

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

**Förderung der Biodiversität von
Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf zuvor
landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland**

Bachelorarbeit

Studiengang: Umwelttechnik (B.Sc.)

Vorgelegt von:	Janine Gehrke
█	█
Ort	Hamburg
1. Gutachter:in:	Prof. Dr. Carolin Floeter (HAW Hamburg)
2. Gutachter:in:	Herr Armin Scherl (Enerparc AG)
vorgelegt am:	28.02.2023

Danksagung

An dieser Stelle möchte mich bei Frau Dr. Carolin Floeter, den Mitarbeiter:innen der Enerparc AG, Herrn Armin Scherl, Frau Maja Israel, meiner Familie und meinem Partner bedanken. Diese Menschen haben mich, jeder in seiner Art und Weise und entsprechend der Möglichkeiten, während meines Studiums und der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt und gefördert.

Zuallererst möchte ich mich bei Frau Dr. Carolin Floeter für ihre fachliche Betreuung, Unterstützung und Hilfsbereitschaft bedanken. Nicht nur fachlich, auch menschlich war Frau Floeter trotz aller Schwierigkeiten, wie COVID 19, immer für ihre Student:innen da.

Durch die Arbeit bei der Enerparc AG, hier insbesondere mit meinem Zweitbetreuer Herrn Armin Scherl, erhielt ich wertvolle Tipps im technischen Bereich. Der Einblick in die praktische Arbeit, die Expertise von Frau Maja Israel und die Gespräche mit allen Expert:innen waren eine große Bereicherung für mein Studium und meine Bachelorarbeit.

Nicht zuletzt möchte ich die bedingungslose Unterstützung durch meinen Partner und meine Eltern erwähnen. Ich hatte mit ihnen zu jeder Zeit Ansprechpartner:innen, die mir zuhörten und halfen. Mein Partner war während des gesamten Studiums immer hilfsbereit, eine Stütze in stressigen Zeiten und mein größter Unterstützer.

Zusammenfassung

CO₂-Neutralität, in Hinblick auf Energie, ist ein vielfach verwendeter und wichtiger Begriff in der öffentlichen Diskussion. Photovoltaikanlagen können diese CO₂-neutrale Energie liefern. Seltener wird sich mit der Naturverträglichkeit von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auseinandergesetzt. Es findet ein globaler Biodiversitätsverlust statt, welcher durch erneuerbare Energien und die Umwandlung von Flächen gemindert werden kann. In Deutschland wird etwas mehr als die Hälfte der Fläche landwirtschaftlich genutzt. Auf 74% dieser landwirtschaftlichen Flächen werden Energiepflanzen und Futtermittel angebaut. Ehemalige Grünlandflächen wurden im Laufe der Jahre für den Anbau von Energiepflanzen umgebrochen und somit in ihrer Biotopwertigkeit gemindert. Durch den Bau von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf eben diesen Flächen können extensive Grünlandstandorte wiederhergestellt werden. Sie sind gute Kohlenstoffsinken und beherbergen eine hohe Artenvielfalt. Durch die Umwandlung von landwirtschaftlich genutzten Flächen in extensives Grünland, kann der Boden seine Filter-, Puffer- und Speicherfunktionen wiedererlangen und wird nicht weiter mit Pflanzenschutz- und Düngemitteln belastet. Weitere Folgen dessen sind, dass auch das Grundwasser nicht belastet wird und verschiedene Tierarten in der auftretenden Vegetation einen passenden Lebensraum finden. Tiere, wie Insekten, Reptilien, Amphibien und Vögel nutzen Freiflächen-Photovoltaikanlagen unter anderem als Nahrungs- und Bruthabitat. Durch die vielen voll-, halbbeschatteten und besonnten Bereiche, gelangen auch Tiere und Pflanzen auf die Fläche, welche nicht typisch für extensive Grünlandflächen sind. Unter diesen sind einige Arten, die als gefährdet eingestuft werden. Um diese extensiven Grünlandflächen zu erhalten, müssen verschiedene Aspekte während des Lebenszyklus der Freiflächen-Photovoltaikanlage beachtet werden. Die durchzuführenden Maßnahmen für zukünftig zu bauende Freiflächen-Photovoltaikanlagen werden im Ergebniskapitel mithilfe einer Literaturrecherche ermittelt und mit Informationen aus Expert:innen-Gesprächen und von der Enerparc AG ergänzt. Die Standortwahl spielt eine wichtige Rolle, da nicht jeder Standort für eine Freiflächen-Photovoltaikanlage geeignet ist. Während der Planung muss überlegt werden, welche Arten zu fördern sind und voraussichtlich auf die Anlage kommen können. Der Reihenabstand spielt dabei eine entscheidende Rolle. Während der Errichtung, ist auf den Bodenschutz zu achten, um die Funktionen des Bodens nicht zu beeinträchtigen. Bodeneingriffe und -bearbeitungen sollten so gering wie möglich sein und störungsarme Fahrzeuge eingesetzt werden. Auch auf die Brut- und Wanderzeiten von Tieren muss Rücksicht genommen werden. Bisherige Habitatstrukturen sollten genutzt und neue angelegt werden. Mögliche Strukturen sind Totholzhaufen, Steinschüttungen und Blühstreifen. Während des Betriebs ist ein extensives Pflegemanagement durchzuführen, was zu einer Aushagerung der Fläche führt. Hierfür sind eine Mahd und/oder eine Schafbeweidung möglich. Die Durchführung und Häufigkeit ist dabei ebenfalls abhängig von den Standortbedingungen. Um die auftretende Biodiversität zu bewerten, müssen während des Betriebs Monitorings durchgeführt werden. Diese fassen die Entwicklung der Artenvielfalt auf der Fläche zusammen und schätzen ein, ob und inwieweit die Pflegemaßnahmen und Strukturen zu einer Förderung der Biodiversität beitragen. Die Durchführung des Monitorings ist abhängig von der jeweiligen Tierart. Der Rückbau der Anlage muss, wie die Errichtung, naturschonend durchgeführt werden. Mithilfe der Steigerung der Biodiversität auf den Freiflächen-

Photovoltaikanlagen, kann die Akzeptanz dieser Form der Energieerzeugung gesteigert werden. Die Bürger:innen in den Kommunen müssen mehr in die Projekte eingebunden werden. Wandertage oder Exkursionen für Schüler:innen und Student:innen oder Führungen für die breite Öffentlichkeit können das Image dieser Anlagen steigern. Ein Kostenvergleich und weitere technische Möglichkeiten, werden am Ende der Bachelorarbeit betrachtet. Die generelle Akzeptanz in der Bevölkerung kann durch die Förderung der Biodiversität von Freiflächen-Photovoltaikanlagen entstehen und somit die Energiewende vorangetrieben und der Artenverlust gemindert werden.

Abstract

Carbon neutrality, with reference to energy, is an important term and often used in the public debate. Photovoltaic systems can provide this kind of energy. The discussion about the nature-compatibility of this kind of energy is less common. By using this kind of renewable energy and alteration of the area, the global loss of biodiversity can be lessened. More than half of Germany's area is used for agriculture. 74% of these agriculture areas are used for cultivation of energy crops and fodder. Former grassland areas were changed into agriculture areas for the cultivation of energy crops. In consequence of that change of usage the habitats value decreased. By constructing a photovoltaic system, grassland can be restored. Grassland areas are carbon sinks and have a high biodiversity. Due to the change of agriculture land into grassland, the soil can regain its function as a filter, a buffer and reservoir. In addition, fertilizer and pesticides will no longer harm the soil. The groundwater will no longer be polluted, and various animals find a habitat in consequence of the vegetation. Grassland is used as a feeding and breeding habitat by animals, like insects, reptiles, amphibians and birds. Even animals, which are not common in grassland areas, use the solar park as a habitat, due to the fully shaded, half shaded and sunny areas. Even though they are not common, a few can be listed as endangered. For archiving grassland areas, various aspects of the entire life cycle of the photovoltaic system must be taken account of. The measures, which must be performed, for soon to be built solar parks, have been determined by literature research. Additional information is added with the help of expert discussions and the expertise of Enerparc AG. The choice of location is particularly important, because not every location is suitable for a photovoltaic system. While planning the solar park, species, which might use the area as a habitat and can be increased, must be considered. In that matter, row spacing plays an important role. During construction, the soil must not be harmed. For instance, vehicles must be light in weight. Breeding times and migrations seasons must be considered. Already existing habitat structures should be used, and new ones be added. Habitat structures might be deadwood piles, ripraps or wildflower strips. During operation, the area must be managed extensively, which can lead to a nutrient removal. This is done by mowing or sheep grazing. The implementation and frequency also depend on the conditions regarding the location. Monitorings must be implemented to evaluate the biodiversity. These monitorings outline the development and estimate how and if the maintenance measures and habitat structures have a positive impact on the biodiversity. The monitorings implementation depends on the observed animal species. During deconstruction, the nature must be protected, too. Social acceptance can be enhanced due to an increasement of biodiversity of photovoltaic parks. Citizens should be included more in the entire construction process and during operation. Filed trips, excursions and tours for students and the public can increase the image of photovoltaic systems. A comparison of costs and other technical possibilities are looked at, at the end of this bachelor thesis. An acceptance in general can be achieved by increasing the biodiversity of photovoltaic systems. In consequence the energy transition can be expedited and the loss of biodiversity decreased.

I Inhaltsverzeichnis

Danksagung	II
Zusammenfassung	III
Abstract	V
I Inhaltsverzeichnis	VI
II Abkürzungsverzeichnis	VIII
III Abbildungsverzeichnis	X
IV Tabellenverzeichnis	XII
1. Einleitung	7
1.1 Ausgangssituation.....	7
1.2 Grundlagen	9
1.2.1 Erneuerbare Energien	9
1.2.2 Photovoltaik.....	11
1.2.2.1 Aufbau und Funktion	12
1.2.2.2 Typen.....	14
1.2.2.3 Politik	18
1.2.3 Biodiversität	19
1.2.3.1 Rückgang.....	19
1.2.3.2 Erfassung.....	21
1.2.3.3 Politik	23
1.2.4 Folgen landwirtschaftlich genutzter Flächen.....	25
1.2.4.1 Bodenkontamination	25
1.2.4.2 Bodenverdichtung	26
1.2.4.3 Bodenerosionen durch Wind und Wasser.....	26
1.2.4.4 Artenrückgang	27
1.2.5 Extensive Grünlandstandorte	28
1.2.5.1 Abiotische Faktoren	29
1.2.5.2 Biotische Faktoren	31
1.3 Aktueller Forschungsstand	35
2 Material und Methoden.....	37
2.1 Literaturrecherche.....	37
2.2 Expert:innen-Gespräche	41
2.2.1 Auswahl Interviewteilnehmer:innen	41
2.2.2 Fragebogen	43
2.2.3 Methodik der Auswertung	44
2.3 Expertise Enerparc AG	45
3 Ergebnisse	47
3.1 Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen	47
3.1.1 Landschaftsbild.....	47

3.1.2	Abiotische Umweltfaktoren	48
3.1.2.1	Boden	49
3.1.2.2	Wasser.....	51
3.1.2.3	Klima.....	52
3.1.3	Vegetation	53
3.1.4	Fauna.....	55
3.1.4.1	Insekten	55
3.1.4.2	Reptilien und Amphibien	57
3.1.4.3	Avifauna.....	59
3.1.4.4	Säugetiere.....	61
3.2	Förderung der Biodiversität auf zukünftigen Anlagen	62
3.2.1	Standortwahl.....	62
3.2.2	Planung und Bauweise	65
3.2.2.1	Integration in das Landschaftsbild.....	66
3.2.2.2	Anlagenplanung.....	68
3.2.3	Errichtung	76
3.2.3.1	Bodenschutz	77
3.2.3.2	Blühstreifenanlegung	81
3.2.4	Betrieb	82
3.2.4.1	Pflegemanagement	83
3.2.4.2	Reinigung und Wartung	93
3.2.5	Monitoring.....	94
3.2.5.1	Identifikation der zu betrachtenden Gesellschaften und Arten	95
3.2.5.2	Durchführung	95
3.2.6	Marketing.....	100
3.2.7	Rückbau	102
4	Diskussion	105
4.1	Vergleich der Ergebnisse aus den Expert:innen-Gesprächen	105
4.2	Flächennutzung in Konkurrenz zur Landwirtschaft	106
4.3	Potentiale hinsichtlich des Klimawandels.....	108
4.4	Kosten.....	110
4.5	Technische Möglichkeiten.....	111
5	Schlussfolgerung und Ausblick	114
	Literaturverzeichnis.....	117
	Eidesstattliche Erklärung	VII
	Anhang	VIII

II Abkürzungsverzeichnis

BfJ: Bundesamt für Justiz

BfN: Bundesamt für Naturschutz

BMEL: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

BMJ: Bundesministerium der Justiz

BMUV: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

BMWK: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

BMZ: Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung

rne: Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V.

BUND: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.

DDA: Dachverbandes Deutscher Avifaunisten

EEG: Erneuerbare-Energien-Gesetz

FF-PVA: Freiflächen-Photovoltaikanlage/n

IPCC: intergovernmental panel on climate change

KNE: Kompetenzzentrum für Naturschutz und Energiewende

LAG VSW: Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten

LANUV: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

LLUR SH: Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein

MEKUN SH: Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein

MELUND: Ministerium für Energie, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein

MIKWS: Ministerium für Inneres, ländliche Räume, Integration und Gleichstellung Schleswig-Holstein

NABU: Naturschutzbund Deutschland e.V.

NLWKN: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

PECBMS: Pan-European Common Bird Monitoring Scheme

PV: Photovoltaik

UBA: Umweltbundesamt

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung von Fleischproduktion, -export und -konsum; Datengrundlage: (Ahrens, 2022; Ahrens, 2022; Ahrens, 2022; Ahrens, 2022) eigene Darstellung.....	8
Abbildung 2: Stromeinspeisung in Deutschland nach Energieträgern, Datengrundlage: (Statistisches Bundesamt, 2022) eigene Darstellung.....	10
Abbildung 3: Installierte Photovoltaik-Leistung in Deutschland; Stand 2021; Datengrundlage: (Strom-Report, 2022) eigene Darstellung.....	11
Abbildung 4: Unterschiede von monofazialen und bifazialen Zell- und Modulstrukturen (Guo et al., 2013).....	14
Abbildung 5: Vergleich zwischen bifazialen und monofazialen Modulen auf der Modulunterseite (links) und des auf den Boden aufkommenden Lichtes (rechts) (Enerparc AG).....	15
Abbildung 6: Stromertrag in Abhängigkeit zur Tageszeit bei verschiedenen PV- Modulen und Aufständungen (Rodrigues, 2019).....	15
Abbildung 7: Aufbau einer klassischen CdTe-Dünnschichtzelle (Mertens, 2020).....	16
Abbildung 8: Sonneneinstrahlung auf die Dünnschichtzelle (TubeSolar AG, 2020).....	17
Abbildung 9: Bodenhorizonte; Datengrundlage: (UBA, 2018) eigene Darstellung.....	29
Abbildung 10: Humusbildung; Eigene Darstellung.....	30
Abbildung 11: Organigramm der Enerparc AG in Teilen dargestellt; Datengrundlage: (Enerparc AG) eigene Darstellung.....	46
Abbildung 12: Berechnung des benötigten Reihenabstands für besonnte Streifen in Süd-Ausrichtung; Eigene Darstellung.....	69
Abbildung 13: Wassermanagementsystem (Fraunhofer ISE, kein Datum).....	72
Abbildung 14: Potenzielle Bodenempfindlichkeit in Abhängigkeit der Bodenart (Reinke et al., 2021; Murer, 2009).....	78
Abbildung 15: Gefährdungspotential verschiedener Gerätearten (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021).....	79
Abbildung 16: Verschiedene Mahdarten; links oben: Beetmahd, rechts oben: Kreismahd von außen nach innen, links unten: streifenförmig von innen nach außen, Mitte unten: Kreismahd von innen nach außen, rechts unten: streifenförmig von einer Seite zur anderen; In Anlehnung an: (Prochnow & Meierhöfer, 2003).....	88

Abbildung 17: Modulunterkantenschutz; Quelle: Enerparc AG.....	92
Abbildung 18: Vergleich des Modulertrags im Tagesverlauf von festen Modulen in Südausrichtung und den Modulen von TubeSolar (TubeSolar AG, 2020).....	112
Abbildung 19: Satellitenbild einer Freiflächen-Photovoltaikanlage der Enerparc AG (Enerparc AG).....	112
Abbildung 20: Berechnung des benötigten Reihenabstands für besonnte Streifen in Süd-Ausrichtung und mit Steigung; Eigene Darstellung.....	XXX
Abbildung 21: Berechnung des beschatteten Bereichs bei Steigung; Eigene Darstellung.....	XXXI
Abbildung 22: Berechnung des besonnten Bereichs unter dem Modul bei Steigung; Eigene Darstellung.....	XXXII
Abbildung 23: Berechnung des benötigten Reihenabstands für besonnte Streifen in Süd-Ausrichtung und mit Gefälle; Eigene Darstellung.....	XXXIV
Abbildung 24: Berechnung des Abstands von der Moduloberkante bis zum Boden (a+i); Eigene Darstellung.....	XXXV
Abbildung 25: Berechnung des beschatteten Bereichs bei Gefälle; Eigene Darstellung.....	XXXV
Abbildung 26: Berechnung des besonnten Bereichs unter dem Modul bei Gefälle; Eigene Darstellung.....	XXXVI

IV Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung der verwendeten Datenbanken und Portale zu den Ergebniskapiteln	37
Tabelle 2: Verwendete Stichwörter zur Literaturrecherche der einzelnen Ergebniskapitel	39
Tabelle 3: Institutionen und Arbeitsbereiche der Expert:innen.....	42
Tabelle 4: Fragebogenzuweisung je Interviewteilnehmende:r	44
Tabelle 5: Profitierende Artengruppen einer Umwandlung von Intensivgrünland auf Löss zu extensiven Grünland; In Anlehnung an: (Godt et al., 2017).....	89
Tabelle 6: Potenzielle Bodenempfindlichkeit in Abhängigkeit der Bodenart; Quellen: (Reinke et al., 2021; VDLUFA, 2019)	XXIX

1. Einleitung

1.1 Ausgangssituation

In den letzten Jahren kam es zu einem verstärkten Rückgang der Biodiversität, welche hauptsächlich auf den Menschen zurückzuführen ist (Europäisches Parlament, 2021). Bedingt durch Landnutzungsänderungen, den Klimawandel, Umweltverschmutzungen und invasive Fremdarten, sind etwa 12,5%, also 1 Million, Tier- und Pflanzenarten vom Aussterben bedroht (Europäisches Parlament, 2021). In Europa sind es etwa 22,7% aller Arten (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2022). Der Weltklimarat, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), geht davon aus, dass der Verlust der Biodiversität, mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, die Lebensgrundlage und Ernährungssicherung bedrohen wird (IPCC, 2022). Die Convention on Biological Diversity (CBD) hat sich deshalb 2010 die Aichi-Biodiversitätsziele gesetzt, welche bis 2020 erreicht werden sollten (BMZ, 2022). Keines dieser 20 Ziele wurde jedoch vollständig erreicht (BMZ, 2022). Aufgrund dessen wurden nun bis 2030 20 Aktionsziele und bis 2050 vier langfristige Ziele entwickelt (BMZ, 2022). Doch jedes zehntel Grad Erhöhung der globalen Temperatur verstärkt direkt den Artenverlust (IPCC, 2022). Derzeit liegt der mittlere globale Anstieg der Oberflächentemperatur bei 1,2°C (UBA, 2022). Um das Ziel des Pariser Klimaabkommens zu erreichen, also die Erwärmung unter 1,5°C bis 2100 zu halten, müsste Deutschland bis 2027 klimaneutral werden (BMZ, 2022; Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2022). Dieses Ziel der Klimaneutralität, benötigt einen Verzicht auf fossile Energieträger und eine zusätzliche Umwandlung von Kohlenstoffquellen in Kohlenstoffsenken. Viele ehemalige Grünlandflächen in Deutschland, wurden häufig für die Landwirtschaft umgebrochen (UBA, 2022). Doch gerade diese Grünlandflächen dienen als Nahrungsgrundlage vieler Tierarten (UBA, 2022). Sie bieten außerdem Brut- und Rückzugsräume und gehören mit 52% des Artenbestandes Deutschlands zu den artenreichsten Biotopen Mitteleuropas (UBA, 2022). Durch die Intensivierung, Monotonisierung und Technisierung der Landwirtschaft, kommt es zu einem hohen Einsatz von schweren und großen Maschinen, einer engen Fruchtfolge und einem hohen Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln (UBA, 2022). Dies verdrängt in natürlichen Ökosystemen die natürliche, standortangepasste Vegetation und führt zu Umweltbelastungen, wie Eutrophierung, Verdichtung von Böden und Grundwasserbelastung (UBA, 2022; UBA, 2021). Der IPCC nimmt an, dass bei einer Bewahrung von 30% bis 50% an natürlichen Ökosystemen, mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, die Biodiversität geschützt wird und Ökosysteme widerstandsfähiger werden (IPCC, 2022). Deutschland hatte 2021 eine Fläche von 357.592 km², bei welcher 50,5% landwirtschaftlich genutzt wurde (UBA, 2021). Davon werden 60% für Futtermittel der Fleisch- und Milchproduktion und 14% für Energiepflanzen genutzt (BUND, NABU, Juli 2021). Doch die Fleischproduktion, der -import und -verbrauch sind in den letzten Jahren zurückgegangen, wie Abbildung 1 zeigt. Deutschland hat 2021 dabei etwa nur 19% mehr für den Eigenverbrauch genutzt, als exportiert wurde. Zudem sinkt der Pro-Kopf-Konsum von Fleisch in Deutschland stetig. Im Jahr 2021 lebten in Deutschland etwa 83,24 Millionen Menschen (Statista Research Department, 2022). Damit lag der Konsum bei etwa 4.578.200 t Fleisch. Im Jahr 2021 wurden

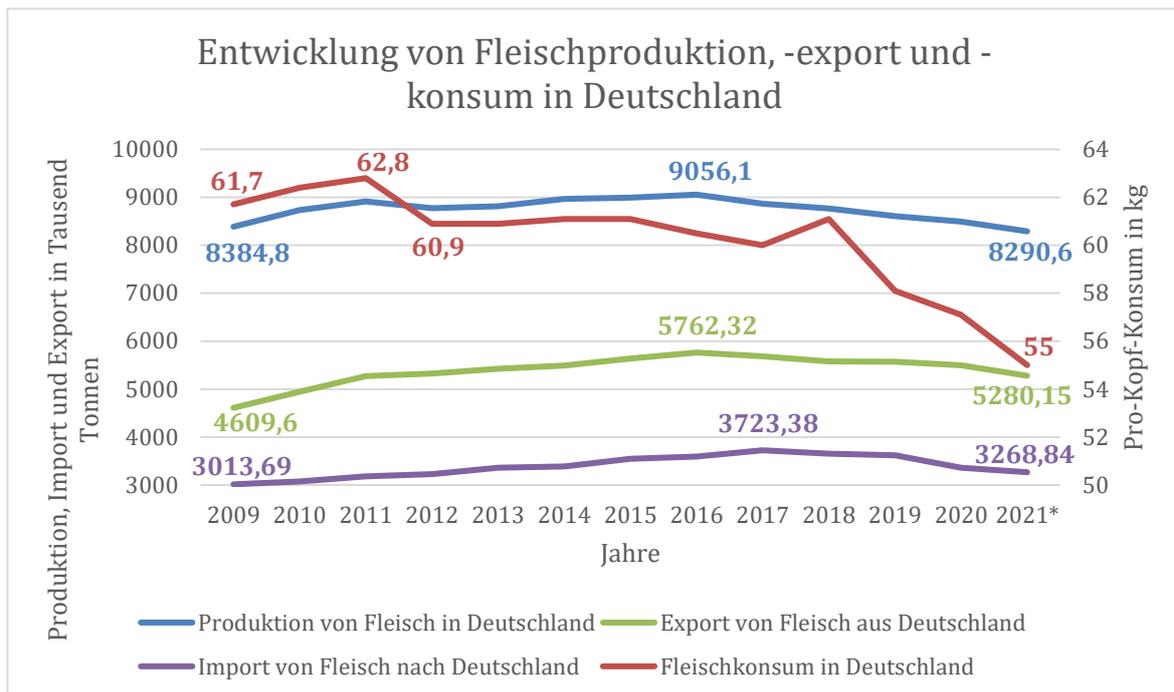


Abbildung 1: Entwicklung von Fleischproduktion, -export und -konsum; Datengrundlage: (Ahrens, 2022; Ahrens, 2022; Ahrens, 2022; Ahrens, 2022) eigene Darstellung

8.290.600 t Fleisch produziert, 3.268.840 t importiert und 5.280.15 t exportiert. Dies führt zu einem Bestand von 6.279.290 t Fleisch. Bei einem Verbrauch von 4.578.200 t verbleiben noch etwa 1.701.090 t Fleisch. Es wird nicht angegeben, wie viel Fleisch in Deutschland weggeschmissen wird. Jedoch zeigt diese Berechnung, dass mehr Fleisch vorhanden ist als verbraucht wird. Dies legt dar, dass in Zukunft mehr landwirtschaftliche Flächen in Deutschland für erneuerbare Energien freigegeben werden könnten. Für viele der 9.000 Biogasanlagen in Deutschland läuft bis 2030 die Festvergütung des erzeugten Stroms nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) aus (UBA, 2020). Die Flächeneffizienz von Photovoltaikanlagen ist um ein Vielfaches besser als die der Biomasse (UBA, 2022). Außerdem haben Photovoltaikanlagen weniger negative Auswirkungen auf die Umwelt (UBA, 2022). Damit wäre es sinnvoll, die für den Anbau von Energiepflanzen genutzten Flächen wieder in extensives Grünland umzuwandeln und gleichzeitig für Freiflächen-Photovoltaikanlagen (FF-PVA) zu nutzen (BUND, NABU, Juli 2021; UBA, 2021). Unter anderem sieht das EEG 2023 vor, dass bis zum Jahr 2030 80% des verbrauchten Stroms in Deutschland aus erneuerbaren Energien kommen soll und dabei bis zum Jahr 2040 ein PV-Ausbau von 400 GW_p stattfinden soll (BMWK, 2022; Wirth, 2022). Doch gerade der Ausbau von FF-PVA stößt auf lokalen Widerstand (acatech/Leopoldina/Akademieunion, 2022). Wichtige Faktoren, welche zu mehr Akzeptanz führen könnten, wären eine verstärkte Förderung der Biodiversität auf den FF-PVA und damit verbunden eine verbesserte Integration in das Landschaftsbild, eine umfassendere Aufklärung sowie Einbindung der betroffenen Gemeinden (Badelt et al., 2020; Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022).

In dieser Bachelorarbeit werden die Auswirkungen von FF-PVA auf die Biodiversität dargestellt und Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität auf PV-genutzten Flächen aufgezeigt. Ziel der Arbeit ist, einen Leitfaden für die Errichtung neuer FF-PVA zur Erhöhung der Biodiversität bereitzustellen. Hierfür werden bereits bestehende Leitfäden unter Berücksichtigung umfassender Literaturarbeit und Expert:innen-Interviews weiterentwickelt.

1.2 Grundlagen

Um feststellen zu können, welche Auswirkungen FF-PVA haben und welche Methoden zu einer Förderung der Biodiversität führen, müssen zunächst die Grundlagen erläutert werden. Die folgenden Kapitel beschäftigen sich generell mit den Erneuerbaren Energien und fokussieren sich daraufhin auf Photovoltaik (PV). Da nach dem Baugesetzbuch eine FF-PVA einen Eingriff in Natur und Landschaft darstellt, müssen Naturschutz- und Umweltbelange berücksichtigt werden (Engl et al., 2020). Deswegen wird sich im Kapitel 1.2.3 mit der Erfassung der Biodiversität, deren Rückgang sowie den umweltrechtlichen Grundlagen auseinandergesetzt. Da die naturschutzfachlichen Anforderungen unter anderem von der Wahl des Standorts abhängig sind, werden die Folgen landwirtschaftlich genutzter Flächen beschrieben, auf denen später FF-PVA stehen könnten. Unter Berücksichtigung verschiedener Aspekte, wie der Planung der Anlage sowie der Vorgehensweise während des Baus und des Pflegemanagements, können sich durch eine FF-PVA extensive Grünlandstandorte entwickeln. Die Wichtigkeit dieser Grünlandstandorte wird in Kapitel 1.2.5 beschrieben. Daraufhin folgt der aktuelle Forschungsstand mit seinen Forschungslücken.

1.2.1 Erneuerbare Energien

Im dritten Quartal von 2022 bestanden 55,6% der Stromeinspeisung in Deutschland aus konventionellen Energieträgern und 44,4% aus erneuerbaren Energieträgern (Statistisches Bundesamt, 2022). In Abbildung 2 sind die verschiedenen Energieträger in ihren prozentualen Anteilen der Stromeinspeisung angegeben. Derzeit liefern Kohle, Windkraft und Solarstrom zusammen 70% des Stroms in Deutschland, jedoch hat Kohle mehr als ein Drittel Anteil des erzeugten Stroms. Im Vergleich zum letzten Jahr kam es zu einem Rückgang der fossilen Energieträger um drei Prozent (Statistisches Bundesamt, 2022). Dieser Rückgang ist bedingt durch das EEG, welches im Jahr 2000 in Kraft getreten ist (BMWK, 2022). Seit dem 20. Jahrhundert ist man sich im Klaren, dass fossile Energieträger endlich sind und zudem auch hohe CO₂-Emissionen haben (Die Bundesregierung, 2022). Braunkohle hat CO₂-Emissionen von etwa $1.049 \frac{g \text{ CO}_2\text{-eq.}}{kWh_{el}}$ und Steinkohle etwa $867 \frac{g \text{ CO}_2\text{-eq.}}{kWh_{el}}$ (Quaschnig, 2022). Im Vergleich dazu haben PV-Anlagen in Deutschland CO₂-Emissionen von 32 bis $63 \frac{g \text{ CO}_2\text{-eq.}}{kWh_{el}}$ und Windkraftanlagen an Land etwa $7,9 \frac{g \text{ CO}_2\text{-eq.}}{kWh_{el}}$ (Hengstler et al., 2021). Deswegen hat sich Deutschland bis 2038 den Kohleausstieg als Ziel gesetzt und möchte unabhängig vom fossilen Energieimport

werden (Die Bundesregierung, 2022; BMWK, 2022). Das neue EEG wurde am 07. Juni 2022 beschlossen und trat am 01. Januar 2023 in Kraft (BMWK, 2022). 40% bis 45% des verbrauchten Stroms in Deutschland sollen bis zum Jahr 2025 aus erneuerbaren Energien stammen (BMWK, 2022). Im Jahr 2030 soll der Anteil sogar bei 80% liegen (BMWK, 2022). Im Jahr 2021

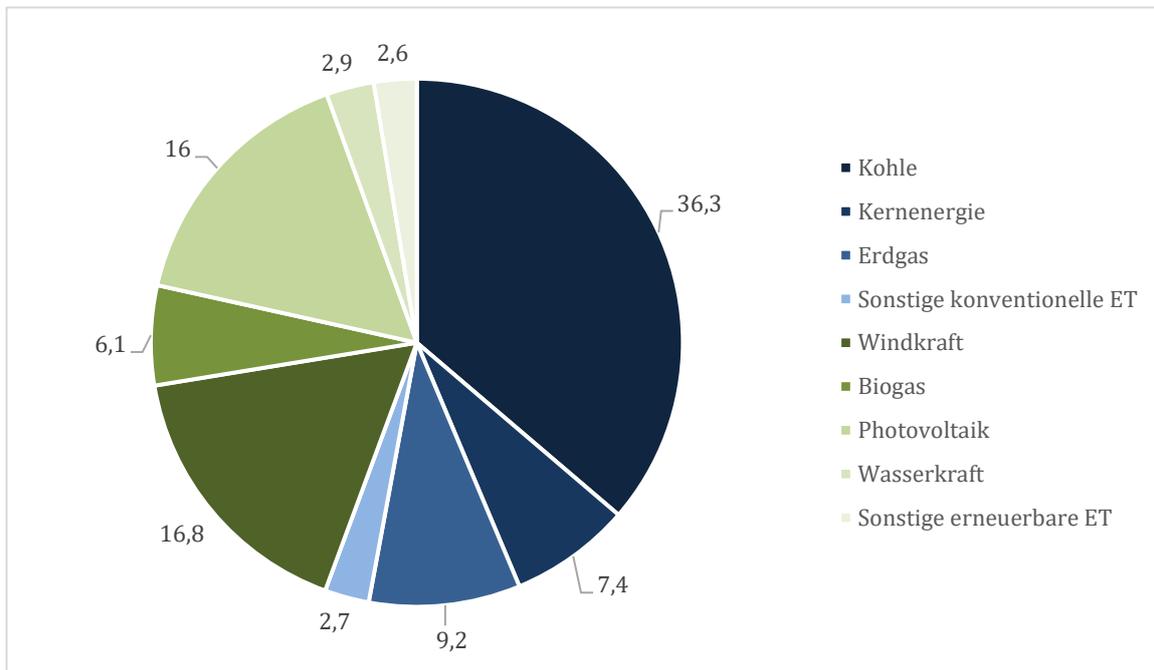


Abbildung 2: Stromerzeugung in Deutschland nach Energieträgern, Datengrundlage: (Statistisches Bundesamt, 2022) eigene Darstellung

lag der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch bei 41% (UBA, 2022). Bis 2030 sollen jährlich 600 TWh Strom erzeugt werden, wobei Strom aus PV-Anlagen und Windkraftanlagen einen hohen Anteil haben soll (BMWK, 2022). Derzeit liegt der Wert bei etwa 240 TWh (BMWK, 2022). Der Stromverbrauch wird zudem bis zum Jahr 2030 ansteigen, da Industrieprozesse und der Wärme- und Verkehrssektor zunehmend elektrifiziert werden (BMWK, 2022). Im Jahr 2021 liegt der Anteil der erneuerbaren Energien im Verkehrssektor bei 6,8% und im Wärmesektor bei 16,2% (UBA, 2022). Biomasse, also organische Substanz, die durch Pflanzen und Tiere anfällt oder erzeugt wird, ist in allen Sektoren noch der wichtigste erneuerbare Energieträger, da sie in jedem Sektor nutzbar ist (UBA, 2022). Im Jahr 2021 hatte die Biomasse einen Anteil von 55% der Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien (UBA, 2022). 37% wurden für die Wärmeerzeugung, 7% für Biokraftstoffe und 11% für die Stromerzeugung eingesetzt (UBA, 2022). In Deutschland standen im Jahr 2018 etwa 9.000 betriebene Biogasanlagen (UBA, 2020). Bis 2030 läuft für viele dieser Anlagen die Festvergütung des erzeugten Stroms aus (UBA, 2020). Energiepflanzen (Raps, Mais, etc.), welche in Biogasanlagen genutzt werden, haben im Jahr 2021 einen Anteil der landwirtschaftlichen Fläche von etwa 14% (UBA, 2021; UBA, 2022). Bioenergie kann bezogen auf die Flächeneffizienz kaum gesteigert werden (UBA, 2022). Dagegen kann durch PV-Anlagen pro Hektar, bezogen auf den Maiseinsatz in Biogasanlagen, im Jahr ca. 40-mal mehr Strom erzeugt werden (UBA, 2022). Die Stromerträge von PV-Anlagen steigen kontinuierlich an, womit eine regenerative

Stromversorgung bis 2050 auch ohne Bioenergie möglich wäre (UBA, 2022). Der Bedarf des Verkehrs- und Wärmesektors könnte, laut dem Umweltbundesamt, auch ohne Biomasse und Biogas gedeckt werden (UBA, 2022). In Biogasanlagen sollten in Zukunft, anstatt von Energiepflanzen, eher Bioabfälle, Grünschnitt aus der Landschaftspflege und Gülle genutzt werden (UBA, 2020; UBA, 2022). Da zukünftig die Ausschreibungsmengen für PV-Anlagen ansteigen sollen und für Biomasse bis 2024 sinken sollen, wäre eine Umwandlung der Nutzung vom Energiepflanzenanbau hin zu FF-PVA eine nachhaltige Alternative (UBA, 2022; BMWK, 2022).

1.2.2 Photovoltaik

Photovoltaik setzt sich aus dem griechischen Wort für Licht (phós) und dem Namen des italienischen Physikers Alessandro Volta zusammen (Mertens, 2020). Es ist definiert als eine direkte Umwandlung von Sonnenstrahlung in elektrische Energie (Wesselak & Voswinkel, 2016).

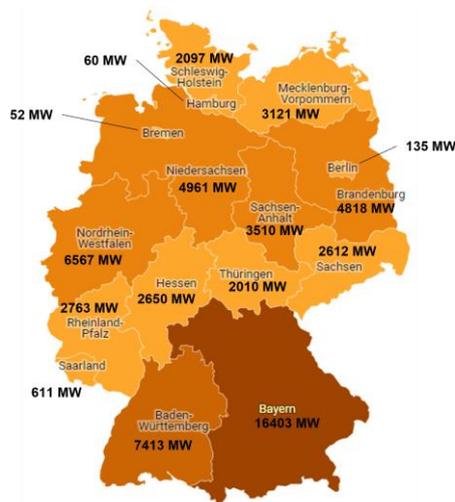


Abbildung 3: Installierte Photovoltaik-Leistung in Deutschland; Stand 2021; Datengrundlage: (Strom-Report, 2022) eigene Darstellung

Mitte der 1950er Jahre entwickelten Daryl Chapin, Calvin Fuller und Gerald Pearson die erste Silizium-Solarzelle, welche einen Wirkungsgrad von 6% hatte (Mertens, 2020). In den darauf folgenden Jahren wurde der Wirkungsgrad gesteigert, wobei der Kaufpreis sehr teuer blieb (Mertens, 2020). Somit wurden Solarzellen anfangs im All an Satelliten genutzt (Mertens, 2020). Die USA, Deutschland und Japan setzten Ende der 1980er Jahre, unter anderem wegen der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl, mehr Gelder in PV-Förderungsprojekte (Mertens, 2020). Lange war Deutschland im Ausbau von PV anderen Ländern voraus und hatte in den Boomjahren (2010 bis 2012) einen Ausbau von etwa 7,6 GW pro Jahr (Mertens, 2020). Danach ging das Wachstum zurück und andere Länder bauten stärker aus (Mertens, 2020). Derzeit

kann China das stärkste Wachstum verzeichnen (Mertens, 2020). Die USA und Japan erzielen hinter China das größte Wachstum (Mertens, 2020). In Deutschland lag die installierte PV-Leistung im Jahr 2021 bei 58,98 GW (Fraunhofer ISE, 2022). In Abbildung 3 sind die absoluten Zahlen der jeweiligen Bundesländer zu sehen, wobei die Farbe anzeigt, wie hoch der Anteil an der generellen installierten Leistung ist. 2021 kam es zu einem Zubau von 5,26 GW, bei dem Bayern mit 1.485 MW und Nordrhein-Westfalen mit 616 MW ausgebauter Leistung Spitzenreiter waren (Fraunhofer ISE, 2022). Von den installierten 58,98 GW machten Freiflächenanlagen mit 18,631 GW einen Anteil von 31,59% aus (Fraunhofer ISE, 2022). Die restlichen zwei Drittel machten Dachanlagen aus (Fraunhofer ISE, 2022). Die kommenden Kapitel befassen sich mit Freiflächenanlagen. Es wird auf den Aufbau von Dickschicht-Photovoltaikmodulen und -anlagen eingegangen und deren Funktion erklärt. Anschließend werden weitere Typen erläutert und die zukünftige Entwicklung von PV-Anlagen skizziert.

1.2.2.1 Aufbau und Funktion

Es gibt viele verschiedene Typen von Solarmodulen auf dem Markt, wobei 2022 monofaziale Module mit Siliziumwafern, mit etwa 90%, den größten Marktanteil ausgemacht haben (Wirth, 2022). Dickschichtzellen haben eine Dicke von etwa 180 bis 350 μm und werden unterteilt in monokristalline oder polykristalline Siliziumzellen (Wesselak & Voswinckel, 2016; Grünnewig et al., 2007). Dünnschichtmodule auf CdTe-Basis sind mit 5% Marktanteil auf Platz zwei und werden im Kapitel 1.2.2.2 weiter erläutert (Wirth, 2022). Die Dicke von Dünnschichtzellen ist etwa 100-mal geringer als die von Dickschichtzellen (Wesselak & Voswinckel, 2016).

Aufbau Dickschicht-Photovoltaikmodule

Bei Dickschicht-Photovoltaikmodulen unterscheidet man grundlegend zwischen monokristallinen Siliziumsolarzellen, welche einen Wirkungsgrad von 16 bis 24% haben und polykristallinen Siliziumsolarzellen, die einen Wirkungsgrad von 14 bis 20% haben (Solarwatt, 2022). Die Zelle, welche die Grundlage von Solarmodulen ist, besteht zu einem hohen Anteil aus Silizium, welches aus Quarzsand gewonnen wird (Mertens, 2020). Das Silizium wird in Wafer, also einzelne Scheiben geschnitten und daraufhin in ein Ätzbad getaucht, um Verunreinigungen und Schäden zu beheben (Mertens, 2020). Daraufhin werden die Wafer mittels einer Kali-Lauge texturiert und durch Phosphordiffusion n^+ -Emitter gebildet (Mertens, 2020). Dadurch wird der benötigte pn-Übergang gebildet (Mertens, 2020). Dann wird die Antireflexbeschichtung aus Siliziumnitrid abgeschieden und Kontakte, welche aus Silber und Aluminium bestehen, mittels Siebdruckverfahrens aufgebracht (Mertens, 2020). Durch die Antireflexionsschicht wird sichergestellt, dass so wenig Licht wie möglich an der Oberfläche reflektiert wird (Grünnewig et al., 2007). Wenn Licht auf eine Solarzelle fällt, kommt es zur Loslösung von Ladungsträgern aus den Kristallbindungen und diese werden durch das elektrische Feld zu den äußeren Kontakten geleitet (Mertens, 2020). Als Folge entsteht an den Kontakten der Solarzelle eine Spannung von etwa 0,5 Volt (Mertens, 2020). Der abgegebene Strom variiert je nach Einstrahlung und liegt zwischen 0 und 10 Ampere (Mertens, 2020). Die einzelnen Solarzellen werden, durch verzinnte Kupferstreifen, zu einem String in Reihe geschaltet und erreichen dann eine Spannung von 20 bis 50 Volt (Mertens, 2020). Um die Zellen herum, oberhalb und unterhalb, sind zwei Ethyl-Vinyl-Actetat-Folien (Mertens, 2020). Oben auf die Zellen wird eine Glasscheibe aus gehärtetem eisenoxidarmen Weißglas oder speziellen Antireflexglas und unten eine Rückseitenfolie aus Polyvinylfluorid und Polyester getan (Mertens, 2020; Wesselak & Voswinckel, 2016). Beide dienen als Schutz vor klimatischen und mechanischen Einflüssen (Grünnewig et al., 2007). Daraufhin wird der Modulrand versiegelt und ein Alurahmen angebracht (Mertens, 2020).

Die Leistung eines Moduls wird in Kilowatt peak (kWp) angegeben (Grünnewig et al., 2007). Diese Leistung wird jedoch nur bei Laborbedingungen erreicht, da jedes Modul anders auf die unterschiedlichen Lichtstärken des Tages reagiert (Grünnewig et al., 2007). Solarmodule haben derzeit eine Lebensdauer von etwa 25 bis 30 Jahren (Wesselak & Voswinckel, 2016).

Aufbau Freiflächen-Photovoltaikanlagen

Bei FF-PVA werden mehrere Solarmodule in Reihe zu einem String geschaltet (Mertens, 2020). Der von den Solarmodulen kommende Gleichstrom wird zu einem Wechselrichter geleitet, der diesen in Wechselstrom umwandelt (Mertens, 2020). Daraufhin wird die Spannung mit einem Trafo umgewandelt und ins Netz gespeist (Mertens, 2020). Die Anlage hat eine Betriebsdauer von 25 bis 30 Jahren und ist dabei fast geräuschlos (Wesselak & Voswinckel, 2016). Das Gestellsystem besteht entweder aus verzinktem Stahl, Aluminium oder Holz, wobei Enerparc nur verzinkten Stahl benutzt (Grünnewig et al., 2007; Enerparc AG). Die Befestigung erfolgt meist mit Rammpfählen oder Schraubdübeln im Boden (Grünnewig et al., 2007). Kommt es zu Rammhindernissen, Altlasten oder zum Grundwasserschutz, so werden auch schwimmende Schwerlastgründungen eingesetzt (Grünnewig et al., 2007). Hinsichtlich der Aufständigung wird zwischen nachgeführten Anlagen und festen Anlagen unterschieden (Wesselak & Voswinckel, 2016). Bei festen Aufständigungen stehen die Modulreihen meist mit einem Neigungswinkel von 30° bis 40° Richtung Süden, um die größtmögliche Ausbeute zu erhalten (Wesselak & Voswinckel, 2016). Die Anlagen der Enerparc AG haben meist einen Winkel von 20° und sind bei der Ausrichtung abhängig von dem gegebenen Standort (Enerparc AG). Um eine mögliche gegenseitige Verschattung zu vermeiden, muss zwischen den Modulreihen genügend Abstand eingehalten werden (Wesselak & Voswinckel, 2016). Der Verschattungswinkel und damit der Abstand zwischen den Modulreihen ist abhängig von der Höhe der Modulreihen (Grünnewig et al., 2007). Bei nachgeführten Anlagen, welche der Sonne nachgeführt werden, um die Nutzung des Strahlungsanteils zu verbessern, wird zwischen ein- oder zweiachsigen Gestellen unterschieden (Wesselak & Voswinckel, 2016). Einachsige Nachführsysteme können entweder eine horizontale oder vertikale Rotationsachse haben (Wesselak & Voswinckel, 2016). Bei der horizontalen Rotationsachse variiert die Modulneigung und bei der Vertikalen folgt die Modulfläche der Sonne (Wesselak & Voswinckel, 2016). Zweiachsig nachgeführte Systeme, auf welchen bis zu 100 m² an PV-Modulen installiert sein können, müssen weit auseinander stehen, um eine Verschattung zu vermeiden (Wesselak & Voswinckel, 2016). Deswegen benötigen zweiachsig nachgeführte Anlagen, im Vergleich zu festen Systemen, mehr als die doppelte Fläche (Wesselak & Voswinckel, 2016). Diese Anlagen stehen zur Verankerung auf schwimmenden Schwerlastgründungen (Wesselak & Voswinckel, 2016).

Die Kabel in FF-PVA werden unterirdisch verlegt, weswegen Kabelgräben ausgehoben werden müssen (Grünnewig et al., 2007). Die Kabelgräben haben in etwa eine Tiefe von 70 cm bzw. 90 cm bei überfahrenden Flächen, wobei unter den Kabeln in den ersten 10 cm Sand eingefüllt ist (Grünnewig et al., 2007). Die Kabel werden in einer Ebene verlegt und dann wieder oberhalb dieser mit 10 cm Sand bestreut (Grünnewig et al., 2007). Die Breite des Grabens richtet sich nach der kalkulierten Strombelastung (Grünnewig et al., 2007).

1.2.2.2 Typen

Die Techniken der Solarindustrie werden zunehmend komplexer und immer mehr neue Ideen erscheinen auf dem Markt. In diesem Abschnitt wird auf ausgewählte Techniken eingegangen, welche entweder schon stark auf dem Markt integriert sind, wie Dünnschichtzellen oder in den kommenden Jahren mehr Anteile erhalten könnten, wie semitransparente, bifaziale Module. Die verschiedenen Konzepte könnten einen starken Einfluss auf zukünftige Studien hinsichtlich der Biodiversitätsförderung haben.

Semitransparente, bifaziale Photovoltaikmodule

Bifaziale Module sind, wie in Abbildung 4 dargestellt, ähnlich wie monofaziale Dickschichtmodule aufgebaut. Sowohl die Vorderseite als auch die Rückseite können

Licht einsammeln, solange eine transparente oder keine Rückseitenfolie genutzt wird (Badelt et al., 2020). Das auf das Solarmodul fallende Licht, kann direkte Sonneneinstrahlung auf der Vorderseite des Moduls, diffuses Sonnenlicht und am Boden reflektiertes direktes oder diffuses Sonnenlicht sein (Rodrigues, 2019). Die Menge des reflektierten Sonnenlichtes ist abhängig vom Abstand zwischen Boden und Modulunterkante (Rodrigues, 2019). Zudem spielt die Albedo eine wichtige Rolle.

