eine Untersuchung der LNR an einer vertikalen Anlage soll 2022 folgen (ebd.).

Praktische Untersuchungsergebnisse zur Verifizierung theoretisch ermittelter LNR-Potenziale stehen also nur sehr eingeschränkt zur Verfügung. Für detaillierte Aussagen müssen Forschungsergebnisse der kommenden mindestens zwei Jahre abgewartet werden.

Die APV-Technik wird in der Tank-oder-Teller-Diskussion um die Frage des Energiepflanzenanbaus regelmäßig als eine (Teil-)Lösung präsentiert. Der Naturschutzbund Deutschland und der Bundesverband Solarwirtschaft (NABU und BSW 2021) schlagen in diesem Kontext vor, landwirtschaftliche Flächen eher für Agri-PV-Anlagen statt für den Substratanbau für Biogasanlagen zu nutzen, um gleichzeitig Nahrungsmittel und Energieerzeugung auf derselben Fläche zu kombinieren. Biogasanlagen haben durch die Festsetzungen im EEG 2021 derzeit eine auskömmliche Refinanzierung, weshalb deren Betrieb nicht unbedingt auslaufen wird. Sie dienen im Stromsystem z. B. zur Darstellung der Flexibilität (Matschoss et al. 2020) oder der Produktion von Biomethan für Kraftstoffe, von Prozessenergie oder auch zur weiteren Verarbeitung in der chemischen Industrie (ebd.). Somit ist zu überlegen, wie diese Biogasanlagen in Zukunft möglichst naturschutzfachlich sensibel mit Substraten versorgt werden können und gleichzeitig neue Konzepte wie APV-Anlagen nicht noch zusätzliche Flächenbedarfe anreizen.

Eine Möglichkeit wäre, Biogasanlagen mit extensivem Substrat (z. B. Gras) zu versorgen (Noll et al. 2020).

Ein im Sinne der Flächeneffizienz erwähnenswerter Aspekt ist das Solar-Repowering mit APV-Anlagen. Die inzwischen effizientere Modultechnik erlaubt es dabei, auf gleicher Fläche mehr Energie zu erzeugen und so eine Kombination mit einer landwirtschaftlichen Nutzung erst zu ermöglichen. Ein Projekt der Solverde Bürgerkraftwerke Energiegenossenschaft eG benötigt durch die installierten bifacialen Tracker so wesentlich weniger Fläche für die beinahe gleiche Leistung, die Moduleffizienz ist um das beinahe dreifache gesteigert. Die Modulreihenabständen von 12 Metern erlauben eine maschinelle Bearbeitung der Fläche (Neumann 2021).

Darüber hinaus ist der Flächenbedarf pro installierter Energiemenge bei APV-FFA höher, für eine Übersicht zu Flächenbedarfen verschiedener Anlagentypen s. Kap. 5.7.2.3. Mehr zu verschiedenen Anlagenkonfigurationen und der gesteigerten Flächeneffizienz neuer Modultechnik in Kap. 5.2.5.

5.6.4 Boden

Baubedingt unterscheiden sich die Auswirkungen zwischen kPV- und APV-FFA nicht nennenswert, da die verwendeten Bauteile und Montagetechniken miteinander vergleichbar sind.

Bei der anlagebedingten Bodenversiegelung zur Gründung der Aufständigung können sich technisch bedingt Unterschiede ergeben. So verwendet die Next2Sun GmbH beim Bau der von ihnen vertriebenen vertikalen Anlagen sog. Spinnanker mit einem sehr geringen Versiegelungsgrad und vermindertem Eingriff in das Bodengefüge (Next2Sun GmbH 2021). Bei Anlagen mit hohem Überschirmungsgrad sind jedoch auch höhere Anteile versiegelter Fläche denkbar. Auch bei APV-FFA ist zunächst von einer Umzäunung als Regelfall auszugehen. Die negativen Auswirkungen nehmen insgesamt mit der Größe und Schwere der verbauten Teile ebenso wie mit der Dichte der Bauteile pro Fläche zu.

Betriebsbedingt ist davon auszugehen, dass die bodenbezogenen Bedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung bestmöglich erhalten werden und mittel- und langfristige Effekte durch Verdichtung und das Einbringen von Fremdsubstraten, wie Schotter für den Wegebau, auf das unbedingt erforderliche Maß reduziert sind.

Da der Betrieb einer APV-FFA in der Regel keinen Einfluss auf die Intensität der Bewirtschaftung der Fläche hat, ist davon auszugehen, dass die betriebsbedingten Auswirkungen der Anlage selbst auf das Schutzgut Boden denen der landwirtschaftlichen Nutzung untergeordnet sind. Das Risiko für Bodenerosion durch das Abtropfen von Niederschlägen ist bei APV-FFA ebenso wie bei kPV-FFA gegeben. Insbesondere bei vegetationsfreien Flächen und in Hanglagen kann es zur Bildung von Erosionsrinnen und der Verschlämmung des Oberbodens kommen (Trommsdorff et al. 2020). Im Falle einer Nutzungsänderung von Acker zu Grünland ist mit einer generellen Verbesserung der Bodensituation aufgrund der dauerhaften Vegetationsdecke auszugehen, da sie z. B. zu einem deutlichen Rückgang des Erosionsrisikos beiträgt. Bei vertikalen APV-FFA ist davon auszugehen, dass dieser Effekt aufgrund des wesentlich geringeren Anteils überschirmten Fläche reduziert ist.

5.6.5 Wasser

Im Fall von horizontalen APV-FFA kommt es aufgrund der anteiligen Überschirmung der Fläche durch die Module zur Umverteilung von Niederschlägen. Die Intensität dieses Effekts dürfte mit der Zunahme von Höhe, Modulreihenabstand sowie der Abnahme der insgesamt überschirmten Fläche nachlassen.

Im Falle der gezielten Bewässerung des Bodens konnte in Versuchen eine um rund 15 Prozent erhöhte Wasserspeicherfähigkeit des Bodens festgestellt werden (Barron-Gafford et al. 2019) bzw. war eine Reduktion des Bewässerungsbedarfs um bis zu 20 Prozent feststellbar (Trommsdorff et al. 2020). An gleicher Stelle wird diskutiert, ob APV-Systeme in trockenen Regionen und im Hinblick auf die Effekte des Klimawandels so zur Erhöhung der Resilienz der Landwirtschaft führen könnten. Hassanpour Adeh et al. (2018) kommen für Grünlandstandorte zu vergleichbaren Ergebnissen. Neben diesen Effekten existieren ebenso Systeme, Regenwasser entlang der Modulkanten aufzufangen und es für eine gezielte Bewässerung nutzbar zu machen, so dass der Wasserverbrauch bei bewässerten Kulturen reduziert wird (Chamara und Beneragama 2020; Dinesh und Pearce 2016). Im Sinne der landwirtschaftlichen Nutzung ist außerdem davon auszugehen, dass die Solarmodule in vielen Fällen den Witterungsschutz ersetzen (Hagelnetze/-folien u. ä.) und eine vollständig gesteuerte Bewässerung stattfindet.

Bei vertikalen APV-FFA sind aufgrund der im Vergleich minimalen Überschirmung nur geringe Effekte auf den Bodenwasserhaushalt zu erwarten, derzeit liegen dazu keine Untersuchungsergebnisse vor. Ob dabei etwa Unterschiede zwischen wetterabgewandter und wetterzugewandter Seite existieren wäre zu untersuchen. Erfahrungsberichte von Landwirt*innen schildern eher positive Effekte, die von einer möglichen Schutzwirkung der Modulreihen ausgehen könnten, vergleichbar mit der von Hecken/Knicks oder Steinmauern (Next2Sun GmbH 2021).

5.6.6 Mikroklima

Entsprechend dem Fokus auf die landwirtschaftliche Nutzung der Fläche, stehen die mikroklimatischen Effekte der Anlagen auf die angebauten Kulturen in der aktuellen Forschung zu APV-Systemen im Vordergrund. Veränderungen des Mikroklimas sind, wie bei KPV-FFA, auf die teilweise Überschirmung der Fläche zurückzuführen. Diese sind in ihrer Ausprägung abhängig von Standort und Anlagentyp (Trommsdorff et al. 2020).

Trommsdorff et al. (2020) fassen ihre Forschungsergebnisse wie folgt zusammen:

- Die Sonneneinstrahlung wird durch die überschirmte Fläche entsprechend deren Anteil reduziert.
- Die Bodentemperatur und in geringerem Maße die Lufttemperatur kann an besonders heißen Tagen reduziert sein.
- Veränderungen der Windgeschwindigkeit sind von der Ausrichtung und dem Anlagentyp abhängig. Es kann zu Verringerung oder Erhöhung kommen.
- Bodenwasserverluste sind unter APV-FFA geringer.
- Die Luftfeuchtigkeit kann zunehmen.
- Die Effekte insgesamt sind umso größer, je niedriger die Anlage aufgeständert ist.

Für vertikale Anlagen sind keine Untersuchungsergebnisse zum Mikroklima verfügbar. Vertikale APV-Anlagen könnten eher geringe Auswirkungen auf das Mikroklima haben, da die

überschirmte Fläche durch die vertikale Anordnung der Module gering ist. Mögliche Auswirkungen sind jedoch auch hier durch das Aufwärmen der Module und die Verschattung der – abgesehen von Zaunsystemen – in Richtung Ost-West aufgestellten Module in Bezug auf die Wasserversorgung/Verdunstung, Lichtverfügbarkeit, Temperatur und Windverhältnisse denkbar.

5.6.7 Landschaftsbild und Erholungsnutzung

Die Unterscheidung der visuellen Wahrnehmung von APV-FFA im Gegensatz zu kPV-FFA hängt von den Bauformen der verschiedenen Anlagentypen ab. Bei hoch aufgeständerten horizontalen Anlagen mit Gesamthöhen bis über sieben Meter (Trommsdorff et al. 2020) ist die potenzielle Sichtbarkeit erhöht. Dabei ist mit einer Vergrößerung der Wirkzone der Anlage zu rechnen, auch weil eine Sichtverschattung eingeschränkter möglich ist. Auch eine Überhöhung der Horizontlinie wird mit zunehmender Gesamthöhe relevanter.

Badelt et al. (2020) haben Visualisierungen verschiedener APV-FFA dargestellt, darunter auch hoch aufgeständerte Anlagen des Typs der Forschungsanlage in Heggelbach, sowie kPV-Referenzanlagen. Die folgenden Abbildungen geben einen Eindruck der Dimensionen und optischen Nahwirkung.



Abb. 9: Visualisierung kPV-FFA als Referenzanlage (Naturraum Zevener Geest, Niedersachsen). (© Lenné3D GmbH)



Abb. 10: Hoch aufgeständerte, horizontale Anlage (Naturraum Zevener Geest, Niedersachsen).
(© Lenné3D GmbH)

Im Vergleich zur Referenzanlage in Abb. 9 wird bei der hoch aufgeständerten Anlage in Abb. 10 deutlich, dass selbst vor einem im Falle von kPV-FFA sichtverschattend wirkenden Wald bzw. Gehölzstreifen, die Horizontlinie durch die APV-FFA aufgrund ihrer Gesamthöhe noch unterbrochen bzw. überhöht wird. Durch den aufgrund der Horizontüberhöhung entstehenden sogenannten Silhouetteneffekt, wirkt die APV-FFA besonders auffällig. Herden et al. (2009) fanden für Mover-Anlagen, dass der Sichtraum aufgrund der Höhe der Anlage von sechs Metern im Vergleich zu anderen Anlagentypen erhöht war und Sichtbeziehungen zur Anlage noch in einer Distanz von 3.000 Metern bestanden.



Abb. 11: Nahansicht einer vertikalen APV-FFA (Ortsteil Dirmingen, Gemeinde Eppelborn, Saarland).
(© Joachim Pertagnol)



Abb. 12: Fernansicht einer vertikalen APV-FFA (Ortsteil Dirmingen, Gemeinde Eppelborn, Saarland).
(© Joachim Pertagnol)

Die visuelle Wirkung vertikaler APV-FFA ist stark vom Betrachtungspunkt abhängig. Während bei den in Ost-West-Richtung aufgestellten Modulen die visuelle Beeinträchtigung bei Betrachtung aus Süd- bzw. Nordrichtung vermindert ist, ergibt sich bei Betrachtung aus Richtung Ost bzw. West eher ein regelhafter Eindruck einer mehr oder weniger vollkommen mit Modulen überstellten Fläche (vgl. Abb. 11 und Abb. 12). Abhängig ist der optische Eindruck außerdem vom Abstand der Modulreihen zueinander und der Geländeneigung.

Zur Minderung der Erheblichkeit der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch PV-FFA wird regelmäßig die Anpflanzung von Gehölzen als Sichtverschattung festgesetzt. Inwiefern dies in Bezug auf die hohe Nutzungsintensität sowie die Anlagenhöhe bei hoch aufgeständerten Anlagen auch bei APV-FFA möglich ist, ist fraglich.

Die visuelle Wirkung spielt auch in Bezug auf die Akzeptanz der Bürger*innen eine wesentliche Rolle. In einer Befragung in Trommsdorff et al. (2020) befürworteten 66 Prozent der Teilnehmenden einen die Anlage umgebenden Sichtschutz aus Bäumen und Sträuchern.

Ungeachtet der oben beschriebenen Spezifika Gesamthöhe und Modulreihenabstand von APV-FFA, gelten die grundsätzlichen Ergebnisse anderer Untersuchungen zu den Wirkungen von kPV-FFA auf das Landschaftsbild gleichermaßen (vgl. Kap. 3.2.7).

5.6.8 Einordnung der potenziellen Auswirkungen auf Natur und Landschaft

Bei der Betrachtung der potenziellen Auswirkungen von APV-FFA auf Natur und Landschaft ist zunächst auf einen wesentlichen Unterschied zu kPV-FFA hinzuweisen: bei APV-FFA ist nicht von einer Änderung der Bewirtschaftungsintensität auszugehen, da eine wesentliche Systemanforderungen deren Erhalt darstellt. Umgekehrt bedeutet dies, dass im Gegensatz zu dem bei kPV-FFA üblichen Vorgehen, bei APV-FFA keine Extensivierung der Flächenbewirtschaftung zu erwarten ist.

Eine Einordnung der potenziellen Auswirkungen von APV-FFA auf Natur und Landschaft kann aufgrund überwiegend fehlender APV-spezifischer Untersuchungen zu den Schutzgütern v. a. anhand der bisher gewonnenen Erkenntnisse zu kPV-FFA stattfinden. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn die den Wirkungszusammenhängen zugrundeliegenden Faktoren vergleichbar sind, etwa in Bezug auf die bauliche Ausgestaltung und die verwendeten technischen Komponenten.

Ebenso gilt bei APV-FFA wie bei kPV-FFA, dass nicht alle potenziellen Auswirkungen im konkreten Fall auch tatsächlich auftreten. Neben dem Auftreten ist ebenso die Intensität der Auswirkungen vom Einzelfall abhängig.

Fauna

Aufgrund der bislang beschränkten Datenlage zu potenziellen Auswirkungen von kPV-FFA auf Fledermäuse sind belastbare Aussagen im Sinne einer Bewertung möglicher Auswirkungen durch APV-FFA derzeit nicht möglich. Die Untersuchungen von Greif et al. (2017) zu Wahrnehmung und Flugverhalten von Fledermäusen gegenüber glatten, vertikalen Strukturen weisen möglicherweise auf ein Kollisionsrisiko an vertikalen APV-FFA hin. Eine Überprüfung durch entsprechende Untersuchungen erscheint sinnvoll.

Da die Störwirkung auf sensible Vogelarten der Offenlandschaft auch von der Höhe der Anlage abhängt, sind hoch aufgeständerte PV-FFA diesbezüglich als kritisch einzustufen, auch, da die potenziell betroffenen Arten, insbesondere Wiesenvogelarten und rastende Wasservögel, in Agrarlandschaften Vorkommensschwerpunkte besitzen.

Reptilienarten leiden in der Agrarlandschaften insbesondere unter der Intensivierung der Landwirtschaft. Hier sind durch APV-FFA zunächst keine Abweichungen zu erwarten. Ob die streifenförmigen, nicht maschinell zu bearbeitenden Flächen links und rechts neben der Aufständigung bzw. den Modulen, habitataufwertende Funktionen besitzen könnten, ist aufgrund fehlender Daten nicht abschließend zu bewerten.

Im Hinblick auf die Gruppe der Insekten ist davon auszugehen, dass unter APV vorrangig die Art der Flächenbewirtschaftung Einfluss auf das Vorkommen verschiedener Spezies hat. Aufgrund des hohen Bodenabstandes bei hoch aufgeständerten Anlagen und der geringen Verschattungseffekte bei vertikalen Modulen, sind die relevantesten Bedingungsänderungen und Konfliktrisiken aufgrund großflächiger Überschirmungseffekte derzeit eher bei den niedrigen, nicht nachgeführten Anlagen zu erwarten. Positive Effekte sind aufgrund der Anteile nicht-maschinell bearbeiteter Flächen möglich (rund ein Meter je Modulreihenseite). Ob diese als Nahrungs- und/oder Fortpflanzungshabitate geeignet sind, hängt auch von deren Größe und Ausgestaltung ab. Eine aktuelle Studie zur Wirksamkeit von Blühflächen kommt zu dem Ergebnis, dass die zeitliche Kontinuität der Blühfläche für deren positive Wirkung auf die Diversität von Bestäubern eine wesentliche Rolle spielt (Bötzl et al. 2021). Dabei gewinnen die Habitate über den Zeitverlauf spezialisierte Arten, Generalisten nehmen gleichzeitig ab. Außerdem hat die Studie gezeigt, dass bei einem gleichen Flächenanteil viele kleine Flächen, angeordnet als Netzwerk, günstiger sind, als wenige große Flächen (ebd.). An anderer Stelle werden Mindestbreiten für eine sinnvolle Umsetzung von Maßnahmen zur Förderung der Insektendiversität angegeben. Becker et al. (2020) geben für Blühstreifen mindestens zwei Arbeitsbreiten an, das entspricht sechs Metern.

Flora

Die Vegetationsausprägung bei APV-FFA ist im Wesentlichen durch die landwirtschaftliche Nutzung bestimmt. Raum für die Etablierung artenreicherer Artengemeinschaften könnten hier ggf. ebenso die streifenförmigen Abstandsflächen links und rechts neben den Modulen bieten, etwa zur Etablierung von Segetalvegetation oder zur Entwicklung blütenreicher Artenmischungen. Ob ähnlich wie bei kPV-Anlagen, auch bei APV-FFA die Eingrünung der Anlage durch Gehölzpflanzungen der Regelfall sein wird, ist derzeit nicht abzusehen. Aus naturschutzfachlicher Sicht ist ein zu kPV-Anlagen analoges Vorgehen zu befürworten, da es die Option zur Erhöhung der Struktur- und Artendiversität der Flora in der Agrarlandschaft bietet.

Fläche

Der Flächenbedarf von APV-Systemen ist insgesamt höher (vgl. Kap. 5.7.2.3), damit eine landwirtschaftliche Hauptnutzung der Fläche weiterhin – etwa durch größere Modulreihenabstände – möglich ist. Derzeit liegen für die Ermittlung des sich aus der Doppelnutzung ergebenden Effekts und möglichen, daraus resultierende Synergien lediglich theoretisch ermittelte bzw. an kleinflächigen Pilotanlagen gewonnene Daten vor. Ob und welche Synergieeffekte bzw. Effizienzsteigerungen sich tatsächlich zeigen, muss die Praxis im Betrieb von Anlagen mit

wirtschaftlicher Orientierung zeigen. Eine abschließende Einordnung ist aus diesem Grund aktuell nicht möglich.

Wasser und Mikroklima

Insbesondere bei Acker- und Sonderkulturen ist aufgrund des mehr oder weniger großen Anteils offener Bodenstellen eher mit Erosion zu rechnen, als bei einer geschlossenen Vegetationsdecke (z. B. Grünland), wie es bei kPV-FFA eher die Regel ist. Entsprechend ist in den erstgenannten Fällen verstärkt auf eine gleichmäßige Versickerung des Niederschlages zu achten, sollten die Niederschläge nicht zur Beregnung gesammelt werden.

Die Veränderungen des Mikroklimas sind wesentlich von der Anlagenkonfiguration, also der Anlagenhöhe und dem Modulreihenabstand abhängig. Die in Kap. 5.6.6 dargestellten Effekte wirken sich dabei auf die Wahl und das Management der angebauten landwirtschaftlichen Kulturen aus. Insbesondere die Potenziale von APV-FFA zur Reduzierung des Wasserverbrauchs bzw. zur Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens als Beitrag zur Erhöhung der Resilienz von Landnutzungssystemen gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels, könnten zukünftig wichtige Faktoren darstellen.

