



Photovoltaik-Freiflächenanlagen und die Vernetzung von Lebensräumen an überörtlichen Verkehrswegen

Michael Reich, Stefan Rüter, Katharina Niemann, Nana Wix, Birte Bredemeier
und Marita Böttcher

Zitiervorschlag

Reich, M., Rüter, S., Niemann, K., Wix, N., Bredemeier, N., Böttcher, M. (2019): Photovoltaik-Freiflächenanlagen und die Vernetzung von Lebensräumen an überörtlichen Verkehrswegen. Schlussbericht zum F+E-Vorhaben (FKZ 3515 82 3300), 157 S., Hannover. DOI: <http://dx.doi.org/10.15488/16133>

URL: <https://www.repo.uni-hannover.de/handle/123456789/16260>

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV).

Bearbeitung

Institut für Umweltplanung der Leibniz Universität Hannover

Adressen der Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Michael Reich, Dr. Stefan Rüter, Katharina Niemann, Nana Wix
Birte Bredemeier

Institut für Umweltplanung
Leibniz Universität Hannover
Herrenhäuser Str. 2
30149 Hannover

Marita Böttcher
Bundesamt für Naturschutz, FG II 4.2 „Prüfinstrumente des Naturschutzes und
Infrastrukturvorhaben“

Titelfotos:

oben (von links): PV-FFA bei Meuro; Hauhechel-Bläuling (*Polyommatus icarus*); unten (von links): Funktionale Ergänzung des Straßenbegleitgrüns durch eine PV-FFA (Abb. 61 in diesem Heft); ausgewählte Untersuchungsanlagen (Abb. 26 in diesem Heft); PV-FFA bei Ebermannsdorf (Fotos: K. Niemann)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	10
Danksagung	12
1 Einleitung	13
2 Grundlagen zur Photovoltaik-Freiflächennutzung in Deutschland	16
2.1 Planungsrechtliche Grundlagen	16
2.2 Anlagentypen und Modultechnik	17
2.3 Flächenbedarf und -nutzung	20
2.4 Bisherige Entwicklung von PV-FFA in Deutschland	23
2.5 Versicherungstechnische Aspekte	24
2.6 Naturschutzrechtliche Rahmenbedingungen	25
3 Kenntnisstand zur Habitatfunktion von PV-FFA	28
3.1 Anlass und Fragestellungen	28
3.2 Methodik	28
3.3 Ergebnisse	29
3.3.1 Potenzielle Wirkfaktoren von PV-FFA mit Relevanz für Arten und Lebensgemeinschaften	29
3.3.2 Untersuchte Anlagenstandorte und Artengruppen	31
3.3.3 Festgestellte Habitatnutzung und Auswirkungen von PV-FFA auf Flora und Fauna	35
4 Räumlich-funktionale Wechselbeziehungen zwischen PV-FFA und angrenzenden Habitaten am Beispiel von Tagfaltern	39
4.1 Anlass und Fragestellungen	39
4.2 Methodik	40
4.2.1 Untersuchungsgebiet	40
4.2.2 Fang-Wiederauffang-Methode	40
4.3 Ergebnisse	42
4.3.1 Artenspektrum	42
4.3.2 Abundanzen und räumliche Verteilung	44
4.3.3 Bewegungsmuster	45
4.3.4 Schlussfolgerungen	48

5	Ausbauzustand von PV-FFA an Verkehrswegen	50
5.1	Anlass und Fragestellungen	50
5.2	Methodik	50
5.2.1	Ermittlung von PV-FFA an Verkehrswegen in Deutschland	50
5.2.2	Analyse der Raumkonstellationen	51
5.2.3	Analyse des Landschaftskontextes	52
5.3	Ergebnisse	54
5.3.1	Ausbauzustand und räumliche Verteilung	54
5.3.2	Raumkonstellationen	56
5.3.3	Landschaftskontext	59
5.4	Schlussfolgerungen	64
6	Raumwiderstand und Auswirkungen von PV-FFA auf vorhandene Lebensraumnetze	67
6.1	Anlass und Fragestellungen	67
6.2	Methodik	67
6.2.1	Anlagenauswahl	67
6.2.2	Untersuchungsansatz und -ebenen	70
6.2.3	Strukturkartierung	71
6.2.4	Ermittlung der funktionalen Konnektivität	76
6.2.5	Bewertung des Raumwiderstands	78
6.2.6	Bewertung der Vernetzungsfunktion	80
6.3	Ergebnisse	83
6.3.1	Strukturmerkmale von PV-FFA	83
6.3.1.1	Betriebsflächen	83
6.3.1.2	Nähere Anlagenumgebung (50 m)	93
6.3.1.3	Weitere Anlagenumgebung (500 m)	94
6.3.2	Funktionale Konnektivität	96
6.3.3	Raumwiderstand	100
6.3.4	Vernetzungsfunktion	101
7	Berücksichtigung von Vernetzungsaspekten bei der Planung und Gestaltung von PV-FFA	104
7.1	Anlass und Zielsetzung	104

7.2	Naturschutzfachliche Einordnung.....	106
7.3	Handlungsempfehlungen	107
7.3.1	Zielausrichtungen.....	107
7.3.2	Planungs- und Gestaltungsgrundsätze	108
7.3.3	Prüfschema und Qualitätsmerkmale	109
7.3.3.1	Räumliche Lage.....	110
7.3.3.2	Umfeldanbindung.....	112
7.3.3.3	Gestaltung und Management.....	119
8	Zusammenfassung	124
9	Summary	128
10	Quellenverzeichnis	131
Anhang	1

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Nach Süden ausgerichtete Anlage in Reihenaufstellung (links, Anlage 278, Wonfurt) und Ost-West-Anlage	18
Abb. 3:	Idealisiertes Schema einer PV-FFA in Reihenaufstellung.....	21
Abb. 4:	Mit Schafen beweidete PV-FFA (links, Anlage 244, Mainburg) und extensiv gemähte PV-FFA.....	22
Abb. 5:	Lage der faunistisch bzw. floristisch-vegetationskundlich untersuchten PV-FFA in den Großlandschaften Deutschlands....	33
Abb. 6:	Untersuchte Artengruppen an PV-FFA.....	34
Abb. 7:	Bezeichnung und Lage der Untersuchungsflächen	40
Abb. 8:	Durchführung der Falter-Markierung (links) und markiertes Weibchen des Großen Ochsenauges (<i>Maniola jurtina</i>) (rechts).....	42
Abb. 9:	Räumliche Verteilung der Falterfänge im Untersuchungsgebiet	45
Abb. 10:	Anzahl der Untersuchungsflächen auf denen ein markierter Falter wiedergefangen werden konnte.	46
Abb. 11:	Verhältnis von Wiederfängen mit (orange) und ohne (blau) Flächenwechsel	47
Abb. 12:	Schematische Darstellung der Anzahl der Wiederfänge mit Flächenwechsel	48
Abb. 13:	Beispiele für die auf der Grundlage von Orthophotos ermittelten PV-FFA an Autobahnen.....	51
Abb. 14:	Lage und Größenklassen von PV-FFA (n=455) an Autobahnen und Schienenwegen in den Großlandschaften Deutschlands	55
Abb. 15:	Verteilung der Größenklassen von PV-FFA an Verkehrswegen	57
Abb. 16:	Überblick über den größten Anlagenkomplex bei Finowfurt in Brandenburg	57
Abb. 17:	Größe und Minimalabstand der PV-FFA zum Verkehrsweg	58
Abb. 18:	Minimal- und Maximalabstand der PV-FFA zum Verkehrsweg	58
Abb. 19:	Beispiel für die Lage einer PV-FFA innerhalb des vergütungsfähigen Bereiches bis maximal 110 m von der Trasse entfernt.....	59
Abb. 20:	Anzahl PV-FFA mit unterschiedlichen Schutzgebietskategorien in der Umgebung	59

Abb. 21:	PV-FFA an Verkehrswegen und Anteil von Schutzgebieten in der Anlagenumgebung.....	60
Abb. 22:	PV-FFA an Verkehrswegen im Bereich von Lebensraumnetzen feuchter Offenlandstandorte	61
Abb. 23:	PV-FFA an Verkehrswegen im Bereich von Lebensraumnetzen für naturnahe Wälder	62
Abb. 24:	PV-FFA an Verkehrswegen im Bereich von Lebensraumnetzen für Wald bewohnende Großsäuger	62
Abb. 25:	PV-FFA an Verkehrswegen im Bereich von Lebensraumnetzen trockener Offenlandstandorte.....	63
Abb. 26:	Beispiel für die räumliche Überlagerung von Flächen verschiedener Lebensraumnetze in der Umgebung einer PV-FFA bei Rauenberg.....	64
Abb. 27:	Lage der für die Strukturkartierung ausgewählten PV-FFA an Autobahnen in den Großlandschaften Deutschlands	69
Abb. 28:	Untersuchungsansatz (links) und Untersuchungsebenen (rechts) zur Bewertung des Raumwiderstandes und der Vernetzungsfunktion von PV-FFA	71
Abb. 29:	An den Solarmodulen erfasste Parameter	75
Abb. 30:	Flächengrößen der untersuchten PV-FFA (n=50).	84
Abb. 31:	Höhen der Solarmodule	84
Abb. 32:	Abstände zwischen den Modulreihen.....	84
Abb. 33:	Verhältnis von Freifläche (grün) zu von Solarmodulen überschirmter Fläche (grau).....	85
Abb. 34:	Beispiele für PV-FFA mit einem hohen Anteil an überschirmter Fläche (links: Anlage 225a, Schwandorf) und einem geringen Anteil an überschirmter Fläche	85
Abb. 35:	Beispiel für eine durch gemischte Gras- und Krautfluren geprägte Betriebsfläche (links, Anlage 229, Selbitz) und Beispiel für eine durch krautige Gras- und Kraut- sowie Ruderalfluren geprägte Betriebsfläche	86
Abb. 36:	Anzahl von Biotoptypen und Biotopflächen auf den Betriebsflächen.	87
Abb. 37:	Unterschiedliche Verteilungsmuster von Biotoptypen und Biotopflächen auf zwei PV-FFA.....	87
Abb. 38:	Randliniendichten (Edge Density) der Biotope auf den Betriebsflächen	88
Abb. 39:	Beispiele für Gehölzanpflanzungen um die PV-FFA.....	88

Abb. 40:	Beispiele für PV-FFA mit ersichtlichen Mahdmustern auf der Betriebsfläche.	89
Abb. 41:	Beweidete PV-FFA.....	90
Abb. 42:	Erfasste Zauntypen an den PV-FFA.....	91
Abb. 43:	Maximaler (schwarz) und minimaler (grau) Zaunabstand zum Boden auf den untersuchten PV-FFA.....	92
Abb. 44:	Maximaler (schwarz) und minimaler (grau) Abstand zum Boden bei den verschiedenen Toren und -abschnitten auf den untersuchten PV-FFA.....	93
Abb. 45:	An den PV-FFA erfasste Zaunhöhen.....	93
Abb. 46:	Flächenanteile der in Gruppen zusammengefassten Biototypen in der 50 m-Umgebung der PV-FFA.	94
Abb. 47:	Flächenanteile der in Gruppen zusammengefassten Biototypen in der 500 m-Umgebung der PV-FFA.	95
Abb. 48:	Beispiele für Biototypengruppen in der 500 m-Umgebung.....	95
Abb. 49:	Randliniendichte (Edge Density, ED) in der 500 m-Umgebung der untersuchten PV-FFA.	96
Abb. 50:	Vornutzung der Betriebsflächen	97
Abb. 51:	Veränderung der Anteile von Habitat-, Matrix- und Barrierefläche an der Umgebungsfläche.	98
Abb. 52:	Veränderung des Habitat- und Funktionsraumflächenanteils an der Umgebungsfläche im Vergleich der Szenarien ohne und mit PV-FFA.....	99
Abb. 53:	Beispiele für eine besondere Lebensraumausstattung.	100
Abb. 54:	Anlage 364 (Feulersdorf) ist teilweise mit Wellblechwänden eingezäunt, welche die Durchlässigkeit an diesen Stellen verhindern.	101
Abb. 55:	Bewertung der potentiell hohen Durchgängigkeit der Anlagenumgebungen.	102
Abb. 56:	PV-FFA können einen Beitrag zur Vernetzung leisten, wenn eine Anbindung an das Straßenbegleitgrün besteht.....	107
Abb. 57:	Prüfschema für Qualitätsmerkmale von PV-FFA mit Relevanz für die Lebensraumvernetzung.....	111
Abb. 58:	Diese PV-FFA bei Lupburg in Bayern (Anlage 235, rot umrandet) liegt konfliktträchtig in einer Biotopverbundachse der Wälder	113

Abb. 59:	Beispiele für den funktionalen Zusammenhang zwischen PV-FFA und Straßenbegleitgrün	114
Abb. 60:	Beispiel für die multifunktionale Gestaltung des Anlagenumfeldes	115
Abb. 61:	Beispiel für die Anbindung von PV-FFA an ein gehölzgeprägtes Straßenbegleitgrün	115
Abb. 62:	Funktionale Ergänzung des Straßenbegleitgrüns in ausgeräumten Agrarlandschaften durch PV-FFA.....	116
Abb. 63:	Durch Geländeunebenheiten und den Versatz von Zaunelementen ergeben sich unterschiedlich große Abstände zwischen Boden und Zaun	117
Abb. 64:	Eng beieinander liegende Betriebsflächen können ein dichtes Einzäunungsnetz bilden und die Landschaft schwer durchdringbar machen	118
Abb. 65:	Beispiel für einen engen Durchlass zwischen zwei Betriebsflächen	118
Abb. 66:	Pflege einer PV-FFA durch Schafbeweidung	120
Abb. 67:	Beispiel möglicher Gestaltungselemente auf einer PV-FFA.	123

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Suchterme der Literaturrecherche zu Wirkungen von PV-FFA auf Arten und Lebensgemeinschaften.	29
Tab. 2:	Übersicht über mögliche Wirkfaktoren, Wirkungen und nachgeordnete Effekte von PV-FFA mit Relevanz für Arten und Lebensgemeinschaften	31
Tab. 3:	Übersicht über die faunistisch bzw. floristisch-vegetationskundlich untersuchten Anlagenstandorte in Deutschland.	32
Tab. 4:	Übersicht über die an PV-FFA untersuchten Artengruppen.	35
Tab. 5:	Gesamtartenliste der nachgewiesenen Tagfalterarten.....	43
Tab. 6:	Anzahl der Wiederfänge innerhalb einer Fläche (diagonal, umrandet) und mit Flächenwechsel.....	47
Tab. 7:	Anzahl und Dichte von PV-FFA (n=455) an Verkehrswegen bezogen auf die Großlandschaften Deutschlands	54
Tab. 8:	PV-FFA an Verkehrswegen (n=455) bezogen auf die Bundesländer	56
Tab. 9:	Anzahl von PV-FFA mit prioritären Wiedervernetzungsabschnitten und Engstellen (Risikoklassen hoch und sehr hoch) der verschiedenen Lebensraumnetze in der Anlagenumgebung	63
Tab. 10:	Anzahl und Anteil der ausgewählten PV-FFA am Gesamtbestand an Autobahnen bezogen auf die Großlandschaften Deutschlands	68
Tab. 11:	Anzahl und Anteil der ausgewählten PV-FFA am Gesamtbestand an Autobahnen bezogen auf die Bundesländer	70
Tab. 12:	Übersicht über die auf den Betriebsflächen und in Umgebung von PV-FFA erfassten Biotoptypen.	73
Tab. 13:	Übersicht über die erfassten Zusatzmerkmale der Biotoptypen	74
Tab. 14:	Übersicht über die erfassten Merkmale der Solarmodule	75
Tab. 15:	Übersicht über die erfassten Merkmale der Einzäunungen.....	75
Tab. 16:	Prinzip der Klassifizierung von Biotoptypen hinsichtlich ihrer funktionalen Bedeutung für Arten des Offenlandes.....	77
Tab. 17:	Bewertungskriterien zur Ermittlung der Habitatqualität der Betriebsflächen.	81

Tab. 18:	Bewertungskriterien zur Ermittlung der strukturellen Konnektivität in der näheren Anlagenumgebung (50 m).....	81
Tab. 19:	Bewertungskriterien zur Ermittlung der strukturellen Konnektivität der weiteren Anlagenumgebung (500 m).	81
Tab. 20:	Bewertungskriterien zur Einstufung der Vernetzungsfunktion.....	82
Tab. 21:	Mögliche Zielausrichtungen zur Berücksichtigung von Vernetzungsaspekten bei der Planung und Gestaltung von PV-FFA.....	108

Danksagung

Unser Dank gilt den Mitgliedern der projektbegleitenden Arbeitsgruppe, die dieses Forschungsvorhaben in den Sitzungen am 15.11.2016 und am 22.02.2018 in Leipzig mit Anregungen und Ideen unterstützt und verbessert haben: Dr. Kersten Hänel (Universität Kassel), Daniel Horst (Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik Kassel), Dr. Karl-Otto Nagel (Bundesanstalt für Straßenwesen), PD Dr. Heinrich Reck (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), Jan Sauer (Bundesanstalt für Straßenwesen), Jörg Sutter (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V.), Philipp Streek (Eisenbahn-Bundesamt) sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Bundesamtes für Naturschutz Kathrin Ammermann, Dr. Klaus Follner, Matthias Herbert und Friedhelm Igel.

Ein besonderer Dank gilt den wissenschaftlichen Hilfskräften des Instituts für Umweltplanung, die insbesondere eine zügige Bearbeitung von GIS-Daten und die Feldarbeiten unterstützt haben: Noreen Beck, Lara Diekmann, Ina Engelke, Nina Wintjes, Franziska Wolter, Felix Zitzmann und Lotta Zoch.

Wir danken außerdem Louise von Falkenhayn für die Durchsicht der englischen Zusammenfassung.

Die Autorinnen und Autoren

1 Einleitung

Der Ausbau der erneuerbaren Energien gilt als wesentliches Ziel der Energiewende. Seit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 hat sich der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung von 6,6 % auf 33,3 % im Jahr 2017 erhöht (AGEB 2018a). Die Photovoltaik leistet hiervon einen Anteil von 18,2 % (AGEB 2018b). Die installierte Leistung liegt derzeit bei 42,4 GW (BMWi 2018).

Grundsätzlich kann zwischen Anlagen auf oder an Bauwerken und auf Freiflächen (Photovoltaik-Freiflächenanlagen, PV-FFA) unterschieden werden, bei denen die Solarmodule auf einer im Boden verankerten Aufständerung bzw. Unterkonstruktion befestigt werden. Bis 2010 wurden in Deutschland rd. 8.500 ha Fläche mit PV-FFA bebaut. In den Jahren 2011-2014 stieg die mit PV-FFA bebaute Fläche auf 15.200 ha an (Kelm et al. 2014). Basierend auf verfügbaren Anlagenstammdaten im EnergyMap-Register (DGS 2009-2015) ermittelten Walz et al. (2014) einen bundesweiten Bestand von ca. 2.000 Anlagen. Nach einem zahlenmäßig erheblichen Ausbau der PV-FFA auf Ackerflächen (Schwerpunkt Bayern), wurde 2010 die Vergütung für neue Anlagen auf Ackerflächen gestrichen. Dies führte dazu, dass PV-FFA im Zeitraum 2011 bis 2014 fast ausschließlich in Form z. T. sehr großer Anlagen auf Konversionsflächen sowie in kleinerer Größe entlang von Autobahnen und Schienenwegen errichtet wurden. Seit 2010 fallen die Flächen längs von Autobahnen und Schienenwegen bis zu einer Entfernung von 110 m (ab Fahrbahnrand) unter die Vergütungsregelungen des EEG. Dies soll eine Bündelung technischer Infrastrukturen fördern und die durch Lärm- und Abgasimmissionen belasteten Flächen im Umfeld der Verkehrswege für die energetische Nutzung verfügbar machen (FGSV 2008; Clearingstelle EEG 2011).

Neben den möglichen negativen Effekten von Verkehrswegen auf Arten und Populationen (z. B. Mortalität, Trennwirkung; Jaeger u. Holderegger 2005) können die Randbereiche von Straßen und Schienenwegen je nach Lage und Standortvoraussetzungen einen wichtigen Beitrag zum Erhalt der Biologischen Vielfalt leisten (Sayer u. Schaefer 1989, 1995; Seiler 2001; Akbar et al. 2010). Es wurde vielfach belegt, dass Verkehrsbegleitgrün einen Lebensraum für zahlreiche, z. T. gefährdete Tier- und Pflanzenarten bietet (z. B. Eversham u. Telfer 1994; Ascensão et al. 2012; Rotholz u. Mandelik 2013; Ruiz-Capillas et al. 2013; Kalarus u. Bakowski 2015). Insbesondere in intensiv genutzten Landschaften kann hierdurch ein „Minimumangebot an Biologischer Vielfalt“ (Reck u. Müller 2016: 3) geschaffen werden. Da das Verkehrsnetz verschiedene Lebensräume und Landschaften verbindet (Stottele 1995), kann das Begleitgrün auch eine Korridor- und Trittsteinfunktion einnehmen (vgl. Mader 1987; Reck u. Kaule 1993; Vermeulen 1994; Vandeveldde et al. 2014; Vermeulen u. Opdam 1995; Redon et al. 2015). Dadurch kann es zum Populations-

verbund und zur Wiederausbreitung von Arten sowie zur Funktionssicherung von Querungshilfen beitragen.

Durch den Ausbau von PV-FFA an Verkehrswegen könnten Konflikte im Zusammenhang mit der Wiedervernetzung entstehen. Neben einer Verstärkung von Barriereeffekten sind Flächenkonkurrenzen mit Schutzgebieten und vorhandenen Lebensraumnetzen denkbar. Lebensraumnetze sind Systeme von jeweils ähnlichen, räumlich benachbarten und besonders schutzwürdigen Lebensräumen, die potenziell in enger funktionaler Verbindung zueinander stehen (Reck et al. 2008). Umgekehrt ist es auch denkbar, dass PV-FFA als vergleichsweise extensiv genutzte Standorte einen positiven Beitrag als Verbundstruktur für Arten des Offenlandes bieten könnten. Erste Studien deuten darauf hin, dass die Lebensraumeignung bzw. das Konfliktpotenzial von den jeweiligen Standorttypen, der Anlagenstruktur (z. B. Größe, Ausrichtung) sowie den Raumzusammenhängen in der Anlagenumgebung abhängen (z. B. Anteil naturnaher Biotope) (vgl. Herden et al. 2009; Raab 2015). Die Strukturmerkmale und der Landschaftskontext der PV-FFA haben somit eine potenziell hohe Bedeutung für die Bewertung aus Sicht der Lebensraumvernetzung. Aktuell stehen allerdings weder belastbare Daten zur Anzahl und räumlichen Verteilung von Photovoltaikanlagen an Verkehrswegen noch Informationen zur möglichen Raumwirksamkeit (positive oder negative Auswirkungen) innerhalb der Lebensraumnetze zur Verfügung. Hieraus resultiert ein erheblicher Bedarf für die Bereitstellung von Datengrundlagen und Planungshilfen, die zur Abwägung und zur Vermeidung von Zielkonflikten genutzt werden können.

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel dieser Arbeit, die in Verbindung mit überörtlichen Verkehrswegen be- und entstehenden PV-FFA in Hinblick auf die Eignung als Trittstein- und Vernetzungselement und mögliche Konflikte in Bezug auf die Erhaltung der Durchlässigkeit der Landschaft zu untersuchen.

Folgende übergeordnete Forschungsfragen wurden untersucht:

- Welche Auswirkungen von PV-FFA auf Arten und Lebensgemeinschaften wurden bisher in der Literatur beschrieben? Welche Wirkfaktoren der Anlagen sind relevant?
- Besteht ein räumlich-funktionaler Zusammenhang zwischen PV-FFA und umgebenden Habitaten?
- Wie ist der aktuelle Ausbauzustand von PV-FFA an überörtlichen Verkehrswegen in Deutschland?
- Welche Strukturmerkmale kennzeichnen PV-FFA und welcher potenzielle Raumwiderstand geht dadurch von den Anlagen aus?
- Welche Auswirkungen hat der Ausbau von PV-FFA an Verkehrswegen auf

vorhandene Lebensraumnetze von Lebensgemeinschaften des Offenlandes?

- Wie können Vernetzungsaspekte bei der Planung und Gestaltung von PV-FFA berücksichtigt werden?

Die dargestellten Ergebnisse resultieren aus dem mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit durch das Bundesamt für Naturschutz geförderten FuE-Vorhaben „Naturschutzfachliche Fragen des Ausbaus der erneuerbaren Energien an überörtlichen Verkehrswegen und dessen Auswirkungen auf die Wiedervernetzung von Lebensräumen“ (FKZ 3515 82 3300).

2 Grundlagen zur Photovoltaik-Freiflächennutzung in Deutschland

2.1 Planungsrechtliche Grundlagen

Nach § 3 Abs. 22 EEG 2017 umfassen Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) diejenigen Anlagen, die nicht in, an oder auf einem Gebäude oder einer sonstigen baulichen Anlage, die nicht als Zweck die Stromerzeugung haben (z. B. Deponien und Aufschüttungen), errichtet worden sind. Der Bau von PV-FFA ist im Wesentlichen durch die Regelungen des § 48 EEG 2017 beschränkt, da die Anlagen ohne eine Vergütung bisher nicht wirtschaftlich sind (vgl. Schmidt 2014). Um vergütungsfähig zu sein, muss eine PV-FFA unter bestimmten Voraussetzungen errichtet werden. Eine Errichtung erfordert entweder ein Verfahren nach § 38 BauGB oder das Vorliegen bzw. die Erstellung eines Bebauungsplanes nach § 30 BauGB. Die entsprechende Fläche wird dabei meist nach § 11 Abs. 2 BauNVO als „Sondergebiet Photovoltaik“ festgelegt (vgl. May 2011; Blessing-Schörg 2012; Bredemann u. Stellberg 2012; Dörner + Partner GmbH 2015; Wagner 2013). In der Regel erfolgt im Parallelverfahren mit gleicher Darstellung eine Flächennutzungsplanänderung (vgl. Blessing-Schörg 2012; Bredemann u. Stellberg 2012; CDM Smith Consult GmbH 2017).

PV-FFA auf Deponien und Aufschüttungen, als sonstige bauliche Anlagen, stellen einen Sonderfall dar, da sie zwar vom Aussehen und Prinzip den Freiflächenanlagen entsprechen, nicht aber den strengeren Regelungen im EEG unterliegen. Solche Anlagen können daher über 10 MW umfassen und trotzdem förderfähig sein und benötigen nur die Zustimmung der Gemeinde, nicht aber einen Bebauungsplan. Dies macht das Verfahren weniger aufwendig (Enkhardt 2017).

Mit Inkrafttreten des EEG 2017 werden PV-FFA mit unterschiedlichen Leistungen unterschiedlich vergütet. Anlagen mit einer Leistung unter 750 kW werden wie zuvor über gesetzlich festgelegte Vergütungen gefördert. Die Vergütung bei PV-FFA mit einer Leistung von 750 kW und mehr wird über wettbewerbliche Ausschreibungen ermittelt (BMW i 2017; § 22 Abs. 3 EEG 2017). Die Ausschreibungen werden durch die Bundesnetzagentur jährlich drei Mal bekannt gegeben (BMW i 2016). Der Standort der PV-FFA wird dabei nicht durch die Bundesnetzagentur festgelegt, sondern vom Bieter vorgeschlagen. Damit das Gebot zum Zuschlagsverfahren zugelassen werden kann, ist es u. a. von Bedeutung, ob sich die geplante PV-FFA innerhalb der vom EEG zugelassenen Flächenkulisse befindet (vgl. Beiten Burkhardt Rechtsanwaltsgesellschaft mbH 2015). Diese Kulisse beinhaltet verschiedene Flächenkategorien, zu denen neben Konversionsflächen und versiegelten Flächen auch Flächen entlang von Autobahnen und Schienenwegen gehören (§ 37 Abs. 1 Nr. 3c EEG 2017).

Die PV-FFA muss dabei zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans längs von Autobahnen oder Schienenwegen und in einer Entfernung bis zu 110 m vom äußeren Rand der befestigten Fahrbahn liegen. Dies soll eine Bündelung technischer Infrastrukturen fördern und die durch Lärm- und Abgasimmissionen belasteten Flächen im Umfeld der Verkehrswege für die energetische Nutzung verfügbar machen (FGSV 2008; Clearingstelle EEG 2011). Bis 2010 waren auch ehemalige Ackerflächen vergütungsfähig. Durch die bis Ende 2016 gültige Freiflächenausschreibungsverordnung (FFAV) wurde der Flächenkatalog um Flächen der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben sowie jährlich zehn Ackerflächen in benachteiligten Gebieten ergänzt. Die Länderöffnungsklausel nach § 37c EEG 2017 ermöglicht dies durch jeweilige Landesverordnungen weiterhin, wovon derzeit Bayern und Baden-Württemberg Gebrauch machen (Tietz 2018). Das Ausschreibungsvolumen ist auf jährlich 600 MW limitiert (§ 28 Abs. 2 EEG 2017). Weitere Anpassungen des Ausschreibungsvolumens sind ebenfalls im EEG geregelt.

Bei PV-FFA entlang von Autobahnen und Schienenwegen ergeben sich besondere Erfordernisse und Beschränkungen. So kann im Rahmen der Bauleitplanung ein Blendgutachten erforderlich sein, bei dem negative Auswirkungen auf den Verkehr erkannt und ggf. Vermeidungsmaßnahmen geplant werden müssen (vgl. Blessing-Schörg 2012). Zudem ergeben sich bei PV-FFA an Verkehrswegerändern an Autobahnen Erfordernisse und Beschränkungen durch das Bundesfernstraßengesetz (FStrG) in Form der Anbauverbotszone von 40 m sowie einer Anbaubeschränkungszone von 100 m ab Fahrbahnrand. Es besteht nach § 9 Abs. 2 FStrG Zustimmungspflicht bei Bauvorhaben in diesem Bereich bzw. nach § 9 Abs. 7 FStrG das Erfordernis zur Mitwirkung des Trägers der Straßenbaulast am Bebauungsplan (vgl. AEP Energie-Consult 2011). Von der Anbauverbotszone können dann Ausnahmen gemacht werden, sodass PV-FFA auch in einem geringeren Abstand als 40 m zum Fahrbahnrand errichtet werden können (vgl. Landschaftsarchitekturbüro gutschker & dongus 2012; IFÖNA GmbH 2012). Entlang von Schienenwegen gibt es keine vergleichbaren Beschränkungen (Bohl 2011).

2.2 Anlagentypen und Modultechnik

Die Solarmodule, in denen die direkte und die diffuse Solarenergie in elektrischen Strom verwandelt werden, bestehen aus einer Vielzahl an verschalteten Solarzellen. Waferbasierte Module auf Basis von Siliciumwafern sind mit einem Marktanteil von rd. 90 % die am häufigsten verwendete Technologie, Dünnschicht-Module machen nur einen Anteil von rd. 5 % am Markt aus (Fraunhofer ISE 2018).

Bei Freiflächenanlagen werden die Solarmodule mithilfe einer Unterkonstrukti-

on bzw. Aufständerung auf dem Boden installiert. Die Aufständerung bildet eine ebene Fläche und befestigt das Modul mit einer Trägerstelle aus verzinktem Stahl, Aluminium oder Holz. Das Montagesystem muss Lasten aus Eigengewicht sowie aus Wind- und ggf. Schneelasten sicher in den Boden leiten und das System dauerhaft fest verankern (Schmid u. Schulz 2009). Hierbei kommen verschiedene Fundamentkonstruktionen zum Einsatz.

Grundsätzlich wird zwischen starren und nachgeführten Anlagen unterschieden (Konrad 2008; Herden et al. 2009). Starre Anlagen in Reihenaufstellung sind im Vergleich mit anderen Anlagentypen flächenmäßig am weitesten verbreitet (Aigner et al. 2010). Die Kombination aus Ost-West-Anlagen und nachgeführten Anlagen kann das PV-Stromangebot im Netz verstetigen (Fraunhofer ISE 2018). Starre Anlagen werden fest auf Untergestellen und in Reihen montiert, die Modulflächen werden dabei, so weit wie möglich, in Richtung Süden ausgerichtet (Abb. 1). Die Verankerung kann mittels Ramppfählen, Schraubankern oder Betonfundamenten erfolgen. Zwischen den Modulreihen wird, abhängig von der Hangneigung, ein Abstand eingehalten, der so groß ist, dass er eine Verschattung der Module durch die vorgelagerte Reihe verhindert. Die Modulflächen müssen an der Vorderkante eine Mindesthöhe von 0,5-0,7 m betragen, um eine Verschattung durch aufkommende Vegetation zu verhindern. Wird die PV-FFA durch Beweidung mit Schafen gepflegt, muss die Gestellhöhe an der Vorderkante mindestens 0,8 m betragen (Tautenhahn et al. 2017). Die Höhe der Hinterkante variiert in Abhängigkeit von ihrem Abstand zur Vorderkante. Bei einem Neigungswinkel von 30° wird die Hinterkante im Normalfall bei 1,7-2,0 m über dem Boden liegen. Aufgrund fehlender beweglicher Teile ist dieser Anlagentyp im Gegensatz zur nachgeführten Anlage wartungsarm (vgl. Konrad 2008).



Abb. 1: Nach Süden ausgerichtete Anlage in Reihenaufstellung (links, Anlage 278, Wonnfurt) und Ost-West-Anlage (rechts, Anlage 225, Schwandorf).

Seit einigen Jahren lohnt sich auch die Errichtung von sogenannten Ost-West-Anlagen (Abb. 1). Diese werden in Satteldachform errichtet und können unter bestimmten Bedingungen einen höheren Ertrag erzielen als Süd-Anlagen (vgl.

Waldmann u. Bhandari 2014; Partheymüller 2015). Der Ertrag durch die Stromerzeugung ist bei den dachförmigen Anlagen im Durchschnitt zwar knapp 14 % niedriger als bei den konventionellen starren Anlagen, jedoch sind die Betriebs- und Investitionskosten von Ost-West-Montagen geringer. Unter anderem führt die spezielle Bauweise zu einer besseren Ausnutzung der Fläche, was auch zu geringeren Abständen zwischen den Modulreihen führt. Demgemäß verteilen sich die Pachtkosten des Grundstücks auf mehr Leistung und senken so die Kosten pro erzeugter Kilowattstunde. Waldmann u. Bhandari (2014) setzen dem entgegen, dass Ost-West-Anlagen bisweilen nur unter bestimmten Bedingungen, im Allgemeinen jedoch nicht wirtschaftlich attraktiver sind als Süd-Anlagen. Der Anlagentyp ist demnach in Regionen mit niedrigeren Einstrahlungswerten eher rentabel als in Regionen mit hoher Einstrahlung. Zudem wird betont, dass die dachförmigen Anlagen wirtschaftliche Vorteile bringen, wenn die Unterkonstruktion im Vergleich zur Süd-Unterkonstruktion deutlich günstiger ist und hohe Netzanschluss- oder Pachtkosten anfallen (ebd.).

Aufgrund der sich durch die Erdbewegung ändernden Sonneneinstrahlung werden für eine höhere Wirtschaftlichkeit Anlagen konstruiert, die dem Tageslauf der Sonne aktiv, d. h. sensorgesteuert, oder passiv, d. h. schrittweise nachgeführt, folgen (Konrad 2008). Nachgeführte Anlagen haben je nach Stellung der Module einen Bodenabstand von 0,6-3,0 m. Abhängig von der Art der Nachführung und der Modulflächengröße können die Module bei steiler Aufstellung eine Höhe von 6 m erreichen (Freiland Umweltconsulting GmbH 2011). Bei den nachgeführten Anlagen, die auch als „Tracking Systems“ bezeichnet werden, wird zwischen 1-achsiger (Tracker) und 2-achsiger Nachführung unterschieden (Mover) (s. ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007).

Die Modulflächen bei 1-achsiger nachgeführten Anlagen werden dem Sonnenstand in einer Ebene nachgeführt. Sie werden mittels eines Schraubankers oder eines Betonfundaments im Boden verankert und besitzen einen zentralen Mast mit Drehkonstruktion. Die Unterkonstruktion ist i. d. R. aus verzinktem Stahl (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007). Bei 1-achsiger nachgeführten Anlagen wird die zweite Achse bei der Installation der Module fest eingestellt und bestimmt damit die Modulneigung. Diese wird für eine optimale Nutzung des Sonnenlichts anhand des Breitengrads berechnet und liegt in Mitteleuropa standardmäßig bei 30° (Chiabrande et al. 2009). Doch auch die zweite Achse lässt sich bei diesem Anlagentyp je nach Standort verstellen. Dies kann z. B. in den Wintermonaten erfolgen, wobei die Systeme von Hand nachjustiert und steiler gestellt werden. Die 1-achsiger nachgeführten Anlagen folgen dem Sonnenverlauf von Osten nach Westen und können den Ertrag damit gegenüber starren Anlagen zwischen 25-30 % steigern (Konrad 2008).

Bei den 2-achsiger nachgeführten Anlagen werden die Modulflächen dem Son-

nenstand in zwei Ebenen nachgeführt, um eine ständige optimale Ausrichtung zur Sonne zu erzielen. Dabei verstellen sich die Module in der Horizontalen und in der Vertikalen. Die Fundamentierung ist aus Beton und die Unterkonstruktion wie bei 1-achsig nachgeführten Anlagen aus verzinktem Stahl. Die aktuelle Windgeschwindigkeit wird durch einen Wächter kontrolliert. Sobald die auftretenden Windkräfte zu groß werden, dreht sich die Modulfläche zwecks Schadenvermeidung durch Waagerechthaltung aus dem Wind (Konrad 2008). Die Höhe der Modulkonstruktion kann bei nachgeführten Anlagen bis 6 m betragen (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007).

2.3 Flächenbedarf und -nutzung

Der Flächenbedarf einzelner PV-FFA, d. h. die Größe der meist eingezäunten Betriebsfläche (Abb. 2), liegt im Bereich von einigen, oft jedoch bis weit über 20 ha pro Anlage (Herden et al. 2009). Neben der installierten Leistung (kWp) sind die Wirkungsgrade der verwendeten Modultypen ein wichtiger Faktor für den Flächenbedarf. Darüber hinaus spielen die Anordnung der einzelnen Systemkomponenten (z. B. Höhe der Module, Abstände der Modulreihen), die Art der Aufständigung (z.B. starre Reihenausstellung oder Mover) und die Topographie (Neigung der Fläche, geografische Lage) eine wichtige Rolle.

Die Betriebsflächen von PV-FFA sind i. d. R. durch folgende Bestandteile gekennzeichnet:

- Modulaufstellfläche,
- Betriebsgebäude für Wechselrichter und Transformatoren, in denen der erzeugte Strom gebündelt wird,
- Nebenanlagen für die Verkabelung,
- Zufahrtswege (i. d. R. teilversiegelte Schotterwege), eventuell ein Wendepplatz für Fahrzeuge,
- Zaunanlagen, welche die PV-FFA rundum einschließen und vor Diebstählen sichern sollen, ggf. Kameramasten mit Überwachungskameras,
- ggf. Betriebsgebäude oder Container für die Lagerung von Ersatzteilen, Wartungsfahrzeugen etc.,
- ggf. Ställe für Weidevieh.

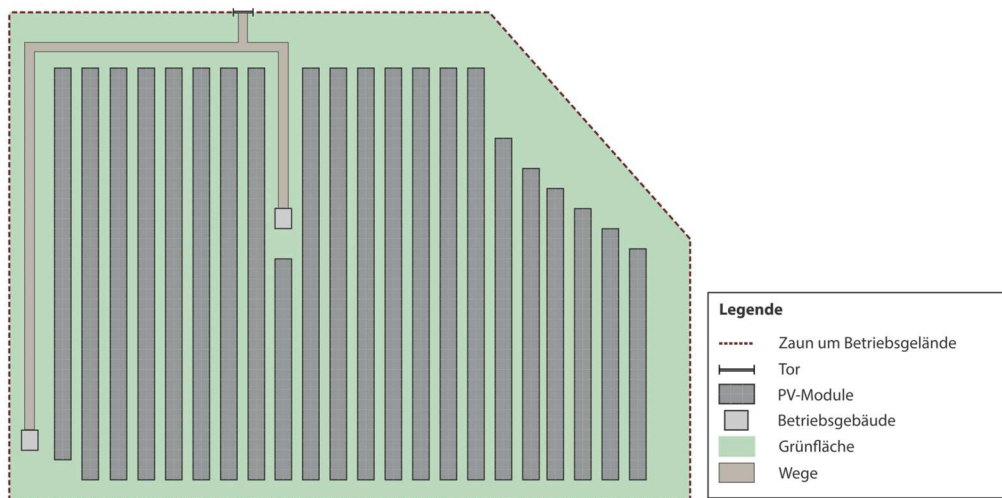


Abb. 2: Idealisiertes Schema einer PV-FFA in Reihenaufstellung.

Der Flächenbedarf für die benötigten Nebenanlagen und Gebäude ist im Vergleich zur Gesamtfläche relativ unbedeutend. Auch bei größeren PV-FFA bedecken sie nur eine Fläche von wenigen hundert Quadratmetern (vgl. Freiland Umweltconsulting GmbH 2011). Somit hält sich auch die versiegelte Fläche, zumindest bei dem am häufigsten vorkommenden Anlagentyp mit nicht beweglichen Modulen in Reihenaufstellung, gering, da die Module selbst die Fläche nur überschirmen, jedoch nicht versiegeln. Der Abstand zwischen den Reihen ermöglicht es, dass der Boden unter den Modulen mit Regen und Licht versorgt wird (Aigner et al. 2010). Die Größenordnung für die tatsächliche Versiegelung der Fläche durch Fundamente oder Betriebsgebäude liegt bei modernen Anlagentypen in Reihenaufstellung bei $< 2\%$. Bei nachgeführten Anlagen kann der Versiegelungsgrad mit $< 5\%$ etwas höher ausfallen, da hier die Module u. a. auf Drehkränzen befestigt sind, die ein größeres Fundament erfordern (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007; Herden et al. 2009; Kelm et al. 2014).

Der Anteil der überschirmten Fläche wird bei den starren Anlagen auf etwa 30-35 % beziffert, während die nachgeführten Anlagen durch ihre sich verändernde Ausrichtung keine dauerhafte Überdeckung, sondern nur eine zeitweise Beschattung haben (Herden et al. 2009; ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007; Jessel u. Kuler 2006). Der maximale Anteil der zulässigen überschirmten Fläche richtet sich auch nach der BauNVO, wenn der Anlagenbereich als „sonstiges Sondergebiet“ ausgewiesen wurde. Die Grundflächenzahl ist im Sondergebiet auf 0,5 festgesetzt, was bedeutet, dass der Überbauungsgrad der Fläche im Verhältnis zur nicht überbauten Flächen bei maximal 50 % liegen darf (IFÖNA 2012).

Eine Umzäunung der PV-FFA ist wegen des hohen Sachwertes der Anlagenkomponenten in der Regel vorhanden und aus versicherungstechnischen Gründen erforderlich (Konrad 2008). Vereinzelt gibt es Beispiele, die ohne Einzäunung auskommen (Aigner et al. 2010). Möglichkeiten diese frei zugänglichen PV-FFA vor Diebstahl zu schützen sind Bewegungsmelder, akustische oder optische Alarmgeber, Beleuchtung oder bspw. Reißdrahtsensoren, die mit einer Meldezentrale verbunden sind (vgl. Kapitel 2.5). Generell sollten zudem Befestigungs- und Verbindungselemente immer so montiert werden, dass sie sich nicht zerstörungsfrei vom PV-Modul lösen lassen (Konrad 2008).

Neben der Installation der Flächenkomponenten wie Technikhäuser, Module etc. muss in der Bauphase das Erdreich mit Kabeln versehen werden. Dies dient der Verkabelung der einzelnen Modulsysteme und der Zuleitung des Stroms zu den Wechselrichtern. Die Kabel werden rd. 60 cm tief, bei überfahrenen Flächen 80 cm tief verlegt. Die Grabentiefe der Kabelgräben liegt meist bei 70-90 cm, da oberhalb und unterhalb der Kabel eine mindestens 10 cm dicke Sandschicht eingebracht wird. Die Breite des Grabens ergibt sich aus der Anzahl der Kabel und aus dem Abstand zwischen den Kabeln, welche in einer Ebene nebeneinander verlegt werden (Herden et al. 2009). Ein Grabenaushub kann bei einzelnen Kabeln vermieden werden, wenn der Boden weich ist und ein Einpflügen ermöglicht. Nach Beendigung der Verlegung werden die Gräben wieder verfüllt und die Flächen werden nach relativ kurzer Zeit wieder begrünt.

Die Fläche innerhalb des mit Modulen bestandenen und eingezäunten Bereichs einer PV-FFA entwickelt sich zumeist als Grünland (Herden et al. 2009; Peschel 2010). I. d. R. wird die Fläche extensiv gemäht oder beweidet (Abb. 3). Gehölze sind wegen Brandgefahr und einer möglichen Verschattung der Module nicht vorgesehen und erfordern Pflegemaßnahmen. In Einzelfällen können Kompensationsflächen innerhalb der Betriebsfläche vorhanden sein sowie Sichtschutzpflanzungen aus Hecken, Büschen etc. (Herden et al. 2009).



Abb. 3: Mit Schafen beweidete PV-FFA (links, Anlage 244, Mainburg) und extensiv gemähte PV-FFA (rechts, Anlage 373, Kitzingen).

Voraussichtlich beträgt die Lebensdauer von PV-Modulen deutlich mehr als 20 Jahre (Aigner et al. 2010). Kommt es zu dem Zeitpunkt, an dem die Module ausgetauscht werden müssten, muss der Investor entscheiden, ob sich der Weiterbetrieb lohnt oder ob ein Rückbau erfolgen soll (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007). Die Geltungsdauer des zum Zwecke der Errichtung einer Solaranlage aufgestellten B-Plans kann auf einen bestimmten Zeitraum beschränkt sein (z. B. 25 Jahre) und die Anlagenfläche wird anschließend einer Folgenutzung (z. B. Flächen für die Landwirtschaft) zugewiesen bzw. muss der ursprüngliche Zustand wiederhergestellt werden (vgl. Landschaftsarchitekturbüro gutschker & dongus 2012). Nach dem Ende der Nutzungsdauer, die im Bebauungsplan festgelegt werden kann, kann ein vollständiger Rückbau relativ schnell erfolgen, da die Einzelteile leicht entfernbar sind und teilweise wertvolle Rohstoffe darstellen. Auch das Interesse an einer Nachnutzung, z. B. in Form einer landwirtschaftlichen Wiedernutzung, kann dazu führen, dass die PV-FFA rasch zurück gebaut wird, sobald das Verhältnis zwischen Unterhaltungs- und Instandsetzungskosten und dem Erlös aus der Stromgewinnung negativ wird (Aigner et al. 2010; ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007).

Um die Kabel aus dem Erdreich zu entfernen, kann für den Rückbau bei den meisten Bodentypen davon ausgegangen werden, dass die Kabelgräben geöffnet werden müssen. Aufgrund des hohen Gehalts an wertvollem Kupfer wird es auch in Zukunft unwahrscheinlich sein, dass die Kabel nach Nutzungsende im Erdreich belassen werden (Herden et al. 2009).

2.4 Bisherige Entwicklung von PV-FFA in Deutschland

In den Jahren 2003-2008 lag der Ausbau von PV-FFA zumeist unter 100 MW pro Jahr. Der Anteil an der gesamten PV-Installation (inkl. Dachanlagen) war damit nicht höher als 10 % (Fraunhofer IWES et al. 2016). Durch den Preisverfall für Solarmodule und eine gleichzeitig hohe Förderung stieg die Installation von PV-FFA in den Jahren 2009-2011 deutlich an (Kelm et al. 2014, Kost et al. 2018). Zusätzlich zu einer starken Reduzierung der Vergütungssätze wurde in 2010 die Nutzung von Ackerflächen für PV-Anlagen gestrichen und der Anstieg dadurch wieder abgebremst (Klessmann et al. 2014). Der starke Zubau in den Jahren 2011 und 2012 verlagerte sich von den Ackerflächen, vorwiegend in Bayern, auf Konversionsflächen, vorwiegend in Ostdeutschland. Aktuell machen PV-FFA einen Anteil von rd. 26 % an der gesamten installierten Leistung von PV-Anlagen aus (ZSW u. Bosch & Partner 2016).

Da nach § 3 Nr. 1 EEG 2017 jedes Modul eine eigenständige Anlage ist, lässt sich durch die Daten der Bundesnetzagentur jedoch keine reale Anzahl von PV-FFA (mehrere Module innerhalb einer eingezäunten Betriebsfläche) ableiten. So gibt z. B. der BSW-Solar (2018) eine Zahl von 1,64 Mio. installierten Anlagen (Dach- und Freiflächenanlagen) an. Kelm et al. (2014) nennen eine

Zahl von 1.900 PV-FFA, entsprechend der Einträge in den Meldedaten der Bundesnetzagentur. Die PV-FFA an Seitenflächen von Straßen wurden mit 1.227 beziffert. Bei rund 20 % der Einträge ließen sich aber keine auswertbaren Angaben, z. B. zum Standort der Anlage, entnehmen (ebd.). Durch eine Verschneidung von ATKIS-Daten und Energy-Map-Daten ermittelten Koldrack et al. (2014) bundesweit 1.470 PV-FFA, Walz et al. (2014) ermittelten 2.022 PV-FFA. Schmidt et al. (2018) geben, basierend auf OSM-Daten, für das Jahr 2017 bereits eine Zahl von 11.729 PV-FFA entlang von Schienenwegen an.