Je höher diese ist, desto besser wird das Sonnenlicht reflektiert (Rodrigues, 2019). Bei blanker Erde liegt die Albedo zwischen 10% und 20% und einer erwarteten gesteigerten Ausbeute von 6% bis 8% (Rodrigues, 2019). Bei grünem Gras liegt die Albedo bei 15% bis 25% und die erwartete gesteigerte Ausbeute zwischen 7% und 9% (Rodrigues, 2019). Heller Sand hat eine Albedo von 35% bis 45% und eine erwartete steigerte Ausbeute von 10% bis 15% (Rodrigues, 2019). Bei Schnee beträgt die Albedo 80% bis 95% und die erwartete gesteigerte Ausbeute zwischen 25% und 30% (Rodrigues, 2019). Die im Jahr 2019 an der HAW Hamburg und in Kooperation mit der Enerparc AG erstellten Masterarbeit von Míriam Guari ergab, dass es bei einem Reihenabstand von 2,3 m zu vier Prozent mehr Ertrag kommt (Borrull, 2019). Sobald sich ein weißer reflektierender Untergrund unter den Solarmodulen befand, kam es sogar zu einem Mehrertrag von 8% (Borrull, 2019). Auch Badelt et al. kam zu dem Ergebnis, dass ein sandiger Boden in großen Solarparks, wegen der hohen Albedo, zu einem Mehrertrag führt (Badelt et al., 2020). In Abbildung 5 ist zudem zu erkennen, dass bei einem bifazialen Modul ohne Rückseitenfolie Sonnenlicht zwischen den Solarzellen durchscheint und auf den Boden

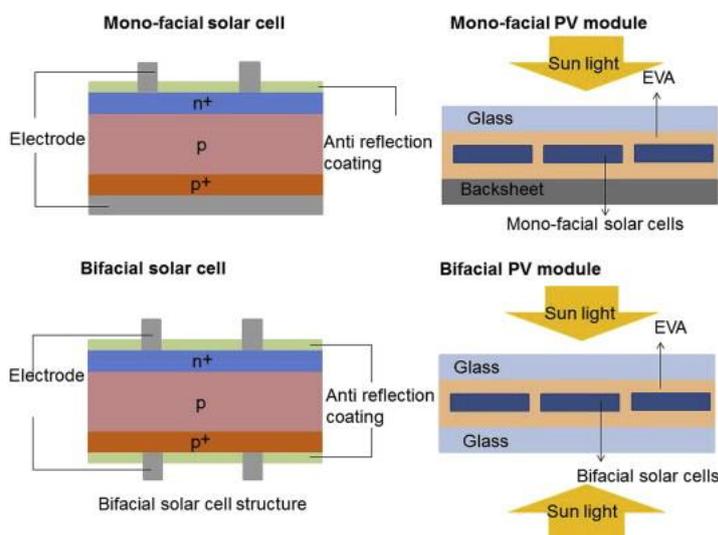


Abbildung 4: Unterschiede von monofazialen und bifazialen Zell- und Modulstrukturen (Guo et al., 2013)



Abbildung 5: Vergleich zwischen bifazialen und monofazialen Modulen auf der Modulunterseite (links) und des auf den Boden aufkommenden Lichtes (rechts) (Enerparc AG)

auftrifft. Durch das auftretende Sonnenlicht kommt es zu keinem vollverschatteten Bereich unter den Modulen. Diese Module sind zwar interessant für die Betrachtung in dieser Bachelorarbeit, jedoch gibt es bei diesen bisher nur wenige Studien. Eine Betrachtung dieser Technik wird für zukünftige Anlagen teilweise miteinbezogen.

Next2sun

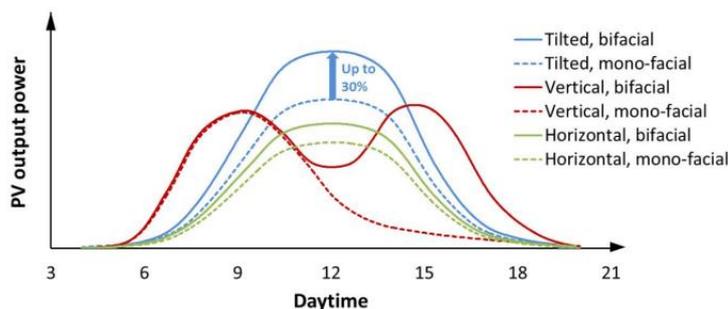


Abbildung 6: Stromertrag in Abhängigkeit zur Tageszeit bei verschiedenen PV-Modulen und Aufständerungen (Rodrigues, 2019)

Die Next2sun GmbH wurde 2015 gegründet und betreibt vertikale bifaziale PV-Anlagen (Hörnle et al., 2021). Zwei bifaziale Module sind liegend übereinander montiert und in Ost-West-Richtung aufgestellt (Hörnle et al., 2021). Die Modulunterkante liegt bei etwa 60 bis

80 cm und die Modulhöhe zwischen 2,8 bis 3 Metern (Hörnle et al., 2021; Next2sun GmbH, 2022). Die Module sollten nicht höher als drei Meter gebaut werden, da sie sonst eine zu große Angriffsfläche für Wind darstellen (Hörnle et al., 2021). Der Reihenabstand zwischen den Modulreihen sollte mindestens bei 8 m liegen, damit sich diese nicht gegenseitig verschatten (Next2sun GmbH, 2022). Hinsichtlich der Albedo gelten für die Next2sun Module die gleichen Anforderungen, wie horizontal geneigte Module. Wie an der durchgehenden roten Linie in Abbildung 6 zu sehen ist, können vertikal aufgestellt bifaziale Module vormittags und nachmittags hohe Erträge erzielen und für eine Netzstabilität sorgen (Hörnle et al., 2021). Durch die Bauweise der Next2sun Anlagen wird weniger Material benötigt und nur etwa 15% der Fläche erhält weniger Einstrahlung, im Vergleich zu einer Fläche ohne Solarmodule (Hörnle et al., 2021; Next2sun GmbH, 2022). Da diese Bauweise noch sehr neu ist, gibt es nur wenige Studien dazu. Die Bauweise wird in dieser Bachelorarbeit ansatzweise miteinbezogen.

Dünnschichtzellen

Da Dünnschichtmodule auf CdTe-Basis einen Marktanteil von fünf Prozent haben und somit die meistgenutzten Dünnschichtmodule sind, wird sich in diesem Teil der Bachelorarbeit auf eben solche fokussiert (Wirth, 2022). Der Aufbau einer klassischen CdTe-Dünnschichtzelle ist in Abbildung 7 dargestellt. Mittels einer thermischen Verdampfung werden die Halbleiterquellen Cadmiumsulfid und Cadmium-Tellurid auf 500°C erhitzt und verdampfen (Mertens, 2020). Da das Substrat eine niedrigere Temperatur hat als die Halbleiter, werden diese dort abgeschieden und daraufhin in einzelne schmale und lange Zellen unterteilt (Wesselak & Voswinckel, 2016; Mertens, 2020). Die Zellen sind etwa einen Zentimeter breit und können so

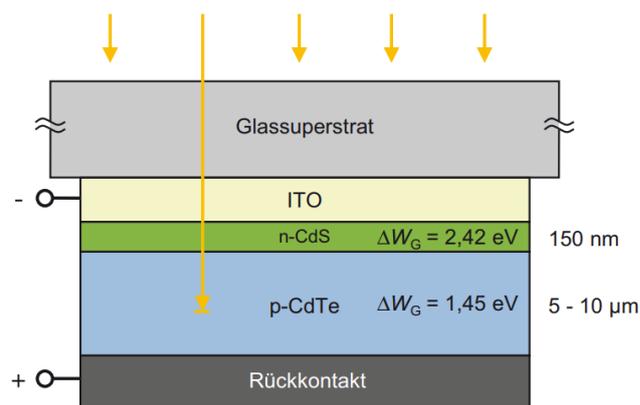


Abbildung 7: Aufbau einer klassischen CdTe-Dünnschichtzelle (Mertens, 2020)

lang wie das Modul selbst sein (Wesselak & Voswinckel, 2016). Die einzelnen Zellen werden in einem Modul in Reihe geschaltet und eine Leerlaufspannung zwischen 40 V und 100 V erreicht (Wesselak & Voswinckel, 2016). Der Kurzschlussstrom variiert zwischen 1,0 A und 1,8 A (Wesselak & Voswinckel, 2016). Cadmium-Tellurid-Dünnschichtzellen benötigen weniger Energie bei der Herstellung als Dickschichtzellen, haben jedoch meist nur einen Wirkungsgrad von etwa 15% (Grünnewig et al., 2007; Mertens, 2020).

Das Unternehmen First Solar konnte durch Verbesserungen einen Wirkungsgrad zwischen 18% und 22% erreichen (Mertens, 2020). Dünnschichtzellen benötigen weniger Material als Dickschichtzellen, da die Schichtdicke etwa 100-mal kleiner ist (Wesselak & Voswinckel, 2016). Sie können jedoch gefährlich für die Umwelt sein (Mertens, 2020). Cadmium ist ein Schwermetall, welches als krebserregend eingestuft ist (Mertens, 2020). Pro Quadratmeter Dünnschichtmodul sind etwa 7 g Cadmium enthalten (Mertens, 2020). Cadmium hat zusammen mit Tellur eine stabile und wasserunlösliche Bindung und ist somit unter normalen Bedingungen keine Gefahr für die Umwelt (Mertens, 2020). Dennoch sollte es nicht in die Umwelt gelangen (Mertens, 2020). Bei über 1.000°C schmilzt die Verbindung, weswegen gasförmiges Cadmium bei einem Brand in die Umwelt gelangen kann (Mertens, 2020). Diese Technik wird in Studien bisher kaum betrachtet, weswegen Dünnschichtmodule in dieser Bachelorarbeit kaum vorkommen.

TubeSolar

Die TubeSolar AG wurde 2019 in Deutschland gegründet (TubeSolar AG, 2020). Das junge Unternehmen vertreibt Glasröhren, die auf der Oberseite mit Dünnschichtzellen belegt sind (Hörnle et al., 2021). Jedes einzelne Glasrohr ist einen Meter lang und hat einen Durchmesser von etwa 2,5 cm (TubeSolar AG, 2020). Das Glasrohr ist etwas dicker als die Gläser von Leuchtstoffröhren (TubeSolar AG, 2020). Die Zellen haben einen Wirkungsgrad von über 10%, welcher jedoch schlechter als der von klassischen Dickschichtzellen ist (TubeSolar AG, 2020).

Jedes Modul hat eine Länge von etwa zwei Metern, eine Breite von einem Meter und ein Gewicht von etwa 18 kg (TubeSolar AG, 2020). Die Module werden mittels einer Stahlseilkonstruktion horizontal aufgeständert (TubeSolar AG, 2020). Der Stromertrag liegt etwa 30% unter dem Ertrag von Dickschichtzellen (TubeSolar AG, 2020). Das Unternehmen verspricht einen gleichmäßigen Stromertrag über den Tag hinweg, da die Dünnschichtzelle bei jedem Sonnen-



Abbildung 8: Sonneneinstrahlung auf die Dünnschichtzelle
(TubeSolar AG, 2020)

winkel Sonnenstrahlung aufnehmen kann, wie in Abbildung 8 zu sehen ist (TubeSolar AG, 2020). Mittags soll der Ertrag nicht so hoch sein, wie bei Dickschichtmodulen in Südausrichtung, jedoch im Vergleich am Vor- und Nachmittag mehr Strom erzeugt werden (TubeSolar AG, 2020). Die Mo-

odule sollen eine gleichmäßige Teilverschattung garantieren und eine Lichtdurchlässigkeit von 40% bis 50% aufweisen (TubeSolar AG, 2020). Sie sollen winddurchlässig und selbstreinigend sein (Hörnle et al., 2021). Das Wasser wird gleichmäßig unter der Anlage verteilt und der Boden sowie die Vegetation vor Starkregen und Hagel geschützt (Hörnle et al., 2021). Da diese Technik noch sehr neu auf dem Markt und wenig erprobt ist, wird sie keine weitere Relevanz in dieser Bachelorarbeit haben. Sie könnte jedoch relevant für zukünftige Projekte und Studien sein.

Organische Zellen

Organische PV-Zellen bestehen aus leitfähigen Polymeren als Elektronendonator und symmetrischen Kohlenstoffverbindungen als Elektronenakzeptor (Wesselak & Voswinckel, 2016). Bereits bei einer geringen Dicke können organische PV-Zellen Licht gut absorbieren (Wesselak & Voswinckel, 2016). Ein weiterer Vorteil dieser Zellen ist, dass bei ihrer Herstellung weniger Energie und Wärme benötigt wird als bei den klassischen Dickschichtzellen (Wesselak & Voswinckel, 2016). Sie sind sehr flexibel, da die Zellschicht auf Trägermaterialien aufgebracht wird (Wesselak & Voswinckel, 2016). Dies ermöglicht ihnen viele Einsatzmöglichkeiten. Dennoch haben sie nur einen geringen Wirkungsgrad, weswegen der Flächenverbrauch für die gleiche Leistung, im Vergleich zu Dickschichtzellen, höher ist (Wesselak & Voswinckel, 2016). Die geringe Lebensdauer führt zu einem häufigen Wechsel der Module (Wesselak & Voswinckel, 2016). Deswegen werden diese in der Bachelorarbeit nicht weiter betrachtet.

Farbstoffzellen

Farbstoffzellen werden auch Grätzer-Zellen genannt und sind aus zwei Glasplatten aufgebaut, welche jeweils mit einer Elektrode beschichtet sind (Wesselak & Voswinckel, 2016). Auch diese Zellen können bedingt durch die Farbstoffmoleküle das Licht sehr schnell absorbieren (Wesselak & Voswinckel, 2016). Sie haben genauso, wie organische Zellen, einen geringen Wirkungsgrad (Wesselak & Voswinckel, 2016). Die Farbstoffe, die flüssigen Elektrolyten und die Versiegelung sind über einen langen Zeitraum nicht stabil, weswegen die Lebensdauer

ebenfalls kurz ist (Wesselak & Voswinckel, 2016). Somit sind auch diese nicht für diese Arbeit relevant und werden nicht weiter betrachtet.

1.2.2.3 Politik

Wie bereits in 1.2.1 Erneuerbare Energien angemerkt, soll Deutschland bis 2045 klimaneutral werden und bis 2030 der Anteil von erneuerbaren Energieträgern am Stromverbrauch 80% betragen (Die Bundesregierung, 2022; BMWK, 2022). Die Bundesregierung sieht dazu vor, dass bis zum Jahr 2030 jährlich 600 TWh Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt werden soll (BMWK, 2022). Dazu sollen die Ausbaupfade und Ausschreibungsmengen für PV-Anlagen bis zum Jahr 2028/29 stark erhöht und die Rahmenbedingungen des PV-Ausbaus erleichtert werden (BMWK, 2022). Ab dem Jahr 2026 sollen dabei jährlich 22 GW an neuen PV-Anlagen installiert werden, sodass im Jahr 2030 etwa 215 GW errichtet und angeschlossen sind (BMWK, 2022). Im März 2022 lag die Nettonennleistung von PV-Anlagen bei 58,44 GW (Statistisches Bundesamt, 2022). Das EEG 2023 sieht vor den PV-Ausbau zur Hälfte auf Dach- und Freiflächen zu verteilen, um das Potential bereits versiegelter Flächen zu nutzen (BMWK, 2022). Doch es sollen auch neue Flächenkulissen für FF-PVA und Kategorien wie Agri-PV, Floating-PV und Moor-PV dazukommen, wobei Aspekte der Landwirtschaft und des Naturschutzes zu berücksichtigen sind (BMWK, 2022). Eigentlich muss es ein noch schnelleres Wachstum geben als bisher angestrebt ist. Das Ziel des Pariser Klimaabkommens kann mit den derzeitigen Maßnahmen nicht erreicht werden, da Deutschland anstatt 2045 schon im Jahr 2027 klimaneutral werden müsste (Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2022). Das Team um Volker Quaschnig errechnete, dass bis 2045 ein Ausbau von 417 GW an PV-Anlagen erfolgen muss (SPD, Bündnis 90/Die Grünen, FDP, 2021; Quaschnig et al., 2022). Bei einer maximalen Erwärmung um 2°C bis 2100, müssten jedoch bis 2035 594 GW an PV ausgebaut werden (Quaschnig et al., 2022). Wenn man davon ausgeht, dass für 1 MW etwa 1 ha Fläche für eine FF-PVA benötigt wird, so benötigt man für einen Ausbau bis zum Jahr 2045 etwa 417.000 ha Fläche und für einen Ausbau bis 2035 etwa 594.000 ha (Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH, 2021). Deutschland hatte 2021 eine Fläche von etwa 357.592 km², somit würde man 1,17% bzw. 1,66% der deutschen Fläche für den Ausbau mit PV-Anlagen benötigen. Bezogen auf die landwirtschaftliche Fläche, wären das 2,31% bzw. 3,29%, die benötigt werden, um das Pariser Klimaabkommen einhalten zu können. Jedoch ist der benötigte Ausbau abhängig von der jeweiligen Studie. Das Fraunhofer ISE hat in seinem Bericht „Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“ vom Jahr 2022 verschiedene Studien und deren Ausbauziele dargestellt (Wirth, 2022). Zudem sehen viele Expert:innen den Ausbau von Freiflächenanlagen kritisch und wollen diesen auf ein Drittel beschränken, wobei die restlichen zwei Drittel der Anlagen auf Dächern oder versiegelten Flächen installiert werden sollen (Expert:innen-Gespräch Nr. 6, 22. Dezember 2022).

1.2.3 Biodiversität

Biodiversität kann als wissenschaftliche Messgröße genutzt werden, um die Vielfalt der belebten Natur darzustellen (Baur, 2021). Am 05. Juni 1992 wurde in Rio de Janeiro auf der UN-Klimakonferenz zur Umwelt und Entwicklung das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD) verabschiedet (Wittig & Niekisch, 2014). Dieser völkerrechtliche Vertrag wurde bis Februar 2021 von 196 Vertragsparteien unterschrieben und ratifiziert (BfN, 2022). Laut der Convention on Biological Diversity (CBD), ist Biodiversität ein Konzept zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt und zur gerechten Verteilung der Vorteile, welche aus der Nutzung dieser entstehen (Baur, 2021). Biodiversität gliedert sich in drei Ebenen: Gene, Taxa (Unterarten, Arten, Gattungen, Familien) und Lebensgemeinschaften mit ihren Lebensräumen und darin ablaufenden Prozessen (Wittig & Niekisch, 2014). Die genetische Vielfalt ist Voraussetzung für die Evolution, die Entwicklung neuer Arten und die Artenvielfalt (Baur, 2021). Genetische Vielfalt beschreibt die Unterschiede einzelner Gene innerhalb von Individuen, zwischen Individuen innerhalb einer Population und zwischen Populationen (Baur, 2021). Die organismische Ebene, also die Artenvielfalt, beschreibt die Anzahl an verschiedenen Arten, welche in einer Lebensgemeinschaft, einer ökologischen Raumeinheit oder geografischen oder politischen Raumeinheit vorkommen (Baur, 2021). Die letzte Ebene der Lebensgemeinschaften beschreibt die Gesamtheit aller Pflanzen-, Tier-, und Mikroorganismenarten in einem abgegrenzten gemeinsamen Gebiet (Biotop) und deren Wechselbeziehungen (Baur, 2021). Dieses Gebiet wird durch abiotische Eigenschaften, wie Bodentyp, lokales Klima und Boden-pH-Wert, beschrieben (Baur, 2021). Um in dem untersuchten Biotop leben zu können, müssen alle dort vorkommenden Arten ähnliche abiotische Ansprüche an die Umwelt haben (Baur, 2021). Die Arten stehen miteinander in Beziehung, sei es direkt oder indirekt (Baur, 2021).

Biodiversität ist im Laufe der Erdgeschichte durch Störungen entstanden (Weber, 2018). Durch ein Störereignis wurde zum Beispiel Boden freigelegt, woraufhin eine Entwicklung an diesem Standort einsetzte (Weber, 2018). So kam es zu einer Abfolge von Pflanzen- und Tierarten auf dieser Fläche (Weber, 2018). In den letzten Jahrhunderten wurde die Biodiversität zusätzlich stark vom Menschen beeinflusst (Wittig & Niekisch, 2014). Ein Beispiel hierfür sind die artenreichen Magerwiesen, welche in Mitteleuropa entstanden (Weber, 2018). Die Menschen rodeten Wald und düngten die entstandene Fläche nie (Weber, 2018). Doch der Mensch ist auch abhängig von der Biodiversität, wie beispielsweise in der Landwirtschaft durch Bestäuber-Insekten (Wittig & Niekisch, 2014; Brasseur et al., 2017). Die Menschheit benötigt Ökosysteme mit zahlreichen Tier- und Pflanzenarten für die Ernährung, Gesundheit, sauberes Trinkwasser, saubere Atemluft und als Wirtschaftsgrundlage (BMZ, 2022).

1.2.3.1 Rückgang

Über Jahrtausende hat die biologische Vielfalt, mit Unterbrechung durch fünf große Massensterben, zugenommen (Brasseur et al., 2017). Derzeit erlebt die Erde ein neues, sechstes Massensterben, hervorgerufen durch die massive Nutzung und Übernutzung natürlicher

Ressourcen (Brasseur et al., 2017). Es existieren weltweit etwa 330.000 Pflanzenarten und zwischen 2 und 11 Millionen Tierarten (Maaß & Schütte, 2018). Derzeit sind etwa 12,5% der Tier- und Pflanzenarten vom Aussterben bedroht und jeden Tag verschwinden weltweit etwa 150 Pflanzen- und Tierarten (BMZ, 2022). In Deutschland gibt es rund 9.500 Pflanzen- und 48.000 Tierarten, von welchen jeweils etwa ein Drittel der Tier- und Pflanzenarten bestandsgefährdet oder bereits ausgestorben sind (Maaß & Schütte, 2018). Dieses Artensterben wird angetrieben durch die Landnutzung der Menschen und der damit einhergehenden Zerschneidung und Umwandlung von natürlichen Lebensräumen und Ökosystemen in Nutzsyste (Maaß & Schütte, 2018; Brasseur et al., 2017). Weitere schädliche Einflüsse sind auf den Klimawandel und die zunehmenden Schad- und Nährstoffeinträge zurückzuführen (Maaß & Schütte, 2018). Nährstoffarme Lebensräume sind elementar für die Hälfte aller in Europa vorkommenden Pflanzenarten (Maaß & Schütte, 2018). Durch den atmosphärischen und landwirtschaftlichen Nährstoffeintrag ändern sich die Lebensbedingungen und die, in nährstoffarmen Lebensräumen vorkommenden, Arten werden verdrängt (Maaß & Schütte, 2018). Zudem sind die bewusste oder unbewusste Einführung und Einschleppung gebietsfremder Arten in neue geografische Regionen oder Lebensräume und die Steigerung der globalen CO₂-Konzentration in der Atmosphäre weitere Faktoren des Rückgangs (Maaß & Schütte, 2018; Brasseur et al., 2017). Der Klimawandel beeinflusst alle Elemente der Biodiversität, jedoch lässt sich aufgrund der vielen verschiedenen Einflüsse schwer einschätzen, wie hoch sein Beitrag in Bezug auf den Biodiversitätsverlust ist (Brasseur et al., 2017). Es lässt sich festhalten, dass sich, bedingt durch die Erderwärmung, die Verbreitungsgebiete von Arten verschieben und sich deren Phänologie und Verhalten ändert (Maaß & Schütte, 2018; Weber, 2018). Etwa 63 der in Deutschland lebenden und gefährdeten Arten sind sehr klimasensibel (Maaß & Schütte, 2018). Die Wechselwirkungen von Arten werden unter anderem dadurch beeinflusst, dass Arten mit einem engen und empfindlichen Toleranzbereich an Vitalität verlieren, sich weniger gut gegen Konkurrenz behaupten können und somit aussterben, wenn neue Arten in das System eindringen und deren Nischen besetzen (Brasseur et al., 2017). Diese neuen Arten können aus einem anderen Lebensraum stammen, welcher ähnliche abiotische Bedingungen vorweist, wie der eigentliche Lebensraum dieser Arten oder es können invasive Arten sein. Seit 1492 haben sich in Deutschland 1.200 gebietsfremde Arten etabliert (BfN, 2022). Darunter sind viele Arten, welche die biologische Vielfalt in Deutschland gefährden und somit als invasiv bezeichnet werden können (BfN, 2022). Zudem können invasive Arten gesundheitsgefährdend sein (Brasseur et al., 2017).

Bedingt durch die Erwärmung in Deutschland um 1,6°C und die damit verschobenen phänologischen Jahreszeiten, ändern sich die Entwicklungsphasen von Pflanzen (Früh et al., 2021; Brasseur et al., 2017). Damit verbunden kann es vorkommen, dass Bestäuber-Insekten sich langsamer entwickeln als die Pflanzen und es somit seltener zu einer Bestäubung und Befruchtung kommt (Brasseur et al., 2017). Die höheren Temperaturen können auch die Nektarproduktion verringern, was zu weniger Nahrung für Bestäuber führt (Brasseur et al., 2017). Von rund 6.750 in Deutschland betrachteten Insektenarten sind rund 26,2% in ihrem Bestand gefährdet (BfN, 2022). Für Deutschland gibt es Übersichten über die Gefährdung von Schutzgebieten und Arten. Diese Rote Listen sind gegliedert nach Bundesländern online zu finden.

Auch die Landwirtschaft an sich führt zu einem Rückgang der Biodiversität. Derzeit wurden schon 75% der Landökosysteme durch den Menschen verändert, wobei die Landwirtschaft für einen Biodiversitätsverlust von 80% an Land verantwortlich ist (BMZ, 2022). Die Landwirtschaft ist verantwortlich für die Zerstörung und Fragmentierung von Lebensräumen und den Eintrag von Schad- und Nährstoffen in die Umwelt (Brasseur et al., 2017). Laut einer Berechnung des Umweltbundesamtes bringt die Landwirtschaft durchschnittlich jährlich 8,8 kg Pflanzenschutzmittel bzw. 2,8 kg Wirkstoff pro Hektar Anbaufläche auf (UBA, 2022). Pflanzenschutzmittel, also Pestizide, Herbizide und Fungizide, entziehen vielen Vogel- Säugetier- und anderen Tierarten der Agrarlandschaft die Nahrungsgrundlage (UBA, 2022). Blütenpflanzen, damit einhergehend Blütenbestäuber und letztendlich auch verschiedene Feldvogelarten, wie Feldlerche, Goldammer und Rebhuhn, werden direkt und indirekt über die Nahrungskette von Pflanzenschutzmitteln negativ beeinflusst (UBA, 2022). Ebenso die Bodenfruchtbarkeit wird, bedingt durch die Schädigung der Bodenorganismen, beeinträchtigt (UBA, 2022). Pflanzenschutzmittel können zudem in das Grundwasser versickern, welches Grundlage unseres Trinkwassers ist, und in landwirtschaftliche Produkte gelangen und diese belasten (UBA, 2022). Auch die Stickstoffzufuhr, bedingt durch die Düngung, kann zu einer Nitratbelastung des Grundwassers führen, Böden und Gewässer versauern und eutrophieren (UBA, 2022). Aber auch andere Verschmutzungen der Umwelt, wie der Eintrag von synthetischen Stoffen, Phosphaten, Schwermetallen und Licht, führt zu einem Verlust der Biodiversität (Weber, 2018). Mit jeder weiteren Verschlechterung der Landnutzung werden die Auswirkungen schneller und drastischer sein und die Biodiversität weiter schädigen (Brasseur et al., 2017).

1.2.3.2 Erfassung

Da die Biodiversität die Ebene der genetischen Vielfalt, der Artenvielfalt und der Lebensgemeinschaften mit ihren Lebensräumen und darin ablaufenden Prozessen gliedert, ist eine Erfassung dieser sehr komplex. Die Artenvielfalt wird häufig als Maß genutzt, um die Biodiversität einer Lebensgemeinschaft, eines Biotops oder Gebietes zu beschreiben (Baur, 2021). Dabei wird die Bezeichnung der Alpha-Diversität genutzt, um die Anzahl der Arten in einem Lebensraum zu beschreiben (Baur, 2021). Die Erfassung der Artenvielfalt kann quantitativ erfolgen (Baur, 2021). Bei dieser Methode müssen verschiedene Eigenschaften, wie Körpergröße der Individuen, Häufigkeit und Sichtbarkeit zum Zeitpunkt der Erfassung beachtet werden (Baur, 2021). Auf der Ebene der Artenvielfalt ist es jedoch so, dass die meisten Arten in einem Lebensraum mit nur wenigen Individuen vertreten sind (Baur, 2021). Zudem tritt das Problem auf, dass große Organismen zwar leicht zu sehen und erkennen sind, jedoch kleine Arten meist nicht erfasst werden (Baur, 2021). Bei kleineren Arten kann zwar eine Umwelt-DNA helfen, welche mittels einer Probe die enthaltenden DNA-Sequenzen analysieren und einzelnen Organismen zuordnen kann, dennoch ist eine ausschließliche Artenliste von geringer Qualität (Baur, 2021; Zimmermann & Hürlimann, 2017). Um eine bessere Aussagekraft zu generieren und zu gewährleisten, dass möglichst viele Arten erfasst werden, sollten drei Feldaufnahmen in Teilen des zu untersuchenden Gebiets, Biotops oder Lebensgemeinschaft über die

Vegetationszeit verteilt durchgeführt werden (Baur, 2021). Die Aufnahme des gesamten Artenreichtums bleibt jedoch schwierig, da mehr Arten gefunden werden, je häufiger Stichproben genommen werden (Baur, 2021). Unter Nutzung einer Artensummenkurve lässt sich, mittels der Asymptote dieser, die Artenvielfalt der Lebensgemeinschaft, des Biotops oder Gebiets wiedergeben (Baur, 2021). Da ein Optimum der Stichproben für ein optimales Ergebnis der Artensummenkurve meist nicht erreicht wird, kann mittels der rarefaction-Methode die Asymptote und damit die Artenvielfalt geschätzt werden (Baur, 2021). Dies kann zu einer besseren Vergleichbarkeit von zwei oder mehreren Lebensräumen führen, die Unterschiede in der Anzahl der Organismen zeigen (Baur, 2021). Weitere Methoden zur Berechnung der Artenvielfalt sind der Shannon-Diversitätsindex, der Simpson-Diversitätsindex und der Brillouin-Index, die dennoch alle zu ähnlichen Ergebnissen führen (Baur, 2021). Der Shannon-Index (H_S) wird am häufigsten genutzt und hat die Formel:

$$H_S = -\sum p_i \cdot \ln p_i \quad (1)$$

p_i ist dabei der Anteil einer Art in Prozent, also in $\frac{1}{100}$ angegeben (Baur, 2021). Dabei wird die Summe für jede Art einzeln berechnet (Baur, 2021). Je größer der Shannon-Index ist, desto mehr Arten sind in dem Lebensraum vorhanden (Baur, 2021). Die evenness (E_S), also das Verhältnis der ermittelten Diversität zu der Artenzahl maximal möglichen Diversität, sollte noch hinzugezogen werden, um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Lebensräumen zu gewährleisten (Baur, 2021). Sie wird wie folgt berechnet:

$$E_S = \frac{H_S}{\ln S} \quad (2)$$

Dabei spiegelt S die Anzahl der in einem Lebensraum lebenden Arten wider (Baur, 2021). Die Alpha-Diversität, also die Artenanzahl in einem Gebiet, kann keine Angabe zu Verwandtschaftsbeziehungen zwischen den, in dem untersuchten Lebensraum, vorhandenen Arten geben (Baur, 2021). Somit ist ein weiteres wichtiges Maß der Biodiversität die phylogenetische Diversität (Baur, 2021). Sie kann eine Aussage zu den abstammungsgeschichtlichen Verhältnissen zwischen den Arten treffen und so herausfinden zu welchen Familien die gefundenen Arten gehören (Baur, 2021). Gebiete, welche eine hohe phylogenetische Diversität vorweisen, besitzen Arten, welche verschiedene Nischen besetzen und verschiedene Funktionen im Ökosystem erfüllen (Baur, 2021). Sie kann somit wertvoll in Bezug auf Naturschutzprioritäten sein, indem Gebiete mit einer hohen phylogenetischen Diversität eher geschützt und gefördert werden (Baur, 2021).

Da die quantitative Erfassung mit einem großen Arbeitsumfang verbunden ist, ist eine weitere Möglichkeit der Erfassung der Biodiversität die qualitative Auswertung (Baur, 2021). Dabei werden ausgewählte Organismengruppen als stellvertretende Artengruppen oder Zeigerindikatorarten verwendet (Baur, 2021; Brasseur et al., 2017). Gefäßpflanzen, Tagfalter und Brutvögel sind dabei typische betrachtete Arten, da sie leicht zu erfassen und bestimmen sind (Baur, 2021). Bei zu hohem Arbeitsaufwand können als Notlösung auch höhere taxonomische Stufen, wie Familie oder Gattung verwendet werden (Baur, 2021). Eine weitere Methode ist die Vielfalt der Morphotypen, bei welcher alle Individuen, deren wesentlichen Merkmale und

das Aussehen übereinstimmen, in Gruppen gegliedert werden (Baur, 2021). Bei dieser Methode wird die Artenvielfalt meist unterschätzt (Baur, 2021). Da klimatische Bedingungen für die Verbreitung von Genotypen, Populationen und Arten bestimmend sind und biotische Faktoren eine wichtige Rolle spielen, können Pflanzen und Tiere als Zeigerindikatoren die klimatischen Verhältnisse vor Ort widerspiegeln (Brosseur et al., 2017). Genauso können das Klima, Relief, die Hydrologie und Bodenverhältnisse Aufschluss über die zu erwartende Biodiversität geben (Baur, 2021). Durch wiederholte Erfassungen können Entwicklungen der untersuchten Flächen ermittelt werden (Baur, 2021).

1.2.3.3 Politik

1992 wurde das Übereinkommen über die Biologische Vielfalt (CBD) der Vereinten Nationen bei der Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro verabschiedet (BfN, 2021; Maaß & Schütte, 2018). Dieses rechtlich verbindliche Rahmenabkommen, bei welchem bis Ende des Jahres 2022 196 Staaten beigetreten sind, soll die Biodiversität auf allen Ebenen erhalten, ihre Bestandteile nachhaltig nutzen und die, aus der Nutzung genetischer Ressourcen resultierenden Vorteile gerecht aufteilen (BfN, 2021; BMZ, 2022). Im Jahr 2010 einigten sich die Vertragsstaaten auf einen strategischen Plan bis 2020, der fünf strategische Ziele, spezifiziert durch 20 Kernziele (Aichi Biodiversity Targets), beinhaltet (BfN, 2022). Die fünf Kernziele sind die Bekämpfung der Ursachen des Rückgangs der Biodiversität, die Reduzierung der unmittelbaren Belastungen und Förderung einer nachhaltigen Nutzung, die Verbesserung des Zustandes der Biodiversität, die Mehrung der Vorteile, welche sich aus ihr ergeben und die Verbesserung der Umsetzung (BfN, 2022). Dies soll unter anderem durch Einbeziehung aller Bereiche des Staates und der Gesellschaft, der Sicherung der Ökosysteme und Arten, partizipative Planung, Wissensmanagement und Kapazitätsaufbau erreicht werden (BfN, 2022). Bis auf das dritte strategische Ziel, welches eine Verbesserung wünscht, haben alle anderen Ziele nur die Absicht eine Verschlechterung der biologischen Vielfalt zu vermeiden (BfN, 2022). Keines dieser Ziele wurde bis zum Jahr 2020 vollständig erreicht (BfN, 2021). Um einen neuen „globalen Rahmen für Biodiversität“ bis 2030 zu setzen, trafen sich die Vertragsstaaten im Dezember 2022 in Montréal (BMZ, 2022). Die neuen Ziele sollen nun eine Verbesserung bewirken, statt nur eine Verschlechterung zu vermeiden (BMZ, 2022). Unter anderem sollen Ökosysteme, welche zerstört oder herabgestuft wurden, wiederaufgebaut werden, die Verbindung zwischen Biodiversität und Klimaschutz enger werden und der Erhalt der Biodiversität verstärkt finanziert werden (BMZ, 2022). Dafür soll es bis zum Jahr 2025 eine internationale Finanzierung von 20 Milliarden US-\$ und bis zum Jahr 2030 30 Milliarden US-\$ geben (BMZ, 2022). Das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung hat dabei im Jahr 2021 erstmals 600 Millionen € gestellt und war damit der größte Zahler weltweit (BMZ, 2022). Olaf Scholz hat angekündigt ab 2025 jährlich 1,5 Milliarden € einzuzahlen (BMZ, 2022). Ein wichtiges definiertes Ziel ist die Förderung der Schmetterlinge und Vogelarten der Agrarlandschaften, zu welchen das Grünland zählt (Europäische Kommission, 2022). Da alle Mitgliedsstaaten Strategien zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung auf

nationaler Ebene erarbeiten sollten, hat Deutschland 2007 die Strategie zur biologischen Vielfalt erlassen (BfN, kein Datum). In dieser Strategie sind verschiedene Visionen verankert, von welchen drei Punkte der nachhaltigen Nutzung der Biodiversität wichtig für diese Arbeit sind (BMUV, 2007). Unter B 2.4 Landwirtschaft heißt es beispielsweise, dass es einen Zuwachs an naturschutzfachlich wertvollen Agrarbiotopen geben soll, da extensiv genutzte Agrarökosysteme mit Tieren und Pflanzen zurückgegangen sind (BMUV, 2007). Unter B 2.5 Bodennutzung sollen standorttypische Arten und Lebensgemeinschaften günstige Lebensbedingungen erlangen (BMUV, 2007). Zudem soll die Funktion von Böden erhalten und gefördert werden (BMUV, 2007). Bei B 2.6 Rohstoffabbau und Energiegewinnung heißt es, dass die Synergieeffekte zwischen dem Ausbau erneuerbarer Energien und der Biodiversität unterstützt werden sollen (BMUV, 2007). Diese Strategie wird von der Naturschutz-Offensive 2020 ergänzt (BfN, kein Datum). Auch diese spricht von einer Erhaltung und Wiederherstellung von Grünlandflächen und der Vereinbarkeit von erneuerbaren Energien und der Biodiversität (BMUV, 2015). Auch die Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen, die bis 2030 erreicht werden sollen, sind für den Erhalt der Biodiversität von Bedeutung (Die Bundesregierung, 2022). Ziel 6, also sauberes Wasser, wird erreicht durch eine gute Erhaltung des Bodens, da er den größten globalen Speicher für Süßwasser darstellt (Blum, 2019). Ziel 7, bezahlbare und saubere Energie, und Ziel 13, der Klimaschutz, lassen sich mittels biodiversitätsfördernder FF-PVA erreichen (Die Bundesregierung, 2022). Gerade Ziel 15, also Leben an Land, schreibt eine Wiederherstellung von degradierten Ökosystemen vor sowie eine Verringerung des Biodiversitätsverlustes (BMZ, 2022). Auch die Berner Konvention, welche 1985 in Kraft getreten ist und das Bonner Übereinkommen zur Erhaltung wandernder wildlebender Tierarten, das 1984 in Kraft getreten ist, sind von Bedeutung (Maaß & Schütte, 2018). Die Berner Konvention regelt die Erhaltung wildlebender Pflanzen und Tiere in Europa (Maaß & Schütte, 2018). Das Bonner Übereinkommen schützt die Wanderwege und Lebensräume gefährdeter Tiere (Maaß & Schütte, 2018). Zudem sind die in Europa geltende Vogelschutz-Richtlinie und Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) von hoher Bedeutung, da sie das europäische Naturschutzrecht bilden (Maaß & Schütte, 2018). Eine wichtige gesetzliche Regelung in Deutschland ist das Bundesnaturschutzgesetz, das sich unter anderem aus der europäischen FFH-Richtlinie und der europäischen Vogelschutz-Richtlinie zusammensetzt und durch die Bundesartenschutzverordnung und die Bundeskompensationsverordnung ergänzt wird (BfN, 2022; Maaß & Schütte, 2018). Das Gesetz hat Vorgaben zum Arten- und Gebietsschutz und wird durch landesrechtliche Regelungen in den Bundesländern ergänzt (BfN, 2022). In den Bundesländern sind die allgemeinen Kreisverwaltungsbehörden als untere Naturschutzbehörden zuständig für die Angelegenheiten des Naturschutzes (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt - Mecklenburg Vorpommern, 2018). Im § 1 Absatz 3 Satz 2 BNatSchG heißt es, dass Böden so erhalten werden sollen, dass sie ihre natürlichen Funktionen erfüllen können (BMJ; BfJ, 2022). Auch sollen laut § 1 Absatz 3 Satz 4 BNatSchG „Luft und Klima durch Maßnahmen [...] der Landschaftspflege“ geschützt werden und der nachhaltigen Energieversorgung einen hohen Wert zukommen (BMJ; BfJ, 2022). Zudem steht im Bundesnaturschutzgesetz, dass weitere Zerschneidungen der Landschaft vermieden werden sollen und es zu keinen weiteren Beschädigungen des Naturhaushaltes kommen darf (BMJ; BfJ, 2022). Bei unvermeidbaren

Beeinträchtigungen sollen Ausgleichs- oder Ersatzmaßnahmen oder Gelder diese Beschädigungen wiedergutmachen (§13 BNatSchG) (BMJ; BfJ, 2022). Diese Regelung und weitere im Ergebnisteil genannte Paragraphen sind wichtig im Hinblick auf den biodiversitätsfördernden Ausbau von FF-PVA.

1.2.4 Folgen landwirtschaftlich genutzter Flächen

Laut dem IPCC ist die Landwirtschaft für 31% der globalen klimawirksamen Emissionen verantwortlich (Blum, 2019). Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland hatte im Jahr 2021 einen Anteil von 50,5% der deutschen Gesamtfläche, also eine Fläche von 180.583,96 km² (UBA, 2021). Ein Großteil dieser Fläche, welche ehemals extensives Grünland war, wird für die Futtermittelerzeugung und den Anbau von Energiepflanzen genutzt (UBA, 2022; Heißenhuber et al., 2015). Als Energiepflanzen werden oftmals Mais, für die Biogaserzeugung, und Raps, als Biokraftstoff, angebaut (UBA, 2022). Doch gerade dieser Anbau ist besonders schädlich für die Natur (Heinrich-Böll-Stiftung; Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland; Le Monde Diplomatique, 2020). Mais ist ein Humuszehrer, führt also zu einem Abbau des Humusgehalts im Boden (Kolb, 2019). Die Intensivierung der Landwirtschaft, die in den 1950er startete, zeigte schon in den folgenden 10 Jahren erste negative Folgen (Bundeszentrale für politische Bildung, 2020; Heißenhuber et al., 2015). Durch Intensivierung und nicht angepassten Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmittel, wird der Boden geschädigt, was zu einer Minderung der ökologischen Funktionen führt (BMZ, 2022). Jedes Jahr gehen weltweit etwa 10 Millionen Hektar Ackerboden durch Schädigung der Fläche verloren (BMZ, 2022). In den folgenden Abschnitten wird auf diese negativen Folgen eingegangen, welche reversibel sind, solange eine Belastbarkeitsgrenze nicht überschritten wird (Blum, 2019).

1.2.4.1 Bodenkontamination

Bedingt durch die intensive Landwirtschaft werden dem Boden wichtige Nährstoffe entzogen (Blum, 2019). Es kommt zu einem Eingriff in den Stoffhaushalt (Krebs et al., 2017). Ohne Nährstoffzufuhr, in diesem Fall Düngung, kommt es zur Erschöpfung der Bodennährstoffe und somit zu einem Rückgang der Bodenfruchtbarkeit (Blum, 2019). Bei einer Düngung werden Nährstoffe ersetzt, welche durch Ernten, Erosionen oder Auswaschungen verringert wurden und nicht durch natürliche Kreisläufe, wie den Stickstoffkreislauf, nachgeliefert werden können (Krebs et al., 2017). Düngemittel kann neben den gewünschten Nährstoffen, wie Nitrat, Phosphat und Kalium auch Schwermetalle enthalten (UBA, 2022). Bei falschem Umgang mit Düngemitteln, kann Nitrat leicht in das Grundwasser ausgewaschen werden und in Oberflächengewässer gelangen (Krebs et al., 2017). Dadurch kann es schnell zu einer Versauerung und Eutrophierung kommen (UBA, 2022). Zudem sind viele enthaltene Schwermetalle, wie Blei, Cadmium und Quecksilber, bereits in geringen Konzentrationen toxisch und können lange Zeit im Boden verbleiben (Krebs et al., 2017; Blum, 2019). Auch bei Pflanzenschutzmitteln, welche zum Schutz von Kulturpflanzen dienen, gelangen unerwünschte Substanzen in den Boden

(Krebs et al., 2017). Etwa 20 – 50% der Wirkstoffmenge gelangt bei der Fungizid- und Insektizidanwendung auf den Boden (Krebs et al., 2017). Ein weiterer Teil wird durch Niederschläge in den Boden gespült (Krebs et al., 2017). Abhängig von der Art, Zeitdauer und Intensität der Anwendung können Dünge- und Pflanzenschutzmittel nicht versickern oder nur schwer abgebaut werden (Blum, 2019). Somit können Rückstände in die menschliche Nahrung und das Trinkwasser gelangen (Krebs et al., 2017).

1.2.4.2 Bodenverdichtung

Bodenverdichtungen entstehen in der Landwirtschaft unter anderem durch das Befahren mit schweren Maschinen, welche nicht auf den Standort angepasst sind (Krebs et al., 2017; Blum, 2019). Durch diese Maschinen wird ein Widerstand gegen Verformung in den einzelnen Bodenhorizonten überschritten (Blum, 2019). Dabei kommt es zu einer Verkleinerung des Porenvolumens im Boden, wodurch die Bodenfunktionen wie Wasser-, Luft-, Gas- und Wärmeleitfähigkeit reduziert werden (Blum, 2019). Wasser kann schlechter versickern, weswegen der Boden vernässt (Blum, 2019). Durch die verminderte vertikale Versickerung kommt es zu einer reduzierten Grundwasserneubildung (Blum, 2019). Infolge der Staunässe kann es zu einem Stickstoffverlust des Bodens und somit einem Austritt von Lachgas kommen (Blum, 2019). Zudem wird durch die Verdichtung die Durchwurzelbarkeit und der kapillare Wasseraufstieg vermindert (Blum, 2019). Pflanzen haben somit keine Chance viele Wurzeln auszubilden und diese tief im Boden zu verankern (Blum, 2019). Die sich unterhalb des Oberbodens durch Bodenverdichtung ausgebildeten Plattenstrukturen können das Potential durch Wassererosionen vergrößern (Blum, 2019). Durch diese negativen Auswirkungen ist eine Bewirtschaftung schwerer, da weniger Ertrag anfällt und mehr Dünger erforderlich ist (Blum, 2019). Um eine Bodenverdichtung rückgängig zu machen, ist es notwendig, bodenlockernde und stabilisierende Maßnahmen durchzuführen, welche in den Ergebnissen näher beschrieben werden (Blum, 2019).

1.2.4.3 Bodenerosionen durch Wind und Wasser

Infolge der Zunahme von offenen Ackerflächen, den Anbau von erosionsgefährdeten Kulturen wie Mais, die Einengung der Fruchtfolge hin zu Monokulturen, die Bodenverdichtung sowie Degradation der Bodenstrukturen und die Beseitigung von abtragshemmenden Strukturen wie zum Beispiel Hecken, können Bodenerosionen entstehen (Krebs et al., 2017). Bei Bodenerosionen wird durch Wind oder Wasser Boden abgetragen (Kape, 2019). Während der letzten Eiszeit entwickelten sich durch Bodenerosionen fruchtbare Böden (Blum, 2019). Heutzutage bewirken Bodenerosionen jedoch genau das Gegenteil. Für etwa ein Drittel der Ackerfläche Deutschlands besteht eine mittlere bis hohe Erosionsgefahr (Blum, 2019). Besonders gefährdet für Winderosionen sind humusarme Sandböden, die ackerbaulich genutzt werden (Kape, 2019). Bodenerosionen können die Bodenmächtigkeit verringern, die Filter-, Speicher- und Pufferfunktion beschädigen und die Biodiversität und Grundwasserneubildung verringern

(Blum, 2019). Bei Bodenerosionen geht zunächst immer der Oberboden verloren, wodurch es zu einer Verringerung der Bodenfruchtbarkeit, also einem Verlust von Humus, bodenbildender Mineralien und Nährstoffen kommt (Blum, 2019; Krebs et al., 2017). Das kann eine reduzierte Speicherung des Kohlenstoffs zur Folge haben (Blum, 2019). Juliane Filser spricht, bei einer Veränderung der Fläche von Weideland in Ackerland, von einem Verlust des organischen Kohlenstoffs im Boden um 32% (Filser, 2021). Dies geschieht vor allem bei Böden mit fehlender Pflanzendecke, infolge schwachen Humusgehalts oder ungünstiger Porenverteilung des Bodens (Blum, 2019). Durch diese geringe Strukturstabilität kann der Boden auftreffendes Niederschlagswasser nicht schnell genug infiltrieren und es kommt zu einem Abtrag des Bodens mit Wasser (Blum, 2019). Geneigte Flächen verstärken diesen Effekt (Blum, 2019). Der Abtrag kann in umgebende Gewässer gelangen und diese dann durch einen Eintrag von, im Boden vorhandenen, Nährstoffen, Schwermetallen, Pestiziden und Schwebstoffen belasten (Krebs et al., 2017). Eine weitere Folge dieser Verschlämmung tritt nach Trocknung des Schlammes auf. Dabei entwickelt sich eine Kruste, die zu einer geringeren Bodenbelüftung führt und es den Bodenkeimlingen erschwert die Oberfläche zu durchstoßen (Krebs et al., 2017). Bodenerosionen durch Wind können nicht nur dem Boden und den Gewässern, sondern auch der Infrastruktur schaden und Menschen gefährden (Krebs et al., 2017). Im Jahr 2011 kam es auf der A19 bei Rostock zu einem Verkehrsunfall infolge eines Sandsturms, der durch Winderosionen ausgelöst wurde (Kühl, 2021). Jährlich kommt es durch Bodenerosionen zu einem weltweiten Bodenverlust von etwa 75 GT an Bodenmaterial (Blum, 2019). Der durchschnittliche Bodenverlust, bedingt durch die Landwirtschaft, liegt bei mehr als 100 Tonnen pro Hektar und Jahr und wird somit als Bodendegradation bezeichnet (Blum, 2019). Die Neubildung von Boden liegt weit unterhalb des Bodenverlustes bei 0,3 bis 1,4 Tonnen pro Hektar und Jahr (Blum, 2019). Somit kommt es zu einer generellen Humusverarmung durch die Landwirtschaft und einer verringerten Biodiversität, durch den abgetragenen Oberboden (Krebs et al., 2017).