Landschaftsbild und Erholungsnutzung

Im Unterschied zu bei kPV-FFA in der Regel niedrig aufgeständerten Modulen, können hoch aufgeständerte APV-FFA Gesamthöhen über sieben Meter erreichen und wären damit mehr als doppelt so hoch. Dies führt zu einer Verstärkung der visuellen Effekte v. a. in Bezug auf die Erweiterung der optischen Wirkzone sowie der Überhöhung der Horizontlinie als besonders auffällige optische Beeinträchtigung. Entsprechend ist für hoch aufgeständerte Anlagen mit einer Intensivierung des Konflikts zur rechnen.

5.7 Wirtschaftlichkeit und Förderung

Für den Betrieb einer PV-Anlage wie auch die Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen ist die Wirtschaftlichkeit entscheidend. Neben marktwirtschaftlichen Einnahmen spielen sowohl in der Landwirtschaft, als auch in der Energiewirtschaft Förderungen sowie Vorgaben zur Refinanzierung eine wichtige Rolle. Im Folgenden werden Einflüsse auf die Wirtschaftlichkeit durch Pacht, Produktionskosten und Erträge beschrieben.

5.7.1 Refinanzierungen durch das EEG und agrarrechtliche Förderungen

In der nationalen fachlichen Diskussion stehen aktuell, neben Fragen zur Bewirtschaftung, insbesondere förderrechtliche Aspekte im Vordergrund. Eine Refinanzierung für APV-FFA über das EEG ist derzeit lediglich – abgesehen von Flächen jeweils 200 Meter neben Bundesautobahnen und Schienenwegen – in den Bundesländern möglich, die von der Länderöffnungsklausel zur Inanspruchnahme benachteiligter Gebiete für PV-FFA Gebrauch gemacht haben. Das ist der Fall in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, im Saarland und in Sachsen¹⁰.

¹⁰ Länder mit Verordnungen zur Inanspruchnahme von benachteiligten Gebieten zur Nutzung durch PV-FFA auf den Seiten der Bundesnetzagentur.

Eine davon unabhängige Förderung wird für Anlagen über 750 kW in den Innovationsausschreibungen ab April 2022 ermöglicht. Ab 2022 sind in diesem Segment auch Agri-PV-FFA förderfähig, der erste Gebotstermin ist auf den ersten April datiert. Entsprechend der Verordnung zur Umsetzung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2021 und zur Änderung weiterer energierechtlicher Vorschriften vom 14. Juli 2021 (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2021a) beträgt das Ausschreibungsvolumen dafür 150 Megawatt. Laut aktueller Information auf den Internetseiten der Bundesnetzagentur (Stand 25.10.2021) steht die beihilfe-rechtliche Genehmigung der Gesetzesänderung durch die Europäische Kommission derzeit noch aus¹¹. Für eine erfolgreiche Teilnahme am Ausschreibungsverfahren liegt die APV-FFA auf landwirtschaftlich genutzten Flächen auf denen gleichzeitig Dauerkulturen, mehrjährige Kulturen oder einjährige Nutzpflanzen angebaut werden. Von der Förderung ausgeschlossen sind Dauergrünland, Dauerweideland oder Dauerkulturen im Sinne der agrarrechtlichen Festsetzungen der Europäischen Union, brachliegende und stillgelegte Flächen sowie Flächen unter Gewächshäusern. Die Anlagen müssen nach dem Stand der Technik errichtet und betrieben werden. Dieser Stand ist dann erfüllt, wenn die Anlage den Anforderungen der DIN SPEC 91434 entspricht (Bundesnetzagentur 2021a).

Eine wirtschaftlich realistische Alternative aus Betreiberperspektive scheinen sogenannte PPAs (Power Purchase Agreements = Stromlieferverträge) zu sein, die dem Betreiber auch außerhalb des EEG eine feste Vergütung für den produzierten Strom über einen vertraglich definierten Zeitraum garantiert. Die förderrechtliche Situation von APV-FFA in Bezug auf die Flächenprämie (EU-Direktzahlungen) ist in Kap. 5.4 beschrieben. Hierbei handelt es sich um die agrarwirtschaftliche Förderung aus der ersten Säule. In der zweiten Säule werden Entwicklungen des ländlichen Raumes gefördert; dabei beträgt der größte Teil in Deutschland ELER-Mittel. Diese sind:

- Ausgleichszulage für benachteiligte Gebiete
- Agrarinvestitionsförderung
- Maßnahmen zur Marktstrukturverbesserung
- Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen einschließlich Förderung des ökologischen Landbaus
- Erhaltung und Verbesserung des ländlichen Erbes
- Integrierte Ländliche Entwicklung
- Leader (Vorhaben nach der Landschaftspflegeleitlinie, Einzelmaßnahmen, je nach Leadergebiet unterschiedlich, z. B. im Rahmen Insektenschutz)
- Küsten- und Hochwasserschutz
- Waldumwelt- und andere Forstmaßnahmen

Viele dieser Bereiche können Überschneidungen mit APV-Anlagen haben, abhängig davon, wie der Landwirt die Agrarfläche nutzt bzw. bewirtschaftet (vgl. Projekt Agri4Power, Fraunhofer IMW 2021).

Neben den allgemeinen Refinanzierungs- und Förderprogrammen gibt es einzelne Ausschreibungen, die Projekte unterstützen, denen ein besonderes Interesse für die Öffentlichkeit bzw. zukünftige Entwicklungen zugesprochen wird. So wird durch das Bundesumweltministerium

¹¹ vgl. Internetpräsenz der Bundesnetzagentur

(BMU) im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms eine Agri-Photovoltaikanlage mit mehr als 400.000 Euro gefördert (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2021).

Auch von Seiten der EU wird in der APV zukünftig als wichtiges Standbein zur Energieerzeugung gesehen. Entsprechend werden aktuell im HORIZON Europe-Call (HORIZON-CL5-2022-D3-01-06) explizit Projekte zur APV gefördert.

5.7.2 Wirtschaftlichkeit

5.7.2.1 Pacht- und Flächenkosten

Die Wirtschaftlichkeit von APV-Anlagen ergibt sich aus der Kombination von Stromproduktion und -verkauf oder Eigenverbrauch sowie der landwirtschaftlichen Flächennutzung. Während die wirtschaftlichen Parameter für den Bereich der PV-Anlage eher einfach zu eruiieren sind, ist der Teil der Landwirtschaft komplex und hängt von vielen Faktoren ab.

Der gemeinsame Nenner der zwei Bereiche ist die Fläche. Hier ist zum einen zu unterscheiden, ob es sich um eigene Flächen handelt oder ob diese gepachtet sind und so Kosten anfallen bzw. ob die Fläche gekauft werden muss. Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Rendite einer APV-Fläche immer höher als die einer ausschließlich landwirtschaftlich genutzten Fläche. Entsprechend ist davon auszugehen, dass Flächenverpächter*innen tendenziell eher an Betreiber*innen/Landwirt*innen einer APV verpachten als an Landwirt*innen, die keine PV-Anlage auf der betreffenden Fläche errichten möchten. Der Pachtpreis in der Landwirtschaft unterscheidet sich zwischen Grün- und Ackerland sowie zwischen den Bundesländern. In den vergangenen 20 Jahren sind die bundesweiten Pachtpreise kontinuierlich angestiegen (s. Abb. 13), gleiches gilt für Kaufpreise.

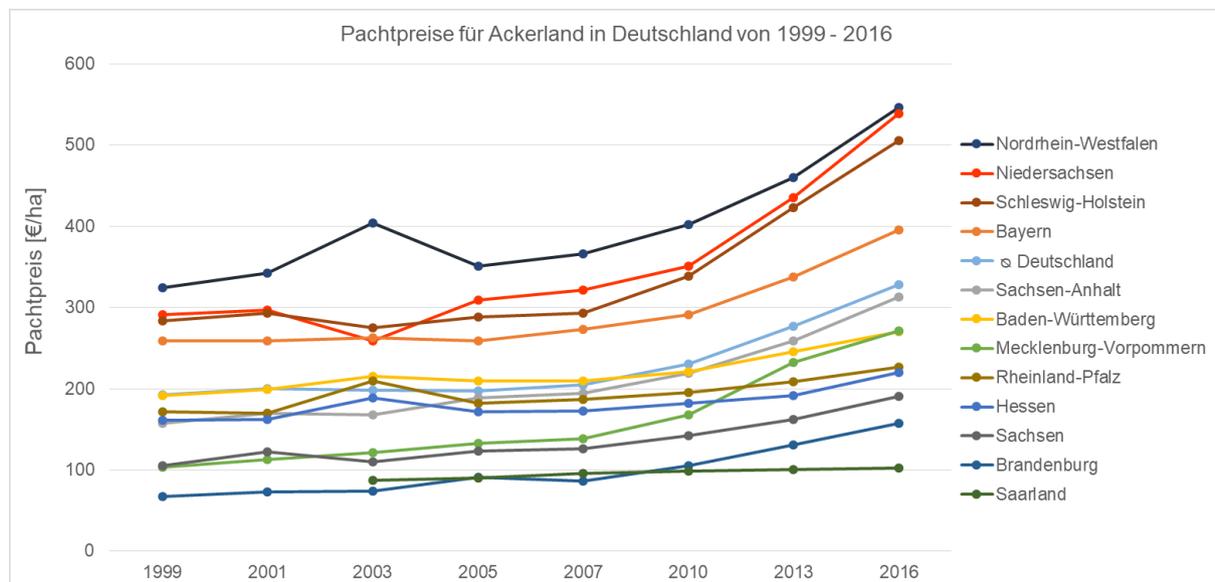


Abb. 13: Pachtpreisentwicklung von 1999-2016 für Ackerland. (Quelle: Destatis 2019)

Die Pacht bei kPV-FFA ist auf den Hektar gerechnet wesentlich höher als im landwirtschaftlichen Bereich. Hierbei wird der Pachtpreis beispielsweise über die installierte Leistung ermittelt (Neumann 2019; Schindele et al. 2020). Bei einer APV-Fläche wird der Pachtpreis aus einer

Kombination aus anteiliger Agrarflächenpacht und PV-Pacht ermittelt. Denkbar ist aber auch, dass in der Praxis durch die höheren Pächterlöse aus der PV-Pacht der landwirtschaftliche Bereich vernachlässigt wird. Dies dürfte allerdings von der Höhe der landwirtschaftlichen Pacht abhängen bzw. davon, in welcher Region sich die Fläche befindet. Neben dem allgemeinen Pachtpreis für die PV-Fläche spielt auch der Grad der mit Modulen überschirmten Fläche eine Rolle. Im Projekt Agri4Power (Fraunhofer IMW 2021) wurde gezeigt, dass sich der Reihenabstand bei vertikalen Agri-PV-Anlagen wesentlich auf den Pächtertrag auswirkt. Dabei sind die höchsten Pächterträge bei einem Abstand von sieben bis zehn Meter zu erzielen.

5.7.2.2 APV-Anlage

Unabhängig davon, ob es sich um eine hoch aufgeständerte Anlage oder vertikale Module handelt, gliedern sich diese bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in drei Punkte:

- Investitionskosten (hier gibt es Unterschiede zwischen den einzelnen Anlagentechniken)
- Betriebskosten
- Ertrag

Für alle Anlagentypen ist hinsichtlich der Kosten die Entfernung zum nächst möglichen Einspeisepunkt entscheidend. Je weiter dieser entfernt ist, desto größer muss die installierte Leistung werden, um die Anschlusskosten zu kompensieren. Darüber hinaus führt der Skaleneffekt dazu, dass mit zunehmender Größe die Investitionskosten bezogen auf die installierte Leistung sinken. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Investitionen klassischen Anlagekosten gegenübergestellt (vgl. Tab. 8).

Tab. 8: Relativer Vergleich der Investitionskosten von Agri-PV-Anlagen zu klassischen PV-Freiflächenanlagen (PV-FFA). (Quelle: eigene Darstellung nach Next2Sun GmbH 2021; Trommsdorff et al. 2020)

Tabellenerläuterung: geringere Kosten: -; gleiche Kosten: =; höhere Kosten: +; wesentlich höhere Kosten: ++

	Kostenvergleich von klassischen Freiflächenanlage (kPV-FFA) zu	
	hoch aufgeständerten Agri-PV	vertikalen Agri-PV
PV Module	+	+
Wechselrichter	= bis +	= bis +
Unterkonstruktion	++	+
Anschlussgehäuse	=	=
Baustellenarbeiten und Logistik	+	+
Zaun	-	=
Planungskosten	+	+
Netzanschluss	=	=

Der größte Kostenpunkt für hoch aufgeständerte APV-Anlagen gegenüber kPV-FFA ist die Unterkonstruktion; diese macht rund 30 Prozent der Gesamtkosten aus. Hingegen betragen die Kosten der Unterkonstruktion bei kPV-FFA (Referenzanlage) nur rund sieben Prozent, bei vertikalen APV-Anlagen rund elf Prozent. Durch den Einsatz von bifacialen Modulen sind die Investitionskosten bei APV-FFA rund 20 Prozent höher gegenüber der Anwendung monofacialer Module. Die Baustellenarbeiten und Logistik sind bei APV-FFA höher als bei klassischen Anlagen. Insbesondere auf Ackerland entstehen nochmals höhere Kosten als auf Grünland (Trommsdorff et al. 2020). Da Bodenverdichtung durch Baumaschinen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen negative Auswirkungen auf den Ertrag hat, muss diese verhindert werden. Zusätzlich sind Bauarbeiten auf Ackerflächen zeitlich von den Anbaukulturen (Vegetationszeit) abhängig. Die Frage, ob ein Zaun um die Anlage errichtet werden muss, ist aktuell noch in der Diskussion. Bisher konnte die Versuchsanlage Heggelbach auf die Errichtung eines Zaunes verzichten, ohne von der Versicherung höher eingestuft zu werden. Die Praxisanlagen von Next2Sun besitzen aktuell einen Zaun. Aber auch hier wurde untersucht, ob dieser für weitere Anlagen zwingend notwendig ist. Insgesamt sind die Investitionskosten bei vertikalen Agri-PV-Anlagen ca. 20 bis 25 Prozent und bei hoch aufgeständerten Anlagen ca. 60 bis 65 Prozent höher, als bei klassischen PV-FFA.

Die Betriebskosten bei APV-FFA sind im Bereich der Pflege geringer. Neben den technischen Wartungsarbeiten fallen hier Pflegearbeiten für das Gelände an. Bei APV-Anlagen werden die Pflegearbeiten von der Art der landwirtschaftlichen Nutzung beeinflusst bzw. durch diese mit erfüllt. Bei kPV-FFA ist eine Pflege der Anlagenfläche nötig. Das erfolgt entweder durch Mahd oder durch Beweidung, mit dem Ziel, das Gelände vorrangig von Gehölzaufwuchs frei zu halten. Werden kompensatorische Maßnahmen auf kPV-FFA umgesetzt, fällt der Pflegeaufwand durch die extensive Gestaltung deutlich geringer aus oder fällt auf Teilbereichen der Anlage ganz weg. Die Wartung bei hoch aufgeständerten Anlagen ist allein aufgrund der Anlagenhöhe aufwendiger. Hinzu kommt, dass nur im Zeitraum zwischen Ernte und Aussaat der Hauptfrucht eine Wartung an den Modulen möglich ist. Durch die Doppelnutzung bei APV-FFA sinken die Kosten der Pacht für den landwirtschaftlichen Teil. Hier gilt es aber die Unterschiede der einzelnen Bundesländer ebenso zu berücksichtigen (s. Abb. 13) wie die Bewirtschaftungsform (Grünland oder Ackerland), da die Pacht auf Ackerland kostenintensiver ist.

Bei ähnlicher Ausführung und vergleichbaren Rahmenbedingungen muss für den Eingriff durch eine APV-Anlage insgesamt weniger Ausgleichsaufwand betrieben werden als bei der vergleichbaren kPV-FFA, da weniger Boden versiegelt bzw. direkt überbaut wird. Zwischen den einzelnen APV-Anlagen kann der Ausgleichsaufwand variieren. Dies hängt insbesondere vom Reihenabstand der Ständer/Pfosten der Anlagen ab. Je enger diese zusammenstehen, desto höher ist der Ausgleichsbedarf. Zudem steigt der Anteil der Ausgleichsfläche im Verhältnis mit der Abnahme der Anlagengröße, da die Kosten für Zufahrtswege, Trafostation usw. nahezu gleichgroß bleiben.

5.7.2.3 Produktionskosten

Die Stromproduktionskosten setzen sich aus den beschriebenen Investitionskosten und den Betriebskosten zusammen. Im Bereich der Investitionskosten sind APV-Systeme wesentlich teurer als klassische PV-Systeme (s. Tab. 9). Diese können auch durch die geringeren Betriebskosten nicht kompensiert werden. Hoch aufgeständerte APV-Anlagen weisen die

höchsten Produktionskosten auf. Bei vertikalen APV-Anlagen liegen die Produktionskosten zwischen den klassischen PV-Anlagen und hoch aufgeständerten APV-Anlagen. Es ist zwar davon auszugehen, dass insbesondere im Bereich der Investitionskosten durch eine vermehrte Installation von APV-Anlagen Kosten gesenkt werden, dennoch werden APV-Anlagen zukünftig kostenintensiver als kPV-FFA bleiben. Ebenso wird sich die Staffelung zwischen den drei betrachteten Anlagentypen nicht ändern.

Tab. 9: Produktionskosten von klassischen PV-Freiflächenanlagen und Agri-PV-Anlagen in €-cent/kWh. (Quelle: Schindele et al. 2020; Trommsdorff et al. 2020)

	Klassische PV-FFA (in €-Cent/kWh)	Hoch aufgeständerte APV-FFA (in €-Cent/kWh)	Vertikale APV-FFA (in €-Cent/kWh)
Investitionskosten	4,13	6,73	6,00
Betriebskosten	1,90	1,56	1,20
Produktionskosten	6,03	8,29	7,20

Der Ertrag hängt primär von den Sonnenstunden in den jeweiligen Jahren ab. Zusätzlich wird der Ertrag von der Anlagentechnik und deren Effizienz beeinflusst. Unterschiede zwischen kPV-FFA und APV-FFA ergeben sich im Bereich des Flächenbedarfes in Bezug auf eine fixe Anlagenleistung; der Flächenbedarf einer APV-FFA ist höher (s. Tab. 10). Hierbei kann es zu großen Variationen innerhalb der APV-FFA kommen. Je nach angebaute Kultur können mehr oder weniger Module errichtet werden bzw. den Boden verschatten.

Tab. 10: Beispielrechnung zum Flächenbedarf bei fixer Anlagen-Leistung. (Quelle: Schindele et al. 2020; Trommsdorff et al. 2020)

kPV-FFA mit 1.000 kWh/kW _p	→ auf einer Fläche von 2 ha	→ 1,6 MW _p
APV-FFA mit vertikalen Modulen 1.050-1.150 kWh/kW _p (je nach Modultechnik)	→ auf einer Fläche von 2 ha	→ 0,6 MW _p
APV hochaufgeständert 1.284 kWh/kW _p	→ auf einer Fläche von 2 ha	→ 1,04 MW _p

Bezogen auf die installierte Leistung sind die Erträge bei bifacialen Modulen etwas höher als bei monofacialen Modulen. Durch die Ost-West-Ausrichtung ergeben sich bei vertikalen Anlagen unter Verwendung bifacialer Module zusätzliche Mehrerlöse gegenüber südausgerichteten FFA (s. Tab. 9). Dieser höhere Marktwert kann bis zu 0,3 Eurocent pro Kilowattstunde betragen. Dieser Wert würde weiter ansteigen, je mehr klassische PV-Anlagen gebaut werden, die v. a. zur Mittagszeit einspeisen. Durch das steigende Stromangebot zur Mittagzeit würde der Strompreis zu diesem Zeitpunkt sinken. Zeitgleich erhöht sich das Defizit in den Morgen- und Abendstunden, für die dann ein höherer Strompreis erzielt werden könnte.

Im Bereich der Landwirtschaft gibt es eine Vielzahl an Literatur, die Aussagen zur Wirtschaftlichkeit und zum Ertrag unterschiedlicher Kulturen trifft. Insbesondere das Kuratorium für

Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft stellt hier eine Vielzahl an Veröffentlichungen und Onlinetools für Deutschland zur Verfügung. Diese sind allerdings nur bedingt auf die Fläche einer APV-FFA übertragbar. Trommsdorff et al. (2020) konnten in ihren Untersuchungen direkte Einflüsse für hoch aufgeständerte APV-FFA auf den Ertrag der Anbaukultur zeigen. Für vertikale Module liegen hierzu noch keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen vor.