Über die raumkonkrete Flächeninanspruchnahme der PV-FFA ist noch wenig bekannt. Kelm et al. (2014) beziffern, dass bis 2010 8.500 ha mit PV-FFA bebaut wurden, in den Jahren 2011-2014 waren es bereits 15.200 ha. In Bayern wurden 2.000 ha an Ackerflächen mit PV-FFA bebaut, was im Bundeslandvergleich ein Höchstwert ist (ebd.).

Während im Jahr 2002 noch 4,11 ha pro MW installierte Leistung durch PV-FFA in Anspruch genommen wurden, wurde für das Jahr 2015 ein Flächenansatz von 1,6 ha pro MW ausgewiesen (Bundesnetzagentur 2016). Diese Entwicklung ist auf die grundsätzliche Steigerung der Wirkungsgrade neuer Solarmodule zurückzuführen. Aktuelle Studien gehen davon aus, dass die Flächeninanspruchnahme pro installierte Leistung zukünftig weiter zurückgehen wird.

2.5 Versicherungstechnische Aspekte

Da der Bestand, vor allem die PV-Module, und der Betrieb von PV-FFA mit hohen finanziellen Werten in Verbindung stehen, werden diese üblicherweise versichert. Ob eine PV-Anlage versicherungsfähig ist und welche Kosten der Anlagenbetreiber aufbringen muss, hängt grundsätzlich von den Merkmalen der PV-Anlage ab. Im Verhältnis ist die Versicherung bei größeren Anlagen günstiger als bei kleineren. Zudem ist die örtliche Lage der PV-FFA, d. h. ob sie abgelegen oder zentral liegt, ein wichtiger Faktor für die Versicherungssumme. Es gilt im Allgemeinen, dass die Kosten umso geringer werden, desto besser eine Anlage vor Diebstahl oder Brand gesichert ist (Baumgärtel 2017; Leinweber 2017). Aus Sicht des Naturschutzes ist dies relevant, da sich die Vorkehrungen zum Diebstahlschutz sowie zum Brandschutz auf die Struktur und Nutzung der Fläche auswirken können.

Für den Diebstahlschutz werden PV-FFA i. d. R. komplett eingezäunt. Der Zaun sollte dabei mindestens 2 m hoch sein und einen Übersteigschutz besitzen (Rosa Photovoltaik 2017). Nach Leinweber (2017) ist ein Kleintierdurchlass im Zaun dabei unproblematisch und führt nicht zu höheren Kosten für die Bestandsversicherung. Des Weiteren plädieren die Versicherungen für zusätzlichen elektronischen Diebstahlschutz wie z. B. Videoüberwachung, 24-

Stunden Wachdienst oder Bewegungsmelder sowie für diebstahlhemmende Maßnahmen wie z. B. Spezialkleber zwischen PV-Modulen und Fundamenten (Baumgärtel 2017; Leinweber 2017; Rosa Photovoltaik 2017).

Für einen optimalen Brandschutz sollten die Freiflächen der PV-FFA aus Sicht der Versicherer mit Kies o. ä. bedeckt sein. Alternativ sollte der Bewuchs unter einer Höhe von 20 cm gehalten werden. Dies kann sowohl durch regelmäßige Mahd als auch Beweidung erfolgen. Um das Brandrisiko zu reduzieren, sollten zudem Kabel nicht gebündelt, sondern flächig verlegt werden (Baumgärtel 2017; Leinweber 2017). Im Zaunbereich sollte eine 5 m breite und 20 cm tiefe Schüttung aus Kies, Schotter o.ä. erfolgen (Rosa Photovoltaik 2017).

2.6 Naturschutzrechtliche Rahmenbedingungen

In den meisten Fällen befinden sich die geplanten PV-FFA im Innenbereich und erfordern eine Bauleitplanung (Herden et al. 2009; Bohl 2011; LfU 2014). Auch bei großflächigen PV-FFA im Außenbereich ist grundsätzlich eine gemeindliche Bauleitplanung erforderlich (vgl. Blessing-Schörg 2012). Gemäß § 1 Abs. 6 Nr. 7 BauGB müssen die Auswirkungen auf die Umwelt in den Bauleitplänen berücksichtigt werden. Insbesondere § 1a Abs. 2 BauGB zur Verringerung des Flächenverbrauchs und die Eingriffsregelung nach § 13 BNatSchG sind zu beachten. Weitere naturschutzrechtliche Aspekte, die bei der Errichtung einer PV-FFA berücksichtigt werden müssen, sind, abhängig von dem Standort und der Größe, die Umweltprüfung im Rahmen der Bauleitplanung, die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), die artenschutzrechtliche Prüfung und die Fauna-Flora-Habitat-Verträglichkeitsprüfung (FFH-VP).

Die Eingriffsregelung verpflichtet einen Verursacher dazu, erhebliche Beeinträchtigungen in Natur und Landschaft vorrangig zu vermeiden. Ist eine erhebliche Beeinträchtigung durch PV-Anlagen nicht vermeidbar, müssen durch den Verursacher Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen durchgeführt oder Ausgleichszahlungen geleistet werden (Wagegg u. Trump 2015). Im Rahmen der Eingriffsregelung in der Bauleitplanung ist nach den Vorschriften des Baugesetzbuches über Vermeidung, Ausgleich und Ersatz zu entscheiden (§ 15 BNatSchG). Bei der Ermittlung des Ausgleichsbedarfs ist die Wirkungsprognose ein zentraler Schritt. Dabei gilt es die vom Vorhaben ausgehenden Wirkungen in Art, Intensität, Reichweite und Wirkungsdauer für jeden Eingriff in Natur und Landschaft zu prognostizieren (Herden et al. 2009). Aus naturschutzfachlicher Sicht sind für einen optimalen Ausgleich Maßnahmen mit einem engen funktionalen Bezug zur beeinträchtigten Funktion möglichst in räumlicher Nähe zum Ort des Vorhabens anzustreben. Dabei kann das Baugrundstück selbst eine Fläche für den Ausgleich darstellen (vgl. StMLU 2003; LfU 2014). Demnach kann eine naturschutzgerechte Gestaltung der PV-FFA ein möglicher Ausgleich des Eingriffs sein. Die Berechnung des Kompensationsbedarfes ist

auf Länderebene festgelegt und unterscheidet sich teilweise von Bundesland zu Bundesland (Brauer et al. 2006; LfU 2014). In Bayern gilt bspw., dass eine Eingrünung der Anlage durch Hecken und Gehölze ab 5 m Breite als Kompensationsmaßnahme anerkannt wird (LfU 2014).

Im Rahmen des Bebauungsplan-Verfahrens ist für die Belange des Umweltschutzes auch eine Umweltprüfung durchzuführen. Nach § 2 Abs. 4 BauGB müssen dabei die erheblichen Umweltauswirkungen ermittelt werden, welche in einem Umweltbericht beschrieben und bewertet werden. Der Vorhabenträger bekommt dabei von der Gemeinde vorgegeben, in welchem Umfang die Ermittlung erforderlich ist (§ 2 Abs. 4 BauGB). Für Bebauungspläne im vereinfachten Verfahren nach § 13 BauGB und für Bebauungspläne der Innenentwicklung nach § 13a BauGB, bei der die Grundfläche der geplanten PV-FFA weniger als 2 ha beträgt, muss keine Umweltprüfung durchgeführt werden.

Ob das Vorhaben UVP-pflichtig ist, hängt vom Einzelfall ab. Der Vorhabentyp „Solarpark“ oder „Anlage zur Erzeugung von Strom aus Sonnenenergie“ ist in der Anlage 1 des UVPG nicht aufgelistet, jedoch kann bei Anlagen von mehr als 10 ha Grundfläche eine UVP-Pflicht nach Nr. 18.7 des Anhangs 1 zum UVPG abgeleitet werden. Bei einer Grundfläche zwischen 2 ha und 10 ha wäre demnach die Vorprüfung des Einzelfalls erforderlich (vgl. Bredemann u. Stellberg 2012).

Bei der Planung und Errichtung einer PV-FFA ist auch das Artenschutzrecht nach §§ 44ff BNatschG unter besonderer Berücksichtigung der europarechtlichen Vorgaben der FFH-Richtlinie und der Vogelschutzrichtlinie zu beachten (Herden et al. 2009). Läuft die Genehmigung eines PV-FFA-Vorhabens über ein Bauleitplanungsverfahren, muss das Artenschutzrecht bereits bei Aufstellung bzw. Änderung des B-Plans berücksichtigt werden. Dabei ist ein eigenständiger Fachbeitrag zur Artenschutzprüfung zu erstellen (vgl. Bredemann u. Stellberg 2012).

Das europäische Schutzgebietsnetz NATURA 2000 umfasst die FFH-Gebiete und die EU-Vogelschutzgebiete. Nach §§ 34f BNatschG ist die Errichtung einer PV-FFA zulässig, wenn das Vorhaben allein oder im Zusammenwirken mit anderen Projekten oder Plänen mit den Schutz- und Erhaltungszielen des jeweiligen NATURA 2000-Gebietes vereinbar ist. Dies wird im Zuge der FFH-Verträglichkeitsprüfung ermittelt. Ob eine FFH-Verträglichkeitsprüfung durchgeführt werden muss, hängt nicht primär davon ab, ob sich die geplante PV-FFA innerhalb eines NATURA 2000-Gebietes befindet. Vielmehr geht es um die Wirkung, die eine PV-FFA auf das (bspw. benachbarte) FFH-Gebiet haben kann. Dabei sind die Erhaltungsziele in Bezug auf den Lebensraumtyp und die Arten der Anhänge I und II der FFH-Richtlinie und der Arten des Anhang 1 der Vogelschutzrichtlinie des spezifischen Gebietes Prüfgegenstand.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die FFH-Ausnahmeprüfung in Bezug auf die Planung und Errichtung von PV-FFA nicht von Bedeutung ist. Grund dafür ist, dass ein sogenanntes Ausnahmeverfahren im Falle einer Unverträglichkeit in der Regel nicht möglich ist. Die dort genannten Kriterien, insbesondere die „zwingenden Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses“ (§ 34 Abs. 3 Nr. 1 BNatschG), können bei PV-FFA nicht in Anspruch genommen werden. Des Weiteren werden zumutbare Alternativen, bspw. eine Ausweichfläche in der Gemeinde, vermutlich vorhanden sein (Herden et al. 2009).

3 Kenntnisstand zur Habitatfunktion von PV-FFA

3.1 Anlass und Fragestellungen

Um die Bedeutung von PV-FFA für die Vernetzung von Lebensräumen ermitteln zu können wurde der aktuelle Kenntnisstand zur Habitatfunktion der Anlagen zusammengestellt. Folgende Fragestellungen wurden untersucht:

- Welche Wirkfaktoren mit Relevanz für Arten und Lebensgemeinschaften gehen von PV-FFA aus?
- Welche Auswirkungen von PV-FFA auf Tier- und Pflanzenarten wurden bisher in der Literatur beschrieben?

Vorliegende Studien und Untersuchungen an PV-FFA in Deutschland waren hierbei von besonderem Interesse. Neben Angaben zu den bereits untersuchten Anlagenstandorten sollten auch mögliche Untersuchungsansätze und -methoden zusammengestellt werden, um diese ggf. für die eigenen Untersuchungen weiterverwenden zu können.

3.2 Methodik

Es wurde eine systematische Literaturrecherche auf nationaler und internationaler Ebene durchgeführt. Die Recherche wurde innerhalb der Datenbanken ISI Web of Science (nur englische Begriffe), Google Scholar und DNL-Online (nur deutsche Begriffe) durchgeführt. Die Suche beschränkte sich auf den Zeitraum der Veröffentlichung zwischen 2000-2016. Die recherchierten Begriffskombinationen (deutsch und englisch) umfassten definierte Begriffe bzw. Synonyme für PV-FFA als Hauptsuchterme und zur Konkretisierung Nebensuchterme zum Themenfeld Arten und Lebensräume (Tab. 1). Es wurde nach Titeln, Zusammenfassungen und Schlagwörtern gesucht.

Für die Auswertung wurden soweit möglich auch zusätzliche Artikel sowie graue Literatur, wie z. B. Gutachten, herangezogen. Darunter auch solche, die aus der Überprüfung der Literaturverzeichnisse der gefundenen Artikel resultieren (Schneeballsystem).

Tab. 1: Suchterme der Literaturrecherche zu Wirkungen von PV-FFA auf Arten und Lebensgemeinschaften.

Hauptsuchterme	Nebensuchterme
<p>Deutsch: Solarfreianlage, Freilandphotovoltaikanlage, Photovoltaik-Freiflächenanlage, PV-FFA, Fotovoltaik-Freiflächenanlage, Freiland-Solaranlage, Freiland-Solarpark, Solarenergieanlage, Solarpark</p> <p>Englisch: photovoltaic power plant, photovoltaic system, ground-mounted PV, ground-based PV, solar energy system, solar power plant, utility-scale solar/photovoltaic (USSE)</p>	<p>Deutsch: Wirkung, Natur*, faun*, flor*, Säugetiere, Vögel, Heuschrecke*, Grashüpfer, Biotop*, Insekt*, Auswirkung*, Habitat, Lebensraum, Vegetation, Umwelt*</p> <p>Englisch: Impact, environ*, faun*, flor*, ecol*, animal, mammal, grasshopper, locust, insect*, species, habitat, bird*, vegetation</p>

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Potenzielle Wirkfaktoren von PV-FFA mit Relevanz für Arten und Lebensgemeinschaften

Nach dem Prinzip der Ökologischen Risikoanalyse können für PV-FFA generell bau-, anlage- und betriebsbedingte Wirkfaktoren beschrieben werden. PV-FFA haben temporäre baubedingte Wirkungen, die je nach Größe der verwendeten Bauteile und Baufahrzeuge einen erheblichen Eingriff darstellen können. Die anlagebedingten Wirkungen umfassen Wirkungen durch die Solarmodule, die Nebengebäude und Zufahrtswege sowie die Einzäunung und die Pflege und Bewirtschaftung der Anlagenfläche. Mit Blick auf die Relevanz für Arten und Lebensgemeinschaften sind die betriebsbedingten Wirkungen vernachlässigbar (Tab. 2).

Durch die Nutzung schwerer Baumaschinen bei der Aufstellung der Solarmodule kann es zu Bodenverdichtungen kommen, die eine Änderung der abiotischen Standortbedingungen zur Folge haben können (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007; Herden et al. 2009). Der Grad der Verdichtung hängt dabei von der Modulart ab, da „Mover“ den Einsatz schwererer Baumaschinen erfordern (Herden et al. 2009; Kelm et al. 2014). Im Zuge der Aufstellung kann es zu einem Bodenabtrag und einer -durchmischung kommen, z. B. wenn Erdkabel verlegt werden (Herden u. Martin 2005; ArGe GFN/ZWS 2011). Durch Umschichtungen und einen Reliefausgleich werden dann das Bodengefüge und damit Standortbedingungen verändert (Rück et al. 2011). Boden- oder Materialaufträge sowie eine Ansaat zur Begrünung unterbinden zusätzlich das Diasporenpotential im Boden. Die Auswirkungen sind je nach Vorbelastung des Standortes unterschiedlich zu bewerten, allerdings bei wertvollen Lebensraumtypen problematisch (Herden et al. 2009). Durch den Baulärm können Tiere gestört werden.

Zufahrtswege und Trafo-Gebäude und in geringem Maße auch die Verankerungen der Solarmodule auf der Anlagenfläche bewirken eine Versiegelung,

die einen Lebensraumverlust, z. B. für Insekten oder Bodenlebewesen, sowie den Verlust von Landschaftsfunktionen auf der Fläche zur Folge haben kann.

Die Aufstellung der Solarmodule hat vielfache anlagebedingte Auswirkungen auf die Freifläche. Die Überschirmung des Bodens hat eine Veränderung der Oberflächenrauigkeit und der Windgeschwindigkeiten am Boden zur Folge (Millstein u. Menon 2011). Durch von den Modulen abfließendes Wasser kann es zu partieller Bodenerosion kommen (Herden et al. 2009). Eine grundsätzliche Veränderung des Niederschlagsregimes sowie damit verbunden des Bodenwasserhaushalts kann eine partielle oberflächliche Austrocknung im Sommer und schneefreie Bereiche unter den Modulen im Winter bewirken (Herden et al. 2009; Landeck et al. 2014).

Durch die Anordnung der Module auf der Freifläche werden Bereiche unterschiedlichen Kleinklimas erzeugt, was u. a. dazu führt, dass eine verringerte Luftzirkulation und Unterschiede in der tageszeitlichen Veränderung der Luftfeuchte entstehen (Landeck et al. 2014). Kelm et al. (2014) und Armstrong et al. (2016) stellten dadurch eine Vergleichbarkeit mit den Wirkungen eines Blätterdachs fest. Die Beschattungswirkung der Module sorgt zusätzlich dafür, dass auf Teilen der Fläche nur Streulicht für die Vegetation zur Verfügung steht (Herden et al. 2009; Kelm et al. 2014).

Die Oberflächenbeschaffenheit von Solarmodulen kann eine Blend- und Irritationswirkung auf Vögel und Säugetiere und als standortfremdes Element in der Landschaft eine Stör- und Scheuchwirkung ausüben (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007; Herden et al. 2009; BUND Landesverband Schleswig-Holstein 2005). Polarisierungseffekte können eine erhöhte Anziehungswirkung auf Insekten ausüben (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007; Herden et al. 2009), wobei für Module mit weißem Rahmen und sichtbaren Zellgrenzen im Vergleich zu homogen schwarzen Modulen eine geringere Anziehungskraft auf Wasserinsekten festgestellt werden konnte (Horváth et al. 2010). Die Aufheizung der Solarmodule durch Sonneneinstrahlung und Verlustwärme auf bis zu 50-70° (ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007; Chiabrande et al. 2009) kann diese ebenfalls für Insekten attraktiv machen (Herden et al. 2009; Landeck et al. 2014).

PV-FFA sind aus versicherungstechnischen Gründen meist von einem Zaun umgeben (vgl. Kapitel 2.5). Dies kann zu einem Lebensraumverlust bzw. der Lebensraumzerschneidung insbesondere für Mittel- und Großsäuger führen. Bei wandernden Tierarten kann eine PV-FFA zusätzlich als Barriere wirken (Herden et al. 2009; BUND Landesverband Schleswig-Holstein 2005; Hernandez et al. 2014), womit dies als eine raumbedeutsame Wirkung eingestuft werden kann (Turney u. Fthenakis 2011).

Allgemein bedingt der Bau einer PV-FFA eine Flächenumwidmung bzw. Nut-

zungsänderung, die häufig mit einem reduzierten Dünger- und Pestizideinsatz einhergeht (Herden u. Martin 2005). Durch eine Extensivierung kann eine Regeneration ehemaliger Ackerböden bewirkt werden (Marquardt 2004) und folglich sind im weitesten Sinne positive Wirkungen auf die Biodiversität (auf der Fläche selbst) möglich (Peschel 2010; Herden et al. 2009; Raab 2015; Landeck et al. 2014; Wagegg u. Trumpp 2015). Durch eine entsprechende Pflege und Bewirtschaftung der Anlagenfläche können Merkmale extensiv genutzter Grünländer erhalten oder wiederhergestellt werden.

Tab. 2: Übersicht über mögliche Wirkfaktoren, Wirkungen und nachgeordnete Effekte von PV-FFA mit Relevanz für Arten und Lebensgemeinschaften (Zusammenstellung nach Herden et al. 2009; ARGE Monitoring PV-Anlagen 2007; Herden u. Martin 2005; Kelm et al. 2014; Millstein u. Menon 2011; Chiabrando et al. 2009; Turney u. Fthenakis 2011; Horváth et al. 2010).

	Wirkfaktoren	Wirkungen	Mögliche nachgeordnete Effekte
Baubedingt	Nutzung schwerer Baumaschinen	Bodenverdichtung	Verschlechterung des Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalts, Verschlechterung der Durchwurzelbarkeit, Gefahr von Staunässe, Unterbindung des vorhandenen Diasporenpotentials im Boden, Verlust besonderer Lebensraum- oder Vegetationsstrukturen
	Bodenabtrag/-auftrag; ggf. Ansaat	Veränderung der Boden- und Vegetationsstruktur	
	Reliefausgleich	Standortnivellierung	
Anlagebedingt	Gebäude und Wege	Versiegelung	Lebensraumverlust
	Solarmodule	Überschirmung, Beschattung, Spiegelung/ Polarisation, Bodenerosion, Aufheizung der Module	Veränderung der Bodenfeuchte, des Lichteinfalls und der Windgeschwindigkeit am Boden, im Winter schneefreie Bereiche, Irritation, Lock- und Attraktionswirkung, Blendwirkung, Silhouetteneffekt
	Einzäunung	Flächenentzug	Verlust und Zerschneidung von Lebensräumen, Barrierewirkung
	Pflege/Bewirtschaftung der Fläche	Veränderung der Vegetationsstruktur, Extensivierung	Reduzierung des Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes, Erhaltung spezifischer Merkmale extensiv genutzter Flächen

3.3.2 Untersuchte Anlagenstandorte und Artengruppen

Untersuchungen zu den konkreten Auswirkungen von PV-FFA auf Arten und ihre Lebensräume liegen sowohl in Deutschland als auch international bisher nur in geringer Zahl vor. Dies kann u. a. darauf zurückgeführt werden, dass die

PV-Anlagentechnologie noch verhältnismäßig jung ist. Für den deutschsprachigen Raum wurden 14 Quellen identifiziert, die sowohl Publikationen als auch graue Literatur (z. B. interne Monitoring-Berichte) beinhalten.

Tab. 3: Übersicht über die faunistisch bzw. floristisch-vegetationskundlich untersuchten Anlagenstandorte in Deutschland.

Bundesland	Bezeichnung der Anlage	Quellen
Bayern	Erlasee (Main-Spessart-Kreis)	Herden et al. (2009)
	Grafenwöhr-Hütten	Hübner et al. (2014)
	Hemau	Herden et al. (2009); Knipfer u. Raab (2013); Landeck et al. (2014)
	Kleinaitingen	Landeck et al. (2014)
	Markstetten (Neumarkt Opf.)	Herden et al. (2009); Knipfer u. Raab (2013)
	Mühlhausen (Neumarkt Opf.)	Herden et al. (2009); Knipfer u. Raab (2013)
	Neuenmarkt II (Kulmbach)	Herden et al. (2009)
	Röckersbühl	Knipfer u. Raab (2013)
	Thannhausen	Knipfer u. Raab (2013)
Brandenburg	Finow I & II	Tröltzsch u. Neuling (2013); Hofstätter (2014)
	Finsterwalde 1A	Landeck et al. (2014)
	Turnow-Preilack (Lieberose)	Neuling (2009); Tröltzsch u. Neuling (2013); Landeck et al. (2014)
	Senftenberg II und III	Stoefter et al. (2012, 2013, 2014)
Nordrhein-Westfalen	Neurather See	Engels (1995); Teggers-Junge (1999)
Rheinland-Pfalz	Koborn-Gondorf	Engels (1995); Teggers-Junge (1999)
Sachsen	Waldpolenz	Landeck et al. (2014)
	Bautzen-Nadelwitz	Seidler et al. (2013)
Sachsen-Anhalt	Kleinwulkow (Genthin)	Herden et al. (2009)
	Köthen (Flugpl. Baasdorf)	Landeck et al. (2014)
	Rödgen	Landeck et al. (2014)
Schleswig-Holstein	Wange (Nordfriesland)	Landeck et al. (2014)
Thüringen	Ronneburg „Süd I“	Lieder u. Lumpe (2012)

Weitere acht internationale Veröffentlichungen konnten gefunden werden, die meisten davon durch die systematische Literaturrecherche. Vier Untersuchungen stammen aus Großbritannien, zwei aus der Tschechischen Republik und jeweils eine aus den USA und Südafrika. Diese Studien sind alle nach 2013 veröffentlicht worden und umfassen zwischen einem und elf Untersuchungs-

standorten. Nach dem derzeitigen Stand der Auswertung wurden in Deutschland an 22 PV-FFA faunistisch bzw. floristisch-vegetationskundliche Untersuchungen dokumentiert. Der Großteil der untersuchten Anlagen liegt im kontinental geprägten Osten bzw. Südosten Deutschlands mit einem Schwerpunkt in Bayern (Tab. 3, Abb. 4). Einzelne PV-FFA wurden bereits im Rahmen mehrerer Studien untersucht. Ein Beispiel hierfür ist der 162 ha große Solarpark Lieberose auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz in der Gemeinde Turnow-Preilack in Brandenburg, der mit einer Nennspitzenleistung von 52.790 kW zu den größten Solarkraftwerk Deutschlands zählt und bereits in drei Studien untersucht wurde (vgl. Neuling 2009; Tröltzsch u. Neuling 2013; Landeck et al. 2014).

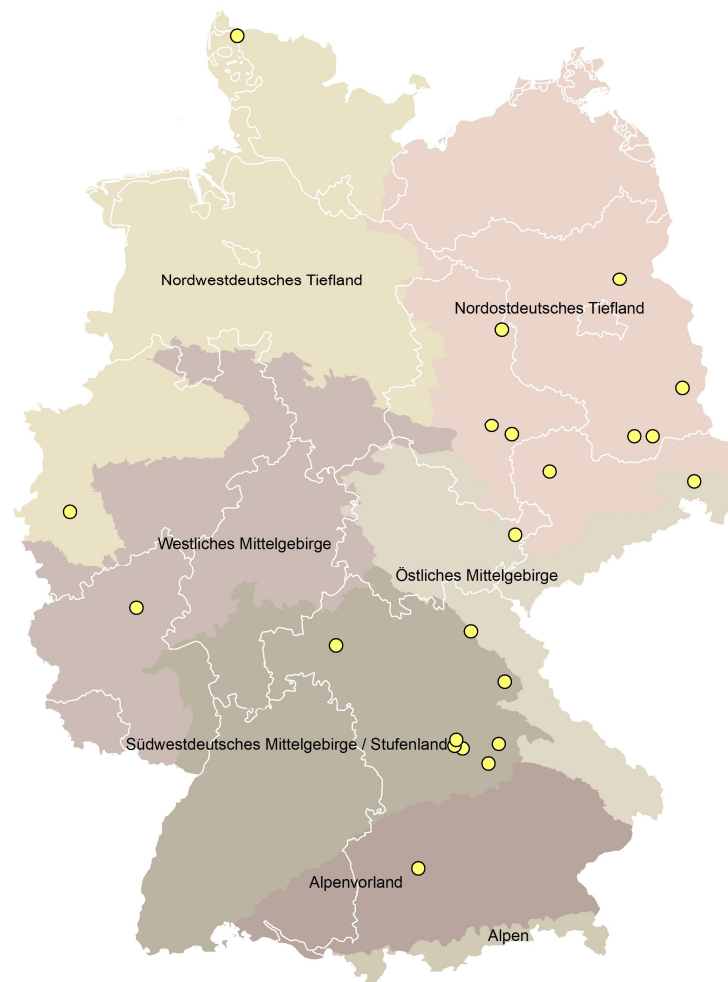


Abb. 4: Lage der faunistisch bzw. floristisch-vegetationskundlich untersuchten PV-FFA in den Großlandschaften Deutschlands (Stand: April 2018).

Umfassendere Forschungsarbeiten im deutschsprachigen Raum zu den Wirkungen von PV-FFA auf die Fauna wurden von Herden et al. (2009) und Landeck et al. (2014) im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz durchgeführt. Auch im Rahmen von Monitoringprogrammen und Gutachten wurden bereits PV-FFA untersucht (so bei Knipfer u. Raab 2013; Hübner et al. 2014; Stoefer et al. 2012, 2013, 2014). Auswirkungen auf die Avifauna wurden z. B. von Lieder u. Lumpe (2012), Neuling (2009) und Tröltzsch u. Neuling (2013) untersucht. In der Zusammenschau der vorliegenden Studien ergibt sich, dass Vögel mit Abstand zu den bislang am besten untersuchten Artengruppen auf PV-FFA zählen (Tab. 4, Abb. 5). Dabei sind sowohl standardisierte Methoden (z. B. Revierkartierungen bei Vögeln, Bodenfallen bei Laufkäfern) als auch Zufallsbeobachtungen (z. B. Sichtung von Säugetieren) auf den Anlagenflächen durchgeführt worden. Das Vorkommen vieler Tierarten ist an spezielle Vegetationstypen oder spezielle Pflanzenarten gebunden. Pflanzen sind dabei Teil des Lebensraumes (z. B. Brut- und Versteckmöglichkeiten) und eine Nahrungsgrundlage (z. B. Nahrungspflanzen für Tagfalter). Die Erfassung von Flora und Vegetation erfolgte häufig zur Beschreibung der Lebensraumqualität für Tierarten und daher in unterschiedlichem methodischem Umfang (z. B. in Form von Strukturanalysen bei Tröltzsch u. Neuling 2013).

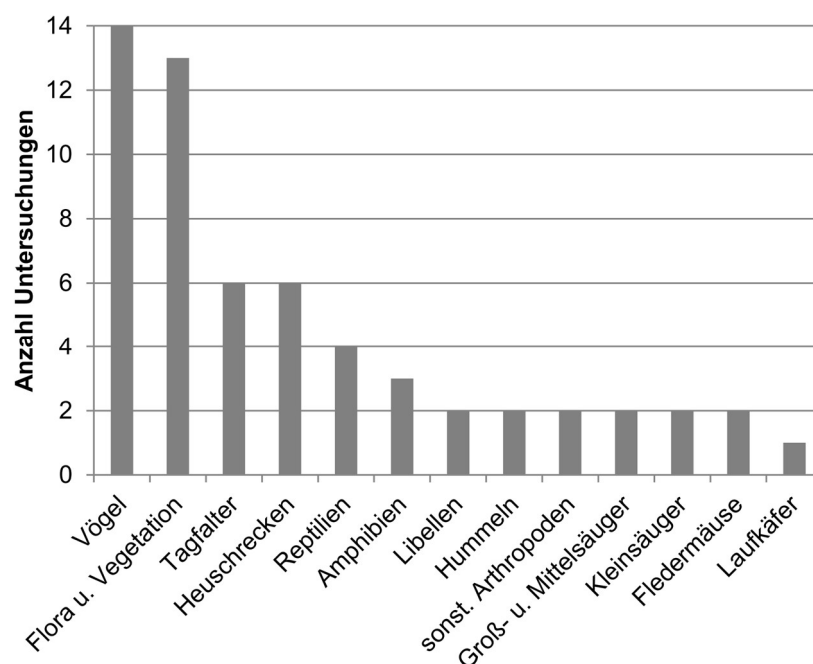


Abb. 5: Untersuchte Artengruppen an PV-FFA (n=22 Studien, Mehrfachnennungen möglich).

Tab. 4: Übersicht über die an PV-FFA untersuchten Artengruppen.

Artengruppe	Quellen
Vögel	Teggars-Junge (1999); Herden et al. (2009); Neuling (2009); Jaskowski (2009, 2014); Lieder u. Lumpe (2012); Tröltzsch u. Neuling (2013); Feltwell (2013); Knipfer u. Raab (2013); Stoefer et al. (2012, 2013, 2014); Hübner et al. (2014); DeVault et al. (2014); Montag et al. (2016); Visser (2016)
Flora u. Vegetation	Engels (1995); Teggars-Junge (1999); Herden et al. (2009); Stoefer et al. (2012, 2013, 2014); Parker u. McQueen (2013); Seidler et al. (2013); Landeck et al. (2014); Hübner et al. (2014); Uldrijan et al. (2015); Vespalcova et al. (2015); Montag et al. (2016); Armstrong et al. (2016); Visser (2016)
Tagfalter	Teggars-Junge (1999); Knipfer u. Raab (2013); Parker u. McQueen (2013); Landeck et al. (2014); Hübner et al. (2014); Montag et al. (2016)
Heuschrecken	Teggars-Junge (1999); Herden et al. (2009); Knipfer u. Raab (2013); Landeck et al. (2014); Hofstätter (2014); Hübner et al. (2014)
Reptilien	Teggars-Junge (1999); Stoefer et al. (2012, 2013, 2014); Landeck et al. (2014); Hübner et al. (2014)
Amphibien	Teggars-Junge (1999); Stoefer et al. (2012, 2013, 2014); Hübner et al. (2014)
Sonstige Arthropoden	Landeck et al. (2014); Herden et al. (2009)
Libellen	Hübner et al. (2014); Landeck et al. (2014)
Hummeln	Montag et al. (2016); Parker u. McQueen (2013)
Kleinsäuger	Hübner et al. (2014); Landeck et al. (2014)
Fledermäuse	Stoefer et al. (2012, 2013, 2014); Montag et al. (2016)
Groß- u. Mittelsäuger	Herden et al. (2009); Stoefer et al. (2012, 2013, 2014)
Laufkäfer	Landeck et al. (2014)

3.3.3 Festgestellte Habitatnutzung und Auswirkungen von PV-FFA auf Flora und Fauna

Die Auswirkungen der Module speziell auf Flora und Vegetation wurden auf einem Deponiestandort von Seidler et al. (2013) untersucht, wobei sich Unterschiede in der Blühphänologie einzelner Arten, der Artenzusammensetzung sowie der Morphologie durch die Beschattungswirkung (Vergeilung) ergaben. Insgesamt führt die Flächenumnutzung mit Grünlandbewirtschaftung der PV-Anlage zu einer erhöhten Pflanzenartenvielfalt (Parker u. McQueen 2013; Montag et al. 2016) im Vergleich zur vorherigen landwirtschaftlichen Nutzung (Acker oder Grünland).

Durch die Erwärmung und Polarisation des Lichts üben PV-Module eine Attraktionswirkung auf Insekten aus. Ein nachweisbares Mortalitäts- oder Verletzungsrisiko wurde hierdurch jedoch nicht festgestellt (Landeck et al. 2014; Herden et al. 2009). In keiner Untersuchung konnte ein erhöhtes Mortalitätsri-

siko für Wasserinsekten durch Verwechslung mit Wasserflächen festgestellt werden. Herden et al. (2009) fanden bei Klebefolientests sowohl aquatische Arten (z. B. Wasserwanzenarten) als auch semiaquatische Arten (z. B. Libellen, Köcherfliegen) sowie weitere blütenbesuchende Arten und Zufallsgäste auf Dummy-Modulen. Allgemein konnte festgestellt werden, dass Insekten die Module zum Aufwärmen oder Ansitzen nutzen, woraus auch auf eine verlängerte Aktivitätsphase dieser Arten geschlossen wurde (Landeck et al. 2014).

Die Untersuchungen ergaben weiterhin, dass die aufgestellten Solarmodule eine streifenförmige Ausbildung des Kleinklimas bewirken (Landeck et al. 2014). Durch die Beschattung verlagern zum Beispiel Heuschrecken ihre Raumnutzung in die besonnten Bereiche der Modultischzwischenräume (ebd.). Dies gilt sowohl für die singenden Männchen als auch für die übrigen Tiere. Neben trockenheitsliebenden Arten wie dem Braunen Grashüpfer (*Chorthippus brunneus*) oder dem Nachtigall-Grashüpfer (*Chorthippus biguttulus*) ist der Effekt auch bei mesophilen Arten wie dem Gemeinen Grashüpfer (*Chorthippus parallelus*) und feuchtigkeitsliebenden Arten wie dem Wiesen-Grashüpfer (*Chorthippus dorsatus*) nachweisbar (Herden et al. 2009).

Das Vorkommen von Tagfalterarten im Bereich von PV-FFA ist von verfügbaren Nahrungspflanzen abhängig und die jeweilige Vegetation bedingt verschiedene ökologische Gruppen. Entsprechend wiesen Landeck et al. (2014) die meisten Tagfalterarten und Individuen, insbesondere solche trockenwarmer Standorte, an den Standorten Turnow-Preilack und Finsterwalde nach. Parker u. McQueen (2013) und Montag et al. (2016) stellten in ihren Untersuchungen ebenfalls fest, dass Wirbellose wie Schmetterlinge und Hummeln durch die erhöhte Pflanzenartenvielfalt auf den Betriebsflächen bei der Nahrungssuche profitieren.

Landeck et al. (2014) kommen zu dem Schluss, dass PV-FFA bei einer fehlenden Lebensraumausstattung für Reptilien nicht geeignet sind. Nachweise von Zauneidechsen (*Lacerta agilis*) und Waldeidechsen (*Zootoca vivipara*) konnten nur vereinzelt oder in den Randbereichen der PV-FFA gelingen (ebd.). Knipfer u. Raab (2013) wiesen die Zauneidechse an zwei der von ihnen untersuchten Standorte nach und Hübner et al. (2014) fanden an ihrem Untersuchungsstandort Jungtiere der Zauneidechse.

Amphibien können PV-FFA dann nutzen, wenn auf der Anlagenfläche Gewässer vorhanden sind. Hübner et al. (2014) wiesen auf einem strukturreichen Standort mit vielen Laichgewässern den Bergmolch (*Ichthyosaura alpestris*), die Kreuzkröte (*Bufo calamita*), den Laubfrosch (*Hyla arborea*) und den Teichfrosch (*Pelophylax kl. esculentus*) nach. Landeck et al. (2014) konnten durch Zufallsbeobachtungen wandernde Jungtiere verschiedener Amphibienarten nachweisen.

Die Nutzung von PV-FFA durch Vögel ist vielfältig: Module und Zäune werden als Singwarte, zum Ansitz oder sogar zur Brut genutzt (Hübner et al. 2014; Neuling 2009; Tröltzsch u. Neuling 2013; Heindl 2014; Visser 2016). Die Solarfeldflächen wurden in der Untersuchung von Neuling (2009) nicht von bodenbrütenden Arten genutzt, Montag et al. (2016) dagegen registrierten zahlreiche Feldlerchennester auf Anlagenflächen in Großbritannien. Auch Visser (2016) stellt fest, dass das Potential einer PV-Anlage zur Nahrungssuche, Jagd und Brut vorhanden ist, aber von den Ansprüchen der Vogelart abhängt. So profitierten in Südafrika Vogelarten des Offenlandes gegenüber solchen des Buschlandes. Herden et al. (2009) und Feltwell (2013) konnten zudem keine explizit negativen Reaktionen wie Kollisionen, fälschliche Landeversuche, Irritationen von Zugvögeln oder ein generelles Meideverhalten feststellen. Neuling (2009) beobachtete einen einzelnen Versuch dreier Höckerschwäne (*Cygnus olor*), die PV-FFA anzufliegen mit anschließender Umkehr. Von den von ihm untersuchten Brutvögeln zeigte keine Art ein abweichendes oder auffälliges Verhalten. Systematische Totfundsuchen brachten keine oder keine aussagekräftigen Ergebnisse (Neuling 2009; Feltwell 2013; Visser 2016).

Obwohl die Säugetiere nur sporadisch untersucht wurden, konnten Herden et al. (2009) Feldhasen (*Lepus europaeus*), Rehe (*Capreolus capreolus*), Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris*), Füchse (*Vulpes vulpes*) und Damhirsche (*Dama dama*) an den Anlagenstandorten nachweisen. Landeck et al. (2014) fanden zudem Wildkaninchen (*Oryctolagus cuniculus*), Waschbären (*Procyon lotor*) und Marderartige durch Beibeobachtungen. Auch in Großbritannien wiesen Parker u. McQueen (2013) Hasen und kleine Säugetiere auf einer PV-Anlage nach. Fledermäuse wurden nur in einer einzigen Studie untersucht. Dabei zeigten die Tiere eine höhere Aktivität außerhalb der Anlagenflächen, aber die Artendiversität war auf beiden Flächentypen gleich (Montag et al. 2016).

Insgesamt zeigen die Studien, dass von PV-FFA potenziell auch positive Wirkungen auf die Tierwelt ausgehen können. Durch die Landnutzungsänderung von Ackerland zu extensiv genutztem Grünland, auf dem die PV-Anlage installiert wird, können Mehrwerte für bestimmte Arten erzielt werden. Besonders in ausgeräumten oder intensiv genutzten Landschaften haben PV-FFA das Potential, als Brut-, Rast- und Nahrungsflächen zu fungieren (Knipfer u. Raab 2013; Raab 2015). Durch schneefreie Bereiche unter den Modulen könnten Kleinsäuger auch im Winter Nahrung finden, was wiederum weitere Glieder der Nahrungskette, z. B. Greifvögel, begünstigt (Herden et al. 2009). Die genauen Auswirkungen sind jedoch artengruppen- bzw. artspezifisch, was weitere Untersuchungen notwendig macht.

Wie sich zeigte, sind unter den vorkommenden Arten an PV-FFA auch gefährdete Arten der Roten Liste. So wiesen beispielweise Herden et al. (2009) an den untersuchten Anlagen in Bayern die bundesweit stark gefährdete Sumpf-

schrecke (*Mecostethus grossus*) nach. Ebenso wurden bis zu zehn landesweit gefährdete Vogelarten auf den Anlagenflächen gesichtet.

Wenige Studien gehen bislang der Frage nach, inwiefern sich das Vorkommen einer Art auf der Anlagenfläche vom Vorkommen in der umgebenden Landschaft unterscheidet. Selten (z. B. bei Tröltzsch u. Neuling 2013; Montag et al. 2016; Visser 2016) wurden Referenzflächen in die Auswertungen mit einbezogen. Die bei der Artengruppe der Vögel methodisch gut zu fassende Unterscheidung zwischen Nutzung der Anlagenfläche als Brut- oder als Nahrungsrevier entfällt für die meisten anderen Artengruppen oder wurde bisher nicht berücksichtigt. Wie Arten auf die Einzäunung der Anlagen reagieren und in welcher Form sie in ihren Wanderbewegungen ggf. durch die Anlagen gestört werden, bzw. ob die Anlagen mögliche Trittsteinhabitats darstellen können, wurde bisher ebenfalls nicht systematisch untersucht.

4 Räumlich-funktionale Wechselbeziehungen zwischen PV-FFA und angrenzenden Habitaten am Beispiel von Tagfaltern

4.1 Anlass und Fragestellungen

Erste Studien haben gezeigt, dass die Betriebsflächen von PV-FFA von verschiedenen Tierarten als Lebensraum genutzt werden (vgl. Kapitel 3). Auch Tagfalter wurden bereits auf Anlagen nachgewiesen (vgl. Landeck et al. 2014, Knipfer u. Raab 2013, Teggers-Junge 1999 und Hübner et al. 2014). Das Vorkommen der Tagfalterarten und die festgestellten Artenzahlen ließen sich dabei auf die Flächenausstattung (Vegetationstyp, Blütenreichtum) zurückführen. Die Falter hielten sich häufig in zaunnahen Saumstrukturen auf (Hübner et al. 2014), insbesondere nach der Mahd auf den PV-Flächen, wenn dort keine Nahrungspflanzen mehr vorhanden waren (Landeck et al. 2014). Pro Untersuchungsstandort wurden zwischen 3 und 35 Falterarten gefunden (Landeck et al. 2014; Hübner et al. 2014; Raab 2015). Hübner et al. (2014) gelang dabei ein Erstfund von *Aricia agestis* (Kleiner Sonnenröschenbläuling) für einen bayerischen Landkreis. Neben häufigen Ubiquisten, wie *Pieris rapae* (Kleiner Kohlweißling), *Coenonympha pamphilus* (Kleines Wiesenvögelchen), *Maniola jurtina* (Großes Ochsenauge), *Aglais urticae* (Kleiner Fuchs) und *Polyommatus icarus* (Hauhechel-Bläuling) wurden auch seltene und gefährdete Arten wie *Hipparchia semele* (RL 3 in Deutschland) gefunden (Landeck et al. 2014; Raab 2015). Die Reproduktion der Falter konnte teilweise durch Raupenfunde belegt werden, wurde aber nicht systematisch untersucht. Montag et al. (2016) und Parker u. McQueen (2013) fanden heraus, dass Tagfalter Solaranlagen gegenüber Vergleichsflächen mit ähnlicher vorheriger Nutzung (meist Acker) aufgrund des höheren Nahrungsangebots bevorzugten. Hier wurden mehr Arten gefunden und die Falter zeigten ein nahrungssuchendes Verhalten, während sie die Vergleichsflächen häufig nur überflogen.

Bislang nicht untersucht wurden die Habitatnutzung unterschiedlicher Teilbereiche einer PV-FFA (z. B. Freiflächen, Modulzwischenräume) und die Bewegungsmuster der Falter auf der PV-FFA. Zudem liegen keinerlei Studien zu räumlich-funktionalen Wechselbeziehungen zwischen benachbarten Betriebsflächen und angrenzenden Habitaten vor. Entsprechende Kenntnisse sind jedoch erforderlich, um die mögliche Funktion von PV-FFA als Vernetzungselement beurteilen und geeignete Handlungsempfehlungen zur Planung und Gestaltung der Anlagen ableiten zu können. Folgende Forschungsfragen sollten daher im Rahmen einer Feldstudie an einer ausgewählten PV-FFA beantwortet werden:

- Welches Artenspektrum von Tagfaltern lässt sich auf der PV-FFA und in der angrenzenden Umgebung nachweisen?

- Welche Unterschiede in der Abundanz der Tagfalter bestehen zwischen der PV-FFA und der angrenzenden Umgebung?
- Welche Bewegungsmuster und Austauschbeziehungen ergeben sich zwischen den Betriebsflächen und der angrenzenden Umgebung?

4.2 Methodik

4.2.1 Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet wurde eine PV-FFA in Sachsenhagen ausgewählt (Landkreis Schaumburg, Niedersachsen). Die PV-FFA besteht aus zwei Betriebsflächen (BF1, BF2) und liegt am Rande eines Industriegebietes, welches an die freie Feldflur angrenzt (Abb. 6). Zusätzlich zur PV-FFA wurden ein angrenzendes Grünland (GL1) mit einem größeren Röhrichtbereich sowie eine Ruderalflur (RU) und verschiedene Säume (S1-S3) als Untersuchungsflächen festgelegt. Auf BF1 wurde vom Anlagenbetreiber testweise eine Blümmischung („Tübinger Mischung“) ausgebracht.

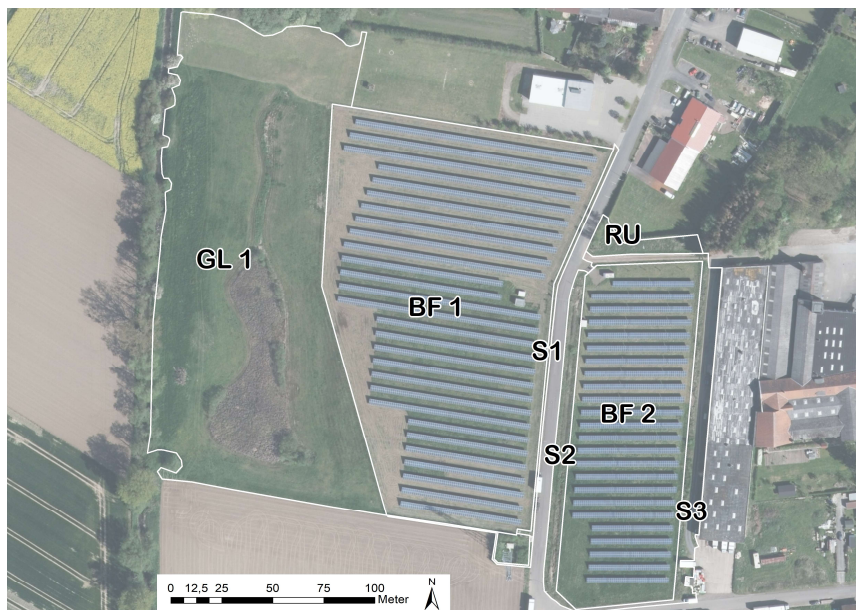


Abb. 6: Bezeichnung und Lage der Untersuchungsflächen (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/BKG 2017).

4.2.2 Fang-Wiederfang-Methode

Für die Erfassung der Tagfalter wurde die Fang-Wiederfang-Methode (vgl. z. B. Fasham u. Mustoe 2005; Greenwood u. Robinson 2006) gewählt, welche im Zeitraum vom 18.05. bis 28.07.2017 an insgesamt 27 Terminen durchgeführt wurde. Dies entspricht einem Erfassungs-Rhythmus von drei Kartierter-

minen pro Woche, mit der Ausnahme von Tagen mit ungeeigneten Witterungsbedingungen (Regen, starker Wind). Die Kartierungen fanden i. d. R. zwischen 9:00 und 16:30 Uhr statt. Um möglichst alle Falterindividuen zu erfassen, wurden die großflächigen Untersuchungsflächen (BF1, BF2, GL1) schleifenförmig abgegangen, wobei auf den beiden Betriebsflächen der PV-FFA alle Modulreihen einzeln abgelaufen wurden. Die übrigen Untersuchungsflächen konnten linienförmig abgegangen werden. Nur die hoch und dicht bewachsene Ruderalflur (RU) wurde entlang des Randes abgegangen und zusätzlich an einzelnen Stellen in Stichwegen betreten, um auch die inneren Bereiche der Fläche zu erfassen. Die Reihenfolge der Begehung der Flächen wurde an jedem Erfassungstermin geändert.

Die Falter wurden bei ihrem Erstfang mit einem Permanent-Marker (Lumocolor permanent 0.4, Staedtler) durch fortlaufende Nummern individuell markiert, bei Wiederfängen wurde die Nummer abgelesen (Abb. 7). Es wurde die Hinterflügel-Unterseite beidseitig beschriftet, da sich so die Nummer bei einem sitzenden Falter gut wieder ablesen ließ. Wiederfänge eines Falters am gleichen Tag wurden nur nach einem gewissen zeitlichen (ca. 5 Minuten) oder räumlichen Abstand (ca. 15 m) aufgenommen. Neben der Nummer wurde ihr Fundort auf Tageskarten verzeichnet und in einem Protokoll wurden Geschlecht, Verhalten (Flug, Rast bzw. Blütenbesuch), Paarungsverhalten und Flügelzustand (keine Abnutzungen, leichte Abnutzung, starke Abnutzung) aufgenommen. Die Nomenklatur richtete sich nach Settele et al. (2015).