1.2.4.4 Artenrückgang

Der größte Artenrückgang in Deutschland ist durch die Landwirtschaft zu verzeichnen (Wöllecke & Elmer, 2008). Die intensive Bewirtschaftung stellt für viele Pflanzen- und Tierarten keinen geeigneten Lebensraum dar, weswegen die Artenzahl und das Vorkommen von Bodenorganismen gering ist (Wöllecke & Elmer, 2008; UBA, 2022). Der Feldhamster, welcher früher eine Plage war, ist heutzutage vom Aussterben bedroht, da er durch die Intensivierung kaum noch Deckung vor Feinden und ausreichend Nahrung bekommen kann (v.d.Decken et al., 2017; Meinig et al., 2014). Auch der Kiebitzbestand ist von 1980 bis 2021 um 60% in Europa und in Deutschland von 1992 bis 2016 um fast 90% zurückgegangen (PECBMS, 2022; Gerlach et al., 2019). Der Rebhuhnbestand hat in Europa im gleichen Zeitraum (1980-2021) um 92% und in Deutschland von 1992 bis 2016 ebenfalls um fast 90% abgenommen, da diese kaum noch Brutplätze finden, welche ihnen ausreichende Sicherheit vor Feinden geben (Gerlach et al., 2019; PECBMS, 2022; Gottschalk & Beeke, 2014). Sie finden kaum noch Nahrung, da der Insektenbestand auf den mit Pestiziden belasteten Flächen gering ist (Gottschalk &

Beeke, 2014). Ähnlich geht es der Uferschnepfe (-61% in Europa), der Bekassine (-56% in Europa) und dem Braunkehlchen (-90% in Europa) (PECBMS, 2022). Durch den Einsatz von Herbiziden, welche Wildpflanzen und Ackerwildkräuter zurückdrängen, finden blütenbestäubende und auf Wildkräuter spezialisierte Insekten kaum noch Nahrung (v.d.Decken et al., 2017; BUND Naturschutz in Bayern e.V., kein Datum). Etwa ein Drittel der Ackerwildkrautarten in Deutschland sind bereits ausgestorben (Bundeszentrale für politische Bildung, 2020). So konnte es in den letzten drei Jahrzehnten zu einem Rückgang um 55% bis 75% von Schmetterlingen kommen (BUND Naturschutz in Bayern e.V., kein Datum). Auch 41% der Wildbienenarten Deutschlands sind bedroht (v.d.Decken et al., 2017). Viele Wildbienenarten nisten im Boden (BUND Naturschutz in Bayern e.V., kein Datum). Infolge des Rückgangs wertvoller Strukturen wie Sandwege, Hecken, Totholz- und Steinhaufen sind diese in ihrem Bestand stark gefährdet. Generell lässt sich festhalten, dass 46% der wirbellosen Tiergruppen auf der Roten Liste stehen, etwa 50% der Population der Feldvogelarten sich halbiert haben und viele Ackerwildkräuter ausgestorben sind (Bundeszentrale für politische Bildung, 2020).

1.2.5 Extensive Grünlandstandorte

Extensive Grünlandstandorte sind durch Menschen erschaffene Biotope, welche seit den 1960er Jahren zurückgehen (Andrä et al., 2002; Schröder & Wider, 2013). Vor allem der Silomaisanbau für die Biogasproduktion hat einen Umbruch der ehemaligen Grünlandstandorte in Ackerflächen verursacht (Schröder & Wider, 2013). Auf Grünlandstandorten leben mehr als die Hälfte der in Deutschland heimischen Farn- und Blütenpflanzen (Schröder & Wider, 2013). Über 1.000 Pflanzenarten trifft man vorwiegend oder ausschließlich auf diesen Flächen (Schröder & Wider, 2013). Über zwei Drittel der Tierarten in Deutschland sind direkt oder indirekt auf Grünlandflächen und deren Vegetation angewiesen (Schröder & Wider, 2013). Grünlandstandorte haben eine dauerhafte Vegetation und bieten damit Erosionsschutz. Sie besitzen eine hohe mikrobielle Aktivität, können Kohlenstoff gut speichern und sorgen mittels ihrer Filterfunktion für eine Wasserreinhaltung und gute Wasserspeicherung (Schröder & Wider, 2013). Der Wert des Grünlands variiert nach Standort und Pflege, wobei nur extensiv gepflegtes Grünland seltene Arten enthält (Schröder & Wider, 2013). Extensives Grünland erreicht man durch Verzicht auf Dünge- und Pflanzenschutzmittel, eine späte Mahd und/oder geringe Beweidungsdichte (Lang et al., 2022; Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2021). Somit wird der Boden ausgehagert und Blütenpflanzen, wie Ackerwildkräuter, entstehen (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2021). Das extensive Grünland bietet für Menschen einen hohen Erholungswert und wird als ästhetisch wahrgenommen (Schröder & Wider, 2013). In den kommenden zwei Abschnitten wird näher auf die biotischen und abiotischen Standortfaktoren eingegangen, wobei der Boden bei den abiotischen Standortfaktoren eine wichtige Rolle innehat.

1.2.5.1 Abiotische Faktoren

Die abiotischen Faktoren setzen sich aus klimatischen Standortfaktoren, der Gesamtheit der im Boden lebenden Organismen und dem Relief zusammen (Pott & Hüppe, 2007). Auf das Thema Boden muss zunächst allgemeiner eingegangen werden, da Grünlandstandorte auf unterschiedlichen Bodenarten vorzufinden sind. Daraufhin wird auf klimatische Standortfaktoren wie Klima und Niederschlag eingegangen. Das Relief wird nicht explizit behandelt. Es findet Erwähnung im Abschnitt des Klimas.

Boden

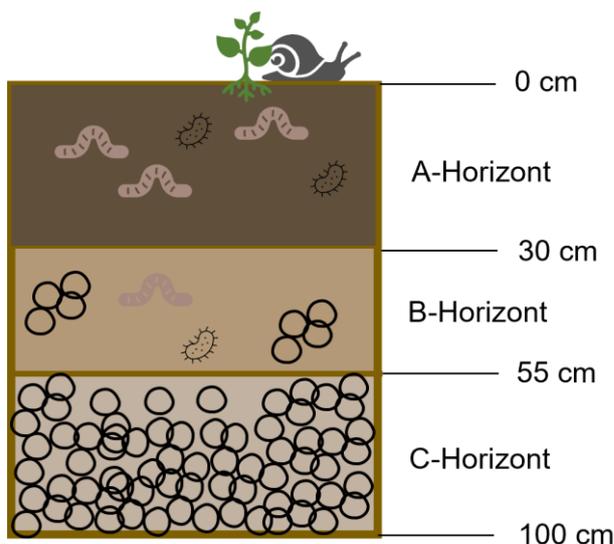


Abbildung 9: Bodenhorizonte; Datengrundlage: (UBA, 2018) eigene Darstellung

Der Boden bildet die größte Genreserve dieser Welt und enthält etwa zwei Drittel der terrestrischen Lebewesen (Blum, 2019). Es ernähren sich weltweit, betrachtet nach Artenanzahl und Masse, bis zu fünfmal mehr Organismen innerhalb des Bodens, im Vergleich zu der Bodenoberfläche (Blum, 2019). Er spielt somit, bei der Betrachtung der Biodiversität, eine entscheidende Rolle. Er ist die zweitgrößte natürliche Kohlenstoffsene, da er Kohlenstoff in Form von organischer Bodensubstanz speichert (Blum, 2019). Zudem bindet er Stickstoff aus der Luft (Blum, 2019). Der Boden dient zur Filtration und Speicherung von Regenwasser

und zur Erzeugung von sauberem Grundwasser, ist also ein wichtiger Bestandteil des Wasserhaushaltes auf der Erde (Blum, 2019). Er filtert und puffert Schadstoffe, die durch menschliche Aktivitäten in den Boden gelangt sind (Blum, 2019). Der Boden ist ein Verwitterungsprodukt und hat in den letzten 12.000 Jahren viele Veränderungen erfahren, welche physikalischer, chemischer und biologischer Natur sind (Blum, 2019). Diese Veränderungen wurden unter anderem durch das Klima, die Vegetation, die Hydrologie und menschliche Aktivitäten hervorgerufen (Blum, 2019). Die Basis für unseren heutigen Boden ist die Lithosphäre, welche unter dem Einfluss des Klimas und durch physikalische Prozesse verwittert ist (Blum, 2019). Sie stellt den C-Horizont des Bodens dar, wie in Abbildung 9 zu sehen ist (Blum, 2019). Durch eine Verwitterung der Gesteine entsteht mineralisches Material, welches den B-Horizont darstellt (Blum, 2019). Dieses mineralische Material, dessen Entstehung Jahre bis Jahrzehnte dauern kann, besteht zum Beispiel aus Tonmineralen, Oxiden, Hydroxiden und wasserlöslichen Salzen (Blum, 2019). Es hat einen Durchmesser von etwa 2 µm und ist somit die kleinste Kornfraktion des Bodens (Blum, 2019). Es ist sehr reaktionsfreudig und stellt den Austausch sowie die Bildung von Nährstoffen und Wasser sicher (Blum, 2019). Außerdem bindet es Huminstoffe (Blum, 2019). Der oberste Horizont, der A-Horizont besteht aus

organischer Substanz (Huminstoffe) und Mineralien (Blum, 2019). Die organische Substanz stammt von abgestorbenen Tieren und Pflanzen und entsteht durch den Ab- und Umbau dieser (Blum, 2019). Durch den Regenwurm, der Bioturbation betreibt, können die fruchtbarsten Bodenbestandteile entstehen (Blum, 2019). Der Regenwurm zerkleinert und frisst die abgestorbenen und mineralischen Bestandteile und wandelt diese, mithilfe der in seinem Darm lebenden Mikroorganismen, zu Ton-Humuskomplexen um, wie in Abbildung 10 dargestellt ist (Blum, 2019). Dieser Prozess wird Humifizierung genannt (Blum, 2019). Daraufhin werden die Huminstoffe mittels Mineralisierung zu Kohlenstoffdioxid, Wasser und Nährelementen abgebaut (Blum, 2019). Sie sind die Grundlage der Nährstoffkreisläufe in terrestrischen Ökosystemen (Blum, 2019). Die Herstellung der Huminstoffe und die Bioturbation, also die Vermischung der organischen Bestandteile mit Mineralen,

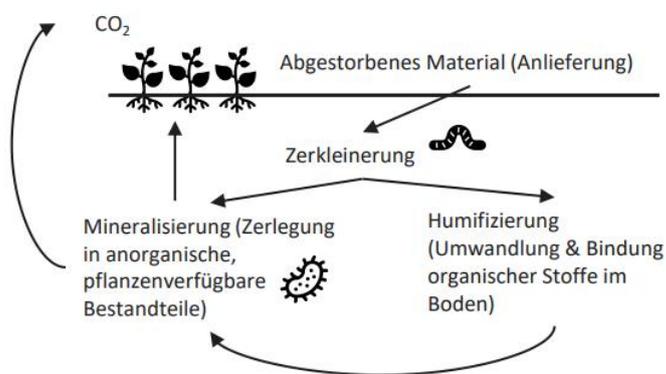


Abbildung 10: Humusbildung; Eigene Darstellung

beanspruchen einen Zeitraum von Wochen bis Monaten (Blum, 2019). Huminstoffe bedeuten jedoch nicht gleich Bodenfruchtbarkeit (Breitschuh et al., 2015). Die Bodenfruchtbarkeit ist ein Zusammenspiel aus Humus, der Bodenstruktur und den Mikroorganismen (Breitschuh et al., 2015). Es gibt den Dauerhumus, der schwer zersetzbar und strukturbildend ist, und den Nährhumus, welcher schnell

mineralisierbar und durch Bewirtschaftung beeinflussbar ist (Breitschuh et al., 2015). Nährhumus befindet sich in den ersten 10 cm des Oberbodens und Dauerhumus in den folgenden 20 cm (Flessa et al., 2019). Der Regenwurm hat, neben der Herstellung fruchtbarer Bodenbestandteile, noch eine andere wichtige Funktion. Er kann Hohlräume herstellen (Blum, 2019). Pflanzen hingegen sind nur im Stande, mithilfe des sekundären Dickenwachstums ihrer Wurzeln, Hohlräume zu erweitern (Blum, 2019). Die Hohlräume bilden die Porenstruktur des Bodens, welche dem Austausch und der Speicherung von Wasser, Luft und Nährstoffen dient (Blum, 2019). Sie ist notwendig für die Versorgung der Pflanzenwurzeln und bestimmt die Aktivität und Art der lebenden Organismen, da alle wichtigen biologischen und physio-chemischen Prozesse sich dort abspielen (Blum, 2019). Feinporen haben einen Durchmesser von unter 2 µm und binden im Boden vorkommendes Wasser so fest, dass es für die meisten Pflanzenwurzeln nicht erreichbar ist (Blum, 2019). Es wird auch Totwasser genannt und hält die Bodenluft bei Trockenheit feucht (Blum, 2019). Grobporen haben einen Durchmesser von über 0,5 mm und lassen das aufkommende Niederschlagswasser schnell versickern (Blum, 2019). Dieses Wasser bildet, gefiltert durch den Boden, das Grundwasser (Schultz, 2016). Mittelporen, welche einen Durchmesser von 2 µm bis 0,5 mm haben, können das Wasser im Boden pflanzenverfügbar machen (Blum, 2019). Die Grundwasserneubildung ist im Winter höher als im Sommer, da der Wasserverbrauch durch das Wachstum von

Pflanzen geringer ist (Blum, 2019). Da jeder Boden lokal sehr unterschiedlich ist, ist auch die dort vorkommende Biodiversität sehr verschieden (Blum, 2019). Die Bodenfarbe gibt Hinweise auf die Entstehung und Funktion des Bodens, da sie einen Indikator der mineralischen und organischen Zusammensetzung darstellt (Blum, 2019).

Extensive Grünlandböden sind nährstoffarm, haben einen hohen Anteil an Humus und können Kohlenstoff im Unterboden sehr gut speichern (Flessa et al., 2019). Sie sind oftmals auf Braunerden mit lehmigen oder lehmig-sandigen Substrat (Andrä et al., 2002). Grünlandböden haben trockene bis gut wasserversorgte Verhältnisse während der Vegetationsperiode (Andrä et al., 2002). Der Wasserhaushalt ist meistens frisch bis feucht (Andrä et al., 2002). Die Böden sind in der Regel gut mit Phosphor und Kalium versorgt, was sich positiv auf das Artenreichtum auswirkt (Andrä et al., 2002). Der pH-Wert dieser Böden hat sein Optimum bei 6, kann aber zwischen 5 und 7 schwanken (Andrä et al., 2002).

Niederschlag und Klima

Seit etwa 1881 hat sich die mittlere Niederschlagsmenge in Deutschland um etwa 8% erhöht (UBA, 2022). Dabei verzeichnen die Sommermonate einen Niederschlagsrückgang und die Wintermonate einen Zuwachs (UBA, 2022). Die mäßig warmen Sommer haben in den letzten Jahren einen Zuwachs an Trocken- und Hitzeperioden erfahren (Früh et al., 2021). Die Wasserversorgung des Bodens und damit auch der Pflanzen ist abhängig von der Höhe an Niederschlägen, der Luftfeuchtigkeit, der Bodenart und -bedeckung (Pott & Hüppe, 2007). Die Luftfeuchtigkeit, gemessen an der Wetterstation der HAW in Bergedorf, ist im Winter höher als in den Sommermonaten (Hochschule für Angewandte Wissenschaften - Fakultät Life Sciences, 2022). Die vor Ort auftretenden Temperaturen werden durch die Wärmekapazität und die Rückstrahlung des Bodens bestimmt (Pott & Hüppe, 2007). Auch die Hanglage und die Exposition hin zur Sonne spielen eine entscheidende Rolle (Pott & Hüppe, 2007). Die einfallende Sonnenenergie und die Verfügbarkeit von Wasser sind die zwei wichtigsten Klimafaktoren für die biologische Vielfalt in terrestrischen Lebensgemeinschaften (Campbell & Reece, 2009). Diese beiden Faktoren und die Temperatur sind ausschlaggebend für die Evapotranspiration (Campbell & Reece, 2009). Die Evapotranspiration setzt sich aus der Evaporation, also der Verdunstung des Wassers aus dem Boden, und der Transpiration, der Verdunstung des in höheren Pflanzen verfügbaren Wassers über die Stomata, zusammen (Campbell & Reece, 2009). Die Verdunstung, der vom Niederschlagswasser benetzten Vegetationsschicht, ist ebenso abhängig von der Sonnenenergie, der Temperatur und der Wassermenge vor Ort (Campbell & Reece, 2009). Die Evapotranspiration ist in trockenen und warmen Gebieten höher als in kalten Gebieten mit einem hohen Niederschlag (Campbell & Reece, 2009). Unter humiden Klimabedingungen ist die Transpiration auf einem Boden, welcher mit Vegetation bedeckt ist, höher als die Evaporation (Krebs et al., 2017).

1.2.5.2 Biotische Faktoren

In der Bundeskompensationsverordnung, welche 2020 in Kraft getreten ist und länderübergreifend wirkt, sind im Anhang 1 verschiedene Biotoptypen mit ihrem Biotopwert angegeben

(BMJ; BfJ, 2020). Der Biotopwert gibt die Bedeutung des jeweiligen Biotoptyps an (BMJ; BfJ, 2020). Bei einem Biotopwert von null bis vier ist die Bedeutung des Biotops beispielsweise sehr gering, bei Biotopwerten zwischen 10 und 15 ist die Bedeutung mittel und bei Biotopwerten von 19 bis 21 sehr hoch (BMJ; BfJ, 2020). Die höchste Biotopwertigkeit liegt zwischen 22 bis 24 (BMJ; BfJ, 2020). Im Anhang 1 unter 34.07a.01 findet man artenreiche, frische Mähwiesen, die eine Wertigkeit von 20 haben (BMJ; BfJ, 2020). Somit haben diese eine sehr hohe Bedeutung. Da es auf Landesebene andere Biotoptypenlisten gibt, hat das Bundesamt für Naturschutz für jedes Bundesland einen Übersetzungsschlüssel erstellt (BfN, 2023). In der Bayrischen Kompensationsverordnung wäre dies der Biotoptyp G214 Artenreiches Extensivgrünland mit einer Wertigkeit von 19 (BfN, 2023). Diese Flächen sind frische bis mäßig trockene Standorte, die meist eine ein- bis zweischürige Mahd erhalten (Hetzl et al., 2014). Die Flächen haben eine geringe Weideintensität von etwa einer Großvieheinheit pro Hektar (BfN, 2023). Artenreiches Extensivgrünland hat etwa einen Deckungsanteil an Magerkeitszeigern von mindestens 25% und an wiesentypischen krautigen Blühpflanzen von mindestens 12,5% (BfN, 2023). Unter diesen Biotoptyp fallen auch artenreiche extensive Mähwiesen des Flachlandes (BfN, 2023). Im Anhang 1 der Fauna-Flora-Habitats-Richtlinie werden unter 6510 mageres Flachland-Mähwiesen genannt (EU, 2013). Dieser Lebensraumtyp ist von gemeinschaftlichem Interesse und Teil des Natura 2000 Gebietes (EU, 2013). Er ist nach § 30 des BNatSchG geschützt (BMJ; BfJ, 2022). Da nicht jede Tier- und Pflanzenart dieses Biotoptyps in jedem Bundesland vertreten ist, sind auch hier verschiedene Details im jeweiligen Bundesland zu finden. In Bayern fällt dieser Biotoptyp unter artenreiche Flachland-Mähwiesen (Lang et al., 2022). In diesem Biotoptyp muss mindestens eine wichtige Kennart des *Arrhenatherion* anzutreffen sein (Lang et al., 2022). Da dieser Biotoptyp eine Mahd und eine Beweidung als Pflege beinhaltet, können bei einer Beweidung typische Beweidungszeiger, wie Acker-Kratzdisteln (*Cirsium arvense*), Gänseblümchen (*Bellis perennis*), Weißklee (*Trifolium repens*) und der Kriechende Hahnenfuß (*Ranunculus repens*), zu finden sein (Lang et al., 2022). Viele vorkommende Pflanzenarten haben einen niedrigen oder mittleren Deckungswert (Lang et al., 2022). Typische Pflanzenarten der artenreichen Flachland-Mähwiesen sind der Gamander-Ehrenpreis (*Veronica chamaedrys*), der Wiesen-Sauerampfer (*Rumex acetosa*), die Weiche Trespe (*Bromus hordeaceus*), der Frauenmantel (*Alchemilla spec.*), die Große Bibernelle (*Pimpinella major*) und die Vogel-Wicke (*Vicia cracca*) (Lang et al., 2022). Typische Tierarten sind die Feldgrille (*Gryllus campestris*), der Wiesengrashüpfer (*Chorthippus dorsatus*), das Ampfer-Grünwidderchen (*Adscita staites*), das Rotbraune Wiesenvögelchen (*Coenonympha glycerion*), das Schachbrett (*Melanargia galathea*), der Kleine Esparsetten-Bläuling (*Polyommatus thersites*), das Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*) und die Wachtel (*Coturnix coturnix*) (Godt et al., 2017; Lang et al., 2022). In den folgenden Abschnitten wird näher auf einzelne Pflanzen- und Tierarten und Problempflanzen eingegangen. Dies soll beispielhaft zeigen, welche Bedingungen bei neuen FF-PVA gegeben sein müssen, um diese Arten zu fördern.

Gewöhnlicher Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*)

Der Glatthafer gehört zu den Gräsern, wächst vorwiegend auf kalkhaltigen Böden und entwickelt tiefreichende Wurzeln (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und

Forsten (StMELF), 2023). Die Lebensdauer beträgt zwischen drei und 6 Jahren (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), 2023). Er bildet sich hauptsächlich bei einer ein- bis zweischürigen Mahd und kann bei einer Beweidung ausbleiben (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), 2023).

Feldgrille (*Gryllus campestris*)

Die Feldgrille ist eine flugunfähige Grille, die schnell laufen kann und nur selten springt (NLWKN, 2011). Als Lebensraum bevorzugt sie extensive Grünlandflächen, welche durch Schafe beweidet werden (NLWKN, 2011). Sie lebt in Höhlen, welche sie selbst gräbt und häufig wechselt (NLWKN, 2011). Wichtig ist eine Vegetation, die offene Stellen aufweist (Köhler, 2003). Sie hat einen lauten Gesang, der hauptsächlich zwischen Anfang Mai und Ende Juni zu hören ist (NLWKN, 2011). Die Feldgrille durchläuft 9 bis 12 Larvenstadien und frisst hauptsächlich Gräser, Kräuter und Insektenaas (Köhler, 2003). Ihre natürlichen Feinde sind unter anderem der Storch, der Neuntöter, der Grauspecht und die Bachstelze (Köhler, 2003).

Ampfer-Grünwidderchen (*Adscita statices*)

Das Ampfer-Grünwidderchen bevorzugt als Lebensraum Magerrasen und nasse bis wechsel-feuchte Wiesen (BUND, 2023). Die Raupen des Ampfer-Grünwidderchens fressen nur saure Ampferarten (BUND, 2023). Der Schmetterling zieht den Nektar von Kuckucks-Lichtnelken, Acker-Witwenblumen, Wiesen-Flockenblumen und Diesteln vor (BUND, 2023). Er fliegt von Mitte Mai bis August und legt seine Eier auf die Blattunterseite des Sauerampfers (BUND, 2023). Das Ampfer-Grünwidderchen steht derzeit auf der Vorwarnliste der Roten Liste in Deutschland, da auch hier die intensive Landwirtschaft mit mehrschüriger Mahd und Düngung seine Lebensräume verringert (BUND, 2023).

Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*)

Das Braunkehlchen gilt in Deutschland als stark gefährdet und kommt hauptsächlich auf extensiv genutzten Grünländern vor (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022). Der Rückgang wird unter anderem durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung verursacht (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022). Hohe Sitzwarten werden als Singwarte oder Jagdansitz genutzt (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022). Die vorhandene Vegetation muss genügend Versteckmöglichkeiten bieten und das Insektenangebot hoch sein (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022). Braunkehlchen sind Bodenbrüter, die ihr Nest in kleinen Mulden in der Nähe einer Sitzwarte haben (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022). Sie brüten von Ende April bis Anfang August (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022). Um sie zu schützen, darf eine Mahd erst ab Mitte Juli stattfinden und Bodenarbeiten müssen bis spätestens Anfang April abgeschlossen sein (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022). Altgrasstreifen mit ausreichend Singwarten können zu ihrem Erhalt führen (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022).

Problempflanzen

Die EU-Kommission hat 2016 eine Liste der invasiven gebietsfremden Arten veröffentlicht, welche kontinuierlich erweitert wird (BfN, kein Datum; Blum, 2019). Invasive Arten können die physikalischen und chemischen Bedingungen im Boden ändern und somit auch die räumliche Verteilung von anderen Pflanzen (Blum, 2019). Dabei kommt es nicht nur zu einer Verdrängung von einheimischen Pflanzenarten, sondern auch zu einer Veränderung der

Lebensbedingungen der angepassten Tiere und Mikroorganismen (Blum, 2019). Zu den häufig auftretenden Problempflanzen auf Grünlandflächen, von denen nicht alle invasiv und gebietsfremd sind, zählen das Jakobskreuzkraut (*Senecio jacobaea*), der Riesen-Bärenklau (*Heracleum mantegazzianum*), der Japanische Staudenknöterich (*Fallopia japonica*), die orientalische Zackenschote (*Bunias orientalis*), die Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und die Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) (Enerparc AG).

Das Jakobskreuzkraut ist eine zweijährige bis andauernde Pflanze, ein Lichtkeimer und breitet sich seit 1990 stark aus (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021). Es hat eine hohe Toleranz gegenüber Trockenheit und wächst in lückigen Narben (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021). Die Blütezeit umfasst den Zeitraum von Juni/Juli bis September (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021). Jede Pflanze bildet in dieser Zeit etwa 150.000 flugfähige Samen aus (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021). Die Samen sind bis zu 20 Jahre im Boden überlebensfähig und können somit auch Jahre später noch auskeimen (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021). Das Jakobskreuzkraut enthält in allen Pflanzenteilen giftige Pyrrolizidinalkaloide, welche auch bei Konservierung nicht abgebaut werden (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021). Diese Giftstoffe können chronische Lebervergiftungen hervorrufen, die zum Tod führen können (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021).

Der Riesen-Bärenklau kommt ursprünglich aus dem Kaukasus und kam im 19. Jahrhundert nach Europa (Starfinger & Kowarik, 2003). Er hat geringe Standortansprüche und lebt etwa zwei Jahre (Abs, 2004; Starfinger & Kowarik, 2003). Im ersten Jahr bildet er eine Rosette und im Folgejahr einen auffälligen Blütenstand (Starfinger & Kowarik, 2003). Während dieser Zeit bildet er über 50.000 Samen aus, die sich durch den Wind in einem Radius von 100 m ausbreiten (Abs, 2004; Starfinger & Kowarik, 2003). Er verdrängt einheimische Tier- und Pflanzenarten, indem er einen Großteil des Lichtes absorbiert und somit die Krautschicht zurückgeht (Abs, 2004; Starfinger & Kowarik, 2003). In allen Pflanzenteilen sind phototoxische Furanocumarine enthalten, die bei Hautkontakt und Sonneneinstrahlung zu Hautentzündungen und Blasenbildung führen können (Starfinger & Kowarik, 2003). Diese verbrennungsähnlichen Erscheinungen heilen nur langsam und führen zu einer Narbenbildung (Starfinger & Kowarik, 2003).

Der Japanische Staudenknöterich kommt ursprünglich aus Ostasien und wurde etwa 1825 nach Europa gebracht (Starfinger & Kowarik, 2003). Er ist eine sehr konkurrenzstarke Art und dehnt sich mit den Wurzeln unterirdisch weit aus (Böhmer et al., 2006). Die Ausbreitung erfolgt über den Transport von Fragmenten, bei beispielsweise Bauarbeiten (Starfinger & Kowarik, 2003). Er wächst sehr dicht und hoch, wodurch er starke Schatten bildet (Böhmer et al., 2006; Starfinger & Kowarik, 2003). Durch seine Dominanz führt er zum Rückgang von spezialisierten Tier- und Pflanzenarten (Starfinger & Kowarik, 2003).

Die Orientalische Zackenschote kommt aus Ost- und Südeuropa und ist seit dem zweiten Drittel des 20. Jahrhunderts in Deutschland zu finden (Starfinger & Kowarik, 2003). Sie kann über 10 Jahre alt werden und blüht bereits im ersten Jahr (Starfinger & Kowarik, 2003). Die durch den Menschen verbreiteten Samen, die über viele Jahre keimfähig bleiben, reifen und keimen in Bodenverletzungen (Starfinger & Kowarik, 2003). Die Orientalische Zackenschote bildet

dominante Bestände, welche andere Arten verdrängen (Starfinger & Kowarik, 2003). Eine späte Mahd nach Mitte Juni und Mulchen begünstigen die Ausbreitung und Etablierung der Pflanze (Starfinger & Kowarik, 2003).

Die Robinie kommt ursprünglich aus Nordamerika und ist seit 1634 in Europa anzufinden (Starfinger & Kowarik, 2003). Sie breitet sich weitläufig aus, da die Samen im Wind über 100 m weit getragen werden und noch lange Zeit im Boden keimfähig bleiben (Starfinger & Kowarik, 2003). Die Pflanze hat geringe Ansprüche an den Boden und das Klima, beschleunigt die Sukzession und reichert den Boden mit Nährstoffen an (Meyer-Münzer et al., 2015; Starfinger & Kowarik, 2003). Ihre Wurzeln breiten sich weitläufig aus und führen durch Stickstofffixierung zu einer Nitrifikation, welche eine nitrophile Vegetation hervorruft und begünstigend auf die Ansiedlung von Pflanzen aus Saum- und Waldbereichen wirkt (Meyer-Münzer et al., 2015; Starfinger & Kowarik, 2003). Doch auch durch Beschattung und starke Humusbildung werden lichtliebende, konkurrenzschwache und gefährdete Pflanzenarten verdrängt und somit der Lebensraum seltener Tierarten verändert (Meyer-Münzer et al., 2015; Starfinger & Kowarik, 2003).

Die Acker-Kratzdistel hat ebenfalls ein weitläufiges Wurzelwerk und vermehrt sich im Frühjahr über Samen und abgetrennte Wurzelstücke (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, kein Datum). Sie kommt gut in trockenen Umgebungen zurecht und verdrängt andere Pflanzenarten (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021).

1.3 Aktueller Forschungsstand

Zum Thema Biodiversität in Solarparks wurde eine der ersten umfassenden Studien von Dr. Tim Peschel im Jahr 2010 verfasst, die aufzeigt, dass Solarparks die Biodiversität fördern können, wenn sie richtig betrieben werden (Peschel, 2010). Danach folgten weitere Veröffentlichungen weltweit, die sogar aufzeigen, dass Tiere, welche auf der Roten Liste stehen, auf FF-PVA zu finden sind (Peschel et al., 2019; Schlegel, November 2021). Viele Unternehmen in Deutschland unterschrieben 2020 erstmals die „Gute Planung“ des Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V. (bne), welche 2022 überarbeitet wurde (bne, 2022). Die Gute Planung gilt als eine Selbstverpflichtung von Unternehmen, welche FF-PVA planen und bauen, damit FF-PVA einen positiven Beitrag zu Umwelt, Naturschutz, Klimaschutz und dem Landschaftsbild leisten (bne, 2022). Ziel dieser Selbstverpflichtung ist es, dass sich die dortigen Anforderungen in den kommenden Jahren zu einem Standard entwickeln sowie die Biodiversität und Akzeptanz gefördert werden (bne, 2022). Parallel dazu wurden Leitfäden als Hilfestellung entwickelt, um auf FF-PVA die Biodiversität, bzw. die Artenvielfalt zu erhöhen.

In dieser Bachelorarbeit wird sich primär auf drei Leitfäden konzentriert. Der erste ist der „Leitfaden für naturverträgliche und biodiversitätsfreundliche Solarparks“ von Hietel et al., welcher im Rahmen eines Forschungsprojektes der Technischen Hochschule in Bingen formuliert und durch das MKUEM Rheinland-Pfalz gefördert wurde (Hietel et al., 2021). Der zweite Leitfaden ist von Demuth et al. und wurde in Zusammenarbeit mit der Technische Universität Berlin und dem Institut für Naturschutz und Naturschutzrecht Tübingen verfasst und vom BfN und dem

BMUV gefördert (Demuth et al., 2019). Der dritte Leitfaden ist von Reinke et al. und wurde im Zuge des Evaluierungssystems für eine umweltfreundliche und landschaftsverträgliche Energiewende (EULE) II Projektes erstellt (Reinke et al., 2021). Das EULE II Projekt schloss sich an das EULE I Projekt an und lief von November 2020 bis September 2021 (Reinke et al., 2021). Das Ziel dieses Projektes war ein bundesweit anwendbares Auditsystem für FF-PVA und die Erstellung einer Umsetzungsstrategie (Reinke et al., 2021).

All diese Leitfäden beschreiben Maßnahmen, die zu einer Extensivierung der Fläche führen und somit zur Erhöhung der Biodiversität. Genaue Details zur Umsetzung wurden bei allen Leitfäden ausgelassen, sodass es weiterer Recherche bedarf. Zudem sind einige Informationen, wie beispielsweise der Reihenabstand, verschieden. In Folge dessen kann man sich nicht sicher sein, ob die aufgeführten Maßnahmen auch Wirkung zeigen. Ziel dieser Bachelorarbeit ist, diese Leitfäden zusammenzuführen, Details auszuarbeiten und widersprüchliche Angaben aufzulösen.

2 Material und Methoden

Um das Thema dieser Bachelorarbeit beantworten zu können, wurde anfangs eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, um einen groben Überblick über das Thema und den bisherigen Forschungsstand zu erhalten. Wie in Kapitel 1.3 beschrieben, wurden dabei Leitfäden gefunden, die grobe Informationen für eine Förderung der Biodiversität auf FF-PVA enthalten. Des Weiteren wurden Expert:innen-Gespräche geführt, um bestehende Informationslücken zu füllen. Die Enerparc AG, mit ihren Abteilungen und Mitarbeiter:innen, lieferte abschließende praktische Informationen zum Thema. Somit konnten Meinungen verschiedener Institutionen und Personen mit unterschiedlichem Wissen hinsichtlich des Themas gewährleistet werden.

In Kapitel 2.1 wird zunächst auf die verwendeten Datenbanken und Portale eingegangen und die Literaturrecherche näher erklärt. Anschließend werden in Kapitel 2.2 die durchgeführten Expert:innen-Gespräche erläutert. Auf die Expertise der Enerparc AG wird in Kapitel 2.3 eingegangen.

2.1 Literaturrecherche

Am Anfang der Literaturrecherche wurde zunächst nur eine grobe Suche nach Referenzen durchgeführt. Dies diente der Übersichtlichkeit über das Thema. Nach Sichtung der Referenzen wurde eine detaillierte Suche durchgeführt, um auf einzelne offene Punkte Antworten zu erhalten. Um die Referenzen der meistgenutzten Datenbanken und Portale darzustellen, welche im Ergebniskapitel für die grobe und detaillierte Literaturrecherche genutzt wurden, dient Tabelle 1 als Übersicht. Mithilfe von Farben, welche unter der Tabelle näher beschrieben sind,

Tabelle 1: Zuordnung der verwendeten Datenbanken und Portale zu den Ergebniskapiteln

Datenbank / Portal	3.1 Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen	3.2 Förderung der Biodiversität auf zukünftigen Anlagen
Hochschulkatalog der HAW		
Hochschulkatalog der Uni Hamburg		
ScienceDirect		
ResearchGate		
Google Scholar		
Gesetze im Internet		

BMUV		
BMEL		
BfN		
BUND		
LLUR SH		
MKUEM Rheinland-Pfalz		
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz		
Seiten anderer Bundesländer		
bne		
Fraunhofer ISE		
KNE		
Enerparc AG		
Expert:in-Gespräch 1		
Expert:in-Gespräch 2		
Expert:in-Gespräch 3		
Expert:in-Gespräch 4		
Expert:in-Gespräch 5		
Expert:in-Gespräch 6		

Legende

	= sehr viele Informationen
	= viele Informationen
	= wenig Informationen
	= keine Informationen

sind die Datenbanken und Portale in ihrer Wichtigkeit beschrieben. Die grüne Farbe bedeutet, dass die Datenbanken und Portale Referenzen lieferten, welche für den Inhalt des jeweiligen Kapitels von hoher Bedeutung waren. Dies muss nicht bedeuten, dass die Anzahl der Referenzen groß war, da der Inhalt einer Referenz manchmal auch viele Informationen wiedergegeben hat, welche in großem Maße genutzt wurden. Dies ist beispielsweise bei dem MKUEM Rheinland-Pfalz der Fall. Dort wurde nur eine Referenz (Hietel et al.) genutzt. Die gelbe Farbe bedeutet, dass eine Datenbank oder ein Portal zwar häufig relevante Informationen lieferte, jedoch nicht in dem Ausmaß, wie die Datenbanken und Referenzen des grünen Farbcodes. Die blaue Farbe bedeutet, dass eine Datenbank oder ein Portal ein paar wichtige Informationen zu dem Thema enthielt. Bei keiner Färbung hatte die Datenbank oder das Portal keine wichtigen Informationen und wurde somit nicht für das Kapitel genutzt.

Mit dem Ziel einen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft zu gewinnen, wurde in internationalen Datenbanken mit englischsprachigen Suchbegriffen und in nationalen Datenbanken mit deutschsprachigen Suchbegriffen eine Recherche durchgeführt. Dabei wurden die einzelnen Stichworte miteinander kombiniert und Suchstrings erstellt. Es wurde darauf geachtet, dass sich die biologischen Referenzen auf die geographischen Bedingungen in Deutschland übertragen lassen, wobei Referenzen im technischen Bereich überregional von Interesse waren.

In Kapitel 3.1 wurden primär deutsche oder englischsprachige wissenschaftliche Studien genutzt. In Kapitel 3.2 dominierten, die bereits in Kapitel 1.3 beschriebenen Leitfäden.

Die erhaltenen Informationen der Leitfäden wurden, wenn möglich, verglichen, um sicherzustellen, dass diese auch von anderen Autor:innen bestätigt oder weiter ausgeführt wurden. Die Studien, welche in Kapitel 3.1 verwendet wurden, haben sich gegenseitig ergänzt.

Tabelle 2: Verwendete Stichwörter zur Literaturrecherche der einzelnen Ergebniskapitel

	Deutsch	Englisch
Stichwörter für Kapitel 3.1	Vegetation Boden Schatten Mikroklima Evapotranspiration bifazial Auswirkungen B-Plan Avifauna Landschaft Tiere Kabel	impact effect soil microclimate shading toxicity evapotranspiration bifacial birds animals landscape
Stichwörter für Kapitel 3.2	EULE	Grassland

	Monitoring Leitfaden Landwirtschaft Biotop Biotoptyp Lebensraum Landschaftsplanung Grünland Regiosaatgut Totholz Steinschüttungen Hecken Mahd Mähen Mulchen Befahrmuster Schafe Schafbeweidung Problempflanzen Bodenschutz Zauneidechse Heuschrecken Reptilien Amphibien Biene	Bee Amphibians Reptiles Meadow Mowing Techniques sheep
Stichwörter für beide Kapitel	Solarpark Solarenergie Photovoltaik PV Photovoltaik-Freiflächenanlagen Freiflächen-Photovoltaikanlagen Photovoltaikmodul Erneuerbare Energien Biodiversität	solar farms solar energy photovoltaic photovoltaic systems solar panel solar module photovoltaic module environment environmental

	Naturschutz Natur naturverträglich Umwelt Flora Fauna	
--	--	--

2.2 Expert:innen-Gespräche

Durch die bereits festgestellte fehlende Detaillierung der Leitfäden wurden Expert:innen-Gespräche zur weiteren Informationsgewinnung notwendig. Ziel der Gespräche war es, die vorhandenen Leitfäden anschließend durch Details zu ergänzen. Nicht viele Unternehmen nutzen die Informationen der bereits bestehenden Leitfäden. Grund dafür kann die Ungenauigkeit der darin bereitgestellten Informationen und die vorhandene Intransparenz zwischen den Unternehmen sein. Um mehr über die praktische Anwendbarkeit zu erfahren, wurde in diesem Zusammenhang ein Unternehmen befragt, welches diese Leitfäden umsetzt. Hinzu kommt, dass nicht alle Positionspapiere zu diesem Thema aktuell sind, jedoch ist die Klimakrise und der voranschreitende Artenverlust ein sehr aktuelles und sich stetig veränderndes Thema. Somit konnten durch die Befragungen von Vertreter:innen aus Behörden deren aktuelle Standpunkte erfahren werden.

2.2.1 Auswahl Interviewteilnehmer:innen

Bei allen Expert:innen war es wichtig, dass diese berufliche Erfahrung hinsichtlich des Themas haben. Um dies zu garantieren, wurden Teilnehmer:innen des BfN-Fachgesprächs „Wege zum naturverträglichen Ausbau der Solarenergie“ vom 26. Oktober 2022 und des BfN-Vernetzungskolloquiums „Große Herausforderung oder neue Chance? Naturschutz und der Ausbau der Energiewende“ vom 27. Oktober 2022 befragt und nach einer ersten Einschätzung zu einem Expert:innen-Gespräch eingeladen. Zudem wurde ein/e Expert:in befragt, welche/r schon mit der Enerparc AG zu diesem Thema zusammengearbeitet hat. Des Weiteren wurde ein/e Mitarbeiter:in der Wattmanufactur GmbH und Co. KG zu einem Gespräch eingeladen, welche/r bereits Positivbeispiele des Themas vorzeigen kann und die Leitfäden in die Tat umgesetzt hat. Insgesamt wurden 6 Expert:innen befragt, welche in Tabelle 3 mit der jeweiligen Institution und dem jeweiligen Arbeitsbereich dargestellt sind. Die Interviewteilnehmer:innen wurden chronologisch nach Interviewtermin geordnet und mit den entsprechenden Zahlen gekennzeichnet.

Tabelle 3: Institutionen und Arbeitsbereiche der Expert:innen

Interviewteilnehmer:in	Institution	Beratung	Forschung	Solarausbauer:in
1	Selbstständige:r Berater:in, RheinEnergie AG	x		x
2	TU Dresden, Leibnitz-Institut für ökologische Raumentwick- lung	x	x	
3	Bundesamt für Naturschutz	x	x	
4	Selbstständige:r Berater:in	x		
5	Wattmanufactur GmbH & Co. KG			x
6	BUND		x	

Der/die erste Expert:in ist ursprünglich gelernte:r Landschaftsingenieur:in, hat lange in der Solarbranche gearbeitet, bei welcher er/sie Projektierer:in war und im Austausch mit Landwirt:innen stand. Seit 2021 ist er/sie als selbstständige:r Berater:in für Biodiversität-Solarparks tätig und arbeitet zudem seit 2022 bei der RheinEnergie AG. Er/sie hat Erfahrung darin FF-PVA naturverträglich zu gestalten und steht im regelmäßigen Austausch mit weiteren Expert:innen. Gewählt wurde er/ sie, weil er/sie während des Vernetzungskolloquiums in Diskussionen viel Expertise auf dem Gebiet bewiesen hat.

Expert:in Nummer 2 war auch Teilnehmer:in des Vernetzungskolloquiums des Bundesamtes für Naturschutz. Er/sie hat eine Promotion im Bereich der Landschaftsplanung, ist unter anderem Mitglied der deutschen UVP-Gesellschaft, des Bundes Deutscher Landschaftsarchitekten und des Bundesverbandes Beruflicher Naturschutz. Außerdem ist er/sie Professor:in an der TU Dresden und arbeitet am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung. Sein/ihr Aufgabengebiet umfasst die Landschaftsplanung, der Umweltprüfung, die Eingriffsregelung und

die Bauleitplanung. Zudem beschäftigt er/sie sich mit dem Erhalt der Biodiversität. Er/sie betreibt hauptsächlich Forschung, ist aber auch beratend tätig.

Der/ die dritte Expert:in arbeitet seit 2002 beim Bundesamt für Naturschutz im Bereich Erneuerbare Energien und Naturschutz. Er/sie hat ein Studium im Bereich der Landschaftsplanung absolviert und setzt sich beim Bundesamt für Naturschutz von Anfang an mit Solarenergie auseinander. Er/sie hat Erfahrung bei Wasser- und Windkraftthemen sowie beim Netzausbau. Er/sie ist beratend und forschend tätig.

Der/die Expert:in aus dem vierten Gespräch hat einen juristischen Hintergrund und ein Diplom zum/zur Biolog:in absolviert. Daraufhin war er/sie geschäftsführende:r Gesellschafter:in bei einem Unternehmen, welches sich mit Umweltplanungen im Bereich der Eingriffsplanung beschäftigt. Er/sie hat biologische Monitorings durchgeführt und berät seit etwa 5 Jahren Unternehmen der Solarbranche, welche FF-PVA installieren. Bei seiner/ihrer Beratung geht es darum Hindernisse hinsichtlich des Artenschutzes zu beseitigen, weshalb er/sie bereits bei der Vorplanung einer solchen Anlage dabei ist. Er/sie hat schon mit der Enerparc AG erfolgreich zusammengearbeitet.

Der/die Expert:in des fünften Gespräches arbeitet seit über 10 Jahren bei der Wattmanufactur GmbH & Co. KG. Er/sie hat ursprünglich Elektrotechnik studiert, anschließend für zwei große Solarunternehmen gearbeitet und dort FF-PVA projektiert. Die Wattmanufactur GmbH & Co. KG entwickelt, baut und betreibt FF-PVA, welche extensiv bewirtschaftet werden und zum Erhalt der Artenvielfalt beitragen. Dieses Unternehmen hat die Informationen der Leitfäden genutzt, um ihre Solarparks biodivers zu gestalten und besitzt somit viel praktische Erfahrung.

Der/die letzte Expert:in ist ursprünglich Physiker:in, hat vor 35 Jahren Teilchenbeschleuniger gebaut und ab Mitte der 1980er Jahre in einem Umweltlabor gearbeitet. Dort hat er/sie Altlasten in Böden gemessen und Radioaktivitätsmessungen betrieben. Daraufhin ist er/sie in den kommunalen Klimaschutz gegangen, war über 20 Jahre im Energiereferat der kommunalen Klimaschutzagentur der Stadt Frankfurt und ist nun seit fast 20 Jahren beim Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) tätig. Er/sie ist dort im Bundesarbeitskreis Energie tätig und erarbeitet Positionspapiere. Er/sie ist zudem Mitglied der UVP-Gesellschaft. Er/sie wurde ausgewählt, da er/sie Mitautor:in von Positionspapieren in Bezug auf den Ausbau von erneuerbaren Energien war, welche auch die Naturverträglichkeit dieser betrachtet haben.

2.2.2 Fragebogen

Vor den Expert:innen-Gesprächen haben die Expert:innen einen semistrukturierten Fragebogen erhalten. Damit konnten die Expert:innen abschätzen, welche Themen besprochen werden und sich zuvor darauf vorbereiten. Während des Interviews war die Reihenfolge der Fragen flexibel und die Wortwahl wich ab. Zudem mussten die Expert:innen nicht alle Fragen beantworten, wenn Sie nicht wollten oder keine Expertise auf dem Gebiet haben. Diese flexible Form des Interviews konnte gewährleisten, dass spontane Fragen möglich waren und die Interviewten mehr von ihrer Erfahrung und ihrem Wissen abseits der Fragen teilen konnten.

Es wurden zuvor drei verschiedene Fragebogen formuliert, welche die Expert:innen abhängig von deren Gebiet erhielten. Welche/r Expert:in welchen Fragebogen erhielt, ist in Tabelle 4

Tabelle 4: Fragebogenzuweisung je Interviewteilnehmende:r

Interviewteilnehmer:in	Fragebogen 1	Fragebogen 2	Fragebogen 3
1	x		
2	x		
3	x		
4			x
5		x	
6	x		

dargestellt. In Anhang 1 auf den Seiten IX bis XIV befinden sich nacheinander die drei Fragebogen. Zu Beginn eines jeden Fragebogens wurde eine Frage zum beruflichen Hintergrund gestellt und die Berührungspunkte mit PV-Anlagen und/oder Biodiversität erfragt. Daraufhin folgte die aktuelle Sicht zur Klimaneutralität und zum erforderlichen Ausbau mit PV-Anlagen. Danach gliederten sich die Fragebögen auf. In Fragebogen 1 und 3 wurde erfragt, was für einen schnelleren Ausbau getan werden kann und die Zukunft von FF-PVA beleuchtet. Dies diente der Feststellung, welchen Standpunkt die einzelnen Behörden und Personen beim Thema die Flächenkonkurrenz in Deutschland vertreten und welche Rolle Klimaneutralität dabei spielt. Anforderungen an die Bedeutung und Ausführbarkeit der Naturverträglichkeit von PV-Anlagen wurden beleuchtet und festgestellt, welchen Stellenwert diese bei Behörden oder Personen haben. Im vorletzten Teil wurden Meinungen zu einheitlichen Monitorings erfragt, um in Zukunft mehr Transparenz und Akzeptanz zu schaffen. Es galt herauszufinden, was in Zukunft erforderlich ist, um einen Ausbau mit PV-Anlagen zu beschleunigen.