Des Weiteren sind die Arbeitszeit wie auch die Maschinenkosten für die Bewirtschaftung der Anbaukulturen im Bereich von APV-FFA höher, da auf den Flächen mit höherer Sorgfalt gearbeitet werden muss, um mögliche Beschädigungen der APV-Anlage zu verhindern. Dies gilt insbesondere für den Fall eines geringen Sicherheitsabstands zu den Pfofen/Modulen und/oder eine zunehmende Neigung des Geländes. Dieser Faktor verringert sich bei steigendem Sicherheitsabstand, allerdings erhöht sich im selben Maß der Anteil nicht nutzbarer landwirtschaftlicher Fläche. Zwar können Techniken wie Parallelfahrssysteme in den Landmaschinen die fahrzeugführende Person entlasten und die Schlagkraft erhöhen, diese Technik muss jedoch im Betrieb oder bei dem entsprechenden Dienstleister bereits vorhanden sein, da sich die alleinige Anschaffung nur für eine APV-FFA wirtschaftlich nicht lohnt.

5.7.2.4 Grünland

Aus wirtschaftlicher Sicht wird durch Fraunhofer ISE der Einsatz von hoch aufgeständerten Anlagen auf Grünland nicht empfohlen (Schindele et al. 2020). Hintergrund ist, dass sich die hohen Investitionskosten nur bei Marktfrüchten mit einem hohen Deckungsbeitrag lohnen. So beträgt beispielsweise der Deckungsbetrag von Grünland ca. 630,00 Euro pro Hektar und der von Speisekartoffeln ca. 5.360,00 Euro pro Hektar (KTBL 2018).

Vertikale Module sind sehr gut für die kombinierte Errichtung auf Grünland geeignet. Der Vorteil für Flora und Fauna besteht darin, dass um die Module je 1 bis 1,5 Meter breite Streifen entstehen, die extensiv genutzt werden können. Je nach Breite ergeben sich Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaftlichkeit der Anlagenfläche. Je nach Pflanzenvorkommen und Wuchsverhalten ist das Pflegeregime im Bereich der extensiv genutzten Modulbereiche anzupassen, um hoch aufwachsende Pflanzen oder Kletterpflanzen, welche die Module ggf. verschatten, zu reduzieren. Daraus kann sich ein entsprechender Mehraufwand gegenüber einer reinen Grünlandfläche ergeben.

5.7.2.5 Ackerland

Auf Ackerland können durch die höheren Erlöse die höheren Kosten der APV-Anlagen für beide Anlagentypen zum Teil kompensiert werden. Zugleich wird versucht, den landwirtschaftlich nicht nutzbaren Bereich unterhalb der Module gering zu halten, um den maximal möglichen Flächenertrag zu erhalten. Extensive Bereiche unter den Modulen tragen nicht zur Wirtschaftlichkeit bei und verursachen ggf. Pflegekosten.

Hoch aufgeständerte Module

Die Investitionskosten sind bei hoch aufgeständerten Anlagen höher als für vertikale Module (Trommsdorff et al. 2020). Allerdings können unter hoch aufgeständerten Anlagen nahezu alle Nutzpflanzen angebaut werden, da es keine Wuchshöhenlimitierung gibt. Des Weiteren können vorhandene Maschinen unter den hoch aufgeständerten Anlagen weiterhin genutzt werden (bspw. Düngerstreuer). Bestimmte Techniken (z. B. Pflanzenspritzen) können ggf.

aufgrund der Abstände zwischen der Anlagenaufständerung nicht mehr oder nur eingeschränkt weiter genutzt werden. Allerdings gibt es zum Arbeitsablauf und dem zusätzlichen Zeitbedarf für die Bewirtschaftung von Agri-PV-Anlagen auf Ackerland noch keine validierten Zahlen. Da die bestehenden Versuchsanlagen eher Pilotcharakter aufweisen und relativ klein dimensioniert sind, können diese den klassischen Arbeitsablauf von Aussaat bis Ernte nicht widerspiegeln.

Vertikale Module

Hier gelten grundsätzlich dieselben Voraussetzungen, wie unter Kap. 5.7.2.4 zu Grünland bereits dargestellt. Allerdings werden die landwirtschaftlich nicht genutzten Bereiche unterhalb der Module möglichst klein gehalten, um das Flächenertragspotenzial weitestgehend zu erhalten. Sobald dieser Bereich zur Förderung des ökologischen Potenzials erhöht werden soll, müssen Anreize für den Landwirt in Form von Förderungen geschaffen werden, um dessen wirtschaftliche Einbußen auszugleichen. Durch die Breitenbegrenzung können hier Bestandsmaschinen, die eine größere Arbeitsbreite besitzen, nicht weiter eingesetzt werden. Einzig der Einsatz eines Häckslers ist gegenüber der hoch aufgeständerten Anlage möglich. Wie auch bei dem zuvor beschriebenen Kapitel ist die Datenlage zu Arbeitszeiten und Ertrag noch nicht validiert untersucht.

5.7.3 Einordnung der Wirtschaftlichkeit, Ausbautrends und Förderoptionen

In den folgenden drei Punkten wird kurz die aktuelle Lage der APV hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Ausbautrends und Förderoptionen skizziert. Dabei ist für die zukünftige Entwicklung die Wirtschaftlichkeit dieses Systems maßgeblich für dessen Ausbau verantwortlich. Dies kann mittels gezielter Förderungen und Regularien zusätzlich gesteuert werden.

Wirtschaftlichkeit

Wie in Kap. 5.7.2 beschrieben, bieten vertikale Module auf Grund ihrer geringeren Materialkosten wirtschaftliche Vorteile gegenüber hochaufgeständerten Anlagen. Insbesondere im Bereich der Grünlandwirtschaft werden auch von Schindele et al. (2020) hoch aufgeständerten Anlagen nicht empfohlen. Im Ackerbau bieten hoch aufgeständerte Anlagen vor allem dann Vorteile, wenn vertikale Modulreihen auf Grund der Pflanzenwuchshöhe nicht verwendet werden können. Nur eingeschränkte Aussagen können bezüglich der Wirtschaftlichkeit im Ackerbau getroffen werden, da hier bisher nur einzelne Forschungs- bzw. Pilotanlagen gebaut wurden. Hier konnten bis jetzt nur einzelne Kulturen angebaut und miteinander verglichen werden. Insbesondere zum Deckungsbeitrag pro Hektar existieren noch keine langfristigen Datenreihen. Zwar wurde gezeigt, dass bei sehr heißen Temperaturen bzw. hoher Sonneneinstrahlung der Ertrag gegenüber dem Anbau ohne Agri-PV-Anlage höher ist. Dem sind allerdings der Mehraufwand bei der Arbeitszeit und beim Maschineneinsatz gegenüber zu stellen. Auch ab welcher Sonneneinstrahlung oder Trockenheit ein Mehrertrag zu erwarten ist, kann anhand der aktuellen Datenlage nicht rückgeschlossen werden.

Energiewirtschaftlich gesehen werden die Anlagen aufgrund der derzeitigen hohen Marktpreise für Strom interessant. So könnten der in den Anlagenerzeugte Strom auch über PPA vermarktet werden, d. h. Direktverträgen zwischen Anlagenbetreibern und Unternehmen, die beispielsweise im Rahmen des Emissions Trading System (kurz ETS) hohe CO₂-Zertifikatepreise

zahlen müssen. Bei diesen Unternehmen würden sich die, im Vergleich zu den derzeit hohen Börsenpreisen, niedrigen PV-Strompreise rentieren. Zusätzlich würden noch Einnahmen durch den Verkauf von Zertifikaten bzw. durch das Vermeiden des Ankaufes von Zertifikaten erzielt werden. Da diese Entwicklungen erst in 2020 und 2021 eingetroffen sind, gibt es aktuell noch keine Erfahrungen zu diesen Refinanzierungsoptionen.

Ausbautrends

Derzeit wird der größte Anteil an APV-FFA in Form von vertikalen Anlagen von der Firma Next2Sun in Deutschland vertrieben. Hierbei handelt es sich um Anlagen auf Grünlandflächen, die zur Heu- und Silageernte genutzt werden. Zusätzlich sind weitere Anlagen in Planung. Darüber hinaus werden kleinere Versuchsanlagen im In- und Ausland betrieben. Dies gilt auch für den größten Teil weiterer Agri-PV-Firmen. Im Bereich von aufgeständerten Anlagen ist aktuell die BayWa r.e. am aktivsten und realisiert mehrere Projekte. Bis jetzt steht eine Anlage mit 3,2 Hektar an der deutsch-niederländischen Grenze auf niederländischer Seite. Derzeit sind die Anlagen für Sonderkulturen wie Himbeeren ausgelegt.

Insgesamt wird in der Branche nach vielen Möglichkeiten gesucht, APV-FFA umzusetzen. Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl sowohl senkrechter als auch hoch aufgeständerter Anlagen-Varianten zunehmen.

Förderoptionen

Um den Ausbau der APV-Anlagen voranzubringen und gleichzeitig die Art des Ausbaus zu lenken, sind folgende, grundsätzliche Förderoptionen denkbar:

- Anerkennung der nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen (Modulbereiche) als Ausgleichsfläche (Versiegelungsfläche ausgenommen).
- Förderung der Bereiche der „Schutzzone“ unter den Modulen, die als extensive Wiese oder Blühstreifen bestehen soll.
- Förderung einer Mehrfachnutzung (Energie/Landwirtschaft/Biodiversität).
- Energiewirtschaftliche Refinanzierungsoptionen über CO₂-Zertifikatehandel und direkten Stromverkauf.

6 Naturverträgliche PV-Freiflächenanlagen und weiteres Aufwertungspotenzial

6.1 Ansatz und Praxisbeispiele

Fordern die Naturschutzverbände sowohl für die Standortwahl als auch die Umsetzung von naturschutzfachlichen Maßnahmen bei der Anlagengestaltung seit vielen Jahren einen naturverträglichen Ausbau von kPV-FFA (NABU 2010), so schreiben sich zunehmend auch projektierende Unternehmen¹² wie Energieverbände¹³ das Thema auf ihre Fahnen. Darüber hinaus erkennen jedoch auch Politik und Verwaltung das Potenzial an und empfehlen ein entsprechendes Vorgehen (vgl. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019).

Werden kPV-FFA auf zuvor intensiv genutzten, insbesondere landwirtschaftlichen Flächen, errichtet, bieten sie im Zusammenhang mit der extensivierten Nutzung als Grünland Potenziale für eine naturschutzfachliche Aufwertung (F&P Netzwerk Umwelt GmbH 2021; Montag et al. 2016; Raab 2015). Wird die extensive Nutzung durch naturschutzfördernde Maßnahmen begleitet, sind überwiegend positive Wirkungen, v. a. auf die Biodiversität, zu verzeichnen (vgl. z. B. Herden et al. 2009; Montag et al. 2016; Raab 2015). Neben den Anlagenbereichen, die der Aufstellung der Module dienen, bieten sich insbesondere die Randflächen zwischen Modulreihen und Umzäunung zur Umsetzung von Naturschutzmaßnahmen an.

Häufig geschieht dies im Rahmen der Umsetzung von Kompensationsleistungen entsprechend der Auflagen im Genehmigungsbescheid; auch weil kPV-FFA aufgrund ihrer baulichen Struktur und der typischerweise auftretenden erheblichen Auswirkungen für einen zumindest teilweisen Eingriffsausgleich auf den Solarparkflächen geeignet sind.

Doch auch über das Kompensationserfordernis hinaus bieten kPV-FFA Potenziale, weitere Maßnahmen umzusetzen, die einen Beitrag zur dringend notwendigen Erhöhung der Biodiversität in Agrarlandschaften leisten. Dies betrifft die Anlagenkonfiguration selbst, etwa in Bezug auf möglichst große Modulreihenabstände, wie auch Maßnahmen zur Strukturanreicherung, wie Gehölzpflanzung in ausreichendem Abstand zu den Modulen oder die Anlage von Kleingewässern und Sonnplätzen für Reptilien (vgl. Kap. 3.3).

Ausgenommen von nahezu vollständig die Fläche überschirmenden Ost-West-Anlagen, die eine nur sehr eingeschränkten Möglichkeit zur Ausbildung einer Vegetationsdecke unterhalb der Modultische bieten und damit aus naturschutzfachlicher Sicht keine Vorteile erwarten lassen, sind naturverträglichere PV-Anlagen nicht von einer bestimmten Bauform abhängig. Vielmehr bedingen sie sich aus der Qualität, die sie aufgrund der Einhaltung naturschutzbezogener Kriterien besitzen und der messbaren positiven Effekte, die auf die im individuellen Fall festgesetzten Entwicklungs- und Schutzziele wirken.

Deutschlandweit existieren zahlreiche kPV-FFA, die entweder bereits mit ihrer Errichtung oder zu einem späteren Zeitpunkt nach Inbetriebnahme gezielt Maßnahmen zur Steigerung der Biodiversität und/oder zur Förderung einzelner Arten bzw. Artengemeinschaften integrieren.

¹² vgl. z. B. procon solar GmbH: „Ökologischer Mehrwert unserer Anlagen“

¹³ vgl. Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V.: „Gute Planung von PV-Freilandanlagen“

Dazu zählt auch die kPV-FFA „Solarfeld Oberndorf“ (Gemeinde Bodenkirchen, Bayern). Die Gesamtfläche der 2012 in Betrieb genommenen Anlage beträgt rund 2,6 Hektar, die umzäunte Modulfläche nimmt davon rund 1,1 Hektar in Anspruch, die restliche Fläche dient als Ausgleich. Insgesamt sind 3.900 Module mit je 1,6 Quadratmetern Fläche in Reihe montiert, der Modulreihenabstand beträgt 4,5 Meter zwischen den Rammfundamenten und drei Meter zwischen Modulunter- und der nächsten Moduloberkante. Daraus ergibt sich ein Überschirmungsgrad von 58 Prozent. Die installierte Leistung der Anlage beträgt 940 Kilowatt.



Abb. 14: Vorhabenbezogener Bebauungsplan „SO Solaranlage Oberndorf“. (blau = umzäunte Fläche)
(© Andreas Engl)

Der Grünordnungsplan legt für die Gesamtfläche die Entwicklung und dauerhafte Pflege als extensives Grünland fest. Die Fläche wird mit Schafen beweidet. Festgesetzt wurde außerdem die Anlage von Gehölzstrukturen an zwei Seiten der Grundstücksgrenze. Als Ausgleichsmaßnahmen sind die Umwandlung von Acker in Extensivgrünland, die Anpflanzung von Obstgehölzen sowie die Förderung extensiver Gras- und Krautsäume umgesetzt worden. Die Umzäunung ist mit einem Bodenabstand von ca. 20 Zentimetern für Kleinsäuger passierbar,

wobei auf der eingezäunten Fläche auch Rehe und Füchse dokumentiert wurden. Über den Kompensationsbedarf hinaus wurden weitere biodiversitätsfördernde Maßnahmen eingerichtet, u. a. Nisthilfen, Trockenmauern, Sandbänke, Steinschüttungen und Totholzstrukturen. Die Artenliste der kPV-FFA umfasst mit Stand Juni 2021 333 faunistische sowie 189 floristische Arten. Die Gruppe der Insekten teilt sich auf in acht Ameisenarten, 14 Bienen- und Wespenarten, acht Heuschreckenarten, 142 Arten aus der Gruppe der Tag- und Nachtfalter, 33 Käfer sowie einer Libellenart. Die Gruppe der Spinnentiere ist mit 78 Arten vertreten. Weiter wurden 47 Vogelarten nachgewiesen, davon 30 Arten als Brutvögel sowie 17 als Nahrungsgäste. Darunter befinden sich zahlreiche häufige, aber auch seltene bzw. im Bestand rückläufige Arten wie Neuntöter, Goldammer, Wiedehopf, Rebhuhn und Eisvogel (Erzeugergemeinschaft für Energie in Bayern eG 2021; Gemeinde Bodenkirchen 2011; Regionalwerke eG 2021).



Abb. 15: Solarfeld Oberndorf, Schafbeweidung. (© regionalwerke GmbH & Co. KG – Projekt EULE, Solarfeld „Oberndorf“)

Der Solarpark „Frauendorf“ ist mit einer Gesamtfläche von 21,1 Hektar deutlich größer als das Beispiel Oberndorf. Die 2017 in Betrieb genommene Anlage umfasst knapp 35.500 fest montierte Module mit geramten Gestellposten. Die Anlage hat eine installierte Leistung von 11.890 Kilowatt. Im Bebauungsplan sind 19,2 Hektar als „Sondergebiet Solarpark“ festgesetzt. Die Größendifferenz ergibt sich aus der Freihaltung eines Teils der Fläche aus Gründen des Arten- und Biotopschutzes. Der Übershirmungsgrad mit Modulen beträgt maximal 40 Prozent der Sonderfläche. Die Umzäunung wurde mit einem Abstand von 15 Zentimetern zwischen Boden und Zaununterkante errichtet, so dass er für Kleintiere passierbar ist. Die Vornutzung der Fläche ist zum überwiegenden Teil Intensivacker. Außerhalb des Sondergebietes aber innerhalb des Geltungsbereichs des Bebauungsplans, wurden rund 10 Hektar als „Flächen für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und Entwicklung von Boden, Natur und Landschaft“ ausgewiesen (Vermeidungsmaßnahme). Ebenso als Vermeidungsmaßnahme zur Sicherung der Habitatqualität und der Wiederbesiedlungsmöglichkeit für Bodenbrüter (insbesondere der

Feldlerche) wurde die Einsaat einer naturnahen, autochtonen Wildkrautmischung bei maximal dreimaliger Mahd nicht vor dem 15. Juni oder 1. Juli und Abtransport des Mahdgutes vorgesehen. Neben Ausgleichsmaßnahmen in Bezug auf das Schutzgut Boden (u. a. Ausweisung einer 0,7 Hektar großen „Fläche für Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Böden, Natur und Landschaft“ mit Pflanzung einzelner Sträucher) wurden auf einer Fläche von 2,84 ha der durch Module überschirmten Fläche) Maßnahmen zur Kompensation des Eingriffs in das Landschaftsbild vorgesehen. Dies entspricht der Hälfte der überschirmten Fläche, (vorgesehene Überschirmungsfläche entspricht nur 5,68 ha von durch Grundflächenzahl (GRZ) 0,4 festgesetzten max. 7,7 ha). Diese Maßnahmen umfassen u. a. die Anlage eines abgestuften Waldmantels mit vorgelagerten, krautreichen Waldsaumbereichen angrenzend an die Anlagenfläche, sowie die Anlage von Sichtschutzstreifen in Richtung der Ortslage aus zehn verschiedenen gebietsheimischen Gehölzarten. Zwischen dieser Heckenpflanzung und der Umzäunung der PV-FFA wurde ein Wildtierkorridor eingerichtet. Weiter wurden Strukturelemente für Reptilien und Bodenbrüter angelegt (je vier Totholzhaufen und vier Lesesteinhaufen).