Gefangen und markiert wurden ausschließlich Tagfalter (*Rhopalocera*), Dickkopffalter (*Hesperiidae*) wurden lediglich zur Artbestimmung gefangen. Aufgrund des kräftigen Körpers in Kombination mit kleinen Flügeln war es nicht möglich die Dickkopffalter zu markieren, ohne sie ggf. zu verletzen bzw. sie großem Stress auszusetzen. Dickkopffalter wurden daher grundsätzlich nur als Sichtbeobachtung erfasst. Wenn eine Art im Gelände nicht eindeutig bestimmt werden konnte, wurde sie als Artkomplex (z. B. Sonnenröschen-Bläuling) oder auf Ebene der Familie aufgenommen. Wenn ein Falter nicht gefangen oder markiert werden konnte, wurde er als Sichtbeobachtung auf der jeweiligen Fläche aufgenommen.



Abb. 7: Durchführung der Falter-Markierung (links) und markiertes Weibchen des Großen Ochsenauges (*Maniola jurtina*) (rechts).

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Artenspektrum

Insgesamt wurden 22 Tagfalterarten beobachtet, von denen 19 Arten auch markiert wurden (Tab. 5). Auf dem Grünland und der angrenzenden PV-FFA (BF1) konnten mit Abstand am meisten Arten beobachtet werden. Auf dem Grünland konnten fast alle der beobachteten Arten nachgewiesen werden, es fehlte lediglich *A. urticae*. Auf BF1 konnten nur zwei Arten nicht nachgewiesen werden (*C. argiolus* (Faulbaum-Bläuling), *V. cardui* (Distelfalter)). Auf S1 wurden mit neun Arten am wenigsten Arten beobachtet. Die Artenzahlen auf BF2, der Ruderalflur (RU) und den übrigen zwei Säumen (S2, S3) liegen mit 11 bis 15 Arten im mittleren Bereich.

Nur drei Arten konnten auf allen Untersuchungsflächen dokumentiert werden: *A. hyperantus* (Schornsteinfeger), *P. rapae* und *T. sylvestris* (Braunkolbiger Braun-Dickkopffalter). *C. argiolus* und *L. phlaeas* (Kleiner Feuerfalter) konnten hingegen lediglich auf ein oder zwei Untersuchungsflächen nachgewiesen werden. Der in Niedersachsen stark gefährdete bzw. vom Aussterben bedrohte Art-Komplex *A. agestis/ artaxerxes* wurde auf fast allen Untersuchungsflächen nachgewiesen, nur auf der Ruderalflur konnte kein Nachweis erbracht werden. Weitere in Niedersachsen gefährdete Arten konnten nicht nachgewiesen werden. Nur eine Art der Vorwarnliste, *P. c-album f. hutchinsoni* (C-Falter, Sommerform), konnte auf BF1, dem Grünland (GL1) und der Ruderalflur (RU) beobachtet werden.

Tab. 5: Gesamtartenliste der nachgewiesenen Tagfalterarten. BF1 und BF2 = PV-FFA, GL1 = Grünland, RU = Ruderalflur, S1-S3 = Säume. RL Nds: Rote Liste Niedersachsen nach Lobenstein (2004), * nicht gefährdet, 1 vom Aussterben bedroht, 2 stark gefährdet, 3 gefährdet, M = nicht bodenständige gebietsfremde Wanderfalter.

	Art (wiss.)	Art (dt.)	RL Nds	BF1	BF2	GL1	RU	S1	S2	S3
Markierte Falter	<i>Aglais io</i>	Tagpfauenauge	*	x	x	x	x		x	x
	<i>Aglais urticae</i>	Kleiner Fuchs	*	x	x			x	x	
	<i>Anthocharis cardamines</i>	Aurorafalter	*	x		x	x			
	<i>Aphantopus hyperantus</i>	Schornsteinfeger	*	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Araschnia levana</i> f. <i>levana</i> / <i>prorsa</i>	Landkärtchen 1. / 2. Generation	*	- / x		x / x	- / x			
	<i>Aricia agestis</i> / <i>artaxerxes</i>	Kleiner/ Großer Sonnenröschen-Bläuling	2/1	x	x	x		x	x	x
	<i>Celastrina argiolus</i>	Faulbaum-Bläuling	*			x	x			
	<i>Coenonympha pamphilus</i>	Kleines Wiesenvögelchen	*	x	x	x		x	x	
	<i>Gonepteryx rhamni</i>	Zitronenfalter	*	x	x	x	x		x	x
	<i>Lycaena phlaeas</i>	Kleiner Feuerfalter	*	x		x				
	<i>Maniola jurtina</i>	Großes Ochsenauge	*	x	x	x	x		x	x
	<i>Pararge aegeria</i>	Waldbrettspiel	*	x	x	x		x		x
	<i>Pieris brassicae</i>	Großer Kohl-Weißling	*	x	x	x				
	<i>Pieris napi</i>	Grünader-Weißling	*	x	x	x	x		x	x
	<i>Pieris rapae</i>	Kleiner Kohl-Weißling	*	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Polygonia c-album</i> f. <i>hutchinsoni</i>	C-Falter (Sommerform)	V	x		x	x			
	<i>Polyommatus icarus</i>	Hauhechel-Bläuling	*	x		x		x	x	
	<i>Vanessa atalanta</i>	Admiral	M	x	x	x		x	x	x
	<i>Vanessa cardui</i>	Distelfalter	M		x	x	x			

	Art (wiss.)	Art (dt.)	RL Nds	BF1	BF2	GL1	RU	S1	S2	S3
Sichtbeobachtungen	<i>Ochlodes sylvanus</i>	Rostfarbiger Dickkopffalter	*	x		x	x			
	<i>Thymelicus lineola</i>	Schwarzkolbiger Braun-Dickkopffalter	*	x	x	x				x
	<i>Thymelicus sylvestris</i>	Braunkolbiger Braun-Dickkopffalter	*	x	x	x	x	x	x	x
	Artenzahl			20	15	21	13	9	12	11

4.3.2 Abundanzen und räumliche Verteilung

Insgesamt wurden 878 Individuen markiert, von denen 300 wiedergefangen wurden. Damit ergibt sich eine Wiederfangrate von 34 %. Die Gesamtfangzahl beträgt 1454. Die meisten Individuen gehörten den Arten *A. hyperantus* (n=258), *C. pamphilus* (n=178) und *M. jurtina* (n=165) an (Anhang 1).

Die meisten Falter wurden auf BF1 und dem angrenzenden Grünland (GL1) markiert. Auf den Säumen und der Ruderalflur wurden insgesamt 142 Falterindividuen markiert, wobei die Teilflächen durch ihre geringe Größe nur geringe Fangzahlen aufweisen. Auf BF1 und GL1 wurden jeweils über 30 % der Wiederfangbeobachtungen gemacht, wohingegen auf BF2 und den Säumen und der Ruderalflur jeweils nur etwa 15 % der Wiederfänge gemacht wurden.

Die Fundorte der Falter zeigten auffällige räumliche Häufungen. Auf den beiden Betriebsflächen der PV-FFA konzentrierten sich die Falterfänge vor allem in den Randbereichen der Flächen, wohingegen zwischen den Modulreihen nur wenige Falter vorgefunden wurden (Abb. 8). Auf BF1 häuften sich die Faltervorkommen besonders am östlichen und westlichen Randbereich. Am östlichen Rand befinden sich Trafohäuser und das Eingangstor, wodurch eine kleine Freifläche entsteht, die von den Faltern genutzt wurde. Auf den größeren Freiflächen am westlichen Rand dieser Fläche wurden Blühflächen mit der Saatgutmischung „Tübinger Mischung“ angelegt, die sich dort unterschiedlich gut entwickelt haben. Auch hier kam es zu einem erhöhten Falteraufkommen.

Auf der größeren Freifläche im Süden von BF2 wurden weniger Falter gefangen, als auf den Freiflächen der anderen Betriebsfläche. Hier befand sich eine Anpflanzung von Gehölzen, die aber noch nicht weit entwickelt war und nur eine sehr kleinräumige Beschattung verursachte. An der östlichen Seite von BF2 grenzt eine Gehölzreihe an, so dass dieser Bereich zeitweise leicht beschattet war.

Auf dem Grünland (GL1) wurden die meisten Falter entlang des Baches am westlichen Rand der Untersuchungsfläche beobachtet. Vor allem im nördli-

chen Abschnitt häuften sich die Falterfänge. Aber auch im mittleren Bereich der Fläche konnten viele Falter gefangen werden. Hier befindet sich ein Röhricht mit einigen Gehölzgruppen, dessen Niveau sich unter Geländehöhe befindet, wodurch an den Randbereichen eine kleine Hangsituation entsteht. Auf der großen, wenig strukturierten Freifläche im Norden des Grünlands wurden nur wenige Falter beobachtet.

Auf den übrigen Untersuchungsflächen (RU und S1-3) verteilten sich die Falterfänge gleichmäßig. Besonders hohe Falteraufkommen waren auf der Ruderalflur und S2 zu verzeichnen, auf dem schmalen Saum S1 wurden hingegen nur wenige Falter gefangen.

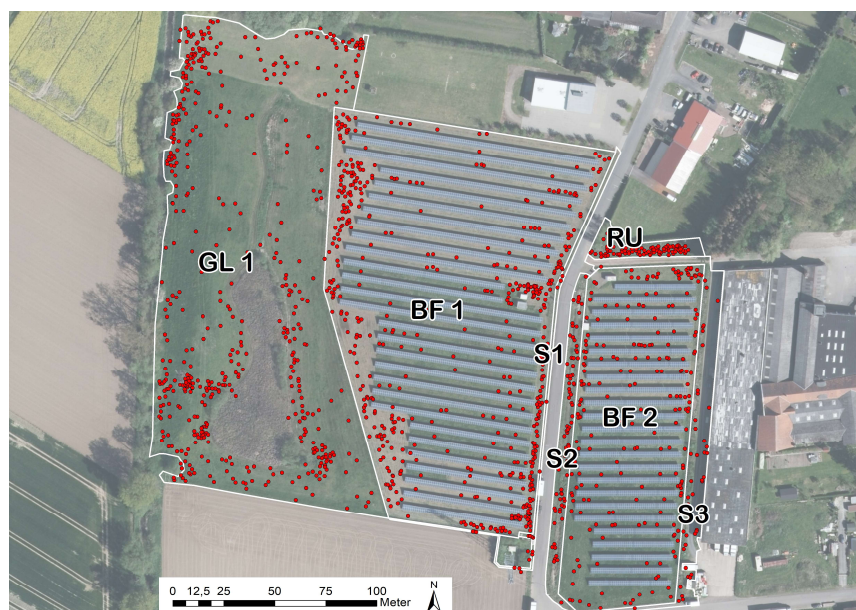


Abb. 8: Räumliche Verteilung der Falterfänge im Untersuchungsgebiet (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/BKG 2017).

4.3.3 Bewegungsmuster

Für mehr als die Hälfte der wiedergefangenen Individuen ($n=300$) konnte kein Flächenwechsel nachgewiesen werden und sie wurden nur innerhalb einer Untersuchungsfläche wiedergefangen (Abb. 9). Ein Flächenwechsel zwischen zwei verschiedenen Untersuchungsflächen konnte für 116 Individuen dokumentiert werden. Zwischen drei Flächen wechselten nur noch 16 Individuen und nur zwei zwischen vier Untersuchungsflächen. Kein markierter Falter konnte auf mehr als vier verschiedenen Untersuchungsflächen gefangen werden.

Auf den großen Untersuchungsflächen BF1 und GL1 wurden die meisten Wie-

derfänge ohne vorherigen Flächenwechsel gemacht (Abb. 10). BF2 und die Ruderalflur wiesen ein ausgeglichenes Verhältnis von Wiederfängen mit und solchen ohne Flächenwechsel auf. Auf den Säumen S1, S2 und S3 konnten mehr Wiederfänge mit Flächenwechsel dokumentiert werden. Von den Betriebsflächen aus wurden fast alle anderen Untersuchungsflächen angefliegen und andersherum. Austauschbeziehungen bestanden zwischen nahezu allen Untersuchungsflächen (Tab. 6).

50 % der Wiederfänge mit Flächenwechsel fanden zwischen angrenzenden Untersuchungsflächen statt. Auch zwischen BF2 und GL1 als zwei der drei großen Untersuchungsflächen fanden häufige Flächenwechsel statt (Abb. 11). Flächenwechsel über andere Untersuchungsflächen hinweg wurden seltener beobachtet. Die jeweiligen Flächenwechsel konnten in den meisten Fällen nur einmalig von einem markierten Individuum beobachtet werden (Anzahl der Wiederfänge entspricht der Individuenanzahl, Tab. 6). Nur bei häufigen Wiederfängen innerhalb einer Untersuchungsfläche wurden diese von einem Individuum mehrfach dokumentiert (Anzahl der Wiederfänge liegt über der Individuenanzahl, Tab. 6). Es ist hier zu berücksichtigen, dass bei der Individuenanzahl, ebenso wie bei den Wiederfängen, Mehrfachzählungen möglich waren. Wenn ein Individuum bspw. einmal innerhalb einer Untersuchungsfläche, dann bei einem Flächenwechsel und dann wieder innerhalb der neuen Untersuchungsfläche wiedergefangen wurde, wurde es bei allen drei Wiederfangzahlen einberechnet.

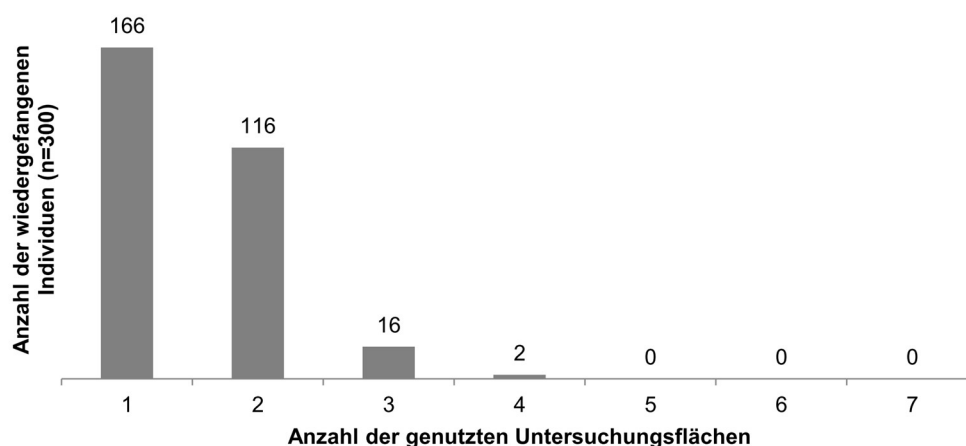


Abb. 9: Anzahl der Untersuchungsflächen auf denen ein markierter Falter wiedergefangen werden konnte.

Tab. 6: Anzahl der Wiederfänge innerhalb einer Fläche (diagonal, umrandet) und mit Flächenwechsel. In Klammern ist zusätzlich die Anzahl der Individuen angegeben. Bei beiden Zahlen sind Mehrfachzählungen zwischen den Flächen möglich.

		nach						
		BF1	BF2	GL1	RU	S1	S2	S3
von	BF1	159 (88)	13 (12)	28 (27)	5 (5)	2 (2)	8 (8)	2 (2)
	BF2	17 (17)	46 (37)	4 (4)	7 (7)		14 (14)	8 (8)
	GL1	18 (18)	2 (2)	155 (84)		1 (1)		1 (1)
	RU	5 (5)	7 (6)	1 (1)	12 (9)			1 (1)
	S1	5 (4)	1 (1)			2 (2)		
	S2	5 (4)	12 (11)	2 (2)	1 (1)	2 (1)	13 (9)	2 (2)
	S3	3 (3)	7 (7)	1 (1)		1 (1)	1 (1)	2 (2)

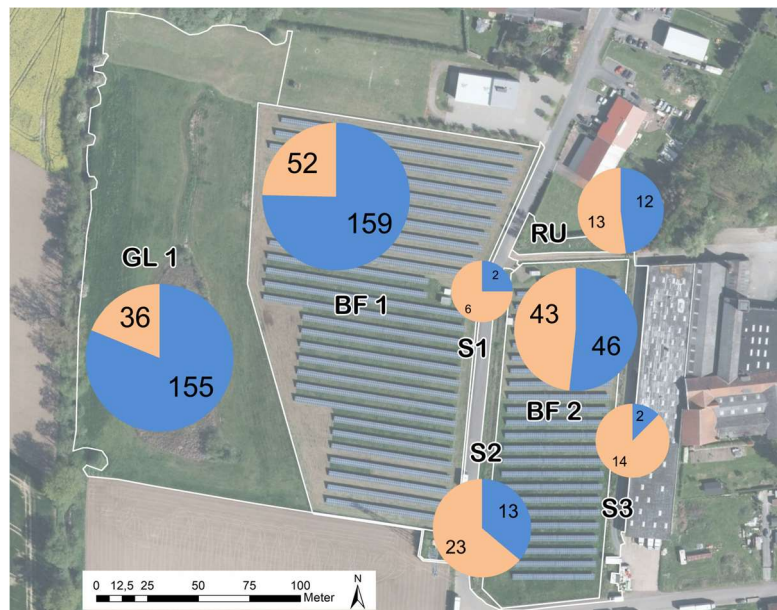


Abb. 10: Verhältnis von Wiederfängen mit (orange) und ohne (blau) Flächenwechsel (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/BKG 2017).

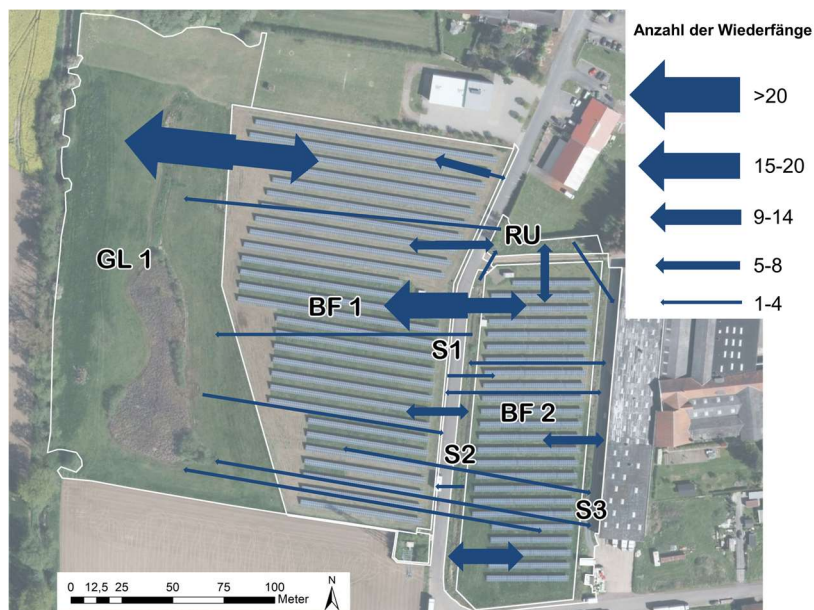


Abb. 11: Schematische Darstellung der Anzahl der Wiederfänge mit Flächenwechsel (Mehrfachzählungen möglich; Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/BKG 2017).

4.3.4 Schlussfolgerungen

PV-FFA werden als Lebensraum von Tagfaltern genutzt, da sie eine ähnliche Ausstattung aufweisen wie extensives Grünland. Entsprechend fanden sich vor allem typische Grünlandarten wie *C. pamphilus*, *M. jurtina* und *A. hyperantus* mit hohen Individuenzahlen. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass insbesondere die Randbereiche der Betriebsflächen für die Tagfalter attraktiv sind, da in diesem Fall dort sowohl ein hoher Lichteinfall als auch ein vermehrtes Angebot an blühenden Pflanzen vorzufinden waren. Dies war wohl teilweise durch die geschotterten Bereiche am Zaun bedingt, sodass die Vegetation durch das lockere Substrat ebenfalls lückiger bzw. weniger grasdominiert war. Auf einer der Betriebsflächen wurde zusätzlich probeweise ein Blühstreifen angelegt, der zwar unregelmäßig auflief, aber dennoch (zumindest für einige Arten) ein vermehrtes Angebot an Nektar sicherte. Die Bereiche zwischen den Modulreihen wurden insgesamt weniger genutzt, wobei sowohl Individuen auf einzelnen Blüten sitzend als auch durchfliegend entlang der Reihen beobachtet wurden. Auf der zweiten Betriebsfläche war das Falteraufkommen geringer als auf der ersten, was vermutlich durch einen höheren Gräseranteil und eine andere Struktur der Vegetation bedingt war. Zudem war der östliche Randbereich hier teilweise durch ein angrenzendes Gebüsch beschattet. Lediglich *A. hyperantus* schien von dieser Lebensraumausstattung zu profitieren. Auf dem Grünland wurden insbesondere die Randbereiche um das Röhricht genutzt, da sie eine leichte Hangneigung aufwiesen und im Gegensatz zur übrigen Fläche

recht lückig und niedrig bewachsen waren. Hier zeigten sich zudem größere Blühfelder von *Trifolium repens* (Weißklee) und *T. dubium* (Kleiner Klee). Attraktiv für viele Falter waren auch gehäufte Vorkommen von *Cirsium arvense* (Acker-Kratzdistel), z. B. an einem Totholzhaufen auf der Fläche, die von der Mahd ausgenommen waren.

Die technischen Elemente der Betriebsflächen wirkten sich nicht nachweislich negativ auf die Tagfalter aus. Individuen des *A. io* (Tagpfauenauge), des *V. atalanta* (Admiral) und des *A. urticae* konnten auf den Modulen sitzend beobachtet werden. Der Wechsel zwischen den Untersuchungsflächen konnte zudem von den meisten Arten vollzogen werden und Beobachtungen im Gelände belegen, dass die Einzäunung der Betriebsflächen keine Barriere für Tagfalter darstellt. Je nach Größe der Art flogen die Falter zunächst entlang des Zaunes, bis sie (unklar ob aktiv oder zufällig) den Zaun überflogen. Kleinere Arten durchquerten die Zaunmaschen problemlos. Die Modulreihen konnten von den meisten Arten ebenfalls überflogen werden, teilweise wurden sie unterflogen. Dies zeigt, dass die Betriebsflächen von PV-FFA trotz Einzäunung für Tagfalter nicht isoliert sind.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Strukturvielfalt, ein hohes Blütenangebot und verschiedene Feuchtegradienten auf PV-FFA entscheidende Faktoren für die Artenvielfalt sind. Prinzipiell können PV-FFA auch durch die Erhöhung der Strukturvielfalt für Tagfalter aufgewertet werden. Ein Blühstreifen als Ergänzung im Pflegekonzept einer Betriebsfläche erscheint als gut durchführbare Aufwertungsoption, die die Strukturvielfalt und das Blütenangebot der Flächen erhöht. Aber auch die umliegende Landschaft trägt zur Artenvielfalt bei, da diese das Einwanderungspotenzial auf die PV-FFA beeinflusst. Um das Einwanderungspotenzial auf PV-FFA zu optimieren, ist es im Hinblick auf die Tagfalterfauna entscheidend, dass in der Umgebung der PV-FFA bereits weitere extensiv genutzte Grünländer vorhanden sind.

5 Ausbauzustand von PV-FFA an Verkehrswegen

5.1 Anlass und Fragestellungen

Zur Entwicklung und zum derzeitigen Ausbauzustand von PV-FFA in Deutschland liegen bislang nur wenige Daten vor (vgl. Kapitel 2.4). Insbesondere ist unklar, in welchem Umfang und wo sich PV-Anlagen entlang der Verkehrswegen befinden. Mit der vorliegenden Arbeit sollte daher ein erster Überblick über den Ausbauzustand von PV-FFA an Verkehrswegen in Deutschland gegeben werden. Es wurde untersucht, welche Raumzusammenhänge mit den existierenden Lebensraumnetzen bestehen und welche möglichen Folgen hieraus für den Biotopverbund abgeleitet werden können. Folgenden Fragestellungen wurde nachgegangen:

- Wie viele Anlagen liegen bundesweit an Autobahnen und Schienenwegen?
- Wie sind diese Anlagen räumlich verteilt (Großlandschaften, Bundesländer)?
- In welchen Raumkonstellationen treten die Anlagen auf (Größe, Abstand zum Verkehrsweg, Ausrichtung)?
- In welchen Landschaftskontexten befinden sich die Anlagen (Schutzgebiete, Lebensraumnetze)?

Die nachfolgenden Inhalte wurden in abgewandelter Form unter Niemann et al. (2017) in Natur und Landschaft veröffentlicht.

5.2 Methodik

5.2.1 Ermittlung von PV-FFA an Verkehrswegen in Deutschland

Die Ermittlung erfolgte GIS-gestützt durch eine optische Überprüfung bundesweit vorliegender Orthophotos (Esri Basemaps World Imagery, Stand: 2011-2013). Als Suchraum wurde ein Abstand von 500 m beidseitig der Autobahnen und überregional bedeutsamer Schienenwege festgelegt. Für die Analyse wurden Daten zu Verkehrswegen aus dem ATKIS/Basis-DLM (GeoBasis-DE/BKG 2013) genutzt. Die als Linien-Feature hinterlegten Objektarten Fahrbahn- und Straßenachsen der Bundesautobahnen (inkl. Auf- und Abfahrten) wurden mit einer Breite von 5 m gepuffert, um die durchschnittliche Breite der befestigten Fläche von Autobahnen abbilden zu können. Überregional bedeutsame Schienenwege (im weitesten Sinne ICE-Trassen) wurden wie folgt definiert und anhand entsprechender Attribute aus dem Basis-DLM-Datensatz (Objektarten: Bahnverkehr, Bahnstrecke, Bahnverkehrsanlage) generiert:

- Schienengebundene Verkehrswege, auf denen im Nah- und Fernverkehr Personen befördert und Güter transportiert werden,

- elektrifizierte Verkehrswege, auf denen Schienenfahrzeugen über eine Oberleitung oder eine Stromschiene längs des Fahrwegs elektrische Energie zugeführt wird,
- zweigleisige Streckenführung mit je einem Gleis für eine Fahrtrichtung,
- Gleise mit Normalspur,
- Strecken, auf denen eine regelmäßige, der Bestimmung entsprechende Nutzung erfolgt oder die sich im Bau befinden.

Die im Basis-DLM vorhandenen Linien wurden mit einer Breite von 6 m gepuffert, um alle zum Bahnkörper gehörenden Strukturen zu erfassen, d. h. Oberbau und Unterbau (z. B. Dämme, Durchlässe, Schutzstreifen).

Alle identifizierten PV-FFA wurden anhand der deutlich abgrenzbaren Betriebsflächen (Zäune, Hecken etc.) digitalisiert (Abb. 12 a). Ausgehend von der Annahme, dass eng beieinander liegende Anlagen über eine gemeinsame Anlagenumgebung verfügen, wurden Betriebsflächen mit einem Abstand von bis zu 50 m zu Anlagenkomplexen zusammengefasst (Abb. 12 b, c). Um eine Übersicht über die räumliche Verteilung zu erhalten, wurden Anlagenanzahl und -dichte auf Grundlage der Großlandschaften Deutschlands (BfN 2009) sowie auf Bundeslandebene (GeoBasis-DE/BKG) ausgewertet.

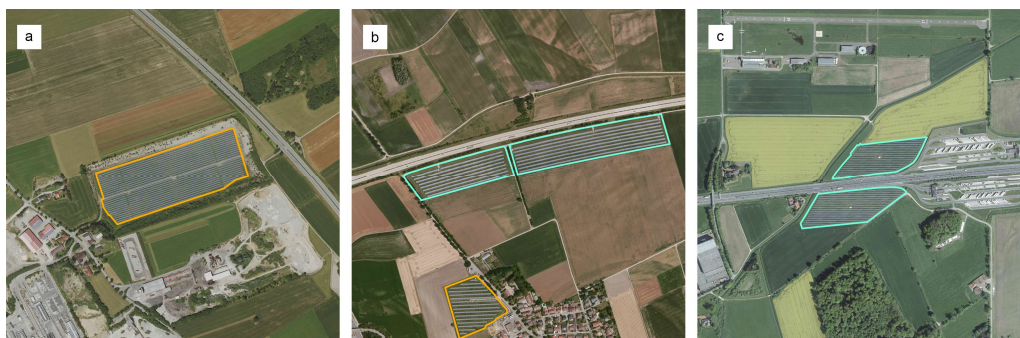


Abb. 12: Beispiele für die auf der Grundlage von Orthophotos ermittelten PV-FFA an Autobahnen. Farblich umrandet sind die anhand vorhandener Einfriedungen abgrenzbaren Betriebsflächen. In den weiteren Analysen wurden diese als Einzelanlagen (orange) oder als Anlagenkomplexe (cyan, Abstand zwischen Betriebsflächen bis zu 50 m) betrachtet. Bild a: quer zur Autobahn ausgerichtete Einzelanlage; Bild b: Einzelanlage und längs zur Autobahn ausgerichteter Anlagenkomplex; Bild c: beidseitiger Anlagenkomplex (© GeoBasis-DE/BKG 2016).

5.2.2 Analyse der Raumkonstellationen

Um Rückschlüsse auf die mögliche Raumwirksamkeit der Anlagen ziehen zu können, wurden die Größe (ha), der Minimal- und Maximalabstand (m) sowie

die Hauptausrichtung (quer, längs) zum Verkehrsweg berechnet. Damit wurden Strukturmaße betrachtet, die zur Beurteilung der Habitatfunktion herangezogen werden können (vgl. Walz 2013). Die Hauptausrichtung wurde über das Breiten-Längen-Verhältnis (BLV) und den Expositionsindex (EI) bestimmt, der die Ausrichtung der längsten Seite einer Anlagenfläche im Verhältnis zum Verkehrsweg auf einer Skala zwischen 0 und 1 beschreibt. Dafür wurden im GIS die minimale Begrenzungsgeometrie jeder Anlage und des nächstgelegenen Verkehrswegeabschnitts in Form eines Rechtecks und deren Azimut (Winkel zwischen geografisch Nord und festgelegter Richtung) ermittelt.

Der EI ergab sich aus der Winkeldifferenz des Azimuts von Verkehrsweg und Anlage, die anhand der Sinusfunktion parametrisiert wurde (vgl. Woithon u. Schmieder 2004):

$$EI = \sin(\alpha);$$

α : Winkeldifferenz des Azimuts von Verkehrsweg und Anlage

Anlagen mit $EI > 0,8$ ($BLV < 0,5$) wurden als quer ausgerichtet eingestuft (Abb. 12 a). Eine Längsausrichtung wurde allen Anlagen mit $EI < 0,3$ ($BLV < 0,5$) zugewiesen (Abb. 12 b). Für die Anlagenkomplexe wurde ausgewertet, ob sie einseitig oder beidseitig am Verkehrsweg liegen (Abb. 12 b, c). Einen Sonderfall stellten dabei Anlagen dar, die sowohl an einer Bundesautobahn als auch an einem Schienenweg lagen. In diesem Fall wurde die Ausrichtung immer bezogen auf denjenigen Verkehrsweg ermittelt, dessen Abstand zur Anlage am geringsten war.

Als weiterer Kennwert zur Beschreibung der Raumkonstellation wurde die Ausdehnung der Anlagen (Differenz von minimalem und maximalem Abstand zum Verkehrsweg) herangezogen.

5.2.3 Analyse des Landschaftskontextes

Um mögliche Folgen für den Biotopverbund abschätzen zu können, wurde der Landschaftskontext, in den die Anlagen eingebunden sind, innerhalb eines 1000 m-Puffers analysiert. Dafür wurden die Anlagenstandorte zum einen mit Daten zu Schutzgebieten verschnitten (BfN 2013-2015). Ein gut vernetztes System von Schutzgebieten gilt als wesentlich, um in der intensiv genutzten Kulturlandschaft hinreichend Rückzugsmöglichkeiten für Arten zu bieten. Betrachtet wurden Naturschutzgebiete, Nationalparke, Biosphärenreservate, Landschaftsschutzgebiete und Naturparke sowie die Schutzgebiete gemäß Natura 2000 (FFH, SPA) und Ramsar-Konvention. Die Schutzgebietskategorien können sich räumlich überlagern und hinsichtlich ihrer Schutzzwecke und den daraus abzuleitenden Nutzungseinschränkungen unterschieden werden. Es wurde überprüft, welche Kategorien in der Umgebung einer PV-FFA (1000 m-Puffer) vorkommen und welchen Flächenanteil sie einnehmen.

Darüber hinaus wurde die jeweilige Anlagenumgebung auf dieselbe Weise mit Daten- und Planungsgrundlagen zum Biotopverbund verschnitten, welche vom Bund u. a. als Grundlage zur Umsetzung der Biodiversitätsstrategie und des Bundesprogramms Wiedervernetzung zur Verfügung gestellt werden. Es wurden folgende Daten verwendet (BfN 2012):

- Lebensraumnetze: Dies sind nach aktueller Datenlage herausragende, potenziell besonders wichtige Lebensräume und Verbindungsflächen für die notwendige Sicherung von Minimumarealen für Metapopulationen, von Tierwanderungen, von Neu- und Wiederbesiedlungsprozessen im Rahmen des Landschafts- und Klimawandels und des Genflusses. Sie setzen sich aus Funktionsräumen zusammen, die hierarchisch nach Entfernungs- bzw. Konnektivitätsklassen und dazwischen liegender Landnutzung differenziert wurden (vgl. Hänel 2007; Reck et al. 2008; Hänel 2012).
- Unzerschnittene Funktionsräume (UFR): Teile von Lebensraumnetzen, die durch Verkehrsinfrastruktur begrenzt, aber nicht durchschnitten sind, werden als UFR bezeichnet und dienen dem Lokalisieren von Barrieren in Verbundsystemen und der Kennzeichnung besonders schutzwürdiger Räume (vgl. Reck et al. 2008). Hier wurden Datensätze zu den UFR der naturnahen Wälder, der trockenen und der feuchten Offenlandstandorte (Distanzklasse 250 m) sowie der Wald bewohnenden Großsäuger (Distanzklasse 1500 m) genutzt.
- Flächen für den Biotopverbund (FBV) und Biotopverbundachsen: Auf Basis der Lebensraumnetze wurden national bedeutsame FBV und Biotopverbundachsen für die behandelten Ökosystem- bzw. Anspruchstypen abgeleitet. Sie indizieren Bereiche mit besonderen Lebensraumqualitäten und Sicherungs- bzw. Prüfauftrag (Fuchs et al. 2010). Hier wurden Daten zu den FBV und Achsen der Wälder, der trockenen und der feuchten Offenlandstandorte sowie zu national bedeutsamen Räumen (> 50 km²) und Korridoren für Großsäuger genutzt.
- Prioritäre Wiedervernetzungsabschnitte: Durch die Überlagerung der Lebensraumnetze mit dem Straßenverkehrsnetz haben Hänel u. Reck (2011) Konfliktabschnitte ermittelt, an denen die Zerschneidungswirkung geprüft und ggf. überwunden werden muss. Sie indizieren damit Flächen mit besonderem Prüfauftrag vor dem Hintergrund der Wiedervernetzung.
- Engstellen in den Lebensraumnetzen: Durch eine bundesweite Prognose der Siedlungsentwicklung im Bereich der Lebensraumnetze erfolgte eine Risikoabschätzung, wo potenziell wichtige Vernetzungsbeziehungen, die zugleich Engstellen im Lebensraumnetz darstellen, von zukünftiger Siedlungsentwicklung irreversibel betroffen sein könnten (Hänel et al. 2016). Hier wurden die Risikoklassen hoch und sehr hoch berücksichtigt.

Es wurde analysiert, ob und mit welchen Flächenanteilen die einzelnen Kategorien in der Umgebung der PV-FFA (1000 m-Puffer) vorkommen. Bei der Auswertung wurde folgende Annahme getroffen (vgl. Hänel 2012): Je höher die Flächenanteile der FBV und UFR in der Anlagenumgebung ausfallen, umso größer ist die potenzielle Bedeutung im Lebensraumverbund. Anlagen, in deren Umgebung Biotopverbundachsen, Wiedervernetzungsabschnitte und Engstellen auftreten indizieren eine zusätzliche Raumrelevanz für den Biotopverbund und die Wiedervernetzung.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Ausbauzustand und räumliche Verteilung

Es wurden insgesamt 455 PV-FFA erfasst. Dabei handelte es sich um 359 Einzelanlagen und um 96 Anlagenkomplexe, die aus zwei bis maximal sechs Betriebsflächen bestanden.

Die meisten Anlagen lagen im Südwestdeutschen Mittelgebirge (n=118), im Alpenvorland (n=111) und im Nordostdeutschen Tiefland (n=100). Das Alpenvorland wies mit 3,34 Anlagen/1000 km² die höchste Anlagendichte auf. Verhältnismäßig wenige Anlagen konnten im Nordwestdeutschen Tiefland (n=27) nachgewiesen werden (Abb. 13, Tab. 7).

Ausbauschwerpunkt war Bayern mit 44,6 % aller Anlagen. Während hier eine große Zahl kleinerer Anlagen mit durchschnittlich 5,86 ha errichtet wurde, fanden sich in Brandenburg weniger, dafür aber größere Anlagen mit einer mittleren Größe von 16,8 ha (Tab. 8).

Tab. 7: Anzahl und Dichte von PV-FFA (n=455) an Verkehrswegen bezogen auf die Großlandschaften Deutschlands (Stand: 2011-2013).

Großlandschaft	Anzahl insg.	Anzahl an Autobahnen ¹	Anzahl an Schienenwegen ¹	Dichte (pro 1.000 km ²)
Nordwestdeutsches Tiefland	27	15	15	0,33
Nordostdeutsches Tiefland	100	41	61	1,20
Westliches Mittelgebirge	52	33	20	0,85
Östliches Mittelgebirge	47	38	13	1,43
Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland	118	76	51	1,74
Alpenvorland	111	67	50	3,34
Alpen	0	0	0	0,00

¹Anlagen, die sowohl an Autobahnen als auch an Schienenwegen liegen, werden in beiden Kategorien gezählt.

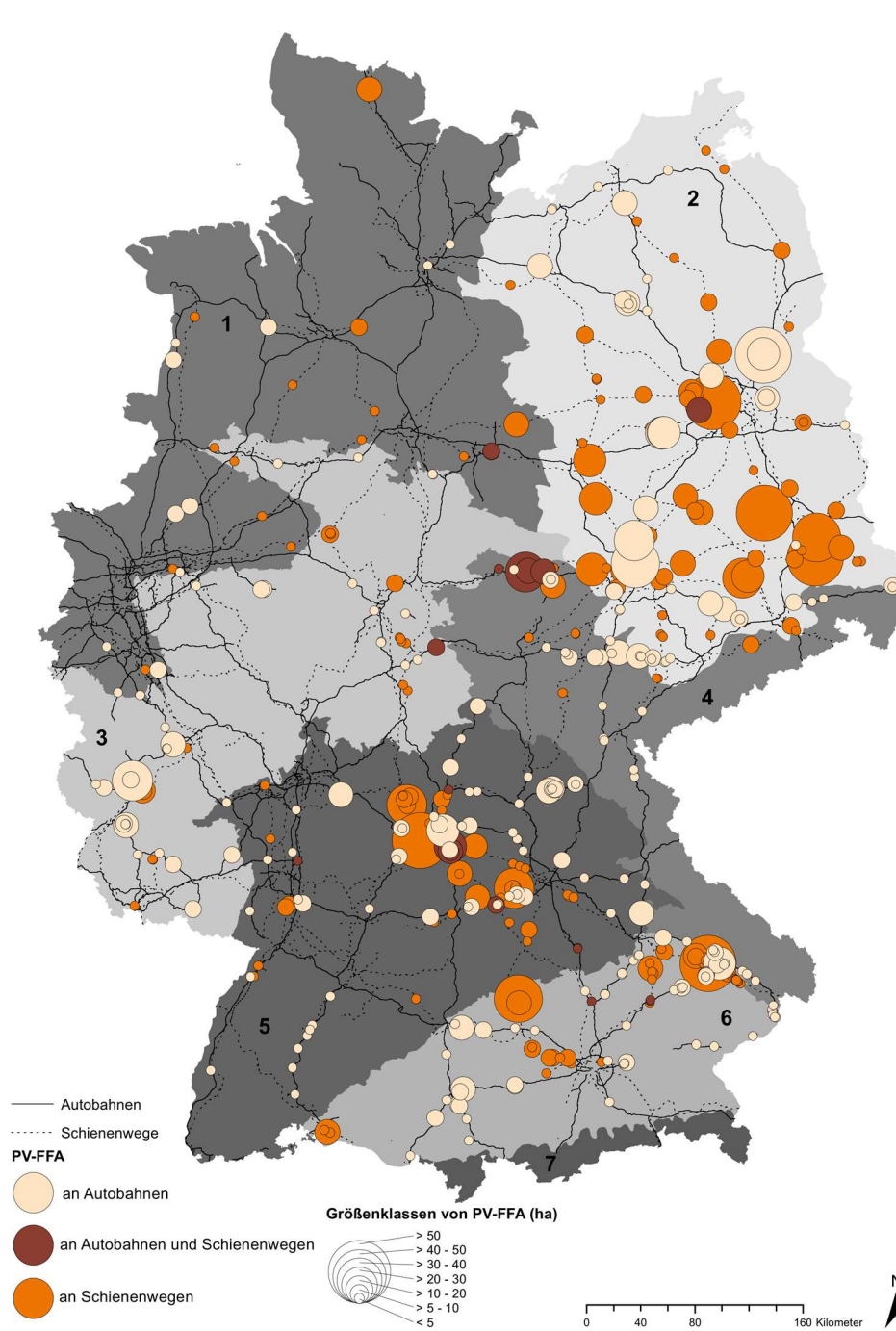


Abb. 13: Lage und Größenklassen von PV-FFA (n=455) an Autobahnen und Schienenwegen in den Großlandschaften Deutschlands (Stand: 2011-2013; 1: Nordwestdeutsches Tiefland, 2: Nordostdeutsches Tiefland, 3: Westliches Mittelgebirge, 4: Östliches Mittelgebirge, 5: Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland, 6: Alpenvorland, 7: Alpen).

Tab. 8: PV-FFA an Verkehrswegen (n=455) bezogen auf die Bundesländer (Stand: 2011-2013).

Bundesland	Anzahl	Anteil am Gesamtbestand (%)	Gesamtfläche (ha)	Durchschnittliche Anlagengröße (ha)	Dichte (pro 1.000 km ²)
Baden-Württemberg	27	5,93	103,19	3,82	0,75
Bayern	203	44,62	1188,65	5,86	2,88
Berlin	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Brandenburg	37	8,13	621,70	16,80	1,24
Bremen	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Hamburg	1	0,22	1,21	1,21	1,32
Hessen	17	3,74	38,02	2,24	0,81
Mecklenburg-Vorpommern	13	2,86	60,96	4,96	0,56
Niedersachsen	18	3,96	78,29	4,35	0,38
Nordrhein-Westfalen	18	3,96	60,68	3,37	0,53
Rheinland-Pfalz	25	5,49	155,43	6,22	1,26
Saarland	4	0,88	8,43	2,11	1,55
Sachsen	31	6,81	266,67	8,60	1,68
Sachsen-Anhalt	28	6,15	366,36	13,08	1,36
Schleswig-Holstein	2	0,44	22,05	11,02	0,13
Thüringen	31	6,81	143,56	4,63	1,91

5.3.2 Raumkonstellationen

Die Größenspanne der PV-FFA reichte von 0,17 bis 165 ha, die durchschnittliche Größe lag bei 6,85 ha. 62 % der Anlagen (n=283) waren kleiner als 5 ha (Abb. 14). Der mit Abstand größte Anlagenkomplex (165 ha) wurde bei Finowfurt in Brandenburg erfasst (Abb. 15).

245 Anlagen befanden sich an Autobahnen, 185 an Schienenwegen und 25 Anlagen im gemeinsamen räumlichen Umfeld von Autobahnen und Schienenwegen. 87 der insgesamt 96 Anlagenkomplexe lagen einseitig entlang der untersuchten Verkehrswege. Von den neun beidseitig liegenden Anlagenkomplexen wurden acht an Schienenwegen und nur ein Anlagenkomplex an einer Autobahn festgestellt.

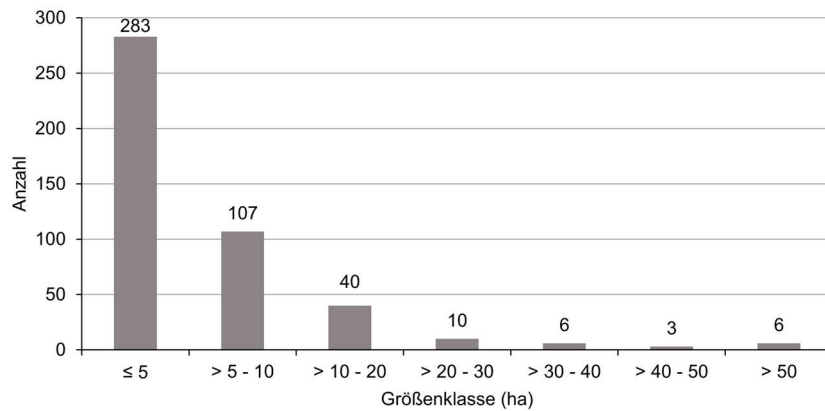


Abb. 14: Verteilung der Größenklassen von PV-FFA an Verkehrswegen (n=455).

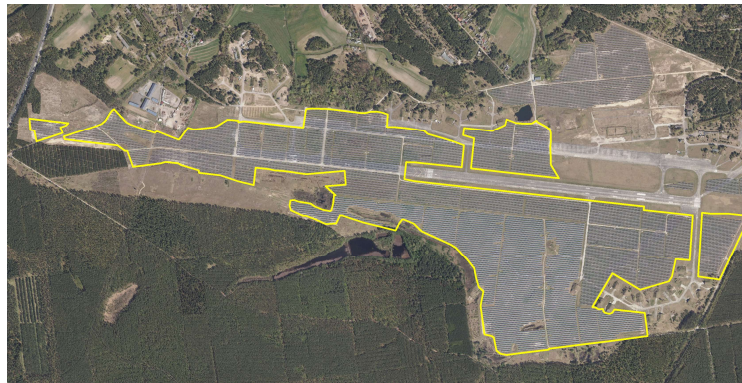


Abb. 15: Überblick über den größten Anlagenkomplex bei Finowfurt in Brandenburg (© GeoBasis-DE/BKG 2016).

251 Anlagen (55 %) wiesen einen Minimalabstand von weniger als 50 m zum Trassenverlauf auf, 292 Anlagen (64 %) weniger als 100 m. Insgesamt konnten 173 Anlagen (38 %) als längs und nur 36 Anlagen (8 %) als quer ausgerichtet identifiziert werden (Abb. 16). Die übrigen Anlagen wiesen keine deutliche Längs- oder Querausrichtung zur Trasse auf.

Ca. 20 % der Anlagen lagen vollständig innerhalb des vergütungsfähigen Bereiches bis maximal 110 m von der Trasse entfernt (Abb. 17, Abb. 18).

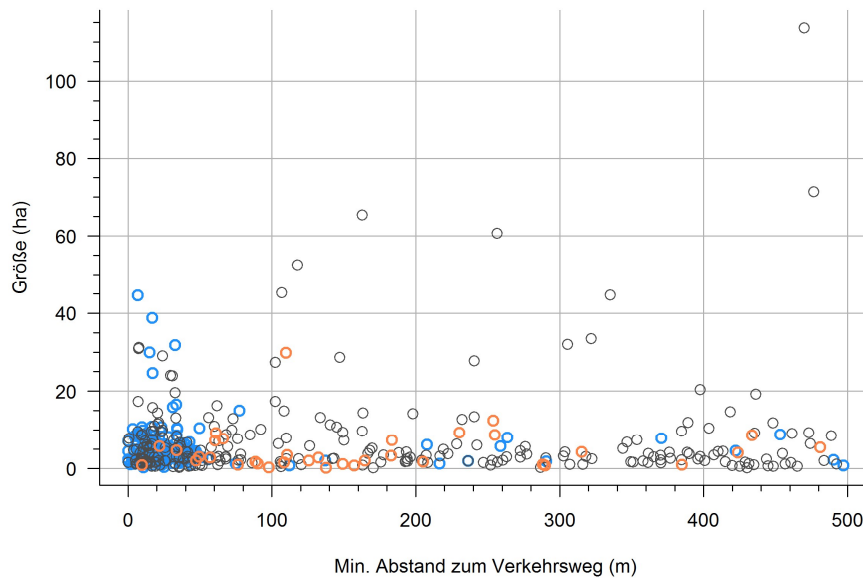


Abb. 16: Größe und Minimalabstand der PV-FFA zum Verkehrsweg (n=454). PV-FFA mit deutlicher Ausrichtung der Anlagenfläche zum Verkehrsweg sind in Farbe dargestellt (blau: Längsausrichtung; orange: Querausrichtung). Aus Darstellungsgründen ist der größte Anlagenkomplex (165 ha) nicht abgebildet.