Der zweite Fragebogen befasste sich stärker mit der Praxis und ging auf Probleme und Details bei der Umsetzung hin zu einem artenreichen und naturverträglichen Solarpark ein. Diese Fragen dienten zum Erhalt einer realistischen Orientierung. Hierbei ging es um die Prüfung der Ausführbarkeit, der in den bisherigen Leitfäden enthaltenden Informationen.

Alle Fragebogen schlossen mit der Frage nach offenen Themen ab. Damit wurde gewährleistet, dass jede/r Expert:in alle Informationen über das Thema teilen konnte.

2.2.3 Methodik der Auswertung

Alle Expert:innen-Gespräche fanden über Microsoft Teams statt und wurden währenddessen über die dort vorhandene Funktion aufgezeichnet und transkribiert. Vor den Gesprächen

wurden die Expert:innen gefragt, ob sie anonymisiert oder namentlich genannt werden möchten. Die Auswertung erfolgte qualitativ, da die Aussagen der Expert:innen die Aktualität dieser Thematik und die praktische Anwendbarkeit widerspiegeln, also als zusätzliche Informationsquellen neben der Literaturrecherche dienen. Diese Auswertung gab den Expert:innen die Möglichkeit freier zu sprechen und sich auf ein Gespräch einzulassen, was gerne angenommen wurde. Nach den Interviews wurden das Transkript und die Mitschriften auf ihre Kernaussagen reduziert und daraufhin in einem Fließtext zusammengefasst. Dabei wurden ausschließlich Informationen verwendet, die relevant für diese Arbeit waren. Alle Interviews wurden anonymisiert. Die Zusammenfassungen sind im Anhang 2 von Seite XV bis Seite XXVIII zu finden.

2.3 Expertise Enerparc AG

Die Enerparc AG ist ein PV-Unternehmen und spezialisiert auf die Planung, die technische Umsetzung und Betriebsführung (EPCC) von FF-PVA weltweit. Der Hauptsitz des Unternehmens liegt in Hamburg und wurde im Jahr 2008 von Christoph Koeppen (CEO), Frank Müllejans (CFO) und Stefan Müller (COO) gegründet. Die Enerparc AG beschäftigt ca. 400 Mitarbeiter:innen, von welchen über 100 als Ingenieur:innen tätig sind. Das Unternehmen hat mehr als 3.600 MW installierte Solarleistung. Als Projektentwickler beschäftigt sich die Enerparc AG mit der Flächenauswahl und -bewertung. Sie ist Koordinator zwischen aktiven Entscheidern, wie Gemeinden und Flächeneigentümern. Zudem kümmert sie sich um die Planung und Projektsteuerung. Als Einkäufer und Errichter ist die Enerparc AG zuständig für die Beratung, Planung, Baukoordination und die plangerechte Fertigstellung. Das Unternehmen hat eine Ausführungskraft von über 50 MWp pro Monat. Die Enerparc AG selbst hat 17 Abteilungen. Ein Teil dieser Abteilungen ist im Organigramm in Abbildung 11 dargestellt. Als weitere Quelle für diese Bachelorarbeit diente meine etwa zweijährige Arbeitserfahrung in diesem Unternehmen. Es wurden hauptsächlich Informationen von den dargestellten Abteilungen genutzt, welche mit einer Hintergrundfarbe versehen sind. Somit also von der Abteilung Projektentwicklung, Engineering, Innovations, Purchasing & Supply Chain und O&M. Die einzelnen Teams sind unter den Abteilungen dargestellt. Gerade hier wurden Informationen, von den Teams mit einer blauen Hintergrundfarbe, verwendet. Einzelne Interviews gab es hier nicht, da die verwendeten Informationen sich während der zweijährigen Beschäftigung anhäuferten. Somit wird bei diesen Informationen die Enerparc AG als Unternehmen allgemein genannt, da die Informationen von der Expertise vieler verschiedener Mitarbeiter:innen eben dieses Unternehmens stammen.

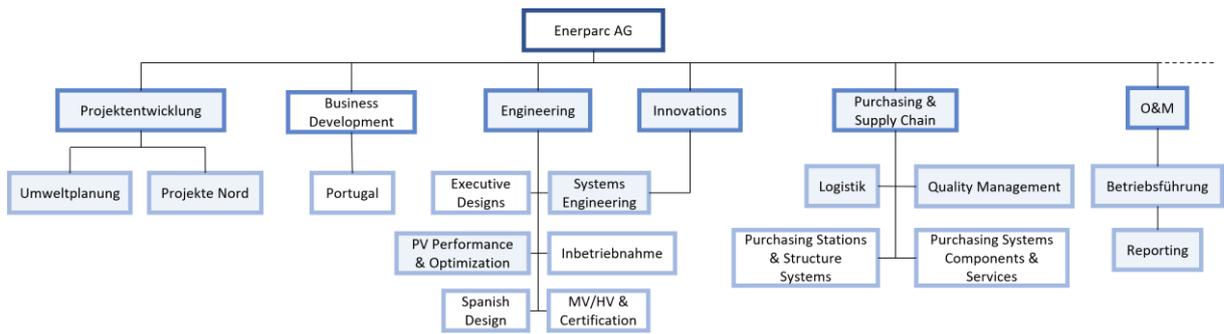


Abbildung 11: Organigramm der Enerparc AG in Teilen dargestellt; Datengrundlage: (Enerparc AG) eigene Darstellung

3 Ergebnisse

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse sind aufgliedert in Auswirkungen von FF-PVA und die Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität bei den zukünftig zu bauenden FF-PVA auf ehemaligen landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die Auswirkungen gliedern sich dabei in biotischen und abiotischen Umweltfaktoren. Bei den Maßnahmen, wird auf die Standortwahl, die Planung und Bauweise, die Errichtung, den Betrieb, das Monitoring und den Abbau eingegangen.

In einzelnen Unterkapiteln wird Bezug auf eine FF-PVA der Enerparc AG in Nemsdorf-Göhrendorf genommen. Die, im Jahr 2014 und 2016 in zwei Abschnitten gebaute, Anlage besteht aus fünf Teilflächen und wurde auf einer zuvor landwirtschaftlich intensiv genutzten Fläche gebaut (Schönbrodt et al., 2022; Enerparc AG). Die Anlage liegt südlich einer Bahntrasse und hat eine Fläche von 19,8 Hektar (SolPEG GmbH, 2014; Netzband, 2016).

3.1 Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen

Die Auswirkungen von FF-PVA sind vielfältig, aber dennoch gering. Sie können negativ sein, aber auch zu einer Aufwertung von Flächen führen, wenn sie ein gutes Pflegemanagement haben und Strukturen für Pflanzen und Tiere geschaffen werden. Auswirkungen können auftreten, müssen es jedoch nicht zwangsläufig und sind in ihrer Intensität, Dauer und Reichweite verschieden. Sie treten während des Aufbaus der Anlage, dem Betrieb und durch die Anlage selbst auf. Sie sind von Faktoren, wie dem Landschaftsbild, der Bodenart, der beschatteten Fläche und vielen Weiteren abhängig. Der Reihenabstand und die besonnte Fläche zwischen den Modulen spielen eine entscheidende Rolle in Hinblick auf die Vielfalt von Flora und Fauna (Peschel et al., 2019). Das Gestellsystem kann eine geringe Dosis von Schadstoffen an den Boden abgeben oder es kann während des Baus zu Verdichtungen des Bodens kommen (Grünnewig et al., 2007). Generell haben FF-PVA aber positive Auswirkungen und können zu einer Vernetzung von Offenlandstandorten im Biotopverbund führen (Badelt et al., 2020).

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen positiven und negativen Auswirkungen beziehen sich auf die klassischen FF-PVA, welche ein festes Gestellsystem und monofaziale Dickschichtmodule haben.

3.1.1 Landschaftsbild

FF-PVA verändern auf vielfältige Weise das Landschaftsbild, weswegen diese oft von der Landes- und regionalplanerischen Ebene abgelehnt werden (Badelt et al., 2020). Dabei spielen die Farbe der Module, die Aufständigung und der Modulrahmen eine wichtige Rolle (Badelt et al., 2020). Der Grad der Veränderung hängt von den visuellen Auswirkungen und den Standorteigenschaften ab, welche sich in bau-, anlagen- und betriebsbedingte Auswirkungen gliedern (Demuth et al., 2019; Badelt et al., 2020). Zwar führt der Baustellenbetrieb zu Lärm,

Erschütterungen und stofflichen Emissionen, aber trotzdem sind die baubedingten Auswirkungen gering im Vergleich zu anderen großflächigen Bauvorhaben (Badelt et al., 2020). Anlagenbedingt fällt die FF-PVA besonders durch ihren Flächenanspruch auf, was Erholungssuchenden negativ auffällt (Badelt et al., 2020). Die visuelle Auffälligkeit ist besonders hoch, da gerade große FF-PVA die Horizontlinie schneiden und diese Horizontlinie, bei der Wahrnehmung des Menschen, ein wichtiger Orientierungspunkt ist (Badelt et al., 2020). Steht die Anlage auf einem Hang oder einer Kuppe, kann es zu einer Sichtbarkeit von bis zu vier Kilometern kommen (Badelt et al., 2020). Auch in Tallagen können sie sehr auffällig sein (Badelt et al., 2020). Reflexionen der Anlage spielen bei der visuellen Wirkung eine große Rolle, da die FF-PVA im Vergleich zu den anderen Flächen als helle Objekte gesehen werden (Grünnewig et al., 2007). Aufgrund der Antireflexionsschicht und der hochwertigen Gläser, passiert 95% des einfallenden Lichts das Glas der PV-Module und 5% werden reflektiert (Grünnewig et al., 2007). Die Reflexion der PV-Module ist hauptsächlich abhängig vom Einfallswinkel des Sonnenlichts (Kitt, 2020). Eine Reflexion tritt vermehrt erst ab einem Einfallswinkel von kleiner gleich 40° auf und eine Totalreflexion sogar erst bei einem Einfallswinkel von zwei Grad, welcher jedoch nur bei tiefstehender Sonne vorkommt (Kitt, 2020; Grünnewig et al., 2007). Die Reflexion des Gestellsystems aus verzinktem Stahl wird als stärker eingeschätzt (Kitt, 2020). Neben Reflexionen kann es auch zu Spiegelungen der Moduloberfläche kommen, welche aufgrund der Farbgebung und der Oberflächenstruktur nur sehr klein ist (Grünnewig et al., 2007). Bei Dünnschichtmodulen kann die Spiegelung, bedingt durch die glatte Oberfläche und der dunklen Färbung, groß sein (Grünnewig et al., 2007). Eine weitere visuelle Auswirkung ist die Einzäunung, welche einen klaren Schnitt des Landschaftsbildes darstellt (Badelt et al., 2020). Der Zaun ist mindestens zwei Meter hoch, hat eine Alarmanlage sowie Überwachungseinrichtungen (Enerparc AG). Er steht aus Versicherungsgründen auf der Fläche (Enerparc AG). Die Anschlussleitungen zu den Netzeinspeisepunkten sind meist unterirdisch und haben somit keine visuelle Auswirkung (Grünnewig et al., 2007). Während des Betriebes kommt es zu einer Beleuchtung der Anlage, welche jedoch nicht stärker ist als andere Siedlungsgebiete (Kitt, 2020). Durch Wechselrichter und nachgeführte Anlagen kann es zu Geräuschen kommen (Badelt et al., 2020; Enerparc AG). Nachführsysteme haben dabei etwa eine Lautstärke von 30 dB (Badelt et al., 2020). Die maximale Lautstärke von Wechselrichtern ist abhängig vom Unternehmen und Modell. Der Sunny Tripower von SMA hat zum Beispiel eine Lautstärke von 51 dB (SMA Solar Technology, 2021).

3.1.2 Abiotische Umweltfaktoren

In diesem Abschnitt wird auf die abiotischen Faktoren Boden, Wasser und Klima eingegangen. Im Abschnitt des Bodens werden die baubedingten Auswirkungen, die Auswirkungen während des Betriebs und der Anlage selbst betrachtet. In den Abschnitten Wasser und Klima erfolgt die Betrachtung ausschließlich in Hinsicht der betriebsbedingten Auswirkungen, da die Auswirkungen auf Luft und Wasser während des Baus zu vernachlässigen sind.

3.1.2.1 Boden

Die Auswirkungen einer FF-PVA auf den Boden entstehen primär während der Bauphase und sekundär während des Betriebs. Im Folgenden wird sich zunächst auf die Auswirkungen während der Bauphase bezogen und daraufhin auf die Auswirkungen des Betriebs und der Anlage selbst.

Baubedingte Auswirkungen

Generell kann es während der Bauphase zu einer Störung der dort vorkommenden Tiere und Pflanzen durch Lärm und den Verlust des Lebensraumes kommen (Hietel et al., 2021). Lärm wird verursacht durch die eingesetzten Maschinen und den generellen Betrieb auf einer Baustelle (Grünnewig et al., 2007). Bedingt durch die intensive Landwirtschaft oder auch erosionsgefährdete Kulturen, wie Mais, können Bodenerosionen entstehen. Durch die ehemalige Landwirtschaft hat der Boden meist keine hohe Pflanzendecke, weswegen er während der Bauphase ungeschützt ist (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Abhängig von den eingesetzten Maschinen, die die Fläche befahren, ihrer Häufigkeit und Dauer, der Intensität der Bauarbeiten, der Wetterlage, der Bodenart und der Unterbodenstabilität können Bodenverdichtungen entstehen (Grünnewig et al., 2007; ahu GmbH, LLUR SH, MEKUN SH, 2021). Die häufigste Ursache einer Verdichtung auf einer Baustelle sind zu schwere und dem Boden nicht angepasste Fahrzeuge (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Boden ist, vor allem in einer Tiefe von 40 cm, sehr empfindlich gegenüber mechanischen Belastungen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Der Grad der Verdichtung ist dabei abhängig von der Bodenart und der Feuchte des Bodens (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Schadverdichtungen können zu einer Verdichtung des Unterbodens führen, wobei die Poren irreversibel zusammengedrückt werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Dadurch kann auftretendes Wasser nicht mehr versickern, der Luftaustausch ist verringert und Pflanzenwurzeln können den Boden nicht mehr durchwurzeln. Dies wirkt sich schädlich auf die im Boden vorkommenden Organismen aus. Tonige und schluffige Böden haben, aufgrund ihrer hohen Bodenfeuchtigkeit, ein höheres Potential einer Bodenverdichtung als sandige und lehmige Böden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021).

Um Kabelgräben und Fundamentflächen anzulegen, muss der Boden ausgehoben, umgelagert und wieder aufgetragen werden (Enerparc AG). Wenn der Boden bei der Zwischenlagerung vermischt wird und zu viel Boden, einer oder mehrerer Schichten, auf einem Haufen gelagert wird, kann dies zu Schäden der Bodenfunktionen kommen und das Bodenmilieu verändern (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Bei einer Änderung des Bodenmilieus kann es zu unerwünschten Abbauprozessen und einer Freisetzung von Schad- und Nährstoffen kommen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Auch eine Vermischung des Bodens beim Wiederauftrag der einzelnen Schichten kann zu diesen negativen Folgen führen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Zudem kann es bei trockener Witterung zu diffusen Staubemissionen kommen, welche bei Erdarbeiten verursacht werden (Grünnewig et al., 2007). Das Sandbett, welches über und unter die Kabel gelegt wird, hat negative Auswirkungen auf das Rückhaltevermögen des Bodens (Badelt et al., 2020). Eine weitere negative Auswirkung des Baubetriebs sind Bodenverunreinigungen, wie Bauschutt und -abfälle, welche zu

Schadstoffeinträgen führen können (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Diese Schadstoffeinträge ereignen sich meist unbewusst in der Nähe von Vertiefungen und Baustelleneinrichtungen und können sich im Boden akkumulieren (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021).

Anlagenbedingte und betriebsbedingte Auswirkungen

Der Vollversiegelungsgrad einer FF-PVA, welcher je nach Gründungsbauweise unterschiedlich ist, liegt generell bei unter fünf Prozent (Grünnewig et al., 2007). Diese Versiegelungen können durch Fundamente, Betriebsgebäude und Baustraßen entstehen (Grünnewig et al., 2007). Betonrund- und Streifenfundamente haben eine hohe Versiegelung, wohingegen Pfahlgründungen eine geringe haben (Grünnewig et al., 2007). Bei Gründungen des Gestellsystems, welche nur mit Rammpfählen entstehen, liegt der Vollversiegelungsgrad bei maximal zwei Prozent, da die Betriebsgebäude hauptsächlich zur Versiegelung beitragen (Grünnewig et al., 2007). Zudem ist die Versiegelung bei fixierten FF-PVA mit schwimmender Gründung größer als bei zweiachsig nachgeführten FF-PVA mit schwimmender Gründung (Grünnewig et al., 2007).

Die Flächenbedeckung bei fixierter Reihenaufstellung der Module liegt etwa bei 30% bis 35% (Grünnewig et al., 2007). Bei nachgeführten Anlagen ist diese Flächenbedeckung viel geringer (Grünnewig et al., 2007). Die Flächenbedeckung führt zur Beschattung, wobei die Größe dieser durch den Stand der Sonne wechselt (Grünnewig et al., 2007). Bei fixierten Anlagen kommt es jedoch zu einer dauerhaften Beschattung der Fläche unter den Modulen und bei Ausrichtung nach Süden, tritt diese nördlich hinter den Modulen auf (Grünnewig et al., 2007). Im Winter und bei tiefstehender Sonne kann die Fläche zwischen den Modulreihen auch beschattet werden (Grünnewig et al., 2007). Bei nachgeführten Anlagen werfen nur 6 bis 8% der Modulfläche dauerhaft einen Schatten (Grünnewig et al., 2007). Die Enerparc AG hat fixierte Reihen, die vier bis 6 horizontal übereinander gereichte Module und durchschnittlich einen Abstand von 2,5 m zwischen den Modulreihen aufweisen (Enerparc AG). Durch die Mindesthöhe der Modulunterkante von 80 cm bis 100 cm wird die ganze Anlage mit Streulicht versorgt (Grünnewig et al., 2007). Wegen der dauerhaften Beschattung kommt es unter den Modulen zu tieferen Temperaturen als auf der besonnenen Fläche (Makaronidou, 2020). Durch die verlegten Erdkabel kann es zu möglichen Wärmeeinwirkungen des umgebenden Bodens kommen (Runge et al., 2012).

Während der Mahd auf der FF-PVA kommt es zu keiner Verdichtung des Bodens, da eine ausgeprägte Pflanzendecke auf der Fläche herrscht und die Fläche nur mit kleinen Maschinen befahren wird (Enerparc AG). Bei der Reinigung der Module kommt es zu keinem Schadstoffeintrag, da diese entweder mit Wasser oder einem biologisch abbaubaren Reinigungsmittel durchgeführt wird (Enerparc AG). Durch die Neigung und schmutzabweisende Oberfläche der Module, reinigen sich diese in Deutschland weitestgehend selbst (Grünnewig et al., 2007; Enerparc AG). Eine manuelle Reinigung der Module kommt somit selten vor (Grünnewig et al., 2007; Enerparc AG).

Es kommt während des Betriebs zu ca. 2 Wartungen pro Jahr (Grünnewig et al., 2007). Bei nachgeführten Anlagen kann es häufiger zu Störungen kommen, weshalb dort

Wartungskontrollen häufiger vorkommen können (Grünnewig et al., 2007). Auch diese Kontrollen haben keinen Einfluss auf den Boden.

Auf FF-PVA werden keine Dünge- und Pflanzenschutzmittel aufgetragen, wodurch sich der Boden wieder in seinen natürlichen Ausgangszustand zurückentwickeln kann (Enerparc AG). Eine Umwandlung von Ackerflächen in FF-PVA führt zu einer Entlastung des Bodens, da sich das Bodenleben erholen kann (Grünnewig et al., 2007). Eine Studie in Amerika hat ergeben, dass nach Umwandlung einer Fläche aus der Landwirtschaft in eine FF-PVA mit Grünland, sich das Potential der Kohlenstoffspeicherung um 65% erhöht hatte (Walston et al., 2021). Zudem kam es zu einer Steigerung des Wasserrückhaltevermögens um 19% und einer Steigerung des Sedimentrückhaltevermögens um 95% (Walston et al., 2021).

Die Herstellung von Solarmodulen erfordert, bei der Zellmetallisierung und in den eingesetzten Loten, die Verwendung von Blei (Wirth, 2022). Bei der Zellmetallisierung kommt es zum Einsatz von etwa zwei Gramm pro 60-Zellen-Modul und bei den Loten etwa 6 Gramm (Wirth, 2022). Blei ist in einigen stark sauren oder basischen Umgebungen löslich und giftig (Wirth, 2022). Die Folien um die Zellen herum können nicht jeden Stofftransport verhindern (Wirth, 2022). Blei muss nicht in allen Modulen vorhanden sein, da es sich bereits ersetzen lässt (Wirth, 2022). Dünnschichtmodule können Cadmium in Salzform beinhalten, wenn sie auf CdTe-Basis sind (Wirth, 2022). Dieses lässt sich nicht ersetzen und ist giftig (Wirth, 2022). CdTe wird als gesundheitsschädlich eingestuft (Wirth, 2022). Generell werden die Auswirkungen bei intakten Modulen als niedrig eingestuft (Mertens, 2020). Es kann nur gefährlich werden, wenn es brennt und gasförmiges Cadmium in die Umwelt gelangt (Mertens, 2020). Bei einer Beschädigung sollten die Module ausgetauscht werden.

3.1.2.2 Wasser

Eine weitere Folge der Flächenbedeckung ist die Heterogenität des auftreffenden Niederschlagswassers. Bei fixierten Reihen kommt es unter den Modulen zu einem Abfließen des auftreffenden Niederschlags an der Modulunterkante (Grünnewig et al., 2007). Dieses auftreffende Wasser kann, besonders bei schluffigen Böden und einer Neigung des Geländes, zu Bodenerosionen führen (Grünnewig et al., 2007; Herden et al., 2009). Die Intensität der Heterogenität, also der ungleichmäßigen Verteilung, ist abhängig von der Höhe und Größe der Modulreihen, der dort aneinander liegenden Moduloberfläche und dem Anlagentyp (Grünnewig et al., 2007; Herden et al., 2009). Bei einer zweireihigen Anordnung kommt es, bei einer etwa ein Meter langen Abtropfkante, zu einer Niederschlagsmenge, die auf etwa drei Quadratmeter fällt (Grünnewig et al., 2007). Bei einer dreireihigen Modulordnung mit einer über einen Meter langen Abtropfkante fällt das Wasser auf etwa 5,5 Quadratmeter Untergrund (Grünnewig et al., 2007). Je größer der Abstand der Modulunterkante zum Boden ist, desto regelmäßiger ist die Verteilung des Niederschlagswassers auf dem Oberboden (Badelt et al., 2020). Durch die Einplanung von Lücken zwischen den einzelnen Modulen in einer Modulreihe, kann eine Erosion vermieden werden und das Wasser gleichmäßiger auf dem Boden

aufkommen (Herden et al., 2009). Bei nachgeführten Anlagen und Ausrichtung der Module zur Hauptwindrichtung ist der Effekt der ungleichen Verteilung geringer (Badelt et al., 2020). Es gibt derzeit in Deutschland kaum Studien, die sich mit dem Sickerverhalten des ungleich aufkommenden Niederschlagswassers und dem Bodenwasserhaushalt auseinandersetzen. Es wird erwartet, dass das Niederschlagswasser, bei einer vollen Funktionsfähigkeit des Bodens, vollständig im Boden versickert und sich in den tieferen Bodenschichten gleichmäßig verteilt (Grünnewig et al., 2007; Badelt et al., 2020). Es ist nicht zu erwarten, dass sich die Grundwasserneubildung durch FF-PVA reduziert (Grünnewig et al., 2007). Es kann, je nach Material des Gestellsystems der Module, zu Belastungen durch gelöste Schadstoffe kommen, welche Organismen schädigen können (Badelt et al., 2020). Dies ist bei Gestellsystemen aus verzinktem Stahl möglich, vor allem, wenn sie bis in die gesättigte Grundwasserzone reichen (Badelt et al., 2020). Dort können Zink-Ionen ausgewaschen werden und das Grundwasser belasten (Badelt et al., 2020). Das Gestellsystem der Enerparc AG ist ebenfalls aus verzinktem Stahl (Enerparc AG). Die Verzinkung dient zum Schutz vor Korrosionen (Grünnewig et al., 2007). Solange es zu keiner Grundwasserabsenkung oder Gründung in Bereichen mit hoch stehendem Grundwasser kommt, sind negative Folgen eher nicht zu erwarten (Grünnewig et al., 2007). Generell hat die Umwandlung einer intensiv genutzten landwirtschaftlichen Fläche in eine FF-PVA eine Aufwertung und Entlastung des Wasserhaushalts zur Folge (Grünnewig et al., 2007).

3.1.2.3 Klima

Durch den Beschattungseffekt ist die Temperatur unter den Modulen tagsüber geringer als die Umgebungstemperatur (Grünnewig et al., 2007). In den Nachstunden kommt es zu einem gegenteiligen Effekt, da es unter den Modulen wärmer ist als in der Umgebung (Grünnewig et al., 2007). Zu dieser Auswirkung kann es kommen, da die Wärmestrahlung durch die Module im Raum gehalten wird und nicht wegströmen kann (Grünnewig et al., 2007). Das Ausmaß der Temperaturdifferenz ist unterschiedlich je nach Standort der FF-PVA (Grünnewig et al., 2007). Zudem kommt es durch die Beschattung zu einer verminderten Evapotranspiration unter den Modulen und einer erhöhten Evapotranspiration der nassen Randbereiche (Badelt et al., 2020; Makaronidou, 2020). In Colorado wurde festgestellt, dass infolge des feuchten Bodens unter den Modulen, dem Schatten und Windschutz die Evapotranspiration unten den Modulen um 10 – 40% reduziert wurde (Choi et al., 2020). Eine kürzlich durchgeführte Studie von der HTW Dresden und dem EnBW kam zu den Ergebnissen, dass die Perkolation unter den Modulen geringer und damit der Boden feuchter ist (Feistel et al., 2022). Somit kommt es in der Vegetationsperiode zu einer geringeren Temperatur und Evapotranspiration unter den Modulen, im Vergleich zur besonnten Fläche und im Winter zu einer höheren Temperatur und einer höheren Evapotranspiration unter den Modulen, im Vergleich zu den nicht beschatteten Flächen (Feistel et al., 2022). Gleiches haben Armstrong et al. im Jahr 2016 in Großbritannien festgestellt (Armstrong et al., 2016). Insgesamt kommt es auf der gesamten FF-PVA zu einer verminderten Evapotranspiration (Badelt et al., 2020).

Die Moduloberfläche erreicht durchschnittliche Höchsttemperaturen von 50°C bis 60°C (Grünnewig et al., 2007). Sie reagiert empfindlicher auf Erwärmung und heizt deswegen schneller auf als die Umgebung, wodurch sich die darüber liegenden Luftschichten erwärmen und es zu Konvektionsströmen und Luftverwirbelungen kommen kann (Grünnewig et al., 2007). Das bewirkt eine geringere Luftfeuchtigkeit über den Modulen und führt zu Wärmeinseln (Grünnewig et al., 2007). In Kaltluftentstehungsgebieten kann dies zu Konflikten führen, wenn dadurch klimatische Ausgleichsfunktionen beeinträchtigt werden (Grünnewig et al., 2007).

3.1.3 Vegetation

Abhängig von der Vornutzung der Fläche, der Ausprägung der Lebensräume vor Baubeginn, der baulichen Ausführung und dem geplanten Flächenmanagement, verändert sich die Vegetation (Grünnewig et al., 2007; Demuth et al., 2019). Die Änderung der Flächennutzung ruft auch immer strukturelle und bioökologische Veränderungen hervor (Grünnewig et al., 2007). Während des Baus der Anlage kommt es zu einem Bodenabtrag für beispielsweise Kabel. Dabei wird auch die vorhandene Vegetationsdecke abgetragen, welche sich in der Betriebsphase jedoch wieder ausbilden kann (Runge et al., 2012). Kommt es während des Betriebs zu Wartungsarbeiten, kann es lokal zu Beeinträchtigungen kommen (Runge et al., 2012). Das Anlegen von Fahrwegen kann, im Fall von Schotterwegen, zu einer Veränderung der Vegetation auf diesen Wegen führen (Grünnewig et al., 2007). Bei einer Verdichtung durch Fahrzeuge, kann es zu einem Ausbleiben von Pflanzen auf den Wegen kommen. Ein lokal auftretender, dauerhafter Verlust der Vegetation tritt bei Betonfundamenten auf, da diese den Boden versiegeln (Grünnewig et al., 2007).

Generell kann man sagen, dass eine Umwandlung, von einer intensiv genutzten Ackerfläche oder intensiv genutzten Grünlandfläche hin zu einer extensiv gepflegten Grünlandfläche mit einer FF-PVA, zu einer Aufwertung der Fläche führt, da sich die biologische Vielfalt erhöht (Demuth et al., 2019). Ein Verzicht auf Pflanzenschutz- und Düngemittel sowie die extensive Pflege ermöglichen diese Entwicklung (Grünnewig et al., 2007). Nach den ersten Jahren kommt es bei einer Selbstbegrünung zu einer Grasarmut (Grünnewig et al., 2007). Ackerwildkräuter, die von den ökologischen Eigenschaften ähnliche Ansprüche mit den zuvor auf der Fläche angebauten Ackerpflanzen haben, entwickeln sich zuerst (Grünnewig et al., 2007). Darauf folgen Ruderalarten, welche sich mindestens zwei Jahre halten, aber auch dauerhaft dort auftreten können (Grünnewig et al., 2007). Zusätzlich bildet sich ein stabiles Staudenstadium (Grünnewig et al., 2007). Die weitere Entwicklung ist abhängig von der Grünpflege und dem Nährstoffgehalt des Bodens (Grünnewig et al., 2007). Beim Mulchen kommt es, trotz ausfallender Düngung, stetig zu einem Nährstoffeintrag und somit zu einem Wachstum von Nitrophyten (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Die Beschattungseffekte der Module führen zu verschiedenen Blühphänologien und unterschiedlichen Artenzusammensetzungen (Badelt et al., 2020). Die Wuchshöhe ist verändert, ebenso wie der Deckungsgrad und die Blühhäufigkeit, wobei es selten zu einem Ausbleiben an Vegetation kommt (Kitt, 2020; Herden et al., 2009). Durch die dauerhafte Beschattung der Module, folgt eine Minderung der

Primärproduktion der dauerhaft beschatteten Vegetation (Herden et al., 2009). Ob die Abtropfkante einen positiven oder negativen Einfluss auf die darunter liegende Fläche und Vegetation hat, ist noch nicht genug erforscht (Badelt et al., 2020).

Bei Untersuchungen, bezüglich der Veränderungen der Vegetation von ehemals intensiv bewirtschafteten Ackerflächen und Grünlandflächen hin zu extensiven Grünlandflächen mit FF-PVA, kam man zu vielen ähnlichen Ergebnissen. Bei Untersuchungen von FF-PVA in den USA, kam es zu einer dreifachen Steigerung des Angebots für Bestäuber-Insekten (Walston et al., 2021). In Deutschland wurden Anlagen, die zwischen 2001 und 2010 errichtet wurden, im Jahr 2013 untersucht (Raab, 2015). Man stellte fest, dass je älter die Anlage war und je näher sie an einem Lieferbiotop lag, desto höher die Artenvielfalt ausfiel (Raab, 2015). Insgesamt wurden auf den fünf untersuchten Anlagen 231 Pflanzenarten festgestellt (Raab, 2015). Die Extensivierung der Fläche hatte dabei einen starken Einfluss auf die gesteigerte Pflanzenvielfalt (Raab, 2015).

Die Biotopkartierung in Nemsdorf-Göhrendorf ergab 145 Pflanzenarten, von denen 108 zu den krautigen Pflanzen gehören (Schönbrodt et al., 2022). Es wurden insgesamt 6 Biotope festgestellt, wobei die Trafostation, die gepflanzten Hecken und die vorhandenen Wege eigene Biotope darstellten (Schönbrodt et al., 2022). In den offenen Bereichen kam es zu einer trockenen und nitrophilen Ausprägung von Ruderalfluren, welche jeweils die Hälfte der offenen Bereiche ausmachte (Schönbrodt et al., 2022).

Bei der trockenen Ausprägung wurden auf Sand-, Kies-, Schotter- und trockenen Lehmböden verbreitete Gesellschaften kartiert (Schönbrodt et al., 2022). Da auf der Fläche das Mahdgut lange liegen gelassen wurde, kam es zu einer Zunahme an Gräsern und einem Rückgang der krautigen Vegetation (Schönbrodt et al., 2022). Es setzten sich nur einige wüchsige Arten durch, da durch das Mulchen das Wachstum gehemmt wurde (Schönbrodt et al., 2022). Somit kann es, bedingt durch das Mulchen, zu einer geringeren Artenvielfalt kommen als bei einem Abtransport des Mahdguts (Schönbrodt et al., 2022).

Das Biotop mit nitrophiler Ausprägung wurde hauptsächlich auf lehmigen und verdichteten Boden gefunden (Schönbrodt et al., 2022). Der limitierende bzw. fördernde Faktor war bei beiden Ausprägungen weniger die Sonneneinstrahlung, sondern eher der Boden (Schönbrodt et al., 2022). Die Gräser und Kräuter wuchsen in diesem Biotoptyp höher (Schönbrodt et al., 2022). Durch die Mulchmahd kommt es zu punktuellen Eutrophierungen, bei welchen kurzlebige und nitrophile Ruderalarten wachsen (Schönbrodt et al., 2022).

Unter den Modulen fanden Schönbrodt et al. Vegetation, die durch die Optik und Zusammensetzung der Waldboden-Vegetation ähnelte (Schönbrodt et al., 2022). Der Bestand dort war lückig und die Pflanzen hatten große Schattenblätter (Schönbrodt et al., 2022). Auch die Artenzusammensetzung unterschied sich von den Pflanzen der offenen Vegetation (Schönbrodt et al., 2022). Diese ähnelte der Bodenvegetation nitrophiler, sommergrüner Laubgebüsche (Schönbrodt et al., 2022).

3.1.4 Fauna

FF-PVA können viele positive Effekte auf die Artenvielfalt der Fauna haben. Es kann sogar vorkommen, dass Arten der Roten Liste sich auf diesen Gebieten ansiedeln. Beim GEO-Tag der Natur 2021 wurde an zwei Tagen die Artenvielfalt von 7 Solarparks in Deutschland kartiert (bne, 2021). Dort stellte sich heraus, dass viele Vogelarten FF-PVA zur Nahrungsbeschaffung aufsuchen und ebenfalls in diesen brüten (bne, 2021). Der Turmfalke lernte sogar seine Jungen an, die unter den Modulreihen vorkommenden Kleinsäuger zu jagen (bne, 2021). Der Rotmilan ging zur Nahrungssuche häufig zwischen den Reihen auf und ab (bne, 2021). In Eggesin kam es in Folge des hohen Insektenaufkommens auf der FF-PVA zu einem Vorkommen von Vögeln und Fledermäusen (bne, 2021). Doch nicht nur Vögel, Insekten und Fledermäuse befinden sich auf den Anlagen, auch Reptilien, Amphibien und andere Säugetiere besuchen FF-PVA.

3.1.4.1 Insekten

FF-PVA stellen für viele Insekten einen wichtigen Lebensraum dar, der im Vergleich zu Ackerflächen auch besser geeignet ist, sodass auch anspruchsvolle Insektenarten in der vielfältigen Vegetation vorkommen (Grünnewig et al., 2007). Eine Studie von 2016 in England fand heraus, dass mehr Insektengruppen auf FF-PVA vorkommen als auf Ackerflächen und das unabhängig von der durchgeführten Pflege (Montag et al., 2016). Trotzdem können zum Beispiel standorttypische Saatmischungen und ein passendes Pflegemanagement die Diversität erhöhen (Peschel et al., 2019). Beim GEO-Tag der Natur 2021 wurden in Deutschland viele Arten festgestellt, die auf der Roten Liste zu finden und damit bedroht sind (bne, 2021). Die Geflecktflügelige Ameisenjungfer wurde häufig unter Modultischen gefunden (bne, 2021). Ihre Larven ernähren sich von Insekten, die am Boden leben, weswegen diese dort zahlreich vorkommen müssen (bne, 2021). Auch die Blauflügelige Ödlandschrecke wurde gefunden, die eine Zeigerart in Richtung eines Trockenrasens ist und somit für gesteigerte Biodiversität steht (bne, 2021). Generell wurde festgestellt, dass verschiedene Entwicklungsstadien von unterschiedlichen Insekten an jeweils anderen Standorten in der FF-PVA stattfanden (Kitt, 2020). Somit wurden nicht nur die besonnten Bereiche, sondern auch die beschatteten Bereiche genutzt. Sonnenliebende Insekten meiden jedoch meist die Bereiche unter den Modulen, weshalb ein besonnter Streifen von mindestens drei Metern zwischen den Modulreihen gegeben sein sollte (Kitt, 2020; Peschel et al., 2019). Dieser besonnte Streifen erhöht laut Peschel et al. die Biodiversität von Insekten stark (Peschel et al., 2019). Für Insekten mit längeren Entwicklungszyklen, können FF-PVA einen geeigneten Lebensraum darstellen (Peschel et al., 2019). Somit können FF-PVA als Quellhabitats dienen (Peschel et al., 2019).

Tagfalter

Tagfalter profitieren stark von extensivem Grünland. Sie sind sehr abhängig von den auf der Fläche vorkommenden Pflanzenarten, da diese als Nektarquelle oder Nahrung für Raupen genutzt wird (Godt et al., 2017). Bei einer Studie in Brandenburg wurden auf drei FF-PVA in vier Jahren 44 Arten gefunden, die 40% der in Brandenburg vorkommenden Arten

repräsentieren (Peschel et al., 2019). Tagfalter nutzen diese Flächen, wenn dort ein reiches Blütenwachstum vorhanden ist, das neben der Nahrung unter anderem auch zur Eiablage genutzt wird (Peschel et al., 2019). Eine weitere deutsche Studie, die 2013 stattfand, stellte fest, dass eine Extensivierung zu einer schnellen Zuwanderung von Schmetterlingen führt (Raab, 2015). Dies war jedoch abhängig von den umgebenden Flächen und der dort aufzufindenden Vegetation, da zwischen den Flächen ein ständiger räumlicher Wechsel stattfindet (Raab, 2015; Badelt et al., 2020). Die Zäune stellen keine Barriere dar, da entweder durch diese hindurch oder über sie hinweg geflogen wird (Badelt et al., 2020). Eine Studie von Niemann et al. aus dem Jahr 2017 zeigt, dass auf FF-PVA in etwa gleich viele gefährdete Arten vorkommen können, wie auf reinem extensivem Grünland (Niemann et al., 2017; Badelt et al., 2020). Sie sind sehr auf Wildblumenwiesen angewiesen, weswegen eine standortangepasste Saatgutmischung wichtig ist (Badelt et al., 2020). Landeck et. al fanden im Jahr 2014 heraus, dass Tagfalter trockenwarme Standorte bevorzugen, was FF-PVA bieten können (Badelt et al., 2020).

Bienen und Wespen

Bestäuber-Insekten spielen eine bedeutende Rolle in unserer Welt und sind für die Landwirtschaft sehr wichtig (UBA, 2019). Bei einer extensiven Pflege von FF-PVA und der Schaffung eines Blütenreichtums auf der Fläche können naheliegende landwirtschaftliche Flächen einen hohen Nutzen von dieser ziehen (Walston et al., 2021). Diese Flächen können, im Vergleich zu landwirtschaftlichen Flächen, bis zu dreimal mehr Ressourcen für Bestäuber vorweisen (Walston et al., 2021). In den vorhandenen Studien wurde sich hauptsächlich auf Wildbienen, Hummeln und Wespen fokussiert. Beim GEO-Tag der Natur im Jahr 2021 wurden auf einer Anlage in Rickelshausen an zwei Tagen 51 Wildbienenarten gefunden (bne, 2021). In Klein Rheide wurden viele Individuen von Grab- und Wegwespen gefunden (bne, 2021). Diese kamen vor allem auf offenen Sandflächen, an Abbruchkanten und an Gewässern vor (bne, 2021). Bei einer in England durchgeführten Studie zu Hummeln auf vier verschiedenen FF-PVA, kam man zu dem Ergebnis, dass Hummeln Flächen mit Wildblumeneinsaat und einer Mahd als Pflege bevorzugen (Parker & McQueen, 2013). Auf beweideten FF-PVA waren Hummeln nicht so stark vertreten (Parker & McQueen, 2013). Jedoch fand man auf allen vier FF-PVA Hummeln bei der Nahrungssuche, während sie auf Ackerflächen nur auf Durchreise waren (Parker & McQueen, 2013). Dieses Ergebnis wurde in einer Studie von 2016 in England bekräftigt, da die Hummeln dort auf extensiv gepflegten FF-PVA eine höhere Diversität aufwiesen als auf Ackerstandorten (Montag et al., 2016). Eine in den USA durchgeführte Studie zeigt, dass Bestäuber-Insekten auch Pflanzen unter den Solarmodulen, also im Vollschatten, nutzen (Graham et al., 2021). Der Blütenreichtum dort war groß, aber der Blütezeitpunkt um zwei Wochen verzögert (Graham et al., 2021). Die Vielfalt und der Artenreichtum waren unter den Modulen schlechter als in der vollen Sonne oder an halbschattigen Orten (Graham et al., 2021). Somit bieten FF-PVA bei großen Reihenabständen eine größere Vielfalt.

Heuschrecken

Auf FF-PVA kommt es zu einem starken Zuwachs von Heuschrecken. Heuschrecken benötigen verschiedene Feuchttestufen, eine gute Vegetationsstruktur sowie ein passendes

Mikroklima (Godt et al., 2017). Sie brauchen eine hohe Bodentemperatur und eine lückige Grasnarbe zur Eireife (Fartmann & Mattes, 1997). Bei einer in Brandenburg durchgeführten Studie wurden auf drei FF-PVA 35 Heuschreckenarten gefunden, die damit etwa 60% der in Brandenburg vorkommenden Arten vertreten (Peschel et al., 2019). In einer in Fürstenwalde durchgeführten Studie, wurden zwei benachbarte Flächen verglichen, welche den gleichen Boden aufwiesen, aber unterschiedlich große Reihenabstände hatten (Peschel et al., 2019). Bei der Anlage mit breitem Reihenabstand kamen 40% mehr Arten vor als bei der Anlage mit kleinem Reihenabstand (Peschel et al., 2019). Zudem waren insgesamt mehr Individuen auf der Anlage mit breitem Reihenabstand vertreten (Peschel et al., 2019). Heuschrecken befinden sich tagsüber kaum unterhalb der Module, da es dort schattig ist (Badelt et al., 2020). Gerade deswegen benötigen Heuschrecken breite Reihenabstände mit besonnten Bereichen und Trockenrasen oder vegetationsarme Flächen (Peschel et al., 2019).

Wasserinsekten

Da flugfähige Wasserinsekten sich an polarisiertem Licht orientieren, das durch die Reflexion und Streuung der Sonnenstrahlen an der PV-Moduloberfläche entsteht, kann eine Attraktionswirkung der PV-Module auf eben diese nicht ausgeschlossen werden (Grünnewig et al., 2007). Eintagsfliegen, Köcherfliegen, Langbeinfliegen und Bremsen werden laut Badelt et al. dabei am ehesten angezogen, um dort ihre Eier abzulegen (Badelt et al., 2020). Bei einer Studie von 6 verschiedenen FF-PVA wurden nur wenige Individuen von Wasserkäfern und -wanzen auf diesen gefunden (Grünnewig et al., 2007). Ein Verletzungsrisiko oder gar ein Eintreten des Todes dieser Insekten liegt nicht vor (Badelt et al., 2020). PV-Module haben bei hoher Sonneneinstrahlung und hoher Umgebungstemperatur meist eine Temperatur von 50°C und zeitweise 60°C (Grünnewig et al., 2007). Diese Temperaturen sind aber im Vergleich zu Oberflächen von Autos geringer (Kitt, 2020). Die einzigen negativen Auswirkungen für Wasserinsekten sind die Misserfolge bei der Fortpflanzung und der Energieverlust bei häufigem Anflug (Kitt, 2020). Eine Lösung könnte eine Anti-Reflexion-Schicht auf den Modulen sein. Dadurch kommt es jedoch nur zu einer Verringerung an Bremsen an sonnigen Tagen und zu einer Verschlechterung an bewölkten Tagen, womit diese nicht geeignet sind (Badelt et al., 2020). Diplombiologe Matthias Kitt empfiehlt deswegen keine FF-PVA in Gegenden zu bauen, in denen stark bedrohte Arten der Wasserinsekten, wie der Breitrandkäfer und Schmalbindige Breitflügel-Tauchkäfer, beheimatet sind (Kitt, 2020).

3.1.4.2 Reptilien und Amphibien

Reptilien

Rolf Peschel und Tim Peschel untersuchten im Jahr 2019 wissenschaftliche Studien und Gutachten, wie Bebauungspläne sowie Umwelt- und Monitoringberichte, vieler verschiedenen FF-PVA in Deutschland (Peschel et al., 2019). Dabei wurde bei den Reptilien ein großes Augenmerk auf die Zauneidechse gelegt. Zauneidechsen mögen trockenwarme Bedingungen und Strukturvielfalt, die nur kleinräumig vorhanden sein muss (bne, 2021). Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass es bei einigen Solarparks zu einem starken Zuwachs an

Zauneidechsen kam, wenn diese Tiere geeignete Versteckplätze, ein gutes Nahrungsangebot und Eiablagehabitate haben (Peschel et al., 2019). Bei Schaffung dieser Plätze und einer Überwinterungsmöglichkeit, kam es in Finow zu einer Zunahme der Population und Reproduktion (Peschel et al., 2019). Nach dem Bau einer Anlage in Fürstenwalde kam es innerhalb von vier Jahren zu einer Vervierfachung der Anzahl der Zauneidechsen (Peschel et al., 2019). Doch nicht nur die Schaffung von Strukturen ist wichtig, auch ein dem Standort angepasster Reihenabstand und die technische Ausführung der Modulinstallation sind wichtig (Peschel et al., 2019). In einer FF-PVA in Neuhardenberg hat man verschiedene Reihenabstände und Modulgrößen nebeneinander gebaut und die Ergebnisse verglichen (Peschel et al., 2019). Die jungen Zauneidechsen nutzten wegen der Konkurrenzsituation Bereiche mit engen Reihenabständen und adulte Tiere die Bereiche mit breiten Reihenabständen und sonnigen Bedingungen zum Brüten und Wärmen (Peschel et al., 2019; Hietel et al., 2021). Es kam zu einer klaren Präferenz der breiten Reihenabstände (Peschel et al., 2019). Jedoch können enge Reihenabstände bei der Überwinterung helfen, da es unter den Modulen im Winter wärmer ist als zwischen den Modulreihen und Randbereichen (Peschel et al., 2019). Peschel et al. empfehlen einen besonnten Streifen zwischen den Modulreihen von mindestens drei Metern, da es sonst nicht zu einem massiven Bestandsanstieg kommen kann (Peschel et al., 2019). Auch das Pflegemanagement spielt eine wichtige Rolle, da bei der Schaffung magerer Vegetation sehr gute Lebensbedingungen entstehen können (Peschel et al., 2019). Hierbei sind gerade die Frei- und Randflächen wichtig (Peschel et al., 2019). Sobald eine hohe Anzahl an Individuen erreicht ist, wandern einige Zauneidechsen ab, um neue Lebensräume zu besiedeln (Peschel et al., 2019).

In der PV-Anlage in Nemsdorf-Göhrendorf wurden drei volljährige, zwei diesjährige und drei adulte Zauneidechsen gefunden (Schönbrodt et al., 2022). Mithilfe eines Korrekturfaktors geht man insgesamt von 18 bis 60 Individuen aus (Schönbrodt et al., 2022). Die Tiere befanden sich unter anderem an den Böschungskanten der Trafohäuser (Schönbrodt et al., 2022). Diese boten gute Lebensbedingungen durch einen geeigneten Platz zum Sonnen, durch die Hangneigung, und Versteckmöglichkeiten, durch die lückige Vegetation und vorhandenen Spalten (Schönbrodt et al., 2022). Durch eine partielle Mahd kam es zu einer Verbesserung der Habitatqualität für die Zauneidechsen, da die stehen gelassenen Bereiche Versteck- und Jagdmöglichkeiten und thermisch gute Abschnitte boten (Schönbrodt et al., 2022).