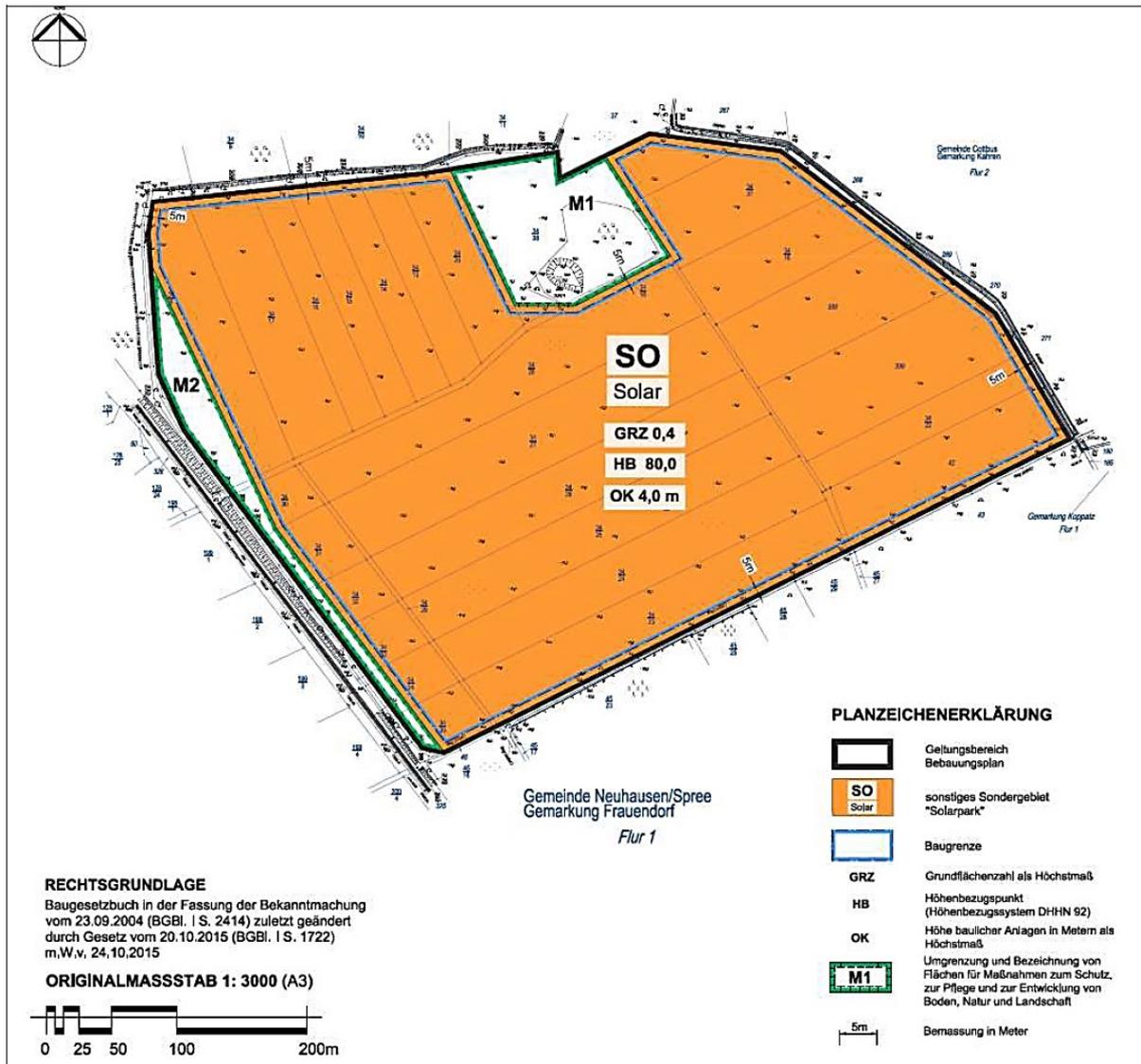


Abb. 16: B-Plan Entwurf zum „Solarpark Frauendorf“. Stand: Mai 2016; orange: Flächen für Photovoltaik (© Lutra Büro für Umweltplanung mit freundlicher Genehmigung der Procon Solar GmbH)

Die Entwicklung der im Solarpark ausgebrachten fünf Mischungen aus zertifiziertem Regiosaatgut gebietsheimischer Wildpflanzen wurde bis 2021 jährlich im Rahmen des Pflegemonitorings dokumentiert. Im angelegten Insektensaum wurden bei sämtlichen Begehungen bis einschließlich 2019 insgesamt 108 Arten festgestellt. Davon stammen 44 aus der ausgebrachten Mischung (darin waren 46 enthalten). Bei den insgesamt 64 nicht in der ausgebrachten Mischung enthaltenen Arten handelt es sich überwiegend um typische Ackerwildkräuter und Ruderalarten. In 2019 ging deren Anzahl auf 25 zurück. Darunter befanden sich in 2019 sieben Arten der Roten Liste, u. a. Ähriger Blauweiderich, Pechnelke und Kornrade.



Abb. 17: Solarfeld „Frauendorf“, Übersicht. (© Procon Solar GmbH)



Abb. 18: Solarfeld „Frauendorf“, extensives Grünland mit Bienen-Beuten. (© Procon Solar GmbH)

Im Magerrasen wurden insgesamt 89 Arten dokumentiert, wovon 36 Arten aus der Ansaatmischung stammen (diese enthielt 42 Arten). In 2019 wurden insgesamt 50 Arten festgestellt, 32 Arten davon haben sich aus der Ansaatmischung etabliert. In 2019 wurden neun Arten der Roten Liste dokumentiert, u. a. Färber-Hundskamille, Gewöhnliches Zittergras und Skabiosen-Glockenblume. Der angelegte Schotterrasen beinhaltete insgesamt 127 Arten, 37 davon stammten aus der Ansaatmischung, die 39 Arten umfasste. In 2019 wurden 69 Arten mit 29 Arten aus der Ansaatmischung erfasst. Auch hier sind die übrigen 40 Ruderalarten und

Ackerwildkräuter. Fünf der in 2019 dokumentierten Arten sind in der Roten Liste erfasst, darunter Mehliges Königskerze, Falsche Strandkamille und Feld-Beifuß (Lutra Büro für Umweltplanung 2016b; Nagola Re GmbH 2019).



Abb. 19: Blühende Mehliges Königskerze im Magerrasen mit Zottelwicke, Kartäusernelke, Färber-Hundskamille und Gewöhnlicher Schafgarbe auf Magerrasen während einer Begehung am 20.06.2019. (© Nagola Re GmbH mit freundlicher Genehmigung der Procon Solar GmbH)

6.2 Potenziale zur Förderung einzelner Schutzgüter durch PV-FFA

6.2.1 Fauna

6.2.1.1 Fledermäuse

Wird die Pflanzenvielfalt im Rahmen der Extensivierung der Flächennutzung erhöht, kann das lokale Nahrungsangebot durch eine höhere Verfügbarkeit von Fluginsekten für Fledermäuse zunehmen (Herden et al. 2009). Dieses Potenzial sehen auch Montag et al. (2016), sofern sich deren Untersuchungsergebnisse zur Zunahme von Wirbellosen auf nacht- bzw. dämmerungsaktive Arten dieser Gruppe (Mücken, Motten etc.) übertragen lassen. Außerdem weisen sie darauf hin, dass sich eine Gewöhnung und entsprechend positive Effekte erst nach mehreren Jahren zeigen könnten. Weiter könnten Flächen außerhalb der Modulreihen vorteilhafter für Fledermäuse sein, als diese Flächen selbst (ebd.). Zu innerhalb von PV-FFA installierten Quartierkästen liegen laut Peschel et al. (2019) bisher keine Erkenntnisse vor. An gleicher Stelle wird darauf hingewiesen, dass der aktuelle Stand der Forschung für weitergehende Aussagen unzureichend ist (ebd.).

6.2.1.2 Weitere Säugetiere

Da die Auswirkungen von kPV-FFA auf Säugetiere bislang kaum systematisch untersucht wurden (Badelt et al. 2020), sind Aussagen zum Potenzial der Förderung einzelner Arten derzeit nur schwer zu treffen. Neben Kleinsäugetern, für die die Umzäunung der Anlagen häufig passierbar sind, existieren auch Zufallsbeobachtungen größerer Arten wie Reh und Damwild (Herden et al. 2009).

Montag et al. (2016) beobachteten in den von ihnen untersuchten kPV-FFA eine größere Anzahl Feldhasen als auf den Referenzflächen und vermuten, dass die Art innerhalb der Anlage Schutz und Deckung findet. Ob kPV-FFA für diese und weitere Säugetierarten mit aufgrund der Intensivierung der Landwirtschaft rückläufigen Beständen, wie z. B. Feldhamster, Habitatpotenziale bzw. Potenziale zur Habitataufwertung bieten, kann hier aufgrund der Datenlage nicht abschließend beantwortet werden.

6.2.1.3 Avifauna

F&P Netzwerk Umwelt GmbH (2021) bestätigen für kPV-FFA auf zuvor ackerbaulich genutzten Flächen eine günstige Entwicklung der Vogelbestände als Folge der entsprechenden Entwicklungen von Pflanzen und Insekten, wobei „insbesondere die typischen Vögel des Agrarlandes profitieren“. Grundlegend dafür ist, dass die Flächen geeignete Nahrungshabitate sowie Deckung und geeignete Brutmöglichkeiten bieten. Dies trifft auch auf bodenbrütende Arten wie Rebhuhn und Feldlerche zu, deren Bestände durch Intensivierung und Mechanisierung massiv leiden. Für die Feldlerche wurde beobachtet, dass sie die Randbereiche von kPV-FFA zur Jagd und Bereiche innerhalb der Modulreihen zur Brut nutzt. Brutnachweise bodenbrütender Arten fanden (Peschel et al. 2019) erst ab einem Modulreihenabstand von drei Metern statt. Beobachtungen an Feldlerchen legen in diesem Zusammenhang nahe, dass diese erst dann innerhalb der Modulreihen brüten, wenn von Frühjahr bis Herbst ein besonnter Streifen von mindestens 2,5 Metern verfügbar ist (ebd.).

Ähnliches bestätigen Herden et al. (2009), die positive Effekte in der Extensivierung der unter den kPV-FFA pestizid- und düngemittelfreien Flächen begründet sehen. Profitieren können davon Feldlerche, Rebhuhn, Schafstelze sowie „vermutlich auch Wachtel, Ortolan und Grauammer“, möglicherweise auch Wiesenpiper und Braunkehlchen, die als Wiesenbrüterarten keine großen Offenlandbereiche benötigen (ebd.).

Raab (2015) untersuchte 2013 in mehreren, vor Errichtung der kPV-FFA überwiegend ackerbaulich genutzten Solarparks, deren Effekte auf die Biodiversität. Als typische Artvorkommen, neben den häufigen Arten, fand er dabei auch naturschutzfachlich relevante Arten wie Rebhuhn, Neuntöter, Baumpieper, Schafstelze, Dorngrasmücke, Schwarzkehlchen, Feldsperling, Bluthänfling und Goldammer. Auch Rotmilan, Schwarzmilan, Wespenbussard und Kolkrabe traten auf den Flächen regelmäßig als Nahrungsgäste auf.

Peschel et al. (2019) fanden weiter in ihrer Metastudie, dass bei mehr als zwei Dritteln der auswertbaren kPV-Standorte eine Zunahme der Artendiversität feststellbar war, sowie bei 85 Prozent eine gleichbleibende oder erhöhte Abundanz. Zu bemerken ist dabei, dass die Studie sowohl kPV-FFA auf ehemaligen Agrar- als auch Konversionsflächen betrachtet. In Bezug auf die Habitateigenschaften von kleineren kPV-FFA können diese für die Brutvogelfauna – insbesondere in strukturarmen Landschaften, auch aufgrund des vergleichsweise hohen Anteils

an Randbereichen, als Trittsteinbiotope Lebensräume innerhalb der ausgeräumten Agrarlandschaft miteinander vernetzen (ebd.).

Neben der Erkenntnis, dass die Extensivierung von zuvor intensiv genutzten Standorten zu einer Zunahme der Artendiversität der Avifauna führt, ist für eine gezielte Förderung beispielsweise im Bestand rückläufiger Arten wie Feldlerche und Rebhuhn eine Betrachtung des Einzelfalls sowie die Umsetzung gezielter Maßnahmen notwendig (vgl. Kap. 3.3). Da auf kPV-FFA bereits seltene bzw. im Bestand rückläufige Arten nachgewiesen wurden, ist festzuhalten, dass die Flächen für die Förderung dieser Arten Potenziale bieten, mit der Einschränkung, dass allgemeine Aussagen dazu, unter welchen Bedingungen sich welche Offenlandarten ansiedeln, derzeit noch schwierig zu treffen sind (KNE 2021b).

Bei gegenüber artifizierender Überprägung sowie senkrechten Strukturen störungsempfindlichen bzw. auf offene Agrarflächen angewiesenen Arten wie Großtrappe, Wiesen- und Kornweihe sowie u. a. Kranich und Graugans können PV-FFA – unabhängig der von der Extensivierung ausgehenden positiven Effekte auf die Avifauna – zu Beeinträchtigungen bis hin zu Verlusten von (Teil-)Lebensräumen führen (Günnewig et al. 2007; Herden et al. 2009).

6.2.1.4 Reptilien

Reptilien benötigen für die Eignung von Habitaten bestimmte Strukturen wie ausreichend sonnenbeschienene Flächen und Versteckmöglichkeiten. Die Nutzung von kPV-FFA als Ganzjahreslebensraum durch die Zauneidechse ist beispielsweise für die kPV-FFA Finow II und III (militärische Konversionsfläche, Brandenburg) belegt (Peschel et al. 2019). Ist eine Eignung als Ganzjahreslebensraum, z. B. aufgrund der zu geringen Anlagengröße, nicht zu erwarten, können kPV-FFA mit extensiver Mäh- oder Weidenutzung für Reptilien in großflächigen Ackerlandschaften eine Verbesserung bis hin zu einer potenziellen Funktion als Trittsteinbiotope bzw. Rückzugsräume einnehmen (Herden et al. 2009).

Die Vergrößerung des Anteils von sonnenbeschienenen Flächen durch größere Modulreihenabstände führt nach Peschel et al. (2019) zu einer Erhöhung der Arten- und Individuendichte von Reptilien, wobei der Effekt für die Zauneidechse besonders deutlich ist.

Herden et al. (2009) sehen in der Umwandlung von landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen in Dauergrünland mit extensiver Mäh- oder Weidenutzung für Reptilien in großflächigen Ackerlandschaften eine Verbesserung bis hin zu einer potenziellen Funktion als Trittsteinbiotope bzw. Rückzugsräume.

6.2.1.5 Amphibien

Amphibien benötigen zwar stets Gewässer zur Fortpflanzung, aber selbst wenn auf der PV-Fläche bzw. in unmittelbarer Umgebung kein Gewässer liegt, können kPV-FFA jedoch, u. a. aufgrund des Nahrungsangebots und der gebotenen Deckung, prinzipiell als Landlebensraum oder Wanderroute für Amphibien dienen (Peschel et al. 2019). In Fällen, in denen im Projektgebiet bereits Amphibienpopulationen vorhanden sind, können diese durch gezielte Maßnahmen unterstützt werden (z. B. Anlage zusätzlicher Gewässer, Überwinterungsmöglichkeiten; ebd.). Peschel et al. (2019) schätzen, dass in Agrarlandschaften in eiszeitlich geprägten Gebieten wie dem Nordostdeutschen Tiefland die Präsenz von Amphibien höher sein kann und kPV-FFA als Winter- oder Zwischenquartier eine hohe Bedeutung zukommt. Auch Landeck

et al. (2014) schätzen, dass kPV-FFA insbesondere in monotonen, strukturarmen und intensiv genutzten Agrarlandschaften als Wanderrouten für Amphibien von Bedeutung sind und auch von europäisch geschützten Arten wie Wechsel-, Knoblauch- und Kreuzkröte genutzt werden.

Die prinzipielle Option, Amphibienarten durch entsprechende Maßnahmen auf kPV-FFA zu fördern, zeigt das Beispiel einer Anlage in Eberswalde (Brandenburg). Dort wurde eine vorhandene Population des Moorfroschs durch gezielte Maßnahmen (u. a. die Anlage eines zusätzlichen Gewässers, Schaffung von Überwinterungsmöglichkeiten) laut der Monitoringergebnisse nachhaltig geschützt (Peschel et al. 2019).

6.2.1.6 Insekten

Bei einem entsprechend angepassten Pflegeregime, insbesondere im Hinblick auf Mahdhäufigkeit und -zeitpunkt bzw. die Beweidungsintensität, konnte bereits nachgewiesen werden, dass extensives Grünland auf vormals intensiv genutzten Flächen zu einer Steigerung der Diversität innerhalb der Gruppe der Insekten führen kann. Wie weit und ausgeprägt dies am Einzelstandort wirkt, hängt v. a. von der Standortwahl, der Vornutzung, der Ausgestaltung, der Einbindung in die Umgebung sowie der Art der Pflege ab.

Insektenorientierte kPV-Anlagen sind in der Vergangenheit bereits erfolgreich umgesetzt worden. Hinsichtlich der Nutzungsart fassen Badelt et al. (2020) die Ergebnisse von Montag et al. (2016) sowie Parker und McQueen (2013) wie folgt zusammen: bei kPV-FFA auf extensivem Grünland oder wenn Wildblumenwiesensamen eingesetzt wurden, zeigte sich eine höhere Individuenzahl bei Tagfaltern und Hummeln, als auf Kontrollflächen ohne Maßnahmen. Ähnliches bestätigt Raab (2015): Bei einer Extensivierung von Grünlandflächen sind auch viele bedrohte Arten auf kPV-FFA-Flächen zu finden, da diese aufgrund ihrer Mobilität für sie günstige Lebensräume schnell wiederbesiedeln können. Weiter bestätigt Guerin (2017), dass die Begrünung von Flächen zwischen und unter Solarmodulen, die Anpassung der Häufigkeit der Mahd an die Pflanzenphänologie und eine Erhöhung der Vielfalt der Wirtspflanzenarten sowie die Deckung der blühenden Spezies signifikant zur Steigerung der biologischen Vielfalt von Schmetterlingen auf kPV-Flächen beitragen.

Raab (2015) bestätigt im Rahmen einer Vergleichsuntersuchung von fünf kPV-FFA, dass sich nach der Extensivierung ehemaliger Ackerflächen seltene und stark bedrohte Arten neue Lebensräume erschließen konnten. An einem der untersuchten Standorte, an den unmittelbar ein artenreicher Kalkmagerrasen angrenzt, aus dem Arten einwandern konnten, hatten die Falterarten Zahnflügel-Bläuling, Kleiner Schlehen-Zipfelfalter, Lilagold-Feuerfalter sowie den Wegerich-Scheckenfalter bodenständige Vorkommen. Bei den weniger mobilen Heuschreckenarten sind Vorkommen bedrohter Arten wie Feldgrille, Gestreifte Zartschrecke, Sumpfschrecke und Heidegrashüpfer erwähnenswert (ebd.). Bereits nach vier Jahren konnten sich insbesondere flugfähige Arten auf den ehemaligen Intensivackerflächen ansiedeln.

Ein begünstigender Faktor für eine Erhöhung der Biodiversität ist das Vorhandensein von „Quellpopulationen wertgebender Arten im direkten Umfeld der PV-FFA, sowie ein „hoher Strukturreichtum innerhalb des Geländes und eine extensive Beweidung“ z. B. mit Schafen (Raab 2015). Lebensraum für Bestäuber kann daher im direkten Umfeld der Modulfelder (d. h. um und unter den Modulen), in unbebauten Bereichen sowie in angrenzenden Bereichen außerhalb des Geländes geschaffen werden. Bei der Entwicklung und Auswahl von Maßnahmen

für bestäuberfreundliche Habitate ist die geografische Lage der Fläche zu beachten, da abiotische Prozesse (z. B. Niederschläge), die standörtliche Vegetation und lokal vorkommenden Insektengemeinschaften geografisch variieren (Walston et al. 2018). Im Zuge der Extensivierung ist außerdem die Verwendung standortheimischer Saatgutmischungen grundlegend (ebd.). Sie fördern nicht nur entsprechende Nahrungshabitate für Insekten, sondern bieten deutliche Vorteile im Rahmen einer landwirtschaftlichen Nutzung der Fläche (Ravi et al. 2016).

6.2.2 Flora

Auf ehemals intensiv landwirtschaftlich genutzten Standorten kann die mit der Errichtung von kPV-FFA einhergehende Nutzungsintensivierung zu einer Zunahme der Diversität der Vegetation führen (Demuth et al. 2018). Auch darüberhinausgehende Maßnahmen wie die Etablierung von Hecken und anderen Gehölzformationen fördern die Artenvielfalt.

Voraussetzung dafür ist jedoch ein standortangepasstes Maßnahmen- und Pflegekonzept. Wesentlich ist dabei zunächst die Verwendung von zertifiziertem, gebietsheimischem und standortangepasstem Saatgut bzw. entsprechendem Pflanzmaterial (vgl. 3.3). Im Falle der Ansaat von arten- und blütenreichen Pflanzenbeständen ist für eine langfristige Etablierung eine angepasste Pflege in den ersten Jahren entscheidend (Nagola Re GmbH 2019).

Standortabhängig ist außerdem zu beachten, dass das Verhältnis aus überbauter und freier Fläche, resultierend im Wesentlichen aus der Modulgröße und dem Modulreihenabstand, zu einem Mosaik verschiedener Standorteigenschaften hinsichtlich der Verteilung von Schatten und Niederschlägen führt (vgl. F&P Netzwerk Umwelt GmbH 2021; Landeck et al. 2014). Dies ist im Zielkonzept bzw. bei der Auswahl der Arten und Artenmischungen ggf. zu beachten.

6.2.3 Einordnung des Potenzials zur Förderung einzelner Schutzgüter

Die Extensivierung von zuvor intensiv genutzten, insbesondere landwirtschaftlichen Flächen, führt überwiegend zu positiven Effekten auf die Flora und Fauna sowie die Biodiversität. Das ist nicht weiter verwunderlich, denn die intensive Flächenbewirtschaftung ist gekennzeichnet von starker Bodenbearbeitung, dem Einsatz von Herbiziden und Pestiziden sowie dichten Monokulturen. Werden solche Flächen hin zu extensiv gepflegten Dauergrünländern entwickelt, die z. B. zusätzliche von Vegetation freigehaltene Bereiche, Gehölzpflanzungen als Sichtschutz und zur Strukturanreicherung aufweisen, entstehen Habitatfunktionen die durch entsprechende Arten genutzt werden. Für die Ausprägung der Biodiversität am konkreten Standort ist darüber hinaus entscheidend „ob Quell-Populationen wertgebender Arten im direkten Umfeld vorhanden sind“ (Raab 2015).