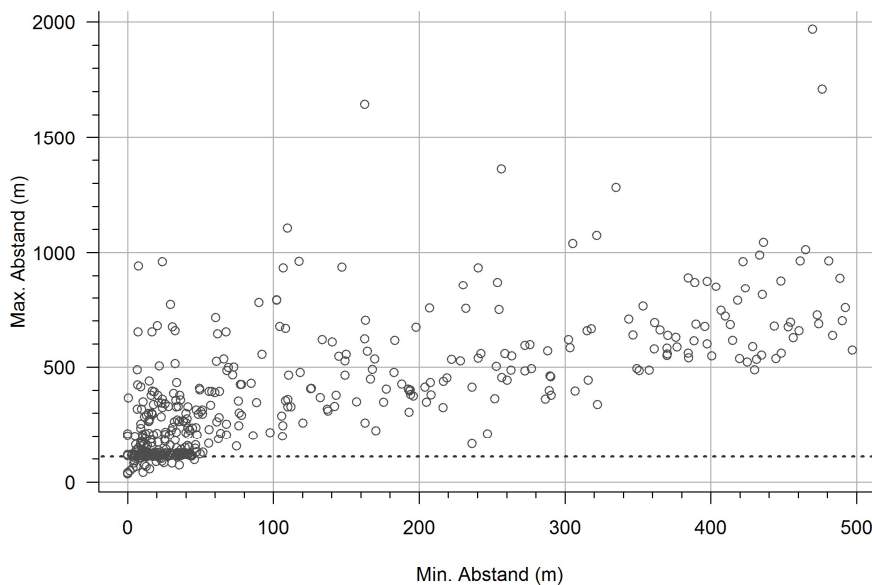


Abb. 17: Minimal- und Maximalabstand der PV-FFA zum Verkehrsweg (n=454). Die gestrichelte Linie markiert einen Abstand von 110 m, innerhalb dessen eine Vergütung nach EEG möglich ist. Aus Darstellungsgründen ist der größte Anlagenkomplex (165 ha) nicht abgebildet.

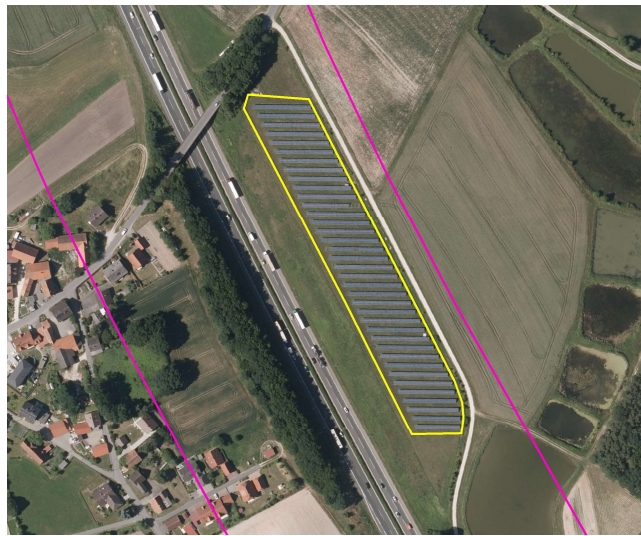


Abb. 18: Beispiel für die Lage einer PV-FFA innerhalb des vergütungsfähigen Bereiches bis maximal 110 m von der Trasse entfernt (rosa Linie) (© GeoBasis-DE/BKG 2016).

5.3.3 Landschaftskontext

Am häufigsten wurden Landschaftsschutzgebiete innerhalb der 1000 m-Puffer registriert (n=197). Naturschutzgebiete konnten in der Umgebung von 57 Anlagen festgestellt werden (Abb. 19). In zahlreichen Fällen wurden Überlagerungen mit Natura 2000-Gebieten ermittelt (FFH: n=152, SPA: n=86). Der durchschnittliche Schutzgebietsanteil an der Anlagenumgebung lag ohne die Landschaftsschutzgebiete und Naturparke bei 5 % (Abb. 20).

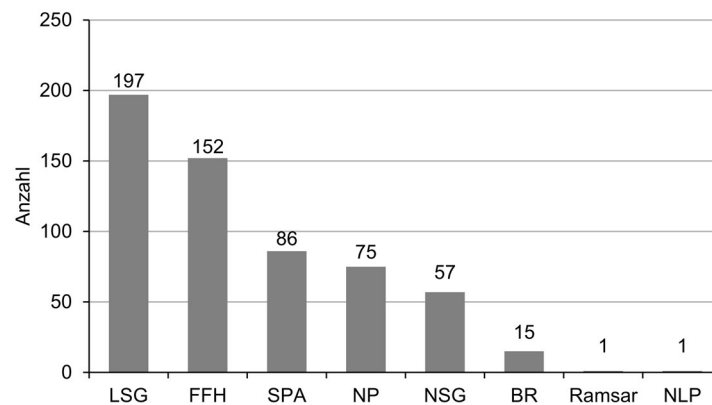


Abb. 19: Anzahl PV-FFA mit unterschiedlichen Schutzgebietskategorien in der Umgebung (1000 m-Puffer) (n=455, Mehrfachnennungen möglich). LSG: Landschaftsschutzgebiet, FFH: FFH-Gebiet, SPA: Vogelschutzgebiet, NP: Naturpark, NSG: Naturschutzgebiet, BR: Biosphärenreservat, Ramsar: Ramsar-Feuchtgebiet, NLP: Nationalpark.

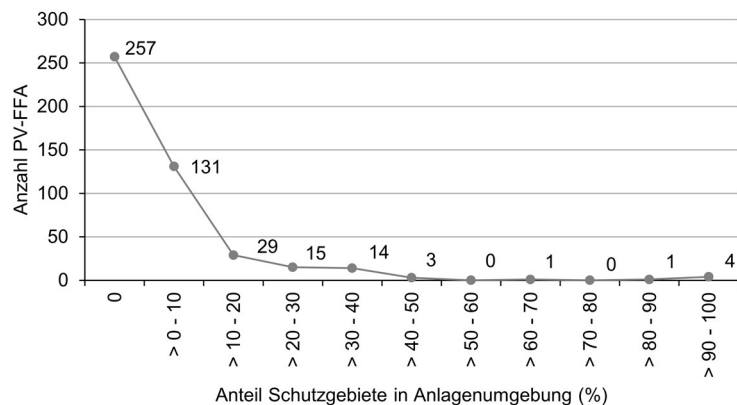


Abb. 20: PV-FFA an Verkehrswegen und Anteil von Schutzgebieten in der Anlagenumgebung (ohne LSG und NP).

Für insgesamt 422 Anlagen (93 %) wurden räumliche Überschneidungen mit den Lebensraumnetzen festgestellt. Die meisten Überschneidungen (UFR, FBV, Biotopverbundachsen) ergaben sich bei den Feuchtlebensräumen (n=362). Entsprechend der naturräumlichen Gesamtverteilung befanden sich die meisten dieser Anlagen im Südwestdeutschen Mittelgebirge, im Nordostdeutschen Tiefland und im Alpenvorland. Zumeist waren die Anlagenumgebungen durch geringe Flächenanteile UFR (bis 20 %) und/oder FBV (bis 5 %) geprägt. Bei zwei Anlagen zeigten sich deutlichere Raumzusammenhänge mit FBV (über 15 %) und UFR (über 50 %) sowie national bedeutsamen Biotopverbundachsen in der Anlagenumgebung (Abb. 21).

Entsprechend der hohen Bewaldungsdichte im Südwestdeutschen Mittelgebirge fanden sich hier jeweils 30 % der PV-FFA, in deren Umgebung Flächen der Waldlebensraumnetze (n=253) und der Lebensraumnetze für Großsäuger (n=295) lagen. Im Bereich der Waldlebensraumnetze wiesen viele der Anlagen Flächenanteile von bis zu 10 % FBV und 30 % UFR in der Umgebung auf. Auch hier waren einzelne Anlagen vorhanden, deren Umgebungen größere Flächenanteile von über 50 % der beiden Flächenkategorien, zumeist im Zusammenhang mit Biotopverbundachsen, aufwiesen (Abb. 22). Im Umfeld der Großsäugernetze waren die PV-FFA zu über 80 % durch hohe Flächenanteile von UFR gekennzeichnet. In diesen Anlagenumgebungen wurden auch die meisten national bedeutsamen Großsäugerkorridore sowie hohe Flächenanteile national bedeutsamer Großsäugerräume registriert (Abb. 23).

Etwa 40 % der PV-FFA befanden sich im Bereich von Lebensraumnetzen trockener Offenlandstandorte (n=180). Hohe Dichten wurden hier ebenfalls im Südwestdeutschen Mittelgebirge erreicht. In den meisten Fällen bewegten sich die Flächenanteile der UFR in der Anlagenumgebung jedoch nur zwischen 1 % und 10 %. In wenigen Ausnahmefällen waren größere Anteile von FBV

über 5 % vorhanden (Abb. 24).

Da sich sowohl die Bestandteile der Lebensraumnetze (z.B. UFR und FBV) als auch die verschiedenen Lebensraumnetze selbst räumlich überlagern, fanden sich zahlreiche PV-FFA, in deren Umgebung räumlich-funktionale Beziehungen mehrerer ökologischer Anspruchstypen von Bedeutung sind (Abb. 25). 102 Anlagen (22 %) wiesen Raumzusammenhänge mit Bestandteilen sowohl der Lebensraumnetze der Wälder als auch der trockenen und der feuchten Offenlandstandorte in auf.

Zusätzlich konnten 188 PV-FFA (41 %) identifiziert werden, in deren 1000 m-Puffer prioritäre Wiedervernetzungsabschnitte für Großsäuger lagen. Innerhalb der Lebensraumnetze der Wälder sowie der trockenen und feuchten Offenlandstandorte wurden Überschneidungen bei bis zu 86 Anlagen festgestellt (Tab. 9). 24 Anlagen wiesen in der Umgebung Engstellen in Waldlebensraumnetzen auf. Engstellen im Bereich des Trockenverbundes konnten bei sieben Anlagen, im Feuchtverbund bei zehn Anlagen nachgewiesen werden (Tab. 9).

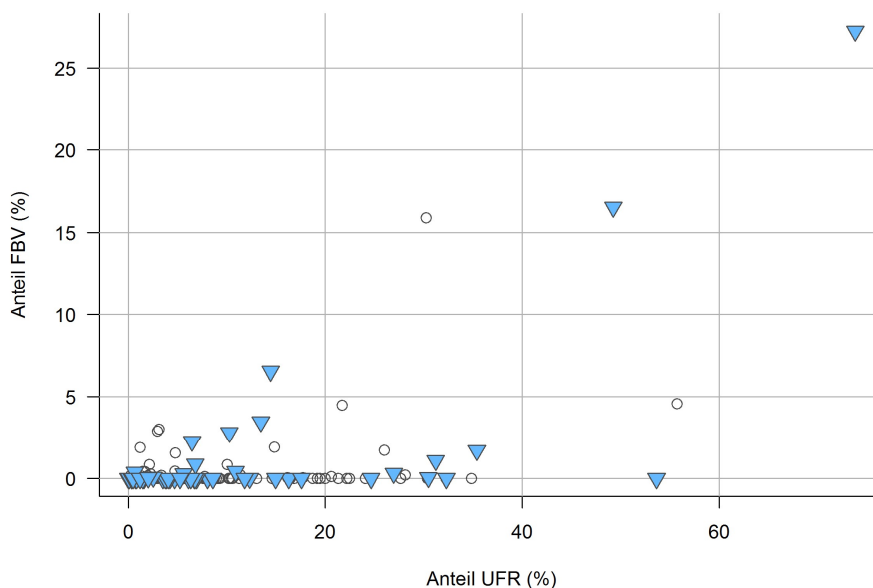


Abb. 21: PV-FFA an Verkehrswegen im Bereich von Lebensraumnetzen feuchter Offenlandstandorte (n=362). Dargestellt sind die Flächenanteile von Flächen für den Biotopverbund (FBV) und Unzerschnittenen Funktionsräumen der Distanzklasse 250 m (UFR) sowie das Vorkommen von Biotopverbundachsen (Dreiecke) in der Anlagenumgebung (1000 m-Puffer).

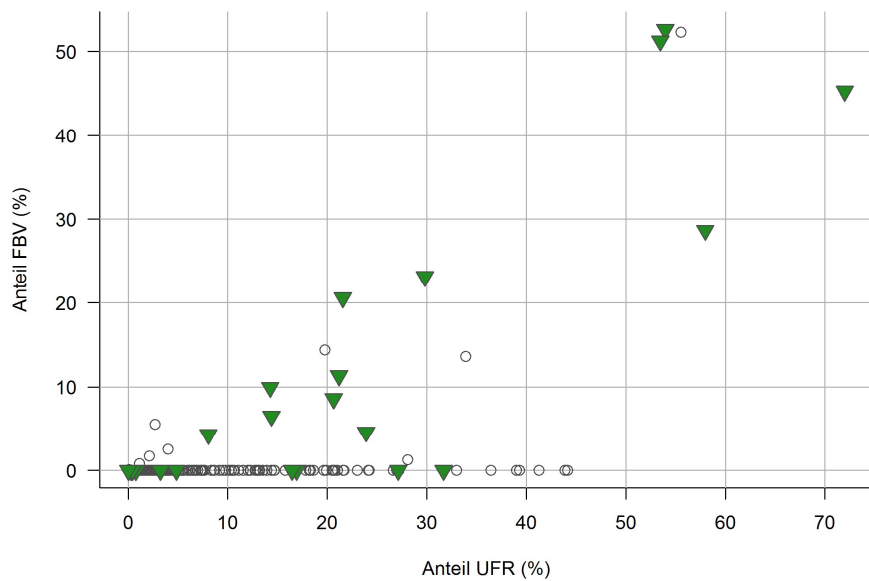


Abb. 22: PV-FFA an Verkehrswegen im Bereich von Lebensraumnetzen für naturnahe Wälder (n=253). Siehe Abb. 21 für weitere Erläuterungen zum Aufbau der Abbildung.

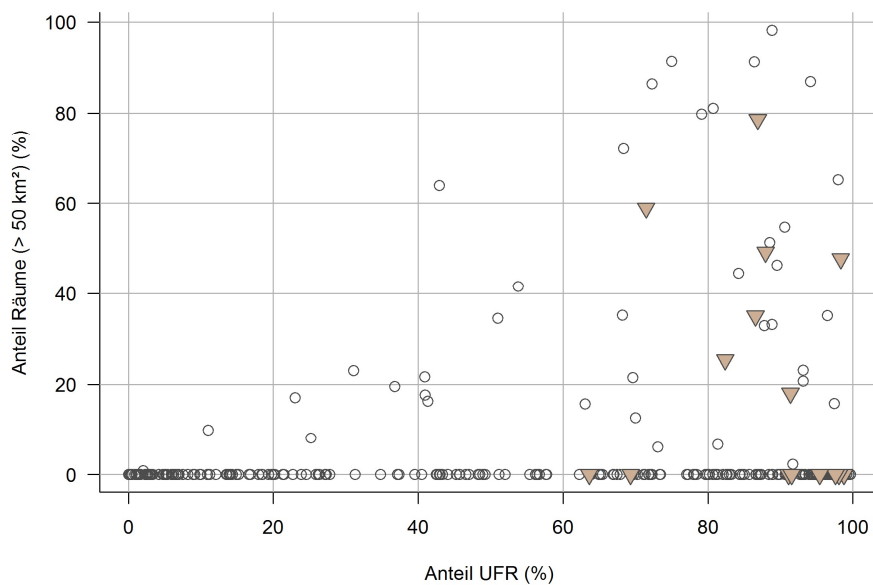


Abb. 23: PV-FFA an Verkehrswegen im Bereich von Lebensraumnetzen für Wald bewohnende Großsäuger (n=295). Dargestellt sind die Flächenanteile von national bedeutsamen Räumen (> 50 km²) und Unzerschnittenen Funktionsräumen der Distanzklasse 1500 m (UFR) sowie das Vorkommen von national bedeutsamen Korridoren (Dreiecke) in der Anlagenumgebung (1000 m-Puffer).

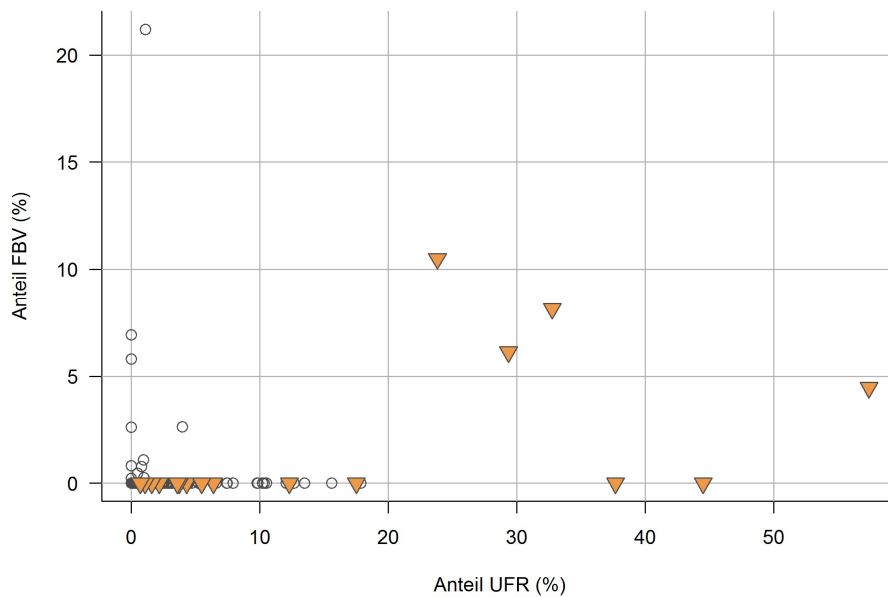


Abb. 24: PV-FFA an Verkehrswegen im Bereich von Lebensraumnetzen trockener Offenlandstandorte (n=177). Siehe Abb. 21 für weitere Erläuterungen zum Aufbau der Abbildung.

Tab. 9: Anzahl von PV-FFA mit prioritären Wiedervernetzungsabschnitten und Engstellen (Risikoklassen hoch und sehr hoch) der verschiedenen Lebensraumnetze in der Anlagenumgebung (1000 m-Puffer).

	Lebensraumnetz			
	Naturnahe Wälder	Trockene Offenlandstandorte	Feuchte Offenlandstandorte	Wald bewohnende Großsäuger
Prioritäre Wiedervernetzungsabschnitte	86	54	75	188
Engstellen	24	7	10	-

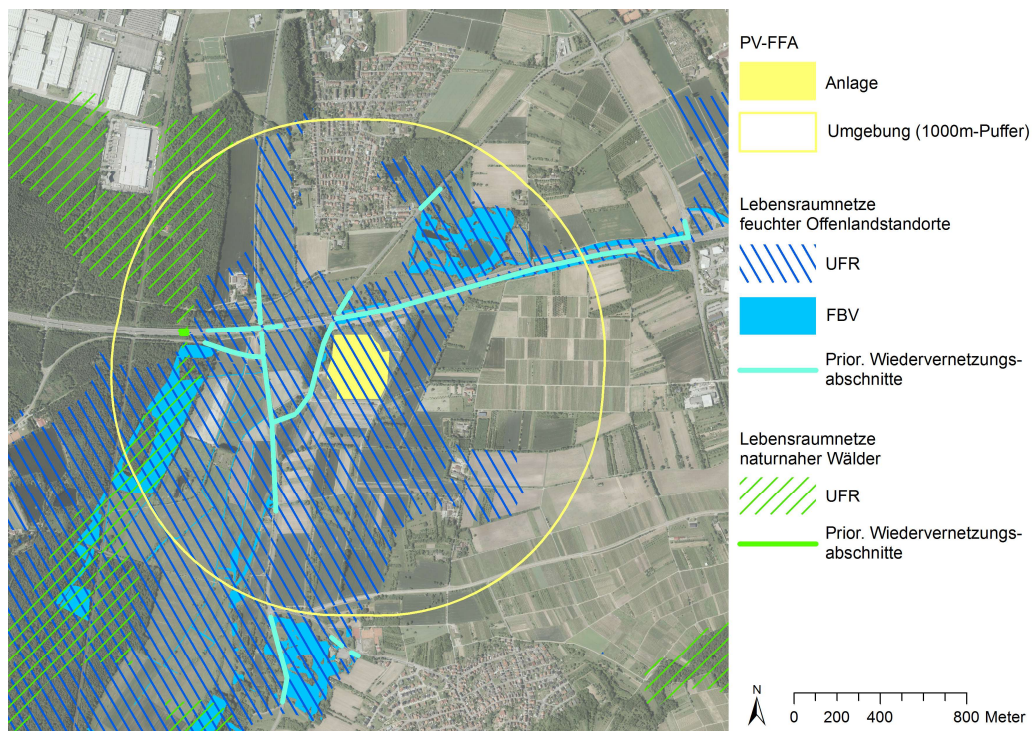


Abb. 25: Beispiel für die räumliche Überlagerung von Flächen verschiedener Lebensraumnetze in der Umgebung einer PV-FFA bei Rauenberg. Die Anlage befindet sich innerhalb eines Unzerschnittenen Funktionsraumes (UFR) der feuchten Offenlandlebensräume, welcher mehrere Flächen für den Biotopverbund (FBV) verbindet und den Zugangsbereich von prioritärerem Wiedervernetzungsabschnitten darstellt. In der Anlagenumgebung befinden sich zudem UFR und ein prioritärer Wiedervernetzungsabschnitt der naturnahen Wälder (Daten teilweise angepasst, Luftbild: © GeoBasis-DE/BKG 2016).

5.4 Schlussfolgerungen

Daten zu PV-FFA wurden bislang im Rahmen der EEG-Erfahrungsberichte (Kelm et al. 2014) sowie in Form von Anlagenstammdaten im EnergyMap-Register (DGS 2009-2015) und von der Bundesnetzagentur mit jeweils unterschiedlichem Umfang aufbereitet und veröffentlicht. Eine genaue räumliche Zuordnung der Anlagen war auf dieser Grundlage allerdings nicht möglich. Durch die systematische Auswertung von Orthophotos konnte deshalb erstmals ein bundesweit vergleichbarer, räumlich expliziter Datensatz zu den PV-FFA an Verkehrswegen generiert werden. Es ist aber zu berücksichtigen, dass die Luftbilder den Stand 2011-2013 wiedergeben und in der Zwischenzeit ein weiterer Ausbau von PV-FFA stattgefunden hat (AGEB 2016).

Die Verschneidung der Anlagenumgebungen mit bundesweiten Daten zum Biotopverbund und zur Wiedervernetzung bietet die Möglichkeit, potenzielle Konflikt- und Synergiebereiche entlang der Verkehrswege zu ermitteln. Wenn

Flächen für den Biotopverbund (FBV) betroffen sind, die selbst Ausgangsbereiche für Wiederbesiedlungsprozesse sein können, ist eine Beeinträchtigung für die Arten der jeweiligen Ökosystem- bzw. Anspruchstypen durch Wanderungshindernisse denkbar. Auch wenn größere Flächenanteile von Unzerschnittenen Funktionsräumen (UFR) oder Biotopverbundachsen in der Umgebung von Anlagen liegen, sind Störungen räumlich-funktionaler Beziehungen nicht ausgeschlossen. Das Vorhandensein von prioritären Wiedervernetzungsabschnitten im Umfeld der Anlagen indiziert Konfliktpotenzial bzgl. der Sicherung funktionsfähiger Zugangsbereiche und Hinterlandanbindungen und damit zur Wirksamkeit teurer Querungsbauwerke. Die ermittelten Raumkonstellationen zeigen, dass viele Anlagen in Längsausrichtung und mit geringen Abständen zur Trasse liegen. Hierdurch könnten wertvolle Lebensräume mit Bedeutung für die Längsvernetzung bzw. die funktionale Anbindung von Querungshilfen beeinträchtigt werden (Abb. 25).

Ob eine erhebliche Störung von Vernetzungsbeziehungen auftritt, muss durch weiterführende Untersuchungen im raumkonkreten Zusammenhang ermittelt werden. Grundsätzlich sollte hierbei nicht nur die Betriebsfläche, sondern auch deren Erschließung (z. B. Zufahrtsstraßen) berücksichtigt werden. Insbesondere im Umfeld von Querungsbauwerken muss berücksichtigt werden, dass Störungen im Zuge der Wartungen der PV-FFA möglich sind, die die Effizienz insbesondere für Säuger beeinträchtigen können. Andererseits kann auch geprüft werden, inwieweit aufgrund einer extensiven Flächennutzung der Anlagen Vernetzungsbeziehungen für bestimmte Artengruppen gefördert werden könnten (vgl. Raab 2015).

Bei einer Interpretation muss bedacht werden, dass in den Anlagenumgebungen, in denen keine oder nur wenige Bestandteile der Lebensraumnetze ermittelt wurden, in der Realität Lebensräume und Wechselbeziehungen bestehen können, die aber in den zu Grunde liegenden Analysen nicht erkannt werden konnten (vgl. Hänel 2012). Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass dort, wo Lebensraumnetze auftreten, aktuell auch ein wichtiger Funktionszusammenhang besteht. Um die Aussagetiefe der Daten einschätzen zu können, sollten daher stets zusätzliche Informationen zu Arten und Biotopen, z. B. aus lokal vorliegenden Kartierungen, hinzugezogen werden.

Bei der Bewertung der PV-FFA ist zu bedenken, dass die Auswirkungen in Abhängigkeit vom ökologischen Anspruchstyp bzw. der betrachteten Artengruppe sowohl positiv als auch negativ sein können. Die Anlagen können durch ihre Einzäunung eine Barriere für größere Tiere (insbesondere Mittel- und Großsäuger) darstellen (vgl. Herden et al. 2009; Turney u. Fthenakis 2011; Hernandez et al. 2014). Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass über die Hälfte der erfassten Anlagen in Bereichen von Flächen liegen, die für den Verbund von Wald bewohnenden Großsäugern relevant sind. Um-

gekehrt wäre eine Habitat- bzw. Trittsteinfunktion für Offenlandarten denkbar. Untersuchungsergebnisse zur Heuschreckenfauna von PV-FFA zeigen, dass beispielsweise Arten wie der Feldgrashüpfer (*Chorthippus apricarius*) und Roese's Beißschrecke (*Metrioptera roeselii*), die in intensiv genutzten Agrarlandschaften auch Saumbiotop an Verkehrswegen besiedeln und als Korridor nutzen (Rüter u. Reich 2005), die Betriebsflächen als Lebensraum nutzen können (Herden et al. 2009). Dies unterstreicht den Bedarf einer individuellen Abwägung (insbesondere Berücksichtigung von Wiedervernetzungs-konzepten), die innerhalb von Planungsprozessen auf lokaler Ebene zu treffen ist. Dabei ist zu bedenken, dass sich im Einzelfall auch Funktionszusammenhänge mehrerer ökologischer Anspruchstypen im Bereich einer Fläche überlagern können.

6 Raumwiderstand und Auswirkungen von PV-FFA auf vorhandene Lebensraumnetze

6.1 Anlass und Fragestellungen

Aus der Literaturstudie zur Habitatfunktion von PV-FFA (vgl. Kapitel 3) und aus der bundesweiten Verschneidung mit den vorhandenen Lebensraumnetzen (vgl. Kapitel 5) kann abgeleitet werden, dass sich PV-FFA sowohl positiv (Trittstein), als auch negativ (Barriere) auf die Vernetzung entlang von Verkehrswegen sowie auch auf die Wiedervernetzung (Maßnahmen zur Überwindung straßenbedingter Barrieren) auswirken können. Die Wirkung der PV-FFA ist hierbei abhängig vom betrachteten ökologischen Anspruchstyp, von der Habitatqualität der Betriebsfläche und von der Anlagenumgebung bzw. vom Landschaftskontext. Da die Betriebsflächen zum größten Teil offenlandgeprägt sind (extensiv gemähtes oder beweidetes Grünland) konzentrierten sich die weiteren Untersuchungen zum Raumwiderstand und zur Vernetzungsfunktion von PV-FFA auf Arten des Offenlandes. Unter Berücksichtigung der von Reck et al. (2016a, 2016b) beschriebenen ökologischen Anspruchstypen wurden solche Arten bzw. Artengruppen als besonders relevant erachtet, bei denen der Offenland-Verbund überwiegend bodennah und kleinräumig erfolgt. Dazu zählen kleine und mittelgroße, nicht flugfähige Säugetiere sowie Reptilien und Amphibien. Bei den Wirbellosen zählen insbesondere flugfähige Insekten zu dem relevanten ökologischen Anspruchstyp. Hierunter fallen u. a. Tagfalter, für die im Rahmen der Fang-Wiederauffang-Studie (vgl. Kapitel 4) bereits räumlich-funktionale Wechselbeziehungen zwischen PV-FFA und angrenzenden Habitaten nachgewiesen werden konnten.

Folgende Fragestellungen wurden als Grundlage für die Bewertung des Raumwiderstandes und der Vernetzungsfunktion von PV-FFA an Verkehrswegen untersucht:

- Welche Habitatqualität besitzen PV-FFA für den relevanten ökologischen Anspruchstyp?
- Wie sind PV-FFA strukturell in die Anlagenumgebung eingebunden?
- Welche funktionale Bedeutung besitzen PV-FFA für vorhandene Lebensraumnetze des Offenlandes?
- Wie hat sich die Vernetzungssituation durch die Errichtung der PV-FFA verändert?

6.2 Methodik

6.2.1 Anlagenauswahl

Für die Untersuchung wurde eine Zufallsstichprobe von 50 PV-FFA aus dem in

Deutschland ermittelten Anlagenbestand ausgewählt (vgl. Kapitel 5). Die Zufallsauswahl beschränkte sich auf die an Autobahnen befindlichen Anlagen, die einen maximalen Abstand von 50 m zum Verkehrsweg aufweisen. Anlagen an Schienenwegen kamen dafür nicht in Frage, da die Zugänglichkeit der Flächen vor Ort aufgrund der Trassen-Gefahrenbereiche nicht sichergestellt werden konnte.

Es wurden sowohl Einzelanlagen als auch Anlagenkomplexe, die aus mehreren Betriebsflächen bestehen, ausgewählt (Abb. 26). 14 PV-FFA sind Anlagenkomplexe, von denen 11 aus zwei, eine aus drei und zwei aus vier Betriebsflächen bestehen. Damit ergibt sich eine Gesamtbetriebsflächenzahl von 69.

Die Anlagenauswahl umfasst 18 % aller an Autobahnen ermittelten PV-FFA (n=270). Der Großteil der 50 Beispielanlagen liegt im Südwestdeutschen Mittelgebirge, im Alpenvorland und im Nordostdeutschen Tiefland. Der Anteil der ausgewählten Anlagen am Gesamtbestand innerhalb der Großlandschaften liegt zwischen 6 % und 25 % (Tab. 10). Der Großteil der Beispielanlagen befindet sich in Bayern (n=33). Der Anteil der ausgewählten Anlagen am Gesamtbestand in den einzelnen Bundesländern liegt zwischen 0 % und 50 % (Tab. 11).

Tab. 10: Anzahl und Anteil der ausgewählten PV-FFA am Gesamtbestand an Autobahnen bezogen auf die Großlandschaften Deutschlands (Stand: 2011-2013).

Großlandschaft	Anzahl (ausgewählt)	Anzahl (insg.)	Anteil am Gesamtbestand (%)
Nordwestdeutsches Tiefland	2	15	13,33
Nordostdeutsches Tiefland	10	41	24,39
Westliches Mittelgebirge	2	33	6,06
Östliches Mittelgebirge	4	38	10,53
Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland	19	76	25,00
Alpenvorland	13	67	19,40
Alpen	0	0	-

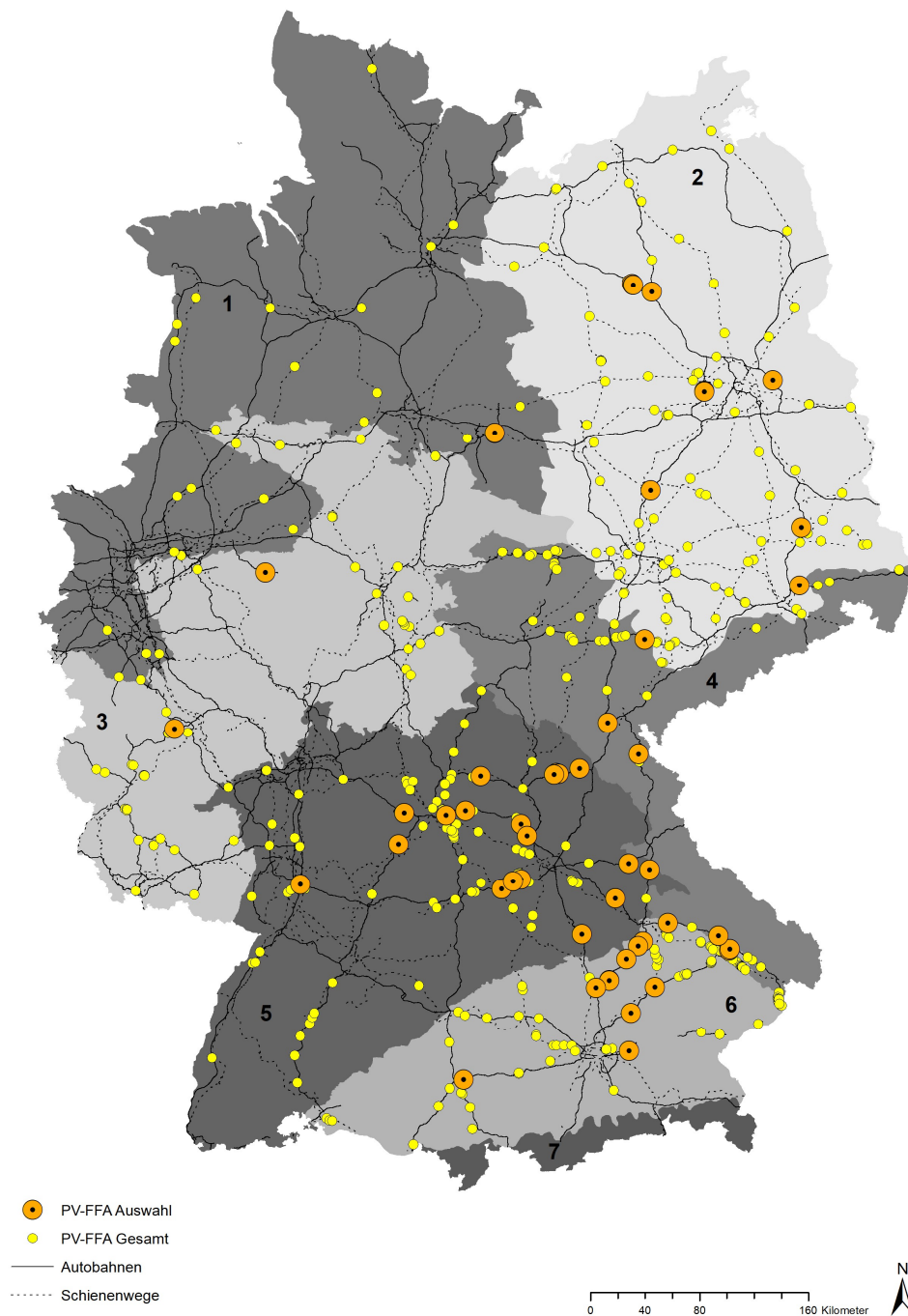


Abb. 26: Lage der für die Strukturkartierung ausgewählten PV-FFA an Autobahnen in den Großlandschaften Deutschlands (1: Nordwestdeutsches Tiefland, 2: Nordostdeutsches Tiefland, 3: Westliches Mittelgebirge, 4: Östliches Mittelgebirge, 5: Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland, 6: Alpenvorland, 7: Alpen).

Tab. 11: Anzahl und Anteil der ausgewählten PV-FFA am Gesamtbestand an Autobahnen bezogen auf die Bundesländer (Stand: 2011-2013).

Bundesland	Anzahl (ausgewählt)	Anzahl (insg.)	Anteil am Gesamtbestand (%)
Baden-Württemberg	2	18	11,11
Bayern	33	128	25,78
Berlin	0	0	-
Brandenburg	8	16	50,00
Bremen	0	0	-
Hamburg	0	1	0,00
Hessen	0	10	0,00
Mecklenburg-Vorpommern	0	7	0,00
Niedersachsen	2	10	20,00
Nordrhein-Westfalen	1	10	10,00
Rheinland-Pfalz	1	20	5,00
Saarland	0	1	0,00
Sachsen	1	15	6,67
Sachsen-Anhalt	1	10	10,00
Schleswig-Holstein	0	1	0,00
Thüringen	1	23	4,35

6.2.2 Untersuchungsansatz und -ebenen

Die Untersuchung der 50 Beispielanlagen erfolgte auf der Grundlage von Strukturkartierungen auf verschiedenen Untersuchungsebenen (Abb. 27). Auf Ebene der Betriebsflächen (eingezäunter Bereich) wurde zunächst die Habitatqualität der PV-FFA erfasst und bewertet. Eine Befragung der Anlagenbetreiber lieferte zusätzliche Informationen zur Pflege der Anlagen. Die strukturelle Konnektivität wurde sowohl für die nähere Anlagenumgebung (50 m), als auch für die weitere Anlagenumgebung (500 m) untersucht. Da der Fokus auf die Längsvernetzung entlang der Verkehrswege gelegt wurde, wurden Flächen auf der jeweils gegenüberliegenden Seite der Autobahn dabei nicht berücksichtigt. Um die Einbindung der Anlagen in die vorhandenen Lebensraumnetze zu klassifizieren, wurde zusätzlich die funktionale Konnektivität mithilfe einer Modellierung ermittelt. Als Ergebnis lagen somit für alle 50 untersuchten PV-FFA Datensätze zur Habitatqualität, zur strukturellen Konnektivität und zur funktionalen Konnektivität vor, die in eine Bewertung des Raumwiderstandes und der Vernetzungsfunktion überführt werden konnten.

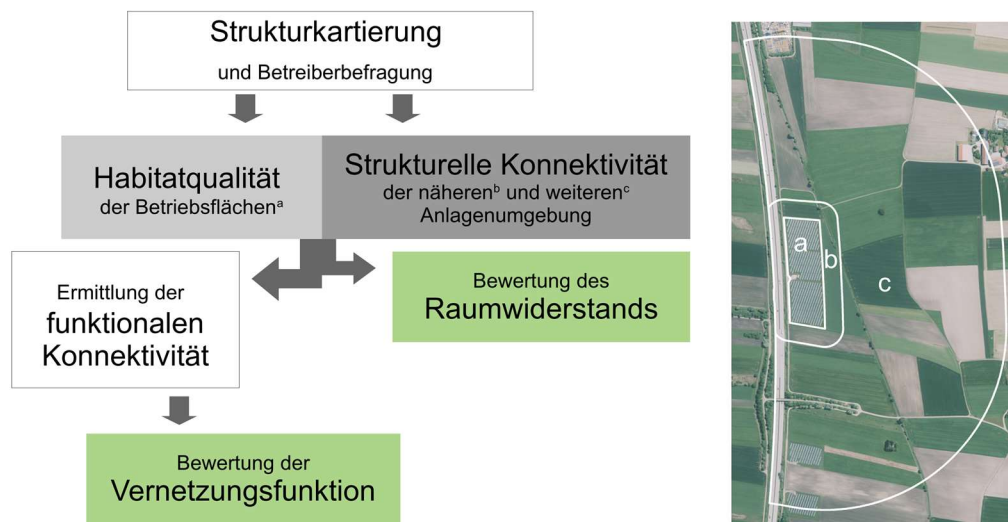


Abb. 27: Untersuchungsansatz (links) und Untersuchungsebenen (rechts) zur Bewertung des Raumwiderstandes und der Vernetzungsfunktion von PV-FFA (a: Betriebsfläche, b: nähere Anlagenumgebung bis 50 m, c: weitere Anlagenumgebung bis 500 m).

6.2.3 Strukturkartierung

Die Strukturkartierung der Betriebsflächen und der näheren Anlagenumgebung (50 m) erfolgte einmalig zwischen Juni und August 2016. Neben den Biotopstrukturen wurden die Solarmodule und die Einzäunungen erfasst.

Die Datenerfassung basierte auf allen Untersuchungsebenen auf dem Prinzip der Biotoptypenkartierung, welche an die spezielle Situation von PV-FFA an Verkehrsbegleitgrün angepasst wurde. Es ist anzunehmen, dass die Struktur die Habitateignung einer PV-FFA beeinflusst (vgl. Herden et al. 2009; Landeck et al. 2014; Raab 2015). Aus den in Kapitel 3 ermittelten, anlagebedingten Wirkfaktoren von PV-FFA und den potenziell relevanten Arten und Lebensgemeinschaften wurden daher Strukturparameter für die Geländeerfassung abgeleitet. Als relevante Strukturparameter wurden die Vegetation bzw. Biotopstruktur der Flächen, die Pflege und Bewirtschaftung (z. B. Mahd und Beweidung), die Einzäunung der Betriebsfläche sowie die Überschildung des Bodens durch die Solarmodule betrachtet. Für die Erfassung der Strukturparameter wurde auf Grundlage der Biotoptypenschlüssel der Länder (z. B. Drachenfels 2016) eine angepasste Liste mit sieben Obergruppen und insgesamt 31 Untergruppen gebildet (Tab. 12). Den Biotoptypen wurden teilweise Zusatzmerkmale zugeordnet, die es ermöglichten, besondere Ausprägungen zu erfassen. Von besonderer Bedeutung waren hierbei Angaben zur Vegetationsstruktur, zur Nutzung und zu den Standortbedingungen (Tab. 13).

Die Strukturparameter wurden in Protokollen und Karten (Verlauf von Zäunen,

Abgrenzung der Biotope) dokumentiert. Zusätzlich wurden Fotos zur Dokumentation der ausgewählten PV-FFA angefertigt. Da die Anlagen selbst nicht betreten werden konnten, erfolgte die Struktur Erfassung der Betriebsflächen visuell vom Zaun aus. Die Anlagen wurden zu diesem Zweck komplett umrundet und abgegangen. Die Biotopstrukturen in der näheren Anlagenumgebung wurden flächendeckend kartiert. Die Zäune in der Anlagenumgebung wurden anhand von Zauntypen beschrieben (z. B. Typ Wildschutzzaun: hier herkömmlicher Wildschutzzaun aus Drahtgeflecht mit Maschenweite von ca. 15x15 cm, nach unten hin enger werdend). Die im Gelände erhobenen Daten zu den Betriebsflächen und zur näheren Umgebung wurden in ArcGIS digitalisiert. Als Datengrundlage wurden Luftbilder eines WMS-Servers (© GeoBasis-DE/BKG 2016) verwendet. Die Erfassung der Biotopstrukturen in der weiteren Umgebung um die Anlagen (500 m) erfolgte GIS-gestützt mittels Luftbildinterpretation. Erfasst wurden die Biotoptypen bis auf Untergruppenebene ohne Zusatzmerkmale.

Für die strukturelle Beschreibung der Solarmodule wurden Parameter wie die Höhe und der Abstand zwischen den Modulreihen auf 10 cm Genauigkeit abgeschätzt (Tab. 14, Abb. 28). Die durch die Modulfläche überschirmten bzw. beschatteten Bereiche wurden im GIS über vorliegende Luftbilder ermittelt. Bei den Einzäunungen wurden der Zäunungstyp in Kategorien, die Art der Verankerung sowie die Höhe und Maße, wie die Maschenweite, auf 1 cm Genauigkeit vor Ort ausgemessen (Tab. 15).

Da im Rahmen der Strukturkartierung nicht alle Nutzungsmerkmale der PV-FFA ermittelt werden konnten, erfolgte hierzu zusätzlich eine Befragung der Anlagenbetreiber. Im Mittelpunkt standen Informationen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme, zur Vornutzung und zur Nutzungsintensität der Grünflächen. Die Befragung erfolgte zwischen April und Juli 2017.

Die Anlagenbetreiber wurden über das EEG-Stammdatenregister sowie über ergänzende Internet- und Vor-Ort-Recherchen ermittelt. Die Befragung erfolgte mittels eines einseitigen Fragebogens, der den Betreibern auf dem Postweg zugestellt wurde (Anhang 1). Um sicherzustellen, dass sich die Antworten auf die hier untersuchten 50 PV-FFA bezogen, wurde jeweils ein individuelles Anschreiben mit einer Ortsangabe und einem Luftbildausschnitt der jeweiligen Anlage verfasst. Die Rücksendung der Fragebögen erfolgte mittels eines beigefügten, frankierten Umschlags oder alternativ per Email.

Tab. 12: Übersicht über die auf den Betriebsflächen und in Umgebung von PV-FFA erfassten Biotoptypen.

Obergruppen	Untergruppen
Wälder	Laubwald
	Nadelwald
	Mischwald
Gebüsche und Gehölze	Gehölzbestand
	Hecke
	Baumreihe
	Streuobstwiese
Offenland	Magerrasen
	Landwirtschaftliches Grünland
	Acker
	Gras- und Krautfluren
	Ruderalflur
	Röhricht
	Lesesteinhaufen
	Flächen mit spärlicher Vegetation (Offenboden > 75 %)
	Flächen mit geringem Vegetationsaufkommen (Offenboden 50-75 %)
	Gewässer
Graben	
Kanal	
Stillgewässer	
Kleingewässer	
Verkehrsflächen	Autobahn/Schnellstraße
	Straße
	Bahntrasse
	Weg
	Brücke/Unterführung
	Parkplatz
	Sonstige Verkehrsfläche
Bebauung	Bebaute Flächen
	Technische Bauwerke
Sonstiges	

Tab. 13: Übersicht über die erfassten Zusatzmerkmale der Biotoptypen (soweit relevant).

Merkmal	Ausprägung
Neigung/Relief	Ebene (0-30°)
	Hang (30-45°)
	Steiler Hang (> 45°)
Vegetationszusammensetzung	grasdominiert
	krautdominiert
	gemischt (gras- und krautdominiert)
	Laubgehölze
	Nadelgehölze
Dichte	lückiger Gehölzbestand
	vereinzelte Gehölze
	verstreute Offenbodenstellen
Nutzung	Mahd
	Mahd (Mahdreste verbleiben)
	keine Mahd
	Beweidung
	Mulchen
	Brache/Nutzungsaufgabe
	Forst/Aufforstung
	neu angepflanzt
Weg	
Feuchtestufen	trocken
	mesophil
	feucht
Lage	Auf Dämmen
	In Einschnitten
Naturnähe	Naturnah
	Naturfern
Permanenz	Unbeständig/zeitweise trocken
	Dauerhaft wasserführend
Besondere Lebensraumrequisiten	Besonders hoher Totholzanteil
	Steilwand/Lockersediment

Tab. 14: Übersicht über die erfassten Merkmale der Solarmodule (die Buchstaben beziehen sich auf die Darstellung in Abb. 28).

Merkmals	Ausprägung
Verankerung	Gerammte Pfosten
	Punktfundament
	Sockel
Höhe (m)	Modul Unterkante (a)
	Modul Oberkante (b)
Abstand (m)	Oberkante Modul 1 zu Unterkante Modul 2 (c)
	Pfosten zu Pfosten (d)

Tab. 15: Übersicht über die erfassten Merkmale der Einzäunungen.

Merkmals	Ausprägung
Einzäunungstyp	Gitterstabzaun
	Maschendrahtzaun
	Wildschutzzaun
	Lärmschutzwand
	Mauer
Verankerung	Gerammte Pfosten
	Punktfundament
	Sockel
Oberer Abschluss	Stacheldraht
	Zackenleiste
Höhe (cm)	Gesamt
	Oberer Abschluss
Maße (cm)	Maschenweite
	Maximaler Abstand: Zaun zu Boden
	Minimaler Abstand: Zaun zu Boden
	Sockel

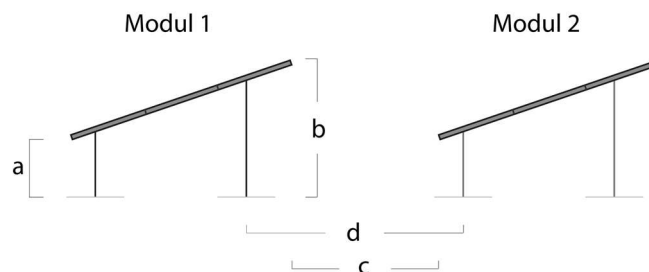


Abb. 28: An den Solarmodulen erfasste Parameter (a: Abstand Boden – Unterkante Modul; b: Abstand Boden – Oberkante Modul; c: Abstand Oberkante Modul 1 – Unterkante Modul 2; d: Abstand Pfosten – Pfosten).

6.2.4 Ermittlung der funktionalen Konnektivität

Als grundlegende methodische Herangehensweise wurde das Konzept der Lebensraumnetze gewählt. Lebensraumnetze sind Systeme von räumlich benachbarten Lebensräumen, die potentiell in enger funktioneller Verbindung zueinander stehen. Sie repräsentieren funktionsfähige ökologische Wechselbeziehungen (Hänel 2012). Dabei sind sie anspruchstypenspezifisch und können als Grundlage für die Planung dienen.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Lebensraumnetze für Arten des Offenlandes betrachtet. Um die Lebensraumnetze in den Anlagenumgebungen abzubilden, wurde eine räumlich explizite Konnektivitätsanalyse unter Berücksichtigung der Mobilität, der Barriersensitivität und des Raumanspruchs des ausgewählten ökologischen Anspruchstyps durchgeführt (vgl. Kapitel 6.1). Als Modellansatz wurde das Habitat-NET-Modell (Hänel 2007) gewählt. Durch eine Reihung von positiven und negativen Pufferfolgen mit verschiedenen Distanzklassen werden dabei Verbindungsräume zwischen Habitatflächen ermittelt und diese wiederum mit den Habitatflächen zu Funktionsräumen aggregiert. Ziel ist dabei die Bildung von Lebensraumnetzwerken eines Anspruchstyps. Dabei werden potentielle Habitatflächen gezielt erweitert, sodass die strukturelle Konnektivität einer Landschaft um eine funktionale Ebene ergänzt wird (vgl. Ausführungen bei Baudry u. Merriam 1988).