Amphibien

Da es auf und an vielen FF-PVA keine Gewässer gibt, ist auf diesen Flächen keine Vermehrung von Amphibien möglich (Peschel et al., 2019). Diese Flächen eignen sich nur als Wanderrouen oder Landlebensraum (Peschel et al., 2019). Sobald Gewässer in der Nähe oder auf diesen Anlagen sind, nutzen Amphibien die Flächen intensiver (Badelt et al., 2020). Gerade der Bergmolch, die Kreuzkröte, der Laubfrosch und Teichfrosch wurden auf solchen Flächen gefunden (Badelt et al., 2020). Dabei werden die Bereiche um die Module als Landlebensraum und die Gewässer zum Laichen genutzt (Peschel et al., 2019). Die Kreuzkröte wurde beim GEO-Tag der Natur 2021 in Schleswig-Holstein gefunden, da sie von der dort vorkommenden lückigen Vegetation, dem Gewässer und den trockenwarmen

Standortverhältnissen großen Nutzen trägt (bne, 2021). Expert:in Nummer 4 hat Erfahrungen mit Amphibien in der Nähe von Wäldern gemacht (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Diese Tiere nutzen Wälder als Sommerlebensraum und wandern in FF-PVA in der Nähe ab, da sie dort Schatten und Sonne zugleich haben (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Bei einem engen Reihenabstand um ein Gewässer herum, kann das passende Mikroklima für Amphibien erreicht werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Durch extensive Pflege sind Insekten, also Nahrung, auf diesen Anlagen vorhanden, weswegen diese Tiere keine großen Strecken mehr zwischen Sommer- und Winterlebensräumen und Laichgewässern überbrücken müssen (Peschel et al., 2019). Ein ausreichender Abstand des Zauns zum Boden muss zum Passieren der Amphibien vorhanden sein (NABU; Bundesverband Solarwirtschaft e.V., 2021). Damit FF-PVA als Winter- und Zwischenquartiere genutzt werden können, ist eine extensive Pflege der Fläche und eine Berücksichtigung der Amphibien während der Bauzeiten wichtig (Peschel et al., 2019; Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Die Reihenabstände müssen für Amphibien nicht groß sein, da sie gerade im Sommer Schatten benötigen (Peschel et al., 2019).

3.1.4.3 Avifauna

Brutvögel sind meistens eine berücksichtigte Artengruppe, da sie von der Planung und Errichtung betroffen sind (Peschel et al., 2019). Demuth et al. betonen, dass mit Umwandlung von intensiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen in FF-PVA mit einer extensiven Pflege, diese Flächen einen positiven Beitrag zur Avifauna leisten können (Demuth et al., 2019). Badelt et al. sprechen sogar von einer Stabilisierung der Diversität an Vogelarten (Badelt et al., 2020). Bei einer Studie in Brandenburg kam es zu einem Zuwachs von Feldlerchen, Grauammer und Schwarzkehlchen (Peschel et al., 2019). Feldlerchen nutzen diese Flächen, da ihre ursprünglichen Lebensräume kein Überleben mehr ermöglichten (bne, 2021). Zudem wanderten seltene Arten wie Steinschmätzer, Wiedehopf, Heidelerche und Haubenlerche ein (Peschel et al., 2019). Bei 70% der untersuchten Studien von Peschel et al. kam es zu einem Zuwachs der Diversität von Brutvögeln und bei 85% zu einer gleichbleibenden oder erhöhten Anzahl an Individuen (Peschel et al., 2019). Da die Avifauna einen großen Aktionsraum hat, spielen laut Peschel et al. gerade große FF-PVA eine wichtige Rolle, aber auch kleine Anlagen können aufgrund ihrer Randeffekte einen positiven Effekt auf Brutvögel haben (Peschel et al., 2019). Viele Vogelarten, wie der Neuntöter, die Goldammer und das Schwarz- und Braunkehlchen, nutzen die dort vorhandenen Module und Zäune als Ansitzwarten (Peschel et al., 2019). Durch Gehölzpflanzungen, künstliche Nisthilfen, andere Habitatemente und eine, die Vögel berücksichtigende, Pflege der Fläche, kann der Rückgang von Frei-, Höhlen- und Nischenbrütern verhindert werden (Peschel et al., 2019). Durch das Freibleiben von Flächen von Schnee, finden Vögel ein reiches Nahrungsangebot auf FF-PVA (Peschel et al., 2019). Gleiches fanden Grünnewig et al. heraus (Grünnewig et al., 2007). Bei einer durchgeführten Studie wurden 6 Standorte mit verschiedenen Modul- und Anlagentypen an verschiedenen Standorten verglichen (Grünnewig et al., 2007). Der Hausrotschwanz, die Bachstelze und die Wacholderdrossel brüteten an den Gestellen und die Feldlerche und das Rebhuhn auf freien Flächen (Grünnewig

et al., 2007). Auch Montag et al. kamen zu dem Schluss, dass die Feldlerche nicht zwischen den Modulreihen brütet (Montag et al., 2016). Die Zwischenräume und Randbereiche der Anlagen dienen zur Jagd und Nahrungsbeschaffung (Grünnewig et al., 2007). Größere Singvögel, wie Hänflinge, Sperlinge und Goldammern, kamen im Herbst und im Winter, um auf diesen Flächen Nahrung zu suchen (Grünnewig et al., 2007). Die PV-Module wurden als Ansitz- und Singwarte genutzt, wobei eine Nachführung dieser kein Problem darstellte (Grünnewig et al., 2007). Greifvögel, wie Mäusebussarde und Turmfalken, nutzten diese FF-PVA als Jagdrevier, wobei die Module kein Hindernis waren (Grünnewig et al., 2007). Auch beim Anlagentyp von Next2sun nutzen Greifvögel die Fläche als Nahrungshabitat (Next2sun GmbH, 2022). Bodenbrüter hingegen meiden diese Flächen, da die vertikalen Strukturen von Next2sun eine Störung darstellen (Next2sun GmbH, 2022). Bei einer Studie in Deutschland stellte man fest, dass etwa 62,2% der gefährdeten Brutvogelarten des Offenlands in Niedersachsen FF-PVA nutzten (Badelt et al., 2020). Etwas über die Hälfte dieser Arten nutzte die Anlage sogar als Bruthabitat (Badelt et al., 2020). Als Nahrungshabitat diente die Anlage dem Graureiher, der Rohrweihe, dem Rotmilan, dem Turmfalken, der Rauchschnalbe und dem Star (Badelt et al., 2020). Drei dieser Arten brüteten sogar in den vorhandenen Nisthilfen (Badelt et al., 2020). Um FF-PVA zum Brüten nutzen zu können, benötigen der Kiebitz, die Bekassine, der Wiesenpieper, der Girlitz und der Stieglitz offene Randbereiche um die PV-Module herum (Badelt et al., 2020). Gerade die Bachstelze und der Hausrotschwanz finden, als Nischenbrüter, einen geeigneten Lebensraum in FF-PVA (Badelt et al., 2020). Aber auch nachtaktive Vögel, wie der Ziegenmelker, wurden in Mecklenburg-Vorpommern gesichtet, als sie in der Anlage Nahrung fingen (bne, 2021). Generell wird erwartet, dass Vögel FF-PVA im Frühling und Herbst zum Ziehen nutzen, im Sommer zum Brüten und im Winter zur Nahrungssuche (Badelt et al., 2020). Peschel et al. halten einen besonnten Streifen zwischen den Modulreihen zwischen 9 Uhr bis 17 Uhr von Mitte April bis Mitte September für notwendig, damit sich Bodenbrüterarten in FF-PVA ansiedeln (Peschel et al., 2019). Diese Arten können, vor allem durch die extensive Flächenpflege und die Einzäunung, welche vor Fressfeinden schützt, die Fläche nutzen (Hietel et al., 2021). Der besonnte Streifen sollte 2,5 m betragen (Peschel et al., 2019). Zudem betonen Peschel et al., dass das Pflegemanagement eine wichtige Rolle spielt und, bei einer Berücksichtigung der extensiven Pflege, FF-PVA dauerhafte Lebensräume für Grünland- und Trockenrasenarten darstellen können (Peschel et al., 2019).

Vögel lassen sich durch Reflexionen oder Blendwirkungen von Modulen nicht stören (Grünnewig et al., 2007; Badelt et al., 2020; Kitt, 2020). Auch Wasser- und Wattvögel halten die Solarmodule nicht für Wasserflächen und fliegen diese nicht an (Grünnewig et al., 2007). Zudem stellen sie auch keine Hindernisse dar, da Vögel aufgrund ihres ausgeprägten Sehvermögens die PV-Module als solche aus großer Entfernung erkennen (Grünnewig et al., 2007; Kitt, 2020; Badelt et al., 2020). Ein Silhouetteneffekt in PV-Modulen ist abhängig vom Landschaftsbild und vertikalen Strukturen (Kitt, 2020; Grünnewig et al., 2007). Ein Effekt der Silhouette auf Vögel konnte bisher nicht bewiesen oder entkräftet werden, ist jedoch generell als gering einzuschätzen (Grünnewig et al., 2007). Die Beleuchtung der Anlage kann nachts störend für Zugvögel wirken (Kitt, 2020).

Bei der Brutvogelerfassung in Nemsdorf-Göhrendorf wurden 187 Brutpaare, bestehend aus 35 Brutvogelarten, und 8 mögliche Brutvögel gesichtet (Schönbrodt et al., 2022). Der Anteil der Rote-Liste-Arten und -Brutpaare lag jeweils bei etwa einem Viertel (Schönbrodt et al., 2022). Die meisten Brutvögel kamen in den Feldgehölzen, Siedlungsbereichen, strukturgebenden Hecken und Windschutzstreifen um die Anlage herum vor (Schönbrodt et al., 2022). Die Mönchsgrasmücke, die Gartengrasmücke, der Star, die Heckenbraunelle und die Nachtigall besiedelten als Hecken- und Gebüschbrüter diese Strukturen (Schönbrodt et al., 2022). Die angrenzenden Ackerflächen wurden von Feldlerchen und Wiesenschafstelzen besucht (Schönbrodt et al., 2022). Die Feldlerche ist als Offenlandart zwar häufig um die PV-Anlagen anzutreffen, geht aber nicht in die Anlage, da die Modulreihen dort, mit einem Reihenabstand von 2,6 bis drei Metern, zu nah aneinander stehen (Enerparc AG; Schönbrodt et al., 2022). Der Abstand zwischen Modulreihen und der Abzäunung ist auch zu gering und der Aufwuchs zu dicht (Schönbrodt et al., 2022). In den Gehölzen wurden die Dorngrasmücke, die Goldammer, die Grauammer, der Neuntöter und das Schwarzkehlchen als Halboffenarten gefunden (Schönbrodt et al., 2022). Innerhalb der PV-Anlage haben in der höherwüchsigen Krautvegetation die Goldammer, Grauammer und Dorngrasmücke gebrütet (Schönbrodt et al., 2022). Auch die Schafstelze hatte ein Brutpaar innerhalb der Anlage (Schönbrodt et al., 2022). Der Mäusebussard und der Turmfalke nutzten die Zäune und Modulträger als Ansitzarten, um innerhalb der Anlage Mäuse jagen zu können (Schönbrodt et al., 2022). Auch der Star und Baumpieper nutzten die Anlage als Nahrungshabitat (Schönbrodt et al., 2022). Durch die angelegten Gebüsche und Gehölze in den Randbereichen der Anlage, kam es zu einer Steigerung der Brutpaare der Dorngrasmücke und des Schwarzkehlchens (Schönbrodt et al., 2022).

3.1.4.4 Säugetiere

Bei Säugetieren kommt es, durch den Bau von FF-PVA, zu Störungen dieser (Herden et al., 2009). Mittel- und Großsäuger meiden, aufgrund des Lärms, des Lichts, der Menschen und der Gerüche, die Baustellen zu dieser Zeit (Grünnewig et al., 2007; Demuth et al., 2019; Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Durch die Anlage selbst und den umgebenden Zaun, kann es zu Barrieren für Großsäuger, wie Rotwild und Wildschweine, und damit zum Entzug der Wanderkorridore kommen. Im Extremfall führt dies zur Unterbindung des genetischen Austausches (Badelt et al., 2020). Durch Schaffung von Korridoren kann dem entgegen gewirkt werden (Badelt et al., 2020). Zudem erfolgt nach einer Phase der Meidung, eine Phase der Gewöhnung, weswegen die Großsäuger auf vorhandene Korridore eingehen oder sogar die FF-PVA nutzen (Demuth et al., 2019; Kitt, 2020; Enerparc AG). Selbst nachgeführte Anlagen haben dann keine abschreckende Wirkung mehr (Grünnewig et al., 2007). Neben Schnellstraßen wurde beobachtet, dass wenn eine PV-Anlagen zu groß ist oder diese die Wanderkorridore entzieht, die Tiere die vorhandenen Grünbrücken nicht mehr nutzen (Expert:innen-Gespräch Nr. 6, 22. Dezember 2022). Für Kleinsäuger stellen FF-PVA keine Barriere dar, wenn der Zaun einen Abstand zum Boden hat (Kitt, 2020; Enerparc AG). Bei einer zusätzlichen Herstellung des extensiven Grünlands, finden Kleinsäuger auf den Anlagen Nahrung (Kitt, 2020). Herden et al. sprechen sogar von einer ganzheitlichen Verbesserung der

Lebensbedingungen für Kleinsäuger (Herden et al., 2009). Auch die Bereiche unter den Modulen, die regen- und schneegeschützt sind, werden gerne von Kleinsäufern angenommen (Grünnewig et al., 2007; Badelt et al., 2020). Diese Bereiche bieten gerade im Winter Nahrung für Kleinsäuger (Badelt et al., 2020). Somit können FF-PVA einen Lebensraum für Mäuse, Feldhasen, Eichhörnchen, Rehe und Wildkaninchen darstellen (Herden et al., 2009; Kitt, 2020). Diese Tiere dienen dann Marderartigen oder Füchsen als Nahrung (Kitt, 2020). In Hinblick auf Fledermäuse gibt es wenige Studien, die Aussagen über das Verhalten dieser auf FF-PVA treffen. Da viele Insekten auf FF-PVA vorkommen können, könnte diese Fläche als Nahrungsrevier von Fledermäusen genutzt werden (Peschel et al., 2019). In der Studie von Montag et al. kam es zu einer Aktivität von Fledermäusen, aber nicht zu einem Anstieg an Individuen (Montag et al., 2016). Auch Expert:in Nr. 4 hat damit Erfahrung gemacht (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Ob es zu Kollisionen von Fledermäusen mit FF-PVA kommt, ist noch nicht ausreichend untersucht (Peschel et al., 2019). Greif et al. sprechen jedoch davon, dass Fledermäuse mit vertikal angeordneten reflektierenden Platten kollidieren (Greif et al., 2017). Ob dies auch bei PV-Anlagen passiert, muss in Zukunft weiter untersucht werden.

3.2 Förderung der Biodiversität auf zukünftigen Anlagen

Die folgenden Abschnitte befassen sich mit der Förderung zukünftiger FF-PVA auf ehemaligen landwirtschaftlich genutzten Flächen. Dazu werden die Standortwahl, die Planung und Bauweise, die Errichtung, der Betrieb, das Monitoring, Marketing und der Rückbau betrachtet.

3.2.1 Standortwahl

Bei der Betrachtung geeigneter Flächen sind die Vornutzung, die Lage, das Relief, die bereits vorhandene Artenvielfalt und mögliche Konfliktpotentiale zu betrachten (Hietel et al., 2021). Diese Aspekte sind wichtig, um eine naturverträgliche Gestaltung gewährleisten zu können (Neumann & Frobel, 2022). Eine Anlage sollte nicht in nordexponierter Höhenlage sein oder verschattet werden (Hietel et al., 2021). Außerdem sollte es vermieden werden auf weit einsehbaren Flächen, Flächen mit einer naturschutzfachlichen Bedeutung und Flächen, welche als schön angesehen werden, zu bauen (Expert:innen-Gespräch Nr. 2, 17. November 2022; Engl et al., 2020). Um die Wahrnehmbarkeit zu begrenzen, sollten natürliche Mulden oder Senken in Betracht gezogen werden (Engl et al., 2020). Bei der Standortwahl sollte zudem darauf geachtet werden, dass eine PV-Anlagen keine erheblichen Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes verursacht (BMJ; BfJ, 2022). Geeignete Flächen sind solche mit einer hohen Vorbelastung und somit einem hohen Aufwertungspotential (Engl et al., 2020). Alle Expert:innen waren der Meinung, dass ehemals intensiv genutzte landwirtschaftliche Flächen das größte Potential der Aufwertung vorweisen. Zu Waldflächen sollte dabei genügend Abstand gehalten werden, um eine Verschattung oder Beschädigung durch diese zu vermeiden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022; Hietel et al., 2021). Jedoch können

Waldflächen in der Nähe der PV-Anlagen auch zu einer schnelleren Besiedelung der Flächen mit verschiedenen, im Wald anzutreffenden, Arten führen (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Jede Fläche sollte individuell betrachtet und der örtliche Naturschutz bei der Auswahl mit einbezogen werden (BUND, NABU, Juli 2021; BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Doch nicht jede Ackerfläche ist für eine PV-Anlagen geeignet (BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Manche ertragsschwachen Ackerflächen haben bereits artenreiche Arthropodengesellschaften und sollten deswegen nicht mit FF-PVA überbaut werden (Hietel et al., 2021).

Die generelle Größe der benötigten Fläche für die PV-Anlagen ist abhängig von der geplanten Gesamtleistung und der verwendeten Technik, wie Reihenabstand, Modulneigung, Zelltechnik und festes oder nachgeführtes Gestellsystem (Grünnewig et al., 2007). Dünnschichtzellen benötigen bei gleicher Leistung etwa doppelt so viel Fläche, wie Dickschichtzellen (Grünnewig et al., 2007). Anlagen mit einem nachgeführten System benötigen ebenfalls mehr Fläche bei gleicher Leistung (Grünnewig et al., 2007). Bei zweiachsig nachgeführten Zellen ist der Platzbedarf sogar fast dreimal so groß (Grünnewig et al., 2007). Außerdem benötigen die Betriebsgebäude Platz, genauso wie die Zufahrtswege (Grünnewig et al., 2007).

Rechtliches

FF-PVA sind bauliche Anlagen, da sie aus Bauprodukten erzeugt und mit dem Boden verbunden sind (§ 2 Absatz 1 SächsBO) (Sachsen, 2023). Dementsprechend benötigen sie nach § 30 Baugesetzbuch (BauGB) eine Genehmigung (BMJ; BfJ, 2022). Aus dem Flächennutzungsplan ist nach § 8 Absatz 2, Satz 1 BauGB ein Bebauungsplan zu erstellen (BMJ; BfJ, 2022). In dem Bebauungsplan muss diese Fläche als „Sondergebiet Photovoltaikanlagen“ nach § 11 Absatz 2 Satz 2 Baunutzungsverordnung (BauNVO) gekennzeichnet sein (BMJ; BfJ, 2021). Wenn diese Fläche nicht als Sonderfläche ausgezeichnet ist, muss eine Änderung des Flächennutzungsplans erfolgen (MIKWS; MELUND, 2021). Weitere relevante Dokumente sind das Landesentwicklungskonzept, das Arten- und Biotopschutzprogramm und der Regionalplan (Reinke et al., 2021). Ein Grünordnungsplan muss Teil des Bebauungsplans und der Landschaftsplan ein Teil des Flächennutzungsplans sein (Reinke et al., 2021). Zudem muss das Wasser-, Abfall- und Immissionsschutzrecht beachtet werden (Reinke et al., 2021). Gerade in Hinblick auf die Ausbauziele ist eine Erweiterung der Flächen für FF-PVA wichtig und sollte in der regionalen Raumordnungsplanung berücksichtigt werden (Neumann & Frobels, 2022). Die regionalen Raumordnungskarten sind mittels Geoinformationssysteme (GIS) einsehbar. Die gewünschte Fläche für die PV-Anlage sollte mit den betroffenen Behörden abgestimmt werden (MIKWS; MELUND, 2021). Da eine PV-Anlage nach § 14 Absatz 1 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) einen Eingriff in die Natur darstellt, muss für die Genehmigung des Vorhabens ein Umweltbericht nach § 15 und § 44 BNatSchG und § 2 Absatz 4 und § 2a BauGB erstellt werden (BMJ; BfJ, 2022; BMJ; BfJ, 2022). In diesem Bericht müssen Aussagen über den Einfluss auf verschiedene Schutzgüter und deren Auswirkungen auf die Umwelt getroffen werden (Reinke et al., 2021). Dies ist wichtig, um später auf die Auswirkungen reagieren zu können und um herauszufinden, wie diese gemindert werden können (Neumann & Frobels, 2022). Miteinbezogen werden sollten bei dem Umweltbericht die Natur- und

Umweltschutzverbände und die Träger öffentlicher Belange (Neumann & Frobel, 2022). Die genauen Inhalte sind in Anlage 1 des Baugesetzbuches zu finden (BMJ; BfJ, 2022). Die verschiedenen Schutzgüter, welche in § 2 Absatz 1 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) genannt werden, sind unter anderem biologische Vielfalt, Boden, Wasser, Klima, Landschaftsbild, Gesundheit und kulturelles Erbe, wobei bei den Schutzgütern Boden und Landschaftsbild die meisten Auswirkungen durch eine PV-Anlage zu erwarten sind (BMJ; BfJ, 2021; Reinke et al., 2021). Generell hängen die Auswirkungen und ihre Stärke von dem Standort ab, an dem die Anlage stehen soll, wie in Kapitel 3.1 beschrieben. Um die Auswirkungen einschätzen zu können, müssen unter anderem zuerst Aussagen über die Standortgegebenheiten, Einspeiseleistung, Modulbauweise, Abstände zwischen den einzelnen Modulreihen und dem Boden, Versiegelungsgrad und dem verwendeten Material getroffen werden. Die Abstände zu Ortschaften, auffallende Strukturen und weitere Merkmale des Standortes und seiner Umgebung sollen beschrieben werden (Reinke et al., 2021). Es muss eine erste Kartierung der Artenvielfalt durchgeführt werden und verschiedene Bereiche der Fläche ihrer naturschutzfachlichen Bedeutsamkeit nach aufgegliedert werden (Reinke et al., 2021). Eine Kartierung kann zum Beispiel auf Grundlage der Biotopwertliste der Bayerischen Kompensationsverordnung erfolgen (Reinke et al., 2021). Jedes Bundesland hat eigene Biotopwertlisten und Kompensationsverordnungen. Die Kartierung ist wichtig, um herauszufinden, ob und was für eine Artenvielfalt bereits vorhanden ist und inwiefern sich eine PV-Anlage auf diese auswirken kann. Die Landschaft muss in Hinblick auf Schönheit, Erholungswert und Vielfalt bewertet werden (Reinke et al., 2021). Auf als schön angesehenen Flächen sollte vermieden werden zu bauen (Expert:innen-Gespräch Nr. 2, 17. November 2022). Dazu hat Silvio Hildebrandt eine Dissertation mit dem Namen "Landschaftliche Schönheit als intuitives Konstrukt – Entwicklungen und Vergleich bundesweiter Bewertungsmodelle für das Landschaftsbild" geschrieben, welche diese Flächen einschätzt und auf ganz Deutschland anwendet. Diese Dissertation kann Hilfestellung zu dieser Thematik geben. Zum Boden müssen Aussagen über die Bodennutzung und Bodenarten getroffen werden (Reinke et al., 2021). Diese Informationen können mittels Bodenübersichtskarten der einzelnen Länder eingeholt werden. Eine Bodenübersichtskarte von Deutschland ist bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe unter BGR - BÜK1000 (bund.de) einsehbar. Die Bodenübersichtskarten der einzelnen Bundesländer sind ebenfalls online auf deren entsprechenden Seiten zu finden. Die Ackerzahl, die die Ertragsfähigkeit von Böden angibt, kann mittels der Bodenkarten bestimmt werden (Reinke et al., 2021). Sie errechnet sich durch Zu- und Abschläge der Bodenzahl, nach Einfluss der Geländegestaltung und des Klimas, wobei die Bodenzahl durch die Bodenart, geologische Herkunft und Zustandsstufe berechnet wird (Schrödter & Altermann, 2019). Die Ackerzahl kann von Nutzen sein, um nicht auf sehr ertragsfähigen Böden zu bauen (Reinke et al., 2021). Jedoch berücksichtigt sie nicht die wirtschaftlichen Ertragsbedingungen, welche durch die besseren Produktionsfaktoren erreicht werden (Schrödter & Altermann, 2019). Je nach Bodenart, lässt sich die Verdichtungsempfindlichkeit der Fläche einschätzen, sollte jedoch vor Baustart noch überprüft werden (Reinke et al., 2021). Auf verdichtungsempfindlichen Böden kann es zu Mehraufwand und -kosten kommen, weshalb diese Flächen gemieden werden sollten (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die Grundwasserverhältnisse im

Gebiet sollten aufgenommen werden (Reinke et al., 2021). Dabei helfen auch hier bestehende Karten. Wenn der Grundwasserstand in dem betroffenen Gebiet hoch ist, müssen Vorkehrungen getroffen werden, um das Grundwasser nicht zu belasten. Zum Beispiel müssten schwimmende Schwerlastgründungen eingesetzt werden, was zu einer höheren Bodenversiegelung führt. Auf Kaltluftentstehungsgebiete sollte geachtet und in solchen eher nicht gebaut werden, da FF-PVA diese Gebiete lokalklimatisch aufheizen können. Eine mögliche Blendwirkung sollte mit einem Blendgutachten ermittelt werden.

Nach § 15 Absatz 1 und 2 BNatSchG ist der Verursacher des Eingriffs verpflichtet, die Natur und Landschaft nicht zu beeinträchtigen (BMJ; BfJ, 2022). Kommt es dennoch zu Beeinträchtigungen, so sind Ausgleichsmaßnahmen zu treffen (BMJ; BfJ, 2022). Die Anforderungen an die Ausgleichsmaßnahmen sind in § 1a (3) BauGB näher beschrieben (BMJ; BfJ, 2022). Um den Ausgleichsbedarf zu ermitteln, wird die Eingriffsfläche, die der eingezäunten Fläche entspricht, mit einem Kompensationsfaktor multipliziert (Reinke et al., 2021). Beispielsweise liegt der Kompensationsfaktor von Ackerflächen oder intensiv genutztem Grünland in eine PV-Anlage, welche einen niedrigen Versiegelungsgrad hat, in Bayern zwischen 0,2 und 0,5 (Pröbstl, 2001). Somit kann ein geringer Mehraufwand genügen, um die benötigten Aufwertungs- und Ausgleichsmaßnahmen zu erfüllen (Hietel et al., 2021). Um eine Ausgleichsfläche wählen zu können, muss der Artenbestand erfasst und bewertet werden und die Fläche darf nicht bereits als Ausgleichsfläche genutzt werden (Reinke et al., 2021). Die Ausgleichsfläche muss im Bebauungsplan dokumentiert sein (Reinke et al., 2021). Der Ausgleich kann generell auch auf der Fläche stattfinden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Dies kann durch Schaffung geeigneter Bereiche zur Förderung hoher Artenvielfalt erfolgen, wie beispielsweise Einbringung einer Regiosaatgutmischung und Erstellung von Strukturen in nicht bebauten Bereichen sowie durch Aufwertung des Landschaftsbildes (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022; Reinke et al., 2021). Ein naturschutzfachliches Pflegekonzept spielt auch eine wichtige Rolle, um eine Aufwertung der bebauten Fläche zu erhalten (Neumann & Frobel, 2022).

3.2.2 Planung und Bauweise

Bei der Bauweise von FF-PVA sollten bereits bestehende Biotopstrukturen genutzt und/oder erweitert werden. Maßnahmen zur Integration in das Landschaftsbild und die Anlagenplanung sollten naturverträglich sein und die Biodiversität fördern. FF-PVA sollten sich an die örtlichen Gegebenheiten anpassen und die Akzeptanz der Bevölkerung stärken.

Vor dem Bau einer Anlage sollte ein Zielartenkonzept festgelegt werden (Reinke et al., 2021). Dieses kann dabei helfen die, im Betrieb durchgeführten, Pflege- und Naturschutzmaßnahmen zu beurteilen (Reinke et al., 2021). Im Zielartenkonzept sollten seltene, gefährdete und für ein Zielbiototyp repräsentative Arten und Artengruppen beinhaltet sein (Reinke et al., 2021). Zu beachten ist hierbei, dass die ausgewählten Arten und Artengruppen bereits auf der Fläche vorkommen oder ein Quellhabitat in der Nähe haben (Reinke et al., 2021). Somit ist die Chance zur Migration gewährleistet (Reinke et al., 2021). Mithilfe der ausgewählten Arten können

Maßnahmen, bezogen auf die Zielarten, geplant werden (Reinke et al., 2021). Beispielsweise können Strukturen, wie Tümpel, Hecken und Blühstreifen bei der Planung berücksichtigt werden. Das Zielartenkonzept sollte auf den am Standort vorhandenen Boden abgestimmt sein (Reinke et al., 2021). Hilfestellung kann die Untere Naturschutzbehörde leisten (Reinke et al., 2021). Generell sollten örtliche Behörden, Träger öffentlicher Belange und die Öffentlichkeit bei der Planung mit einbezogen werden, um die Akzeptanz für FF-PVA zu steigern (Hietel et al., 2021).

Mithilfe einer guten Planung und Umsetzung, können die Kompensationsmaßnahmen auf den zu bebauenden Flächen selbst stattfinden. Dies sollte immer anzustreben sein.

3.2.2.1 Integration in das Landschaftsbild

Bei der Planung, hinsichtlich des Landschaftsbildes, ist es wichtig, dass die Schönheit und der Erholungswert der Landschaft nicht beeinträchtigt werden, um mehr Akzeptanz zu erhalten. Die Landschaft darf nicht zerschnitten werden, sodass ein Biotopverbund erhalten bleibt oder geschaffen wird. Da die reflektierenden Eigenschaften, die Form, Farbe und Nähe zum Horizont eine PV-Anlage ausmachen und vom Menschen als störend wahrgenommen werden, ist es wichtig diese FF-PVA funktional und optisch in das Landschaftsbild zu integrieren (Hietel et al., 2021). Hierbei ist es von Bedeutung, bereits existierende Bestandteile stehen zu lassen oder sich an diesen zu orientieren und weitere zu ergänzen (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Hecken, Sträucher und Blühstreifen können, wenn sie standortangepasst sind, FF-PVA aufwerten und das Image der Anlagenbetreiber steigern (Godt et al., 2017). Hecken, um die Zäune herum, können zum Beispiel dazu dienen die PV-Anlagen vor Menschen attraktiver abzuschirmen und Lebensraum für Tiere zu schaffen (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022; Grünnewig et al., 2007; Hietel et al., 2021). Die Zäune dürfen nicht mit Stacheldraht versehen sein und benötigen große Maschen (Hietel et al., 2021). Hecken können als Nahrungsquelle, Brutplatz für Gebüsch- und Heckenbrüter sowie Durchgangsbiotop für Säugetiere, Amphibien, Vögel und viele Insektenarten dienen, vorausgesetzt sie sind an die Gegebenheiten des Standorts angepasst (Gyimothy & Schumacher, 2019; Demuth et al., 2019). Die Kernzone von Hecken, dient beispielsweise als Versteck für Amphibien und als Winterquartier für Haselmäuse und Zauneidechsen (Gyimothy & Schumacher, 2019). Es ist wichtig viele heimische Sträucher auszuwählen, um ein vielfältiges Blüh- und Fruchtangebot zu schaffen (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2019). In Nordrhein-Westfalen wären zum Beispiel folgende Arten empfehlenswert: der Gewöhnliche Liguster, die Schlehe, der Faulbaum und der Blutrote Hartriegel (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2019). Diese Sträucher werden alle besonders gern von Schmetterlingen besucht (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2019). Insbesondere für die Entwicklung von Bienenvölkern sind spätblühende Pflanzen wichtig (Gyimothy & Schumacher, 2019). Bei großer Hitze oder zu hoher Feuchte dienen Hecken außerdem als periodischer oder kurzzeitiger Rückzugsort für wenig mobile Kleintiere (Godt et al., 2017). Käfer mit einem kleinen Aktionsradius finden in den teilweise verrotteten Altbäumen Schutz (Godt et al., 2017). Vor allem der

Weißdorn, die Schlehe und die Wildrose haben in Hecken aus tierökologischer Sicht einen großen Mehrwert (Godt et al., 2017). Bereits stehende Bäume und Hecken sollten weitestgehend erhalten werden, da diese schon besiedelt sind (Godt et al., 2017). Zum Süden ausgerichtete Hecken mit einer Saumausbildung, stellen für Blüten-, Frucht- und Samenfresser ein vielseitiges Nahrungsangebot dar (Godt et al., 2017). Auch Blindschleichen und Zauneidechsen sind dort vorzufinden (Godt et al., 2017). Hautflügler und Springschnecken nutzen trockene und hohle Stängel von Saumpflanzen als Bruthabitat (Godt et al., 2017). Die markhaltigen Zweige von Brombeeren, Himbeeren und Holunder sind ebenfalls geeignet (Godt et al., 2017). Auch andere Arthropoden, wie Schmetterlinge und eher in Wäldern vertretene Laufkäfer, sind in Hecken stark vertreten (Godt et al., 2017). Das dort auftretende hohe Insektenaufkommen zieht Fledermäuse und Vögel an (Godt et al., 2017). Bei seit Jahren bestehenden Hecken, können diese für manche Offenlandarten Schutz vor der Witterung und Feldarbeiten bieten und als Winterquartier sowie zur Nahrungssuche genutzt werden (Godt et al., 2017). Gerade bei benachbarten, intensiv landwirtschaftlich bewirtschafteten Flächen nimmt bei einer Zunahme der Dichte der Hecken auch die Artendiversität von Feldvogelarten und Ubiquisten zu (Godt et al., 2017). Insbesondere Strauchbewohner, wie der Neuntöter und die Dorngrasmücke, haben während einer Beweidung der Fläche durch Hecken einen Rückzugsort (Godt et al., 2017). Bei einer Mahd spielen Hecken für viele Vogelarten eine wichtige Rolle (Godt et al., 2017). Jedoch können neugepflanzte Hecken für Offenlandarten eine Ausbreitungsbarriere darstellen (Godt et al., 2017). Durch die Gehölzstrukturen in hoher Dichte, meiden der Kiebitz und die Feldlerche diese Flächen bei der Wahl des Brutplatzes (Godt et al., 2017). Dementsprechend sollten bei Anlegung neuer Hecken immer zunächst die Zielarten bestimmt und die positiven oder negativen Einflüsse auf die Artenvielfalt abgewogen werden (Godt et al., 2017). Neben der Steigerung der Biodiversität, sind Hecken auch staubfilternd, dämpfen Lärm, können vor Schadstoffeinträgen von umgrenzenden Ackerflächen schützen, die Windgeschwindigkeit um bis zu 60% verringern, vor Erosionen schützen und das Mikroklima regulieren (Gyimothy & Schumacher, 2019; Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2019). Sie sollten etwa drei bis fünf Meter breit, maximal drei Meter hoch und mehrreihig sein, damit sie von den verschiedenen Arten genutzt werden, und ausreichenden Abstand zu den Modulen haben, um Verschattungen zu vermeiden (Demuth et al., 2019; Gyimothy & Schumacher, 2019; Hietel et al., 2021; Engl et al., 2020). Ein ein Meter breiter Wildkrautsaum vor den Hecken ist ebenfalls zu empfehlen (Godt et al., 2017). Die Wuchsgeschwindigkeit der ausgewählten Arten ist zu beachten, damit es nicht zu einer Verholzung kommt (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2019). Dazu ist ein Pflegeschnitt zwischen Oktober und Februar ratsam (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2019). Die bei dem Rückschnitt anfallende Biomasse kann entweder als Brennholz verkauft oder in Biogasanlagen gebracht werden (Godt et al., 2017). Pflanzungen von Hecken, Blühstreifen und Sträuchern verursachen zwar Mehrkosten, können jedoch als Kompensationsmaßnahme anerkannt werden (Hietel et al., 2021).

3.2.2.2 Anlagenplanung

Die Anlagenplanung gliedert sich in technische Möglichkeiten und biologische Aufwertung. Die technischen Möglichkeiten beziehen sich hauptsächlich auf die Module und den Reihenabstand, wohingegen es sich bei der biologischen Aufwertung um die Planung von Strukturen handelt.

Technische Möglichkeiten

Um Reflexionen zu vermeiden, sollten reflexionsarme Materialien verwendet und die Modulneigung angepasst werden (KNE, 2021). Auch in Hinblick auf nachgeführte Anlagen ist dies besonders wichtig. Lärmarme Wechselrichter und Trafostationen sollten gewählt werden, um Tiere und Menschen nicht zu stören (KNE, 2021). FF-PVA sollten insgesamt einen Versiegelungsgrad von unter fünf Prozent haben, jedoch nach Möglichkeit einen geringeren anstreben (BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Dies wird durch den Einsatz von Pfahlgründungen erreicht. Die Modulunterkante sollte einen Mindestabstand von 0,8 m zum Boden aufweisen (BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Dies gewährleistet, dass genug Licht und Wasser unter die Module kommen kann, um eine geschlossene Vegetationsdecke zu bewirken. Zudem ist dadurch eine Beweidung mit Schafen möglich (Engl et al., 2020). Die maximale permanente Bedeckung und Verschattung der Fläche sollte zwischen 35% und 50% liegen (BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021; Demuth et al., 2019; Engl et al., 2020). Verschattungen können neben Lichteinbußen auch zu Ertragseinbußen führen (Wesselak & Voswinckel, 2016). Das Verhältnis von Modulfläche zur Gesamtfläche, welche verschattet werden kann, liegt bei etwa 0,3 bis 0,4 (Wesselak & Voswinckel, 2016). Somit können unter den Modulen Halbschattenlebensräume entstehen (BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Damit sich diese Vegetation entwickeln kann, sollten Modultische maximal fünf Meter tief sein (Hietel et al., 2021). Die Reihenabstände zwischen den Modulreihen sollten so groß sein, dass sich dazwischen ein besonnter Bereich bildet, welcher positive Auswirkungen auf Pflanzen, Insekten, Reptilien und Vögel hat. Somit kann es, durch die Entwicklung von Sonnen-, Halbschatten- und Schattenstandorten, zur Steigerung der Artenvielfalt und Individuenzahl kommen (Hietel et al., 2021). Zudem kann die Versickerung des Regenwassers verbessert werden (Hietel et al., 2021). Demuth et al. sprechen bei Nord-Süd ausgerichteten Anlagen von einem Reihenabstand, der etwa zwei- bis dreifach so breit wie die Modulhöhe sein muss (Demuth et al., 2019). Hietel et al. meinen, dass ein Abstand von 3,5 bis fünf Metern ausreicht und der BUND spricht von einem Abstand von mindestens drei Metern (Hietel et al., 2021; BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Peschel et al. gehen weiter und sagen, dass der Reihenabstand von Mitte April bis Mitte September zwischen 9 Uhr und 17 Uhr eine Breite von 2,5 Metern aufweisen sollte (Peschel et al., 2019). Je größer der Abstand ist, desto geringer ist die Flächenausnutzung (Wesselak & Voswinckel, 2016). Da der beschattete Bereich und somit die besonnte Fläche zudem vom Standort abhängig ist, kann man versuchen, diese Fläche geometrisch zu berechnen. In Abbildung 12 ist die Voraussetzung der Berechnung zu sehen. Es wird davon ausgegangen, dass der Boden begradigt wurde und keine Steigung oder

Gefälle mehr vorhanden ist. Dabei sind folgende Werte gegeben: die Modultischlänge c , die sich aus der Modulanzahl multipliziert mit der Modulbreite oder -länge ergibt, der Neigungswinkel α , die Modultischunterkante d , der eingeplante Reihenabstand r und der Breitengrad B des Standortes. Beispielhaft wird hier eine Anlage in Hamburg angenommen. Dafür werden folgende Informationen angenommen:

Modulbreite = 1,041 m

Modulanzahl = 6 Stück

$$c = 1,041 \text{ m} \cdot 6 = 6,246 \text{ m} \quad (3)$$

$\alpha = 20^\circ$

$d = 0,8 \text{ m}$

$r = 5,5 \text{ m}$

$B = 53,55^\circ$

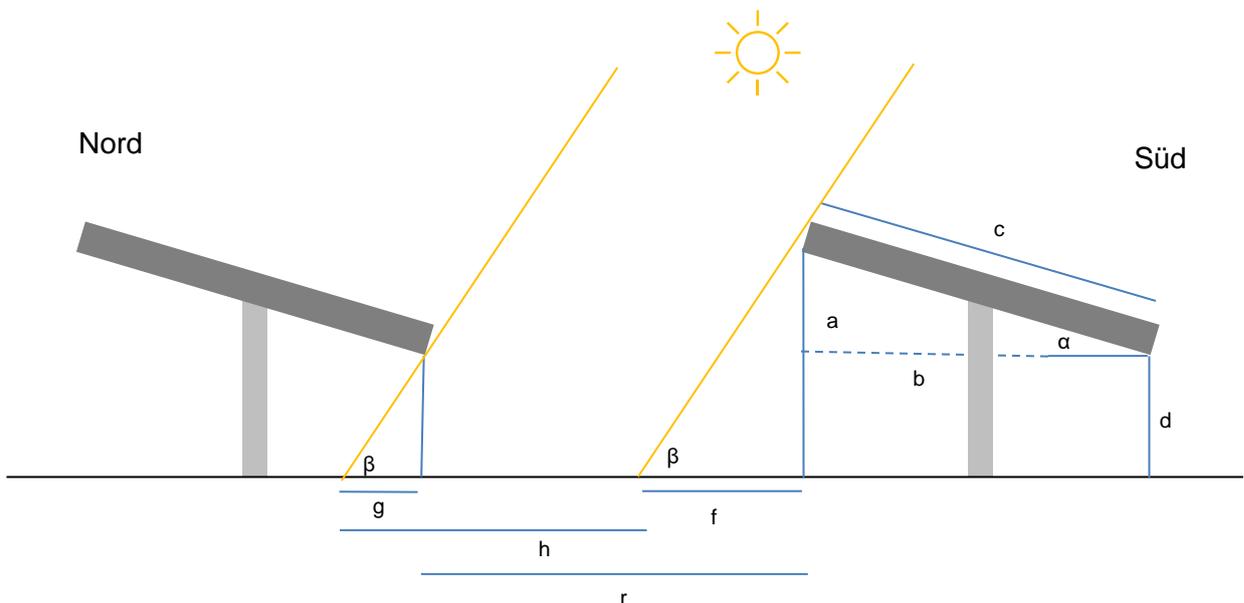


Abbildung 12: Berechnung des benötigten Reihenabstands für besonnte Streifen in Süd-Ausrichtung; Eigene Darstellung

Zuallererst muss a , also der Abstand zwischen Modultischoberkante und -unterkante, berechnet werden.

$$a = \sin(\alpha) \cdot c \quad (4)$$

$$a = \sin(20^\circ) \cdot 6,246 \text{ m} = 2,136 \text{ m} \quad (5)$$

Daraufhin wird der Breitengrad genutzt, um den Sonnenhöchststand am 21. März und 23. September um 12 Uhr zu errechnen, welcher uns β gibt (Baunetz Wissen, kein Datum).

$$\beta = 90^\circ - B \quad (6)$$

$$\beta = 90^\circ - 53,55^\circ = 36,45^\circ \quad (7)$$

Die Sonne steht an diesen beiden Tagen um 12 Uhr senkrecht über dem Äquator (Baunetz Wissen, kein Datum).

Dieser Zeitpunkt wird gewählt, da es im Sommer zu besseren Bedingungen kommt und somit über den ganzen Tag ein ausreichender besonnener Streifen gewährleistet werden kann. Da zum Beispiel die Feldlerche Anfang März anfängt zu brüten, ist ein besonnener Streifen während dieser Zeit wertvoll (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2022).

Nun kann f , also der beschattete Bereich berechnet werden:

$$f = \frac{a + d}{\tan(\beta)} \quad (8)$$

$$f = \frac{2,136 \text{ m} + 0,8 \text{ m}}{\tan(36,45^\circ)} = 3,975 \text{ m} \quad (9)$$

Da auch Licht unter die nördlich des betrachteten Modultischs stehende Modulreihe fallen kann, wird g berechnet:

$$g = \frac{d}{\tan(\beta)} \quad (10)$$

$$g = \frac{0,8 \text{ m}}{\tan(36,45^\circ)} = 1,083 \text{ m} \quad (11)$$

Somit kann der besonnte Bereich h in dem gewählten Reihenabstand errechnet werden:

$$h = r - f + g \quad (12)$$

$$h = 5,5 \text{ m} - 3,975 \text{ m} + 1,083 \text{ m} = 2,608 \text{ m} \quad (13)$$

Damit ist ein besonnener Bereich von 2,608 m gewährleistet. Fügt man alle Berechnungen zusammen, erhält man:

$$h = r - \frac{(\sin(\alpha) \cdot c) + d}{\tan(\beta)} + \frac{d}{\tan(\beta)} \quad (14)$$

Um zu kontrollieren, dass auch beim Sonnenhöchststand des Jahres, also dem 21. Juni um 12 Uhr, der besonnte Streifen gegeben ist, wird β anders errechnet (Baunetz Wissen, kein Datum):

$$\beta = 90^\circ + 23,5^\circ - B \quad (15)$$

$$\beta = 90^\circ + 23,5^\circ - 53,55 = 59,95^\circ \quad (16)$$

Die Addition von $23,5^\circ$ erfolgt, da die Sonnendeklination, aufgrund der Erdneigung, $23,5^\circ$ entspricht (Baunetz Wissen, kein Datum).

Somit errechnet sich für h :

$$h = 5,5 \text{ m} - \frac{(\sin(20^\circ) \cdot 6,246 \text{ m}) + 0,8 \text{ m}}{\tan(59,95^\circ)} + \frac{0,8 \text{ m}}{\tan(59,95^\circ)} = 4,26 \text{ m} \quad (17)$$

Also kann man in den Sommermonaten sogar mit mehr als 2,5 m besonnenen Streifen um die Mittagszeit rechnen. Da die Sonne im Osten aufgeht und im Westen untergeht, ist der besonnte Streifen vormittags und nachmittags geringer. Beispielsweise beträgt der besonnte Streifen am 21. März um 9 Uhr morgens etwa 0,17 m (Hoffmann, 2023). Um 17 Uhr ist dagegen kein besonnener Streifen mehr vorhanden (Hoffmann, 2023). Dafür liegt der besonnte Bereich am 21. Juni um 9 Uhr bei etwa 2,23 m und um 17 Uhr bei 2,91 m (Hoffmann, 2023).

Bei einer Steigung oder einem Gefälle ändert sich der besonnte Streifen. Bei einer Steigung von 5° liegt dieser um 12 Uhr am 21. März und 23. September bei 1,416 m. Bei einem Gefälle

von 5° liegt er um 12 Uhr am 21. März bzw. 23. September bei 3,528 m. Die Berechnung bei einer Steigung ist im Anhang 4 von Seite XXX bis XXXIII zu finden. Die Berechnung des besonnten Streifens bei Gefälle ist im Anhang 5 von Seite XXXIV bis XXXVII nachzulesen.

Statt monofazialer Module könnten semitransparente bifaziale Module eingesetzt werden. Dadurch kann mehr Licht, aufgrund der fehlenden blickdichten Rückseitenfolie, auf den Boden gelangen. Ebenfalls hilfreich sind Lücken zwischen den einzelnen Modulen in einer Modulreihe. Diese bewirken, dass Erosion vermieden werden kann, da das Wasser gleichmäßiger auf dem Boden aufkommt (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022; Herden et al., 2009). Zusätzlich gelangt mehr Licht unter die Modulreihen (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022; Herden et al., 2009). Für die Berechnung müssten dabei nur die Lücken zur Modulbreite und -anzahl, also zur Strecke c hinzuaddiert werden.

Bei Anlagen mit Ost-West-Ausrichtung kommt es nicht zu so großer Verschattung, weshalb diese einen engeren Reihenabstand haben können (Demuth et al., 2019). Auch vertikale Modulreihen, wie die von Next2Sun, sind dabei eine gute Möglichkeit. Bei einem Reihenabstand von 10 Metern, gelangen noch 79% der photosynthetisch aktiven Strahlen zu den Pflanzen (Badelt et al., 2020). Durch den hohen Reihenabstand kommt es zu einer geringeren Stromproduktion auf der Fläche, im Vergleich zu den bisher beschriebenen Anlagen (Badelt et al., 2020). Die vertikale Struktur schafft jedoch auch einen Wind- und Erosionsschutz und eine gleichmäßigere Verteilung der Sonnenstrahlung (Badelt et al., 2020; Next2sun GmbH, 2022). Der Reihenabstand zwischen den Modulen sollte neben dem Standort auch von den zu fördernden Arten abhängig sein. Amphibien zum Beispiel benötigen einen engen Reihenabstand (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Somit müsste, je nach Artenvorkommen und der zu fördernden Arten, der Reihenabstand individuell betrachtet werden. Auch sind Anlagen denkbar, bei denen in einem Bereich große Reihenabstände mit besonnten Streifen für Insekten, Vögel und Reptilien gebaut werden und in einem anderen Bereich der FF-PVA eng gebaut wird, um Amphibien zu fördern.

Biologische Aufwertung

FF-PVA sollten mit den verschiedenen Wildwegeplänen nicht in Konflikt treten (BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Kleine Anlagen können Trittsteinbiotope darstellen, jedoch große Anlagen zu einer Behinderung von Großsäugern führen (Hietel et al., 2021). Um großen Säugetieren einen Durchlass zu gewähren und sie nicht in ihren Wanderrouen zu stören, sind Korridore von Bedeutung. Neumann und Frobelsprechen von einem Korridor ab einer Flächeninanspruchnahme von 20 ha, wohingegen der BUND dies bereits bei 10 ha fordert (Neumann & Frobels, 2022; BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Die Korridore sollten ab einer Breite der PV-Anlagen von 500 m vorhanden sein und etwa mindestens 20 m, aber besser 50 m breit sein (Demuth et al., 2019; Hietel et al., 2021; BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Zudem sollten die Korridore mit einer standorttypischen und vielfältigen Bepflanzung versehen sein sowie Blühstreifen und Totholz im Randbereich haben, damit Tiere diesen Korridor annehmen und über Versteckmöglichkeiten verfügen (Demuth et

al., 2019; Hietel et al., 2021; BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Doch Korridore sind nicht nur für die Förderung der Biodiversität gut, sie können auch den Zugang zu den Modulen und Wechselrichtern erleichtern und gleichzeitig als Ausgleichsmaßnahme anerkannt werden (Hietel et al., 2021). Bei FF-PVA neben Schnellstraßen, sind sich die Expert:innen uneinig. 50% der Befragten äußerten sich positiv in Hinblick auf einen biodiversitätsfördernden Ausbau von FF-PVA neben Schnellstraßen. Allen sind Korridore für den Wildwechsel wichtig, wobei sich die Vorstellungen zu Gestaltung und Breite unterscheiden.