Neben der reinen Etablierung von extensivem Grünland besteht in der Umsetzung von weiteren ökologischen Maßnahmen zur Pflege und Flächengestaltung das Potenzial, kPV-FFA zu wertvollen Biotopen zu entwickeln, die wichtige Habitatfunktionen übernehmen und als Trittsteinbiotope fungieren können. Eine besondere Bedeutung können sie daher in strukturarmen Agrarlandschaften auf zuvor landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen erlangen.

Dazu ist es unbedingt erforderlich, die ökologischen Gegebenheiten der näheren und je nach Größe der kPV-FFA auch der weiteren Umgebung in das naturschutzfachliche Entwicklungskonzept mit einzubeziehen und z. B. durch die Entwicklung von Zielartenkonzepten, insbesondere bei angrenzenden Schutzgebieten, zu unterstützen.

Unbestritten bleibt darüber hinaus jedoch, dass von einem baulichen Eingriff in der freien Landschaft negative Effekte ausgehen, die es vorrangig zu vermeiden gilt. Auch und insbesondere vor dem Hintergrund des voraussichtlichen Zubauerfordernisses von PV-FFA in den kommenden Jahren im Vergleich zum derzeitigen Ausbaustand. Dies bedeutet, dass die Umsetzung der in Kap. 3.3 aufgezeigten Maßnahmen zur Vermeidung, Minderung sowie naturverträglichen bzw. -fördernden Ausgestaltung der Anlage ein wesentliches Kriterium für die naturverträglichere Gestaltung von kPV-FFA darstellen.

6.3 Ansätze für eine naturschutzfachliche Ergänzung von APV-FFA

APV-FFA und ihr jeweiliges landwirtschaftliches Bewirtschaftungskonzept sollten, ebenso wie kPV-FFA, sowohl naturschutzfachlichen Kriterien in Bezug auf die Vermeidung und Minderung von Auswirkungen einhalten, als auch nach Möglichkeit Maßnahmen für eine naturschutzfachliche Aufwertung, insbesondere die Förderung der Biodiversität in der Agrarlandschaft, umsetzen. Im Unterschied zu kPV-FFA stehen bei APV-FFA Flächen zur Umsetzung naturschutzfachlicher Maßnahmen aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung jedoch nur in sehr geringem Maße zur Verfügung. Weiter ist die Störungsintensität durch die häufigere Flächenbearbeitung im Vergleich erhöht.

Dies bedeutet zunächst, dass die in Kap. 4.4 zusammengefassten Flächenkriterien sowie die in Kap 3.3 dargestellten Maßnahmen für APV-FFA gleichermaßen gültig sind und im Rahmen der Standortsuche sowie im Rahmen der Umweltprüfung und insbesondere bei der Abarbeitung der Eingriffsregelung Anwendung finden sollten. Ob es beim Konzept der APV-FFA trotz der vergleichsweise intensiven Flächennutzung sowie deutlich eingeschränkteren verfügbaren Fläche möglich ist, Maßnahmen auf der Eingriffsfläche zu realisieren, die über den Ausgleichsbedarf hinausgehen, ist derzeit schwer absehbar. In Deutschland wurden bisher nur kleine und in der Pilotphase befindliche APV-FFA realisiert. Dementsprechend sind sowohl konkrete Anlagenplanungen als auch Unterlagen aus Genehmigungsverfahren für wirtschaftlich tragbare Anlagen nicht verfügbar.

Derzeit existieren dementsprechend lediglich Konzepte, die bislang nicht realisiert wurden sowie Pilotanlagen, die eine landwirtschaftliche Nutzung mit Maßnahmen zur Biodiversitätsförderung auf einer Fläche kombinieren wollen. Das Konzept von Elysium-Solar sieht bei einer vorgesehenen Anlagengesamtgröße von 70 Hektar 30 Hektar für den Umwelt- und Naturschutz vor. Zum Einsatz kommen sollen einachsige nachgeführte Module, wobei die Bereiche unterhalb der Module für den Umwelt- und Naturschutz genutzt werden sollen (Elysium Solar GmbH 2021).

Das APV-Konzept von Krinner-Solar sieht Blühstreifen vor, wie unten zu sehen in einer Variante mit hoch aufgeständerten horizontalen Modulen. Das Unternehmen gibt an, dass zehn Prozent der Anlagenfläche der Förderung von Insekten dienen soll (Krinner Carport GmbH 2021).

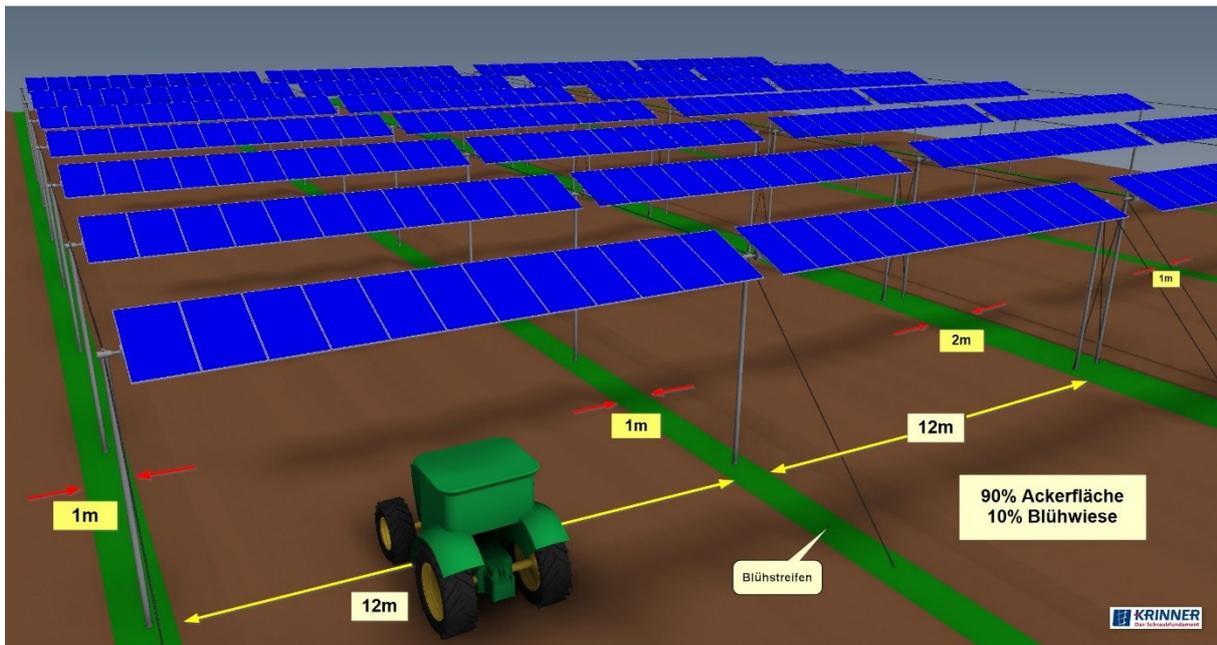


Abb. 20: Schematische Darstellung des Agri-Photovoltaik-Konzepts der Krinner Carport GmbH. (© Krinner Carport GmbH)



Abb. 21: Agri-Photovoltaik-Anlage mit integrierten Blühstreifen. (© Krinner Carport GmbH)

In der Forschung beschäftigt sich das Projekt „Nachhaltige Kombination von bifacialen Solarmodulen, Windenergie und Biomasse bei gleichzeitiger landwirtschaftlicher Flächennutzung und Steigerung der Artenvielfalt“, kurz: BiWiBi¹⁴, mit dem Thema der Konkurrenz um Flächen

¹⁴ s. <https://www.agri4power.com>

und sucht nach Konzepten, wie die Flächennutzung zukünftig multifunktionaler ausgestaltet werden kann (vgl. Kap. 7).

Auch in der Literatur sehen z. B. Scharf et al. (2021) Potenziale für die Umsetzung von biodiversitätsfördernden Maßnahmen an APV-FFA: Bei der nachgeführten APV-FFA in Althegeenberg werden für die Fundamente „pro Reihe Streifen mit einer Breite von zwei Metern freigelassen, die bei der Feldbearbeitung mit Maschinen nicht bearbeitet werden können. Somit gehen 14,28 Prozent der Anbaufläche verloren. Diese verlorenen Flächen können jedoch in Zukunft als ökologisch wertvolle Brachflächen [...] verwendet werden.“

Hinsichtlich der Mindestanforderungen an die Größe verschiedener naturschutzfachlicher Maßnahmen, die auf streifenförmigen Flächen umgesetzt werden können, existieren in der Literatur verschiedene Angaben. In Bezug auf die Mindestbreite von artenreichen Säumen geben Honecker et al. (2020) eine Mindestbreite von zwei Metern an, nach Becker et al. (2020) sollten artenreiche Einsaatbrachen, etwa zur Förderung des Feldhasen, mindestens sechs Meter breit sein. Für Blühstreifen sind es mindestens zwei Arbeitsbreiten, was ebenso sechs Metern entspricht (ebd.). Fraunhofer IMW (2021) erwähnt, dass für die Förderprogramme der Bundesländer drei bis 10 Meter für Blühstreifen festgesetzt sind, für die ökologische Wirksamkeit der Blühstreifen im Konzept des Projekts „Agri4Power“ werden sechs Meter empfohlen. Darüber hinaus besteht dort die Option, im Bereich der Modulreihen weitere naturschutzfachliche Maßnahmen zur Strukturanreicherung (Sandstreifen, Lesestein- und Totholzhaufen, BeetleBanks) umzusetzen. Der dort für Blühstreifen und andere Strukturelemente vorgesehene Flächenanteil beträgt ca. 20 Prozent (ebd.).

Eine aktuelle Studie zur Wirksamkeit von Blühflächen kommt zu dem Ergebnis, dass die zeitliche Kontinuität der Blühfläche für deren positive Wirkung auf die Diversität von Bestäubern eine wesentliche Rolle spielt (Bötzl et al. 2021). Dabei gewinnen die Habitate über den Zeitverlauf spezialisierte Arten, Generalisten nehmen gleichzeitig ab. Außerdem hat die Studie gezeigt, dass bei einem gleichen Flächenanteil viele kleinere Flächen, angeordnet als Netzwerk, günstiger sind als wenige größere Flächen (ebd.).

Entscheidend aus naturschutzfachlicher Sicht scheinen in diesem Zusammenhang zwei Aspekte zu sein. Zum einen sollten wirtschaftlich betriebene Anlagen, die über den Pilotcharakter hinausgehen, mit naturschutzfachlichen Maßnahmen ausgestattet und wissenschaftlich begleitet werden, um notwendige Erkenntnisse zu deren ökologischer Wirksamkeit ableiten zu können. Zum anderen ist es dringend erforderlich, auch unabhängig von APV-FFA, die Umsetzung von ökologischen Maßnahmen in der Agrarlandschaft anzureizen, attraktiver zu machen und monetär zu honorieren.

6.4 Stichprobenhafte Analyse von Planunterlagen einzelner PV-FFA

Neben den oben gezeigten Anlagenbeispielen wurden im vorliegenden Vorhaben außerdem Genehmigungs- und Monitoringunterlagen elf kPV- und APV-FFA recherchiert und im Hinblick auf folgende Aspekte untersucht:

- Welche Maßnahmen wurden im Rahmen des naturschutzrechtlichen Ausgleichs vorgesehen und umgesetzt?
- Gab es darüber hinaus weitere Auflagen (z. B. in Nebenbestimmungen zur Genehmigung) zur Vermeidung und Minderung von ökologischen Beeinträchtigungen?

- Inwieweit wurden vorhandene naturschutzfachliche Planungen zum Biotopverbund und vergleichbare Ansätze in die Anlagenplanung mit einbezogen?

Entsprechend der Gesamtausrichtung des Vorhabens war die Recherche der Daten auf PV-FFA auf landwirtschaftlichen Flächen fokussiert. Bei drei der betrachteten Anlagen handelte es sich um APV-FFA (zwei hoch aufgeständerte und eine vertikale).

Es ließ sich übergreifend feststellen, dass ein Schwerpunkt der festgesetzten Maßnahmen im Rahmen der Abarbeitung der Eingriffsregelung auf der Entwicklung und Pflege von extensiven Grünlandflächen lag. Eine weitere typische Maßnahme betrifft die Anpflanzung von Gehölzen, insbesondere im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Minderung erheblicher Auswirkungen auf das Landschaftsbild.

In den untersuchten Unterlagen finden sich zahlreiche bau-, betriebs- und anlagebezogenen Festsetzungen, wie z. B.:

- Höhenbegrenzungen (Stadtplanungsbüro SHM 2020)
- Vermeidung flächiger Versiegelungen (Stadtplanungsbüro SHM 2020)
- Verwendung von Ramppfosten (Lutra Büro für Umweltplanung 2016a)
- Vermeidung von Streifenfundamenten für Umzäunung oder Anlagenfundamente (Stadtplanungsbüro SHM 2020) / Massive Einfriedigungen wie z. B. Mauern oder Sockel sowie die Verwendung von Stacheldraht sind nicht zulässig (faktorgrün 2020)
- keine Beleuchtung der Anlage (Stadtplanungsbüro SHM 2020)
- Anbringung von Durchlässen am Boden der Zaunanlage oder Abstand von 10 bis 20 Zentimetern zwischen Boden und Zaununterkante (Iföna GmbH 2017a)
- Festsetzungen zu Zeiträumen zur Durchführung der Baufeldfreimachung und zur Durchführung der Bauarbeiten (Iföna GmbH 2017a)
- räumliche Begrenzung des Baufeldes (Iföna GmbH 2017a)
- Abstand Boden zur Modulunterkante 0,8 bis 1 m (Lutra Büro für Umweltplanung 2016a)
- max. Überdeckungsgrad durch Module auf der Anlagenfläche: 40 Prozent (Lutra Büro für Umweltplanung 2016a)
- keine Einzäunung des Betriebsgeländes (365° freiraum + umwelt 2016) (Anm. diese Angabe bezieht sich allerdings auf die Pilotanlage in Heggelbach mit lediglich 0,5 ha mit Modulen überschrämter Fläche)

Darüber hinaus werden die Anforderungen an die Entwicklung und Pflege des extensiven Grünlandes mit unterschiedlichem Detailgrad angegeben. Standardmäßig ist dabei der Einsatz von Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln ausgeschlossen (faktorgrün 2020; SÜDWERK Projektgesellschaft mbH 2020). Ebenso wird regelmäßig auf die Verwendung von geeigneten, standortheimischen/-gerechten und artenreichen Wildsamensmischungen hingewiesen (faktorgrün 2020; SÜDWERK Projektgesellschaft mbH 2020). Das gleiche gilt für die Pflege der Fläche, z. B. die Ausmagerung durch Abtrag und Abfuhr des Mahdguts, die abschnittsweise Mahd bzw. Beweidung zum Schutz bzw. zur Förderung des dauerhaften Nahrungsangebotes für Insekten. In einem Fall wird weiter darauf hingewiesen, dass insbesondere durch die Bautätigkeit fehlende/zerstörte Vegetation nachzusäen ist (faktorgrün 2020).

Darüber hinaus fanden sich u. a. folgende weitere naturschutzbezogene Festsetzungen:

- „Um Meidungsreaktionen von Offenlandarten zu höheren Vertikalstrukturen zu minimieren, erfolgt weiterhin eine Bepflanzung von niedrigwüchsigen Sträuchern, wie Liguster, Schlehe, Weißdorn, Roter Hartriegel, Hecken-Rose, Hunds-Rose und Heckenkirsche, im Norden, Osten und Süden des Sondergebietes. Die Bepflanzung ist mindestens dreireihig versetzt auszuführen.“ (SÜDWERK Projektgesellschaft mbH 2020)
- „Bei Bauarbeiten ist für ausreichenden Schutz der zu erhaltenen Vegetation Sorge zu tragen. Die DIN 18920 (Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen) ist zu beachten.“ (faktorgrün 2020)
- „Die partielle Anlage von Totholzhaufen, z. B. von Heckenrückschnitten, ist möglich und erwünscht.“ (ebd.)
- Anlage einer Streuobstwiese mit extensiver Grünlandnutzung (Iföna GmbH 2017a)
- Erhalt vorhandener naturschutzfachlich bedeutsamer Strukturen (z. B. Feldhecken, Altgrasstreifen) (ebd.)

In zwei Fällen wurden im Rahmen der speziellen artenschutzrechtlichen Prüfung (saP) CEF-Maßnahmen festgesetzt. Diese hatten zum einen die Anlage und Bewirtschaftung von Grünlandflächen mit Blühstreifen als Jagdhabitat für den Rotmilan nach Beeinträchtigung essentieller Nahrungshabitate zum Ziel (Iföna GmbH 2017b). Im zweiten Fall wurden eine Wechselbrache als Lebensraum für die Feldlerche durch Selbstbegrünung und Verzicht des Einsatzes von Dünger- und Pflanzenschutzmittel vorgesehen (SÜDWERK Projektgesellschaft mbH 2020).

Der Bezug zu bestehenden Planungen, insbesondere des Biotopverbundes wurde in nur zwei Fällen explizit hergestellt. In einem Fall sind randlich angeordnete Biotopstreifen zur „Verbesserung der Vernetzungsfunktion“ der Anlage beschrieben. In einem weiteren Fall wird darauf verwiesen, dass „Im Plangebiet und dessen Umgebung [...] keine Flächen des Biotopverbundes trockener, mittlerer oder feuchter Standorte [bestehen].“ (faktorgrün 2020)

Für das Landschaftsbild repräsentiert die hier betrachtete Stichprobe das, was bereits in anderen Untersuchungen gezeigt wurde: Die technischen und methodischen Möglichkeiten zur Bewertung des Schutzgutes werden nicht ausgeschöpft (Schmidt et al. 2018a). Zwar wird in Bezug auf das Landschaftsbild in den überwiegenden Fällen eine erhebliche Beeinträchtigung festgestellt, jedoch erfolgte in keinem der betrachteten Beispiele eine erkennbar differenziertere Betrachtung, etwa durch Sichttraumanalysen oder digitale Visualisierungen der Anlagen. Der Ausgleich für PV-FFA zum Landschaftsbild erfolgt meistens über die Anpflanzung von Gehölzen auf der Anlagenfläche und/oder durch Aufwertungen des Landschaftsbildes an anderer Stelle mit vergleichbaren Maßnahmen.

Eine recht große Varianz wurde in Bezug auf den Aufwand zur Überprüfung der Umsetzung und Funktionalität der vorgesehenen Maßnahmen festgestellt. Sie reichte von einer Überprüfung von Gehölzpflanzungen fünf Jahre nach Umsetzung der Maßnahmen bis hin zu mehrjährigen Monitorings inklusive des Hinweises zur Ermittlung des Bedarfs und der Gestaltung ggf. notwendiger Pflegemaßnahmen.

Die Analyse hat insgesamt deutlich gemacht, dass ein mehrheitlicher Teil des Spektrums geeigneter naturschutzfachlicher Maßnahmen bei den umweltbezogenen Prüfungen von PV-FFA auch angewandt werden. Dennoch bestehen große Potenziale, erprobte Methoden und

Maßnahmen stärker in die Praxis zu implementieren. Dies betrifft neben dem Schutzgut Landschaftsbild insbesondere das Funktionspotenzial von PV-Flächen im Rahmen des Biotopverbundes bzw. anderer Fachplanungen mit Vernetzungscharakter. Ein zweiter Aspekt der in der Praxis scheinbar gestärkt werden sollte, ist die fachlich angemessene, regelmäßige Überprüfung der Maßnahmen entsprechend der Entwicklungsziele. Nur so kann die Pflege falls nötig angepasst und die Maßnahmenfunktion entsprechend garantiert werden. Aus den genannten Gründen würde eine PV-FFA-spezifische Checkliste für die Ebene der Bauleitplanung Sinn machen, die v. a. schutzgutspezifische Prüfungsmethoden und geeignete Naturschutzmaßnahmen praxisnah zusammenfasst.