Die Habitat-NET-Methode wurde bisher auf überörtlicher Ebene, bzw. deutschlandweit, angewendet, eignet sich mit kleinen Anpassungen aber auch für die lokale Ebene und ist durch eine detaillierte Dokumentation in kurzer Zeit auf den hier erstellten Datensatz übertragbar. Die genauen Arbeitsschritte und Herleitungen sind Hänel (2007) zu entnehmen und werden nachfolgend kurz für die eigenen Daten dargelegt. Als Datengrundlagen diente eine Kombination der Strukturkartierungen der Betriebsflächen, der 50 m-Umgebungen und der 500 m-Umgebungen mit einheitlichem Detaillierungsgrad für alle 50 Untersuchungsanlagen. Anlagen, bei denen sich die 500 m-Umgebungen überlappten, wurden zusammengefasst betrachtet (dies gilt für die Anlagen 30 und 393 in Potsdam sowie die Anlagen 23 und 25 in Gerdshagen).

Um zu untersuchen, wie sich die Vernetzungssituation durch die Errichtung der PV-FFA verändert hat, wurde ein Vergleich der Ist-Situation (mit PV-FFA) mit der Situation vor der Errichtung der Anlagen angestellt. Für das Szenario wurde die vorherige Nutzung der PV-Fläche anhand alter Luftbilder (Google Earth) rekonstruiert. D. h., dass neben der Betriebsfläche auch angrenzende Strukturen, die erst durch den Bau der PV-FFA entstanden sind, entsprechend der alten Luftbilder im Datensatz angepasst wurden. Dazu zählen insbesondere Säume, Wege und Gehölzanzpflanzungen. Im Modell konnten somit Funktionsräume in der weiteren Anlagenumgebung (500 m) der PV-FFA für ver-

schiedene Distanzklassen abgebildet und hinsichtlich ihrer Ausprägung in den Szenarien mit und ohne PV-FFA verglichen werden.

Die Biotoptypen wurden hinsichtlich ihrer Bedeutung/Funktion für Arten des Offenlandes in Habitat-, Matrix- und Barrierefläche eingeteilt (Tab. 16). Habitatflächen sind potenzielle Lebensräume für Arten des Offenlandes. Als Matrixflächen wurden solche Biotoptypen klassifiziert, die von dem ausgewählten Anspruchstyp vermutlich sicher durchquert werden können. Barriereflächen können hingegen nicht oder nur mit erheblichem Mortalitätsrisiko durchquert werden und kommen andererseits auch nicht für mögliche Vernetzungsmaßnahmen infrage. Die Puffergrenze von 500 m um die Anlagen bildet eine scharfe Grenze in der Landschaft, die nicht den natürlichen Gegebenheiten entsprechen muss, d. h. es können Habitatflächen angeschnitten sein. Für die weiteren Auswertungen wurden daher nur funktionale Beziehungen innerhalb des 500 m-Puffers abgebildet.

Tab. 16: Prinzip der Klassifizierung von Biotoptypen hinsichtlich ihrer funktionalen Bedeutung für Arten des Offenlandes.

Klassifizierung	Funktionale Bedeutung	Biotoptypen
Habitatflächen	Potenzielle Lebensräume	z. B. Gras- und Krautfluren, Ruderalfluren
Matrixflächen	Geringer Ausbreitungswiderstand	z. B. Ackerflächen
Barriereflächen	Hoher Ausbreitungswiderstand	z. B. Gehölzbestände, Verkehrswege

Da für die Betrachtung der Vernetzungsfunktion die lokale Ebene und ein Anspruchstyp mit geringer Ausbreitungsdistanz gewählt wurden, wurde auf die Bildung von Biotopkomplexen aus nahe beieinander liegenden Habitatflächen als erster Schritt verzichtet. Stattdessen wurde die erste Pufferdistanz mit 10 m sehr klein gewählt. Weitere Pufferdistanzen waren 20 m, 50 m, 100 m und 250 m. Bei der späteren Interpretation ist zu beachten, dass die Pufferdistanzen nicht mit den maximalen Abständen zwischen zwei Habitatflächen gleichzusetzen sind, sondern diese maximal doppelt so groß sein können (vgl. Hänel 2007). Die Bildung und Geometrie der Verbindungsräume ist abhängig von Größe, Form und Lage der Habitatflächen zueinander. Außerdem dient die Pufferung der Habitatflächen nicht einer Vergrößerung der reinen Fläche, sondern es bleiben in den Daten der Funktionsräume nur solche Flächen erhalten, die zwei Habitate miteinander verbinden. Bestehende Lücken innerhalb der Habitatflächen (z. B. Bauminseln, Verkehrsflächen etc.) werden nicht durch die Funktionsräume geschlossen.

Nach der Bildung eines Funktionsraumes einer Distanzklasse ergeben sich somit Funktionsraumflächen, die aus Habitatflächen und Verbindungsflächen

bestehen. Entsprechend kann der Anteil an Habitatflächen in einem Funktionsraum als Qualitätsmerkmal herangezogen werden (Hänel 2007). Die Funktions- bzw. Verbindungsräume bilden Bereiche für mögliche Maßnahmen ab (Vorrangflächen). Übrige Habitatflächen, die nicht in Funktionsräumen zusammengefasst werden, bleiben als Trittsteinflächen erhalten. Hier wurde von der von Hänel (2007) angewandten Methode abgewichen, indem bereits nach der ersten Distanzklasse solche Trittsteine separiert wurden.

6.2.5 Bewertung des Raumwiderstands

Die Erkenntnisse über die potenziellen Wirkungen von PV-FFA auf die ausgewählten Gruppen (vgl. Kapitel 3 und 4) wurden mit den Ergebnissen der Strukturkartierung (vgl. Kapitel 6.2.3) verknüpft, um somit eine flächenspezifische Abschätzung des Raumwiderstands der untersuchten Anlagen zu ermöglichen. Auf diese Weise konnte eine Bewertung der Lebensraumeignung und des Konfliktpotenzials von PV-FFA für die Durchlässigkeit der Landschaft in Bezug auf die relevanten ökologischen Anspruchstypen erfolgen.

Als Grundlage zur Bewertung des Raumwiderstands wurde eine Argumentationsmatrix aufgestellt, welche die Ausprägungen einzelner oder kombinierter Strukturparameter auf den verschiedenen Untersuchungsebenen mit möglichen Wirkungen für die Vernetzungsfunktion verbindet (Habitatqualität der Betriebsfläche, Strukturelle Konnektivität in der näheren und weiteren Anlagenumgebung). Die einzelnen Parameter wurden separat eingestuft und anschließend zu einer Bewertung in Kriterien zusammengefügt. Dabei wurden nur besondere Qualitätsausprägungen herausgestellt, um eine Überinterpretation der Daten zu vermeiden. So ergibt sich z. B. aus einem hohen Anteil naturnahen Offenlandes in Kombination mit einer bestimmten Mindestanzahl Biotoptypen sowie Biotopflächen eine gute Bewertung des Kriteriums Biotopstruktur. Alle anderen Ausprägungen erhalten in diesem Fall keine Berücksichtigung. Da bislang keine Bewertungsstandards für den Raumwiderstand von PV-FFA vorliegen, erfolgte die Festlegung der Bewertungskriterien und Schwellenwerte auf der Grundlage von eigenen Einschätzungen sowie Analogieschlüssen aus der vorliegenden Fachliteratur zur Habitat- und Vernetzungsfunktion von (extensiv genutzten) Grünländern für Arten des Offenlandes (z. B. Olf u. Ritchie 1998, Dennis 2010, PAN 2006a u. 2006b, Ellenberg & Leuschner 2010).

Es wurde bewusst auf eine zusammenfassende Bewertung aller Kriterien bzw. Untersuchungsebenen verzichtet. Stattdessen sollte der Fokus auf die unterschiedlichen Teilbewertungen der einzelnen Kriterien auf den Untersuchungsebenen gerichtet werden, da auf diese Weise mögliche Unterschiede zwischen den Anlagen sowie Ansatzpunkte für potenzielle Aufwertungsmaßnahmen herausgearbeitet werden konnten.

Habitatqualität der Betriebsflächen

Die Beurteilung der Habitatqualität der Betriebsflächen erfolgte für fünf Kriterien: Biotopstruktur, nutzbare Freifläche, Übergangsbereiche, Streulichteinfall und besondere Lebensraumausstattung (Tab. 17). Eine Betriebsfläche wurde als ein durch Einzäunung abgeschlossener Raum betrachtet, bei dem die Habitatfläche an der Zaungrenze endet (u. a. relevant für die Berechnung der Randliniendichte). Bei Anlagenkomplexen wurden die verschiedenen Betriebsflächen separat bewertet, so dass sich bei diesen zwei oder mehr Bewertungen ergeben konnten.

Als Grundlage für die Bewertung wurden die Biotoptypen bis auf Untergruppenebene und unter Berücksichtigung der Zusatzmerkmale für die Vegetationszusammensetzung (krautig dominiert, grasdominiert, gemischt) betrachtet. Die Biotopstruktur wurde anhand des Anteils an naturnahem Offenland, der Anzahl von Biotoptypen, der Anzahl von Biotopflächen und der Diversität (Shannons Diversity Index, SHDI) bewertet. Der SHDI liefert als dimensionsloser Wert Informationen über die Diversität auf den Flächen, die nur im Vergleich mit anderen Flächen eingeordnet werden kann. Die Auswahl der bewertungsrelevanten Schwellenwerte erfolgte als Experteneinschätzung (Vor-Ort-Eindruck, Datenkenntnis) unter Berücksichtigung der gesamten Wertespanne aller Anlagen. Eine positive Gesamtbewertung des Kriteriums ergab sich, wenn ein hoher Anteil naturnahes Offenland ($> 75\%$) und entweder sowohl mehr als 4 Biotoptypen als auch mehr als 30 Biotopflächen auf einer Betriebsfläche vorhanden waren oder eine hohe Diversität ($\text{SHDI} > 0,6$) auf den Flächen ermittelt wurde.

Eine besondere Habitatqualität wurde auch dann angenommen, wenn eine hohe Randliniendichte (Übergangsbereiche) oder ein hoher Anteil nutzbarer Freifläche gemessen wurde. Streulichteinfall unter den Modulen gewährleistet zudem Pflanzenwachstum und verbessert somit die potenzielle Lebensraumqualität. Besonders für wärmeliebende Arten ist dies relevant. Der Streulichteinfall unter den Modulen ist ab einer Höhe der Modulunterkante von 80 cm gewährleistet (Herden et al. 2009). Bei mehreren Werten pro Betriebsfläche wurde ein Mittelwert gebildet. Zu einer besonderen Lebensraumausstattung wurden Beweidung, das Vorhandensein besonderer Habitatrequisiten (z. B. Lesesteinhaufen) und/oder ein potenziell besonderer Blütenreichtum gezählt (Tab. 17).

Strukturelle Konnektivität in der Anlagenumgebung

Auf der Ebene der 50 m-Umgebung wurde die strukturelle Einbindung der PV-FFA in das unmittelbare Anlagenumfeld betrachtet und anhand der zwei Kriterien Biotopstruktur und Durchlässigkeit der Einzäunung der Betriebsfläche bewertet (Tab. 18). Die Biotoptypen wurden hierfür mit dem gleichen Differen-

zierungsgrad erfasst und analysiert, wie auf Ebene der Betriebsflächen. Zur Ermittlung der Diversität über den Shannon-Index wurden alle anthropogenen Biototypen zusammengefasst, so dass insbesondere naturnahe/natürliche Biototypen zur Diversität beitragen.

Die Biotopstruktur wurde erneut mithilfe der Parameter Anteil naturnahes Offenland und Diversität bewertet. Eine Anlage erhielt dann eine gute Bewertung für die Biotopstruktur der Umgebung, wenn mehr als 40 % Flächen naturnahen Offenlandes vorhanden waren oder wenn der Flächenanteil zwischen 20 % und 40 % lag, die Umgebung aber einen hohen Shannon-Index aufwies.

Zu einer guten strukturellen Konnektivität der Anlagenumgebung trägt auch eine hohe Durchlässigkeit der Einzäunung der Betriebsfläche bei. Diese wurde als dann gegeben angesehen, wenn entweder der maximale Bodenabstand des Zaunes über 25 cm lag oder die Fläche mit einem Wildschutzzaun mit einer besonders großen Maschenweite eingezäunt war. Zudem mussten die Zäune ohne Sockelfundamente oder andere undurchlässige Zauntypen (z. B. Wellblechwände) errichtet sein, da in diesem Fall von einer potenziellen Barrierewirkung insbesondere für wenig mobile Arten mit bodengebundener Fortbewegungsweise ausgegangen wurde.

Die strukturelle Konnektivität in der weiteren Anlagenumgebung (500 m) wurde anhand der Landschaftsausprägung und der Biotopstruktur bewertet (Tab. 19). Die Landschaftsausprägung wurde anhand der mit einem Flächenanteil von > 60 % vorherrschenden Biototypengruppe ermittelt (Anhang 4). Dabei erfolgte keine Bewertung, sondern lediglich eine qualitative Einstufung. Die Biotopstruktur wurde wie für die nähere Anlagenumgebung (50 m) anhand des Anteils an naturnahem Offenland und der Diversität bewertet. Zur Ermittlung der Diversität wurden alle Verkehrsflächen sowie bebaute Flächen mit geringem Vegetationsanteil, technische Bauwerke und Begrenzungen in jeweils einer Kategorie zusammengefasst. Die Bebauung mit hohem Vegetationsanteil bleibt als separate Kategorie bestehen.

6.2.6 Bewertung der Vernetzungsfunktion

Zur Bewertung der Vernetzungsfunktion wurden Kriterien verwendet, die aus den Ergebnissen der Modellierung der funktionalen Konnektivität resultierten (Tab. 20). Es wurde nach dem gleichen Prinzip verfahren, wie bei der Bewertung des Raumwiderstands (vgl. Kapitel 6.2.5). Die Bewertung erfolgte bei allen Kriterien, mit Ausnahme der Verbundsituation zwischen Anlage und Straßenbegleitgrün, sowohl für das Szenario ohne als auch mit PV-FFA.

Tab. 17: Bewertungskriterien zur Ermittlung der Habitatqualität der Betriebsflächen.

Kriterien	Parameter	Bewertung
Biotopstruktur	Anteil naturnahes Offenland (%) Anzahl Biotoptypen Anzahl Biotopflächen Diversität (SHDI)	gut: Anteil naturnahes Offenland > 75 % UND Anzahl Biotoptypen > 4 UND Anzahl Biotopflächen > 30 gut: Anteil naturnahes Offenland > 75 % UND SHDI > 0,6
Nutzbare Freifläche	Freiflächenanteil an Gesamtfläche (%)	gut: > 60 %
Übergangsbereiche	Randliniendichte (ED, m/ha)	gut: > 2000 m/ha
Streulichteinfall	Modulhöhe Unterkante (cm)	gut: >= 80 cm
Besondere Lebensraumausstattung	Potenzieller Blütenreichtum (Anteil von krautigen Gras- und Krautfluren/Ruderalfluren an Gesamtfläche) Beweidung Besondere Habitatrequisiten (z. B. Lesesteinhaufen)	gut: pot. Blütenreichtum > 25 % ODER Beweidung vorhanden ODER besondere Habitatrequisiten vorhanden

Tab. 18: Bewertungskriterien zur Ermittlung der strukturellen Konnektivität in der näheren Anlagenumgebung (50 m).

Kriterien	Parameter	Bewertung
Biotopstruktur	Anteil naturnahes Offenland (%) Diversität (SHDI)	gut: Anteil naturnahes Offenland > 40 % <u>ODER</u> Anteil naturnahes Offenland 20-40 % <u>UND</u> SHDI >= 1,94
Durchlässigkeit der Einzäunung	Max. Abstand zum Boden/Durchlasshöhe (cm) Besonderheiten des Zauntyps (Maschenweite) Sockelfundament	gut: max. Abstand zum Boden >= 25 cm <u>ODER</u> Vorhandensein eines Wildschutzzauns <u>UND</u> kein Sockelfundament oder anderer undurchlässiger Zauntyp

Tab. 19: Bewertungskriterien zur Ermittlung der strukturellen Konnektivität der weiteren Anlagenumgebung (500 m).

Kriterien	Parameter	Bewertung
Landschaftsausprägung	Biotoptypengruppenanteile an Gesamtfläche (%)	Qualitative Einstufung: Biotoptypengruppe > 60 %
Biotopstruktur	Anteil naturnahes Offenland (%) Diversität (SHDI)	gut: Anteil naturnahes Offenland > 30 % <u>ODER</u> Anteil naturnahes Offenland 15-30 % <u>UND</u> SHDI >= 2

Die Ausprägung der Anlagenumgebung (inklusive der Anlagenfläche) beschreibt den vorherrschenden funktionalen landschaftlichen Zusammenhang der PV-FFA und wurde nicht bewertet, sondern lediglich qualitativ beschrie-

ben. Eine Anlagenumgebung mit mehr als 50 % Matrixflächen wurde so beispielweise als matrixgeprägt bezeichnet; erreichte keine der drei Flächentypen mehr als 50 %, so wurde die Umgebung als gemischt eingestuft.

Für die Bewertung der Ausgangsqualität der Umgebung wurde der Anteil der Habitatfläche an der Anlagenumgebung ermittelt. Eine gute Bewertung wurde dabei ab einem Anteil von mehr als 20 % erzielt.

Die Bewertung des Kriteriums potenzielle Durchgängigkeit der Anlagenumgebung basiert auf der Annahme, dass bei möglichst wenigen Funktionsräumen mit einem möglichst hohen Deckungsanteil die besten Voraussetzungen zur erfolgreichen Durchquerung des Landschaftsausschnittes gegeben sind. Als Schwellenwerte zur Einstufung als gute potenzielle Durchgängigkeit wurden eine Anzahl von drei oder weniger Funktionsräumen und ein Anteil von über 15 % festgelegt. Das Kriterium wurde für jede Distanzklasse bewertet.

Tab. 20: Bewertungskriterien zur Einstufung der Vernetzungsfunktion.

Kriterien	Parameter	Bewertung
Ausprägung der Anlagenumgebung	Anteile von Habitat-, Matrix- und Barriereflächen (%)	Qualitative Einstufung: Anteil > 50 % (habitat-, matrix- oder barrieregeprägt); sonst gemischt
Ausgangsqualität der Anlagenumgebung	Anteil Habitatfläche an Umgebungsfläche (%)	gut: > 20 %
Potenzielle Durchgängigkeit in der Anlagenumgebung	Anzahl und Anteil (%) FR jeder Distanzklasse an Umgebungsfläche	gut: Anzahl FR ≤ 3 und Anteil FR ≥ 15 %
Qualität der Lebensraumnetze	Anteil Habitat an Funktionsraumfläche jeder Distanzklasse (%)	gut: > 95 %
Verbundsituation zwischen Anlage und Straßenbegleitgrün (nur für Szenario mit PV-FFA)	Anbindungsart	gut: überwiegend flächige strukturelle oder funktionale Anbindung

Die Qualität der Lebensraumnetze wurde anhand des Habitatflächenanteils an der Funktionsraumfläche jeder Distanzklasse bewertet. Da dieser Anteil bei den betrachteten Anlagen zumeist hoch war, wurden entsprechend hohe Schwellenwerte angesetzt, sodass erst ab einem Anteil von über 95 % das Kriterium als gut bewertet wurde.

Bei der Verbundsituation zwischen Anlage und Straßenbegleitgrün wurde überprüft, ob eine überwiegend flächige strukturelle Anbindung bestand oder durch Bildung der Funktionsräume eine funktionale Anbindung geschaffen wurde. Bei dieser ist keine flächige Ausprägung nötig, da die konkreten Verbindungen nur modellhaften Charakter haben und anzunehmen ist, dass auch

an anderen Stellen in gleichen Distanzen Verbindungen möglich sind. Nicht berücksichtigt wurden hier jedoch Anbindungen über „Umwege“, also z. B. über Saumstrukturen; ebenso wirken größere Gehölzbestände trennend, so dass dann keine Anbindung besteht. Dieses Kriterium wurde nur für das Szenario mit PV-FFA bewertet.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Strukturmerkmale von PV-FFA

6.3.1.1 Betriebsflächen

Flächengrößen

Die Größenspanne der 50 untersuchten PV-FFA reichte von 0,95 bis 23,97 ha. Die durchschnittliche Flächengröße betrug 6 ha (Abb. 29). Die größte Betriebsfläche umfasste 18,54 ha (Anlage 82, Oranienbaum-Wörlitz, Einzelanlage), die kleinste 0,38 ha (Anlage 349, Neuenhagen, Anlagenkomplex). Der Mittelwert lag bei 4,35 ha.

Die Abstände zwischen den einzelnen Betriebsflächen von Anlagenkomplexen lagen zwischen 4,1 m und 39,2 m. Der durchschnittliche Abstand betrug 18,2 m.

Module und Modulflächen

Alle untersuchten Anlagen waren mit Modulen in Reihenaufstellung bestanden. Die Höhe der Moduloberkanten betrug bei ca. der Hälfte der untersuchten PV-FFA bis zu 2 m, die andere Hälfte reichte von 2 bis 3 m (Abb. 30). In einem Einzelfall wurde ein 4 m hohes Modul protokolliert. Die Höhe der Unterkante der Module war unabhängig von der Höhe der Oberkante. Sie lag in den meisten Fällen zwischen 0,5 und 1 m und nur in zwei Fällen bei 1,5 m.

Der Abstand zwischen den Modulreihen variierte sehr stark (Abb. 31). Das Minimum lag bei unter 1 m und das Maximum bei 10 m. Der Großteil der untersuchten Anlagen wies einen Modulreihenabstand zwischen 2 und 4 m auf.

Das Verhältnis von Modul- zu Freifläche variierte zwischen 21 % zu 79 % (Anlage 393b, Potsdam) und 80 % zu 20 % (Anlage 225a, Schwandorf) (Abb. 32, Abb. 33). Letztere ist als Ost-West-Anlage mit dachförmiger Modulaufstellung errichtet. Bei der Anlage 393b in Potsdam wurde ein großer Bereich innerhalb der Betriebsfläche komplett von Solarmodulen ausgespart.

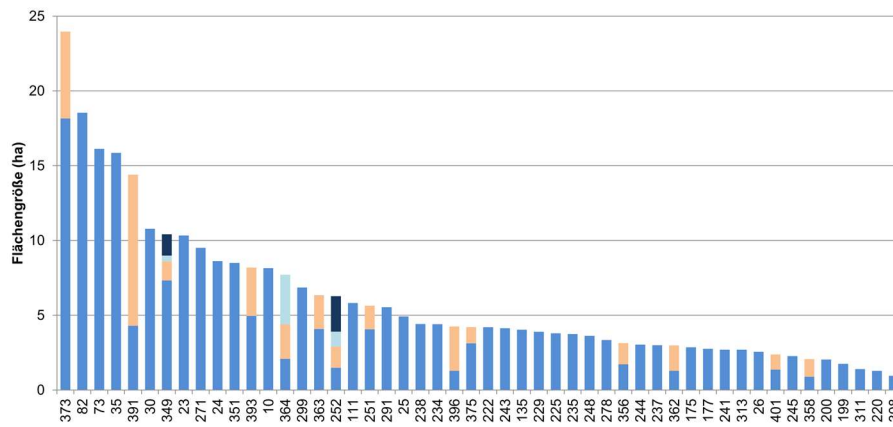


Abb. 29: Flächengrößen der untersuchten PV-FFA (n=50). Die gestapelten Balken stellen die Betriebsflächen von Anlagenkomplexen dar (durch unterschiedliche Farben dargestellt).

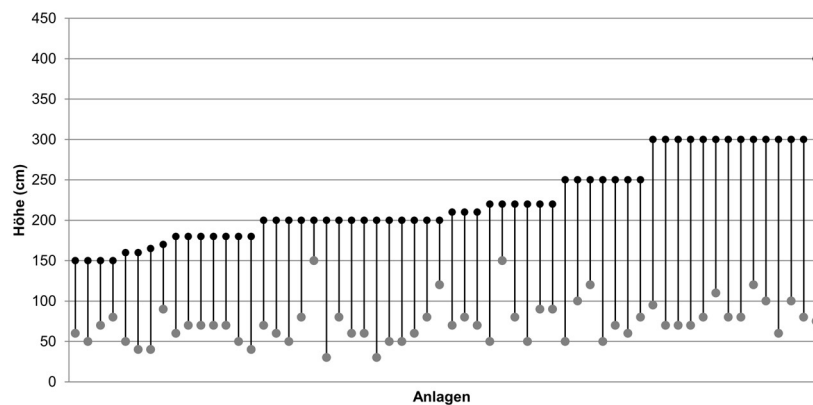


Abb. 30: Höhen der Solarmodule (schwarz: Oberkante; grau: Unterkante).

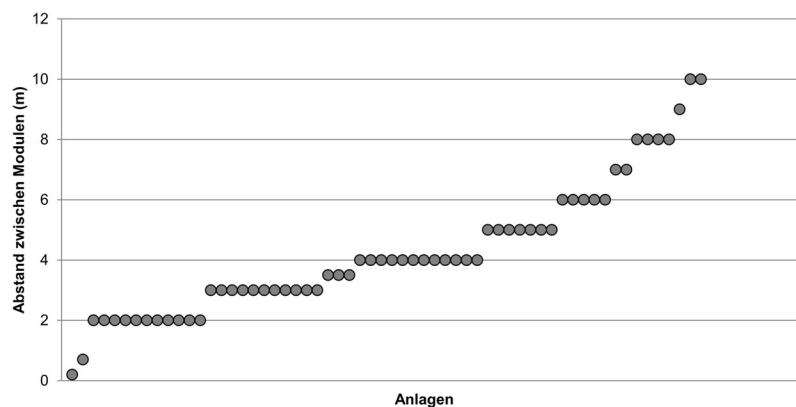


Abb. 31: Abstände zwischen den Modulreihen (gemessen zwischen Oberkante und Unterkante zweier angrenzender Modulreihen).

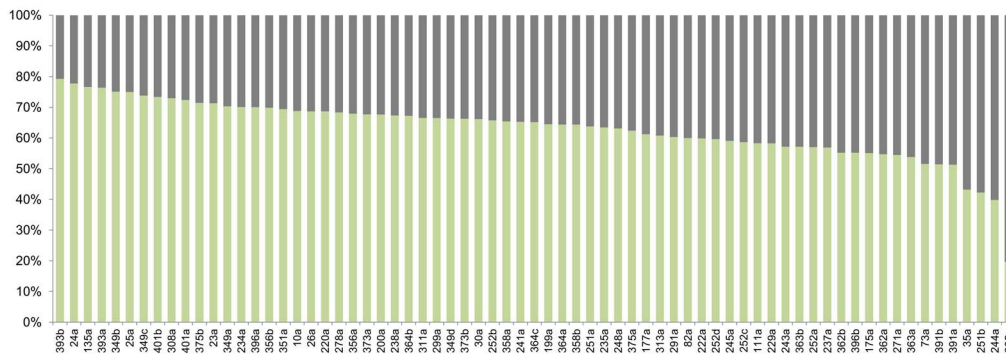


Abb. 32: Verhältnis von Freifläche (grün) zu von Solarmodulen überschirmter Fläche (grau) (n=69).

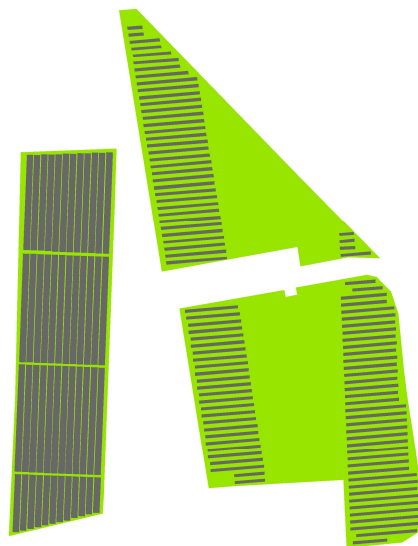


Abb. 33: Beispiele für PV-FFA mit einem hohen Anteil an überschirmter Fläche (links: Anlage 225a, Schwandorf) und einem geringen Anteil an überschirmter Fläche (rechts: Anlage 393b, Potsdam) (grün: Freifläche; grau: Modulfläche; gleicher Maßstab, Darstellung vereinfacht).

Biotopstrukturen

Auf den untersuchten Betriebsflächen kamen insgesamt 14 Biotoptypen vor: Gras- und Krautflur (grasdominiert, krautig dominiert oder gemischt), Ruderalflur (krautig dominiert oder gemischt), Flächen mit geringem Vegetationsaufkommen (Offenboden 50-75 %), Flächen mit spärlicher Vegetation (Offenboden > 75 %), Gehölzbestand, Graben, Kleingewässer, Lesesteinhaufen, Röhricht, Technische Bauwerke und bebaute Flächen sowie Wege. Im Mittel setzen sich die Betriebsflächen aus drei Biotoptypen zusammen. Maximal wurden sieben unterschiedliche Biotoptypen auf einer Anlage festgestellt.

63 von den insgesamt 69 Betriebsflächen bestanden zu mehr als 75 % aus einer Gras- und Krautflur (Abb. 34). Viele andere Biotoptypen wurden dagegen nur sehr selten oder gar nicht erfasst. Nur eine Betriebsfläche enthielt ein Kleingewässer. Bei zwei Anlagen wurde ein Graben festgestellt und in einer Anlage befand sich ein Röhricht. Bei einer Anlage war die Betriebsfläche von einem geringen Vegetationsaufkommen geprägt, bei einer anderen Anlage von einer Ruderalflur. Die Flächen mit spärlichem oder geringem Vegetationsaufkommen waren häufig die als Zuwege genutzten Flächen, die zu Trafohäusern führen oder für die Wartung genutzt werden. Auch unter den Modulen wurden teilweise spärlich bewachsene Bereiche erfasst. Das Trafohaus als Teil einer PV-FFA befand sich bei sechs Anlagen nicht auf der Betriebsfläche. Bei den Anlagenkomplexen waren nicht alle Betriebsflächen mit einem Trafohaus versehen. Die Trafohäuser haben maximal nur knapp 1 % der Betriebsfläche eingenommen. In vier Fällen wurden Lesesteinhaufen auf den Betriebsflächen festgestellt.



Abb. 34: Beispiel für eine durch gemischte Gras- und Krautfluren geprägte Betriebsfläche (links, Anlage 229, Selbitz) und Beispiel für eine durch krautige Gras- und Kraut- sowie Ruderalfluren geprägte Betriebsfläche (rechts, Anlage 238, Hausen).

Die Biotoptypen waren auf den Betriebsflächen sehr unterschiedlich räumlich verteilt. Die Anzahl von Biotopflächen (Patch, kleinstes abgrenzbares Einzelelement auf einer Fläche (Lang u. Blaschke 2007)) variierte stark. 45 Betriebsflächen umfassten maximal zehn Biotopflächen (Abb. 35). Dabei konnten auch wenige Biotoptypen auf viele Biotopflächen mit einer hohen Durchmischung verteilt sein und umgekehrt viele Biotoptypen großflächig nebeneinander vorkommen (Abb. 36). Die Betriebsflächen mit einer hohen Anzahl an Biotopflächen wiesen gleichzeitig eine hohe Randliniendichte (Edge Density) auf. Sie variierte zwischen 150 m/ha und 9515 m/ha, wobei 68 % der Betriebsflächen eine Randliniendichte von bis zu 500 m/ha zeigten (Abb. 37).

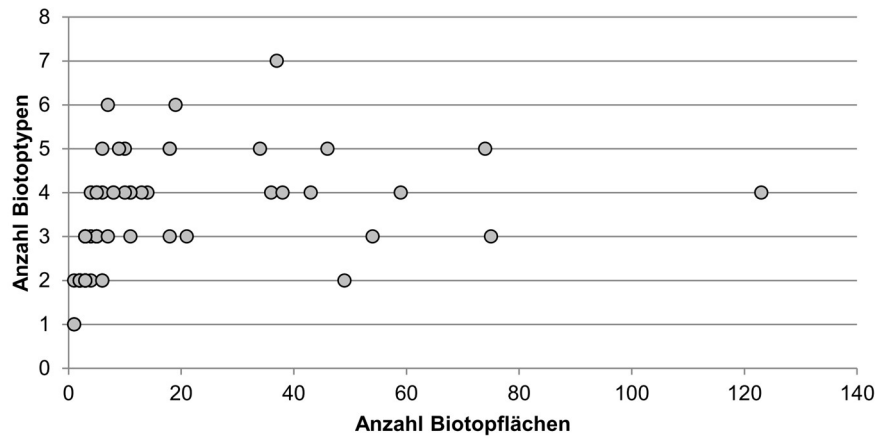


Abb. 35: Anzahl von Biotoptypen und Biotopflächen auf den Betriebsflächen.

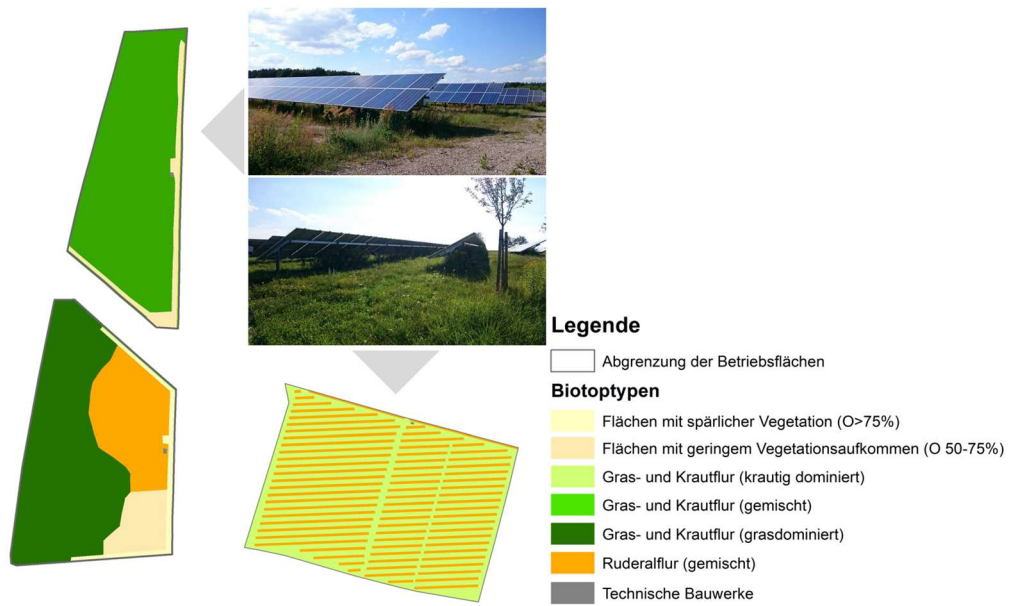


Abb. 36: Unterschiedliche Verteilungsmuster von Biotoptypen und Biotopflächen auf zwei PV-FFA. Links: großflächige Verteilung von sechs Biotoptypen auf sieben Biotopflächen auf der südlichen Betriebsfläche (Anlage 401, Meuro). Mitte unten: kleinflächige Verteilung von drei Biotoptypen auf 75 Biotopflächen (Anlage 238, Hausen).

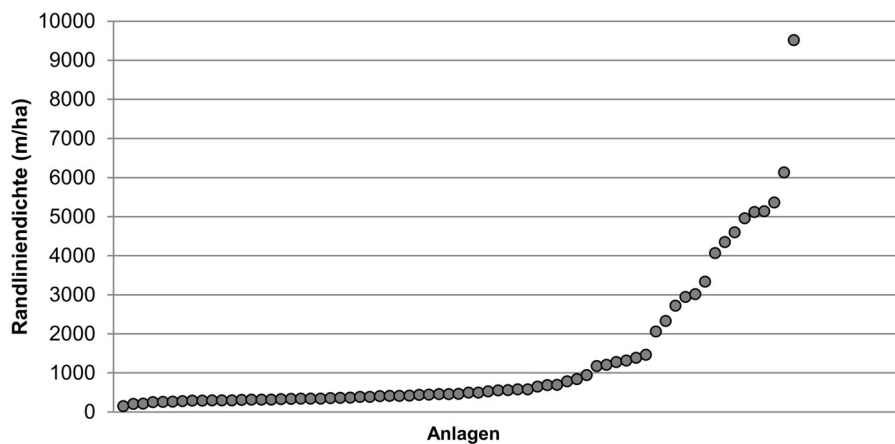


Abb. 37: Randliniendichten (Edge Density) der Biotope auf den Betriebsflächen (n=69).

Gehölzanpflanzungen wurden bei 26 Anlagen festgestellt. Häufig waren diese Anpflanzungen direkt an den Zaun der Anlage angrenzend (außerhalb der Betriebsfläche) und gegen Verbiss mit einem Wildschutzzaun geschützt, was eine doppelte Einzäunung bewirkt (Abb. 38). Zumeist wurden Sträucher verwendet, seltener Einzelbäume. Unklar ist, ob die Anpflanzungen als Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen angelegt wurden.



Abb. 38: Beispiele für Gehölzanpflanzungen um die PV-FFA (links: eingezäunt, Anlage 220, Niederwinkling; rechts: nicht eingezäunt, Anlage 299, Schwaighausen).

Mahd und Beweidung

Die Gras- und Krautfluren der insgesamt 69 untersuchten Betriebsflächen waren zum Zeitpunkt der Erfassung häufig nicht gemäht (46 %), nur 19 % waren vollständig gemäht. Etwa ein Drittel der Betriebsflächen wurde teilweise gemäht, wobei sich die Mahdmuster sehr unterschiedlich darstellten. Zwei Betriebsflächen wiesen ein regelmäßiges Muster mit nicht gemähten Abschnitten zwischen einzelnen Modulreihen auf (Abb. 39 oben). Auf weiteren zwei Betriebsflächen waren nur die Bereiche unter den Modulen nicht gemäht, auf

einer Betriebsfläche waren hingegen explizit nur diese Bereiche gemäht. Auf einer Betriebsfläche wurden die Bereiche, auf denen Modulreihen aufgestellt waren, gemäht, die bis zu 15 m breiten Randbereiche waren hingegen nicht gemäht. Auf drei Betriebsflächen waren nur die Zufahrtswege zu den Trafostationen gemäht, auf einer Anlage war nur ein ca. 1 m breiter Saum entlang des Zaunes gemäht. Auf den anderen Betriebsflächen war kein Mahdmuster ersichtlich. Bei einer PV-FFA in Potsdam wurden die Flächen unter der Hälfte der Modulreihen vollständig gemäht, bei der anderen Hälfte wurde ein etwa 70 cm breiter nicht gemähter Saum unter den Modulreihen stehen gelassen (Abb. 39 unten links).

Bei der Mahd verblieb in den meisten Fällen das Mahdgut auf der Betriebsfläche. Auf nur sieben Betriebsflächen wurden keine Mahdreste festgestellt. Hier ist ungewiss, ob das Mahdgut entfernt wurde oder ob es nicht mehr auf der Fläche erkennbar war. Vier der untersuchten Betriebsflächen wurden zum Zeitpunkt der Kartierung beweidet (Abb. 40). Die Flächen wurden in drei Fällen mit Schafen und in einem Fall mit Schafen und Ziegen beweidet.

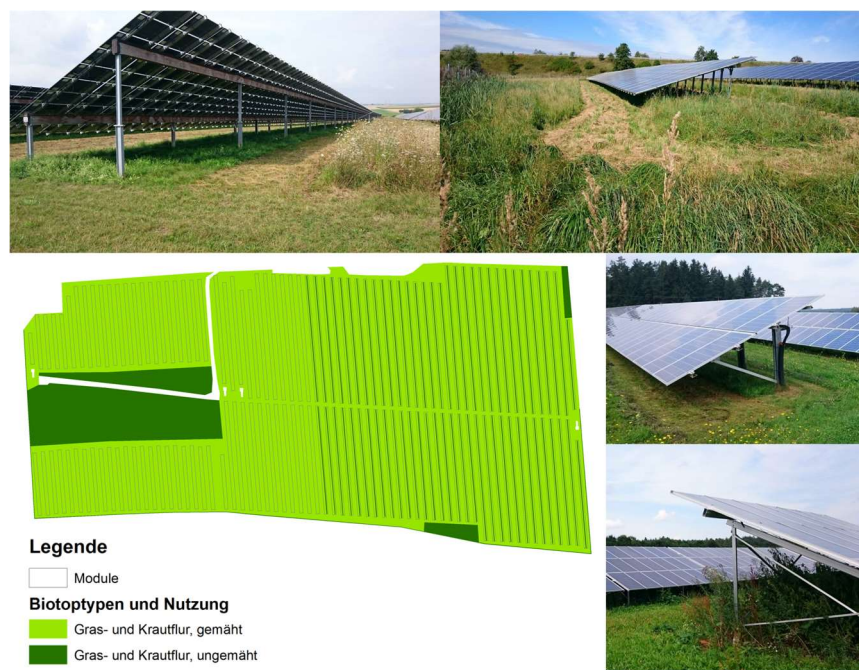


Abb. 39: Beispiele für PV-FFA mit ersichtlichen Mahdmustern auf der Betriebsfläche. Oben links: ungemähte Streifen zwischen den Modulreihen (Anlage 373, Kitzingen). Oben rechts: Anlage 241, Kirchdorf). Unten links: unregelmäßig gemähte PV-FFA (Anlage 30, Potsdam). Mitte rechts: die Bereiche unter den Modulen sind extrem kurz gemäht (Anlage 358, Thierstein). Unten rechts: Beispiel für eine PV-FFA, auf der unter den Modulreihen vermutlich über einen längeren Zeitraum nicht gemäht wurde, so dass sich dort Ruderalfluren entwickelt haben (Anlage 252, Petersaurach).



Abb. 40: Beweidete PV-FFA (links: Anlage 244, Mainburg; rechts: Anlage 135, Walldorf).

Befragung

Es konnten die Betreiber von 46 der insgesamt 50 PV-FFA ermittelt werden. An der Befragung zur Nutzung der Anlagen haben elf Betreiber teilgenommen (22 %). Vier Anlagenbetreiber erteilten eine Absage und zu den übrigen 31 Anlagen kam auch nach wiederholter Kontaktaufnahme keine Rückmeldung.

Neun PV-FFA wurden zwischen 2011 und 2014 in Betrieb genommen, mit einem Schwerpunkt im Jahr 2012 (5 Anlagen). Eine Anlage ist schon seit 2008 in Betrieb und zu einer weiteren Anlage wurde keine Angabe gemacht (s. Anhang 2). Als Betreiberform wurde mehrheitlich eine GmbH & Co. KG (6 Anlagen) oder eine GmbH (4 Anlagen) angegeben. Eine Anlage wird genossenschaftlich betrieben.

Zur Vornutzung der Flächen wurde bei zehn Anlagen eine Angabe gemacht. In sieben Fällen wurden die Standorte zuvor als Acker genutzt. Eine Anlage wurde als Grünland und zwei Anlagen wurden anteilig als Acker und Grünland bzw. als Acker und Brache genutzt. Die Begrünung nach Errichtung der Solarmodule erfolgte teils als Ansaat oder durch Eigenentwicklung der Vegetation (s. Anhang 2).

Die Pflege der Grünflächen erfolgt durch eine flächendeckende oder partielle Mahd mit 1-2(3) Schnitten pro Jahr. Für eine Anlage wurde angegeben, dass das Mahdgut nach dem Schnitt abtransportiert wird. Fünf Anlagen werden gemulcht, während bei drei Anlagen das Mahdgut unzerkleinert auf der Fläche belassen wird (s. Anhang 2). Zwei Anlagen werden beweidet. In einem Fall wurde angegeben, dass die Beweidung mit 10 Schafen und für 100 Tage/Jahr erfolgt. Zusätzlich erfolgt eine partielle Mahd der Fläche. Bei der zweiten Anlage wurde vermerkt, dass ebenfalls eine Schafbeweidung stattfindet, ohne jedoch Angaben zur Besatzdichte und -dauer zu machen. Dafür wurde jedoch angemerkt, dass versuchsweise auch Alpakas zur Beweidung eingesetzt werden.

Die Betreiber aller elf betrachteten PV-FFA gaben an, dass weder ein Einsatz von Pflanzenschutzmitteln noch ein Düngemiteleinsatz auf den Flächen erfolgt.

Zäune

Alle 50 untersuchten PV-FFA waren eingezäunt. Der Großteil der Anlagen war von Maschendraht- oder Gitterstabzäunen begrenzt (Abb. 41). Nur wenige Anlagen waren mit Wildschutzzäunen eingezäunt. Unter sonstige Einzäunungen fallen Wellblech-/Sichtschutzwände, Sichtschutttafeln, Planen oder eine zusätzliche Einzäunung durch Hasendraht oder Elektrozäune. Dies waren allerdings Sonderfälle, die auch selten den gesamten Zaunbereich ausmachten, sondern nur in einzelnen Abschnitten, z. B. zur Autobahn hin, bestanden.

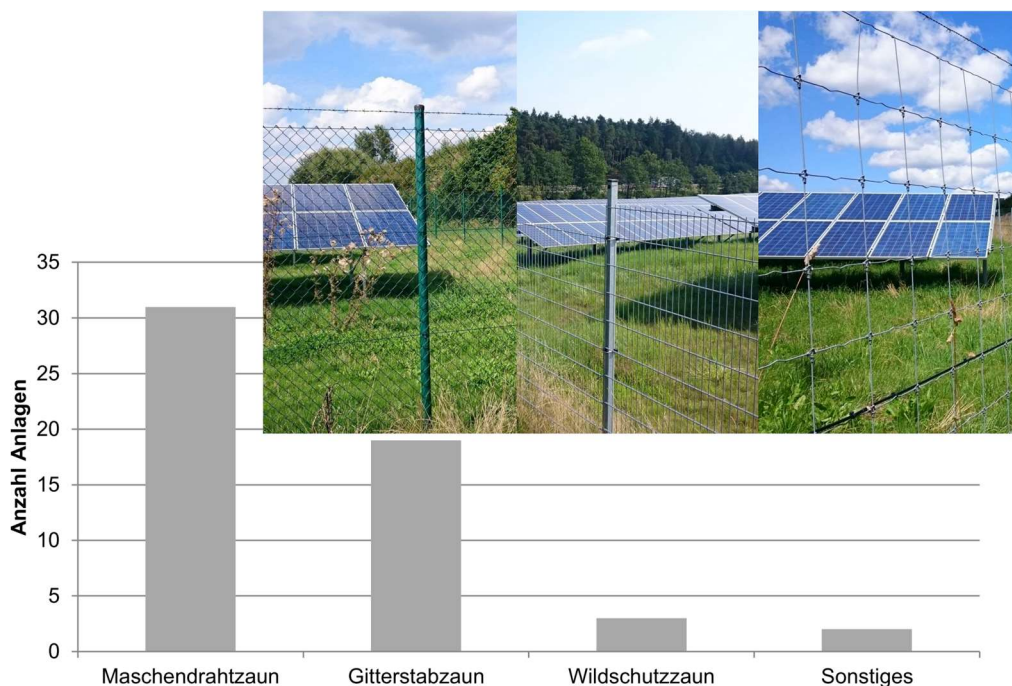


Abb. 41: Erfasste Zauntypen an den PV-FFA (Mehrfachnennungen möglich). Fotos von links: Maschendrahtzaun (Anlage 234, Ebermannsdorf); Gitterstabzaun (Anlage 222, Barbing); Wildschutzzaun (Anlage 229, Selbitz).

Die Maschenweite variiert je nach Zauntyp. Beim Maschendrahtzaun betrug die Maschenweite 7x7 cm oder 9x9 cm, beim Gitterstabzaun 4,5x19,5 cm und beim Wildschutzzaun lag sie in Bodennähe bei 15x6 cm.

Bei allen 50 untersuchten PV-FFA waren die Zäune durch Punktfundamente verankert oder in den Boden gerammt. Bei keiner Anlage waren die Zäune auf einem Sockel installiert. Innerhalb einer Anlageneinzäunung waren die Bodenabstände nicht einheitlich und variierten, da die Zaunelemente aufgrund des

Geländereliefs im Versatz angebrachten waren. Fast alle Zauntypen/-abschnitte wiesen einen Abstand zum Boden von über 10 cm auf (Abb. 42). Nur in wenigen Fällen betrug der Zaunabstand zum Boden weniger als 5 cm.

Die Tore in den Zaunanlagen wiesen oftmals einen höheren Bodenabstand auf als die Zäune selbst auf. In den meisten Fällen wurden ebenfalls Abstände von über 10 cm festgestellt (Abb. 43). Die meisten Zäune der untersuchten PV-FFA hatten eine Höhe von ca. 2 bis 2,5 m (n=59). Wesentlich höhere Zäune (3-4 m) wurden nur dreimal dokumentiert (Abb. 44). Diese erstreckten sich nicht über die gesamte Zaunlänge der Anlagen, sondern beschränkten sich auf Teilabschnitte. Ein 4 m hoher Zaunabschnitt befand z. B. angrenzend an einen Fußballplatz. Teilweise waren die PV-FFA durch eine Alarmanlage und Kameraüberwachung zusätzlich gesichert. Die oberen Abschlüsse der Zäune und Tore wiesen zumeist auch noch einen Überkletterungsschutz durch Stacheldraht oder Zackenleisten auf. Bei 48 Anlagen wurde die Einzäunung mit Stacheldraht versehen und 44 Anlagen wiesen Tore mit Zackenleisten oder Stacheldraht auf.

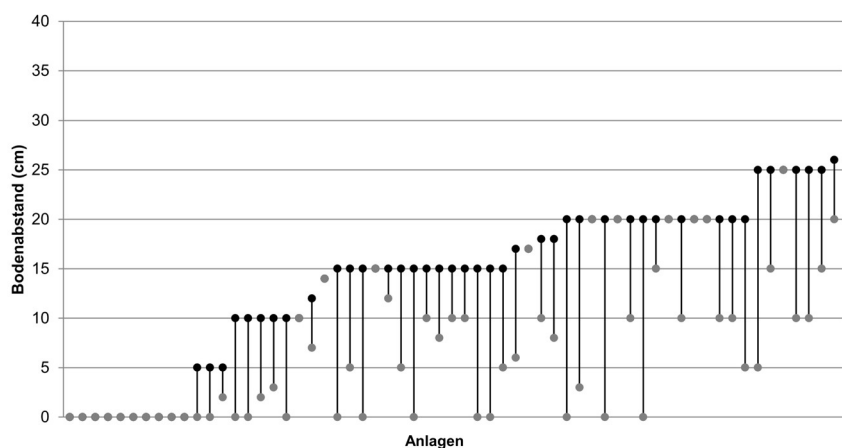


Abb. 42: Maximaler (schwarz) und minimaler (grau) Zaunabstand zum Boden auf den untersuchten PV-FFA (Mehrfachnennungen möglich).