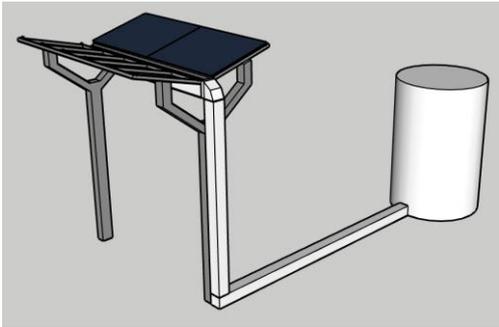


Abbildung 13: Wassermanagementsystem
(Fraunhofer ISE, kein Datum)

Expert:in 2 gibt keine Breite vor, Expert:in 1 spricht von einer Breite der Korridore von fünf bis 10 Metern alle 500 bis 1.000 Meter und Expert:in 3 ist für eine Korridorbreite von 50 bis 100 Metern mit einer Bepflanzung (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022; Expert:innen-Gespräch Nr. 2, 17. November 2022; Expert:innen-Gespräch Nr. 3, 21. November 2022). Wenn dies nicht gegeben ist, besteht die Gefahr, dass Wildtiere trotz bestehender Tunnel oder Grünbrücken die Schnellstraße überqueren wollen (Expert:innen-Gespräch Nr. 3, 21. November 2022). Expert:in 1 findet, dass FF-PVA neben Schnellstraßen keinen guten Lebensraum darstellen und hält eine hundertprozentige Flächenbedeckung mit einer Ost-West-Ausrichtung sinnvoll (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022). Zudem schlägt er/sie ein Wassermanagement-System vor, das Regenwasser sammelt und den angrenzenden Landschaften zur Verfügung stellt (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022). Hier könnte ein System, wie in Abbildung 13 zu sehen, genutzt werden. Auch Expert:in 4 ist der Meinung, dass FF-PVA neben Schnellstraßen Populationssenken darstellen können (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Gerade für Vögel sind Schnellstraßen sehr gefährlich. Er/sie schlägt vor, dass man Amphibien dort fördern könne, jedoch darauf achten müsse, dass diese nicht auf die Schnellstraßen gelangen können (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Hier können ein Amphibienfangzaun und ein Kleintiertunnel sinnvoll sein (Albrecht et al., 2013; Oerter, kein Datum). Der Zaun muss während der gesamten Wanderphase aufgestellt sein (Albrecht et al., 2013). Die Tiere werden in Eimern gesammelt und an einem geeigneten und geschützten Bereich in Wanderrichtung ausgesetzt (Albrecht et al., 2013). Es dürfen sich dabei nicht mehr als 10 Tiere in einem Eimer befinden (Albrecht et al., 2013). Schwarz- und Froschlurche dürfen nie in demselben Eimer sein (Albrecht et al., 2013). Während der gesamten Dauer sollten das Datum, die Art, das Geschlecht, der Eimerstandort sowie die Individuenzahl notiert werden (Albrecht et al., 2013). Um Kleinsäugetern und Laufvögeln den Zugang zu FF-PVA zu gewähren, ist ein Abstand des Zauns zum Boden von mindestens 15 bis 20 cm wichtig (Hietel et al., 2021; BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Bei Planung einer Schafbeweidung ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass die Schafe den Spalt nutzen könnten, um zu entkommen oder der Wolf, um in die Anlage zu gelangen (Enerparc AG). Somit wäre ein zweiter Weidezaun, eine 20 cm über dem Boden und unter Strom stehende Litze, ein Untergrabenschutz und im Einzelfall der

Einsatz eines Herdenschutzhundes zu empfehlen (Hietel et al., 2021; Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Innerhalb der Umzäunung sollte neben dieser ein etwa drei bis fünf Meter breiter Streifen ohne Überdeckung freigelassen werden (Hietel et al., 2021; KNE, 2021).

In PV-Anlagen sollten bestehende Strukturen, wie Gewässer, Wegböschungen, Steinschüttungen, Totholzhaufen und Höhlen möglichst erhalten werden, da diese als Rückzugsort, Nahrungsquelle und Lebensraum für seltene und bedrohte Tierarten dienen (Hietel et al., 2021). Zudem können Strukturen, wie Gehölze, Sitzwarten für (Greif-)Vögel, Nisthilfen für Insekten, Fledermäuse und Vögel sowie Blühstreifen, die Biodiversität steigern und als Ausgleichsfläche anerkannt werden (Hietel et al., 2021). Gehölze sollten aus nachhaltigen Quellen stammen, in dem jeweiligen Gebiet vorkommen und auf einer sonnigen Fläche platziert werden (Hietel et al., 2021). Sie dienen als Schlaf- und Nistplätze für kleine Wirbeltiere, als Nistplatz holzbewohnender Insekten, als Versteck für Igel, Amphibien oder Reptilien und als Lebensraum für Pilze, Flechten und Moose (Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., kein Datum). Etwa 22% aller in Deutschland lebenden Käferarten nutzen Holz als Lebensraum (Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., kein Datum). Auch Steinschüttungen sind Lebensraum für viele Insekten, Vögel und Reptilien und sollten aus ortstypischen Materialien, wie Kalkstein, Sandstein oder Schiefer, bestehen (Demuth et al., 2019; Hietel et al., 2021; Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., kein Datum). Da Zauneidechsen Wärme und Sonne vorziehen, ist ein sonnenbeschienener Platz für Steinschüttungen von Vorteil (Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., kein Datum). Steinschüttungen sind zudem Eiablagestellen und Winterquartiere (Meyer et al., 2011). Die Steine sollten verschiedene Größen haben, wobei 80% eine Korngröße von 20 cm bis 40 cm aufweisen sollten (Meyer et al., 2011). Steinhaufen können entweder in eine 80 cm bis 100 cm tiefe und mit etwa 10 cm Sand und Kies gepolsterte Mulde geschüttet sein oder direkt auf dem Boden liegen (Meyer et al., 2011). Um den Steinhaufen sollte sich Vegetation bilden, die mindestens 50 cm um diesen stehen gelassen werden sollte (Meyer et al., 2011). Die Steinschüttungen sollten fünf Quadratmeter oder größer und 80 cm bis 120 cm hoch sein (Meyer et al., 2011). Efeu darf den Steinhaufen überziehen und auf der sonnenabgewandten Seite ein üppiger Pflanzenbewuchs entstehen (Meyer et al., 2011). Sobald Pflanzen den Steinhaufen überschatten, müssen diese zurückgeschnitten werden (Meyer et al., 2011). Neben Steinschüttungen und Totholzhaufen können zudem Sandlinsen angelegt werden, welche mindestens eine Fläche von zwei Quadratmetern und eine Tiefe von 60 cm haben sollten (Schönbrodt et al., 2022). Diese Sandlinsen bilden gute Eiablage- und Überwinterungsplätze für Zauneidechsen (Schönbrodt et al., 2022). Zudem können sie den Pflanzenwuchs, um die Steinschüttungen und Totholzhaufen herum, dämmen, da Pflanzenwurzeln erst unterhalb des Sandes pflanzenverfügbares Wasser erhalten (Schönbrodt et al., 2022). Generell sind für Zauneidechsen etwa 20 künstlich hergestellte Verstecke, mit einer Fläche von 50 cm mal 100 cm, pro Hektar von Vorteil (Albrecht et al., 2013). Vogelsitzwarten sollten aus Holz bestehen und in mindestens zwei Metern Höhe angebracht werden (Schmid, 2013; Hietel et al., 2021). Greifvögel können von diesen aus den Park überblicken, um nach Nahrung, wie Mäusen, Ausschau zu halten (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Nisthilfen können für verschiedene Vogelarten, wie

Schleiereulen und Turmfalken, sowie für Fledermäuse oder Insekten erstellt werden. Gerade Vögel und Fledermäuse können Schädlinge auf umgrenzten landwirtschaftlichen Flächen reduzieren und somit auch die Akzeptanz der PV-Anlagen fördern (Hietel et al., 2021). Die Nisthilfen sollten an lokale Gegebenheiten und Zielart angepasst sein (Hietel et al., 2021). Als Nisthilfen für Vögel können Nistkästen unter den Modulreihen dienen, welche in einem Abstand von 10 Metern und spätestens im März oder zum Herbstanfang angebracht werden sollten (Enerparc AG; Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., 2021). Die somit entstehende Beschattung der Nistkästen verhindert eine Überhitzung der Vögel (Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., 2021). Die Höhe der Anbringung stellt sicher, dass die Vögel vor Fressfeinden, wie Mardern, geschützt werden (Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., 2021). Das Flugloch sollte nach Osten zeigen und regengeschützt sein (Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., 2021). Eine regelmäßige Kontrolle und Pflege ist notwendig (Hietel et al., 2021). Für Insekten können Insektenhotels genutzt werden, welche jedoch eher selten angenommen werden, da viele Wildbienenarten im Boden nisten (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Auch Wildbienenhotels sollten in sonnigen, trockenen und windgeschützten Bereichen und in südöstlicher Ausrichtung angebracht werden (Deutsche Wildtier Stiftung, kein Datum). Für die Ausschlupflöcher sollte am besten hartes und trockenes oder totes Holz gewählt werden und die Löcher unterschiedliche Durchmesser haben, damit verschiedene Wildbienenarten dort nisten können (Deutsche Wildtier Stiftung, kein Datum). Wildbienenhotels sollten in der Regel nach drei bis vier Jahren ausgetauscht und in regelmäßigen Abständen auf Schäden untersucht werden (Deutsche Wildtier Stiftung, kein Datum). Beim Einsatz von Stängeln sollte auch hier auf Durchmesser zwischen zwei und 9 Millimeter geachtet und diese am Ende verschlossen werden (Deutsche Wildtier Stiftung, kein Datum). Vor allem Schilfhalme und Bambusrohre sind dafür geeignet (Deutsche Wildtier Stiftung, kein Datum). Um für Bodennister Platz zu schaffen, sind vegetationsfreie Bodenstellen oder Erdhaufen aus lehmiger Erde in besonnten Bereichen in Südrichtung von hoher Bedeutung (Deutsche Wildtier Stiftung, kein Datum). Ein aufgeschütteter Sandhaufen mit Sand aus der Region, der eine Höhe von 30 bis 40 cm hat, kann auch als Nistplatz für Wildbienen dienen (Deutsche Wildtier Stiftung, kein Datum). Um Lebensraum für Offenlandarten zu gewährleisten, sollten Bereiche von etwa 100 Quadratmeter pro Hektar von Anlagenbestandteilen freigehalten werden (BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Mittels dieser Flächen können Erosionen vorgebeugt und überschüssiges Regenwasser aufgenommen werden (Hietel et al., 2021). Auch können Fahrwege innerhalb der Anlage, welche als Schotterstraßen angelegt sind, wandernden Insekten, wie Heuschrecken und Laufkäfern, bei der Orientierung behilflich sein (Demuth et al., 2019). Schotterstraßen stellen für Pflanzen und Tiere keine Barriere dar, sind kostengünstiger in der Anlegung als versiegelte Straßen und heizen sich im Sommer weniger auf, im Vergleich zu versiegelten Flächen (Hietel et al., 2021). Offene Stellen der Schotterstraße können von konkurrenzschwachen Arten genutzt werden und Regenwasser hat die Möglichkeit zu versickern, was Erosionen vorbeugt (Hietel et al., 2021). Rastergittersteine können ebenfalls genutzt werden, da auch diese den Pflanzen die Chance zum Wachstum geben und Regenwasser versickern lassen (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, kein Datum).

Diese Wege müssen eventuell gepflegt werden, sind jedoch besser als eine Versiegelung oder Verdichtung des Bodens, die durch das Befahren mit Fahrzeugen in ungünstigen Situationen entstehen kann (Hietel et al., 2021). Tümpel, Teiche und Weiher sind Lebensräume für Insekten und Amphibien und sollten bei einer geplanten Förderung von Amphibien angelegt werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Diese sollten im Randbereich der PV-Anlagen liegen und auf eine Zielart ausgerichtet sein (Hietel et al., 2021). In solchen Gewässern, welche gepflegt werden müssen, wachsen seltene Pflanzenarten, was zu einer Neuan siedlung von gefährdeten und geschützten Arten von der Roten Liste führen kann (Hietel et al., 2021). Für Amphibien bieten sie Fortpflanzungsmöglichkeiten und werden als Nahrungshabitat genutzt (Hietel et al., 2021). Für die Anlegung kann der Abfluss der PV-Module (Abbildung 13) gesammelt und dorthin geleitet werden (Hietel et al., 2021). Auch etwa 10 m breite, besonnte Blühstreifen sollten auf Randflächen der PV-Anlagen oder zwischen den Modulreihen vorkommen (Hietel et al., 2021). Bei angrenzenden intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen sollten die Blühstreifen breiter sein, als sie es in der Nähe von extensivem Grünland sein müssen (Godt et al., 2017). Blühstreifen dienen als Rückzugsort und Nisthabitat für viele Tiere und sind Nahrungsquelle für verschiedene Bestäuber-Insekten (Godt et al., 2017). Gleichzeitig werten sie das Landschaftsbild auf und können somit einen Erholungswert bieten (Godt et al., 2017). Sie werden langfristig als Lebensraum von Zauneidechsen und als Nahrungshabitat des Neuntöters und des Braunkehlchens genutzt (Godt et al., 2017). Die Blühstreifen sollten mehrjährig sein und aus standortangepassten Pflanzen bestehen, welche in dem Gebiet typischerweise zu finden sind (BMEL, 2022; Hietel et al., 2021). Dazu sind zertifizierte Regiosaatmischungen geeignet. Offene Bodenstellen in diesen Blühstreifen sind wichtig für bodennistende Wildbienen. Durch dichte und krautige Vegetationen können Blühstreifen im Bodenbereich feuchter und kühler als die Umgebung sein (Godt et al., 2017). Viele Gliedertiere und Reptilien finden dort einen Rückzugsort, um ihre Körpertemperatur zu regulieren (Godt et al., 2017). Frühestens ab Mitte Juni sollte der Blühstreifen mit einem Balkenmäher gemäht werden und das Mahdgut entfernt werden, da die meisten Blütenkräuter nährstoffarmen Boden benötigen (BMEL, 2022). Während des Winters können Insekten dort leben, Kleintiere finden Schutz und Vögel Nahrung (Godt et al., 2017; BMEL, 2022). Neben Gewässern, wie Tümpeln, können Blühstreifen Amphibien als Landlebensraum dienen (Godt et al., 2017). Zudem finden Laufkäfer, Wasserspitzmäuse, Schmetterlinge, Fliegen, Bienen, Hummeln, Wanzen, Blattwespen und adulte Eintags- und Köcherfliegen einen Lebensraum in Blühstreifen neben Gewässern (Godt et al., 2017).

Auch standortangepasste und von Natur aus in dem Gebiet vorkommende Nutzpflanzen, wie Obstbäume oder Wildkräuter, können in den Randbereichen mit ausreichendem Abstand zu den Modulen angelegt werden (Hietel et al., 2021). Nutzpflanzen können zu einer Erhöhung der Akzeptanz führen und die Erträge verkauft werden (Hietel et al., 2021). Auf Dünge- und Pflanzenschutzmittel muss verzichtet werden.

3.2.3 Errichtung

Bei der Errichtung der PV-Anlagen sollte immer Rücksicht auf die Brutzeiten der dort vorkommenden Vogelarten genommen werden. In der Veröffentlichung von Albrecht et al. auf Seite 214 ist eine Excel-Liste hinterlegt, bei welcher die Brutzeiten von verschiedenen Vogelarten angegeben sind. Im Rahmen der ökologischen Baubegleitung sind auf der Fläche Nester zu kartiert (Demuth et al., 2019). Sobald dort Vögel brüten, sollten die Bauarbeiten außerhalb der Brutzeiten stattfinden (BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Genauso sind die Wanderzeiten von vorkommenden Amphibien, im Frühling und (Spät)-Sommer, zu beachten (Brunken, 2004). Die Dauer der Bauarbeiten sollte kurz sein, um die Störung der Flora und Fauna so gering wie möglich zu halten. Ebenso ist die schnellstmögliche Herstellung bzw. Ausbringung geeigneter Strukturen, wie Totholzhaufen, wichtig (Reinke et al., 2021). Es kann trotz Beachtung der Zeiträume dazu kommen, dass es, bedingt durch den Klimawandel und die damit verschobenen Jahreszeiten, zu einer Vergrämung, also einer temporären Vertreibung, kommen muss (UBA, 2022; Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Eine Vergrämung muss artspezifisch durchgeführt werden (Runge et al., 2012). Brutvögel können durch das Aufstellen von vertikalen Strukturen vertrieben werden (Runge et al., 2012). Runge et al. schlagen einen zwei Meter hohen Pfosten oder eine Stange mit 1,5 Meter langen Flatterbändern vor, die im Abstand von 10 bis 15 Metern zueinander stehen (Runge et al., 2012). Die Flatterbänder sollten nicht auf den Boden oder die Vegetation treffen und schon bei leichtem Wind wehen (Runge et al., 2012). Die Enerparc AG hat damit jedoch keine guten Erfahrungen gemacht, da sich die Vögel an das Flatterband schnell gewöhnen und dann wieder auf die Fläche kommen (Enerparc AG). Besser ist eine Schwarzbrauche und eine regelmäßige Begehung der Fläche mit einem Hund, der die Fläche abläuft (Enerparc AG). Eine weitere Möglichkeit wäre der gezielte Einsatz von Fressfeinden, wie Greifvögeln, durch eine Falknerei (Krüger & Nipkow, 2015). Eine Störung muss alle zwei bis drei Tage bis zum Baubeginn stattfinden, da die Brutvögel sonst wieder auf die Fläche zurückkehren (Enerparc AG). Bei einer Gehölzentfernung müssen zuvor Nistkästen bis spätestens März auf der Fläche montiert werden (Enerparc AG). Bei Reptilien müssen dem Habitat Strukturen entzogen werden (Runge et al., 2012). Diese Strukturen müssen von Hand entfernt werden, um den Tieren die Flucht zu ermöglichen (Runge et al., 2012). Die Versetzung sollte im April und Mai durchgeführt werden (Enerparc AG). Eine generelle Vergrämung von Eidechsen sollte zwischen März/April und Juni/Juli stattfinden (Enerparc AG). Dabei sollte ein Reptilienzaun genutzt werden (Enerparc AG). Dieser stellt für Amphibien und Reptilien in gleichem Maße eine Barriere dar (Enerparc AG). Bei dieser Art der Vergrämung wird ein Teilbereich der Anlage mit dem Zaun abgesteckt und vergrämt (Enerparc AG). Nach drei Tagen wird die Fläche abgesucht und anschließend das nächste Segment abgesteckt und vergrämt, bis die gesamte Fläche frei von Reptilien und Amphibien ist (Enerparc AG). Eine ökologische und bodenkundliche Baubegleitung sollte während des Baus miteinbezogen werden (KNE, 2021). Naturschutzfachlich wertvolle Biotop müssen vom Baufeld abgegrenzt und geschützt werden (Hietel et al., 2021). Bodeneingriffe und -bearbeitungen sollten so gering wie möglich gehalten und störungsarme Fahrzeuge eingesetzt werden (KNE, 2021).

3.2.3.1 Bodenschutz

Die Auswirkungen auf den Boden sind verschieden und können unterschiedlich stark auftreten. Da die Entstehung von Böden viel Zeit in Anspruch nimmt und eine Wiederherstellung sehr aufwendig und teuer ist, ist es wichtig bodenschonende Maßnahmen während des Baus zu beachten. Durch den Bau von FF-PVA kann es unter anderem zu Schadstoffeinträgen oder -freisetzungen kommen. Diese können durch Abtrag, eine unsachgemäße Zwischenlagerung und Wiedereinbau sowie Verdichtungen erfolgen, welche die Bodenfunktionen negativ beeinflussen können (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Der Bodenschutz ist im Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) verankert und somit verpflichtend (BMJ; BfJ, 2021). Gemäß diesem dürfen, laut § 1 und § 4 BBodSchG, die natürlichen Bodenfunktionen nicht gestört und schädliche Veränderungen sollen vermieden werden (BMJ; BfJ, 2021). Die Vorsorgepflicht trägt dabei, laut § 7 BBodSchG, derjenige, der Arbeiten auf einem Grundstück durchführt oder durchführen lässt (BMJ; BfJ, 2021). Auch sollen, laut § 1 Absatz 5 Baugesetzbuch, die natürlichen Lebensgrundlagen geschützt werden, was den Boden beinhaltet (BMJ; BfJ, 2022). § 202 BauGB besagt, dass der Mutterboden, also die oberste Bodenschicht, zu schützen ist (BMJ; BfJ, 2022). Die DIN-Vorschriften DIN 19639, DIN 18915 und DIN 19731 können bei der Planung und fachlichen Umsetzung helfen. In Folge einer richtigen Planung und Anwendung können Bodenbelastungen während und nach der Bauphase vermieden und die Bodenfunktionen bewahrt werden. Die Bodeninanspruchnahme kann mithilfe von Baustelleneinrichtungsplänen, Bauzeitplänen und Bodenschutzplänen gelenkt werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Unter anderem müssen diese die geplanten Arbeitsbereiche, Verkehrs- und Transportwege, Zonen mit möglicherweise giftigen Pflanzen, Tabuflächen, eingesetzten Fahrzeuge und die Dauer der Baumaßnahmen enthalten (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Dies soll sicherstellen, dass die Bodeninanspruchnahme während der Errichtung auf ein Mindestmaß reduziert wird (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Es sollte genug Zeit für eventuelle schlechte Wetterlagen einkalkuliert werden, bei denen die Errichtung unterbrochen werden muss (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Nach Beendigung der Bauphase sollte eine Qualitätskontrolle durchgeführt und ein Abschlussbericht erstellt werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Ziel ist die Prüfung der Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen und Feststellung von ggf. noch zu verbessernden Prozessen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021).

Vermeidung von Verdichtungen

Während der Errichtung bedarf es einer bodenkundlichen Baubegleitung (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Es sollte generell nicht an Tagen gebaut werden, an denen es regnet, um Bodenverdichtungen zu vermeiden. Abhängig von Bodenart und Bodenfeuchtezustand, sind Böden empfindlich gegenüber mechanischen Belastungen und Verdichtungen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). In Abbildung 14 ist die potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit entsprechend der Bodenart des Feinbodens nach Murer aufgezeigt. Die

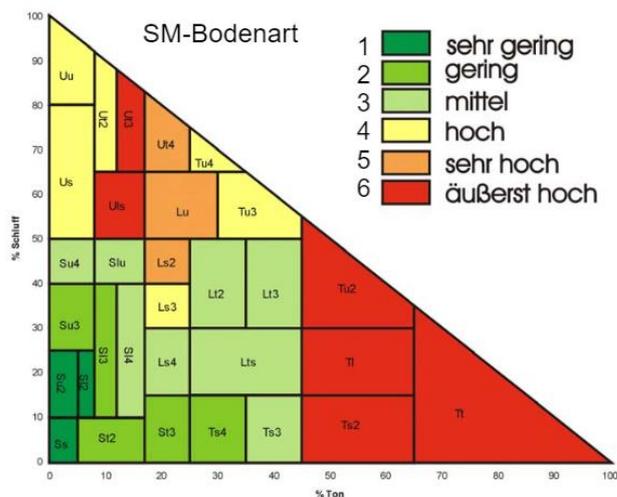


Abbildung 14: Potenzielle Bodenempfindlichkeit in Abhängigkeit der Bodenart (Reinke et al., 2021; Murer, 2009)

einzelnen Abkürzungen sind in Anhang 3 auf Seite XXIX tabellarisch in Abhängigkeit zur potenziellen Bodenverdichtung aufgelistet. Wie in Abbildung 14 zu sehen, sind tonige und schluffige Böden sehr empfindlich für potenzielle Bodenverdichtungen. Sandige Böden sind dagegen kaum empfindlich. Lehmige Böden sind empfindlicher als sandige, haben jedoch auch ein geringes Risiko, hinsichtlich einer Verdichtung. Die Verdichtung des Unterbodens ist am schädlichsten und eine Auflockerung dieser nur schwer und kostspielig durchführbar (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). In Abbildung 15

sind verschiedene Gerätearten und das Gefährdungspotenzial dieser, auf unterschiedlichen Böden, dargestellt. Der Kontaktflächendruck ist der Druck, der auf den Oberboden ausgeübt wird (Krebs et al., 2017). Die Radlast der eingesetzten Maschinen hat Einfluss auf den ausgeübten Druck des Unterbodens (Krebs et al., 2017). Der Grenzwert des Kontaktflächendrucks ist regionalspezifisch und liegt z.B. in Schleswig-Holstein für sandige Böden bei etwa 1,6 kg/cm², bei sandigen und lehmigen Böden bei etwa 1,2 kg/cm² und bei schluffigen und tonigen Böden bei etwa 0,8 kg/cm² (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die eingesetzte Maschine sollte immer abhängig von den Witterungsverhältnissen und der Bodenart gewählt werden. Sie sollte nur geringen Bodendruck ausüben (Engl et al., 2020). Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen müssen kettenbetriebene Fahrzeuge eingesetzt werden, da diese eine große Aufständerrungsfläche haben und somit der Kontaktflächendruck vermindert ist (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Beim Einsatz von Reifenfahrzeugen sollte der Reifendruck vermindert werden, um die Auflagefläche der Reifen zu erhöhen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Zusätzlich eignet sich der Einsatz von Doppelreifen, Breitreifen, Tandem- und Kurmannachsen, um Bodenverdichtungen zu vermeiden (Krebs et al., 2017). Die eingesetzten Maschinen sollten darüber hinaus nicht zu schwer sein (Krebs et al., 2017). Zur schnellen Einschätzung ist Terranimo hilfreich (Krebs et al., 2017; Berner Fachhochschule BFH, 2023). Somit können bei den eigenen, auf Baustellen eingesetzten, Maschinen unternehmenseigene Maschinenkataster, mit der zugehörigen Bodenart und den Bodeneigenschaften, erstellt werden. Die Bodenfeuchte ist mittels Ausrollverfahren vor Befahrung der Fläche festzustellen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Dazu wird ein walnussgroßes Bodenstück genommen und mit den Händen zu einer Walze gerollt (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Wenn sich die Walze bis auf drei Millimeter ausrollen lässt, darf der Boden nicht befahren werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Zerbröckelt der Boden bei etwa 8 mm, kann der Boden befahren werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Bei einer Befahrung sollten Lastverteilungsmatten aus Stahl oder Baggermatratzen aus Holz

genutzt werden, da sie die Last der Maschine auf eine breite Fläche verteilen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die Befahrung sollte zuvor logisch geplant sein, um zu häufiges Befahren zu vermeiden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Sollte es trotz aller

Geräteart (Beispiele)	(zulässiges) Gesamtgewicht [kg]	Kontaktflächen- druck [kg cm ⁻²]	Gefährdungspotential bei Feldkapazität			
			Schluffige und tonige Böden der Marsch (z. B. Kleimarsch, Kalkmarsch)	Sandige Böden der Geest (z. B. Podsol, Gley)	Sandige und lehmige Böden des östlichen Hügellandes (z. B. (Para-) Braunerde, Pseudogley)	Moore (Hochmoor, Niedermoor)
Kettenbagger	27.230	0,40	●	●	●	●
	25.600	0,35	●	●	●	●
	25.500	0,37	●	●	●	●
	22.130	0,28	●	●	●	●
	25.300	0,30	●	●	●	●
	20.000	0,29	●	●	●	●
Minibagger	12.450	0,36	●	●	●	●
	4.000	0,20	●	●	●	●
Raupen	1.720	0,30	●	●	●	●
	18.200	0,26	●	●	●	●
Kettendumper	18.200	0,26	●	●	●	●
	16.000	0,23	●	●	●	●
	22.700	0,29	●	●	●	●
Kettendumper	17.900	0,28	●	●	●	●
	15.500	0,29	●	●	●	●
	95.000	1,01	●	●	●	●
Rohrleger	90.000	0,90	●	●	●	●
	85.000	0,79	●	●	●	●
	60.000	0,87	●	●	●	●
Bohranlagen	19.000	0,54	●	●	●	●
	14.200	0,77	●	●	●	●
	7.000	0,47	●	●	●	●
Mobilbagger	15.100	2,92	●	●	●	●
	14.400	2,78	●	●	●	●
Kabeltransportanhänger	29.250	6,57	●	●	●	●
	22.000	2,29	●	●	●	●
	18.000	4,98	●	●	●	●
Rohrtransporter	22.000	2,60	●	●	●	●
Schlepper	14.000	1,06	●	●	●	●
	11.000	1,00	●	●	●	●
	8.000	0,88	●	●	●	●
Radlader	8.330	1,27	●	●	●	●
	6.400	1,14	●	●	●	●
	6.000	1,52	●	●	●	●
	5.170	1,10	●	●	●	●
Muldenkipper	21.000	2,43	●	●	●	●
	12.000	1,18	●	●	●	●
	22.000	2,55	●	●	●	●

● Spannungseintrag ist höher als die Eigenstabilität des Bodens in 40 cm Bodentiefe (Unterbodenverdichtung)
● Spannungseintrag ist geringer als die Eigenstabilität des Bodens in 40 cm Bodentiefe (keine Unterbodenverdichtung)

Abbildung 15: Gefährdungspotential verschiedener Gerätearten (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021)

Vorsichtsmaßnahmen zu einer Verdichtung des Oberbodens gekommen sein, so lässt sich diese mit Grubbern rückgängig machen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Eine Verdichtung des Unterbodens kann nur mit Tiefenlockerungsmaßnahmen bei trockener Witterung erreicht werden und ist nach mehreren Jahren noch in kleinen Teilen vorhanden, da der Unterboden sehr langsam regeneriert (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Dafür bieten sich Abbruchlockerer, Stechhublockerer und Tiefengrubber an (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Tritt trotz Lockerung noch Staunässe auf, müssen Entwässerungsmaßnahmen durch Drainierung durchgeführt werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Sollte dies auch nicht helfen, so muss ein Bodenaustausch mit standorttypischen

Bodenmaterial erfolgen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Nach einer Lockerung oder einem Austausch des Bodens muss eine Begrünung stattfinden (Hietel et al., 2021).

Bodenabtrag und -auftrag

Da unter anderem für die Kabellegung und zum Ausgleich von Reliefunterschieden Boden ausgehoben und zwischengelagert werden muss, sollte dies ohne negative Auswirkungen erfolgen. Bevor die Arbeiten beginnen, müssen die vorhandenen Ergebnisse und Daten, hinsichtlich des dort vorhandenen Bodens und seines Zustands, ausgewertet werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Des Weiteren muss die abzutragende Masse der einzelnen Bodenschichten und die dafür benötigte Lagerfläche zuvor berechnet werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Der ausgehobene Boden nimmt etwa 30% mehr Volumen ein, da er aufgelockert ist (LANUV, 2019). Der Abtrag muss unter trockenen Witterungsbedingungen, bei trockenem Oberboden und mit geeigneten Maschinen erfolgen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Leichte Raupenbagger sind für die Aushebung der einzelnen Bodenschichten geeignet, wohingegen Planiertraupen und Radfahrzeuge ungeeignet sind (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Da die Bodenhorizonte in ihren Eigenschaften sehr verschieden sind, müssen diese getrennt gelagert werden, um die Bodenfunktionen nicht zu beeinträchtigen oder zu zerstören (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Eine geringfügige Vermischung, bei Ab- und Auftrag der verschiedenen Bodenschichten, kann nicht vermieden werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Sollte der Boden kontaminiert sein, ist dieser zu entsorgen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die einzeln gelagerten Bodenmieten dürfen nicht länger als zwei Monate gelagert werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die durch den Bodenabtrag freigelegte Fläche sollte nicht zu lange den Witterungen ausgesetzt sein (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die Schüttung der Bodenmiete sollte locker und trocken sein und darf nicht in einer Senke angelegt sein (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die Bodenmieten dürfen oberflächlich leicht angedrückt, aber nicht befahren werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Kommt es zu einer Verdichtung oder Vernässung des Oberbodens, besteht die Gefahr, dass Bodenlebewesen durch die anaeroben Bedingungen sterben (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die Bodenmiete verfärbt sich dann grau und riecht faulig (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Um eine Verdichtung zu vermeiden, sollte die maximale Schütthöhe des Oberbodens zwei Meter und die des Unterbodens drei Meter betragen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Um eine Vernässung zu vermeiden, kann am Mietenfuß eine Ableitung des Regenwassers eingerichtet oder die Bodenmiete begrünt werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Das Einbringen von Fremdmaterialien, wie Bauabfälle, in Bodenmieten darf nicht erfolgen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die Lagerung von Torfen und sulfatsauren Böden sollte vermieden werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Durch den Sauerstoffeintrag werden Mineralisierungsprozesse in Torfböden aktiviert, die zu Sackungen und Schrumpfungen sowie zum Ausstoß klimaschädlicher Gase führen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Marschböden (sulfatsaure Böden) versauern bei Luftzufuhr und haben damit eine erhöhte Schwermetalllöslichkeit (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Sollte eine Lagerung notwendig sein, so ist diese so kurz wie möglich zu halten

und die Bodenmiete mit einer Folie abzudecken und feucht zu halten (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Sofern ein Teil des Bodenaushubs überschüssig sein sollte, ist dieser nicht als Abfall zu behandeln, sondern lieber, für zum Beispiel technische Bauwerke, weiter zu verwenden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Beim Einbau der Bodenhorizonte sollte erst der Untergrund, dann der Unterboden und daraufhin der Oberboden aufgetragen werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Zur Verminderung der Absetzung können die Schichten leicht angedrückt werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Während des Bodenauftrags sind § 6 BBodSchG und § 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) zu berücksichtigen (BMJ; BfJ, 2021; BMJ; BfJ, 2020). Der eingesetzte Boden darf kurz danach weder befahren noch verdichtet werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Sollte externes Bodenmaterial für den Auftrag benötigt werden, darf dies keine Schadstoffe enthalten, muss für die Bodenart geeignet sein und bedarf eines Herkunftsnachweises (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Bei einer Anlieferung von Bodenmaterial aus Gewerbe- oder Industriegebieten, aus Städten, aus der Nähe des Straßenbereichs und aus Überschwemmungsgebieten, muss dies vorher untersucht werden, um mögliche Belastungen vorzubeugen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Nach dem Auftrag des Bodens ist die Ausbringung eines Saatguts mit tiefwurzelnden Pflanzen empfehlenswert, um den Boden zu lockern (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Bei Torfen sollte für den Aufbau eines durchwurzelbaren Oberbodens dieser mit organischem und nährstoffreichem Material angereichert werden (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Sulfatsaure Böden haben einen niedrigen pH-Wert, weswegen es dort zu einem verminderten Pflanzenwuchs kommt und diese keine gute durchwurzelbare Bodenschicht aufbauen können (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021).

Umgang mit Fremdmaterialien

Das PV-Unternehmen, also die Planer:innen, sind verantwortlich für eine fachgerechte Entsorgung der Bauabfälle (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die Bauunternehmer müssen alle recyclingfähigen Abfälle getrennt sammeln und verwerten (BMJ; BfJ, 2022). Außerdem müssen diese die Baumischabfälle zurücknehmen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Bei der Einbringung von Baustellen-Recyclingmaterial, für beispielsweise den Bau von Straßen, sollte dies zertifiziert und schadstofffrei sein (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Die Einbringung dieses Materials darf grundsätzlich nicht in Wasserschutzgebieten erfolgen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021).

3.2.3.2 Blühstreifenanlegung

Um Tieren die Möglichkeit eines Nahrungs-, Brut- und Rückzugsortes geben zu können, sind Blühstreifen wertvoll. Die Anlegung eines Blühstreifens und die Pflege im ersten Jahr sind dabei besonders wichtig (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Es gibt verschiedene Regiosaatgutmischungen, wobei diese zertifiziert und an das Gebiet angepasst sein müssen. Im Rahmen der Deutschen Bundesstiftung Umwelt wurde eine Regionenkarte mit 22 Ursprungsgebieten

erstellt, welche zu jedem eine Saatgutmischung enthält (Rieger-Hofmann GmbH, kein Datum). Die Mischungen können nach Aussaat und vollständiger Entwicklung regionale Arten fördern. Vor Neuanlage eines Blühstreifens muss der Boden im Winter mittels einer (Kreisel-)Egge gepflügt oder gefräst werden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Die entstandene feinkrümelige Struktur muss sich daraufhin zwei bis drei Wochen absetzen (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Sofern die Fläche mit Samenunkräutern, wie Hirtentäschel, Vogelmiere, Melde, Acker-Hellerkraut, Ampfer oder Hirse, vorbelastet ist, muss eine Schwarzbrache hergestellt werden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Auch dies kann mit einer (Kreisel-)Egge oder Fräse in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Wurzelunkräuter (Quecke, Distel, Weißklee, Winde) bedürfen einer Entfernung mit der Egge oder durch Abbrechen oder Ablesen (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Werden diese nicht entfernt, können sie wieder wachsen und das Regiosaatgut zurückdrängen (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Die Aussaat sollte auf trockenem Boden entweder zwischen Februar und Mai oder zwischen August und Oktober stattfinden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Bei dreiwöchiger anhaltender Feuchtigkeit quellen und keimen die Samen (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Um dies zu gewährleisten, ist der Witterung entsprechend eine Bewässerung des Bodens alle zwei bis drei Tage notwendig (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Das auszubringende Regiosaatgut kann mit trockenem Sand auf 100 kg pro ha gestreckt werden, um eine gleichmäßige Aussaat zu gewährleisten (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Die Aussaat kann von Hand einmal längs und einmal quer über die Fläche oder mit einer Rasenbaum- oder Drillmaschine großflächig gesät werden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Das Saatgut darf dabei jedoch nicht mit Erde überdeckt werden und muss anschließend angewalzt werden, um eine gleichmäßige Keimung sicherzustellen (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Für das Anwalzen können Güttler, Cambridge Walzen oder Rasenwalzen genutzt werden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Bei hoher Sonneneinstrahlung, Erosionsgefahr und Vogelfraß kann eine zusätzliche Schnellbegrünung von 2 kg/m² zusammen mit dem Saatgut hilfreich sein (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Die Entwicklung der Pflanzen ist unterschiedlich und kann sich über die ganze Vegetationsperiode ziehen oder erst im Folgejahr stattfinden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021).

Problempflanzen

Werden Problempflanzen während des Baus entdeckt, sind diese durch eine Mahd zu entfernen. Beim Bärenklau muss dabei Schutzkleidung getragen werden (Starfinger & Kowarik, 2003). Die Mahd sollte zum Frühlingsbeginn erfolgen, bevor sich Blüten bilden können. Die Orientalische Zackenschote sollte jedoch erst gegen Ende der Blütezeit gemäht werden.

3.2.4 Betrieb

Während des Betriebs sollten die örtlichen Naturschutzverbände in die Maßnahmenplanung mit einbezogen werden, um die Akzeptanz zu steigern und Zielarten für eine Förderung der Biodiversität zu bestimmen (KNE, 2021). Nährstoffarme Flächen werden in Deutschlands Kulturlandschaft immer seltener und somit auch die Arten, die auf diese Gegebenheiten angepasst sind (Hietel et al., 2021). Die wichtigsten Faktoren stellen die Flächenpflege, wie

Schafbeweidung oder Mahd, das Entfernen von Problempflanzen und die Pflege von Strukturen dar. Abhängig von den ausgewählten Zielarten und den bereits vorkommenden Arten sollte die Flächenpflege durchgeführt werden. Starke oder häufige Lichtemissionen und Störungen der vorkommenden Arten durch Menschen sind auf der Anlage so gering wie möglich zu halten (Hietel et al., 2021).

3.2.4.1 Pflegemanagement

Da PV-Anlagen aus Brandschutz- und Verschattungsgründen regelmäßig eine Kürzung der Vegetation benötigen, bedarf es eines Pflegekonzeptes (Enerparc AG). In dem bereits in Kapitel 3.2.1 erwähnten Bebauungsplan sollte das ökologisches Pflegekonzept festgelegt sein (Hietel et al., 2021). Die Flächen zwischen den Modulreihen, unter den Modulen, um die Wechselrichter und Trafostationen herum müssen kurzgehalten werden (Enerparc AG). Die Mitarbeiter:innen benötigen Zugang zu den Wechselrichtern und Trafostationen, um zu jeder Zeit an diesen arbeiten zu können (Enerparc AG). Gerade aus Brandschutzgründen sind diese freizuhalten (Enerparc AG). Eine gut terminierte Mahd, Verzicht auf Pflanzenschutz- und Düngemittel sowie Rücksichtnahme auf Arten können zu einem extensiven Grünland führen und somit die Biodiversität auf FF-PVA steigern (Hietel et al., 2021). Jede PV-Anlage benötigt ein standortangepasstes Pflegekonzept, das unter anderem die Brutzeiten der vorhandenen Vogelarten berücksichtigt. Dies ist schon frühzeitig zu planen. Sollte die Vegetation schneller oder langsamer wachsen als ursprünglich eingeplant und sich neue Arten auf der Anlage ansiedeln, so kann die Pflege angepasst werden. Der Pflegeplan sollte allen beteiligten Personen zur Verfügung gestellt werden (Hietel et al., 2021). Der Pflegeplan sollte unter anderem Informationen zu dem Biotoptyp, den Ziel- oder Leitarten, dem Pflegezeitpunkt und -ort, der Frequenz und den benötigten Maschinen beinhalten (Hietel et al., 2021). Das Pflegepersonal sollte eingewiesen und Kontrollbegehungen durchgeführt werden (Hietel et al., 2021). Bei einer ehemals intensiv landwirtschaftlich bewirtschafteten Fläche muss, bei einer Umwandlung in extensives Grünland, anfangs häufig gemäht werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022; Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Das Pflanzenwachstum und die damit einhergehende häufige Mahd führt zu einem hohen Anfall an Mahdgut und somit einer hohen Masse (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022; Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Bei der Enerparc AG müssen solche Flächen meist 2,5-mal gemäht werden (Enerparc AG). Zweimal muss eine volle und einmal eine halbe Mahd stattfinden, um Bereiche aus Brandschutzgründen freizuhalten (Enerparc AG). Nach Beginn einer Extensivierung, wird von Jahr zu Jahr weniger Masse anfallen und die Mahd an Häufigkeit abnehmen (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022; Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Godt et al. berichten, dass sich die Masse des Mahdguts, bei einer Aushagerung von Ackerland und Umwandlung in extensives Grünland, von $9,7 \frac{t}{ha \cdot a}$ auf $3,7 \frac{t}{ha \cdot a}$ reduziert hat (Godt et al., 2017). Es dauert etwa 20 Jahre bis sich der Boden einer ehemaligen landwirtschaftlichen, gedüngten Fläche in extensives Grünland wandelt (Godt et al., 2017). Phosphor spielt dabei eine wichtige Rolle und sollte bei organischen und tonreichen Böden einen Wert

von unter $\frac{5 \text{ mg Phosphor}}{100 \text{ g Boden}}$ haben (Godt et al., 2017). Eine Aushagerung von tonigen und schluffigen Böden ist kaum möglich, da diese über eine natürliche und hohe Nährstoffversorgung verfügen (Godt et al., 2017). Die Beweidung und/oder Mahd und Abräumung des Mahdguts sollte durch Landwirte der Kommune oder aus der Region durchgeführt werden (BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Da durch die Extensivierung der Boden ausgehagert wird, wachsen viele Pflanzen nicht so schnell und hoch, wie die Pflanzen auf nährstoffreichen Böden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Somit könnte es vorkommen, dass nur zweimal, oder sogar seltener gemäht werden muss. Wie bereits in Kapitel 3.1 dargestellt, können viele verschiedene und gefährdete Arten von extensivem Grünland profitieren und einen geeigneten Lebensraum in PV-Anlagen finden. Das Kohlenstoffspeicherpotential des Bodens wird ebenfalls erhöht. Somit ist eine optimale Pflege des entsprechenden Lebensraums, beziehungsweise der Fläche, von hoher Bedeutung.

Blühstreifen und Strukturen

In Hinblick auf Blühstreifen ist die Pflege während des ersten Jahres von enormer Bedeutung (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Während der ersten Jahre können sich noch Samen von anderen unerwünschten Pflanzen im Boden befinden, die schneller auskeimen als das ausgesäte regionale Saatgut (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Um dies zu verhindern, kann Schnellbegrüner eingesetzt werden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Dieser muss nach 6 bis 8 Wochen auf 7 bis 8 cm kurzgeschnitten werden (LANUV, 2021; Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Wenn der unerwünschte Aufwuchs weiterhin vorkommt, sollte der Schröpschnitt noch ein- bis zweimal durchgeführt werden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Der Blühstreifen sollte nicht kürzer als auf eine Höhe von 10 cm gemäht werden, um die wachsenden Wildkräuter nicht zu schädigen (Hietel et al., 2021). Die Mahd des Blühstreifens sollte partiell stattfinden, um den verschiedenen Tierarten die Möglichkeit des Rückzugs zu ermöglichen (Hietel et al., 2021). Eine Düngung des Blühstreifens darf nicht vorkommen, da ein magerer Boden für die Wildblumenmischung gewünscht ist (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Je magerer der Boden ist, desto blütenreicher entwickelt sich der Blühstreifen (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Je nährstoffreicher der Boden ist, desto häufiger muss eine Mahd durchgeführt werden (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Nährstoffreiche Böden müssen ein- bis zweimal pro Jahr gemäht werden, wobei der erste Schnitt zwischen Mitte Mai und Anfang Juni stattfinden sollte (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Bei nährstoffarmen Böden reicht eine Mahd des Blühstreifens einmal im Jahr, welche zum Ende des Sommers durchgeführt werden sollte, um den Tieren und Insekten nicht das Habitat und Nahrungsangebot zu entziehen (Rieger-Hofmann GmbH, 2021). Das Mahdgut ist immer zu räumen und sollte nicht auf der Fläche belassen werden, um eine Nährstoffanreicherung zu verhindern (Rieger-Hofmann GmbH, 2021).

Jegliche auf der FF-PVA befindlichen Nisthilfen müssen regelmäßig kontrolliert und gepflegt werden (Hietel et al., 2021). Auf Totholzhaufen und Steinschüttungen trifft das gleiche zu (Hietel et al., 2021). Überschattender Pflanzenaufwuchs muss entfernt werden. Die bestehenden Strukturen dürfen während des Betriebs nicht stören und eine Begehung des Personals nicht verhindert werden. Hecken müssen immer wieder kurzgeschnitten werden, um einen

Gehölzaufwuchs zu verhindern (Hietel et al., 2021). Bei einer Anpflanzung von Nutzpflanzen können die Erträge selbst genutzt oder lokal verkauft werden (Hietel et al., 2021).

Problempflanzen

Die Herangehensweise der Bekämpfung von vorkommenden Problempflanzen ist immer artabhängig. Das Jakobskreuzkraut kann nach zwei bis drei Jahren eingedämmt werden, wenn die Samenbildung verhindert wird (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021). Dabei muss eine Mahd vor Blühbeginn stattfinden und anfallendes Schnittgut entsorgt werden (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021). Durch eine Verhinderung von Lücken und Einsaat nach Beräumung des Mahdguts, kann die Ausbreitung eingedämmt werden (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021).

Bei der Bekämpfung des Riesen-Bärenklaus muss immer Schutzkleidung getragen werden, um Hautkontakt zu vermeiden (Starfinger & Kowarik, 2003). Auch hier ist ein Blühen zu verhindern (Starfinger & Kowarik, 2003). Bei kleineren Beständen sollten die Pflanzen spätestens Mitte April oder zwischen Oktober und Anfang November ausgegraben oder durch ein Abbrechen der Wurzel, etwa 10 – 15 cm tief im Oberboden, abgetötet werden (Starfinger & Kowarik, 2003). Auftretende Nachblüten müssen entfernt werden (Starfinger & Kowarik, 2003). Bei einer Mahd Ende Juni, also zu Beginn der Blütereife und einer noch vollständig grünen Blüte, kann der Riesen-Bärenklau abgetötet werden (Starfinger & Kowarik, 2003). Das erhaltene Mahdgut muss verbrannt oder bei 70°C kompostiert werden (Starfinger & Kowarik, 2003). Große Bestände des Riesen-Bärenklaus können mittels einer Traktor-Fräse entfernt werden (Starfinger & Kowarik, 2003). Noch treibende Pflanzen können im Folgejahr herausgezogen werden (Starfinger & Kowarik, 2003). Eine Eindämmung ist auch durch häufiges Zurückschneiden möglich (Starfinger & Kowarik, 2003). Eine Beweidung mit Schafen kann ebenso stattfinden und sollte beginnen, solange die Pflanzen noch klein sind (Starfinger & Kowarik, 2003). In diesem Zusammenhang sollten die Tiere auf Hautirritationen an Ohren und Maul kontrolliert werden (Starfinger & Kowarik, 2003).

Der Japanische Staudenknöterich kann durch eine dreischürige Mahd vor Mitte Mai an Masse zurückgedrängt, jedoch nicht vollständig entfernt werden (Böhmer et al., 2006). Eine Beweidung mit Schafen ist hier sinnvoller, da durch diese eine vollständige Entfernung möglich ist (Böhmer et al., 2006). Die Schafe sollten drei- bis viermal auf die Fläche geschickt werden, während die Blätter noch jung sind (Böhmer et al., 2006).