6.5 Anforderungen an naturverträgliche PV-FFA

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen gewährleisten, dass der durch PV-FFA verursachte Eingriff bzw. die damit verbundenen Beeinträchtigungen entlang naturschutzfachlicher Anforderungen vermieden bzw. ausgeglichen werden. Die Biodiversitätskrise, in der Agrarlandschaft insbesondere mit der intensiven, industrialisierten Landwirtschaft als Treiber, erfordert jedoch Potenziale für naturschutzfachliche Aufwertung, auch über den gesetzlichen Bedarf hinaus, zu mobilisieren. Photovoltaikflächen bieten in diesem Zusammenhang unter bestimmten Voraussetzungen die Möglichkeiten, derartige Maßnahmen zu integrieren und so einen wichtigen Beitrag in diesem Kontext zu leisten. Dafür kommen grundsätzlich sämtliche in Kap. 3.3 aufgeführten Maßnahmen für eine naturverträgliche bzw. -fördernde PV-Nutzung in Betracht.

Um die Diskussion jeweils nachvollziehbar zu machen, ist dabei im Einzelfall abzugrenzen, welche Maßnahmen im Zuge der Genehmigung der Anlage zur Erfüllung der Anforderungen der Eingriffsregelung und ggf. zur Konfliktbewältigung im Artenschutz rechtlich gefordert sind, und welche darüber hinaus im Bereich der Anlage zur naturschutzfachlichen Aufwertung vorgesehen werden sollen. In diesem Zusammenhang ist darauf zu verweisen, dass entsprechende aufwertende Maßnahmen durchaus in der Eingriffsregelung beschrieben und bei der Ermittlung der Kompensationserfordernisse berücksichtigt werden können, diese Bestimmungen allerdings weiterhin bundesweit sehr unterschiedlich ausgelegt werden. So kann bspw. gemäß bayerischem Praxis-Leitfaden der Umfang von Biotopflächen und Grünstreifen definierter Breite bei der Ermittlung der relevanten „Basisfläche“ reduzierend berücksichtigt werden, der Kompensationsfaktor von 0,2 mit einem überzeugenden Minimierungskonzept weiter verringert werden. Auch Gestaltungsmaßnahmen zur Eingrünung können dort angerechnet werden (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014).

6.5.1 Planungsphase

Ein wesentlicher Aspekt zur Vermeidung bzw. Verminderung von Konflikten mit Natur und Landschaft durch PV-FFA ist die Standortwahl (Demuth et al. 2018; Herden et al. 2009; Kelm et al. 2019a). Dazu haben aktuell einige Akteure, insbesondere Träger der Regionalplanung, Kriterienkataloge aufgestellt (s. dazu Kap. 4.4). Insgesamt werden dabei vorrangig stark vorbelastete Flächen mit vergleichsweise geringer Bedeutung für den Naturschutz sowie umgekehrt hohem Aufwertungspotenzial für kPV-FFA präferiert, und umgekehrt für den Naturschutz bedeutsame Flächen ausgeschlossen. Dies gilt insbesondere auch für Flächen des Freiraumverbundes bzw. unzerschnittene, störungsarme Freiflächen, die auch weiterhin erhalten und

von Bebauung freigehalten werden sollten. In Bezug auf landwirtschaftliche Flächen gilt ein Ausschluss z. B. auch für schützenswerte Böden¹⁵. Neben entsprechenden Flächenkategorien wie Schutzgebieten nach BNatschG, sind auch die topografischen Gegebenheiten in Bezug auf die Sichtbarkeit der Anlage zu beachten. Auf Landes- oder regionaler Ebene können außerdem die Erarbeitung und Anwendung weiterer entsprechend spezifischer Kriterien sinnvoll sein.

Für die Planung und Umsetzung naturschutzfachlicher Maßnahmen im Rahmen der Errichtung von PV-FFA ist die Erarbeitung eines ökologischen Gesamtkonzeptes für die geplante PV-FFA sinnvoll (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019). Darin sind sämtliche ökologischen Aspekte sowie insbesondere die Planung, Umsetzung und Pflege der naturschutzfachlichen Maßnahmen zusammengefasst.

Im Falle der Betroffenheit sensiblerer Landschaftsräume sollten ebenso Visualisierungen der Anlage als Grundlage für die Minimierung der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes sowie ggf. auch im Zuge der Kommunikation mit einzubindenden Akteurinnen und Akteuren angefertigt werden. Das Maßnahmenkonzept sollte sich auf Zielarten beziehen und daran fachgerecht entwickelt werden¹⁶. Das ökologische Gesamtkonzept bezieht außerdem bestehende Konzepte und Planungen mit ein bzw. entwickelt diese weiter (z. B. zum Biotopverbund). Auch sollten neue Forschungsergebnisse (vgl. z. B. Bötzel et al. 2021) umgesetzt und die vorhandene Planung daraufhin überprüft werden. Der ökologische Zustand und die Entwicklung der Flächen werden vor Baubeginn, während der Bauphase und im Betrieb untersucht und festgehalten. Bei Bestandsanlagen erfolgt die Aufnahme des Ist-Zustandes. Es sind anerkannte Methodenstandards anzuwenden, außerdem sollten die Ergebnisse veröffentlicht werden. Die Ergebnisse dienen dabei sowohl der Dokumentation wie auch als Grundlage für mögliche Anpassungen bzw. Weiterentwicklungen.

In Bezug auf die Gesamtgröße einer PV-FFA aus naturschutzfachlicher Sicht erscheint eine pauschale Angabe mit Blick auf die deutschlandweit sehr unterschiedlich ausgeprägten Landschaftsstrukturen weniger zielführend. Vielmehr ist die Größe der Anlage an die Größenverhältnisse und die Maßstäblichkeit der Landschaftsstrukturen des Standortes, etwa die Topographie betreffend, anzupassen (vgl. Honecker et al. 2020). Dies gilt sowohl für die optische wie auch die ökologische Beeinträchtigung in Bezug auf die Barrierewirkung der Anlage. So sollte die Gesamtgröße der PV-FFA mit der Zunahme der Strukturiertheit bzw. Vielfalt der Landschaft abnehmen. Mit zunehmender Größe der Anlage sind weitere naturschutzbezogene Strukturen wie Korridore oder Freiflächen innerhalb der Anlage sowie die Aufgliederung der Anlage in Teilflächen notwendig. Zu beachten ist in diesem Kontext, dass aufgrund der inzwischen vorhandenen Option, PV-FFA auch außerhalb des EEG wirtschaftlich zu betreiben, die an die Vergütung gekoppelte Mindestgröße (aktuell 20 Megawatt pro Anlage über 750 Kilowatt installierter Leistung im Ausschreibungssektor) an Wirkung verlieren wird und Kriterien, die diesen Aspekt aufgreifen, eine höhere Bedeutung zukommt.

¹⁵ Das Forschungsvorhaben „Umweltverträgliche Standortortsteuerung von Solar-Freiflächenanlagen“ setzt sich im Auftrag des Umweltbundesamtes (FKZ 3719431050) detailliert mit diesem Thema auseinander. Laufzeit: 10/2019 bis 02/2022

¹⁶ Maßnahmenkataloge für Agrarflächen finden sich z. B. in Honecker et al. (2020) und Stommel et al. (2018).

6.5.2 Bau- und Rückbauphase

Die Bau- und Rückbauphase sollten die bestehenden Standards erfüllen, die gesetzliche Vorgaben an jeden Eingriff stellen: Die Minimierung der Beeinträchtigung des Bodens durch Verdichtung und Störung des Bodengefüges durch z. B. den Einsatz bodenschonender Fahrzeugtechnik und das Unterbleiben von Bautätigkeiten bei andauernder Bodennässe (u. a. Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014). Der Einsatz einer (boden-)ökologischen Baubegleitung hilft die Prozesse aus ökologischer Perspektive zu optimieren (u. a. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg 2021). Emissionen sollten ebenso wie der Einsatz von Fremdsubstraten minimiert werden (u. a. Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014). Eingebrachte Substrate sollten unbelastet und standortgerecht sein (u. a. Herden et al. 2009). Der Einsatz von schadstoffhaltigen Baustoffen sollte vermieden werden (ebd.). Darüber sollten Bauzeitfenster, z. B. außerhalb der Brutzeit, in Abhängigkeit der örtlichen Artenvorkommen definiert werden (u. a. NABU 2021).

6.5.3 Anlagengestaltung

Der Gesamtversiegelungsgrad einer PV-FFA sollte inklusiver aller Nebengebäude nicht mehr als zwei Prozent betragen (u. a. NABU und BSW 2021), bei einem Überdeckungsgrad durch die Module von maximal 40 Prozent¹⁷ (u.a. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019). Um einen entsprechenden Vegetationsaufwuchs zu ermöglichen sollte der Mindestabstand zwischen Boden und Modulunterkante mindestens 80 Zentimeter betragen (BUND Sachsen 2014). Um ausreichend mit Sonne beschienene Flächen bereitstellen zu können, sollte der Reihenabstand so groß wie möglich sein (Demuth et al. 2018). Bei fest montierten Modulen sollte jedoch zwischen der Modulunterkante der einen und der Moduloberkante der nächsten Modulreihe mindestens drei Meter Abstand eingehalten werden oder sollte ein dauerhaft sonnenbeschienener Streifen von 2,5 Meter Breite eingehalten werden (Demuth et al. 2018; Peschel et al. 2019). Eine Anlagenumzäunung unter Verwendung von Zaunmatten mit möglichst großer Maschenweite und einem Abstand zwischen Boden und Zaununterkante von mindestens 20 Zentimetern gewährleisten zumindest eine gewisse Durchlässigkeit. Stacheldraht sollte nicht eingesetzt werden (u. a. BUND Naturschutz in Bayern 2021). Bei großflächigen Anlagen sind außerdem Querungskorridore vorzuhalten (ein 30-Meter-Korridor pro ein Kilometer Anlage) (NABU und BSW 2021). Abweichungen sind abhängig vom Zielartenkonzept möglich (z. B. zum Schutz von wiesenbrütenden Vogelarten).

Auch der Einsatz möglichst effiziente Modultechnologie mit erhöhter Flächeneffizienz kann wesentlich zu einer verbesserten ökologischen Bilanz der Anlage beitragen, entsprechend sinnvoll ist eine Prüfung dieser Option (Badelt et al. 2020).

6.5.4 Betriebsphase

In der Betriebsphase steht die Sicherstellung der sachgerechten Pflege und Entwicklung entlang des ökologischen Gesamtkonzepts und der umgesetzten Maßnahmen durch ein

¹⁷ Eine Ausnahme stellen ggf. APV-FFA dar, die ohnehin notwendige Strukturen wie Folien zum Witterungsschutz, ersetzen.

Monitoring und entsprechende Maßnahmen im Vordergrund (u. a. Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014) (für Details s. Kap. 3.3). Auch die Wartung und Pflege bzw. Reinigung der Anlage sollte ohne das Risiko für den Eintrag von Schadstoffen (z. B. aus Reinigungsmitteln) stattfinden, wartungs- und reparaturbedingte Störungen sollten minimiert werden (u. a. BUND et al. 2021; Demuth et al. 2018).

6.5.5 Prozedurale Anforderungen

Für naturverträgliche PV-FFA sollten auch einige prozedurale Anforderungen in den Blick genommen werden, deren Umsetzung wesentlich zu einer naturverträglicheren Gestaltung bzw. Aufwertung beitragen. Dies betrifft zum einen den Einsatz der bereits erwähnten ökologischen bzw. bodenkundlichen Baubegleitung sowie die Begleitung des Vorhabens durch ein ökologisches Monitoring. Daten und Erkenntnisse sollten veröffentlicht werden, um den Stand des Wissens insbesondere in Bezug auf potenzielle Auswirkungen auf die Schutzgüter sowie die ökologischen Funktionen der Flächen fortzuschreiben (BUND et al. 2021).

Zu den Anforderungen zählt weiter die frühzeitige Beteiligung verschiedener Akteurinnen und Akteure, wie etwa die zuständige Naturschutzbehörde und lokale/regionale Naturschutzverbände, um deren Expertise miteinzubeziehen (NABU und BSW 2021). Dies gilt ebenso für die ökologische Baubegleitung.

Kommunen sollten hinsichtlich ihrer Handlungsspielräume zur Festsetzung von Anforderungen für den Naturschutz und die wirtschaftlichen Aspekte des Vorhabens qualifiziert werden, um diese optimal nutzen zu können (vgl. NABU und BSW 2021). Die Kommunen selbst sind aufgefordert, diese Handlungsspielräume zu nutzen und in ihre Planung einzubeziehen (vgl. NABU Baden-Württemberg e. V. et al. 2019). Dies gilt auch für Erkenntnisse aus der Akzeptanzforschung zum Ausbau der erneuerbaren Energien, wie etwa die Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit vor Ort (Hübner et al. 2019). Die Umsetzung erfolgt idealerweise im Zusammenhang mit der Entwicklung eines Standortkonzepts, das eine Angebotsplanung PV-FFA für das gesamte Gemeindegebiet umfasst (Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree 2020).

6.5.6 Anreize für naturschutzfachliche Aufwertungen

Für eine Umsetzung in der Praxis ist die Entwicklung geeigneter Anreizinstrumente denkbar, die Definition von bundesweit einheitlichen Vorgaben würde außerdem Wettbewerbsnachteile vermeiden (Bruns 2021) und den Kommunen eine fachliche Grundlage bei der Festlegung von Planungsanforderungen, etwa in städtebaulichen Verträgen, bieten (vgl. NABU 2021).

Für eine selbstverständliche Umsetzung weitergehender Naturschutzmaßnahmen sprechen sich Unternehmen der Solarwirtschaft aus, welche die durch den Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) veröffentlichte Selbstverpflichtung „Gute Planung von Photovoltaik-Freilandanlagen“ unterzeichnet haben¹⁸. Der Verband empfiehlt darin, „bei der Planung, Errichtung und dem Betrieb von PV-Freilandanlagen einen über die regulatorischen Vorgaben hinausgehenden Beitrag zu leisten, der sowohl die Akzeptanz bei Gemeinden, Landwirten und Bürgern

¹⁸ <https://www.bne-online.de/de/verband/gute-planung-pv/>

vor Ort stärkt, deren Interessen ernst nimmt, als auch dem Umwelt- und Naturschutz zu Gute kommt“ und „Best Practice zum Standard zu erheben.“

Konzepte und Betrieb der Anlagen sollen im Idealfall entsprechend der veröffentlichten Selbstverpflichtung dieser Unternehmen auf die Erhöhung der Biodiversität als auch hinsichtlich der Integration in das Landschaftsbild so ausgerichtet sein, dass kein naturschutzfachlicher Ausgleich für den Eingriff der PV-FFA-Errichtung nötig ist, da der Betrieb der PV-FFA dem Naturhaushalt besser dient, als die vorherige Ackernutzung. Weiter führen die Autoren an, dass Ausgestaltung bzw. Maßnahmen auf der Fläche auch zu einer Überkompensation beitragen können, die für andere Ausgleichszwecke genutzt werden können (Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V. 2022). Das kann so verstanden werden, dass die Anforderungen der Eingriffsregelung so zu gestalten und ggf. für diesen Vorhabentyp so zu standardisieren sind, dass definierte Maßnahmen im Bereich der Anlage zur Erfüllung der rechtlichen Anforderungen ausreichen können. Sollte sich ein derartiger freiwilliger und selbstverständlicher Anspruch nach dem Best Practice-Ansatz im Anlagenkonzept nicht darstellen, stellt sich die Frage nach möglichen Anreizinstrumenten, die den Prozess der Planung und Realisierung von Maßnahmen über das Kompensationserfordernis hinaus befördern können. Im Folgenden werden zwei Aspekte besprochen, die als Ansatzpunkte diskutiert werden.

Ökokonto/Flächenpools und weitere Instrumente des Naturschutzes

In verschiedenen Zusammenhängen wird darauf hingewiesen, dass Biotopentwicklungen in Solarparks dazu geeignet sind, um in Flächenpools bzw. Ökokonten angerechnet zu werden. So weist Bruns (2021) darauf hin, dass eine Refinanzierung von naturschutzfachlichen Aufwertungen von Solarparkflächen über ein Ökokonto denkbar wäre. Auch der Handlungsleitfaden des Umweltministeriums Baden-Württemberg stellt dar, wie eine durch freiwillige Maßnahmen naturnahe und zielartenausgerichtete Gestaltung von PV-FFA-Flächen – unabhängig vom dem für die Errichtung der PV-FFA verpflichtenden Bebauungsplanverfahren – mit dem Ökokontoverfahren messbar sind (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019).

Dafür sind zunächst die gesetzlichen Anforderungen zu betrachten: Nach § 15 (2) BNatSchG ist der Verursacher eines Eingriffs verpflichtet, diejenigen Beeinträchtigungen, die nicht durch entsprechende Maßnahmen vermieden werden können, durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege auszugleichen (Ausgleichsmaßnahmen) oder zu ersetzen (Ersatzmaßnahmen). Die entsprechenden Maßnahmen müssen dazu beitragen, die durch den Eingriff herbeigeführte Minderung von Leistungen und Funktionen des Naturhaushalts an anderer Stelle durch entsprechende Aufwertungen von Leistungen und Funktionen des Naturhaushalts und/oder des Landschaftsbildes in der Bilanz auszugleichen.

Ausgeglichen ist eine Beeinträchtigung nach § 15 (2) BNatSchG, wenn und sobald die beeinträchtigten Funktionen des Naturhaushalts in gleichartiger Weise wiederhergestellt sind und das Landschaftsbild landschaftsgerecht wiederhergestellt oder neugestaltet ist. Ersetzt ist eine Beeinträchtigung, wenn und sobald die beeinträchtigten Funktionen des Naturhaushalts in dem betroffenen Naturraum in gleichwertiger Weise hergestellt sind und das Landschaftsbild landschaftsgerecht neugestaltet ist. Eine betreffende Maßnahme muss also immer zu einer Neuschaffung oder zumindest Aufwertung von Funktionen des Naturhaushaltes führen.

Mit Bezug auf besonders naturschutzfördernde PV-FFA ist dabei der Frage nachzugehen, ob, und wenn ja unter welchen Bedingungen durch die Errichtung und den Betrieb eine Aufwertung von Leistungen und Funktionen des Naturhaushaltes erreicht werden kann.

PV-FFA können im Zusammenhang mit der Eingriffsregelung damit grundsätzlich nur für Kompensationsleistungen infrage kommen, wenn damit eine Aufwertung von Funktionen des Naturhaushaltes verbunden ist, die über die erforderliche Kompensation des durch die Anlage selbst verursachten Eingriffs hinausgehen und davon unabhängig ermittelt werden.

Anders formuliert: Maßnahmen für die Anrechnung in Flächenpools/Ökokonten werden gesondert zu dem Kompensationsverfahren des Eingriffs der PV-FFA selbst in einem unabhängigen Verfahren geplant, umgesetzt, anerkannt und vergütet.

Voraussetzung dafür ist zum einen, dass die formalen Anforderungen an die Meldung und Anerkennung von „Pool-Maßnahmen“ erfüllt werden. Diese Anforderungen sind etwa in entsprechenden Landesverordnungen oder kommunalen Regelwerken festgelegt. Sie betreffen beispielsweise:

- Die Lage der Maßnahmen nach Naturraum, Gemeinde und Gemarkung.
- Die eindeutige Verortung der Maßnahmen in Katasterplänen oder Luftbildern.
- Die Angabe der Flurstücknummern.
- Die Flächengrößen der Maßnahmen.
- Angaben über die Eigentumsverhältnisse.
- Die Angabe der verantwortlichen Maßnahmenträger (z. B. Flächenagenturen).
- Nachweise der durch die Maßnahmen erreichten Aufwertung durch einen Bestands- und Maßnahmenplan mit Erläuterung und einer wertenden Bilanzierung der Bestandssituation und der Planung (vgl. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019).

Weiter müssen die Maßnahmen, inklusive der erforderlichen Pflegeaktivitäten, dauerhaft gewährleistet sein, mindestens aber für die Dauer des Eingriffs. In der Praxis bedeutet dies häufig einen Zeitraum von 30 Jahren. Die Festsetzung geschieht in der Regel durch den entsprechenden Eintrag ins Grundbuch, so dass die mit der Aufnahme in das Ökopunkteverzeichnis verbundenen Rechte und Pflichten (wie beispielsweise dauerhafter Erhalt und Pflege) bei einem Verkauf der Flächen auf den Erwerber/die Erwerberin übergehen. Es sind nur solche Maßnahmen anrechenbar, die nicht Teil der notwendigen Ausgleichsmaßnahmen im Bebauungsplan waren. Eine Überkompensation des Eingriffs der PV-FFA durch die als Ausgleichsmaßnahme typische Grünlandeinsaat unter den Modulen, ist in jedem Fall nicht dem Ökokonto sondern dem Eingriff zuzuordnen (BUND et al. 2021).