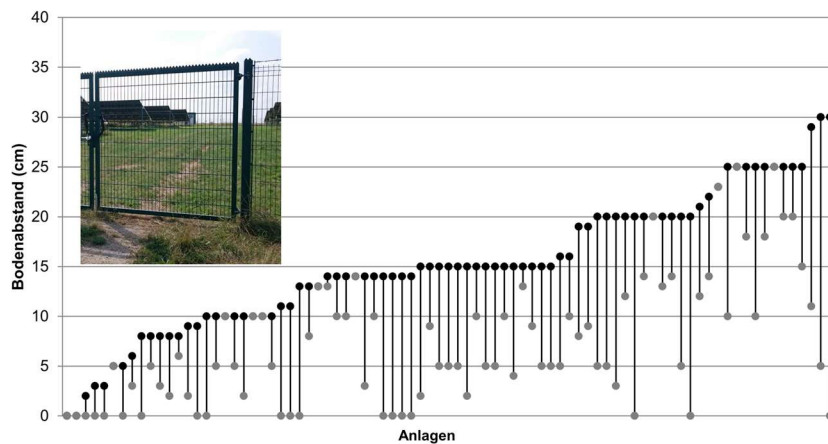


Abb. 43: Maximaler (schwarz) und minimaler (grau) Abstand zum Boden bei den verschiedenen Toren und -abschnitten auf den untersuchten PV-FFA (Mehrfachnennungen möglich).

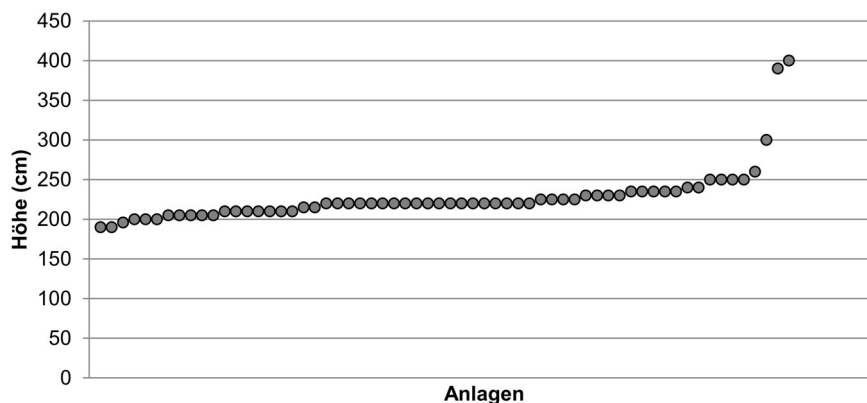


Abb. 44: An den PV-FFA erfasste Zaunhöhen (Mehrfachnennungen möglich).

6.3.1.2 Nähere Anlagenumgebung (50 m)

Biotopstrukturen

Die Anteile von naturnahem Offenland in den Anlagenumgebungen lagen zwischen 9 % und 68 %. Hierunter fallen Gras- und Krautfluren, Ruderalfluren, aber auch Flächen mit geringem und spärlichem Vegetationsaufkommen sowie Magerrasen, Streuobstwiesen und Lesesteinhaufen. Bei sieben Anlagen waren Anteile von mehr als 40 % dieser Biotoptypen zu verzeichnen (Abb. 45), wobei nur bei einer Anlage ein Magerrasen klassifiziert wurde. Lesesteinhaufen fanden sich in der Umgebung von sieben Anlagen und bilden potentiell zusätzliche Habitatalemente.

24 der Anlagenumgebungen waren zu mehr als 40 % von intensiv genutzten

Flächen (Ackerflächen und landwirtschaftliches Grünland) geprägt. Die Anteile von Verkehr und Bebauung lagen zwischen 6 % und 36 %, wobei auch die angrenzende Autobahnfläche enthalten ist. Dabei ist zu bedenken, dass sich durch die unterschiedlichen Ausrichtungen und Abstände der Betriebsflächen zur Autobahn sehr unterschiedliche Flächenanteile zwischen 0,04 % und 24,51 % Autobahnfläche an der näheren Anlagenumgebung ergaben.

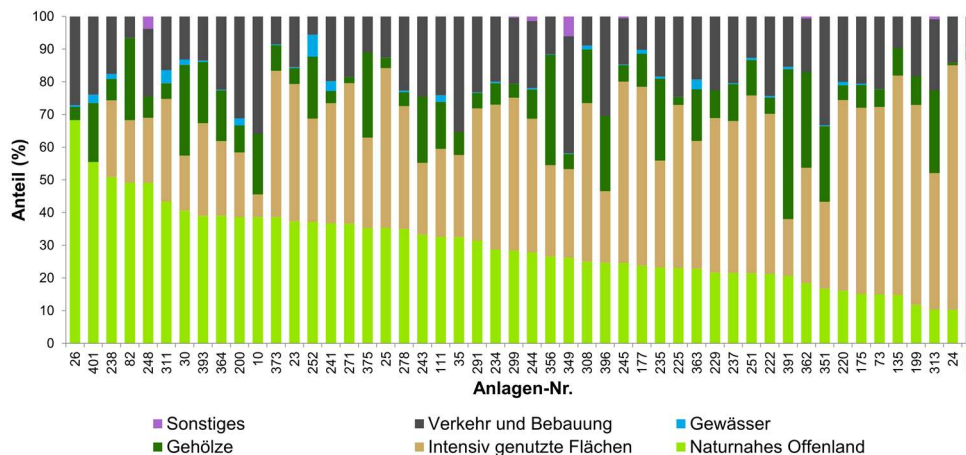


Abb. 45: Flächenanteile der in Gruppen zusammengefassten Biotoptypen in der 50 m-Umgebung der PV-FFA.

Abstand und Ausrichtung zur Autobahn

Die Abstände der PV-FFA zur Autobahn variierten zwischen 7,2 m und 49,4 m, durchschnittlich lagen sie bei 28,3 m (berücksichtigt ist bei Anlagenkomplexen der jeweils kürzeste Abstand einer Betriebsfläche). 48 Betriebsflächen waren parallel zur Autobahn ausgerichtet, nur eine Betriebsfläche lag quer zur Autobahn; 20 Betriebsflächen wiesen durch ihre annähernd quadratische Form keine Ausrichtung auf.

Zäune

In den Umgebungen der untersuchten Anlagen fanden sich häufig Wildschutzzäune, die das Straßenbegleitgrün nahe der Autobahn abgrenzten. Bei Anlagen in Siedlungsbereichen oder Gewerbegebieten war durch Grundstückszäune eine besonders umfangreiche Einzäunungslänge zu verzeichnen. Auch an die Betriebsflächen angrenzende Gehölzbestände waren häufig gegen Verbiss eingezäunt, meist mit dem Typ Wildschutzzaun.

6.3.1.3 Weitere Anlagenumgebung (500 m)

Die Anteile von naturnahem Offenland lagen in den 500 m-Umgebungen der Anlagen zwischen 3 % und 35 % (Abb. 46). Den höchsten Anteil hatte eine Anlage in Oranienbaum-Wörlitz, Sachsen-Anhalt (Abb. 47). Intensiv genutzte

Flächen machten im Durchschnitt mehr als die Hälfte der Umgebungsflächen aus. Bei drei Anlagen war die Umgebung zu mehr als 60 % von Gehölzen und Wäldern dominiert. Die Randliniendichte (Edge Density, ED) variierte in der weiteren Anlagenumgebung zwischen 398 m/ha und 1090 m/ha. 23 Anlagen wiesen eine hohe Randliniendichte mit mehr als 800 m/ha auf (Abb. 48).

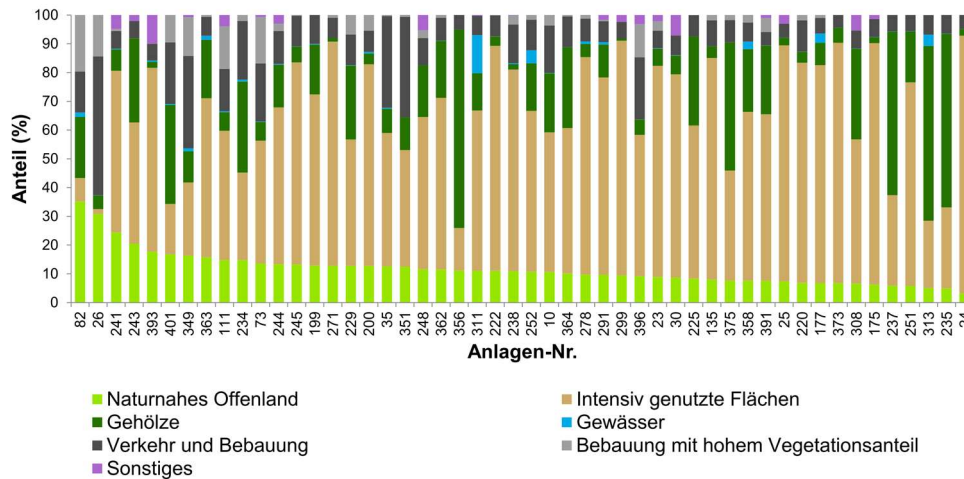


Abb. 46: Flächenanteile der in Gruppen zusammengefassten Biotoptypen in der 500 m-Umgebung der PV-FFA.

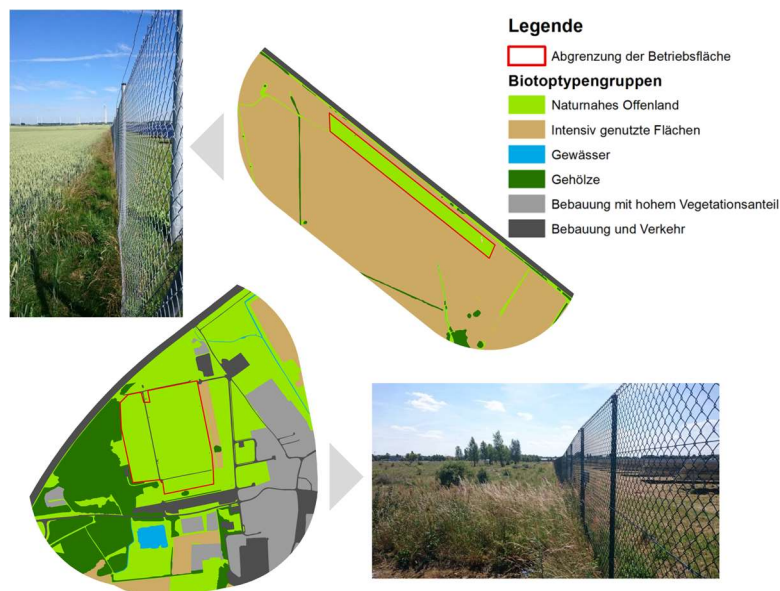


Abb. 47: Beispiele für Biotoptypengruppen in der 500 m-Umgebung. Oben: Anlage 24, Gerdshagen (Brandenburg), mit einem hohen Anteil intensiv genutzter Flächen. Unten: Anlage 82, Oranienbaum-Wörlitz (Sachsen-Anhalt), mit einem hohen Anteil naturnahen Offenlandes.

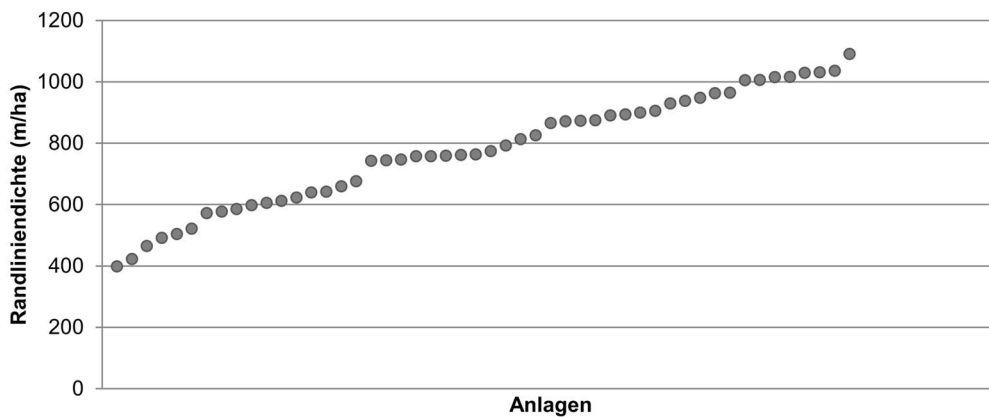


Abb. 48: Randliniendichte (Edge Density, ED) in der 500 m-Umgebung der untersuchten PV-FFA.

6.3.2 Funktionale Konnektivität

Vornutzung der Anlagenstandorte

49 der 69 Betriebsflächen unterlagen vor der Nutzung als PV-FFA einer einheitlichen anderen Nutzung. 42 dieser Flächen wurden zuvor als Acker genutzt (Abb. 49). Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Betreiberbefragung (vgl. Kap. 6.3.1.1). Bei 20 Betriebsflächen wurden mehrere vorherige Nutzungen identifiziert, bei 18 davon war eine anteilige Ackernutzung gegeben. Die Anteile der Ackerflächen lagen im Mittel bei 65 %. Zwei Betriebsflächen waren vor der Nutzung als PV-FFA mit Gras- und Krautfluren und eine mit einer Ruderalflur bestanden. Zumeist waren diese beiden Nutzungen aber nur anteilig vertreten, wobei die Anteile im Mittel bei 23 % lagen und maximal bei 59 %. Bei einer Anlage wurde allerdings zuvor neben einer Gras- und Krautflur eine Ruderalflur identifiziert, sodass die gesamte Betriebsfläche vor der Umnutzung zur PV-FFA aus naturnahen Offenlandflächen bestand. Die häufigste Flächennutzungskombination war Acker mit landwirtschaftlichem Grünland (sieben Mal), dreimal wurde eine Kombination aus Acker und Gras- und Krautflur sowie zweimal Acker und Ruderalflur identifiziert. In acht weiteren Fällen wurden verschiedene andere Kombinationen mit bis zu vier unterschiedlichen Nutzungen ermittelt. Bei 48 von 50 Anlagen ergaben sich durch den Bau der PV-FFA unmittelbar angrenzende Randstrukturen wie Säume oder Gehölzanpflanzungen, die im Szenario der vorherigen Nutzung entsprechend angepasst wurden.

In einem Fall änderte sich eine Teilflächennutzung durch die PV-FFA nicht: zwei größere Gehölzbestände wurden in der Betriebsfläche belassen und die Module um diese herum angeordnet. Eine Erweiterung der Betriebsfläche fand sich bei zwei Anlagen, was anhand der Luftbildreihen ausgemacht werden konnte (Abb. 49). Bei der westlich der Autobahn gelegenen Anlage wurden

zwischen 2014 und 2016 weitere Modulreihen im südlichen Teil der Betriebsfläche ergänzt. Die östliche Anlage wurde an der Seite zur Autobahn mit längeren Modulreihen versehen. Im letzten Luftbild von 2016 ist zudem noch eine weitere Betriebsfläche nördlich der beiden erkennbar.

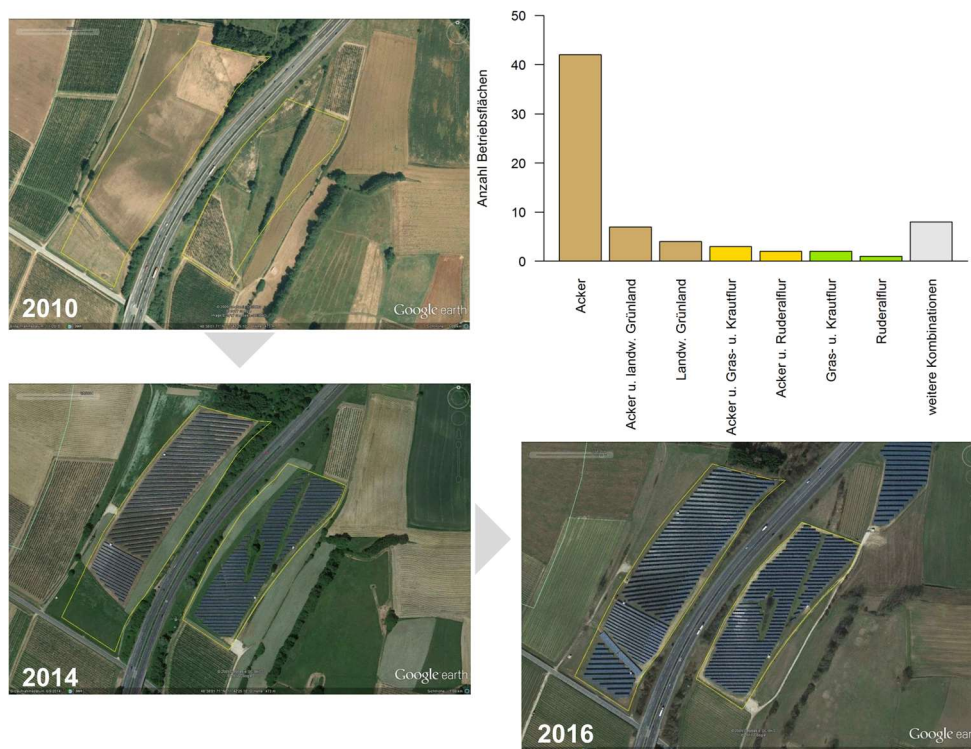


Abb. 49: Vornutzung der Betriebsflächen (Diagramm: braun: intensiv genutzte Flächen, gelb: Mischung aus intensiv genutzten Flächen und naturnahem Offenland, grün: naturnahes Offenland). Luftbilder: Flächennutzungsänderung und Erweiterung bei zwei PV-FFA (Anlagen 243 und 244) in der Nähe von Mainburg (Bayern) (Bildquelle: Google Earth und © GeoBasis-DE/BKG 2017).

Modellierung

Alle untersuchten Anlagen wurden auf Ebene der Betriebsfläche größtenteils als Habitatflächen klassifiziert. Entsprechend erhöhte sich der Anteil der Habitatfläche im Szenario mit PV-FFA, wohingegen der Anteil an Matrixfläche sank; dies ist auf die häufige Vornutzung als Ackerfläche zurückzuführen. Der Anteil an Barriereflächen blieb fast unverändert (Abb. 50). Im Szenario ohne PV-FFA lagen die Anteile der Habitatflächen zwischen 2 % und 40 %. Bei nur drei Anlagen wies die Umgebung einen hohen Anteil (> 20 %) an Habitatflächen auf. Matrixflächen nahmen Anteile zwischen 18-91 % und Barriereflächen Anteile zwischen 6-71 % ein. 36 Anlagen wurden mit Anteilen über 50 % als matrixgeprägt eingestuft.

Die Anteile von Habitatflächen an der Gesamtfläche lagen mit PV-FFA zwischen 6 % und 40 %. Die Umgebung von zehn Anlagen wies einen hohen Anteil an Habitatflächen auf. Matrixflächen nahmen Anteile zwischen 16-84 % und Barriereflächen Anteile zwischen 6-71 % an der Gesamtfläche ein. In diesem Szenario wurden noch 32 Anlagen als matrixgeprägt eingestuft.

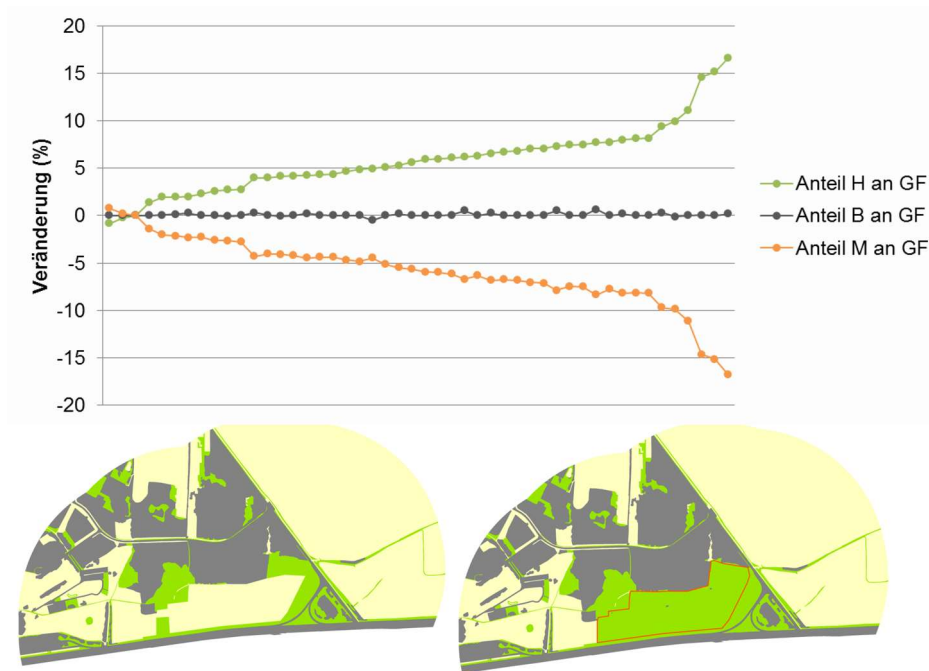


Abb. 50: Veränderung der Anteile von Habitat-, Matrix- und Barrierefläche an der Umgebungsfläche. Die drei Werte einer Anlage verlaufen parallel. Da die meisten Anlagenflächen zuvor als Ackerflächen genutzt wurden, steigt der Anteil an Habitatfläche und der Anteil an Matrixfläche sinkt. Beispiel PV-FFA (Betriebsfläche rot umrandet): Anlage 10, Ottendorf-Okrilla. Der Anteil an Habitatfläche hat sich von 11 % auf 17,5 % erhöht.

Neben einem Anstieg der Habitatfläche an der Umgebungsfläche vergrößern sich auch die Funktionsraumflächen im Szenario mit PV-FFA (Abb. 51, oben). Die Unterschiede zwischen den Szenarien werden allerdings in den höheren Distanzklassen geringer. In den Distanzklassen 100 m und 250 m sind sie nicht mehr signifikant und die Spanne der Daten reicht von 6 % bis ca. 60 %. Eine Aussage über die Qualität der Lebensraumnetze in der Umgebung von PV-FFA lässt sich über den Anteil von Habitatfläche an der Funktionsraumfläche einer Distanzklasse machen. Bei den geringeren Distanzklassen liegen die Anteile zwischen 80 % und 100 % (Abb. 51, unten). In dieser Distanzklasse müssen meist nur kleine Bereiche überbrückt werden und häufig besteht bereits ein Netz aus Habitatflächen (z. B. Saumstrukturen an Wegen und

Äckern). Ab der Distanzklasse 50 m zeigt sich eine deutlich größere Varianz der Habitatflächenanteile. In den Distanzklassen 100 m und 250 m besteht bereits eine Spanne zwischen 15 % und knapp 100 %. Bei Anlagen mit hohen Habitatflächenanteilen bestanden bereits in geringeren Distanzklassen Netzwerke, sodass sich keine weiteren Verbindungen ergeben und die Qualität der Funktionsräume erhalten bleibt, wodurch die Flächenanteile auf hohem Niveau bleiben. Bilden sich jedoch in den hohen Distanzklassen Funktionsräume, so sinken die Habitatflächenanteile auf geringere Werte ab. Gerade in landwirtschaftlich geprägten Gebieten ist so eine Durchgängigkeit der Landschaft für mobilere und flugfähige Tierarten gegeben. Nicht berücksichtigt ist im Modell jedoch die mögliche Wirkung von Gehölzen als Leitlinien und die Funktion von Kleinststrukturen, wie zum Beispiel Säume unter Gehölzen.

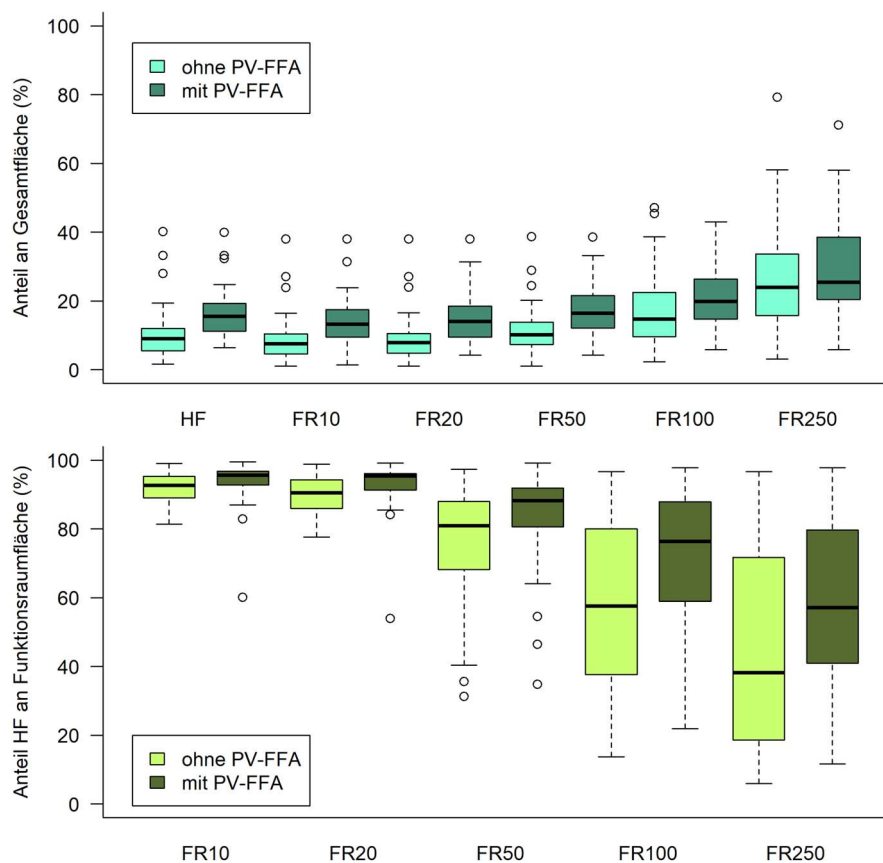


Abb. 51: Veränderung des Habitat- und Funktionsraumflächenanteils an der Umgebungsfläche im Vergleich der Szenarien ohne und mit PV-FFA (oben). Signifikante Unterschiede bestehen bis zur Distanzklasse von 50 m. Veränderung des Habitatflächenanteils an der Funktionsraumfläche einer Distanzklasse im Vergleich der Szenarien ohne und mit PV-FFA (unten). Erläuterung Boxplot: die Box zeigt 50 % der Daten, die Whisker die Varianz der Daten ohne Ausreißer, welche als Punkte dargestellt sind.

6.3.3 Raumwiderstand

Alle Betriebsflächen bieten mit Anteilen von mindestens 98 % naturnahen Offenlandes die Grundvoraussetzung für einen potenziellen Lebensraum für Offenlandarten. Hinsichtlich besonderer Qualitäten zeigen sich dennoch Unterschiede: 20 % (14 von 69) der untersuchten Betriebsflächen erhielten bei mindestens drei der fünf Kriterien zur Bewertung der Habitatqualität eine gute Bewertung, die übrigen Betriebsflächen konnten nur in zwei, einem oder gar keinem Kriterium als gut hervorgehoben werden (s. Anhang 3). Ganz oder teilweise versiegelte Anlagen waren nicht in der Stichprobe enthalten. Zudem waren auch die Zufahrtswege zu den Trafohäusern/Betriebsgebäuden fast immer unversiegelt. 45 von 69 Betriebsflächen (65 %) wiesen ausreichende Anteile an nutzbarer Freifläche auf und wurden daher als gut bewertet. Nur eine Betriebsfläche (225) wies weniger als 30 % nutzbare Freifläche auf, was auf die Anordnung der Module in Dachform zurückzuführen ist; dadurch ergeben sich sehr geringe Abstände zwischen den Modulreihen (sog. Ost-West-Anlage). Hinsichtlich der Übergangsbereiche erhielt dieselbe Anlage jedoch eine gute Bewertung, da unter den Modulen ein anderer Biotoptyp (Offenbodenbereiche) klassifiziert wurde, als zwischen den Modulen. Eine separate Betrachtung der einzelnen Kriterien ist daher sinnvoll, um Qualitäten und Defizite zu identifizieren. Besonders viele Übergangsbereiche zeigten sich insgesamt auf 22 % der Betriebsflächen (15 von 69). Etwa 1/3 der Betriebsflächen (33 %, 23 von 69) wurden bei der Bewertung des Streulichteinfalls als gut eingestuft, da die Module bei diesen Anlagen ausreichend hoch aufgeständert wurden. Eine besondere Lebensraumausstattung durch Lesesteinhaufen, Sitzstangen oder einen potentiellen Blütenreichtum konnte bei 25 % (17 von 69) der Betriebsflächen festgestellt werden (Abb. 52).



Abb. 52: Beispiele für eine besondere Lebensraumausstattung. Links: Anlage 373 bei Kitzingen mit Sitzstangen und Mahdmuster. Rechts: Anlage 24 bei Gerdshagen mit einem Lesesteinhaufen.

Auf der Ebene der näheren Umgebung wiesen 15 Anlagen (30 %) eine besonders gute Biotopstruktur auf. 10 Anlagen wurden als durchlässig eingestuft, da bei diesen die Einzäunungen ausreichende Bodenabstände bzw. eine ausreichende Maschenweite aufwiesen. Anlage 364 erhielt keine gute Bewertung des Kriteriums Durchlässigkeit, da hier Wellblechwände den Zugang zur Anlage größtenteils verhindern (Abb. 53). Nur drei Anlagen erhielten eine gute Bewertung sowohl hinsichtlich der Biotopstruktur als auch hinsichtlich der Durchlässigkeit zwischen Betriebsfläche und Umgebung. 56 % der Anlagen erhielten bei keinem der beiden Kriterien eine gute Bewertung.

Die Landschaftsausprägung der weiteren Anlagenumgebung wurde bei 28 Anlagen (56 %) als gemischt klassifiziert. 38 % der Anlagen wiesen eine durch intensiv genutzte Flächen geprägte Umgebung auf. Nur drei Anlagenumgebungen wurden durch Gehölze geprägt. Eine Prägung durch naturnahes Offenland gab es bei keiner der Anlagen. Dieses machte maximal einen Anteil von 35 % an der Anlagenumgebung aus, sodass nur vier Anlagen zumindest eine gute Bewertung für eine besonders gute Biotopstruktur erhielten. Die übrigen erhielten bei diesem Kriterium aufgrund des geringen Anteils an naturnahem Offenland keine gute Bewertung.



Abb. 53: Anlage 364 (Feulersdorf) ist teilweise mit Wellblechwänden eingezäunt, welche die Durchlässigkeit an diesen Stellen verhindern.

6.3.4 Vernetzungsfunktion

In beiden Szenarien wiesen die meisten Anlagen eine funktional vor allem aus Matrixflächen bestehende Umgebung auf (s. Anhang 4). Im Szenario mit PV-FFA sank die Anzahl solcher Anlagen jedoch geringfügig zugunsten einer gemischten Umgebungsausprägung. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der funktionalen Konnektivität für Offenlandarten: es wurde eine Zunahme von Habitatflächen und eine gleichzeitige Abnahme von Matrixflächen im Szenario mit PV-FFA festgestellt (vgl. Kap. 6.3.2). Im Szenario ohne PV-FFA wiesen nur

drei Anlagen eine besondere Ausgangsqualität der Umgebung auf, im Szenario mit PV-FFA waren es hingegen zehn Anlagen. Auch eine potenziell hohe Durchgängigkeit wurde im Szenario mit PV-FFA mehrheitlich festgestellt (Abb. 54, Anhang 4). Dies lässt sich auf den höheren Anteil von Funktionsraumfläche an der Gesamtfläche zurückführen, wohingegen die Anzahl der Funktionsräume eine ähnliche Verteilung in beiden Szenarien zeigt.

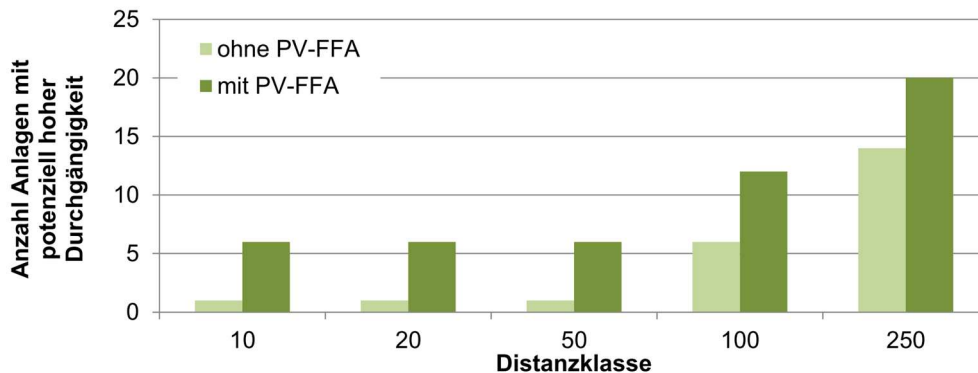


Abb. 54: Bewertung der potenziell hohen Durchgängigkeit der Anlagenumgebungen. Im Szenario mit PV-FFA weisen mehr Anlagenumgebungen eine potenziell hohe Durchgängigkeit auf als im Szenario ohne PV-FFA.

Im Szenario ohne PV-FFA erfüllte nur eine Fläche die Kriterien für eine gute potenzielle Durchgängigkeit in den kleineren Distanzklassen (10 m, 20 m und 50 m). Erst in den höheren Distanzklassen (100 m und 250 m) wiesen bereits sechs bzw. 14 Anlagen eine gute Durchgängigkeit auf. Im Szenario mit PV-FFA wurden die Kriterien bereits in den kleineren Distanzklassen von sechs Anlagen erfüllt, in den höheren Distanzklassen von zwölf bzw. 20 Anlagen. Die Qualität der Lebensraumnetze war in beiden Szenarien in den kleineren Distanzklassen höher, da hier insgesamt kleinere und weniger Verbindungsräume gebildet wurden. In den Distanzklassen 10 m und 20 m waren die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien allerdings deutlich: die Qualität der Lebensraumnetze war beispielsweise im Szenario ohne PV-FFA bei neun Anlagen hoch, im Szenario mit PV-FFA bei 18 Anlagen. In der höchsten Distanzklasse von 250 m konnten im Szenario mit PV-FFA nur noch zwei Anlagen eine hohe Qualität der Lebensraumnetze erzielen.

Die Anbindung der Anlagen an das Straßenbegleitgrün wurde nur für das Szenario mit PV-FFA bewertet. 20 Anlagen wiesen dabei eine überwiegend flächige strukturelle Anbindung an das Straßenbegleitgrün auf. Bei diesen Anlagen gab es keine oder nur wenige trennende Biotope (wie z. B. Gehölzriegel) zwischen Betriebsfläche und Straßenbegleitgrün. 13 Anlagen wiesen eine funktionale Anbindung an den Straßenbegleitgrün auf; in zwölf Fällen entstand die-

se Anbindung bereits in den Lebensraumnetzen der ersten Distanzklasse (10 m), bei nur einer Anlage erst durch die Bildung von Lebensraumnetzen der zweiten Distanzklasse (20 m). Bei 15 Anlagen gab es entweder keine oder nur vereinzelte Verbindungen zum Straßenbegleitgrün, sodass hier keine strukturelle oder funktionale Anbindung angenommen wurde. Bei zwei Anlagen blieben die Betriebsflächen in allen Distanzklassen als Trittsteinflächen erhalten, wurden also nicht an andere Habitatflächen angebunden. Bei einer dieser Anlagen verlief zudem eine Lärmschutzwand entlang der Autobahn, sodass auch kein Verbund zum Straßenbegleitgrün möglich wäre.

7 Berücksichtigung von Vernetzungsaspekten bei der Planung und Gestaltung von PV-FFA

7.1 Anlass und Zielsetzung

In den letzten Jahren wurden zunehmend PV-FFA an Autobahnen und Schienenwegen errichtet (vgl. Kapitel 5). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist davon auszugehen, dass der Anlagenbestand entlang der Verkehrswege auch zukünftig weiter ausgebaut wird (vgl. Bundesnetzagentur 2016; Kelm et al. 2014; Kost et al. 2018). Obwohl aus Naturschutzsicht das primäre Ziel der Ausbau von PV-Anlagen auf Dächern bzw. bereits versiegelten Flächen sein sollte (BMU 2017; BMUB u. BfN 2017), ist es wichtig, für den unabhängig von Naturschutzzielen stattfindenden Ausbau der Freiflächenphotovoltaik Handlungsempfehlungen aus Sicht des Naturschutzes zu formulieren. Dies betrifft auch die Frage, wie mit möglichen Konflikten bzw. Potenzialen von PV-FFA für die Lebensraumvernetzung umgegangen werden sollte.

Die bereits vorliegenden Planungs- und Gestaltungsleitfäden für PV-FFA legen den Fokus auf räumliche Steuerungsmöglichkeiten (Raumordnung, Bauleitplanung) oder auf (baurechtliche) Genehmigungsverfahren (z. B. Götz et al. 2010; Regierungspräsidium Tübingen 2010). Zudem existieren spezielle Leitfäden für Anlagen auf Sonderstandorten, die z. B. Hinweise zur Sicherung der Depositionsfunktion geben (z. B. Battenfeld et al. 2010; Erichsen et al. 2010; LfU 2015; MKULNV 2014). Naturschutzbelange werden in Bezug auf die Standortwahl berücksichtigt, beispielsweise im Rahmen der Regionalplanung (z. B. Bosch & Partner GmbH et al. 2009; Regionaler Planungsverband Westsachsen 2004) oder als Abwägungskriterium bei der Ausweisung von Photovoltaik-Freiflächen durch die Kommunen (z. B. Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim 2011). Die zumeist sehr allgemein gehaltenen Hinweise beziehen sich hierbei häufig auf die Meidung von Schutzgebieten oder anderen naturschutzfachlich wertvollen Bereichen als Standort für PV-FFA (z. B. UVS u. NABU 2005; Knoll & Groiss 2011; BUND Landesverband Schleswig-Holstein 2005). Herden et al. (2009) weisen zusätzlich darauf hin, dass bedeutende Vorkommen von Arten oder Lebensräumen, die gegenüber den spezifischen Wirkfaktoren von PV-FFA (vgl. Kapitel 3) empfindlich reagieren, bei der Standortwahl besonders berücksichtigt werden sollten (s. auch Peschel 2010). Es werden grundlegende Hinweise für die Praxis gegeben, wie negative Auswirkungen von PV-FFA auf Natur und Landschaft vermieden bzw. vermindert werden können. In diesem Zusammenhang werden sowohl baubedingte Wirkungen (z. B. Berücksichtigung der Brut- und Setzzeit bei der Bauausführung) als auch anlage- und betriebsbedingte Wirkungen (z. B. Reduzierung der Spiegelwirkung der Solarmodule) thematisiert. Es finden sich auch allgemeine Empfehlungen zur Anlagengestaltung und -nutzung in Hinblick auf den Erhalt und die

Förderung der Biodiversität (z. B. LfU 2014). Demnach wird eine extensive Mahd oder Beweidung der Grünflächen empfohlen, um geeignete Lebensräume für Offenlandarten zu schaffen (z. B. Peschel 2010; BUND Landesverband Schleswig-Holstein 2005). Bei Tautenhahn et al. (2017) finden sich umfassende Angaben darüber, wie PV-FFA gebaut und gestaltet sein sollten, um eine Beweidung mit Schafen zu realisieren und es werden Hinweise zur Vertragsgestaltung und Vergütung für die Praxis gegeben. Weitere Empfehlungen aus Sicht des Naturschutzes beziehen sich auf die Begrünung der Betriebsflächen mit gebietseigenem Saat- und Pflanzgut, auf die Bereitstellung von Nisthilfen in und an Bauwerken sowie auf die Schaffung von strukturbereichernden Elementen (z. B. Tümpel, Offenbodenbereiche, Steinschüttungen) als Lebensraum für Tier- und Pflanzenarten (z. B. Peschel 2010; Raab 2015). Insbesondere die biotopentwickelnden Maßnahmen auf bzw. im direkten Umfeld der Betriebsflächen werden als Möglichkeit benannt, um im Rahmen der Eingriffsregelung Ausgleichsmaßnahmen mit örtlichem Bezug herzustellen (LfU 2014; StMLU 2003).

In Hinblick auf die möglichen Potenziale und Konflikte von PV-FFA für die Lebensraumvernetzung finden sich nur sehr wenige Aussagen in der Literatur. Es wird empfohlen, Wildtierkorridore bei der Standortwahl zu meiden, da PV-FFA eine mögliche Barriere für wandernde Arten (insb. Großsäuger) darstellen können (z. B. Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim 2011; Freiland Umweltconsulting ZT GmbH 2011). In diesem Zusammenhang wird meist auf die Problematik der Einzäunung eingegangen, auf die im Idealfall ganz verzichtet werden sollte, wenn dies sicherheitstechnisch möglich ist (Peschel 2010). Alternativ wird empfohlen, die Barrierewirkung zu minimieren, indem Durchlässe in den Zäunen oder ein hinreichender Bodenabstand der Zäune zur Geländeoberfläche realisiert werden (NABU u. UVS 2005; Herden et al. 2009). Vereinzelt wird auch darauf hingewiesen, dass PV-FFA einen möglichen Trittstein für den Biotopverbund darstellen können (Herden et al. 2009). Konkrete Empfehlungen zur planerischen Berücksichtigung der potenziellen Vernetzungs- bzw. Barrierenfunktion von PV-FFA existieren allerdings nicht.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung haben gezeigt, dass PV-FFA durchaus einen Beitrag zur Lebensraumvernetzung im Offenland und als Ergänzung zum Verkehrsbegleitgrün leisten können, wenn die Anlagen an geeigneten Standorten (v. a. in ausgeräumten Agrarlandschaften) stehen, die Betriebsflächen die Ansprüche der relevanten Arten berücksichtigen und sie mit dem Anlagenumfeld verbunden sind. Ziel war es deshalb, auf Grundlage des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes Empfehlungen zu formulieren, welche sowohl die möglichen Zielausrichtungen von PV-FFA im Kontext der Lebensraumvernetzung, als auch die sich hieraus ergebenden Anforderungen an die Planung und Gestaltung der Anlagen beschreiben. Mögliche Zielgruppen

sind sowohl Vorhabenträger und Anlagenbetreiber, als auch Fach- und Genehmigungsbehörden. Um eine Anwendung in der Praxis zu ermöglichen, werden die Empfehlungen in einem Prüfschema vorgelegt, welches die räumliche Lage, die Umfeldanbindung sowie die Gestaltung und das Management der Anlagen berücksichtigt. Die sich hieraus ergebenden Anforderungen an PV-FFA werden in Form von Qualitätsmerkmalen, Hinweisen zu möglichen Ausschlusskriterien sowie konkreten Gestaltungsbeispielen dargestellt und erläutert.

7.2 Naturschutzfachliche Einordnung

Die hier dargestellten Anforderungen berücksichtigen vorrangig die Lebensraumvernetzung entlang überörtlicher Verkehrswege unter Berücksichtigung möglicher Auswirkungen auf Querungshilfen. Allgemeine Naturschutzaspekte und andere Schutzgüter (z. B. Landschaftsbild, Boden, Wasser) werden nicht explizit behandelt (s. hierzu z. B. Herden et al. 2009; Schmidt et al. 2018). Die Handlungsempfehlungen sind insofern als fachspezifische Ergänzung anderer Naturschutzbelange zu verstehen, die bei der Umsetzung von PV-FFA zu berücksichtigen sind (vgl. Kapitel 7.1). Sie fokussieren auf anlage- und betriebsbedingte Wirkungen, da diese in Kapitel 3.3.1 als besonders relevant für Arten und Lebensgemeinschaften identifiziert wurden. Baubedingte Wirkungen inkl. Anlagenrückbau werden nicht behandelt. Auch die Wartung der Anlagen (unabhängig von Pflege und Nutzung des extensiven Grünlands) und mögliche Auswirkungen durch das Befahren der Zufahrtswege können hier nicht berücksichtigt werden.

Die Qualitätsmerkmale, welche die Funktion von PV-FFA innerhalb der Lebensraumnetze maßgeblich beeinflussen, werden einem ökosystemaren Ansatz folgend für Lebensgemeinschaften abgeleitet (vgl. Reck et al. 2017). Eine Betrachtung von Einzelarten wäre allenfalls in Ausnahmefällen sinnvoll, da die PV-FFA im Regelfall von den verschiedensten Arten der relevanten Ökosystemtypen genutzt werden können. Die positiven Wirkungen von PV-FFA für die Vernetzung müssen allerdings unter dem Gesichtspunkt gesehen werden, dass vielerorts keine naturnahen Lebensräume oder anderen (Rest-)Flächen mehr vorhanden sind, die diese Funktionen sonst übernehmen können. Es steht somit außer Frage, dass die Entwicklung von zusätzlichen Biotopflächen bzw. von extensiv genutzten Grünländern aus Naturschutzsicht immer Priorität vor dem unabhängig von Naturschutzzielen stattfindenden weiteren Ausbau von PV-FFA besitzen muss. Auch sollten PV-FFA bei einem weiteren Ausbau entlang der Verkehrswege nicht das Verkehrsbegleitgrün ersetzen. Insbesondere in ausgeräumten und intensiv genutzten Landschaften besitzt das Verkehrsbegleitgrün eine wichtige „Refugialfunktion“ für den Naturschutz (vgl. Mader 1987; Reck u. Müller 2016), die zwar potenziell durch PV-FFA ergänzt

werden kann, nicht aber ersetzt werden sollte (Abb. 55).



Abb. 55: PV-FFA können einen Beitrag zur Vernetzung leisten, wenn eine Anbindung an das Straßenbegleitgrün besteht, wie im Beispiel dieser Anlage in Helmstadt (Bayern, Anlage 271) zu sehen. Betriebsfläche (rot umrandet in Karte) und Begleitgrün sind von einer blüten- und strukturreichen Gras- und Krautflur geprägt (grüne Flächen in Karte) und stellen in der ansonsten von Acker- (hellgelbe Flächen in Karte) und Verkehrsflächen (graue Flächen in Karte) dominierten Landschaft einen wichtigen Lebensraum dar.

7.3 Handlungsempfehlungen

7.3.1 Zielausrichtungen

PV-FFA können in Abhängigkeit von ihrer Lage innerhalb der vorhandenen Lebensraumnetze und der umgebenden Landnutzung sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf Arten und Lebensgemeinschaften besitzen. Entsprechend muss es das Ziel von Planungen und Gestaltungsmaßnahmen sein, mögliche Beeinträchtigungen von Vernetzungsbeziehungen durch PV-FFA zu vermeiden, andererseits sollte aber auch das Potenzial der Anlagen für die Optimierung der Vernetzungsfunktion genutzt werden, wo dies möglich ist (Tab. 21).

Innerhalb der Lebensraumnetze des Offenlandes v. a. in ausgeräumten Agrarlandschaften bieten die Anlagen aufgrund der i. d. R. extensiven Grünlandnutzung einen potenziellen (Teil)Lebensraum für viele Arten und tragen somit zum Lebensraumverbund bei. Dies betrifft v. a. flugfähige Insekten und flugunfähige Kleintiere des Offenlandes mit aktiver Ausbreitung. Insbesondere entlang von offenlandgeprägtem Verkehrsbegleitgrün, welches vielerorts ent-

scheidend zur Längsvernetzung entlang der Verkehrswege beiträgt, können PV-FFA als zusätzliches Element des Biotopverbunds und der Wiedervernetzung funktionieren und so einen Beitrag zur Sicherung der Biodiversität leisten.

Innerhalb der Lebensraumnetze von Waldarten, insbesondere im Bereich von Migrationsschwerpunkten von Groß- und Kleinsäugetern, können große PV-FFA hingegen eine Barrierewirkung besitzen und zu Konflikten führen. Zudem entsprechen sie strukturell nicht den Ansprüchen von Waldarten (gleiches gilt auch für Arten der Feuchtlebensräume). In diesen Bereichen sollten die Anlagen daher vermieden werden oder es muss zumindest das Ziel sein, die Barrierewirkung zu reduzieren.

Tab. 21: Mögliche Zielausrichtungen zur Berücksichtigung von Vernetzungsaspekten bei der Planung und Gestaltung von PV-FFA.

Ziel		Begründung
Z 1.1	Optimierung der Vernetzungsfunktion innerhalb der Lebensraumnetze des Offenlandes	PV-FFA können potenziell zur Vernetzung beitragen. Profitieren können v. a.: <ul style="list-style-type: none"> - Lebensgemeinschaften des Offenlandes - Flugfähige Insekten, flugunfähige Kleintiere mit aktiver Ausbreitung
Z 1.2	Optimierung der Vernetzung mit dem Verkehrsbegleitgrün	
Z 2	Vermeidung der Barrierewirkung innerhalb der Lebensraumnetze der Wälder (Migrationsschwerpunkte)	PV-FFA können eine potenzielle Barriere darstellen. Betroffen sind v. a.: <ul style="list-style-type: none"> - Lebensgemeinschaften der Wälder - Groß- und Mittelsäuger

7.3.2 Planungs- und Gestaltungsgrundsätze

Folgende Grundsätze sollten beachtet werden, um die möglichen Ziele zur Lebensraumvernetzung bei der Planung und Gestaltung von PV-FFA zu berücksichtigen:

1. In besonders zerschneidungsempfindlichen sowie anderweitig naturschutzfachlich wertvollen Bereichen sollten grundsätzlich keine PV-FFA errichtet werden.