Die Orientalische Zackenschote regeneriert sich schnell, weshalb die erste Mahd gegen Ende der Blütezeit, also etwa in der zweiten Maihälfte, das erste Mal stattfinden sollte (Starfinger & Kowarik, 2003). Die zweite Mahd sollte Anfang Juni erfolgen, um eine Nachreife zu verhindern (Starfinger & Kowarik, 2003). Um eine dauerhafte Entfernung herbeizuführen, müssen die Wurzeln entfernt werden (Starfinger & Kowarik, 2003). Die Entfernung kann mittels Ausstechens durch einen Unkrautstecher erfolgen und sollte ein- bis zweimal wiederholt werden, da sich die Orientalische Zackenschote schnell erholen kann (Starfinger & Kowarik, 2003). Jedoch kann es auch durch die lange im Boden lebenden Samen zum weiteren Auftreten der Orientalischen Zackenschote kommen (Starfinger & Kowarik, 2003). Starke Beweidung kann

diese Pflanze auch nicht eindämmen, sondern erhöht durch Umtreten der Pflanzen die Ausbreitung im Boden (Starfinger & Kowarik, 2003).

Die Robinie hingegen wird gern von Schafen gefressen und kann dadurch eingedämmt werden (Meyer-Münzer et al., 2015). Die Wattmanufactur GmbH & Co. KG konnte vor dem Bau einer ihrer Anlagen die Robinie durch häufige Mahd begrenzen (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Die Pflanzen treten noch vereinzelt auf, weswegen eine Mahd vor Blütebeginn diese von einer weiteren Ausbreitung zurückhält (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022).

Acker-Kratzdisteln können ebenfalls vor Blühbeginn durch eine Mahd und Ausstechen zeitweise entfernt werden (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021). Durch eine regelmäßige Mahd kann der Bestand der Pflanze zurückgehalten werden (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021).

Mahd

Mit einer gut durchgeführten Mahd kann die natürliche Sukzession gelenkt und magere, artenreiche Grünlandstandorte hergestellt werden. Damit sich ein artenreicher Standort langfristig entwickeln kann, sind Mahdzeitpunkt, -frequenz, -art und -maschine von hoher Bedeutung. Der Mahdzeitpunkt und die Frequenz sind abhängig vom Standort, der bereits gewachsenen Vegetation, der Witterung und den auf der Fläche vorkommenden Tierarten. Hietel et al. sprechen von einer ersten Mahd zwischen Mai und Juni und einer zweiten Mahd etwa 8 Wochen später (Hietel et al., 2021). Dies soll jährlich stattfinden (Hietel et al., 2021). Die erste Mahd zwischen Mai und Juni soll den vorkommenden Blütenbestand nachhaltig schützen (Hietel et al., 2021). Während dieser Monate herrscht eine hohe Konkurrenz der Pflanzen um das Licht (Andrä et al., 2002). Durch die Mahd wird die bereits hoch gewachsene Vegetation mit einem Schlag entfernt, wodurch niedrig- und schwachwüchsige Pflanzenarten Licht erhalten können und der kommende Aufwuchs langsamer stattfindet (Andrä et al., 2002). Godt et al. präzisieren diesen Zeitraum etwas und sprechen von einer ersten Mahd um den 15. Juni, wobei sich an der Phänologie der Vegetation orientiert werden soll (Godt et al., 2017). Da sich zu diesem Zeitpunkt schon brütende Vogelarten auf der Fläche befinden, muss eine Abwägung erfolgen (Godt et al., 2017). Mitte Mai sollte eine Mahd nicht erfolgen, da der Blütenbestand zu diesem Zeitpunkt nicht hoch genug ist (Godt et al., 2017). Auch Ende Juni kann ein schlechter Zeitpunkt sein, da die Vegetation schon sehr hoch sein kann und somit kleinwüchsige Arten verdrängt werden (Godt et al., 2017). Das Mahdgut sollte immer abtransportiert werden, um dem Boden keine Nährstoffe zuzuführen, wie beispielsweise beim Mulchen, und artenreiche Magerwiesen zu erhalten (Godt et al., 2017; Andrä et al., 2002). Zudem würden beim Liegenlassen des Mahdguts typische Wiesenarten behindert werden, da feinblättrige Arten nicht austreiben können und die Keimlingsetablierung gestört wäre (Andrä et al., 2002). Fartmann und Mattes fanden heraus, dass für Heuschrecken eine einschürige Mahd besser ist und bei jeder weiteren Mahd die Individuendichte und -anzahl sinkt (Fartmann & Mattes, 1997). Vor allem nicht fliegende Arten werden getötet oder beschädigt und sind auf der gemähten Fläche leicht von Vögeln zu erbeuten (Fartmann & Mattes, 1997). Auch Amphibien sind nach einer Mahd der Gefahr ausgesetzt von Fressfeinden erbeutet zu werden (Godt et al., 2017). Bei einer

Mahd ab September oder Oktober sind die Einbußen der Heuschrecken vertretbar (Fartmann & Mattes, 1997). Reptilien, Bienen, Tagfalter und viele andere Arthropoden profitieren von einer einmaligen Mahd (Godt et al., 2017). Somit ist bei einer einmaligen Mahd der Termin, wenn möglich, auf Anfang September zu legen (Godt et al., 2017). In den ersten Jahren muss jedoch aus Verschattungs- und Brandschutzgründen mehr als eine Mahd durchgeführt werden. Demuth et al. geben keinen konkreten Zeitpunkt einer Mahd an, betonen dennoch die Wichtigkeit der bereits blühenden Pflanzen vor der ersten Mahd (Demuth et al., 2019). Die Samen sollten bereits ausgefallen sein, um eine mindestens gleich hohe Pflanzenvielfalt im Folgejahr zu erhalten (Demuth et al., 2019). Zudem betonen sie die Bedeutung der Brutzeit verschiedener Vogelarten (Demuth et al., 2019). Da die meisten gefundenen Vogelarten zwischen April und Juli bzw. August brüten, sollte während dieser Zeit nicht gemäht werden. Da sich die Jahreszeiten bedingt durch den Klimawandel verschieben, könnte eine Vergrämung notwendig sein (UBA, 2022; Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Auf die Amphibienwanderzeiten und -routen sollte auch Acht gegeben werden. Da viele bodenbrütende Arten ihre Nester in Mulden oder ähnlichen Strukturen verstecken, sind diese auf den ersten Blick schwer zu erkennen. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft fördert mit Wärmebildkameras ausgestattete Drohnen, um Rehkitze vor der Mahd zu retten, welche sich bei Angst auf den Boden pressen (BMEL, 2022). Die Jungtiere von Rehen und Hasen sind meist Ende Mai oder Anfang Juni zu finden, was auch den Zeitpunkt der ersten Mahd darstellt (Prochnow & Meierhöfer, 2003). Die Drohnen könnten neben der Feststellung von Rehen, auch für Brutvögel und Feldhasen genutzt werden. Somit könnte ein Überfahren dieser Tiere vermieden werden.

Eine Mahd stellt eine abrupte Veränderung des Lebensraumes dar (Andrä et al., 2002). Bei einer einzigen Mahd kann das gesamte Blüten- und Nahrungsangebot für Insekten und Herbivore auf den gemähten Flächen entfernt werden (Demuth et al., 2019). Eine ein- bis zweischürige und alternierende Mahd kann dieses Problem umgehen (Hietel et al., 2021; KNE, 2021). Beim Belassen von Altgrasbereichen, können die verjagten Tiere aus dem gemähten Bereich in die nicht gemähten Teile fliehen (Godt et al., 2017). Dies betrifft vor allem Bienen, Reptilien, Amphibien, Heuschrecken, Rüsselkäfer, Blattkäfer, Wanzen, Tagfalter und Libellen (Godt et al., 2017). Zudem werden diese Bereiche auch als Überwinterungsquartier genutzt (Godt et al., 2017). Die Altgrasstreifen sollten zwischen fünf und 10% der Fläche ausmachen, eine Breite von fünf bis 10 Metern und eine Länge von 50 Metern haben (Godt et al., 2017). Sie sollten jährlich neu gewählt werden und eine andere Lage haben, um Ruderalarten gering zu halten (Godt et al., 2017). Nach drei bis vier Jahren kann die bereits verwendete Fläche wieder genutzt werden (Godt et al., 2017). In der Landwirtschaft wird oftmals eine Beetmahd oder eine Kreismahd von außen nach innen durchgeführt (Prochnow & Meierhöfer, 2003). Diese Mahdmuster geben den Tieren keine Chance in die Altgrasstreifen zu fliehen, da sie von ihren Fluchtwegen abgeschnitten werden (Prochnow & Meierhöfer, 2003). Bei der Kreismahd von außen nach innen werden die Tiere immer weiter in die Mitte gedrängt und sehen keine Fluchtmöglichkeit (Prochnow & Meierhöfer, 2003). Besser ist ein Befahrmuster, welches den Tieren die Chance zur Flucht innerhalb der Deckung ermöglicht, indem es zur stehengebliebenen Fläche eine Verbindung herstellt (Prochnow & Meierhöfer, 2003). Diese

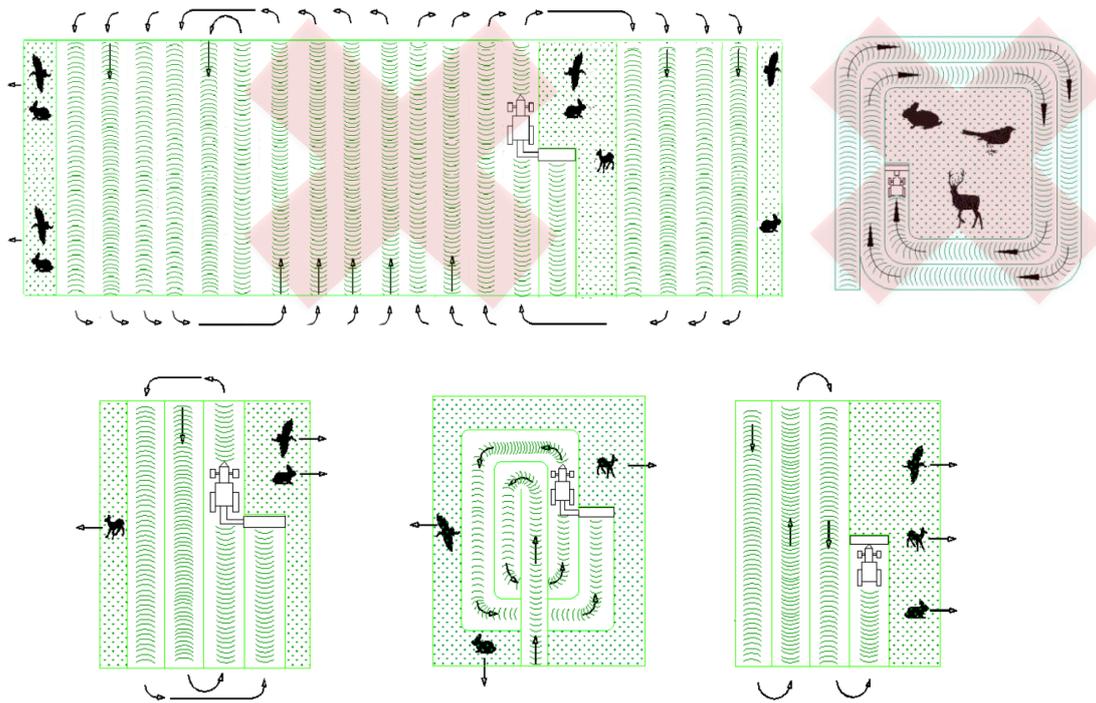


Abbildung 16: Verschiedene Mahdarten; links oben: Beetmahd, rechts oben: Kreismahd von außen nach innen, links unten: streifenförmig von innen nach außen, Mitte unten: Kreismahd von innen nach außen, rechts unten: streifenförmig von einer Seite zur anderen; In Anlehnung an: (Prochnow & Meierhöfer, 2003)

Befahrmuster sind die streifenförmige Mahd von innen nach außen, die Kreismahd von innen nach außen und die streifenförmige Mahd von einer Seite zur anderen (Prochnow & Meierhöfer, 2003). Diese sind in Abbildung 16 dargestellt. Die Fläche sollte dabei so selten wie möglich befahren werden (Oppermann et al., 2006). Da manche Tiere maximal 100 m fliehen können, wie beispielsweise die Küken des Wachtelkönigs, sollten die gemähten Bereiche nicht zu groß sein und in regelmäßigen Abständen Altgrasstreifen stehengelassen werden (Prochnow & Meierhöfer, 2003). Mit der Mahd der Altgrasstreifen sollte erst begonnen werden, wenn die zuvor gemähte Fläche wieder eine Höhe erreicht hat, um als Deckung genutzt werden zu können (Demuth et al., 2019). In Tabelle 5 sind die profitierenden Artengruppen bei einer Extensivierung von Intensivgrünland und einer Zeitdauer von 10 Jahren dargestellt (Godt et al., 2017). In der Initialphase wurde eine Mahd im Mai, Juni und September durchgeführt (Godt et al., 2017). In der Extensivierungsphase wurde eine Mahd im Juni und eine im September durchgeführt (Godt et al., 2017). Zudem wurden Altgrasstreifen angelegt (Godt et al., 2017). Bei den Artengruppen mit einer hellgrünen Farbe, war die Wirkung gering positiv (Godt et al., 2017). Die Artengruppen mit einer dunkelgrünen Farbe hatten eine moderat positive und diejenigen ohne Färbung keine Wirkung (Godt et al., 2017). Bei den Artengruppen mit einem E ist die Wirkung mithilfe fachlicher Expertise selbst einzustufen (Godt et al., 2017).

Tabelle 5: Profitierende Artengruppen einer Umwandlung von Intensivgrünland auf Löss zu extensiven Grünland; In Anlehnung an: (Godt et al., 2017)

Pflanzenarten/ Vegetations- struktur	Vögel	Klein- und Mit- telsäuger	Fledermäuse	Reptilien	Amphibien	Laufkäfer	Heuschrecken	Spinnen	Bestäuber-In- sekten	Tagfalter	Nachtfalter
		E	E	E	E			E			E

Bei der Mahd sollten schonende Maschinen eingesetzt werden. Oftmals werden auf FF-PVA Mulchgeräte eingesetzt, die viele Insekten und andere Kleinlebewesen töten oder beschädigen sowie den Nährstoffeintrag im Boden erhöhen (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022; Godt et al., 2017; BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021). Grundsätzlich gibt es schneidende Mähgeräte wie Sensen und Doppelmesser-Mähwerke, und rotierende Mähgeräte, wie Kreisel- oder Trommelmähwerke oder Mulchgeräte (Oppermann et al., 2006). Bei rotierenden Mähwerken treten laut Oppermann et al. zwei- bis dreimal mehr tote oder beschädigte Amphibien und zwei- bis viermal mehr tote oder beschädigte Heuschrecken auf als bei Messerbalken-Mähwerken (Oppermann et al., 2006). Humbert et al. veröffentlichten im Jahr 2010 eine Studie, welche aussagt, dass bei einem Mähvorgang mit einem Sichelmäher mit Aufbereiter etwa 69% der, auf die Fläche gesetzten, Raupen getötet oder beschädigt wurden (Humbert et al., 2010). Im Vergleich dazu lag der prozentuale Anteil bei Einsatz eines handgeschobenen Balkenmähers bei etwa 20% (Humbert et al., 2010). Frick und Fluri kamen im Jahr 2001 zu dem Ergebnis, dass etwa siebenmal mehr Bienen bei Benutzung eines Rotationsmähers mit Aufbereiter getötet oder beschädigt wurden als ohne Aufbereiter (Frick & Fluri, 2001). Zudem war die Mäherhöhe wichtig. Wenn die Blüten höher lagen als die Mäherhöhe, entkamen mehr Bienen und überlebten, als wenn die Blüthenhöhe geringer war (Frick & Fluri, 2001). Schlegelmäher führen zu einer Schädigung oder Tötung von etwa 49 bis 60% der kleinen Säugetiere, Reptilien, Amphibien und Wirbellosen (Humbert et al., 2009). Bei Kreiselmähern mit Aufbereitern wurden etwa 21% der Amphibien und 35% der Wirbellosen beschädigt oder getötet und bei Balkenmähern etwa 11% der Amphibien und 15% der Wirbellosen (Humbert et al., 2009). Kreiselmäher führen im Vergleich zu Doppelmessermähern zu etwa doppelt so vielen Todesfällen bei Kleinsäugetern (Humbert et al., 2009). Das Schneiden der Vegetation mit einer Sense tötet eine ähnliche Anzahl von Amphibien, aber verletzt mehr Amphibien als ein Doppelschnittmesser (Flade et al., 2003).

Es lässt sich zusammenfassend festhalten, dass ein Balkenmäher genutzt werden sollte. Die Mahdhöhe sollte bei mindestens 10 cm liegen, um Kleinsäuger und Amphibien nicht zu verletzen oder besser bei etwa 15 cm, um auch Reptilien nicht zu verletzen (Godt et al., 2017; Schönbrodt et al., 2022). Die Wattmanufactur GmbH & Co. KG benutzt einen Doppelmesser-Mähbalken, welcher ferngesteuert werden kann (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Um die Fläche einer FF-PVA von 10 MW zu mähen, benötigen zwei Mitarbeiter:innen etwa einen bis eineinhalb Tage (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Der Doppelmesser-Mähbalken hat eine Schnittbreite von bis zu vier Metern und fährt mit einer

Geschwindigkeit von bis zu 7 km/h (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Die Messer des Doppelmesser-Mähbalkens müssen zwar nach jedem Einsatztag geschliffen werden, aber erzeugen keine Geräusch- und Geruchsemissionen (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Ein anderer möglicher Balkenmäher könnte der Motormäher der Brielmaier Motormäher GmbH sein (Brielmaier Motormäher GmbH, 2023). Dieser hat große Reifen, wenig Gewicht, arbeitet mit Doppelmessertechnik und hat eine Breite von bis zu 6 Metern (Brielmaier Motormäher GmbH, 2023). Er kann von Hand betrieben oder ferngesteuert und das Mahdgut leicht abtransportiert werden (Brielmaier Motormäher GmbH, 2023). Aufgrund der einstellbaren Breite muss mit dem Motormäher nur einmal durch die Reihen gegangen werden. Es kann auch unter den Modultischen gemäht werden.

Das anfallende Mahdgut kann nach der Mahd von verschiedenen lokalen Partner:innen geborgen und zu Rundballen gepresst werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Abhängig von der Qualität des Mahdguts kann es an Tiere verfüttert oder kompostiert werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Artenarmes Mahdgut kann an Kühe und artenreiches Mahdgut an Pferde und Kaninchen verfüttert werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022). Generell kann eine Verfütterung des artenreichen Mahdguts nur an wenig leistungsbeanspruchte Nutztiere erfolgen (Godt et al., 2017). Dies beinhaltet Mutterkühe, Färsen, Kälber, nicht laktierende Kühe, Ziegen, Schafe und Pferde (Godt et al., 2017). Die Umwandlung zu Kompost oder Torfersatz sind zwei weitere Varianten der Verarbeitung (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022). Bisher kann anfallendes Mahdgut noch nicht zu Biogasanlagen gebracht werden, aber könnte in Zukunft eine zu betrachtende Möglichkeit sein (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022; Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022).

Schafbeweidung

Bei FF-PVA kann auch durch den Einsatz von Schafen der Aufwuchs von Pflanzen kurzgehalten werden. Durch diese Art des Pflegemanagements wird der Aufwuchs nicht plötzlich entfernt, sondern innerhalb weniger Wochen und immer nur auf einer Teilfläche (Demuth et al., 2019). Sollte eine Winter- oder Frühjahrsbeweidung stattfinden, so ist diese bis April durchzuführen (Andrä et al., 2002). Dadurch werden schnell austreibende Gräser gefressen, die die niederwüchsigen Arten sonst überschattet hätten (Andrä et al., 2002). Zudem kommt es zu einer Verzögerung des gesamten Aufwuchses (Andrä et al., 2002). Eine Beweidung in der Blütezeit kann dazu führen, dass nur von den Schafen bevorzugte Arten gefressen und somit zurückgedrängt werden (Andrä et al., 2002). Trittempfindliche Pflanzen können dadurch auch geschädigt werden (Godt et al., 2017; Andrä et al., 2002). Godt et al. stellen auf Seite 228 Zeigerpflanzen des mesophilen Grünlandes vor, die nach ihrer Beweidungsempfindlichkeit sortiert sind (Godt et al., 2017). Diese Zeigerpflanzen sind zudem in ihrer Trittempfindlichkeit und Mahdverträglichkeit bewertet (Godt et al., 2017). Eine Schafbeweidung sollte somit eher anstelle der zweiten Mahd durchgeführt und die erste Mahd beibehalten werden (Andrä et al., 2002). Generell kann Schafbeweidung geringer oder mittlerer Dichte ein durchgehendes Angebot an Blütenpflanzen sicherstellen (Hietel et al., 2021; Fartmann & Mattes, 1997). Die Vegetation sollte durchschnittlich zwischen 15 cm und 35 cm hoch sein, damit eine ausreichende,

aber nicht zu hohe Vegetation vorhanden ist (Andrä et al., 2002). Zu hohe Pflanzen können zertreten werden und eine weitere Mahd notwendig machen (Andrä et al., 2002). Die entstehende heterogene Vegetation an nicht gefressenen und hohen Pflanzen kann jedoch ein wichtiges Rückzugshabitat für viele Tierarten darstellen (Godt et al., 2017). Für beispielsweise Schmetterlinge stellt die Beweidung eine bessere Flächenpflege dar als die Mahd (Godt et al., 2017). Mithilfe vom Fell, den Klauen und dem Kot von Schafen können Samen und Diasporen von Pflanzen verbreitet werden (Godt et al., 2017; Hietel et al., 2021). Diese Samen können auch von anderen Flächenteilen stammen und somit die Artenvielfalt erhöhen (Tautenhahn et al., 2017). Für Käfer- und Fliegenarten stellt der Kot Nahrung dar, welche wiederum von Vögeln und Fledermäusen gefressen werden (Godt et al., 2017; Tautenhahn et al., 2017). Durch die Klauen entstehen offene Flächen (Godt et al., 2017). Diese werden von konkurrenzschwachen Arten zur Keimung benötigt (Hietel et al., 2021). Für viele Heuschreckenarten werden durch den Tritt geeignete Lebensbedingungen geschaffen (Fartmann & Mattes, 1997). Auch für Reptilien und Amphibien ist diese Art der Flächenpflege besser geeignet (Godt et al., 2017). Bei der Schafbeweidung kommt es zu keiner Verletzung oder Tötung von Amphibien und Reptilien (Godt et al., 2017). Zusätzlich stellen die stehen gelassenen Bereiche einen guten Rückzugsort dar (Godt et al., 2017). Kommen bodenbrütende Vögel vor, sollte der erste Beweidungsgang erst spät erfolgen (Godt et al., 2017). Gebüsche und höhere Stauden sind für diese Arten besonders wichtig (Godt et al., 2017). Da die Feldmaus von der Beweidung profitiert, können auch Greifvögel, wie der Rotmilan, Mäusebussard und die Eule, die Fläche als Jagdrevier nutzen (Godt et al., 2017). Auch Junghasen werden durch eine Schafbeweidung nicht verletzt und bedürfen somit nicht einer Vergrämung (Godt et al., 2017).

Schafbeweidung ist kostengünstig und führt zu keiner Staubentwicklung (Tautenhahn et al., 2017). Da Schafe dornige, schlecht schmeckende oder giftige Pflanzen nicht essen, bleiben diese auf der Fläche stehen (Andrä et al., 2002; Fartmann & Mattes, 1997). Auch Pflanzen, welche sehr nah am Boden wachsen, werden nicht gefressen und somit durch eine Schafbeweidung gefördert (Andrä et al., 2002). Dadurch entsteht ein anderes Konkurrenzgefüge als bei einer Mahd (Andrä et al., 2002). Die durch die Schafbeweidung entstandene Artzusammensetzung sollte daher kontrolliert werden und bei Störzeigern und/oder Weideresten eine Nachmahd erfolgen (Andrä et al., 2002).

Die Anwesenheit der Schäfer:innen verringert die Diebstahl- oder Vandalismusgefahr und steigert die Akzeptanz der Öffentlichkeit (Tautenhahn et al., 2017). Es kommt auch zu einer Abnahme von Mäusegängen und Maulwurfshügeln, was die Verletzungsgefahr des Personals bei der Reinigung und Wartung verringert (Tautenhahn et al., 2017). Die Schäfer haben eine zusätzliche Fläche, Geldeinnahmequelle sowie Futtermittel, das nicht mit Dünge- oder Pflanzenschutzmittel belastet ist (Tautenhahn et al., 2017). Auf Ziegen und horntragende Rassen sollte verzichtet werden, da diese die Module beschädigen können (Tautenhahn et al., 2017). Bei Verwendung von Schafen, die in der Nähe der PV-Anlagen leben, ist eine Regulierung des Besatzbestandes kurzfristig durchführbar (Tautenhahn et al., 2017). Die Schafe müssen zuvor auf Parasiten auf und im Körper untersucht werden, um ein Kratzen der Tiere an den Modulen und Gestellsystemen zu verhindern (Tautenhahn et al., 2017). Eine Ablammung FF-PVA sollte nur stattfinden, wenn die Schafe vor Füchsen geschützt sind und kein Wurmdruck

herrscht (Tautenhahn et al., 2017). Mutterschafe sollten zusammen mit Lämmern auf eine Fläche gestellt werden, um die Lämmer zu erziehen (Tautenhahn et al., 2017). Auf ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen kommt es meist zu hohen Erträgen, was gut für eine Schafbeweidung ist (Tautenhahn et al., 2017).



Abbildung 17: Modulunterkantenschutz; Quelle: Enerparc AG

Laut Grünnewig et al. ist der Pflanzenbestand durch eine Schafbeweidung anfangs nicht zu bewältigen und dadurch eine Nachpflege notwendig (Grünnewig et al., 2007). Bevor eine Beweidung beginnen kann, müssen giftige Pflanzen, wie Jakobskreuzkraut, Johanniskraut und Hahnenfußartige, entfernt werden (Tautenhahn et al., 2017). Die Besatzungsdichte ist je nach Jahreszeit und Aufwuchs zu bestimmen (Hietel et al., 2021). Bei einer PV-Anlage unter fünf Hektar, wird die Fläche als Standweide genutzt und nicht in kleine Teilflächen unterteilt (Tautenhahn et al., 2017). Bei größeren Anlagen kommt es zu einer Aufteilung in Teilflächen (Tautenhahn et al., 2017). Diese sollten einen hohen Besatz haben, um einen gleichmäßigen Abfraß zu garantieren (Hietel et al., 2021). Die Tiere sollten nicht zu lange auf dieser Teilfläche bleiben und auf die nächste umgesetzt werden (Hietel et al., 2021). Die Schäfer haben bei dieser Methode intensiven Kontakt und einen guten Überblick über die Schafe (Tautenhahn et al., 2017). Damit kann eine Verwilderung der Tiere vermieden werden (Tautenhahn et al., 2017). Bei einer Beweidung über das ganze Jahr kann eine Tränke notwendig sein (Tautenhahn et al., 2017). Zudem sollten Maßnahmen zum Scheren, Impfen und Entwurmen getroffen werden (Tautenhahn et al., 2017). Hinsichtlich der Beweidung müssen viele verschiedene technische Maßnahmen getroffen werden. Die Unterkante der PV-Module muss mindestens eine Höhe von 0,8 m aufweisen, da sich die Schafe sonst den Rücken und Brustkorb verletzen können (Tautenhahn et al., 2017). Auch die Module können von den Schafen beschädigt werden (Tautenhahn et al., 2017). Gerade Dünnschichtmodule können schnell brechen (Tautenhahn et al., 2017). Bei einer niedrigen Unterkantenhöhe wäre es zwar für die Lämmer möglich unter den Modulen durchzulaufen, jedoch würden sie dadurch von den Mutterschafen getrennt werden (Tautenhahn et al., 2017). Die PV-Module sollten immer fest fixiert und eingerahmt sein (Tautenhahn et al., 2017). Die scharfen Kanten des Gestellsystems können trotz einer ausreichenden Unterkantenhöhe zu Rückenverletzungen führen, wenn die Tiere aufgeschreckt werden (Enerparc AG). Um dies zu verhindern, müssen Schutzkappen angebracht werden, wie in Abbildung 17 zu sehen ist. Bei nachgeführten FF-PVA ist das Gestell meist höher, weswegen die Chance einer Beweidung ohne Verletzungen höher ist (Tautenhahn et al., 2017). Damit die Schafe die Kabel nicht anfressen oder in diesen hängen bleiben und sich verletzen, müssen diese für die Tiere nicht erreichbar und geschützt sein (Tautenhahn et al., 2017). Die Kabel sollten direkt unter oder zwischen den PV-Modulen befestigt werden (Tautenhahn et al., 2017). Es dürfen keine Schlaufen herunterhängen (Tautenhahn et al., 2017). Kabel, die zum Boden gehen, müssen zusammengebunden werden und durch Leerrohre oder Ständerprofile geführt werden (Tautenhahn et al., 2017). Sollte eine

Befestigung der Kabel nicht möglich sein, so muss ein Zaun um diese Fläche gestellt werden (Tautenhahn et al., 2017). Jegliche freiliegenden Rohre, die zu einer Verletzung der Schafe führen können, sollten vor einer Beweidung beseitigt werden (Tautenhahn et al., 2017). Bevor eine Anlage beweidet wird, muss geprüft werden, ob alle oben genannten Sicherheitsmaßnahmen erfüllt sind und der Anlagenbetreiber ggf. auf Missstände aufmerksam gemacht werden (Tautenhahn et al., 2017). Auch Wechselrichter müssen umzäunt werden (Tautenhahn et al., 2017). Dies kann entweder durch einen permanenten Zaun oder einen mobilen Zaun erreicht werden (Enerparc AG). Ein mobiler Zaun kann zusätzlich bei Reparaturen an den Anlagen und gleichzeitiger Schafbeweidung eingesetzt werden. Der Außenzaun, der meist einen Abstand zum Boden von 15 bis 20 cm hat, kann zum Eindringen von Füchsen oder Ausbrechen von Schafen führen (Tautenhahn et al., 2017). Um dem entgegenzuwirken kann eine stromführende Litze 20 cm oberhalb des Bodens und außerhalb des Zauns angebracht werden (Tautenhahn et al., 2017). Diese muss jedoch regelmäßig freigeschnitten werden (Tautenhahn et al., 2017). Es kann auch ein Hütehund eingesetzt werden, der unter anderem Wölfe abschreckt (Tautenhahn et al., 2017). Dieser kann sich bei festen Gestellsystemen jedoch nicht so gut bewegen und sollte eher bei nachgeführten Anlagen eingesetzt werden (Tautenhahn et al., 2017). Werden die Ziele der Flächenpflege nicht durch die Beweidung erreicht, so ist eine zeitnahe Nachpflege notwendig (Tautenhahn et al., 2017). Die Verantwortung dafür muss vertraglich geregelt sein (Tautenhahn et al., 2017). Bei einer Übernahme des Schäfers, kann dieser die nicht gefressenen Stellen betrachten und Lösungsmöglichkeiten für die nächste Beweidung entwickeln (Tautenhahn et al., 2017). Falls durch die Beweidung ungewollte Lücken aufgetreten sind, lässt sich dies mit einer Nachsaat beheben (Tautenhahn et al., 2017). Sollte der richtige Zeitpunkt einer Nachsaat vergangen sein, können sich Disteln und andere Pflanzen ausbreiten, die ungern von Schafen gefressen werden (Tautenhahn et al., 2017).

Während der Beweidung muss sichergestellt werden, dass Mitarbeiter:innen des PV-Unternehmens zu jeder Zeit mit dem Auto auf die Fläche fahren können (Tautenhahn et al., 2017). Alle Bereiche der Anlage müssen durch die Mitarbeiter:innen begehbar sein und die PV-Anlage für Unbefugte verschlossen gehalten werden (Tautenhahn et al., 2017).

3.2.4.2 Reinigung und Wartung

Die Wartungsarbeiten, welche etwa zweimal im Jahr vorkommen, sollten, genauso wie die Bauarbeiten, nur bei guten Witterungsbedingungen stattfinden, um Bodenverdichtungen zu vermeiden (Hietel et al., 2021). Sie sollen die dort vorkommenden Arten so wenig wie möglich stören, indem beispielsweise Lärm, Licht und stoffliche Emissionen vermieden werden (Hietel et al., 2021). Bei nachgeführten Anlagen kann es öfter zu Wartungsarbeiten kommen, weswegen feste Gestellsysteme, in Hinblick auf die Wartung, besser geeignet sind (Hietel et al., 2021). Brutzeiten von Vögeln sollten so gut wie möglich bei den Wartungsarbeiten berücksichtigt werden (Hietel et al., 2021).

Ein Schadstoffeintrag auf den Flächen muss vermieden werden. Auch bei der Reinigung sollte dies berücksichtigt werden, um keine Belastung der Umwelt und Natur zu verursachen. Um

eine Reinigung durchzuführen, gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie kleine Reinigungsroboter oder große, mit Bürsten besetzte Reinigungsfahrzeuge. Die Reinigungsmittel sollten biologisch abbaubar sein und keine schädlichen Stoffe enthalten. Die Enerparc AG nutzt das Reinigungsmobil der SunBrushmobil GmbH (Enerparc AG). Bei diesem wird eine Büste mit einer Breite zwischen drei und 7,5 Metern auf einem Traktor oder ähnlichem montiert und einmalig über die Modulreihen mit einem verdünnten Reinigungsmittel gebürstet (Enerparc AG; SunBrush mobil GmbH, 2023). Das Gesamtgewicht des Fahrzeugs inklusive 4,5 m langer Bürste beträgt etwa 500 kg (SunBrush mobil GmbH, 2023). Das eingesetzte Reinigungsmittel ist das SunBrush Blue der SunBrush mobil GmbH (Enerparc AG).

3.2.5 Monitoring

Um die auf der Fläche vorkommende Biodiversität bewerten zu können, ist ein Monitoring wichtig. Es ist nach § 4c Baugesetzbuch vorgeschrieben (BMJ; BfJ, 2022). In dem bereits in Kapitel 3.2.1 erwähnten Bebauungsplan sollte das Monitoring festgelegt sein (Hietel et al., 2021). Vor dem Bau der Anlage sollte das erste Monitoring durchgeführt worden sein, um einen Vergleich vor der Errichtung der PV-Anlage und während des Betriebs ziehen zu können (Hietel et al., 2021). Dadurch kann festgestellt werden, ob die PV-Anlage zu einer Aufwertung oder einer Verschlechterung der Biodiversität geführt hat (Hietel et al., 2021). Nach dem ersten Monitoring werden Entwicklungsziele erarbeitet, die dabei helfen ein Maßnahmenkonzept zu erstellen (Reinke et al., 2021). Diese Maßnahmen, wie die Erstellung von Strukturen und das nötige Pflegemanagement, sind in den Kapiteln 3.2.2, 3.2.3.2 und 3.2.4.1 dargestellt. Die Entwicklungsziele setzen einen anzustrebenden Zustand der Artenvielfalt fest (Reinke et al., 2021). Die Zustandserfassungen der Biodiversität müssen in regelmäßigen Abständen von Fachpersonal durchgeführt werden (Hietel et al., 2021). Bei einem festgestellten Rückgang der Artenvielfalt können somit schnell Gegenmaßnahmen ergriffen und das Maßnahmenkonzept angepasst werden (Hietel et al., 2021). Zuvor ist jedoch festzustellen, ob die festgelegten Maßnahmen, wie die Pflanzungen und das Pflegemanagement, sachgerecht durchgeführt wurden (Hietel et al., 2021). Sollten die Maßnahmen nicht sachgerecht durchgeführt worden sein, muss dies behoben werden. Daraufhin kann festgestellt werden, ob eine Verbesserung der Biodiversität bei sachgerechter Durchführung eintritt.

Neben den, in den folgenden Abschnitten, genannten Artengruppen sollte auch ein Monitoring des Bodens durchgeführt werden. Phosphor sollte bei organischen und tonreichen Böden einen Wert von unter $\frac{5 \text{ mg Phosphor}}{100 \text{ g Boden}}$ haben, um als extensives Grünland zu gelten (Godt et al., 2017). Somit ist das Beobachten der Nährstoffe des Bodens ein wichtiger Teil des Prozesses bei der Umwandlung von landwirtschaftlich genutzter Fläche hin zu extensivem Grünland.

3.2.5.1 Identifikation der zu betrachtenden Gesellschaften und Arten

Da je nach bebauter Fläche, Standort, Boden und Entwicklungsziel andere Arten vorkommen können, sind die zu betrachtenden Gesellschaften und Arten für die betrachtete PV-Anlage jeweils vorher zu definieren. Die Ausprägungen und Indikatorarten der im Bebauungsplan festgelegten Zielbiotope und -arten können herangezogen werden (Hietel et al., 2021).

Die Lebensraumtypen sollten nach Anhang 1 FFH-Richtlinie gegliedert und die entsprechende vorkommende Vegetation aufgenommen werden (Albrecht et al., 2013). Hierbei sind die charakteristischen Arten und die Arten mit spezifischen Habitatbindungen oder Austauschbeziehungen zu betrachten (Albrecht et al., 2013). Tierarten können in solche mit besonderer und allgemeiner Relevanz gegliedert werden (Albrecht et al., 2013). Besondere Relevanz haben Arten, die nach § 44 BNatSchG zu prüfen sind, alle im Anhang 4 der FFH-Richtlinie genannten Arten und Säugetiere, Fledermäuse, Reptilien, Amphibien, Tag- und Nachfalter, Libellen, Käfer und Schnecken, die im Anhang 2 der FFH-Richtlinie genannt werden (Albrecht et al., 2013). Zudem fallen alle Arten darunter, die in ihrem Bestand gefährdet sind oder für die Deutschland eine hohe Verantwortung trägt, sobald eine Rechtsverordnung laut § 54 BNatSchG besteht (Albrecht et al., 2013). Des Weiteren fallen darunter Vogelarten, deren Erhaltungszustand als ungünstig-unzureichend oder ungünstig-schlecht eingestuft ist, Koloniebrüter und Vogelarten der Rote-Liste-Kategorien (0), 1, 2, R, V aus der Bundes- und jeweiligen Länderliste (Albrecht et al., 2013). Auch Vögel der Vogelschutzrichtlinie von 1979 müssen betrachtet werden (Albrecht et al., 2013). Die Arten müssen einzeln betrachtet werden und nähere Informationen, wie Habitat- und Raumnutzung, über diese vorgelegt werden (Albrecht et al., 2013). Allgemeine Relevanz haben die Tiere, welche bei Tierwanderungen oder Wiedervernetzungsmaßnahmen betrachtet werden müssen (Albrecht et al., 2013). Diese können in Gruppen oder durch Biotope und Habitatausstattungen beurteilt werden (Albrecht et al., 2013). Sie können auch als Rückschluss durch andere Arten integriert werden (Albrecht et al., 2013).

Da nicht alle Arten von besonderer oder allgemeiner Relevanz für jeden Standort zu betrachten sind, kann teilweise, wie bei der Vogelschutz-Richtlinie, auf die Länderlisten der jeweiligen Bundesländer zurückgegriffen werden (Albrecht et al., 2013).

Laut Expert:in 2 könnte man zur Erfassung der Biodiversität Bodenproben nehmen, den Humusgehalt auf den Flächen untersuchen und messen wie viele Lebewesen sich auf einem Quadratmeter Boden befinden (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022). Der Boden und die enthaltenen Lebewesen sind die Basis des darüber stattfindenden Lebens und bieten Nährstoffe und Nahrung unter anderem für Pflanzen, Insekten und Vögel (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022). Da der Humusgehalt mit den enthaltenden Bodenorganismen steigt, könnte er auch ein geeigneter Indikator für Biodiversität sein (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022).

3.2.5.2 Durchführung

Monitorings sollten von externem Fachpersonal durchgeführt und, laut Expert:in 2, von Behörden kontrolliert werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 2, 17. November 2022). Die Ergebnisse

sollten zentral gespeichert, ausgewertet und veröffentlicht werden, um mehr Transparenz zu schaffen (Expert:innen-Gespräch Nr. 3, 21. November 2022).

Die Durchführung der Monitorings ist abhängig von den zu betrachtenden Tierarten und Witterungsbedingungen. Auch wenn zwei oder mehrere Flächen ähnliche Standortbedingungen haben, so sind mehr Arten in einem Gebiet zu finden, je größer es ist (Campbell & Reece, 2009). Dementsprechend muss während des Betriebs der PV-Anlagen und vor Beginn der Monitorings eine Übersicht der zu untersuchenden Arten geschaffen werden. Die Grundlage dafür bildet das Monitoring, welches vor Bau der Anlage durchgeführt wurde. Das Mikroklima, also die Temperatur und Feuchte, zwischen und unter den Modulen sollte gemessen und bewertet werden (Hietel et al., 2021). Große Säugetiere, wie Wildschweine, Wölfe und Rehe, werden meist durch Zufallsbeobachtungen erfasst (Enerparc AG). Fledermäuse können durch Horchboxen erfasst werden (Albrecht et al., 2013). Diese Horchboxen zeichnen die Ultraschallrufe der Fledermäuse im näheren Umfeld auf und sollten dreimal für jeweils 72 Stunden, im Abstand von einer Woche und im Zeitraum von Anfang Juni bis Ende August aufgestellt werden (Albrecht et al., 2013). Befindet sich ein Wald in der Nähe, so ist die Häufigkeit der Bestandsaufnahme von drei auf 7 zu steigern (Albrecht et al., 2013). Wirbellose sollten in Großgruppen oder Ordnungen unterschieden und die Anzahl der Individuen gezählt werden (Hietel et al., 2021). Bei Insekten sollten aussagekräftige Arten, wie Heuschrecken, gewählt werden (Hietel et al., 2021). Insekten werden generell durch Bodenfallen, Kescher und Farbfallen gefangen und/oder per Verhörer bestimmt (Hietel et al., 2021). Auf die Kartierung von Biotopen, Vegetation, Avifauna, Amphibien, Reptilien, Heuschrecken, Wildbienen, Tagfaltern und Laufkäfern wird in den folgenden Abschnitten näher eingegangen.

Biotope und Vegetation

Die Ausprägung der Flora ist Grundlage für die Bewertung des Entwicklungszustandes auf PV-Anlagen (Hietel et al., 2021). Störzeiger, wie Stickstoffzeiger, Neophyten und Brachezeiger, können erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden (Hietel et al., 2021).

Für die Kartierung der Biotope reicht eine Begehung (Hietel et al., 2021). Die Begehung muss vor Durchführung der Mahd erfolgen. Die Vegetationsaufnahme sollte nach Braun-Blanquet-Verfahren erfolgen und eine tabellarische Liste der vorkommenden Pflanzenarten erstellt werden (Hietel et al., 2021). Die einzelnen Biotope mit ihrer Vegetation und den Deckungsgraden sollten näher beschrieben werden (Hietel et al., 2021). Außerdem ist das Verhältnis von Randstreifen zur Gesamtfläche, der Grad der Blütenbedeckung und der Kräuter-/Grasanteil von Bedeutung (Hietel et al., 2021). Dabei sind Stellvertreterpflanzen der faunistischen Habitatqualität und Zeigerpflanzen für typische Pflanzengesellschaften wichtig (Hietel et al., 2021). Arten der Roten Liste oder geschützte Arten können dabei eine hohe Lebensraumqualität widerspiegeln (Hietel et al., 2021). Bei Nutzung einer Regiosaatgutmischung sollte eine Vegetationsaufnahme auf einer Fläche von 25 m² erfolgen (Hietel et al., 2021).

Auf der PV-Anlage in Nemsdorf-Göhrendorf wurde Mitte Juni eine Begehung durchgeführt (Schönbrodt et al., 2022). Die Kartierung wurde mithilfe der Anleitung für Lebensraumtypen des Bundeslandes Sachsen-Anhalt nach Lau durchgeführt (Schönbrodt et al., 2022). Dabei wurden strukturell ähnliche Flächen kartiert und einzelnen Biotoptypen zugeordnet

(Schönbrodt et al., 2022). Die Zuordnung erfolgte durch eine Bestandsaufnahme der Flora (Schönbrodt et al., 2022). Alle wertgebenden, charakteristischen und aussagekräftigen Arten, welche den Zustand eines Biotops beschreiben, wurden in Artlisten zusammengetragen (Schönbrodt et al., 2022). Bei der Kartierung wurden, nach Braun-Blanquet-Verfahren, den einzelnen Pflanzenarten ihre Deckungsgrade zugewiesen (Schönbrodt et al., 2022).

Avifauna

Bei der Kartierung der Avifauna wird zwischen Brutvögeln, Großvögeln und Zug- und Rastvögeln unterschieden. Es ist davon auszugehen, dass Vögel, die im Sommer auf einer PV-Anlage zu finden sind, auch zu anderen Jahreszeiten diese Anlage besuchen (Badelt et al., 2020). Gerade Vogelarten des Offenlandes eignen sich gut zur Bewertung von FF-PVA (Badelt et al., 2020). Sie haben unterschiedliche Ansprüche an ihren Lebensraum, weswegen ihre Bestandsgröße die Qualität eines Lebensraumes widerspiegelt (Badelt et al., 2020).

Die Kartierung der Brutvögel findet durch Sichtbeobachtungen, Verhöre, und Klangattrappen statt (Albrecht et al., 2013). Dabei muss die gesamte Fläche in regelmäßigen Abständen begangen werden (Albrecht et al., 2013). Vor den Begehungen sind die zu erwartenden Arten zu definieren und die Auswahl zu begründen (Albrecht et al., 2013). Für die jeweiligen Möglichkeiten der Erfassung von einzelnen Brutvogelarten haben Albrecht et al. in ihrer Veröffentlichung auf Seite 214 eine Excel-Liste hinterlegt (Albrecht et al., 2013). Für jede Vogelart sind drei Begehungen notwendig, wobei die Begehungen für mehrere Vogelarten gleichzeitig durchgeführt werden können (Albrecht et al., 2013). Die Anzahl der Individuen und Brutpaare ist anzugeben (Hietel et al., 2021).

Bei Großvögeln wird eine Horst- und Nestersuche durchgeführt (Albrecht et al., 2013). Dabei sollten Feldgehölze, Waldränder und Einzelbäume abgesucht werden (Albrecht et al., 2013). Die Erfassung vor Bau der FF-PVA sollte zwischen November und Mitte Juli stattfinden (Albrecht et al., 2013). Die daraus folgende erste Begehung eines Jahres sollte zwischen Ende April und Anfang Mai sein (Albrecht et al., 2013). Die zweite Begehung eines jeden Jahres ist zwischen Ende Juni und Anfang August durchzuführen (Albrecht et al., 2013).

Zug- und Rastvögel, wie der Raubwürger, der Stieglitz, der Star, die Goldammer und Grauammer, werden von geeigneten Punkten, mit einer Distanz von etwa 500 Metern, mittels Fernglas und Spektiv beobachtet (Badelt et al., 2020; Albrecht et al., 2013). Die Erfassung erfolgt zwischen Anfang August und Mitte April (Albrecht et al., 2013). Sollten Arten mit seltenem Auftreten vorkommen, so kann die Kartierung an zwei Tagen hintereinander Ende August stattfinden (Albrecht et al., 2013). Generell sollten 18 Kartierungen pro Jahr stattfinden, wobei 8 im Herbst, zwei im Winter und wieder 8 im Frühjahr liegen sollten (Albrecht et al., 2013). Wenn Arten selten vorkommen oder andere Zugzeiten haben, können mehr Begehungen stattfinden (Albrecht et al., 2013).

Die Kartierung der Anlage in Nemsdorf-Göhrendorf erfolgte mittels der Revierkartierung von Südbeck et al. aus dem Jahr 2005 (Schönbrodt et al., 2022). Es fanden jeweils zwei Begehungen im April, Mai und Juni statt (Schönbrodt et al., 2022). Dafür wurden alle Brutvögel akustisch erfasst und dokumentiert (Schönbrodt et al., 2022). Die Brutvögel wurden daraufhin in Brutvögel und mögliche Brutvögel gruppiert (Schönbrodt et al., 2022).

Amphibien

Amphibien können anhand ihrer Rufe und durch Sichtbeobachtungen adulter und subadulter Tiere kartiert werden (Albrecht et al., 2013). Falls eine Bestimmung anhand dessen nicht ausreicht, müssen sie zum Bestimmen gefangen werden (Albrecht et al., 2013). In Gewässern kann nach Larven gekeschert werden (Albrecht et al., 2013). Es sollten drei Begehungen pro Art stattfinden, wobei bei der Kreuz-, Wechsel- und Geburtshelferkröte jeweils fünf Begehungen durchgeführt werden sollten (Albrecht et al., 2013). Der Zeitraum der Begehung ist artabhängig und wird tabellarisch in der Veröffentlichung von Albrecht et al. auf Seite 238 dargestellt (Albrecht et al., 2013). Wenn ein Gewässer zum Laichen genutzt wird, sollten die Begehungen während des Tages und der Nacht stattfinden (Albrecht et al., 2013). Albrecht et al. gehen auf Seite 240, 241 und 242 ihrer Veröffentlichung jeweils auf die Kartierung der Kreuz-, Wechsel-, Knoblauchkröten und Kammolche ein (Albrecht et al., 2013).