In der Praxis ist davon auszugehen sowie aus naturschutzfachlicher Perspektive zu befürworten, dass die durch Module überstellte Fläche, die Fläche zwischen den Modulreihen ebenso wie zwischen Umzäunung und dem mit Modulen überstelltem Bereich, für Ausgleichsmaßnahmen des durch die PV-FFA selbst verursachten Eingriffs benötigt werden. Ökokontomaßnahmen sind folglich nur auf assoziierten Flächen außerhalb davon umsetzbar. Je nach Anlagenausgestaltung, z. B. durch Freiflächen innerhalb der PV-FFA, oder durch die im Maßnahmenplan angesprochenen Zielarten, z. B. Bodenbrüter des Offenlandes, ist jedoch auch die Umsetzung von Maßnahmen innerhalb des umzäunten Bereichs denkbar (vgl. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019).

Neben finanziellen Anreizen durch die Umsetzung von ökokontofähigen Maßnahmen, könnten weitere Möglichkeiten für die Umsetzung von Aufwertungsmaßnahmen im Zusammenhang mit PV-FFA geprüft werden. Bruns (2021) schlägt in diesem Zusammenhang vor zu untersuchen, unter welchen Voraussetzungen die Maßnahmenfinanzierung aus Mitteln des Vertragsnaturschutzes oder aus Artenhilfsprogrammen erfolgen kann.

Zertifizierung von Anlagen

Mit einem Beitrag zur Umsetzung der Energiewende im Einklang mit der Natur setzt sich das Projekt EULE – Evaluierungssystem für eine umweltfreundliche und landschaftsgerechte Energiewende – mit dem Fokus auf kPV-FFA im Bestand auseinander.

Die Grundidee besteht dabei darin, die Umsetzung von über das Kompensationserfordernis der Eingriffsregelung hinausgehenden Maßnahmen zur Erhöhung des ökologischen Werts der PV-FFA durch den Anlagenbetreiber durch ein Zertifizierungsangebot zu befördern. Als wirtschaftlicher Anreiz wird der Mehrkostenaufwand über die Kosten für die Maßnahmenumsetzung hinaus honoriert. Die Finanzierung wird über die Zusatzzahlung von einem Cent – dem EULE-Cent – pro Kilowattstunde durch die Stromkundinnen und -kunden auf den Strompreis gewährleistet.

Grundlage dafür ist ein Auditsystem zur Erfassung des ökologischen Ist-Zustandes sowie dessen Erhöhung durch die Umsetzung des Maßnahmenkonzepts. Das standardisierte Bewertungsverfahren berücksichtigt Maßnahmen zur Steigerung der Biodiversität, zur Umweltbildung und Akzeptanz sowie zur Standortauswahl und Anlagenausgestaltung. Die Durchführung des Audits erfolgt durch EULE-Gutachter*innen und verläuft über fünf Jahre von einem Erstzertifizierungs-Audit, über ein Kontroll-Audit nach zwei Jahren sowie das Rezertifizierungs-Audit nach fünf Jahren. In diesem Kontext ist auch definiert, nach welchen Vorgaben die Bestandserfassungen im Rahmen der Auditierung erfolgen müssen.

Das ökologische Maßnahmenkonzept wird anlagenspezifisch erarbeitet, auch das dafür zu durchlaufende Verfahren ist im Konzept detailliert beschrieben. Außerdem wird ein umfangreicher Maßnahmenkatalog zur naturschutzfachlichen Aufwertung und Pflege bereitgestellt.

Die inzwischen abgeschlossene Projektphase 1 mit Fokus auf die Auditierung von Bestandsanlagen wird um weitere Projektphasen erweitert. Dort stehen Neuanlagen im Mittelpunkt, außerdem die Entwicklung von Standards für die umweltbezogenen Prüf- und Berichtspflichten im Rahmen der Bauleitplanung, die Erstellung eines Leitfadens für die kommunale Planung sowie das Marketing für die Markteinführung des EULE-Konzepts und der Realisierung eines Leuchtturmprojekts (Honecker et al. 2021, mündl. Mitt.).

7 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Haben bereits die ersten in Deutschland verfassten Studien und Untersuchungen zu den potenziellen Auswirkungen von kPV-FFA auf Natur und Landschaft Forschungsbedarfe formuliert, sind bis heute einzelne Fragestellungen aus naturschutzfachlicher Perspektive unbeantwortet.

Montag et al. (2016) sehen auf Grundlage ihrer Forschungsergebnisse weiteren Bedarf in der Klärung der Auswirkungen von PV-FFA auf die Habitatnutzung von Fledermäusen. In Bezug auf die Avifauna wird derzeit noch Forschungsbedarf im Themenkomplex Greifvögel und PV-FFA als Nahrungshabitate gesehen (KNE 2021a). Dies betrifft ebenso die Eignung von PV-FFA als Brut- und Nahrungshabitate für bodenbrütende Offenlandhabitate. Hier ist der Wissensstand derzeit gering (KNE 2021b). Auch bezüglich des Meideverhaltens von Arten, einschließlich den Auswirkungen der Wartung und des Anlagenrückbaus, wird weiter Forschungsbedarf gesehen (NABU 2021).

Zum Landschaftsbild und „der durchschnittlichen Entfernung, aus der eine Anlage sichtbar ist“ sowie, im Zusammenhang mit Hanglagen, größeren Modulen oder nachgeführten Anlagen wird ebenso Bedarf für weitere Untersuchungen gesehen (KNE 2020). Übergreifend werden Wissenslücken über die Kurz- und insbesondere die Langzeitwirkungen von einzelnen und mehreren PV-FFA in einer Region festgestellt (NABU 2021).

Um das Potenzial von PV-FFA zur Förderung der Biodiversität und weiterer Schutzgüter des Naturschutzes differenzierter bewerten zu können, empfehlen Montag et al. (2016) eine Erweiterung der Datenlage um Untersuchungen an zusätzlichen sowie Anlagen unterschiedlichen Alters. Ebenso sollten Anlagen mit unterschiedlicher Vornutzung, insbesondere Grünland und Ackerflächen, im Hinblick auf die Auswirkungen der Bodengüte auf das Potenzial der Diversität der Flora untersucht werden (ebd.). Die Forschenden sprechen sich außerdem für die Ermittlung der Ökosystemdienstleistungen von PV-Anlagen, z. B. in Bezug auf CO₂-Speicherung, Wasserkreislauf und Erosionskontrolle, in zukünftigen Forschungen aus (ebd.).

Aufgrund der Tatsache, dass es sich bei Agri-Photovoltaik-Anlagen um eine recht junge Anwendung handelt, stehen in der Forschung die Themen Pflanzenphysiologie, Ertragsentwicklung und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Der Forschungsbedarf zu den ökologischen Zusammenhängen ist dementsprechend groß. Dies betrifft die oben bereits genannten Aspekte wie die Bewertung des Landschaftsbildes in Abhängigkeit von Gesamthöhe- und Fläche der Anlagen.

Wird bei kPV-FFA bzw. Anlagen mit schräg stehenden Modulen davon ausgegangen, dass Fledermäuse vermutlich nicht von Kollisionen mit PV-FFA betroffen sein würden, haben jüngere Studien gezeigt, dass hier ein potenzielles Risiko für Kollisionen und Lebensraumverluste durch Meidung besteht (Greif et al. 2017, Montag et al. 2016). Die Untersuchungen von Greif et al. (2017) geben Anlass, den Aspekt der Kollision vorrangig für vertikale Module (vertikale APV-FFA und nachgeführte Anlagen) vertiefter in den Blick zu nehmen.

Da es abgesehen von vertikalen Anlagen derzeit im Bereich APV lediglich kleinflächige Pilotanlagen gibt, wäre die Umsetzung entsprechend größerer Demonstrationsanlagen mit wissenschaftlicher Begleitung zielführend (NABU und BSW 2021). Scharf et al. (2021) sehen hier besonderen Bedarf für vertikale Anlagen und fordert die Entwicklung eines Förderrahmens

entsprechend der Ergebnisse. Auch Trommsdorff et al. (2020) sehen den Bedarf zur Umsetzung größerer Pilotanlagen sowie weiterer Forschungsvorhaben, um die „ökologischen und ökonomischen Chancen und Risiken“ zu untersuchen und verlässliche Aussagen treffen zu können. Dies betrifft auch die Bestimmung der Landnutzungsrate (LNR), die häufig in Bezug auf die hohe Flächeneffizienz von APV als Argument für die Umsetzung der Technik gebraucht wird (Scharf et al. 2021). Das Wissen zu pflanzenphysiologischen Aspekte wie der Schattentoleranz einzelner Kulturen oder dem Potenzial der Bodenwasserrückhaltung ist noch unvollständig, sollte aber mit Blick auf das Potenzial von APV als Klimaanpassungsmaßnahme in der Landwirtschaft bzw. zur Erhöhung deren Resilienz gegenüber der Klimaerwärmung weiter in den Blick genommen werden (Barron-Gafford et al. 2019; Chamara und Beneragama 2020).

Für die Umsetzung von biodiversitätsfördernden Maßnahmen bei APV sollten die Ertragseffekte von Blühstreifen und ähnlichen Maßnahmen ebenso wie die „praxisgerechte Untersuchung der betrieblichen Mehraufwände für die typischen Bearbeitungsschritte in der Landwirtschaft“ analysiert werden (Trommsdorff et al. 2020). In diesem Kontext sollte „verstärkt auf die Synergie-Effekte von Biodiversitäts- und Klimaschutz durch Photovoltaik-Anlagen gesetzt und dazu geforscht werden“ (NABU und BSW 2021). Ebenso wie in Bezug auf das ökologische Wirkungswissen zu APV sollten Naturschutzmaßnahmen ebenso an größeren Pilotanlagen wissenschaftlich begleitet und auf ihre Funktionalität hin überprüft werden. Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann deren Anwendung fortlaufend qualifiziert und quantifiziert werden. In diesem Zusammenhang wäre im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben künftig auch zu prüfen, inwieweit eine Anerkennung der unversiegelten, nicht landwirtschaftlich genutzten Teilflächen (Modulbereiche) als Ausgleichsflächen möglich ist.

Um den notwendigen Beitrag von PV-FFA zur Steigerung der Biodiversität, insbesondere in der Agrarlandschaft, zu operationalisieren wird die Notwendigkeit gesehen, „Verpflichtungen zur Aufwertung von Lebensräumen in Solarparks“ aufzuerlegen (Bruns 2021). Um in diesem Zusammenhang Wettbewerbsnachteile zu vermeiden, sind bundesweit einheitliche Standards ein Ansatz (ebd.).

Für die breite Umsetzung von nicht nur naturverträglichen, sondern naturfördernden PV-FFA sind entsprechende Informationen zielgruppengerecht in Leitfäden oder digital an die wichtigen Akteursgruppen weiterzugeben (vgl. NABU & BSW 2021). Hierfür existiert für landwirtschaftliche Flächen bereits gut nutzbares Material, das um den Aspekt der Photovoltaik ergänzt werden könnte (vgl. dazu Becker et al. 2020; Bötzel et al. 2021; Gottwald und Stein-Bachinger 2016; Stommel et al. 2018 sowie das Projekt F.R.A.N.Z.).

In verschiedenen Diskussionen insbesondere zur räumlichen Steuerung der Freiflächen-Photovoltaik war ein häufiges Thema die Nutzung von bereits für Windenergieanlagen ausgewiesene bzw. in Anspruch genommene Flächen für PV-FFA. Denkbar wäre eine ähnliche Konstellation mit der Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen, die aktuell dem intensiven Energiepflanzenanbau dienen. Diese könnten in Teilen durch PV-FFA entweder extensiviert oder durch APV-Konzepte mit Naturschutzmaßnahmen genutzt werden.

Ergänzend zeigt die folgende Tabelle eine Übersicht aktueller Forschungsarbeiten im Themenkomplex.

Tab. 11: Übersicht laufender Forschungsvorhaben zu PV-FFA.

Titel	Bearbeitung	Inhalte/Ziele	Laufzeit
PV follows function. Flächen- und gebäudeintegrierte PV für einen ressourcenschonenden und akzeptanzsteigernden EE-Ausbau in der Großregion	IZES gGmbH, Next2Sun GmbH, Université de Lorraine, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires (ENSAIA) u. A.	Stärkung der technischen Weiterentwicklung und Umsetzung der "integrierten Photovoltaik" auf passenden landwirtschaftlichen Flächen, auf Gebäuden zum Pflanzenanbau im weitesten Sinne und an Firmen- und Wohngebäuden.	11/2020 bis 12/2022
Nachhaltige Kombination von bifacialen Solarmodulen, Windenergie und Biomasse bei gleichzeitiger landwirtschaftlicher Flächennutzung und Steigerung der Artenvielfalt („Agri4Power“)	Fraunhofer IMW, Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, Stiftung Kulturlandschaften Sachsen-Anhalt und Helmholtz Zentrum für Umweltforschung	Das Projekt adressiert verschiedene, aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen gleichzeitig, u. a. das Erarbeiten marktwirtschaftlicher Geschäftsmodelle für erneuerbare Energien und die Flächenkonkurrenz zwischen Energie- und Nahrungsmittelerzeugung.	5/2020 bis 7/2021
Hydrologie und Energiewende	HTW Dresden	Auswirkungen der PV-Freiflächenanlagen auf den Bodenwasserhaushalt und die Grundwasserneubildung	k. A.
PV-Freiflächenanlagen in der Landwirtschaft	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Betriebswirtschaft	Ermittlung des aktuellen und künftigen Flächenbedarfs für unterschiedliche Energieszenarien und Photovoltaikkonzepte.	8/2020 bis 7/2024
WATERMED 4.0 – Intelligente Technologien zur Verbesserung der Qualität und Sicherheit der Landwirtschaft im Mittelmeerraum	Fraunhofer ISE, University of Murcia, Central Board of Users of Vinalopó Basin u. A.	Analyse des Potenzials von Agrophotovoltaik-Anwendungen (APV) in Bezug auf eine Reduzierung des Bewässerungsbedarfs durch Abschattung, PV-basierte Wasseraufbereitung von minderwertigem Wasser (LQW) und Forschung zur Analyse, wie Wasserpumpen, Sensoren, Wasseraufbereitung oder andere elektrische Geräte des Wassersystems den von der PV-Schicht erzeugten Strom nutzen können.	6/2019 bis 5/2022
APV Obstbau – Agri-Photovoltaik als Resilienzkonzept zur Anpassung an den Klimawandel im Obstbau	Bio-Obsthof Nachtwey, BayWa r.e. Solar Projects GmbH, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinland (DLR) u. A.	Untersuchung, inwieweit Agri-PV Schutzfunktionen in Bezug auf klimawandelbedingt erhöhte Sonneneinstrahlung, steigende Temperaturen und Extremwetterereignisse im Apfel-Obstbau übernehmen kann.	04/2020 bis 03/2025
Umweltverträgliche Standortsteuerung von Solar-Freiflächenanlagen	Bosch & Partner GmbH, ZSW Stiftung Umweltenergierecht	Definition einer geeigneten Flächenkulisse für den möglichst umweltverträglichen Ausbau von PV-FFA und Analyse, Bewertung und ggf. Weiterentwicklung der Möglichkeiten zur planerischen und planungsrechtlichen räumlichen Steuerung	10/2019 bis 02/2022
Evaluierungssystem für eine umweltfreundliche und landschaftsverträgliche Energiewende (EULE)	HTW, Erzeugergemeinschaft für Energie in Bayern eG, regionalwerke GmbH & Co. KG, Prof. Schaller UmweltConsult GmbH	Das bestehende Auditierungs-System soll methodisch und mit Blick auf die Übertragbarkeit in ein digitales Regelinstrument weiterentwickelt werden, um erstmals die regenerative Stromerzeugung qualitativ sowie nach ökologischen und sozialen Kriterien zu bewerten.	Projektphase II: 10/2020 bis 09/2021

8 Literaturverzeichnis

- 365° freiraum + umwelt (2016): Umweltbericht zur 1. Änderung des Flächennutzungsplanes. Ausweisung eines Sondergebietes „Forschungsanlage Agrophotovoltaik“ in Herwangen. Schönach, Heggelbach. Vorentwurf. 13.01.2016. Freiburg.
- Agri-Photovoltaik GbR (2021): Online-Interview mit Thomas Rebitzer am 22.06.2021.
- Armstrong, A., Ostle, N., Whitaker, J. (2016): Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters* 11 (7): 74016.
- Badelt, O., Niepelt, R., Wiehe, J., Matthies, S., Gewohn, T., Stratmann, M., Brendel, R., von Haaren, C. (2020): Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft (INSIDE). Hannover: 194 S.
- Barron-Gafford, G., Pavao-Zuckerman, M., Minor, R., Sutter, L., Barnett-Moreno, I., Blackett, D., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A., Nabhan, G., Macknick, J. (2019): Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability* 2 (9): 848-855.
- Barron-Gafford, G., Minor, R., Allen, N., Cronin, A., Brooks, A., Pavao-Zuckerman, M. (2016): The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures. *Scientific reports* 6: 35070.
- Bauern- und Winzerverband Rheinland-Nassau (2021): Positionspapier des Bauern- und Winzverbandes Rheinland-Nassau zu Photovoltaik-Freiflächenanlagen und Klimawandel: 3 S.
- Bauernverband Sachsen-Anhalt e.V. (2020): Photovoltaik auf landwirtschaftlichen Flächen. Positionierung des Landesvorstandes: 5 S.
- Bayerischer Bauernverband (2020): PV-Freiflächenanlagen mit Maß und Rahmenbedingungen ausbauen. Stellungnahme der Präsidentenkonferenz.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2014): Praxis-Leitfaden für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen: 70 S.
- Becker, N., Muchow, T., Schmelzer, M. (2020): AgrarNatur-Ratgeber. Arten erkennen, Maßnahmen umsetzen, Vielfalt bewahren: 224 S.
- Bodensee-Stiftung, BUND Baden-Württemberg, LNV Baden-Württemberg, NABU Baden-Württemberg (2017): Vorschläge für Planungshinweise zur guten fachlichen Praxis beim Bau von Solarfreiflächenanlagen in benachteiligten Gebieten von Bodensee-Stiftung, BUND, LNV und NABU, Stand, 10.05.2017: 3 S.
- Bosch, S., Peyke, G. (2011): Gegenwind für die Erneuerbaren – Räumliche Neuorientierung der Wind-, Solar- und Bioenergie vor dem Hintergrund einer verringerten Akzeptanz sowie zunehmender Flächennutzungskonflikte im ländlichen Raum. *Raumforschung und Raumordnung* 69 (2): 105-118.
- Bötzl, F., Krauss, J., Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I. (2021): Diversität braucht Kontinuität – wie Blühflächen die Artenvielfalt fördern können 43(1)/2021.
- Brohm, R., Nguyen, T. M. D. (2018): Dual use approaches for solar energy and food production. *International experience and potentials for Viet Nam*: 88 S.
- Bruns, E. (2021): Bundesweit einheitliche Biodiversitätsvorgaben für Solarparks erarbeiten. *Tagesspiegel Background*: 2 S.
- BUND, NABU Baden-Württemberg, Bodensee-Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg (2021): Hinweise für den naturverträglichen Ausbau von Freiflächensolaranlagen (Juli 2021): 9 S.

- BUND, NABU Baden-Württemberg (2021): Solarenergie Positionspapier von BUND und NABU: 13 S.
- BUND Naturschutz in Bayern (2021): BN-Position zu Photovoltaik-Anlagen.
- BUND Sachsen (2014): Position des Landesverbandes Sachsen-Anhalt e. V. zu Photovoltaik und Naturschutz.
- Bundesamt für Naturschutz (2020): Erneuerbare Energien Report: 44 S.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2021): Bundesministerium fördert innovative Agro-Photovoltaik.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021a): Verordnung zur Umsetzung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2021 und zur Änderung weiterer energierechtlicher Vorschriften. 2021.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021b): Altmaier legt erste Abschätzung des Stromverbrauchs 2030 vor.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015a): Ausschreibung für Photovoltaik-Freiflächenanlagen: Wer am wenigsten fordert, wird gefördert. Energiewende | Faktenblatt.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015b): Verordnung zur Einführung von Ausschreibungen der finanziellen Förderung für Freiflächenanlagen sowie zur Änderung weiterer Verordnungen zur Förderung der erneuerbaren Energien. Freiflächenausschreibungsverordnung - FFAV. 2015.
- Bundesnetzagentur (2021a): Anforderungen an die besonderen Solaranlagen nach § 15 Innovationsausschreibungsverordnung (InnAusV).
- Bundesnetzagentur (2021b): Ausschreibungsverfahren für Solaranlagen des 1. Segments. Verordnungen der Bundesländer. URL: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Ausschreibungen/Solaranlagen1/Ausschreibungsverfahren/start.html (gesehen am: 19.10.2021).
- Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V. (2022): Gute Planung von PV-Freiflächenanlagen. Wie sich Energiewende, Umwelt- und Naturschutz vereinen lassen: 9 S.
- C.A.R.M.E.N. e. V. (2021): Positionspapier zu Freiflächen- und Agri-PV: 7 S.
- Chamara, R., Beneragama, C. (2020): Agrivoltaic systems and its potential to optimize agricultural land use for energy production in Sri Lanka: A Review. Journal of Solar Energy Research (JSER) Vol 5 No 2/2020: 417-431.
- Demuth, B., Maack, A., Schumacher, J. (2018): Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Planung und Installation mit Mehrwert für den Naturschutz.
- Deutscher Bauernverband, Fraunhofer ISE (2021): Agri-Photovoltaik: Fraunhofer ISE und Deutscher Bauernverband sehen Korrekturbedarf im EEG. Positionspapier, April 2021: 4 S.
- DIN Deutsches Institut für Normung (2021): Agri-Photovoltaik-Anlagen - Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung. (Beuth Verlag GmbH): 26 S.
- Dinesh, H., Pearce, J. (2016): The potential of agrivoltaic systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews 54: 299-308.
- Elysium Solar GmbH (2021): Agri-PV - Chancen und das Beispiel von Elysium Solar.
- Erzeugergemeinschaft für Energie in Bayern eG (2021): Artenvielfalt am Solarfeld Oberndorf.