Im Bereich von Querungshilfen sowie sonstigen besonders zerschneidungsempfindlichen Bereichen (z. B. Engstellen in den Lebensraumnetzen) sollten Flächen von PV-FFA freigehalten werden. In diesen Bereichen muss die Wirksamkeit der vorhandenen Biotopverbundachsen und/oder von Lebensraumnetzen durch geeignete Naturschutzmaßnahmen gesichert werden; PV-FFA können diese Maßnahmen nicht ersetzen. Von der Nutzung als PV-FFA ausgeschlossen werden sollten auch alle weiteren naturschutzfachlich wertvollen

Bereiche (z. B. Schutzgebiete, geschützte Biotop, hochwertige Lebensraumtypen ohne Schutzstatus).

2. Die räumliche Lage und Umfeldanbindung bestimmen die Vernetzungsfunktion bzw. Barrierewirkung der PV-FFA insbesondere in ausgeräumten Agrarlandschaften.

Die Anlagen können dort einen besonderen Beitrag zum Verbund leisten, wo Populationen bzw. Lebensräume von Arten des Offenlandes in der Nähe sind. Für Insekten und Kleintiere müssen die Anlagen sehr nah an den zu verbindenden Lebensräumen liegen oder es müssen zusätzliche Trittsteinbiotop im Anlagenumfeld entwickelt werden. Andererseits können die Anlagen dort zu Konflikten führen, wo sich wichtige Migrationswege von besonders zerschneidungsempfindlichen Arten der Waldlebensräume befinden. Insgesamt bedeutet das, dass die vorhandenen Vernetzungsbeziehungen in der Landschaft (inkl. vorhandene Verbundplanungen) die Funktionsfähigkeit der PV-FFA maßgeblich bestimmen und somit zwingend berücksichtigt werden müssen.

3. Die Lebensraumansprüche der Offenlandarten bestimmen die Habitatqualität der PV-FFA und ihres Umfeldes.

Maßnahmen zur Gestaltung und Pflege der Betriebsflächen sind soweit möglich primär an den Ansprüchen der vorkommenden Lebensgemeinschaften des Offenlandes auszurichten. Dabei ist die strukturelle Anbindung der Betriebsflächen an das Anlagenumfeld inkl. Verkehrsbegleitgrün zu berücksichtigen. In einigen Fällen kann eine multifunktionale Gestaltung des Anlagenumfeldes sinnvoll sein, so dass dieses von den Arten mehrerer Ökosystemtypen genutzt werden kann.

4. Die Ansprüche der Mittel- und Großsäuger bestimmen die Dimensionierung der PV-FFA und ggf. das erforderliche Deckungsangebot im Anlagenumfeld.

Großsäuger (z. B. Rothirsch, Reh, Wildschwein) kommen auch außerhalb ihrer Migrationsschwerpunkte vor. Daher ist zu bedenken, dass sie die i. d. R. eingezäunten PV-FFA nur dann passieren können, wenn zwischen den Betriebsflächen einer Anlage bzw. zwischen mehreren Anlagen ausreichend dimensionierte und an den Ansprüchen der Arten ausgerichtete Querungsmöglichkeiten vorhanden sind. Auf diese Weise kann verhindert werden, dass die PV-FFA Querriegel zu potenziellen Wanderwegen bilden.

7.3.3 Prüfschema und Qualitätsmerkmale

Die Planungs- und Gestaltungsgrundsätze für PV-FFA können mit dem in Abb. 56 dargestellten Schema schrittweise für einzelne Qualitätsmerkmale abgeprüft und somit nach Bedarf in die Praxis einbezogen werden. Die Qualitäts-

merkmale berücksichtigen die räumliche Lage, die Umfeldanbindung sowie die Gestaltung und das Management von PV-FFA (vgl. Empfehlungen für Querungshilfen bei Reck et al. 2017). Die räumliche Lage bzw. Standortwahl setzt den Rahmen für die Zielausrichtung und mögliche Maßnahmen zur Lebensraumvernetzung. Anlage- und betriebsbedingte Wirkungen werden in Form von Empfehlungen zur Verbesserung der Habitatqualität der Betriebsflächen und des Anlagenumfeldes berücksichtigt, die sowohl zu Baubeginn als auch nachträglich angewandt werden können. Damit ist es möglich, je nach landschaftlicher Ausgangssituation eine Anlage bzw. einen Anlagenstandort zu prüfen und konkrete Maßnahmen zur naturschutzfachlichen Aufwertung abzuleiten.

7.3.3.1 Räumliche Lage

Q 1.1: Geeignete Standorte

Aus Naturschutzsicht ist das Ziel der Ausbau von PV-Anlagen auf Dächern bzw. bereits versiegelten Flächen (vgl. Kapitel 7.1). Im ersten Prüfschritt geht es deshalb darum, den unabhängig von Naturschutzzielen stattfindenden Ausbau der Freiflächenphotovoltaik möglichst auf solche Flächen zu lenken, die keine Konflikte mit Naturschutzzielen erwarten lassen, andererseits aber ein Entwicklungspotenzial für den Lebensraumverbund aufweisen.

Die Standortwahl für PV-FFA sollte grundsätzlich an Flächen mit aktuell geringer naturschutzfachlicher Bedeutung ausgerichtet werden. In Frage kommen Flächen mit hoher Vorbelastung wie z. B. Deponien mit geringer Lebensraumqualität oder Flächen entlang großer Verkehrswege. Entlang der Verkehrswege können insbesondere intensiv genutzte Ackerflächen nach Errichtung einer PV-Anlage in extensiv genutzte Offenlandlebensräume entwickelt werden. Von der Photovoltaiknutzung auszuschließen sind naturschutzfachlich wertvolle Flächen sowie das Begleitgrün an Straßen und Schienenwegen, da dieses bereits wichtige Vernetzungsfunktionen entlang der Verkehrswege erfüllt.

Q 1.2: Besondere Potenziale und vorhandene Verbundplanungen

Die räumliche Lage entscheidet über die Zielausrichtung und Funktionsfähigkeit der PV-FFA innerhalb der Lebensraumnetze. Sowohl bei der Planung von neuen Anlagen, als auch bei der Optimierung von bestehenden Anlagen sind daher aktuelle Erfordernisse und Potenziale (z.B. besonders betroffene Arten und Lebensräume) sowie vorliegende Verbundplanungen zu berücksichtigen.

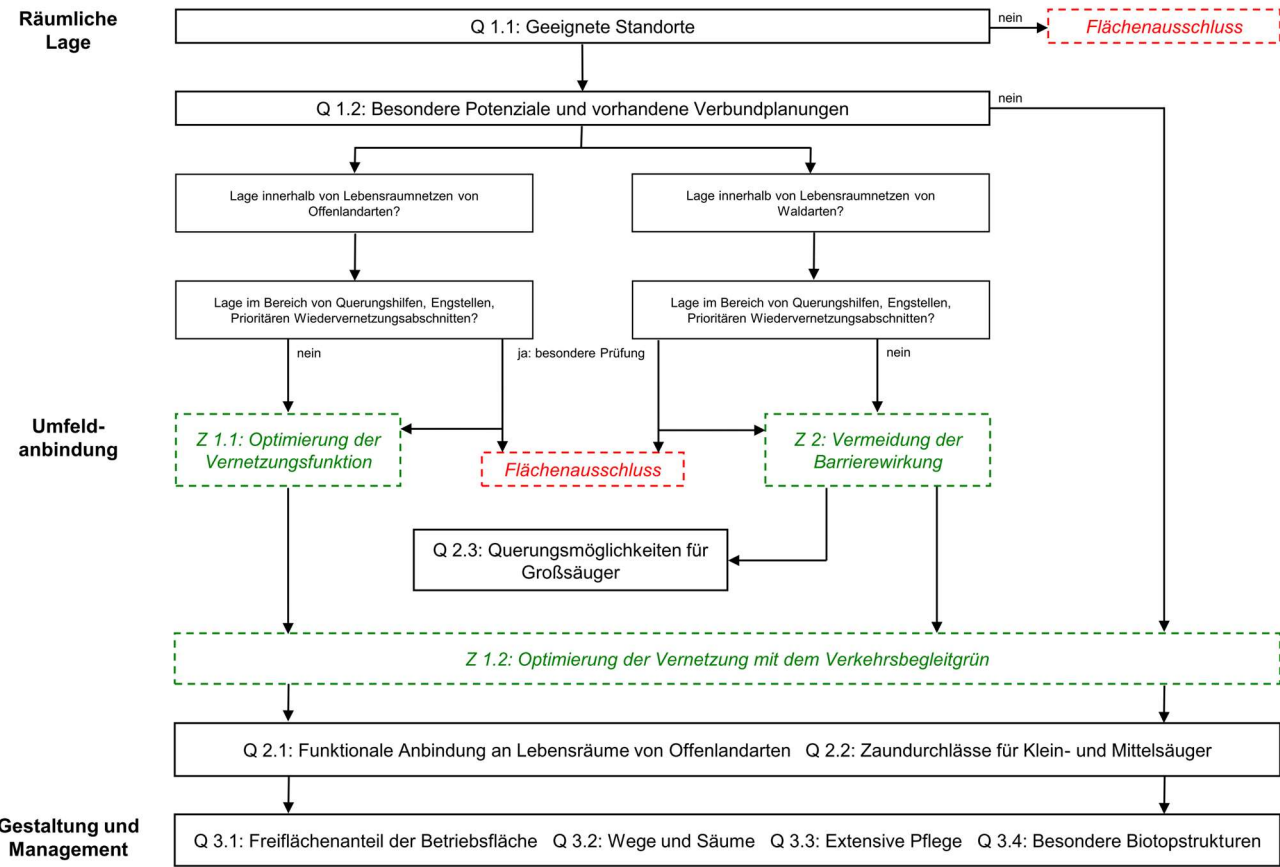


Abb. 56: Prüfschema für Qualitätsmerkmale von PV-FFA mit Relevanz für die Lebensraumvernetzung.

Flächen innerhalb der Lebensraumnetze von Offenlandarten ermöglichen eine Optimierung der Vernetzungsfunktion (►Z 1.1). Hier sind aus den Ansprüchen der relevanten Arten geeignete Maßnahmen zur Umfeldanbindung (►Q 2.1-2.2) sowie zur Gestaltung und zum Management der Betriebsflächen (►Q 3.1-3.4) abzuleiten. Befinden sich PV-FFA innerhalb der Lebensraumnetze von Waldarten, muss die potenzielle Barrierewirkung der Anlagen vermieden werden (►Z 2). Innerhalb von Migrationsschwerpunkten von Groß- und Mittelsäußern sind hierfür spezielle Querungsmöglichkeiten vorzusehen (►Q 2.3). Eine Optimierung der Vernetzung der PV-FFA mit dem Verkehrsbegleitgrün ist grundsätzlich und unabhängig vom Landschaftskontext anzustreben (►Z 1.2).

Im Bereich von Querungshilfen für die biologische Vielfalt, in Wiedervernetzungsbereichen sowie anderen zerschneidungsempfindlichen Bereichen (z. B. Engstellen) ist die Anlage von PV-FFA grundsätzlich auszuschließen (vgl. Abb. 57). Sofern sich hier Ausnahmen ergeben, sind folgende Regeln zu beachten. Es muss sorgfältig geprüft werden, ob durch die PV-FFA der Zugang zur Querungshilfe beeinträchtigt werden könnte. Im Zugangsbereich (30-50 m) dürfen daher keine PV-FFA errichtet werden. Gleiches gilt für das nähere Umfeld (50-300 m). Erst im weiteren Umfeld (ab 300 m) ist die Errichtung von PV-FFA entlang des Verkehrswegs denkbar. Es gilt aber grundsätzlich, dass in den Zugangsbereichen keine Zuwegungen zu den PV-FFA angelegt werden dürfen. Allgemein gilt, dass die Zuwegungen zur PV-FFA außerhalb dieses Bereichs nicht selbst zu Barrieren für die beschriebenen Anspruchstypen (d. h. Klein- und Großtiere) werden. Für Großtiere sollte nahe an den Querungsbauwerken ausreichend Deckung angeboten werden. Zudem sollte das Umfeld i. d. R. mosaikartig gestaltet sein und Durchdringungsbereiche für Lebensgemeinschaften verschiedener Ökosystemtypen aufweisen. Dies kann durch die sehr großen, eingezäunten und monotypisch gestalteten Betriebsflächen meist nicht gewährleistet werden. In diesen Fällen muss die Prüfung zu einem Flächenausschluss für PV-FFA führen.

7.3.3.2 Umfeldanbindung

Q 2.1: Funktionale Anbindung an Lebensräume des Offenlandes

Die Vernetzungsfunktion der PV-FFA hängt wesentlich davon ab, dass die Anlagen über Leitstrukturen (z. B. Wegsäume) oder Trittsteinbiotope mit umgebenden Lebensräumen verbunden sind. Für Offenlandarten sollten die Vernetzungselemente hohe Anteile von gras- und krautgeprägter, möglichst lückiger Vegetation umfassen. Die Anbindung der Anlagen an das Verkehrsbegleitgrün und an das Hinterland wirken hierbei zusammen und beeinflussen sich wechselseitig (►Z 1.1-1.2). Eine an den Ansprüchen der relevanten Lebensgemeinschaften ausgerichtete Umfeldgestaltung der PV-FFA fördert die Erreichbarkeit, lenkt Austauschbeziehungen und verbessert somit den funktio-

nen Zusammenhang (vgl. Abb. 58). Wenn keine direkte Heranführung entsprechender Biotope bis an die Anlage möglich ist, muss darauf geachtet werden, dass die dazwischenliegende Landschaft frei von Barrieren ist (z. B. keine zusätzlichen Zäune). Für viele Arten insbesondere der Kleintierfauna sind geringe Abstände unter 50 bis 100 m zwischen Einzelhabitaten nötig.



Abb. 57: Diese PV-FFA bei Lupburg in Bayern (Anlage 235, rot umrandet) liegt konfliktträchtig in einer Biotopverbundachse der Wälder (grüne Linie, grüner Pfeil als beispielhafte Austauschbeziehung) und im Bereich eines prioritären Wiedervernetzungsabschnitts für Großsäuger (orange Linien); die hohe Dichte an PV-FFA in der Landschaft schränkt in diesem Fall die Positionierung einer Querungshilfe ein (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/BKG 2018).

In einigen Fällen kann eine multifunktionale Gestaltung des Anlagenumfeldes sinnvoll sein, so dass dieses von den Arten mehrerer Ökosystemtypen genutzt werden kann (vgl. Abb. 59 und Abb. 60). Dies kann dort relevant sein, wo das Verkehrsbegleitgrün von Gehölzen geprägt ist und eine besondere Bedeutung für Arten von Wäldern und Waldsäumen aufweist. In diesen Fällen sollten mosaikartige Durchdringungsbereiche im Anlagenumfeld vorgesehen werden, die neben dem Offenlandverbund auch einen Gehölzverbund ermöglichen (vgl. Abb. 61).



Abb. 58: Beispiele für den funktionalen Zusammenhang zwischen PV-FFA und Straßenbegleitgrün (das Verkehrsschild kennzeichnet die Lage der Autobahn). Im Idealfall ergänzen sich die Strukturen des Straßenbegleitgrüns und der Anlage (oben: Anlage 251, Heilsbronn). Auch sporadisch genutzte Wege (z. B. Graswege) fügen sich strukturell in die Längsvernetzung entlang von Autobahn und PV-FFA ein (Mitte: Anlage 222, Barbing). Ungünstig für die Lebensraumvernetzung ist dagegen eine strukturelle Trennung zwischen Anlage und Straßenbegleitgrün, z. B. durch Ackerflächen (unten: Anlage 73, Ronneburg).



Abb. 59: Beispiel für die multifunktionale Gestaltung des Anlagenumfeldes (Anlage 25, Gerdshagen; das Verkehrsschild kennzeichnet die Lage der Autobahn). Zwischen Einzäunung und Acker wurde ein lückiger Gehölzstreifen (evtl. als Kompensationsmaßnahme) angelegt. Damit wurden potenzielle Habitatflächen sowohl für Offenland- als auch für Gehölzarten geschaffen. Da die übrige Landschaft zum Großteil von Ackerflächen geprägt ist, kann diese Maßnahme als sinnvoll eingestuft werden und eine Ergänzung zum Straßenbegleitgrün bilden. Dieses ist ebenfalls von lockeren Gebüschreihen geprägt, sodass der Aufbau einer heckenartigen Struktur entlang der PV-FFA vorstellbar ist.



Abb. 60: Beispiel für die Anbindung von PV-FFA an ein gehölzgeprägtes Straßenbegleitgrün (Anlage 35, Polch; das Verkehrsschild kennzeichnet die Lage der Autobahn). Der Bereich zwischen PV-FFA und Straßenbegleitgrün wurde mit hochstämmigen Gehölzen aufgefüllt. Aktuell werden potenziell sowohl Ansprüche von Offenlandarten als auch von Gehölzbewohnern angesprochen, was durch das Freihalten von Saumstrukturen auch in Zukunft gewährleistet werden kann.

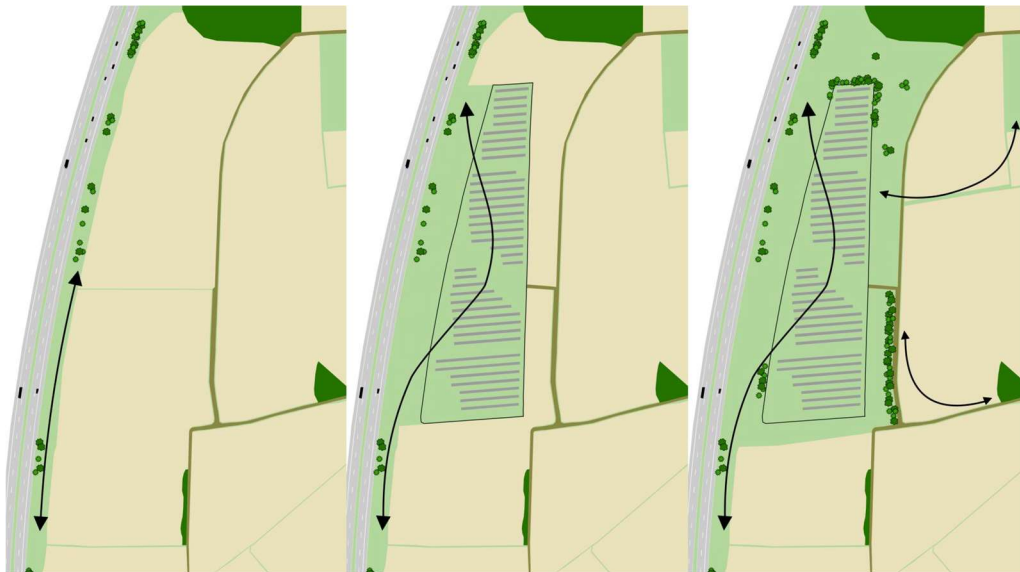


Abb. 61: Funktionale Ergänzung des Straßenbegleitgrüns in ausgeräumten Agrarlandschaften durch PV-FFA. In vielen Landschaften bietet das Straßenbegleitgrün die einzige Möglichkeit zur Durchquerung und Wanderung, da Saumstrukturen nur sehr schmal sind oder fehlen (links). PV-FFA können durch ihre offenlandartige Struktur das Straßenbegleitgrün ergänzen bzw. erweitern, wenn sie gut positioniert werden (vgl. Q 1.1) (Mitte). Durch eine zusätzliche strukturelle Anbindung des Anlagenumfeldes an die umgebende Landschaft können sowohl die Ansprüche von Offenland- als auch von Gehölzarten berücksichtigt werden (rechts).

Q 2.2: Zaundurchlässe für Klein- und Mittelsäuger

Für Klein- und Mittelsäuger (z.B. Feldhase, Kaninchen, Steinmarder) kann die Habitatnutzung der PV-FFA durch die Einzäunung der Betriebsflächen erheblich beeinträchtigt werden. Eine lückenlose Zäunung bis zum Boden sollte daher vermieden werden. I. d. R. kann die Barrierewirkung bereits dadurch reduziert werden, dass in einigen Zaunabschnitten ein Bodenabstand von mind. 10 bis 15 cm eingehalten wird. Entsprechende Lücken unter den Zäunen resultieren in vielen Fällen schon dadurch, dass die Zaunelemente aufgrund von Geländeunebenheiten mit Versatz angebracht werden (vgl. Abb. 62). Ist dies nicht möglich, sind zusätzliche Zaundurchlässe vorzusehen. Die Zäune müssen im Bereich von Durchlässen so gestaltet sein, dass bei der Passage keine Verletzungsgefahr für Wildtiere besteht (kein Stacheldraht o. ä.).

Zäune mit Sockelfundamenten sind grundsätzlich zu vermeiden, da diese auch für bodengebundene Kleintiere (z.B. Mäuse, Amphibien, Reptilien) eine unüberwindbare Barriere darstellen können. In solchen Fällen sind Durchlassöffnungen im Abstand von wenigen Metern vorzusehen.



Abb. 62: Durch Geländeunebenheiten und den Versatz von Zaunelementen ergeben sich unterschiedlich große Abstände zwischen Boden und Zaun (oben: Anlage 363, Cremlingen). Oft werden die Zäune von Kleinsäugetieren zusätzlich untergraben (unten: Anlage 24, Gerdshagen).

Q 2.3: Querungsmöglichkeiten für Großsäuger

Insbesondere im Bereich von Lebensraumnetzen der Wälder können die i. d. R. langgestreckten und eingezäunten PV-Anlagen die Durchwanderbarkeit der Landschaft für Großsäuger (z.B. Rothirsch, Sika, Luchs) erheblich beeinträchtigen (►Z 2) (Abb. 63). Innerhalb von Migrationsschwerpunkten sollten große Betriebsflächen daher unterteilt werden. Durchwanderungsmöglichkeiten sollten aber generell nur dann geschaffen werden, wenn diese eine weiterführende Migration der Arten erlauben. Eine mögliche Fallenwirkung muss vermieden werden. Sie dürfen daher nicht auf Gefahrenstellen oder Barrieren hinleiten (z.B. Straßenbegleitgrün, Wildschutzzäune an Autobahnen) (Abb. 64). Ist dies gewährleistet, sollte eine maximale Kantenlänge von 500 m pro Betriebsfläche nicht überschritten werden. Damit die Zwischenräume einen Wild-

wechsel ermöglichen, müssen die Unterteilungen eine ausreichende Breite aufweisen. Mindestanforderungen für migrierende Rothirsche belaufen sich auf 30 bis 50 m und sollten beachtet werden. Die Wirksamkeit der Querungsmöglichkeiten hängt zudem wesentlich von ihrer Lage zu den umgebenden Lebensräumen sowie zu den Hauptwanderrichtungen der betroffenen Arten ab. Darüber hinaus müssen die Querungsmöglichkeiten eine geeignete Lebensraumqualität aufweisen. Besonders geschlossene Gehölzbänder können als Leitstruktur dienen und bieten ein ausreichendes Deckungsangebot.

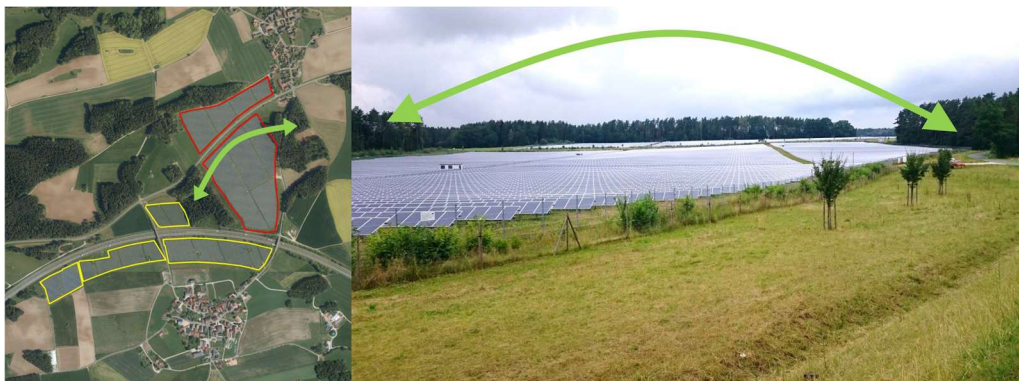


Abb. 63: Eng beieinander liegende Betriebsflächen können ein dichtes Einzäunungsnetz bilden und die Landschaft schwer durchdringbar machen (rote Umrandung: Anlage 391, Weismain-Fesselsdorf; gelbe Umrandung: vier weitere Betriebsflächen). Eine Passage zwischen Waldflächen (grüne Pfeile) ist für Mittel- und Großsäuger nur schwer möglich. Oft entstehen Durchlässe zwischen Betriebsflächen nur durch das bestehende Straßen- und Wegenetz, sodass sie für Wildtiere nur schwer nutzbar sind (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/BKG 2018).



Abb. 64: Beispiel für einen engen Durchlass zwischen zwei Betriebsflächen (Anlage 363, Cremlingen). Die rote Umrandung zeigt zwei Betriebsflächen, die durch eine 4 m breite Lücke voneinander getrennt sind (weiße Markierung). Für Wildtiere ist dieser Durchlass ungeeignet, da er einerseits eng und frei von Deckung gebenden Strukturen ist und zudem von der umgebenden Ackerslandschaft zur Autobahn hinleitet (Kartengrundlage: © GeoBasis-DE/BKG 2018).

7.3.3.3 Gestaltung und Management

Q 3.1: Freiflächenanteil auf der Betriebsfläche

Die Wirksamkeit der PV-FFA als Vernetzungselement resultiert in hohem Maße aus den Wechselwirkungen zwischen dem Freiflächenanteil der Betriebsflächen (d. h. der Flächenanteil, der nicht von Solarmodulen überschirmt wird) und den Habitatqualitäten, die auf diesen Flächen realisiert werden können. Freiflächen ergeben sich konstruktionsbedingt zwischen den Modulreihen der Anlagen. Aus wirtschaftlicher Sicht werden die Abstände zwischen den Modulreihen i. d. R. so bemessen, dass einerseits eine optimale Ausnutzung der Sonneneinstrahlung durch die PV-Module ermöglicht wird, andererseits aber auch der Flächenbedarf für die gesamte Anlage gering gehalten wird. Als Folge sind die Zwischenräume zwischen den Modulreihen zu den Zeiten mit maximaler Sonneneinstrahlung häufig weitestgehend beschattet. Der Schattenwurf hat jedoch erheblichen Einfluss auf die Lebensraumqualitäten für viele Offenlandarten (insbesondere sonnenliebende Arten). Sofern möglich sollten die Zwischenräume daher breiter angelegt werden (insbesondere bei engstehenden Modulreihen und dachförmigen Anlagen). Auf diese Weise kann auch der Streulichteinfall unter den Modulreihen selbst erhöht werden, was wiederum förderlich für die Vegetationsentwicklung ist.

Ein besonderes Potenzial für die Entwicklung von besonnten Biotopstrukturen (► Q 3.2, Q 3.4) ergibt sich im Randbereich der Betriebsflächen. Die Abstände zwischen dem eigentlichen Solarfeld und den Zäunen der Anlagen sollten möglichst groß bemessen werden. Die erforderliche Breite dieser (möglichst sonnenseitig gelegenen) Randstreifen ist abhängig von den angestrebten Biotopstrukturen. Für die Entwicklung von reich strukturierten Offenlandlebensräumen (inkl. Standortgradienten, Saumstrukturen, Versteckmöglichkeiten) werden mind. 5 bis 10 m benötigt. Falls im Randbereich auch größere Gehölze vorgesehen werden (z. B. aus landschaftsästhetischer Sicht) müssen die Flächen ggf. so vergrößert werden, dass weiterhin vollbesonnte Bodenoberflächen vorhanden sind (vgl. Abb. 66).

Q 3.2: Wege und Säume

Wege auf PV-FFA führen meist zu Trafostationen und sollten als halboffene Schotterrasen angelegt werden (vgl. Abb. 66). Für viele Kleintiere des Offenlandes (z. B. Eidechsen, Amphibien, Heuschrecken) sind vegetationsarme oder -freie Flächen förderlich. Durch die Verwendung des richtigen Substrates lassen sich die Habitatqualität und auch der Pflegeaufwand der Wege bereits stark beeinflussen. Für die Entwicklung von mageren Gras- und Krautfluren mit schütterer Vegetation ist wasserdurchlässiges und nährstoffarmes Substrat zielführend. Nährstoffreiches Substrat sollte grundsätzlich vermieden werden.

Das Substratmanagement entlang der Zäune sollte ähnlich wie bei den Wegen

erfolgen. Durch die Verwendung von nährstoffarmen und wasserdurchlässigen Substraten können bereits im Zuge der Zaunanlage wertvolle vegetationsarme Biotopstrukturen geschaffen werden, welche die i. d. R. reichere Vegetation auf der übrigen Betriebsfläche strukturell bereichern (erhöhte Nischenvielfalt). Im Zusammenhang mit einer angepassten Pflege (►Q 3.3) können struktur- und blütenreiche Säume entwickelt werden, die besonders Wirbellosen (z. B. Tagfalter, Widderchen, Wildbienen) als Lebensraum dienen.

Q 3.3: Extensive Pflege

Eine extensive Pflege der Grünflächen ist entscheidend für die Lebensraumqualität der PV-FFA. Ziel ist die Förderung einer möglichst großen Struktur- und Pflanzenartenvielfalt, die dem Standortpotenzial der Flächen entspricht. Bei neugeplanten Anlagen sollten die Flächen entweder der Selbstbegrünung überlassen werden (auf geeignetes Substrat achten) oder es sollte gebietseigenes Saatgut bzw. Schnittgut aus Zielbiotopen in der näheren Umgebung verwendet werden. Sofern möglich sollten die Grünflächen beweidet werden (z. B. mit Schafen, Abb. 65). Durch eine extensive Beweidung entsteht ein Mosaik aus unterschiedlich intensiv genutzten und strukturierten Flächen. Hierdurch kann die Vielfalt der Offenlandarten, für die PV-FFA ein potenzielles Vernetzungselement darstellen können, erhöht werden. Alternativ ist ein extensives Mahdmanagement zielführend. Dabei ist weniger auf die strikte Einhaltung fester Mahdtermine zu achten, vielmehr ist entscheidend, dass ein Mahdmosaik auf den Betriebsflächen realisiert wird (einmalige Mahd größerer Bereiche zwischen September und März). In Einzelfällen kann es erforderlich sein, dass die Pflege auf die Ansprüche besonders empfindlicher Arten abgestimmt wird (z. B. Nahrungs- oder Deckungsangebot). Sonstige Pflegemaßnahmen zur Instandhaltung der Anlage sollten nur dort erfolgen, wo sie erforderlich sind (z. B. Freihaltung der Zäune oder der Module). Ein Spritzmitteleinsatz ist grundsätzlich auszuschließen.



Abb. 65: Pflege einer PV-FFA durch Schafbeweidung (Anlage 135, Walldorf).

Q 3.4: Besondere Biotopstrukturen

Die Lebensraumqualität kann dadurch gesteigert werden, dass auf den Freiflächen der PV-FFA Biotopstrukturen wie Tümpel, Blühstreifen, Totholz oder Lesesteinhaufen angelegt werden (►Q 3.1) (vgl. Abb. 66). Sowohl Kleingewässer, als auch zeitweise Wasser führende feuchte Senken erhöhen die Strukturvielfalt erheblich und können vielen Arten als Trittstein innerhalb der Lebensraumnetze dienen (z.B. Amphibien, Libellen). Ggf. können spezielle Einrichtungen zum Auffangen von Wasser in Hanglage vorgesehen werden. Blühstreifen bieten ein besonderes Potenzial für blütenbesuchende Insekten und stellen im Winter eine wertvolle Nahrungsquelle für körnerfressende Vogelarten und Kleinsäuger dar (vorausgesetzt die Blühstreifen werden über Winter stehengelassen). Bei der Anlage von Totholz- und Steinhaufen (keinen Bauschutt verwenden!) muss bedacht werden, dass diese das Aufkommen von dichter Vegetation und Gehölzen fördern können. Sie sollten daher nur dort platziert werden, wo keine Konflikte in Folge der weiteren Biotopentwicklung erwartet werden. Das Aufwachsen und auch die gezielte Anpflanzung von einzelnen Gehölzen (möglichst konkurrenzschwache Kleinsträucher) muss dabei kein Problem für Offenlandarten sein. Viele Offenlandarten profitieren sogar von Gehölzstrukturen, da diese die Ausbildung von Gradienten im Mikroklima bewirken (Temperatur, Luftfeuchte, Windschatten). Genauso tragen Offenbodenstellen und vegetationsarme Bereiche zur Lebensraumvielfalt bei. Entscheidend für eine nachhaltige Anlage von mageren und lichten Gras- und Krautfluren ist die Verwendung von nährstoffarmen und wasserdurchlässigen Substraten, z.B. im Bereich der Zäunung oder entlang vorhandener Wege (►Q 3.2).

Die Auswahl und Zielausrichtung von Maßnahmen auf den PV-FFA sollte sich immer aus den raumkonkreten Erfordernissen der Lebensraumvernetzung ableiten (►Q 1.2). Zudem muss im Einzelfall geprüft werden, ob die Maßnahmen zur Biotopentwicklung ggf. den Vorgaben der Versicherungen widersprechen (insb. Auflagen zum Brandschutz).

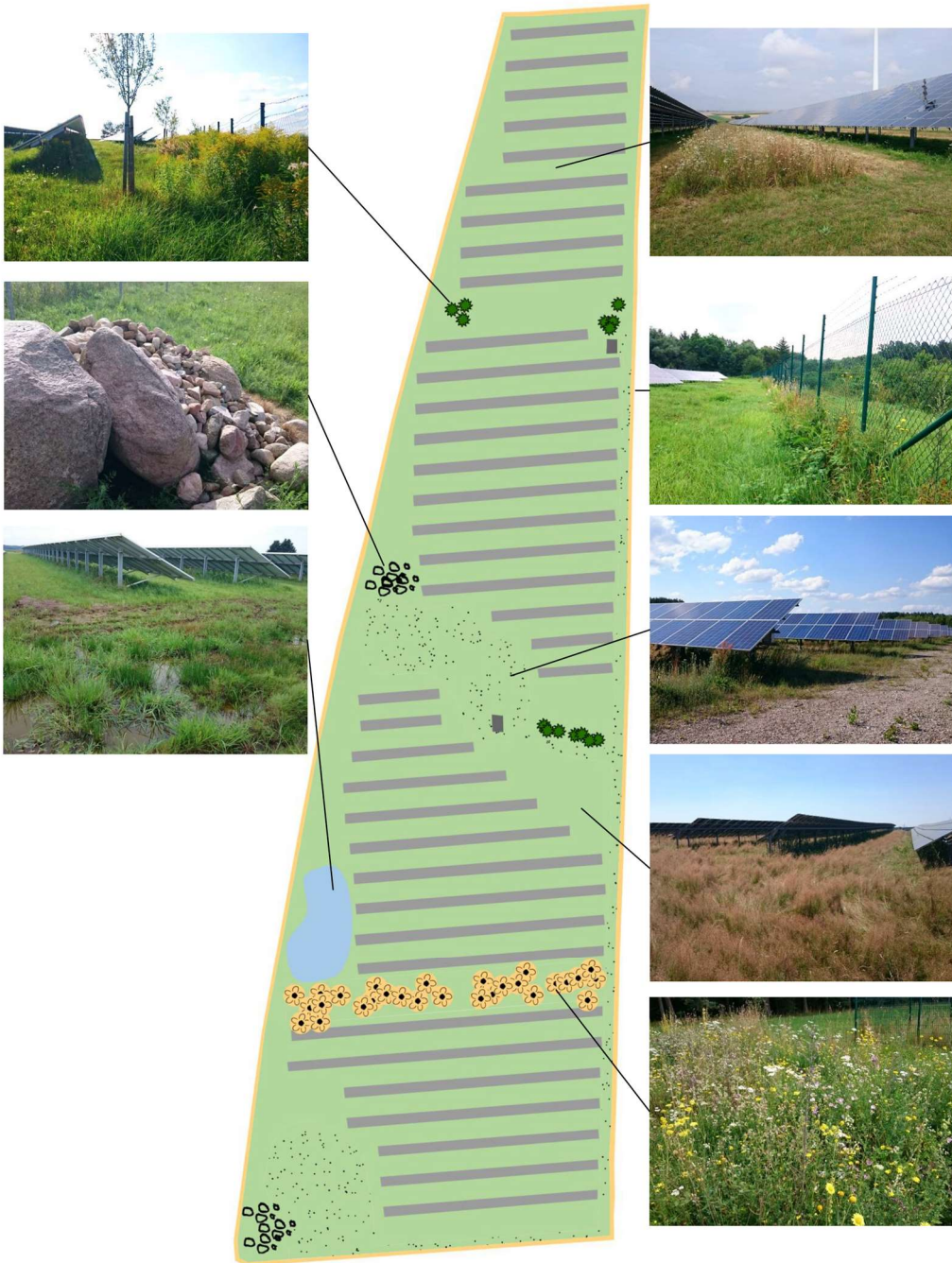


Abb. 66: Beispiel möglicher Gestaltungselemente auf einer PV-FFA. Die Solarmodule (graue Balken) auf der extensiv genutzten Betriebsfläche (grün) wurden so aufgestellt, dass sich ausreichend große Freiflächen ergeben, die voll besonnt sind. Durch die Einzäunung ergibt sich um die Fläche herum eine saumartige und blütenreiche Struktur (orange Umrandung der Fläche). Die notwendigen Wegestrukturen, z. B. zu Trafohäuschen, sind als Schotterrassen angelegt (kleine Punktierung) und reichen teilweise in die Freiflächen hinein. Dort werden sie durch Lesesteinhaufen (schwarze Kringel) zu einem Lebensraum für trocken- und wärmeliebende Arten ergänzt. Durch Anlage von Mulden und Furchen können Feuchtlebensräume und Kleingewässer geschaffen werden (blaue Fläche). Durch Einsaat eines Blühstreifens (orange Blüten) wird ein zusätzliches Nahrungsangebot geschaffen. Die punktuelle Pflanzung von Gehölzen (dunkelgrüne Symbole) schafft Ansitz-, Versteck-, Nist- und Nahrungsmöglichkeiten. Durch ein gezieltes Mahd- und Beweidungsmanagement können z. B. die Einzäunung und Bereiche zwischen den Modulen ausgespart werden, sodass eine zusätzliche Blüten- und Strukturvielfalt geschaffen wird.

8 Zusammenfassung

Die Randbereiche von Straßen und Schienenwegen können bei entsprechender Ausgestaltung wichtige Funktionen zur Lebensraumvernetzung und zum Erhalt der Biodiversität erfüllen. Dies gilt insbesondere in intensiv genutzten Agrarlandschaften, in denen durch das Verkehrsbegleitgrün ein Minimumangebot an extensiv genutzten Lebensräumen und Biologischer Vielfalt geschaffen werden kann. Im Zuge der Energiewende werden zunehmend Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) entlang von Verkehrswegen errichtet, da seit 2010 die Flächen längs von Autobahnen und Schienenwegen bis zu einer Entfernung von 110 m unter die Vergütungsregelungen des EEG fallen. Dies soll eine Bündelung technischer Infrastrukturen fördern und die Flächen entlang der Verkehrswege für die energetische Nutzung verfügbar machen. Durch diesen Ausbau an Verkehrswegen können potenziell Konflikte im Zusammenhang mit der Wiedervernetzung von Lebensräumen entstehen. Neben einer Verstärkung von Barriereeffekten sind Flächenkonkurrenzen mit Schutzgebieten und vorhandenen Lebensraumnetzen möglich. Umgekehrt können die Anlagen als vergleichsweise extensiv genutzte Standorte aber auch einen positiven Beitrag als Verbundstruktur leisten. Ziel des F+E-Vorhabens war es, die in Verbindung mit überörtlichen Verkehrswegen be- und entstehenden PV-FFA in Hinblick auf die Eignung als Vernetzungselement und mögliche Konflikte in Bezug auf die Erhaltung der Durchlässigkeit der Landschaft zu untersuchen. Auf dieser Grundlage sollten Empfehlungen erarbeitet werden, wie Aspekte der Lebensraumvernetzung bei der Planung und Gestaltung berücksichtigt werden können.

Basierend auf einer Literaturrecherche wurde der aktuelle Kenntnisstand zu potenziellen Wirkfaktoren und zur Habitatfunktion ermittelt. Mit Blick auf die Relevanz für Arten und Lebensgemeinschaften haben die Anlagen temporäre baubedingte sowie anlagebedingte Wirkungen. Anlagebedingte Wirkungen gehen von den Solarmodulen, Nebengebäuden und Zufahrtswegen sowie von der Einzäunung und der Pflege und Bewirtschaftung der Anlagenfläche aus. In der Literatur wurde vielfach beschrieben, dass die Zäune Barrieren für Mittel- und Großsäuger darstellen und somit zu Konflikten für die Lebensraumvernetzung führen können. Insgesamt zeigten die Studien aber auch, dass von den Anlagen potenziell positive Wirkungen auf die Tierwelt ausgehen können. Durch die Installation der PV-Anlage wird i. d. R. eine Landnutzungsänderung von Ackerland zu extensiv genutztem Grünland herbeigeführt, von der insbesondere Arten des Offenlandes (z. B. Tagfalter, Heuschrecken) profitieren können. Die Anlagen können diesen Arten als Trittstein dienen und somit zur Lebensraumvernetzung beitragen.

Um tiefere Erkenntnisse zu den räumlich-funktionalen Beziehungen zwischen PV-FFA und umgebenden Habitaten zu gewinnen, wurde 2017 eine

Fang-Wiederfang-Studie zu Tagfaltern durchgeführt. Am Beispiel einer Anlage in Sachsenhagen (LK Schaumburg, Niedersachsen) wurde untersucht, welches Artenspektrum von Tagfaltern die Betriebsflächen und angrenzende Habitate nutzt und welche Austauschbeziehungen zwischen den Flächen bestehen. Es wurden insgesamt 23 Tagfalterarten, darunter auch gefährdete Arten, erfasst. Die meisten Arten bzw. Individuen wechselten im Untersuchungszeitraum mehrfach zwischen den Untersuchungsflächen. Beobachtungen im Gelände belegten, dass die Einzäunung der Betriebsflächen keine Barriere für Tagfalter darstellt. Insgesamt zeigte die Studie, dass die extensiv genutzten Betriebsflächen für zahlreiche Tagfalterarten einen (Teil)Lebensraum darstellen können, dessen Qualität maßgeblich von der Strukturvielfalt, dem Blütenangebot sowie der Anbindung an weitere Habitate abhängt.

Der derzeitige Ausbauzustand von PV-FFA an Autobahnen und Schienenwegen in Deutschland kann bisher nicht genau beziffert werden. Die Standorte sowie die Größe der Anlagen sind nicht hinreichend bekannt bzw. erfasst. Um auch Aussagen zur Raumkonstellation sowie zum Landschaftskontext treffen zu können, wurden die Anlagen daher bundesweit auf der Grundlage von Orthophotos erfasst und hinsichtlich ihrer Lage innerhalb der Lebensraumnetze für Wälder, Großsäuger sowie trockene und feuchte Offenlandlebensräume bewertet. Es wurden insgesamt 455 Anlagen mit einem Ausbauswerpunkt in Bayern (45 %) ermittelt. 251 Anlagen (55 %) wiesen einen Minimalabstand von weniger als 50 m zum Trassenverlauf auf. Die durchschnittliche Flächengröße betrug 6,85 ha. Der Großteil der Anlagen (93 %) zeigte innerhalb eines 1000 m-Puffers Raumzusammenhänge mit funktional bedeutsamen Flächen der Lebensraumnetze.

Um die möglichen Auswirkungen auf die vorhandenen Lebensraumnetze beurteilen zu können, wurde der Raumwiderstand für Arten des Offenlandes analysiert. Die Raumwiderstandsanalyse erfolgte exemplarisch für 50 Anlagen an Autobahnen. Dazu wurden die Biotopstrukturen auf den Betriebsflächen und in der Umgebung bis 500 m um die Anlagen im Gelände sowie ergänzend über aktuelle Luftbilder erfasst. Auf dieser Grundlage wurden die Habitatqualität der Betriebsflächen und die strukturelle Einbindung der Anlagen in die Umgebung anhand ausgewählter Kriterien bewertet. Ein Großteil der Betriebsflächen war von Gras- und Krautfluren bedeckt, die durch geschotterte Zuwege zu den Trafohäuschen mit geringem Vegetationsaufkommen ergänzt wurden. Selten wurden zusätzliche Strukturen wie Ruderalfluren, Lesesteinhaufen oder Kleingewässer vorgefunden. Der Freiflächenanteil variierte zwischen 20 % und 80 % (im Mittel 63 %) und war von der Art der Modulaufstellung abhängig. Eine gute Bewertung der Habitatqualität wiesen 20 % der Anlagen auf. Bei den übrigen Anlagen konnten aufgrund einer geringeren strukturellen Ausstattung nur einzelne Kriterien als gut bewertet. Die Umgebung der Anlagen war meist

von intensiv genutzten Flächen (Acker und Intensivgrünland) geprägt, während naturnahes Offenland nie mehr als 35 % ausmachte.

Die funktionalen Auswirkungen der 50 untersuchten Anlagen auf die vorhandenen Lebensraumnetze wurden in einem weiteren Schritt mit dem GIS-Algorithmus HABITAT-NET abgebildet und einem Szenario ohne Anlagen gegenübergestellt. Dabei wurden die Vernetzungsbeziehungen zwischen potenziellen Habitatflächen von Offenlandarten über verschiedene Distanzklassen modelliert. Eine Bewertung erfolgte über die Qualität der modellierten Lebensraumnetze, anhand des Anteils an Habitatflächen, und der potenziellen Durchgängigkeit im Anlagenumfeld. Insgesamt zeigte die Modellierung, dass PV-FFA einen positiven Beitrag für die Vernetzung von Offenlandarten leisten können. Im Szenario mit Anlagen war der Habitatflächenanteil höher als im Szenario ohne Anlagen, da die Betriebsflächen zuvor als Acker genutzt wurden. In den kleineren Distanzklassen waren die gebildeten Lebensraumnetze tendenziell von höherer Habitatqualität, was zu positiven Vernetzungseffekten auf lokaler Ebene führen kann. Dieser Effekt zeigte sich im Szenario mit Anlagen stärker, da die Betriebsfläche als potenzielle Habitatfläche sowohl die Qualität als auch die Größe der Lebensraumnetze steigerte. Dadurch wiesen auch in diesem Szenario mehr Anlagen eine potenzielle Durchgängigkeit auf als im Szenario ohne Anlagen. Lagen die Betriebsflächen zudem in geringem Abstand zum Straßenbegleitgrün und wurden diese nicht durch Barrieren voneinander getrennt, konnte in den meisten Fällen eine funktionale Anbindung an dieses festgestellt werden.

Basierend auf den Erkenntnissen über die räumlichen Wirkungen wurden Hinweise zur Berücksichtigung von Vernetzungsaspekten bei der Planung und Gestaltung der Anlagen zusammengestellt. PV-FFA können in Abhängigkeit von ihrer Lage innerhalb der vorhandenen Lebensraumnetze und der umgebenden Landnutzung sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf Arten und Lebensgemeinschaften besitzen. Entsprechend muss es das Ziel von Planungen und Gestaltungsmaßnahmen sein, mögliche Beeinträchtigungen von Vernetzungsbeziehungen zu vermeiden, andererseits sollte aber auch das Potenzial der Anlagen für die Optimierung der Vernetzungsfunktion genutzt werden, wo dies möglich ist. Um eine Anwendung in der Praxis zu ermöglichen, wurde ein Prüfschema erarbeitet, welches die räumliche Lage, die Anbindung an das Umfeld sowie die Gestaltung und das Management der Anlagen berücksichtigt. Die sich hieraus ergebenden Anforderungen wurden in Form von Qualitätsmerkmalen, Hinweisen zu möglichen Ausschlusskriterien sowie konkreten Gestaltungsbeispielen aufbereitet. Anhand konkreter Beispiele wird gezeigt, dass die Anlagen zwar räumliche Konfliktpotenziale aufweisen, andererseits aber bei sorgfältiger Planung als funktionale Ergänzung des Straßenbegleitgrüns insbesondere in ausgeräumten Agrarlandschaften wirken

können.

Die im F+E-Vorhaben beschriebenen positiven Wirkungen für die Vernetzung müssen unter dem Gesichtspunkt gesehen werden, dass vielerorts keine naturnahen Lebensräume oder anderen (Rest-)Flächen mehr vorhanden sind, die diese Funktionen sonst übernehmen können. Die Entwicklung von zusätzlichen Biotopflächen bzw. von extensiv genutzten Grünländern muss daher aus Naturschutzsicht immer Priorität vor dem unabhängig von Naturschutzziele stattfindenden weiteren Ausbau der Freiflächen-Photovoltaik besitzen. Entsprechend dürfen Anlagen bei einem weiteren Ausbau entlang der Verkehrswege auch nicht das Verkehrsbegleitgrün ersetzen, sondern sollten dieses allenfalls funktional ergänzen, wo dies aus Naturschutzsicht möglich ist.

9 Summary

Since 2010 and the instigation of the payment framework of the Renewable Energy Sources Act, photovoltaic power plants (PVPPs) have been built along motorways and railways in Germany. This development may be causing conflicts with existing habitat networks because of barrier effects and possible habitat loss. On the other hand, extensively managed PVPPs may also have positive impacts and serve as stepping stones for the migration of species. The overall objective of this study was to assess the positive and negative effects of PVPPs on habitat networks. In conclusion, we developed recommendations for considering aspects of habitat connectivity in the planning and designing process of PVPPs.