- Europäische Kommission (1997): 97/172/EG: Entscheidung der Kommission vom 10. Februar 1997 zur Änderung der Abgrenzung der gemäß Richtlinie 75/268/EWG in Deutschland benachteiligten Gebiete.
- F&P Netzwerk Umwelt GmbH (2021): PV-Freiflächenanlagen auf Ackerflächen am Beispiel der PV-Freiflächenanlage Guntramsdorf: 3 S.
- faktorgrün (2020): Bebauungsplan "Solarpark"-Donaueschingen, Ortsteil Aasen. Umweltbericht zur Änderung des Flächennutzungsplans. Rottweil, den 15.06.2020. Frühzeitige Beteiligung: 5 S.
- Fischer, J., Steinlechner, D., Zehm, A., Poniatowski, D., Fartmann, T., Beckmann, A., Stettmer, C. (2020): Die Heuschrecken Deutschlands und Nordtirols Bestimmen – Beobachten – Schützen. 2. Aufl. Wiebelsheim (Quelle & Meyer Verlag): 32 S.
- Flexible Vergütungsmodelle für Freiflächenanlagen. top agrar.
- Fraunhofer IMW (2021): Agri 4 Power. Landwirtschaft neu gedacht. Entwurf zum Schlussbericht: 70 S.
- Gemeinde Bodenkirchen (2011): Vorhabenbezogener Bebauungsplan mit Grünordnungsplan. SO Solaranlage Oberndorf.
- Gerhards, C., Weber, U., Klafka, P., Golla, S., Hagedorn, G., Baumann, F., Brendel, H., Breyer, C., Clausen, J., Creutzig, F., Daub, C.-H., Helgenberger, S., Hentschel, K.-M., Hirschhausen, C. von, Jordan, U., Kemfert, C., Krause, H., Linow, S., Oei, P.-Y., Pehnt, M., Pfennig, A., Präger, F., Quaschnig, V., Schneider, J., Spindler, U., Stelzer, V., Sterner, M., Wagener-Lohse, G., Weinsziehr, T. (2021): Klimaverträgliche Energieversorgung für Deutschland – 16 Orientierungspunkte / Climate-friendly energy supply for Germany—16 points of orientation (Zenodo).
- Gottwald, F., Stein-Bachinger, K. (2016): Handbuch Landwirtschaft für Artenvielfalt. Ein Naturschutzmodul für ökologisch bewirtschaftete Betriebe: 106 S.
- Greif, S., Zsebök, S., Schmieder, D., Siemers, B. (2017): Acoustic mirrors as sensory traps for bats. *Science (New York, N.Y.)* 357 (6355): 1045-1047.
- Guerin, T. (2017): A case study identifying and mitigating the environmental and community impacts from construction of a utility-scale solar photovoltaic power plant in eastern Australia. *Solar Energy* 146: 94-104.
- Guiller, C., Affre, L., Deschamps-Cottin, M., Geslin, B., Kaldonski, N., Tatoni, T. (2017): Impacts of solar energy on butterfly communities in mediterranean agro-ecosystems. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 36 (6): 1817-1823.
- Günnewig, D., Johannwerner, E., Kelm, T., Metzger, J., Wegner, N., Moog, C., Kamm, J. (2022): Umweltverträgliche Standortsteuerung von Solar-Freiflächenanlagen. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, unveröffentlicht.
- Günnewig, D., Sieben, A., Püschel, M., Bohl, J., Mack, M. (2007): Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen: 126 S.
- Harrison, C., Loyd, H., Field, C. (2017): Evidence review of the impact of solar farms on birds, bats and general ecology: 125 S.
- Hassanpour Adeh, E., Selker, J., Higgins, C. (2018): Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PloS one* 13 (11): e0203256.
- Herden, C., Gharadjedaghi, B., Rasmus, J. (2009): Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. Endbericht. BfN-Skripten 247. 2006. Aufl. Bonn (Bundesamt für Naturschutz)168, XIV S.

- Hernandez, R., Easter, S., Murphy-Mariscal, M., Maestre, F., Tavassoli, M., Allen, E., Barrows, C., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., Allen, M. (2014): Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 766-779.
- Honecker, R., Engl, A., Reinke, A., Zwander, H. (2020): Evaluierungssystem für eine umweltfreundliche und landschaftsverträgliche Energiewende, am Beispiel von Solarfeldern. *Endbericht EULE*: 133 S.
- 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 (6): 1644-1653.
- Hübner, G., Pohl, J., Warode, J., Gotchev, B., Nanz, P., Ohlhorst, D., Krug, M., Salecki, S., Peters, W. (2019): Naturverträgliche Energiewende. Akzeptanz und Erfahrungen vor Ort: 44 S.
- Iföna GmbH (2017a): Vorhabenbezogener Bebauungsplan "Solarpark Dirmingen".
- Iföna GmbH (2017b): spezielle artenschutzrechtliche Prüfung (Brutvögel, Tagfalter). Solarpark Dirmingen, Gemeinde Eppelborn.
- IPBES (2019): Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio, E. S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H. T. (eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- IPCC (2018): Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Jedicke, E. (2014): Ökosystemdienstleistungen des Grünlandes - welche Grünlandnutzung brauchen wir?: 11 S.
- Kagan, R., Viner, T., Trail, P., Espinoza, E. (2014): Avian Mortality at Solar Energy Facilities in Southern California: A preliminary Analysis 2014.
- Keinath, T. (2021): Agri-Photovoltaik. Hybridnutzung landwirtschaftlicher Flächen. Online-Konferenz Agri-Photovoltaik – Hybridnutzung landwirtschaftlicher Flächen. online
- Kelm, T., Metzger, J., Jachmann, H., Günnewig, D., Püschel, M., Schicketanz, S., Kinast, P., Thylmann, M., Nazerian, V. (2019a): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz. Teilvorhaben II c: Solare Strahlungsenergie. 01: 167 S.
- Kelm, T., Metzger, J., Fuchs, A.-L., Schicketanz, S., Günnewig, D., Thylmann, M. (2019b): Untersuchung zur Wirkung veränderter Flächenrestriktionen für PV-Freiflächenanlagen. Kurzstudie im Auftrag der innogy SE.
- KNE (2021a): Anfrage Nr. 313 zu den Auswirkungen von Solarparks im Hinblick auf die Funktion als Nahrungshabitat für Greifvögel: 4 S.
- KNE (2021b): Anfrage Nr. 318 zu den Auswirkungen von Solarparks auf bodenbrütenden Offenlandarten: 7 S.
- KNE (2021c): Kriterien für eine naturverträgliche Gestaltung von Solar-Freiflächenanlagen. Übersicht und Hinweise zur Gestaltung: 6 S.
- KNE (2021d): Kriterien für eine naturverträgliche Standortwahl für Solar-Freiflächenanlagen. Übersicht über die Einschätzung der Eignung verschiedener Flächentypen: 15 S.

- KNE (2020): Auswirkungen von Solarparks auf das Landschaftsbild. Methoden zur Ermittlung und Bewertung: 24 S.
- Kolbe, H., Karalus, W., Schuster, M., Hänsel, M., Schaerff, A., Pölit, B. (2012): Kartoffeln im Ökolandbau. Dresden.
- Kosciuch, K., Riser-Espinoza, D., Gerringer, M., Erickson, W. (2020): A summary of bird mortality at photovoltaic utility scale solar facilities in the Southwestern U.S. PloS one 15 (4): e0232034.
- Krinner Carport GmbH (2021): Webpräsenz Agri-Photovoltaik.
- KTBL (Hrsg.) (2018): Betriebsplanung Landwirtschaft 2018/19. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. 26. Aufl.: 768 S.
- Landeck, I., Hildmann, C., Kempe, K., Gharadjedaghi, B., Martin, C. (2014): Langzeitwirkung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf Natur und Landschaft. Unveröffentl. Endbericht: 400 S.
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2021): Zauneidechse (*Lacerta agilis* Linnaeus, 1758). Steckbrief.
- Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz (2019): 10-Punkte-Katalog der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz zu Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen auf landwirtschaftlichen Flächen. (überarbeitete Version Oktober 2019): 6 S.
- Lasta, C., Konrad, G. (2018): Agrophtovoltaik: Doppelnutzung von Böden bei Flächenfraß als Gebot der Stunde. 15. Symposium Energieinnovationen. Technische Universität Graz: 11 S.
- Liu, Y., Zhang, R.-Q., Huang, Z., Cheng, Z., López-Vicente, M., Ma, X.-R., Wu, G.-L. (2019): Solar photovoltaic panels significantly promote vegetation recovery by modifying the soil surface microhabitats in an arid sandy ecosystem. Land Degradation & Development 30 (18): 2177-2186.
- Lutra Büro für Umweltplanung (2016a): Studie zur Bewertung der Schutzgüter sowie zum Eingriff / Ausgleich zum B-Plan "Solarpark Frauendorf". Gemeinde Neuhausen, Landkreis Spree-Neiße (Brandenburg): 22 S.
- Lutra Büro für Umweltplanung (2016b): Studie zur Bewertung der Schutzgüter sowie zum Eingriff / Ausgleich zum B-Plan „Solarpark Frauendorf“ Gemeinde Neuhausen, Landkreis Spree-Neiße (Brandenburg). Unveröffentl. Gutachten. Cottbus.
- Malec, S., Graß, R., Wachendorf, M. (2017): Auswirkungen unterschiedlicher Managementstrategien auf Ertrag und Bestandszusammensetzung des Grünlands in einem silvopastoralen Agroforstsystem, Anforderungen an den Pflanzenbau in einer sich urbanisierenden Welt. Witzenhausen.
- Matschoss, P., Wern, B., Baur, F. (2020): Die Rolle des Biogases in der Energiewende. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 70 (10).
- Meyercordt, A., Mücke, M., Seidel, K., Lux, G., Schmidtke, K., Wunderlich, B. (2012): Verbesserung der Vergleichbarkeit der Öko-Landessortenversuche mit der BSL.
- Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung Mecklenburg-Vorpommern (2021): Pegel & Backhaus: Mehr Photovoltaik wagen! / Kriterien für breitere Nutzung: 4 S.
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg (2021): Vorläufige Handlungsempfehlungen des MLUK zur Unterstützung kommunaler Entscheidungen für großflächige Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA).

- Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (2018): Vollzugshinweise zur "Landesverordnung über Gebote für Solaranlagen auf Grünlandflächen in benachteiligten Gebieten": 12 S.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (2020): Minister Untersteltler und Minister Hauk fordern vom Bund ein Fördersegment für Agro-Photovoltaikanlagen: 3 S.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019): Freiflächen-solaranlagen. Handlungsleitfaden: 84 S.
- Montag, H., Parker, G., Clarkson, T. (2016): The Effects of Solar Farms on Local Biodiversity: A Comparative Study: 53 S.
- NABU (2021): Der naturverträgliche Ausbau der Photovoltaik. Nutzung von Solarenergie in urbanen und ländlichen Räumen, auf Dächern und in der Fläche: 28 S.
- NABU, BSW (2021): Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Gemeinsames Papier, Stand April 2021: 8 S.
- NABU (2010): Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Basierend auf einer Vereinbarung zwischen der Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft e.V. (heute: BSW-Solar) und Naturschutzbund Deutschland - NABU.
- NABU Baden-Württemberg e. V., Bodensee Stiftung, BUND Baden-Württemberg e. V. (2019): Hinweise für den naturverträglichen Ausbau der Solarenergie: 4 S.
- Nagola Re GmbH (2019): Dokumentation Begehung Solarpark Frauendorf, 10.05. und 20.06.2019. Hinweise für Pflegemaßnahmen. Unveröffentlicht. Cottbus.
- Neuling, E. (2009): Auswirkungen des Solarparks „Turnow-Preilack“ auf die Avizönose des Planungsraums im SPA „Spreewald und Lieberoser Endmoräne“.
- Next2Sun GmbH (2021): Online-Interview mit Heiko Hildebrandt am 14.06.2021.
- Niemann, K., Rüter, S., Bredemeier, B., Diekmann, L., Reich, M., Böttcher, M. (2017): Photovoltaik-Freiflächenanlagen an Verkehrswegen in Deutschland. Ausbauzustand und mögliche Folgen für den Biotopverbund. *Natur und Landschaft* 92 (3): 119-128.
- Noll, F., Wern, B., Peters, W., Schicketanz, S., Kinast, P., Müller-Rüster, G., Clemens, D. (2020): Naturschutzbezogene Optimierung der Rohstoffbereitstellung für Biomasseanlagen. Endbericht im Projekt BiogasNatur. Endbericht im Projekt BiogasNatur. BfN-Skripten: 129 S.
- Parker, G., McQueen, C. (2013): Can Solar Farms Deliver Significant Benefits for Biodiversity. Preliminary Study July-August 2013: 23 S.
- Parkinson, S., Hunt, J. (2020): Economic Potential for Rainfed Agrivoltaics in Groundwater-Stressed Regions. *Environmental Science & Technology Letters* 7 (7): 525-531.
- Peschel, R., Peschel, T., Marchand, M., Hauke, J. (2019): Solarparks - Gewinne für die Biodiversität: 73 S.
- Peschel, T. (2010): Solarparks - Chancen für die Biodiversität. Erfahrungsbericht zur biologischen Vielfalt in und um Photovoltaik-Freiflächenanlagen: 19 S.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021a): Klimaneutrales Deutschland 2045. Zusammenfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende: 32 S.

- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2021b): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.
- Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut (2020): Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität: 180 S.
- Purr, K., Günther, J., Lehmann, H., Nuss, P. (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. RESCUE - Studie.
- Raab, B. (2015): Erneuerbare Energien und Naturschutz - Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. Anliegen Natur 37 (1): 67-76.
- Randle-Boggis, R., White, P., Cruz, J., Parker, G., Montag, H., Scurlock, J., Armstrong, A. (2020): Releasing co-benefits for natural capital and ecosystem services from solar parks: A co-developed, evidence-based approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews 125: 109775.
- Ravi, S., Macknick, J., Lobell, D., Field, C., Ganesan, K., Jain, R., Elchinger, M., Stoltenberg, B. (2016): Colocation opportunities for large solar infrastructures and agriculture in drylands. Applied Energy 165: 383-392.
- Regionale Planungsgemeinschaft Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg (2021): Planungshilfe für gesamträumliche Konzepte zur kommunalen Steuerung großflächiger Photovoltaikfreiflächenanlagen in der Planungsregion Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg. Empfehlung der Regionalversammlung am 30.04.2021. Köthen (Anhalt): 9 S.
- Regionale Planungsgemeinschaft Oderland-Spree (2020): Planungshilfe Freiflächen-Photovoltaikanlagen: 30 S.
- Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim (2020): Handreichung Planungskriterien für Photovoltaik-Freiflächenanlagen. 2. Aufl.: 16 S.
- Regionalwerke eG (2021): Online-Interview.
- Repowering einer Solar-Freiflächenanlage zur Agriphotovoltaikanlage. top agrar online.
- Rodríguez-Gallegos, D., Bieri, M., Gandhi, O., Prakash Singh, J., Panda, S. (2018): Monofacial vs bifacial Si-based PV modules: Which one is more cost-effective? Solar Energy Volume 176/2018: 412-438.
- Scharf, J., Grieb, M., Fritz, M. (2021): TFZ-Bericht 73: Agri-Photovoltaik – Stand und offene Fragen, Stand März 2021: 88 S.
- Scheurer, S. (2016): Einfluss von polarisiertem Licht auf Insekten und ihr Eiablageverhalten in der Landwirtschaft: 45 S.
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Goetzberger, A., Weber, E. (2020): Implementation of agriphotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. Applied Energy 265.
- Schmidt, C., von Gagern, M., Lachor, M., Hage, G., Hoppenstedt, A., Schuster, L., Kühne, O., Weber, F., Rossmeier, A., Bruns, D., Münderlein, D., Bernstein, F. (2018a): Landschaftsbild & Energiewende. Band 2: Handlungsempfehlungen: 135 S.
- Schmidt, C., von Gagern, M., Lachor, M., Hage, G., Hoppenstedt, A., Schuster, L., Kühne, O., Weber, F., Rossmeier, A., Bruns, D., Münderlein, D., Bernstein, F. (2018b): Landschaftsbild und Energiewende. Band 1: Grundlagen: 261 S.
- Seidler, C., Haase, H., Blechinger, K., Kändler, M., Kamenz, J. (2013): Einfluss der Solarpaneele auf die Vegetationsentwicklung am Beispiel der Deponie Bautzen-Nadelwitz: 8 S.

- Stadtplanungsbüro SHM (2020): Stadt Osterode am Harz. Verfahrensstand: Vorentwurf. Bebauungsplan Nr.93 EE-Innovationsprojekt Agrophotovoltaik.: 48 S.
- Stommel, C., Becker, N., Muchow, T. (2018): Maßnahmen- und Artensteckbriefe zur Förderung der Vielfalt typischer Arten und Lebensräume der Agrarlandschaft (Deutsche Bundesstiftung Umwelt): 387 S.
- SÜDWERK Projektgesellschaft mbH (2020): Begründung zum Entwurf vom 01. Juni 2020. 11. Änderung des Flächen-nutzungsplanes für das „Sondergebiet Photovoltaik-Freiflächenanlage Gunzendorf II“. Burgkunstadt.
- Supp, G., Semprich, S. (2010): Spinnanker - ein neues Konstruktionselement. BauPortal 122/2010: 359-361.
- Tietz, A. (2017): Inanspruchnahme von Landwirtschaftsfläche durch Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen im Jahr 2017. Thünen Working Paper: 28 S.
- Timling, S. (2014): Das ökologische Potenzial von Photovoltaik-Freiflächenanlagen zur Förderung einer arten- und individuenreichen Wildbienenfauna in Sachsen-Anhalt. Sachsen-Anhalt (Hochschule Anhalt (FH), Landwirtschaft, Ökotoxikologie und Landschaftsentwicklung – Bachelorarbeit): 103 S.
- Tröltzsch, P., Neuling, E. (2013): Die Brutvögel großflächiger Photovoltaikanlagen in Brandenburg. Vogelwelt 2013 (134): 155-179.
- Trommsdorff, M., Gruber, S., Keinath, T., Hopf, M., Hermann, C., Schönberger, F., Högy, P., Zikeli, S., Ehmann, A., Weselek, A., Bodmer, U., Rösch, C., Ketzer, D., Weinberger, N., Schindele, S., Vollprecht, J. (2020): Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Ein Leitfaden für Deutschland: 56 S.
- Turney, D., Fthenakis, V. (2011): Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (6): 3261-3270.
- Walston, L., Mishra, S., Hartmann, H., Hlohowskyj, I., McCall, J., Macknick, J. (2018): Examining the Potential for Agricultural Benefits from Pollinator Habitat at Solar Facilities in the United States. 52: 11 S.
- Wirth, H. (2020): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland: 100 S.

Die „BfN-Schriften“ sind eine seit 1998 unperiodisch erscheinende Schriftenreihe in der institutionellen Herausgeberschaft des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) in Bonn. Sie sind kurzfristig erstellbar und enthalten u.a. Abschlussberichte von Forschungsvorhaben, Workshop- und Tagungsberichte, Arbeitspapiere oder Bibliographien. Viele der BfN-Schriften sind digital verfügbar. Printausgaben sind auch in kleiner Auflage möglich.

DOI 10.19217/skr705