The first stage of the study was a literature review to assess the potential impacts of PVPPs on the habitat function for species and communities. These impacts can arise during construction and due to the technical elements of the power plants. The latter involve impacts from the solar modules, the technical buildings and access roads as well as the fencing and maintenance and management activities on the site. A number of studies have indicated that fencing contributes to barrier effects for large and medium sized mammals. Positive impacts may be caused by land use change from agricultural farmland to extensive grassland in the plant area. Species from open spaces and grasslands, e.g. butterflies and grasshoppers, may especially profit as the plant areas can function as a part of their habitat networks.

In 2017, we performed a capture-recapture-study on butterflies to gain insights into spatial and functional relationships between PVPPs and their surrounding habitats. The study was conducted on a power plant in Sachsenhagen (Schaumburg, Lower Saxony) with two plant sites and their adjacent habitats. We assessed the amount of butterfly species and the movement pattern of marked individuals between the different sites. 23 butterfly species were recorded, of which one species is highly endangered in Lower Saxony. Almost all butterfly species were recorded on the larger plant site and on the adjacent grassland, whereas the smaller plant site and linear habitat structures showed less species numbers. Most marked individuals moved between the sites and were recorded on more than one habitat area. They crossed the fences of the power plants, which did not seem to inhibit their movements. We conclude from the study that PVPPs can serve as a habitat for butterflies when they are extensively managed, have a high structural diversity with adequate nectar abundance and are connected to other habitats.

The overall number and distribution of PVPPs alongside traffic routes (motorways and railways) in Germany was analysed based on aerial photos. We identified a total number of 455 PVPPs. The power plants were mainly located

in Bavaria (45 %) and had a minimum distance of less than 50 m (55 %) to traffic routes. The mean area size was 6.85 ha. Spatial overlapping with functional habitat systems for species of forest biotopes, wet and dry biotopes and for habitat systems of larger mammals was analysed. 93 % of the power plants overlapped with functional habitat systems, within their surrounding area of 1000 m.

Biotopes were mapped on 50 power plants alongside motorways and their surrounding landscapes to assess the habitat quality for species of open space biotopes. According to biotope structures, the habitat quality for 20 % of the cases was evaluated as good. Most PVPPs were covered with mesophilic grassland with a few gravelled paths to the transformer station and sparse vegetation. In some cases, we recorded important biotopes such as ruderal land, clearance cairns or small water bodies on the plant areas. The amount of non-canopied area that was not covered with solar modules ranged from 20 % to 80 % (mean 63 %). The surrounding landscape was mostly dominated by intensively managed farmland, while natural open space areas covered up to 35 %.

The impact of PVPPs on the existing functional habitat systems was analysed with the GIS algorithm HABITAT-NET. We modelled the connectivity between potential habitat areas of open space species for several distance classes. The quality of the modelled functional habitat systems (amount of habitat area) and the potential connectivity with the surrounding landscape was then assessed for both a scenario with power plants and a scenario without power plants. We found that PVPPs can contribute to functional connectivity of habitat systems for species of open space biotopes. This applies especially to habitat connectivity on a local scale. The modelled functional habitat systems in the small distance classes showed particularly high habitat quality. In the scenarios with PVPPs, the amount of habitat area in the landscape was higher than in the scenarios without PVPPs. This is mainly due to the fact that the plant areas were used as intensive farmland before the power plant construction.

We conclude from our findings that the effects of PVPPs on habitat connectivity primarily depend on their management and spatial extension within habitat systems in the surrounding landscape. On the one hand, PVPPs can lead to spatial conflicts and barrier effects, especially within habitat systems for species of forest biotopes. However, the power plants can also function as a part of open space and grassland habitat systems and, thus, support roadside habitat networks, especially in intensively used agrarian landscapes. We developed a test scheme and quality standards to allow for the consideration of these aspects in the planning of PVPPs. The test scheme includes information about specific requirements that should be met for optimising the habitat quality and connectivity of the power plants as well as exclusion criteria to avoid

conflicts within habitat networks.

It is important to bear in mind, however, that most natural habitats have vanished from the landscape. So even in view of further development of renewable energies such as PVPPs, the development of additional natural habitats and extensively used grassland must still be the priority of nature conservation and habitat network planning. Consequently, power plants must not replace roadside vegetation of any kind but be planned and designed in a way that is consistent with nature conservation standards.

10 Quellenverzeichnis

- AEP Energie-Consult GmbH (2011): Leitfaden "Photovoltaik-Projekte an Bundesautobahnen in Thüringen". – (LEG Thüringen u. Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie): 71 S.
- AGEB/AG Energiebilanzen e.V. (2018a): Auswertungstabellen zur Energiebilanz in Deutschland 1990 bis 2017. Stand: Juli 2018. – URL: https://www.ag-energiebilanzen.de/#20160128_brd_stromerzeugung1990-2015. (28.08.2018)
- AGEB/AG Energiebilanzen e.V. (2018b): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern. Stand: 02.02.2018. – URL: https://www.ag-energiebilanzen.de/#20160128_brd_stromerzeugung1990-2015. (28.08.2018)
- Aigner, H., Becher, R., Beck, J., Henze, A., Horn, A. u. Schrimppf, E. (2010): Leitfaden zur Zulassung von Photovoltaik-Freiflächen-Anlagen. Anregungen für Gemeinden (Beispiel: Landkreis Freising). – URL: https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/files/Leitfaden_Zulassung_Freiflaechenanlagen_fuer_Gemeinden_ABSI.pdf. (01.06.2018)
- Akbar, K. F., Hale, W. H. G., Headley, A. D. u. Ashraf, I. (2010): Evaluation of conservation status of roadside verges and their vegetation in North England. – *Pol J Ecol* 58 (3): 459-467.
- ARGE GFN/ZWS (2011): Auswirkungen der Ausbauziele zu den Erneuerbaren Energien auf Naturschutz und Landschaft. Endbericht. FuE-Vorhaben FKZ 3509 83 0600. – 286 S.
- ARGE Monitoring PV-Anlagen (2007): Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. – Hannover: 116 S.
- Armstrong, A., Ostle, N. J. u. Whitaker, J. (2016): Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. – *Environ Res Lett* 11 (7): 11 S.
- Ascensão, F., Clevenger, A. P., Grilo, C., Filipe, J. u. Santos-Reis, M. (2012): Highway verges as habitat providers for small mammals in agrosilvopastoral environments. – *Biodivers Conserv* 21 (14): 3681–3697.
- Battefeld, K.-U., Brans, J., Dönmez, M., Kornelius, B., Meixner, H., Saal, A., Staiger, U., Verheyen, M., Widder, G. u. Zeisberger, V. (2010): Fotovoltaik auf Deponien und Altablagerungen. Arbeitshilfe. – Wiesbaden (Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz): 14 S.

- Baudry, J. u. Merriam, H. G. (1988): Connectivity and connectedness: functional versus structural patterns in landscapes. – In: Schreiber, K.-F. (Hrsg.): Connectivity in Landscape Ecology. – Münstersche Geographische Arbeiten 29: 23-28.
- Baumgärtel, P. (Allianz-Versicherung): Mündliche Auskunft vom 23.06.2017.
- Beiten Burkhardt Rechtsanwalts-gesellschaft mbH (2015): Ausschreibungsverfahren für PV-Freiflächenanlagen. Newsletter Februar 2015. – (Beiten Burkhardt Rechtsanwalts-gesellschaft mbH): 8 S.
- Blessing-Schörg, S. (2012): Bebauungsplan „Solarpark Oberlauda“. Stadt Lauda-Königshofen, Gemarkung Oberlauda. Begründung mit integrierter Grünordnung. Umweltbericht. – (Schirmer Architekten und Stadtplaner): 41 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2017): Naturschutz und Photovoltaik. – URL: <https://www.bmu.de/themen/natur-biologische-vielfalt-arten/naturschutz-biologische-vielfalt/naturschutz-und-energie/naturschutz-und-photovoltaik/>. (01.06.2018)
- BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, BfN – Bundesamt für Naturschutz (2017): Fünf Punkte für eine naturverträgliche Energiewende 2050. – URL: https://www.natur-und-erneuerbare.de/aktuelles/details/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=30&cHash=bc59df291cfadf200215dc843c24a018. (28.08.2018)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016): EEG-Novelle 2016. Eckpunktepapier. – URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/eeg-novelle-2016-fortgeschrieben-eckpunktepapier.html>. (01.06.2018)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Förderung für den Ausbau der Erneuerbaren: Ausschreibungen national und europaweit. – URL: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Energie/foerderung-fuer-den-ausbau-der-erneuerbaren.html>. (28.06.2017)
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. – URL: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2017.pdf;jsessionid=8CFC1215083ECAB46CF4E665950985D5?__blob=publicationFile&v=15. (28.08.2018)
- Bohl, J. (2011): Freiflächenakquise und Planung von PV-Freiflächenanlagen. Vortrag am 13. Januar. – (Bohl & Coll.): 19 S.

- Bosch & Partner GmbH, Götze Rechtsanwälte u. Solar Engineering Decker & Mack GmbH (2009): Erarbeitung von Grundlagen zur regionalplanerischen Steuerung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen am Beispiel der Region Lausitz-Spreewald. Endbericht. – Hannover: 195 S.
- Bosch & Partner u. ZSW – Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg (2016): Potenziale für PV-Freiflächenanlagen - Fachliche Einführung in den Workshop. Unveröffentlicht.
- Brauer, T., Dorn, S., Zemann, M., Klein, D. u. Jehn, K. (2006): Die Eingriffsregelung in der Bauleitplanung – wie wird ein Eingriff bewertet, welchen Kompensationsbedarf verursacht er? Ein Vergleich verschiedener Bewertungsverfahren zur Ermittlung von Eingriffsstärke und Kompensationsbedarf. – Forum Geoökologie 17 (1): 46-53.
- Bredemann, C. u. Stellberg, M. (2012): Ermittlung von Flächenpotenzialen zur Errichtung von Freiland-Solarparks im Stadtgebiet von Neuss. – Essen: 16 S.
- BSW-Solar – Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (2018): Statistische Zahlen der deutschen Solarstrombranche (Photovoltaik). – URL: https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/bsw_faktenblatt_pv_4018_4.pdf. (28.08.2018)
- BUND Landesverband Schleswig-Holstein (2005): Freiland-Solarparks und Naturschutz. – Hintergrund 1-2005: 8 S.
- Bundesnetzagentur (2016): Bericht über die Flächeninanspruchnahme für Freiflächenanlagen. Nach § 36 Freiflächenausschreibungsverordnung (FFAV). Stand: Dezember 2016. – Bonn (Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen): 19 S.
- CDM Smith Consult GmbH (2017): Bebauungsplan Nr. 435 „Solarpark Gügling“. Begründung Vorentwurf. – Bingen: 63 S.
- Chiabrando, R., Fabrizio, E. u. Garnerio, G. (2009): The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: Definition of impacts and assessment of the glare risk. – Renew Sust Energ Rev 13 (9): 2441-2451.
- Clearingstelle EEG (2011): Hinweis 2011/8 – PV-Anlagen innerhalb eines Abstandes von 110 Metern zu Autobahnen oder Schienenwegen. – URL: <https://www.clearingstelle-eeeg.de/hinwv/2011/8>. (03.06.2016)
- Dennis, R. L. H. (2010): A resource-based habitat view for conservation. Butterflies in the British landscape. – Chichester (Wiley-Blackwell): 406 S.
- DeVault, T. L., Seamans, T. W., Schmidt, J. A., Belant, J. L., Blackwell, B. F., Mooers, N., Tyson, L. A. u. van Pelt, L. (2014): Bird use of solar photovoltaic installations at US airports: Implications for avian safety. – Landsc Urban Plan 122: 122-128.

- DGS – Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V. (2009-2015): EnergyMap. – URL: <http://www.energymap.info>. (01.06.2016)
- Dörner + Partner GmbH (2015): Vorhabenbezogener Bebauungsplan Nr. 504 zugleich Vorhaben- und Erschließungsplan „Solarpark Eisenspalterei“. Gemarkung Eberswalde. Begründung mit vorläufigem Umweltbericht. – Eberswalde: 24 S.
- Drachenfels, O. v. (2016): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der gesetzlich geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie. 9. Aufl. – Naturschutz Landschaftspfl. Nieders. A/4: 326 S.
- Ebert, G. u. Rennwald, E. (1991): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 2: Tagfalter II. 1. Aufl. – Stuttgart (Ulmer): 535 S.
- Ellenberg, H. u. Leuschner, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 6. Aufl. – Stuttgart (Ulmer): 1333 S.
- Engels, K. (1995): Einwirkungen von Photovoltaikanlagen auf die Vegetation am Beispiel Kobern-Gondorf und Neurather See. – Bochum (Ruhr-Universität – Diplomarbeit).
- Enkhardt, S. (2017): Keine Begrenzung für Photovoltaik-Nutzung auf baulichen Anlagen. – URL: <https://www.pv-magazine.de/2017/12/05/keine-begrenzung-fuer-photovoltaik-nutzung-auf-baulichen-anlagen/>. (28.08.2018)
- Ericksen, K., Ziemke, R. u. Radlof, R. (2010): Leitfaden für die Prüfung von Anträgen auf Errichtung von Photovoltaikanlagen auf Deponien in Mecklenburg-Vorpommern. Arbeitskreis Deponien und Siedlungsabfälle. – URL: https://www.lung.mv-regierung.de/dateien/lf_pv_mv.pdf. (01.06.2018)
- Eversham, B. C. u. Telfer, M. G. (1994): Conservation value of roadside verges for stenotopic heathland Carabidae: corridors or refugia? *Biodivers Conserv* 3 (6): 538-545.
- Fasham, M. u. Mustoe, S. (2005): General principles and methods for species. – In: Hill, D., Fasham, M., Tucker, G., Shewry, M. u. Shaw, P. (Hrsg.): *Handbook of Biodiversity Methods. Survey, Evaluation and Monitoring*. – Cambridge (Cambridge University Press): 255-270.
- Feltwell, J. (2013): Are photovoltaic solar arrays an influencing factor in avian mortality? – *The Newsletter of the Kent Field Club* 77: 18-27.
- FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen) (2008): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen. RAA R1. – Köln (FGSV-Verlag): 119 S.

- Fraunhofer ISE (2018): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fassung vom 20.07.2018. – URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>. (28.08.2018)
- Fraunhofer IWES, Fraunhofer ISE, Technische Universität Dortmund u. AgriHerp Consult (2016): Empfehlungen für eine ökologisch verträgliche Ausgestaltung der Förderung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen unter der Berücksichtigung von Flächenpotenzialen und -nutzungskonkurrenzen. Zwischenbericht. FKZ 3714 83 1020. – unveröffentlicht.
- Freiland Umweltconsulting GmbH (2011): Photovoltaik Freiflächenanlagen - Leitfaden für Raumplanungsverfahren. Im Auftrag des Amtes der steiermärkischen Landesregierung. – Graz: 54 S.
- Fuchs, D., Hänel, K., Lipski, A., Reich, M., Finck, P. u. Riecken, U. (2010): Länderübergreifender Biotopverbund in Deutschland. Grundlagen und Fachkonzept. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 96: 191 S.
- Götz, S., Zebe, G. u. Bose, M. (2010): Großflächige Solar- und Photovoltaikanlagen im Freiraum. Fortschreibung des Leitfadens für die Bewertung aus raumordnerischer und landesplanerischer Sicht. – Neustadt an der Weinstraße: 11 S.
- Greenwood, J. J. D. u. Robinson, R. A. (2006): Principles of sampling. – In: Sutherland, W. J. (Hrsg.): Ecological Census Techniques. A Handbook. 2. Aufl. – Cambridge (Cambridge University Press): 11-86.
- Hänel, K. (2007): Methodische Grundlagen zur Bewahrung und Wiederherstellung großräumig funktionsfähiger ökologischer Beziehungen in der räumlichen Umweltplanung - Lebensraumnetzwerke für Deutschland. – Kassel (Universität Kassel – Dissertation): 380 S.
- Hänel, K. (2012): Interpretations- und Anwendungshilfen zu den Karten der Lebensraumnetzwerke. – Kassel: 13 S.
- Hänel, K. u. Reck, H. (2011): Bundesweite Prioritäten zur Wiedervernetzung von Ökosystemen - Die Überwindung straßenbedingter Barrieren. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 108: 354 S.
- Hänel, K., Baiert, C. u. Ulrich, P. (2016): Lebensraumverbund und Siedlungsentwicklung in Deutschland. Identifikation von Engstellen und Planungsempfehlungen. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 144: 240 S.
- Heindl, M. (2014): Aufständigung eines Solarmoduls als Brutstätte des Neuntöters *Lanius collurio*. – Ornithol. Rundbr. Mecklenbg.-Vorpomm. 48(1): 87-89.
- Herden, C. u. Martin, C. (2005): Konfliktanalyse für Photovoltaikanlagen im Amtsbereich Wiedingharde. Teilfortschreibung des Landschaftsplanes Amt Wiedingharde. – Kiel: 16 S.

- Herden, C., Rasmus, J. u. Gharadjedaghi, B. (2009): Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen. – BfN-Skripten 247: 168 S.
- Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., Barrows, C. W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S. u. Allen, M. F. (2014): Environmental impacts of utility-scale solar energy. – *Renew Sust Energ Rev* 29: 766-779.
- Hofstätter, J. (2014): Naturschutzfachliche Analyse der Heuschreckenzönosen einer Photovoltaik-Freiflächenanlage sommertrockener Sandstandorte am Beispiel der PV-FFA " Tower Finow 1"; Anlagennahe Suche der stark gefährdeten Blauflügeligen Sandschrecke zum Verständnis des anlagentypischen Wirkungsgefüges aus Bebauung, Vegetation und Heuschreckenfauna. – Eberswalde (Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde – Bachelorarbeit).
- Horváth, G., Blahó, M., Egri, A., Kriska, G., Seres, I. u. Robertson, B. (2010): Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. – *Conserv Biol* 24 (6): 1644-1653.
- Hübner, G., Völkl, W. u. Romstöck-Völkl, M. (2014): Monitoring von Zielarten zur Wirkungskontrolle von Ausgleichs- und Minimierungsmaßnahmen im Solarpark Grafenwöhr-Hütten. Gutachten im Auftrag der Sonnenpark Hütten GmbH & Co. KG. – unveröffentlicht.
- IFÖNA GmbH (2012): Bebauungsplan "Photovoltaik-Freiflächenanlage Hirtel" in der Gemeinde Heusweiler, Ortsteil Hirtel. Begründung. – Völklingen: 32 S.
- Jaeger, J. u. Holderegger, R. (2005): Schwellenwerte der Landschaftszer Schneidung. – *GAIA* 14 (2): 113–118.
- Jaskowski, P. (2009): Werden Solaranlagen von rastenden Zugvögeln gemieden? Eine Fallstudie aus dem Kreis Trier-Saarburg. – *Dendrocopos* 36: 29-33
- Jaskowski, P. (2014): Vögel in Fotovoltaikanlagen: vogelkundliche Untersuchungen in Solarparks in der Verbandsgemeinde Schweich. – *Dendrocopos* 41: 29-38
- Jessel, B. u. Kuler, B. (2006): Naturschutzfachliche Beurteilung von Freilandphotovoltaikanlagen. Analysen und Vorschläge zur Beurteilung am Beispiel Brandenburgs. – *Naturschutz und Landschaftsplanung* 38 (7): 225-232.
- Kalarus, K. u. Bakowski, M. (2015): Railway tracks can have great value for butterflies as a new alternative habitat. – *Ital. J. Zool.* 82 (4): 565-572.
- Kelm, T., Schmidt, M., Taumann, M., Püttner, M., Jachmann, H. u. Capota, M. (2014): Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß §65 EEG. Vorhaben Ilc Solare Strahlungsenergie. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. – Stuttgart: 216 S.

- Klessmann, C., Wigand, F., Gephart, M., Blühcher, F.v., Kelm, T., Jachmann, H., Ehrhart, K.-M., Haufe, M.-C., Kohls, M. u. Meitz, C. (2014): Ausgestaltung des Pilotausschreibungssystems für Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Wissenschaftliche Empfehlung. – Berlin: 80 S.
- Knipfer, G. u. Raab, B. (2013): Naturschutzfachliche Untersuchungen von Freilandphotovoltaikanlagen in der Oberpfalz (Lkr. Neumarkt i. d. Opf. und Regensburg). Gutachten im Auftrag Landesbund für Vogelschutz e.V. – unveröffentlicht.
- Knoll, T. u. Groiss, M. (2011): Photovoltaik in der Landschaft. Steuerungsstrategie für Photovoltaik-Freiflächenanlagen aus der Sicht des Naturschutzes und der Raumordnung. – Wien: 54 S.
- Koldrack, N., Bill, R. u. Walz, U. (2014): Gis-basierte Ermittlung der Flächeninanspruchnahme für Energieinfrastrukturen in Deutschland. – gis.Science 2: 55-63.
- Konrad, F. (2008): Planung von Photovoltaik-Anlagen. Grundlagen und Projektierung. 2. Aufl. – Wiesbaden (Vieweg+Teubner): 162 S.
- Kost, C., Shammugam, S., Jülch, V., Nguyen, H.-T. u. Schlegl, T. (2018): Stromgestehungskosten erneuerbare Energien. März 2018. – URL: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf. (28.08.2018)
- Landeck, I., Hildmann, C., Kempe, K., Gharadjedaghi, B. u. Martin, C. (2014): Langzeitwirkung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen auf Natur und Landschaft. Endbericht. FKZ 35011 82 0700. – unveröffentlicht.
- Landschaftsarchitekturbüro gutschker & dongus (2012): Bebauungsplan „Sondergebiet Photovoltaik“ der Ortsgemeinde Ilbesheim. – unveröffentlicht.
- Lang, S. u. Blaschke, T. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS. – Stuttgart (Ulmer): 404 S.
- Leinweber, W. (HDI-Versicherung): Mündliche Auskunft vom 28.04.2017.
- LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2014): Praxis-Leitfaden für die ökologische Gestaltung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen. – Augsburg: 67 S.
- LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2015): Photovoltaikanlagen auf Deponien. Deponie-Info 2. – Augsburg: 9 S.
- Lieder, K. u. Lumpe, J. (2012): Vögel im Solarpark – eine Chance für den Artenschutz? Auswertung einer Untersuchung im Solarpark Ronneburg „Süd I“. – Thüringer ornithologische Mitteilungen 56: 13-25.

- Lobenstein, U. (2004): Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Großschmetterlinge mit Gesamtartenverzeichnis. – Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 24 (3): 165-196.
- Mader, H.-J. (1987): Straßenränder, Verkehrsnebenflächen - Elemente eines Biotopverbundsystems? – Natur und Landschaft 62 (7/8): 296-299.
- Marquardt, K. (2004): Ökologische Wirkungen von großen Photovoltaik-Freiflächenanlagen. – URL: <http://www.iwoe.de/VortragPhotovoltaik/VorVolltext1.html>. (06.04.2017)
- May, M. (2011): Begründung zum vorhabenbezogenen Bebauungs- und Grünordnungsplan „Sondergebiet Photovoltaikanlage Mitterfeld (an der A93)“. – Kolitzheim: 20 S.
- Millstein, D. u. Menon, S. (2011): Regional climate consequences of large scale cool roof and photovoltaic array deployment. – Environ Res Lett 6: 9 S.
- MKULNV – Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2014): Photovoltaikanlagen auf Deponien - technische und rechtliche Grundlagen. – (MKULNV): 24 S.
- Mono, R. u. Kirschey, T. (2012): Freiflächenphotovoltaikanlagen in Schutzgebieten - Pro und Kontra. – Natur und Landschaft 87(12): 546-547.
- Montag, H., Parker, D. u. Clarkson, T. (2016): The Effects of Solar Farms on Local Biodiversity: A Comparative Study. – (Clarkson & Woods and Wychwood Biodiversity): 45 S.
- Neuling, E. (2009): Auswirkungen des Solarparks „Turnow-Preilack“ auf die Avizönose des Planungsraums im SPA „Spreewald und Lieberoser Endmoräne“. – Eberswalde (Fachhochschule Eberswalde – Bachelorarbeit): 75 S.
- Niemann, K., S. Rüter, B. Bredemeier, L. Diekmann, M. Reich u. Böttcher, M. (2017): Photovoltaik-Freiflächenanlagen an Verkehrswegen in Deutschland: Ausbauzustand und mögliche Folgen für den Biotopverbund. – Natur und Landschaft 92 (3): 119-128.
- Olf, H. u. Ritchie, M. E. (1998): Effects of herbivores on grassland plant diversity. – Trends Ecol Evol 13 (7): 261-265.
- PAN – Planungsbüro für angewandten Naturschutz GmbH (2006a): Übersicht zur Abschätzung von maximalen Entfernungen zwischen Biotopen für Tierpopulationen in Bayern. Stand Dezember 2006. – URL: <https://www.pan-gmbh.com/content/dload/TabEntfernungen.pdf>. (01.06.2018)

- PAN – Planungsbüro für angewandten Naturschutz GmbH (2006b): Übersicht zur Abschätzung von Minimalarealen von Tierpopulationen in Bayern. Stand Dezember 2006. – URL: <https://www.pan-gmbh.com/content/dload/TabMinimalareal.pdf>. (01.06.2018)
- Parker, G. E. u. McQueen, C. (2013): Can Solar Farms Deliver Significant Benefits for Biodiversity? Preliminary Study July-August 2013. – URL: http://www.wychwoodbiodiversity.co.uk/assets/solar_and_biodiversity_report_parker_mcqueen_2013d.pdf. (01.06.2018)
- Partheymüller, O. (2015): Netzdienlich mit hoher Flächeneffizienz: PV-Kraftwerk mit Ost-West-Ausrichtung. – URL: <https://www.abc-blog.de/2015/11/netzdienlich-mit-hoher-flaecheneffizienz-pv-kraftwerk-mit-ost-west-ausrichtung/>. (08.03.2017)
- Peschel, T. (2010): Solarparks - Chancen für die Biodiversität. Erfahrungsbericht zur biologischen Vielfalt in und um Photovoltaik-Freiflächenanlagen. – *Renews Spezial* 45: 35 S.
- Raab, B. (2015): Erneuerbare Energien und Naturschutz – Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. – *ANLiegen Natur* 37 (1): 67-76.
- Reck, H. u. Kaule, G. (1993): Straßen und Lebensräume. Ermittlung und Beurteilung straßenbedingter Auswirkungen auf Pflanzen, Tiere und ihre Lebensräume. – *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 654: 230 S.
- Reck, H. u. Müller, K. (2016): Die Entwicklung von Verkehrsbegleitgrün als Bestandteil der Grünen Infrastruktur Deutschlands: Bedeutung, Zielbestimmung, Design, Pflege, Monitoring. 1. Entwurfsfassung auf der Grundlage von Zwischenergebnissen des F+E-Vorhabens „Modellhafte Untersuchung des Begleitgrüns von Verkehrsflächen und ihrer Bedeutung für die Biologische Vielfalt“ FKZ 3513 82 0700. – unveröffentlicht.
- Reck, H., Hänel, K., Jeßberger, J. u. Lorenzen, D. (2008): UZVR, UFR + Biologische Vielfalt: Landschafts- und Zerschneidungsanalysen als Grundlage für die räumliche Umweltplanung. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 62: 181 S.
- Reck, H., Hänel, K., Strein, M., Georgii, B., Henneberg, M., Peters-Ostenberg, E. u. Böttcher, M. (2017): Grünbrücken, Faunatunnel und Tierdurchlässe. Anforderungen an Querungshilfen. Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben "Maßnahmen zur Wiedervernetzung - Qualitätssicherung durch hohe Wirksamkeit", FKZ 3511 82 1200. – BfN-Skripten 465: 50 S.
- Redon, L., Le Viol, I., Jiguet, F., Machon, N., Scher, O. u. Kerbiriou, C. (2015): Road network in an agrarian landscape: Potential habitat, corridor or barrier for small mammals? – *Acta Oecologica* 62: 58-65.

- Regierungspräsidium Tübingen (2010): Photovoltaikanlagen - Hinweise für die bau- und bauplanungsrechtliche Behandlung, Standortfragen und weitere damit zusammenhängende Fragestellungen. – 24 S.
- Regionale Planungsgemeinschaft Uckermark-Barnim (2011): Handreichung Planungskriterien für Photovoltaik-Freiflächenanlagen. – Eberswalde: 16 S.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (2004): Regionalplanerische Beurteilung von Vorhaben zur großflächigen Nutzung solarer Strahlungsenergie im Freiraum Westsachsens. – Informationen zur Regionalentwicklung (6): 15 S.
- Rosa Photovoltaik (2017): Risikofragebogen zur Versicherung von netzgekoppelten Photovoltaik-Freiflächenanlagen. – URL: <http://www.rosa-photovoltaik.de/grossanlagen/fragebogen-versicherung-solarpark.pdf>. (28.04.2017)
- Rotholz, E. u. Mandelik, Y. (2013): Roadside habitats. Effects on diversity and composition of plant, arthropod, and small mammal communities. – *Biodivers Conserv* 22 (4): 1017-1031.
- Rück, F., Reichel, A. u. Schneider, O. (2011): Bodenzustand nach Erstellung einer Photovoltaik-Freiflächenanlage in Südniedersachsen. Tagungsbeitrag zur Jahrestagung der DBG, Kommission IV. – Berlin: 4 S.
- Ruiz-Capillas, P., Mata, C. u. Malo, J. E. (2013): Road verges are refuges for small mammal populations in extensively managed Mediterranean landscapes. – *Biol Conserv* 158: 223-229.
- Rüter, S. u. Reich, M. (2005): Vorkommen und Verbreitung von *Metrioptera roesellii* (HAGENBACH, 1822) und *Chorthippus apricarius* (LINNAEUS, 1758) (Saltatoria) auf Saumstrukturen in der Agrarlandschaft, am Beispiel des sächsischen Lösshügellandes. – *Mitteilungen Sächsischer Entomologen* 72: 10-18.
- Sayer, M. u. Schaefer, M. (1989): Wert und Entwicklungsmöglichkeiten straßennaher Biotope für Tiere I. – *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 569: 64 S.
- Sayer, M. u. Schaefer, M. (1995): Wert und Entwicklungsmöglichkeiten straßennaher Biotope für Tiere II. – *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 703: 444 S.
- Schmid, J. u. Schulz, H. (2009): Freiland-PV-Anlagen. Gründung von Freiland PV-Anlagen auf Kleinpählen wirtschaftlich, schnell und sicher. – *Sonnenenergie* (5/6): 34-36.
- Schmidt, C., Gagern, M. von, Lachor, M., Hage, G., Schuster, L., Hoppenstedt, A., Kühne, O., Rossmeier, A., Weber, F., Bruns, D., Münderlein, D. u. Bernstein, F. (2018): Landschaftsbild & Energiewende. Band 1: Grundlagen. Ergebnisse des gleichnamigen Forschungsvorhabens FKZ 3515 82 3400 im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. – Bonn (BfN): 261 S.

- Schmidt, M. (2014): Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 gemäß § 65 EEG. Vorhaben I. Spartenübergreifende und integrierte Themen sowie Stromerzeugung aus Klär-, Deponie und Grubengas. Wissenschaftlicher Bericht. – Stuttgart (ZSW): 98 S.
- Seidler, C., Haase, H., Blechinger, K., Kändler, M. u. Kamenz, J. (2013): Einfluss der Solarpaneele auf die Vegetationsentwicklung am Beispiel der Deponie Bautzen-Nadelwitz. – URL: http://cwh-ing.de/fileadmin/user_upload/uploads/2013/06/Seidler-et-al.-2013.pdf. (01.06.2018)
- Seiler, A. (2001): Ecological effects of roads. A review. – Uppsala (Department of Conservation Biology, SLU – Introductory Research Essay): 40 S.
- Settele, J., Feldmann, R. u. Reinhardt, R. (2000): Die Tagfalter Deutschlands. – Stuttgart (Ulmer): 452 S.
- Settele, J., Steiner, R., Reinhardt, R., Feldmann, R. u. Hermann, G. (2015): Schmetterlinge. Die Tagfalter Deutschlands. 3. Aufl. – Stuttgart Hohenheim (Ulmer): 256 S.
- StMLU – Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (2003): Eingriffsregelung in der Bauleitplanung. Bauen im Einklang mit Natur und Landschaft. Ein Leitfaden (ergänzte Fassung). 2. Aufl. – München (StMLU): 44 S.
- Stoefer, M. u. von der Burg, N. (2012): Biologisches Monitoring in den Solarparks Senftenberg II und III. Berichte 2011 und 2012. – unveröffentlicht.
- Stoefer, M., von der Burg, N. u. Deutschmann, H. (2013): Biologisches Monitoring in den Solarparks Senftenberg II und III. Bericht 2013. – unveröffentlicht.
- Stoefer, M., von der Burg, N., Deutschmann, H. u. Raden, F. (2014): Biologisches Monitoring in den Solarparks Senftenberg II und III. Bericht 2014. – unveröffentlicht.
- Stottele, T. (1995): Vegetation und Flora am Straßennetz Westdeutschlands: Standorte, Naturschutzwert, Pflege. – Göttingen (Georg August Universität – Dissertation): 450 S.
- Tautenhahn, K., Jurkschat, M., Gedes, K. u. Rebitzer, J. (2017): Beweidung von Photovoltaik-Anlagen mit Schafen. Anforderungen an die Bauweise der Anlage und die Haltung der Schafe, die Vertragsgestaltung sowie die Vergütung. – Freising-Weihenstephan (LfL): 39 S.
- Teggars-Junge, S. (1999): Schattendasein und Flächenversiegelung durch Photovoltaikanlagen? – In: OTTI Technologie-Kolleg (Hrsg.): 14. Symposium Photovoltaische Solarenergie. – 262-269.
- Tietz, A. (2018): Inanspruchnahme von Landwirtschaftsfläche durch Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen im Jahr 2017. – Thünen Working Paper 93.

- Tröltzsch, P. u. Neuling, E. (2013): Die Brutvögel großflächiger Photovoltaikanlagen in Brandenburg. – *Vogelwelt* 134: 155-179.
- Turney, D. u. Fthenakis, V. (2011): Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. – *Renew Sust Energy Rev* 15: 3261-3270.
- Uldrijan, D., Chovancova, S. u. Winkler, J. (2015): Regulation of vegetation on lands with photovoltaic power plants. – In: Polák, O., Cerkal, R., Březinová Belcredi, N.: *Proceedings of International PhD Students Conference*. – Brno (Mendel University): 88-92.
- UVS u. NABU (2005): Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Vereinbarung zwischen Unternehmensvereinigung Solarwirtschaft (UVS) und Naturschutzbund Deutschland - NABU. – URL: <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/solarenergie/nabu-kriterien-solarparks.pdf>. (01.06.2018)
- Vandeveld, J.-C., Bouhours, A., Julien, J.-F., Couvet, D. u. Kerbiriou, C. (2014): Activity of European common bats along railway verges. – *Ecol Eng* 64: 49-56.
- Vermeulen, H. J. W. (1994): Corridor function of a road verge for dispersal of stenotopic heathland ground beetles carabidae. – *Biol Conserv* 69 (3): 339-349.
- Vermeulen, H. J. W. u. Opdam, P. (1995): Effectiveness of roadside verges as dispersal corridors for small ground-dwelling animals: a simulation study. – *Landsc Urban Plan* 31: 233-248.
- Vespalcova, T., Chovancova, S., Winkler, J. (2015): Evaluation of vegetation on lands with photovoltaic power plants. – In: Polák, O., Cerkal, R., Březinová Belcredi, N.: *Proceedings of International PhD Students Conference*. – Brno (Mendel University): 93-98.
- Visser, E. (2016): The impact of South Africa's largest photovoltaic solar energy facility on birds in the Northern Cape, South Africa. – Rondebosch (Percy FitzPatrick Institute of African Ornithology, University of Cape Town – Dissertation): 56 S.
- Wagegg, J. u. Trumpp, S. (2015): Freiflächen-Solaranlagen und Naturschutz – Eingriff oder Verbesserung im Vergleich zur Landwirtschaft. – *NuR* 37: 815-821.
- Wagner, S. (2013): Photovoltaik und Biomasse - Status quo, Standortsteuerung und Perspektiven aus der Sicht von Landesplanung und -entwicklung. – In: Kufeld, W. (Hrsg.): *Klimawandel und Nutzung von regenerativen Energien als Herausforderung für die Raumordnung*. – *Arbeitsberichte der ARL* 7: 50-77.

- Waldmann, P. u. Bhandari, R. (2014): Vergleichende Analyse der technisch-wirtschaftlichen Bedingungen von PV-Anlagen Mit Süd- und Ost-West-Ausrichtung. – Z Energiewirtsch 38 (1): 27-36.
- Walz, U. (2013): Landschaftsstrukturmaße und Indikatorensysteme zur Erfassung und Bewertung des Landschaftswandels und seiner Umweltauswirkungen unter besonderer Berücksichtigung der biologischen Vielfalt. – Rostock (Universität Rostock – Habilitation): 259 S.
- Walz, U., Koldrack, N. u. Bill, R. (2014): Flächeninanspruchnahme für erneuerbare Energien in Deutschland – Datengrundlage und erste Ergebnisse. – In: Meinel, G., Schumacher, U. u. Behnisch, M. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring VI. Innenentwicklung - Prognose – Datenschutz. – Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung: 45-53.
- Woithon, A. u. Schmieder, K. (2004): Bruthabitatmodellierung für den Drosselrohrsänger (*Acrocephalus arundinaceus* L.) als Bestandteil eines integrativen Managementsystems für Seeufer. – Limnologica 34: 132-139.

Gesetze und Verordnungen

- Baugesetzbuch (BauGB) vom 03.11.2017, BGBl. I S. 3634.
- Bundesfernstraßengesetz (FStrG) vom 28.06.2007, zuletzt geändert am 14.08.2017, BGBl. I S. 3122.
- Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017) vom 21.07.2014, zuletzt geändert am 21.06.2018, BGBl. I S. 862.
- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) vom 29.07.2009, zuletzt geändert am 15.09.2017, BGBl. I S. 3434.
- Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO) vom 21.11.2017, BGBl. I S. 3786.

Anhang

Anhang 1: Anzahl der Erstfänge (EF; entspricht Individuenzahl) und Wiederfänge (WF; Mehrfachzählungen möglich) auf den Untersuchungsflächen.

Art (wiss.)	BF1		BF2		GL1		RU		S1		S2		S3		Summe
	EF	WF	EF	WF	EF	WF	EF	WF	EF	WF	EF	WF	EF	WF	EF
<i>Aglais io</i>	18		1		8		6				2		1		36
<i>Aglais urticae</i>	3	4	4						1			1			8
<i>Anthocharis cardamines</i>		1			8	2	1								9
<i>Aphantopus hyperantus</i>	40	16	63	54	85	31	34	16	5	3	19	29	12	12	258
<i>Araschnia levana f. levana / prorsa</i>	1				17		2								20
<i>Aricia agestis / artaxerxes</i>	20	7	5	2	2					2	1		1		29
<i>Celastrina argiolus</i>					2		1								3
<i>Coenonympha pamphilus</i>	59	43	19	21	97	118			2	2	1	2			178
<i>Gonepteryx rhamni</i>	1		2		1		3				1		10		18
<i>Lycaena phlaeas</i>	1				3	1									4
<i>Maniola jurtina</i>	110	133	11	11	25	26	9	9			7	4	3	3	165
<i>Pararge aegeria</i>	7		2		4				2				1		16
<i>Pieris brassicae</i>	2		1		2										5
<i>Pieris napi</i>	10	4	4	1	31	11	1				2		1	1	49
<i>Pieris rapae</i>	12	1	3		7	1	1		1		3		1		28
<i>Polygonia c-album f. hutchinsoni</i>	1				2		2								5
<i>Polyommatus icarus</i>	10	2			12	1			1		1				24
<i>Vanessa atalanta</i>	4		3		11					1	1		1		20
<i>Vanessa cardui</i>				1	1		1								3
Summe	299	211	119	89	318	191	61	25	12	8	38	36	31	16	

Anhang 3: Bewertung des Raumwiderstands der untersuchten PV-FFA (besondere Qualitäten sind mit einem + gekennzeichnet).

Anlagen-ID	Betriebsflächen-Teil	Ort	Anzahl Betriebsflächen	Flächengröße BF (ha)	Flächengröße Anlage (ha)	Betriebsfläche					50m-Umgebung		500m-Umgebung	
						Biotopstruktur	Nutzbare Freifläche	Übergangsbereiche	Streulichteinfall	Besondere Lebensraumausstattung	Biotopstruktur	Durchlässigkeit zwischen BF und Umgebung	Landschaftsausprägung	Biotopstruktur
10		Ottendorf-Okrilla	1		8,15		+		+		+		gemischt	
23		Gerdshagen	1		10,33		+		+	+		+	Intensiv genutzte Flächen	
24		Gerdshagen	1		8,62		+			+			Intensiv genutzte Flächen	
25		Gerdshagen	1		4,92		+	+	+				Intensiv genutzte Flächen	
26		Wittstock	1		2,56		+		+		+		gemischt	+
30		Potsdam	1		10,78	+	+	+			+		Intensiv genutzte Flächen	
35		Polch	1		15,85	+			+				gemischt	
73		Ronneburg	1		16,12	+						+	gemischt	
82		Oranienbaum-Wörlitz	1		18,54						+		gemischt	+
111		Cremlingen	1		5,81								gemischt	
135		Walldorf	1		4,03		+	+		+			Intensiv genutzte Flächen	
175		Anzing	1		2,85							+	Intensiv genutzte Flächen	
177		Berglern	1		2,75	+	+	+		+		+	Intensiv genutzte Flächen	
199		Plattling	1		1,75		+		+				gemischt	
200		Plattling	1		2,03		+						Intensiv genutzte Flächen	

Anlagen-ID	Betriebsflächen-Teil	Ort	Anzahl Betriebsflächen	Flächengröße BF (ha)	Flächengröße Anlage (ha)	Betriebsfläche					50m-Umgebung		500m-Umgebung	
						Biotopstruktur	Nutzbare Freifläche	Übergangsbereiche	Streulichteinfall	Besondere Lebensraumausstattung	Biotopstruktur	Durchlässigkeit zwischen BF und Umgebung	Landschaftsausprägung	Biotopstruktur
220		Niederwinkling	1		1,27		+						Intensiv genutzte Flächen	
222		Barbing	1		4,20				+	+			Intensiv genutzte Flächen	
225		Schwandorf	1		3,79			+	+				gemischt	
229		Selbitz	1		3,89							+	gemischt	
234		Ebermannsdorf	1		4,40		+		+				gemischt	
235		Lupburg	1		3,74	+	+	+		+			Gehölze	
237		Bad Abbach	1		2,99								gemischt	
238		Hausen	1		4,41	+	+	+		+	+		Intensiv genutzte Flächen	
241		Kirchdorf	1		2,69		+	+			+	+	gemischt	
243		Mainburg	1		4,13				+	+	+		gemischt	
244		Mainburg	1		3,03	+			+	+	+		gemischt	
245		Pfaffenhofen	1		2,26				+				Intensiv genutzte Flächen	
248		Denkendorf	1		3,62		+		+		+	+	gemischt	
251	a	Heilsbronn	2	4,06	5,63		+		+				Intensiv genutzte Flächen	
251	b			1,57		+		+	+	+				
252	a	Petersaurach	4	1,49	6,27								gemischt	
252	b			1,42		+	+	+		+	+			

Anlagen-ID	Betriebsflächen-Teil	Ort	Anzahl Betriebsflächen	Flächengröße BF (ha)	Flächengröße Anlage (ha)	Betriebsfläche					50m-Umgebung		500m-Umgebung	
						Biotopstruktur	Nutzbare Freifläche	Übergangsbereiche	Streulichteinfall	Besondere Lebensraumausstattung	Biotopstruktur	Durchlässigkeit zwischen BF und Umgebung	Landschaftsausprägung	Biotopstruktur
252	c			0,99										
252	d			2,38		+		+		+				
271		Helmstadt	1		9,50					+		+	Intensiv genutzte Flächen	
278		Wonfurt	1		3,34		+		+				Intensiv genutzte Flächen	
291		Neudrossenfeld	1		5,53	+	+				+		Intensiv genutzte Flächen	
299		Schwaighausen	1		6,85	+	+	+		+			Intensiv genutzte Flächen	
308		Kleinlangheim	1		0,95		+						gemischt	
311		Gremsdorf	1		1,40		+				+		gemischt	
313		Erlangen	1		2,69		+			+			Gehölze	
349	a	Neuenhagen	4	7,33	10,41		+						gemischt	+
349	b			1,28			+							
349	c			0,38			+	+						
349	d			1,43			+							
351		Meschede	1		8,49		+		+				gemischt	
356	a	Lauda-Königshofen	2	1,72	3,13		+						Gehölze	
356	b			1,41			+							
358	a	Thierstein	2	0,89	2,06		+						gemischt	

Anlagen-ID	Betriebsflächen-Teil	Ort	Anzahl Betriebsflächen	Flächengröße BF (ha)	Flächengröße Anlage (ha)	Betriebsfläche					50m-Umgebung		500m-Umgebung	
						Biotopstruktur	Nutzbare Freifläche	Übergangsbereiche	Streulichteinfall	Besondere Lebensraumausstattung	Biotopstruktur	Durchlässigkeit zwischen BF und Umgebung	Landschaftsausprägung	Biotopstruktur
358	b			1,17			+							
362	a	Stadelhofen	2	1,29	2,99							+	gemischt	
362	b			1,70										
363	a	Cremlingen	2	4,08	6,35				+				gemischt	
363	b			2,26					+					
364	a	Feulersdorf	3	2,08	7,71		+				+		gemischt	
364	b			2,31		+	+							
364	c			3,32			+							
373	a	Kitzingen	2	18,16	23,97		+			+			Intensiv genutzte Flächen	
373	b			5,81			+							
375	a	Lichtenau	2	3,12	4,21		+		+	+	+		gemischt	
375	b			1,09			+		+					
391	a	Weismain-Fesselsdorf	2	4,30	14,40						+		gemischt	
391	b			10,11										
393	a	Potsdam	2	4,96	8,19		+						Intensiv genutzte Flächen	
393	b			3,23			+							
396	a	Ergolding	2	1,28	4,25		+	+	+				gemischt	

Anlagen-ID	Betriebsflächen-Teil	Ort	Anzahl Betriebsflächen	Flächengröße BF (ha)	Flächengröße Anlage (ha)	Betriebsfläche					50m-Umgebung		500m-Umgebung	
						Biotopstruktur	Nutzbare Freifläche	Übergangsbereiche	Streulichteinfall	Besondere Lebensraumausstattung	Biotopstruktur	Durchlässigkeit zwischen BF und Umgebung	Landschaftsausprägung	Biotopstruktur
396	b			2,97					+					
401	a	Meuro	2	1,36	2,37	+	+						gemischt	
401	b			1,01			+	+						+

Anlagen-ID	Ort	Gesamtfläche Umgebung (ha)	Szenario (o = ohne, m = mit PV)	Umgebungs- ausprägung	Ausgangsqualität der Umgebung	10 m		20 m		50 m		100 m		250 m		Strukturelle Anbindung an StrBG	Funktionale Anbindung an StrBG
						Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN		
			m	gem			+									+	
234	Ebermannsdorf	82	o	gem													
			m	gem													
235	Lupburg	83	o	bar													
			m	bar			+		+		+		+		+		
237	Bad Abbach	71	o	bar													
			m	bar													+
238	Hausen	86	o	mat			+		+								
			m	mat			+		+								+
241	Kirchdorf	65	o	mat	+	+			+			+			+		
			m	mat	+	+			+			+			+		+
243	Mainburg	86	o	gem			+		+								
			m	gem	+		+		+								+
244	Mainburg	69	o	mat													
			m	mat													+
245	Pfaffenhofen	75	o	mat			+										
			m	mat													
248	Denkendorf	82	o	mat										+			

Anlagen-ID	Ort	Gesamtfläche Umgebung (ha)	Szenario (o = ohne, m = mit PV)	Umgebungs- ausprägung	Ausgangsqualität der Umgebung	10 m		20 m		50 m		100 m		250 m		Strukturelle Anbindung an StrBG	Funktionale Anbindung an StrBG
						Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN		
			m	mat		+		+		+				+		+	
251	Heilsbronn	103	o	mat													
			m	mat			+		+								
252	Petersaurach	113	o	mat													
			m	mat		+		+		+		+		+			
271	Helmstadt	132	o	mat													
			m	mat		+		+		+		+		+			+
278	Wonfurt	77	o	mat													
			m	mat													
291	Neudrossenfeld	96	o	mat			+					+		+			
			m	mat			+					+		+		+	
299	Schwaighausen	106	o	mat										+			
			m	mat		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
308	Kleinlangheim	64	o	mat								+		+			
			m	mat								+		+			
311	Gremsdorf	66	o	mat								+		+			
			m	mat								+		+		+	
313	Erlangen	69	o	bar								+		+			

Anlagen-ID	Ort	Gesamtfläche Umgebung (ha)	Szenario (o = ohne, m = mit PV)	Umgebungs- ausprägung	Ausgangsqualität der Umgebung	10 m		20 m		50 m		100 m		250 m		Strukturelle Anbindung an StrBG	Funktionale Anbindung an StrBG
						Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN	Potenziell hohe Durchgängigkeit	Qualität der LN		
			m	bar													
391	Weismain- Fesselsdorf	148	o	mat													
			m	mat			+										+
396	Ergolding	106	o	mat													
			m	mat													
401	Meuro	71	o	bar			+		+								
			m	bar													+
23/25	Gerdshagen	191	o	mat										+			
			m	mat			+		+					+		+	
30/ 393	Potsdam	156	o	mat			+		+		+						
			m	mat	+		+		+		+					+	