Reptilien

Bei den Reptilien müssen vier bis 6 Begehungen von März bis Oktober stattfinden (Albrecht et al., 2013). Bei diesen werden die Tiere mittels Sichtbeobachtung erfasst (Albrecht et al., 2013). Dabei muss die Fläche langsam und ruhig abgegangen und Strukturen abgesucht werden (Albrecht et al., 2013). Die abzusuchenden Strukturen können geschaffene Verstecke, wie Totholzhaufen und Steinschüttungen, sein (Albrecht et al., 2013). Zudem sollten alle möglichen Sonnen-, Ruh-, Eiablage- und Überwinterungsplätze sowie Fortpflanzungs- und Jagdhabitate abgesucht werden (Albrecht et al., 2013). Während dieser Begehungen sollte es trocken sein und die Temperatur zwischen 22°C und 30°C liegen (Albrecht et al., 2013).

In der Anlage von Nemsdorf-Göhrendorf wurden Zauneidechsen kartiert (Schönbrodt et al., 2022). Dafür wurde das untersuchte Gebiet in linearer Leitlinienstruktur durchlaufen (Schönbrodt et al., 2022). Zudem wurden alle Habitatstrukturen und möglichen Sonnenplätze untersucht (Schönbrodt et al., 2022). Die Begehungen fanden an drei Tagen im Zeitraum von Mai bis Juni und an weiteren drei Tagen im Zeitraum von August bis September statt (Schönbrodt et al., 2022). Bei der Kartierung wurde auf gute Witterungsbedingungen geachtet (Schönbrodt et al., 2022). Sie fand in den Vor- und Nachmittagsstunden statt, da zu dieser Zeit die höchste Wahrscheinlichkeit der Sichtung von Zauneidechsen anzunehmen war (Schönbrodt et al., 2022). Bei weiteren Kartierungen anderer Artengruppen, wurden Zufallssichtungen mit aufgenommen (Schönbrodt et al., 2022).

Heuschrecken

Da Heuschrecken an die Bodenbeschaffenheit, das Mikroklima, die Raumstruktur und -nutzung gebunden sind, liefern sie wertvolle Aussagen über die Qualität eines Lebensraums (Albrecht et al., 2013). Ein Vergleich zu anderen Arten sowie räumlich-funktionelle Zusammenhänge sind leicht zu schließen, weil Heuschrecken sehr gut untersucht sind (Albrecht et al., 2013). Mithilfe von ihnen lässt sich der naturschutzfachliche Wert einer Fläche sicher feststellen (Albrecht et al., 2013).

Das Monitoring muss mindestens drei Begehungen umfassen (Albrecht et al., 2013). Eine weitere Begehung kann bei regional- und habitatstypischen Arten nötig sein (Albrecht et al., 2013). Zur Erfassung phänologisch früh aktiver Arten sollte eine Begehung zwischen April und Juni

stattfinden (Albrecht et al., 2013). Die zwei weiteren Begehungen sollten daraufhin von Mitte Juni bis Anfang September durchgeführt werden (Albrecht et al., 2013). Je nach Artenaufkommen können auch zwei Begehungen im Frühling oder sogar keine notwendig sein (Albrecht et al., 2013). Die späteren Begehungen müssen darauf angepasst werden (Albrecht et al., 2013). Das Monitoring muss zwischen 10 Uhr und 17 Uhr stattfinden und es darf nicht regnen (Albrecht et al., 2013). Die Temperatur sollte zwar über 16°C liegen, jedoch kann bei einer zu hohen Temperatur auch vor 10 Uhr oder nach 17 Uhr eine Begehung stattfinden (Albrecht et al., 2013). Zudem darf die Windstärke vier nicht überschritten werden (Albrecht et al., 2013). Das Monitoring erfolgt mittels Sichtbeobachtungen, Kescherfang oder Ultraschalldetektor, welcher die Geräusche der Heuschrecken wiedergibt (Albrecht et al., 2013). Die abzusuchenden Strukturen sind Waldränder, Säume, Gebüsche, Hecken, offene Bereiche, Blühwiesen und Altgrasstreifen (Albrecht et al., 2013).

Wildbienen

Auch Wildbienen sind stark vom Mikroklima abhängig und liefern somit wichtige Informationen zur Qualität eines Lebensraumes (Albrecht et al., 2013). Schon eine kleine Änderung des Mikroklimas kann zum Verschwinden einer oder mehrerer Arten führen (Albrecht et al., 2013). Wildbienen benötigen bestimmte Nahrungsquellen, Nistsubstrate und Nestmaterialien (Albrecht et al., 2013). Die Nahrungsquelle und der Nistplatz sollten dabei nur eine geringe Entfernung voneinander haben (Albrecht et al., 2013). In landwirtschaftlich genutzten Gebieten, in Gebieten mittlerer Biotopqualität und in Habitaten mit kleiner Fläche sind sie für die Bewertung eines Gebietes besser geeignet als Heuschrecken oder Tagfalter (Albrecht et al., 2013).

Für die Kartierung von Wildbienen sollte die Fläche 5- bis 7-mal zwischen Mai und August untersucht werden (Albrecht et al., 2013). Bei früher aktiven Arten kann eine ergänzende Begehung zwischen Anfang März und Ende April erfolgen (Albrecht et al., 2013). Während dieser Untersuchungen sollte es sonnig, trocken und windstill sein (Albrecht et al., 2013). Die Wildbienen werden mittels Sichtbeobachtung oder Kescherfang kartiert (Albrecht et al., 2013). Sollte eine Art auf dem Gelände nicht bestimmbar sein, so muss diese gefangen und im Labor bestimmt werden (Albrecht et al., 2013). Es sollten Nahrungsreviere und Nistplätze von Wildbienen untersucht werden (Albrecht et al., 2013). Dies sind unter anderem Hecken, Gehölze, offene Flächen, Blühwiesen und vegetationsarme oder -freie Strukturen (Albrecht et al., 2013).

Tagfalter und Laufkäfer

Die Tagfalterkartierung sollte im Sommer mit fünf Begehungen zwischen Anfang Mai und Mitte August stattfinden (Albrecht et al., 2013). Albrecht et al. gehen von Seite 249 bis 263 ihrer Veröffentlichung auf einzelne Falter ein und beschreiben die bei diesen Arten durchzuführende Kartierung (Albrecht et al., 2013).

Auch bei den Käfern gehen Albrecht et al. in ihrer Veröffentlichung von Seite 265 bis 274 auf einzelne Arten ein (Albrecht et al., 2013). Da Laufkäfer wichtige Informationen zur Beurteilung eines Habitats liefern, wird die Kartierung dieser näher beschrieben (Albrecht et al., 2013). Laufkäfer werden mittels Bodenfallen und Handfang gefangen (Albrecht et al., 2013). Pro Probeflächen sollten 6 bis 8 Fallen aufgestellt werden (Albrecht et al., 2013). Es sollten fünf Fangperioden pro Probefläche mit einer Zeitspanne von jeweils zwei Wochen stattfinden (Albrecht

et al., 2013). Drei Fangperioden sollten zwischen Anfang April bis Ende Juni und zwei von Ende August bis Anfang Oktober durchgeführt werden (Albrecht et al., 2013).

3.2.6 Marketing

Der Ausbau von FF-PVA stößt noch nicht überall in der Gesellschaft auf Akzeptanz (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022). In der Bevölkerung fehlt das bisherige Verständnis, dass FF-PVA biodivers gestaltet sein können (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Im EEG 2023 heißt es, dass Erneuerbare Energien im öffentlichen Interesse liegen (BMWK, 2022). Kommunen können, unabhängig von der Förderung, Vorgaben in Hinblick auf den Naturschutz stellen und somit biodiverse FF-PVA fordern (BMWK, 2022).

Je nachdem, welche Interessengruppe man mit dem Marketing ansprechen möchte, um die Akzeptanz zu steigern und das Wissen der biodiversitätsfördernden FF-PVA zu verbreiten, sind auch verschiedene Maßnahmen notwendig. Die Akzeptanz in der Kommune kann schon bei der Planung einer FF-PVA gestärkt werden. Die Bürger:innen vor Ort sollten transparente Informationen und die Möglichkeit der Einbindung in die Planung bekommen (BUND, NABU, Juli 2021). Die Erfordernisse des Ausbaus sollten verdeutlicht werden. Auch die Kommunikation mit Menschen, die den PV-Ausbau ablehnen, muss stattfinden (Expert:innen-Gespräch Nr. 3, 21. November 2022; Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Da einige Menschen den Ausbau von FF-PVA aus Unwissenheit ablehnen, ist die Aufklärungsarbeit ein wichtiger Faktor, um die Akzeptanz dieser zu erhöhen (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Die Menschen vor Ort müssen das Gefühl bekommen Teil des Projektes zu sein und auch davon profitieren zu können (Expert:innen-Gespräch Nr. 3, 21. November 2022). Doch auch den Stadtwerken, Naturschutzverbänden und Landwirt:innen sollten mehr Möglichkeiten der Beteiligung eingeräumt werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022). Dies kann durch Mitbestimmung oder Mitarbeit erreicht werden (Hietel et al., 2021). Das Angebot der finanziellen Beteiligung der Kommunen an PV-Anlagen kann ebenfalls zu mehr Akzeptanz führen (BMWK, 2022; BUND, NABU, Juli 2021). FF-PVA sollten so attraktiv errichtet werden, dass die Menschen diese Form der Energieerzeugung in ihrer Nähe befürworten (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022). Anlagenführungen und -besichtigungen sollten von Biolog:innen geleitet werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Dies könnte die positiven Aspekte der Biodiversität mehr in den Vordergrund rücken (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022).

Auch bei Menschen außerhalb der Kommune, können solche Führungen einen wichtigen Beitrag leisten, um das Wissen über die Förderung der Biodiversität auf diesen Flächen zu verbreiten. Für Schüler:innen und Student:innen können Exkursionen angeboten werden. In diesen Exkursionen kann zunächst eine Einführung durch den/die Anlagenbetreiber:in oder durch eine/n Biolog:in stattfinden, bei der die Wichtigkeit der erneuerbaren Energien und der Biodiversität erläutert wird. Im Anschluss können die Student:innen und Schüler:innen Aufgaben zur Bewertung des Landschaftsbildes bekommen und mithilfe der Flora Incognita App die Pflanzen auf der Anlage bestimmen. Bei der Bestimmung der Pflanzenarten können

Zusatzinformationen, wie die Geschichte, Gefährdung und Toxizität, mitgegeben werden. Das dient dazu, dass die Schüler:innen und Student:innen einen Bezug zum Alltag, der Ökologie und Nutzbarkeit erhalten. Auch ein Preis für die meisten gefundenen Arten könnte vergeben werden, um diese zu motivieren. Dies kann dazu dienen, dass die Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen sich mit der Biodiversität auseinandersetzen und ihre Erfahrungen auf der Anlage mit ihren Eltern teilen. Eine weitere Möglichkeit stellen Informationstafeln und Aussichtspunkte an den Anlagen dar (Hietel et al., 2021). Diese können im Sinne eines Lehrpfades strukturiert sein. Einzelne Informationstafeln und integrierte Spiele liefern Auskunft über das Projekt, die Gründe der Bauweise, gefundene, geförderte, und gefährdete Arten, das Anlegen der Blühwiesen und Strukturen. Zudem können die Tafeln mit QR-Codes versehen sein und dazu dienen, dass die Besucher:innen weiterführende Informationen oder kleine Kurzfilme ansehen können. Alle Informationen sollten sich um die Themen Biodiversität, Artenschutz und Erneuerbare Energien drehen. Somit kann sich die Bevölkerung inkludiert fühlen, ihr Wissen erweitern und verbreiten. Auch Menschen, die FF-PVA ablehnen, könnten somit schrittweise überzeugt werden. Eine weitere Möglichkeit stellt die öffentliche Diskussion mit Politiker:innen oder allgemein Menschen, die FF-PVA ablehnen, zum Beispiel in Fernsehbeiträgen oder auf Konferenzen, Fachvorträgen oder Ähnlichem, dar (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022; Reinke et al., 2021). Das Wissen über die Möglichkeiten dieser Anlagen würde gleichzeitig gefördert, durch Mundpropaganda weitergegeben und somit in der Gesellschaft verankert werden (Engl et al., 2020). Veranstaltungen, wie der GEO-Tag der Natur sollten weiterhin durchgeführt und noch weiter verbreitet werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Dies kann zum Beispiel durch ein konkretes Anschreiben der umgebenden Universitäten und Behörden sowie durch Veröffentlichungen in Magazinen, Nachrichten und Zeitschriften passieren (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022; Reinke et al., 2021).

Für PR muss mehr Geld investiert werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). In den sozialen Medien können Kooperationen mit Influencer:innen vereinbart werden, welche Aufklärungsarbeit betreiben. Hierdurch können mehr Menschen der jüngeren Bevölkerung mit dem Thema in Kontakt gebracht werden. Doch auch eigene Social-Media-Kanäle der jeweiligen PV-Anlagen bauenden Unternehmen können regelmäßige Beiträge posten, die über Themen des Artenschutzes reden und eine Parallele zu FF-PVA schlagen (Reinke et al., 2021). Ebenso kann ein Blog auf der Website der Unternehmen hilfreich sein. Dort könnten allgemeine und detaillierte Informationen zu Naturschutz, Artenvielfalt, Stromerzeugung und deren Kombination bereitgestellt werden. Einzelne Reiter auf der Website können Informationen für verschiedene Interessengruppen, wie Kommunen, die Öffentlichkeit oder Expert:innen, bereitstellen (Reinke et al., 2021). Auf Interessengruppen abgestimmte Kurzfilme können auf verschiedenen Kanälen veröffentlicht und verbreitet werden (Reinke et al., 2021). Der Inhalt und die Länge sollten je nach Interessengruppe unterschiedlich sein (Reinke et al., 2021). Videos, die sich an die allgemeine Bevölkerung richten, können kurz und emotional sein, wohingegen Videos, die sich an Expert:innen richten, länger und detaillierter sein und mehr Informationen enthalten sollten (Reinke et al., 2021). Interviews von Vertreter:innen wichtiger und bekannter Verbände, wie dem NABU, und anderen Expert:innen wie Biolog:innen können hilfreich bei

der Verbreitung und Glaubwürdigkeit sein (Reinke et al., 2021). Dokumentationen über biodiversitätsfördernde FF-PVA sollten vermehrt produziert und gezeigt werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 1, 17. November 2022).

Zusätzlich wäre eine Zertifizierung der FF-PVA nach verschiedenen Standards und dem entsprechenden Label hilfreich (Expert:innen-Gespräch Nr. 6, 22. Dezember 2022). Dieses Label könnte zu einer Entlastung der Unternehmen führen, die ihre Anlagen am naturverträglichsten gestalten, und dem Artensterben entgegenwirken (Expert:innen-Gespräch Nr. 6, 22. Dezember 2022). Somit könnte der erzeugte Strom mit einem kleinen Aufpreis verkauft werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 6, 22. Dezember 2022). Dadurch würden die Anlagen mit dem höchsten Standard auch die größte Entlastung erhalten (Expert:innen-Gespräch Nr. 6, 22. Dezember 2022). Das eingesetzte Label sollte für alle gelten und es sollten keine weiteren konkurrierenden Labels auf dem deutschen Markt existieren, um Einheitlichkeit zu schaffen (Expert:innen-Gespräch Nr. 6, 22. Dezember 2022). Den Stromkund:innen wäre somit bekannt, welche Zusatzleistungen ihr erneuerbarer Strom zum Umwelt- und Naturschutz beiträgt. Eine Möglichkeit wäre das Zertifikat von EULE. Mit der EULE-Zertifizierung wird ein standort- und anlagenspezifisches Entwicklungskonzept aufgestellt, welches mittels eines Punktesystems bewertet wird (Hietel et al., 2021). Die verschiedenen Maßnahmen werden einzeln nach Fertigstellung, nach zwei und nach fünf Jahren geprüft und bewertet (Hietel et al., 2021). Dabei werden unter anderem das Gelände und die Fauna bewertet sowie das Potential des Standortes betrachtet (Hietel et al., 2021). Die EULE-Zertifizierung soll in Zukunft für alle FF-PVA deutschlandweit standardisiert sein (Hietel et al., 2021). Mittels eines Öko-Cent könnten die Unternehmen mit naturverträglichen und biodiversitätsfördernden Anlagen beim Verkauf ihres Stroms einen extra Cent pro Kilowattstunde erhalten (Hietel et al., 2021). Damit Kund:innen diesen extra Cent pro Kilowattstunde hinnehmen, ist Transparenz und die Unabhängigkeit der Beurteilung der umgesetzten Maßnahmen und des Zustandes auf den FF-PVA wichtig. Die Daten könnten im Internet oder auf Nachfrage der Kund:innen bereitgestellt werden.

3.2.7 Rückbau

FF-PVA werden etwa 20 Jahre gefördert, können aber dennoch weitere fünf bis 10 Jahre oder länger betrieben werden (Hietel et al., 2021; Herden et al., 2009). Meist gibt es bei einer Förderung keine Festsetzung zur Nachnutzung, weswegen diese Anlagen noch weiterbetrieben werden können, wenn die Komponenten die gewünschte Energie erzeugen (Herden et al., 2009). Ansonsten können die defekten Komponenten getauscht werden (Repowering). Beim Rückbau der PV-Anlagen ist auf ähnliche Maßnahmen, wie beim Aufbau der Anlage zu achten, da auch hier der Naturhaushalt beeinträchtigt werden kann. Die Auswirkungen sind ebenfalls von dem Standort, der entwickelten Fläche, dem Boden, den Witterungsverhältnissen, dem Einsatz von Maschinen und weiteren Faktoren abhängig. Durch zu schwere Radfahrzeuge kann es zu Verdichtungen, stofflichen Emissionen und Lärm kommen (Hietel et al., 2021). Der Abbau der oberirdischen Komponenten hat im Vergleich zu den unterirdischen Komponenten nur geringe Auswirkungen auf den Naturhaushalt und die Umwelt (Herden et al., 2009). Die unterirdischen Kabeltrassen müssen freigelegt werden, um die Kabel aus dem Boden zu

entfernen (Herden et al., 2009). Dazu muss der Boden auch hier wieder schichtweise ausgehoben und zwischengelagert werden (Hietel et al., 2021). Bei der Öffnung des Bodens muss auf die richtigen Witterungsverhältnisse geachtet werden. Je nachdem, wie sehr sich die Fläche hin zu extensivem Grünland und der damit einhergehenden Pflanzen- und Tiervielfalt entwickelt hat, sind die Auswirkungen der Umlagerung zu bewerten (Herden et al., 2009). Es ist wichtig, auch hier auf die Brutzeiten der Vögel, die Amphibienwanderungen und andere Arten zu achten. Bestenfalls sollte kein Tier gestört werden. Die Entfernung schwerer Betonfundamente kann ebenfalls zu Beeinträchtigungen der Pflanzen und des Bodens führen (Herden et al., 2009). Angelegte Baustraßen auf der Anlage, die aus Schotter oder Sand bestehen, können, selbst bei einer Trennung mit Geovlies, beim Rückbau zu Verunreinigungen des Oberbodens führen (ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021). Bei dem Rückbau der PV-Module werden gleichzeitig halb- und vollschattige Bereiche entfernt. Abseits der stehengelassenen Strukturen, wie Bäumen oder Hecken, wird die Fläche voll besonnt. Somit kommt es zu einer Veränderung der Lebensbedingungen, für beispielsweise Amphibien, welche die schattigen und feuchten Standorte benötigen. Wird die Anlage nicht weiter genutzt, sollte sie entsorgt werden, da unter anderem die Kabel Schwermetalle und Kunststoffe und die PV-Module Kupfer, Aluminium und Silizium enthalten (Herden et al., 2009). Die Rohstoffe Kupfer, Aluminium, Stahl und Silizium besitzen noch einen Restwert, welcher genutzt werden kann (Herden et al., 2009). Unbeschädigte Module können bei 2ndlifesolar abgegeben werden. Die Module durchlaufen bei 2ndlifesolar eine technische und optische Prüfung (Buhck Gruppe, 2023). Nach bestandener Prüfung werden die intakten Module weiterverkauft und die defekten Module recycelt (Buhck Gruppe, 2023). Da PV-Module unter das Elektro- und Elektronikgesetz fallen, müssen diese recycelt werden (BMJ; BfJ, 2022). Nach § 22 Absatz 1 Elektro- und Elektronikgesetz, muss die Sammelquote dabei 85% betragen und die Recyclingquote 80% (BMJ; BfJ, 2022). Beim klassischen Recycling wird der Aluminiumrahmen von dem restlichen PV-Modul getrennt (Wirth, 2022). Daraufhin werden die Anschlussdose und das Glas vom Rest getrennt (Wirth, 2022). Das Glas, das Kupfer der Kabel und der Aluminiumrahmen werden recycelt und die restlichen Komponenten des PV-Moduls verbrannt (Wirth, 2022). Das junge Unternehmen Solar Materials trennt durch physikalisch-chemische Methoden die einzelnen Komponenten der PV-Module und kann alle Bestandteile des Moduls recyceln (Solar Materials GmbH, 2022). Dieses Verfahren gilt jedoch nur für die am häufigsten auf dem Markt vertretenen Modultypen, die Dickschichtzellen (Solar Materials GmbH, 2022).

Dünnschichtmodule müssen auch zurückgebaut werden, da Cadmium bei einem Brand gasförmig in die Umwelt gelangen kann (Mertens, 2020). Auch Tullur, Selen und Kupfer, welche in Dünnschichtmodulen enthalten sind, können zu Umweltschäden führen (Herden et al., 2009). Ein Rückbau dieser Module nach vollendeter Nutzung ist somit zwingend notwendig (Herden et al., 2009). Cadmium-Tellurid-Dünnschichtmodule bestehen fast ausschließlich aus Glas und nur zu einem sehr geringen Teil aus Cadmium (Kernbaum & Hübner, 2013). Bei den Modulen sind jedoch kaum Recycling Erlöse zu erwarten, die beim Rückbau positiv mit einkalkuliert werden können (Herden et al., 2009). Dennoch gelang es dem Unternehmen First Solar beim Recycling des Cadmium-Tellurid-Dünnschichtmoduls 95% des Cadmiums zurückzugewinnen (Mertens, 2020).

Sollte es beim Rückbau der Anlage zu irreversiblen und nicht vermeidbaren Beeinträchtigungen des Biotops kommen, sind Ausgleichsmaßnahmen vorzunehmen (BMJ; BfJ, 2022). Nicht mehr benötigte Ausgleichsflächen können nach Rückbau der Anlage weiter betrieben und für ein Ökokonto genutzt werden (Hietel et al., 2021).

4 Diskussion

Die Biodiversität auf FF-PVA kann durch richtige Maßnahmen gesteigert werden. Verschiedene Studien weisen bereits darauf hin. Jedoch herrschen noch viele Wissenslücken hinsichtlich der Auswirkungen auf einzelne Biotoptypen und der verschiedenen PV-Typen. Es existieren viele Studien im Bereich der Agri-PV, welche durch die Bauweise der Anlagen, oftmals auf einzelne Obst- und Gemüsesorten ausgerichtet sind. Zudem sind die Anlagen bei Agri-PV-Untersuchungen anders aufgebaut. Die Module sind meistens nachgeführt und haben einen Abstand von mehreren Metern zwischen Modulunterkante und Boden. Die Bedingungen sind somit sehr verschieden und oftmals nicht übertragbar. Es bedarf an mehr Studien, die sich mit den abiotischen und biotischen Auswirkungen von festen monofazialen Dickschichtmodulen beschäftigen. Gerade abiotische Auswirkungen sind nicht ausreichend untersucht.

Die Ergebnisse aus den Kapiteln 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6 und 3.2.7 sind auch auf bestehende Anlagen anwendbar. Habitatstrukturen, wie Totholzhaufen, Steinschüttungen, Nistkästen und Blühstreifen, können auch während des Betriebs errichtet werden. Blühstreifen können auf den Randbereichen der FF-PVA errichtet werden. Der richtige Zeitpunkt muss dennoch beachtet werden. Die Vorgehensweisen für den Aufbau der verschiedenen Strukturen können Kapitel 3.2.2.2 im Abschnitt Biologische Aufwertung und Kapitel 3.2.3.2 entnommen werden.

In dem folgenden ersten Unterkapitel, werden die Ergebnisse der Expert:innen-Gespräche miteinander verglichen. Darauf folgend wird in Kapitel 4.2 auf die Flächenkonkurrenz eingegangen. Kapitel 4.3 beschäftigt sich mit den Potentialen von FF-PVA hinsichtlich des Klimawandels und geht dabei auch auf andere Flächen und Länder ein. Im vorletzten Unterkapitel wird über die größtmöglichen Kosten gesprochen, die bei einer Förderung der Biodiversität auf die Anlagenbetreiber zukommen könnten. Das abschließende Kapitel 4.5 betrachtet weitere technische Möglichkeiten. All diese Möglichkeiten benötigen mehr Forschung und könnten Themen für zukünftige Arbeiten darstellen.

4.1 Vergleich der Ergebnisse aus den Expert:innen-Gesprächen

Alle interviewten Expert:innen besitzen Expertise zum Thema biodiversitätsfördernde FF-PVA, doch in einigen Punkten unterscheiden sich ihre Ansichten. Alle Expert:innen sind der Meinung, dass die für den Anbau von Energiepflanzen genutzte Fläche für FF-PVA freigegeben werden sollte. Da die Fläche für den benötigten Ausbau mit FF-PVA nicht die gesamten 7% der mit Energiepflanzen belegten deutschen Fläche einnehmen würde, könnte der Rest mit Klee gras bepflanzt oder anderweitig genutzt werden. Expert:in 2 ist der Meinung, dass auch die Flächen für Futtermittel in Zukunft teilweise anders genutzt werden könnten.

Zudem sind sich die Expert:innen einig, dass biodiversitätsfördernde Solarparks ein Standard darstellen sollten. Die genutzten Flächen sollten sich mithilfe der Flächenpflege und Technik während des Betriebs in extensives Grünland wandeln. Das größte Aufwertungspotential sehen alle bei Ackerflächen.

Hinsichtlich der Akzeptanz von FF-PVA sind sich alle Expert:innen einig, dass die Chance der Bürgerbeteiligung stärker genutzt werden sollte. Die Menschen sollten sich als Teil des Projektes fühlen und von Anfang an integriert werden. Die Information, dass FF-PVA zum Artenschutz beitragen können, sollte in den Medien stärker verbreitet werden.

Neben all diesen übereinstimmenden Meinungen gibt es auch abweichende Ansichten. Bei Details, was zum Beispiel mit dem Mahdgut geschehen soll, gibt es keine einheitliche Antwort. Es ist jedoch festzuhalten, dass das Mahdgut nicht als Abfall enden sollte. Dies verursacht nur Kosten und ist nicht nachhaltig. Die möglichen Verwendungszwecke könnten Futtermittel, Kompost, Dünger oder Torfersatz sein. Bei dem Einsatz als Futtermittel ist auf die Qualität zu achten. Eine weitere Idee ist, das Mahdgut zu Biogasanlagen zu bringen. Davor müssten die Bakterienkulturen der Biogasanlagen darauf angepasst werden. Es muss zwar eine Vergleichbarkeit der Monitorings geschaffen werden, zum derzeitigen Zeitpunkt weiß man aber nicht wie. Einheitliche Indikatoren sind aufgrund der unterschiedlichen Standortgegebenheiten schwer bis nicht möglich. Als Lösung könnte man vorerst alle Monitoringdaten der Unternehmen sammeln und zentral auswerten. Damit würde wenigstens eine Vergleichbarkeit geschaffen werden. Einzelne Unternehmen könnten die Befürchtung haben, dass ihre Daten missinterpretiert werden und sie somit ins falsche Licht gerückt werden. Eine Anonymisierung der Daten wäre deshalb sinnvoll.

Auch bei der Frage der Förderung der Biodiversität neben Schnellstraßen gehen die Meinungen der Expert:innen auseinander. Expert:in 2 und 3 sprechen sich für eine Förderung der Biodiversität an solchen Standorten aus. Wichtig ist ihnen, dass die Landschaft nicht weiter zerschnitten wird. Die Tiere sollen weiterhin die Möglichkeit haben die Straße überqueren zu können und ihre Wanderrouten nicht genommen werden. Expert:in 1 vertritt dagegen die Meinung, dass eine Förderung dort nicht stattfinden sollte, da diese Flächen durch die Belastung mit Feinstaub, Lärm, Abgasen, Abrieb und Fahrverkehr keinen guten Lebensraum darstellen. Laut Expert:in 1 und 4 sollten FF-PVA neben Schnellstraßen mit einem geringen Reihenabstand gebaut werden. Expert:in 4 weist jedoch darauf hin, dass bei einem engen Reihenabstand Amphibien gefördert werden könnten. Somit ist dieses Thema nicht einheitlich zu beantworten.

In Hinblick auf die benötigte Fläche für den Ausbau an FF-PVA zum Erreichen der Klimaneutralität, gibt es ebenfalls unterschiedlichen Meinungen. Expert:in 6 spricht von einer Inanspruchnahme der landwirtschaftlichen Fläche von einem Prozent. Expert:in 4 sagt, dass etwa zwei Prozent der landwirtschaftlichen Fläche benötigt werden. Expert:in 5 geht von etwa 250.000 ha und somit 1,5% der landwirtschaftlichen Fläche aus.

4.2 Flächennutzung in Konkurrenz zur Landwirtschaft

Badelt et al. führten in Niedersachsen Interviews durch. Bei diesen wurde festgestellt, dass FF-PVA in den ländlichen Gebieten am ehesten von Landbesitzer:innen und Umweltschützer:innen abgelehnt werden (Badelt et al., 2020). Die befragten Personen gehen davon aus, dass die für FF-PVA genutzten Flächen der Landwirtschaft entzogen werden und somit ein höherer

Flächendruck für Landwirt:innen entsteht (Badelt et al., 2020). Die Agrarreform 2023 legt fest, dass vier Prozent der deutschen Ackerfläche stillgelegt werden sollen (Die Bundesregierung, 2022). Die Stilllegung wurde zwar für 2023 ausgesetzt, wird dennoch zukünftig auf die Landwirt:innen zukommen (Die Bundesregierung, 2022). Im Gegensatz dazu werden für den Ausbau an FF-PVA bis 2045 nur 1,0 bis 2,3% der landwirtschaftlichen Fläche benötigt (Quaschnig et al., 2022). Diese Prozentzahl ist abhängig von dem Anteil an PV-Dachanlagen. Je größer der Anteil an Dachanlagen ist, desto geringer ist die Flächeninanspruchnahme für FF-PVA. Viele Expert:innen vertreten die Ansicht, dass der erforderliche Ausbau nicht in der benötigten Geschwindigkeit abgeschlossen werden, sollten nur Dachanlagen und versiegelten Flächen genutzt werden. Deswegen ist der Ausbau von FF-PVA notwendig. Bei der Umfrage von Badelt et al. wird von einer geringen Akzeptanz von FF-PVA auf unbelasteten Flächen berichtet (Badelt et al., 2020). Die Menschen haben die Befürchtung, dass der Ausbau an FF-PVA ungebremst stattfindet und somit die Landschaft verunstaltet (Badelt et al., 2020). Expert:in 5 berichtete ebenfalls von Gesprächen mit Menschen, die von einer Flächeninanspruchnahme von 25% bis 50% ausgegangen sind (Expert:innen-Gespräch Nr. 5, 20. Dezember 2022). Zusätzlich machen sich die Menschen Sorgen, dass Flächen durch FF-PVA stark versiegelt werden und „geschotterter Untergrund“ eingesetzt wird (Badelt et al., 2020). Diese Fehleinschätzungen führen dazu, dass FF-PVA als umweltschädigend und nicht artenfördernd kategorisiert werden (Badelt et al., 2020). Wie bei dieser Arbeit umfangreich beschrieben, können FF-PVA, bei einer artgerechten Bauweise und Pflege, den ökologischen Wert einer Fläche erhöhen. Sie können Trittsteinbiotope sein und sowohl Tieren als auch Pflanzen, die auf landwirtschaftlichen Flächen keinen Lebensraum finden, eben diesen geben. Da eine ökologische Aufwertung der Fläche erfolgt, können auch gefährdete Pflanzen und Tiere einen Lebensraum auf der Fläche finden. Das Braunkehlchen, welches in Europa zwischen 1980 und 2021 einen Rückgang von 90% erfahren hat, kommt auf extensiv gepflegten Grünlandflächen vor. Ebenso hat die Feldlerche, ein typischer Vogel der Landwirtschaft, einen Verlust von 58% von 1980 bis 2021 in Europa zu verzeichnen (PECBMS, 2022). Da die Feldlerche auf den intensiv bewirtschafteten Flächen wenig bis keine Nahrung mehr findet, trifft man diese auch auf FF-PVA an. Säugetiere, besonders kleine Säugetiere, können auf die Anlage gelangen, da der die FF-PVA umgebende Zaun keine Barriere für diese darstellt. Bei der Umfrage von Badelt et al. wird auch die Überwindbarkeit des Zaunes für Säugetiere thematisiert. Die Menschen gehen davon aus, dass Säugetiere durch den Zaun von der FF-PVA ausgeschlossen werden. Doch gerade das große Aufkommen von Mäusen zieht Greifvögel auf die Anlage, die auf den Zäunen und Modulen sitzen und auf ihre Beute warten. Die Vorurteile und Fehlannahmen bezüglich des Naturschutzes auf FF-PVA müssen mithilfe eines guten Marketings beseitigt werden. Infolgedessen kann der Ausbau gesteigert werden.

Ein Großteil der landwirtschaftlichen Fläche wird nicht für Nahrung für den Menschen, sondern für die Produktion von Futtermittel (60%) und Energiepflanzen (14%) genutzt. Verglichen mit den benötigten 1,0 bis 2,3% sind 14% bzw. 60% hoch. Der Fleischkonsum, die -produktion, der -import und -export nimmt in Deutschland ab. Die benötigte Fläche für Futtermittel sollte damit einhergehend ebenfalls abnehmen. Somit wäre hier Fläche für FF-PVA geschaffen. Die Belegung von Flächen für Energiepflanzen wäre ebenfalls sinnvoll. FF-PVA haben einen

deutlich geringeren Flächenverbrauch als Energiepflanzen. Bei einem Einsatz von Mais als Bioenergie wird ca. 40-mal weniger Strom pro Hektar produziert als bei einer FF-PVA. Mais ist außerdem ein Humuszehrer und kann zu Erosionen führen. FF-PVA können hingegen die Artenvielfalt steigern, vor Erosionen schützen und den Humusgehalt im Boden erhöhen. Mit all diesen Fakten und Zahlen sollte erkannt werden, dass die Flächeninanspruchnahme von FF-PVA vergleichsweise gering ist. Sie stellt keinen Verlust für Landwirt:innen dar. Sollten Landwirte dennoch Probleme mit einer Abgabe ihres Landes haben, so wäre Agri-PV eine Alternative. Dabei werden Landwirtschaft und PV miteinander kombiniert. Das Fraunhofer ISE hatte 2017 den Weizenanbau mit PV verknüpft und kam dabei zu einer Minderung der Strom- und Weizenausbeute um jeweils 20% (Trommsdorff, 2021). Bei einem Anbau von Kartoffeln im Jahr 2018 war die Ausbeute dieser um 3% erhöht und des Stroms um 17% vermindert (Trommsdorff et al., 2022). Aufgrund der starken Hitze profitierten die Kartoffeln von der Beschattung. Zudem können Agri-PV-Anlagen vor Hagel und Frost schützen (Trommsdorff et al., 2022). Weitere Informationen sind in dem Leitfaden des Fraunhofer ISE „Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende“ zu finden.

Bei der Fläche für Energiepflanzen kann, abgesehen vom Stromsektor, noch der Wärme- und Verkehrssektor ein Thema sein. Biomasse hat im Jahr 2021 über die Hälfte der erneuerbaren Energien ausgemacht. Davon wurden 37% für die Wärmeherzeugung und 7% als Biokraftstoffe verwendet. Biomasse und Biogas sind jedoch nicht zwingend notwendig. Durch umfassende Gebäudesanierungen könnte Wärme eingespart und der restliche Bedarf mit Methan, Wasserstoff, Geo- und Solarthermie und regenerativen Strom gedeckt werden (UBA, 2022). Ebenso wären Wärmepumpen eine Möglichkeit. Der Land-, Schiff- und Flugverkehr könnte mittels eines Mixes aus erneuerbarem Strom und flüssigem Biokraftstoff nachhaltig gestaltet werden. Der Biokraftstoff könnte dabei aus Bioabfällen und Grünschnitt hergestellt werden. Hierbei könnte das Mahdgut von FF-PVA genutzt werden.

Es lässt sich feststellen, dass die benötigten Flächen für einen Ausbau an FF-PVA hin zur Klimaneutralität gering sind und keine Konkurrenz darstellen. Der benötigte Flächenanteil ist gering, der erzeugte Strom ist nachhaltig und kostengünstig und die Biodiversität kann gefördert werden. Somit kann eine FF-PVA gleichzeitig zum Naturschutz beitragen.

4.3 Potentiale hinsichtlich des Klimawandels

Der Klimawandel und die damit einhergehende Erhöhung der Oberflächentemperatur der Erde ist mitverantwortlich für den Artenverlust (IPCC, 2022). Jedes zehntel Grad Erhöhung der globalen Temperatur verstärkt direkt den Artenverlust. Im Jahr 2022 lag der mittlere globale Anstieg der Oberflächentemperatur bei 1,2°C. Ohne einen schnellen Ausbau an erneuerbaren Energien kann der Anstieg auf maximal 2°C bis 2100 nicht eingehalten werden. Das kann zu einem Anstieg an Dürren, Fluten und Hitzewellen führen (IPCC, 2022). Durch diese Extremwetter können Erosionen zunehmen und der Grundwasserspiegel sinken (IPCC, 2022).

Schon jetzt sind die Jahreszeiten in Deutschland durch den Klimawandel verschoben (UBA, 2023). Der phänologische Frühling beginnt zwei Wochen früher (UBA, 2023). Blätter treiben

früher aus, Zugvögel kommen eher nach Deutschland zurück und Brutvögel brüten schon 6 bis 14 Tage eher als noch 1983 (UBA, 2023). Ebenso fliegen Zugvögel, wie die Feldlerche, im Herbst verzögert los, da die Temperaturen länger mild sind (UBA, 2023). Da viele Langstreckenzieher später als Kurzstreckenzieher nach Deutschland zurückkehren, finden sie weniger Brutmöglichkeiten und Nahrung vor (UBA, 2023). Schmetterlinge und laichende Amphibien werden ebenso früher gesichtet (UBA, 2023). Der frühzeitige phänologische Frühling kann dazu führen, dass wichtige Interaktionen zwischen Organismen zeitlich entkoppelt werden (UBA, 2023). Somit kann es passieren, dass es zu Nahrungsempässen kommt (UBA, 2023). Beispielsweise könnten Brutvögel, wie der Trauerschnäpper, keine Raupen mehr finden, da sich diese zum Zeitpunkt des Schlüpfens der Jungtiere schon verpuppt haben (UBA, 2023). Bei einer Studie in den USA war der Blütezeitpunkt unter den PV-Modulen um zwei Wochen verzögert. Der Artenreichtum und die Vielfalt waren zwar nicht sehr gut, jedoch könnten sich diese in Hinblick auf den Klimawandel verbessern. Ein enger Reihenabstand bei erhöhten Temperaturen bzw. Hitzeperioden könnte dafür sorgen, dass die Pflanzen unter den Modulen geschützt sind und diese nicht zwei Wochen früher blühen. In wärmeren Ländern und Regionen könnte ein enger Reihenabstand ebenso positive Auswirkungen auf die Flora und Fauna haben. In Spanien und Südfrankreich kann es sehr heiß werden, weswegen sich voll- und halbschattige Bereiche auf Pflanzen und Tiere positiv auswirken könnten. Da die Bereiche unter den Modulen von FF-PVA tagsüber kälter und feuchter sind, könnten die Pflanzen dort vor der Hitze geschützt werden. Zudem kann, wie in Kapitel 3.2.2.2 beschrieben, ein Wassermanagementsystem installiert werden. Mit diesem wäre es möglich Wassererosionen zu vermeiden und das gesammelte Wasser für weitere Flächenbewässerungen zu nutzen. Laut Statista gab es in Deutschland im Jahr 2019 ein mittleres bis hohes Risiko für Grundwassermangel (Janson, 2022). Durch die Erhöhung der mittleren globalen Oberflächentemperatur werden die Grundwasserbestände immer geringer (IPCC, 2022). Durch FF-PVA kann der Grundwasserstand aufgestockt werden. Zudem wird das Grundwasser durch FF-PVA entlastet, da Pflanzenschutzmittel- und Nitrateinträge entfallen. So können FF-PVA eine Maßnahme sein, um der drohenden Trinkwasserknappheit entgegenzuwirken.

Obwohl in dieser Arbeit meist von der Bedeutung großer Reihenabstände die Rede ist, können enge Reihenabstände Amphibien wichtigen Schatten schenken. Diese benötigen feuchte und kühle Orte. Bei den auftretenden Hitzeperioden, die durch den voranschreitenden Klimawandel an Intensität zunehmen, können FF-PVA mit engen Reihenabständen ihnen genau diese Lebensräume bieten.

Abgesehen von landwirtschaftlichen Flächen bieten sich künstlich angelegte oligotrophe Seen oder degradierte Moore an. Auf künstlichen oligotrophen Seen, wie Bergbaufolgeseen oder Kiesgruben, könnten schwimmende Photovoltaikanlagen installiert werden, wobei der Uferbereich freigehalten werden sollte (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Die künstlich angelegten Seen sind nährstoffarm, kalt, nicht sehr tief und haben kaum einen Fischbesatz (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Auch diese erwärmen sich durch den Klimawandel, weshalb eine schwimmende PV-Anlage dem entgegenwirken könnte (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Das ist jedoch nur eine Idee und muss zunächst noch erforscht werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022).

Auf degradierten Mooren könnten FF-PVA bei einem engen Bau die Verdunstungsrate verringern (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Zuvor sollte das Moor wieder vernässt werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Sollte eine Wiedervernässung nicht möglich scheinen, weil in der Nähe eine landwirtschaftliche Fläche ist, so kann um das zu vernässende Moor ein Folienzaun gelegt werden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Es sollten bifaziale Module genutzt und auf das Material geachtet werden, da verschiedene Materialien von der dort vorkommenden Säure angegriffen werden könnten (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Auch das muss noch weiter erforscht werden und ist nur eine Idee (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022).

Alles in allem können FF-PVA dazu beitragen den Auswirkungen des Klimawandels entgegenzuwirken. Flora und Fauna können durch FF-PVA einen Lebensraum erhalten, der für diese immer seltener wird. Das Grundwasser kann aufgestockt und entlastet werden und die Kohlenstoffspeicherfähigkeit steigt. Ebenso werden Erosionen vermindert und damit einhergehend Oberflächengewässer entlastet. Nicht nur durch den geringen CO₂-Äquivalenten des Solarstroms, sondern auch durch die Bedingungen einer biodiversitätsfördernden Anlage kann die Umwelt geschont und die mittlere globale Oberflächentemperatur auf 2°C beschränkt werden.

4.4 Kosten

Trotz all der positiven Eigenschaften einer Förderung der Biodiversität auf FF-PVA, spielen die Kosten eine wichtige Rolle. Die größten Kosten entstehen bei der Flächenpflege. Die Kosten dafür unterscheiden sich nach Methode und Unternehmen. Eine Flächenpflege, bei der gemulcht wird, kostet etwa 345 €/ha (Enerparc AG). Bei einer Pflege, die zwei- bis dreimal durchgeführt werden muss, belaufen sich die Kosten im Jahr auf 690 €/ha bis 1035 €/ha. Da beim Mulchen das Mahdgut liegen bleibt und dem Boden Nährstoffe zugeführt werden, entsteht eine hohe und schnell wachsende Vegetation (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Deswegen wird bei der Berechnung mit einem Schnitt gerechnet, der dreimal im Jahr durchgeführt werden muss. So summieren sich die Kosten auf 1035 €/ha im Jahr.

Bei einer Mahd mit Mahdgutaufnahme kommen extra Kosten von 400 €/ha für das Aufsammeln des Mahdguts hinzu, da es arbeits- und zeitaufwendig ist (Enerparc AG). Da der Boden bei einer Entfernung des Mahdguts aushagert, entsteht weniger Biomasse und die Flächenpflege muss seltener stattfinden (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Bei einer zweimal im Jahr durchgeführten Mahd, würden sich die Kosten auf 1490 €/ha im Jahr summieren. Da die Biomasse bei Nährstoffentzug abnimmt, könnten die Kosten im Laufe der Jahre sinken. Immer weniger Biomasse muss aufgesammelt werden, weswegen der Arbeitsaufwand abnimmt.

Bei einer Schafbeweidung belaufen sich Kosten auf mindestens 300 €/ha (Tautenhahn et al., 2017). Ersetzt man die erste oder zweite Mahd durch Schafbeweidung, würden sich die Kosten auf 1045 €/ha reduzieren. Auch hier ist darauf zu achten, dass die Kosten durch den Nährstoffentzug im Laufe der Jahre sinken werden.

Das zusätzliche Mahdgut könnte weiterverkauft, kompostiert oder zu Futtermittel verarbeitet werden. Ein Verkauf an Biogasanlagen würde die Kosten zusätzlich mindern. Derzeit ist dies noch nicht möglich, aber könnte in Zukunft eine Alternative darstellen. Die Kosten der Abräumung würden somit gesenkt werden.

Bei einem vollständigen Ersatz der Mahd durch eine Schafbeweidung, reduzieren sich die Kosten auf etwa 600 €/ha. Das wäre die günstigste Form der Flächenpflege.

Auch die Bauweise kann auf den ersten Blick zu Gewinnverlusten führen. Bei gleicher Fläche produzieren FF-PVA mit einem großen Reihenabstand weniger Strom als Anlagen mit kleinerem. Reihenabstände von 2,1 bis 2,3 Metern sind zu klein, um die Biodiversität zu fördern, aber trotz Verschattung sehr wirtschaftlich (Enerparc AG). Ein größerer Reihenabstand fördert die Biodiversität, produziert dafür weniger Strom und somit verdient das Unternehmen weniger Geld. Bei einer korrekten Ausführung der Maßnahmen kann es dazu kommen, dass alle Kompensationsmaßnahmen bereits auf der Fläche durchgeführt werden und somit keine weitere Fläche als Kompensationsmaßnahme aufgewertet werden muss (Expert:innen-Gespräch Nr. 4, 22. November 2022). Somit kann das Unternehmen hier Kosten sparen. Die Akzeptanz der Bürger:innen kann durch biodiversitätsfördernde Maßnahmen auf FF-PVA gesteigert werden. Somit könnten durch diese Maßnahmen und die offene Kommunikation mehr Kommunen einem Ausbau zustimmen, die Unternehmen mehr Flächen erlangen und damit die Kosten ausgleichen.

4.5 Technische Möglichkeiten

In Hinblick auf die Technik gibt es derzeit viele Möglichkeiten, die in Studien untersucht werden sollten. Um die klassischen monofazialen Dick- und Dünnschichtzellen herum entwickelt sich der Markt stetig weiter. Semitransparente bifaziale Module können, in Bezug auf die Förderung der Biodiversität, eine wichtige Rolle spielen, da sie Licht auf den Boden durchscheinen lassen. Somit könnte sich unter den Modulen auch eine typische Vegetation des artenreichen Extensivgrünlandes und nicht eine waldähnliche Vegetation, wie in Nemsdorf-Göhrendorf, entwickeln. Zusätzlich wäre ein Abstand zwischen den einzelnen Modulen in einer Modulreihe wichtig, damit der Regen unter die Modulreihen gelangen kann. Da der Ertrag bei bifazialen Modulen zusammen mit der Albedo steigt, wäre unter den Modulen bzw. auf der Fläche eine Blühwiese mit weißen Blüten aus Regiosaatgut eine Option. Inwiefern und ob der Ertrag dadurch gesteigert wird, muss durch Studien untersucht werden. Zusätzlich muss geklärt werden, ob und in welchem Ausmaß die Biodiversität einen Gewinn daraus ziehen kann.

Eine weitere zu betrachtende Möglichkeit sind nachgeführte Anlagen. Durch die Nachführung der Module ist die dauerhaft beschattete Fläche geringer als bei fixierten Anlagen. Dadurch kann mehr Sonnenlicht und Niederschlag unter die Module gelangen. Trackingsysteme, die sich nicht an dem Stand der Sonne orientieren, sondern an den Lichtbedürfnissen von Pflanzen, könnten zu diesem Thema interessant sein. Backtracking, welches eine gegenseitige Verschattung der Modulreihen bei niedrigem Sonnenstand verhindert, wäre ebenfalls eine weitere zu betrachtende Möglichkeit der nachgeführten Anlagen (Albuquerque et al., 2015). Zu

den genannten Varianten müssen mehr Studien durchgeführt werden, um herauszufinden wie groß der Einfluss ist, welche Tiere davon profitieren, welche Pflanzen sich ausbilden und wie wirtschaftlich diese Varianten sind. Gerade Backtracking, das eine zu starke Verschattung der Fläche zwischen den Modulreihen verhindern könnte, sollte näher betrachtet werden.

Die Aufständungen und das Konzept von Next2sun stellen eine weitere interessante Methode der Biodiversitätsförderung dar. Es existieren zwar schon Monitorings, dennoch bedarf es an mehr Studien. Diese Technik könnte eher in der Landwirtschaft, also als Agri-PV, von Nutzen sein, da durch die vertikale Aufstellung der Flächenbedarf pro produzierter kWh größer

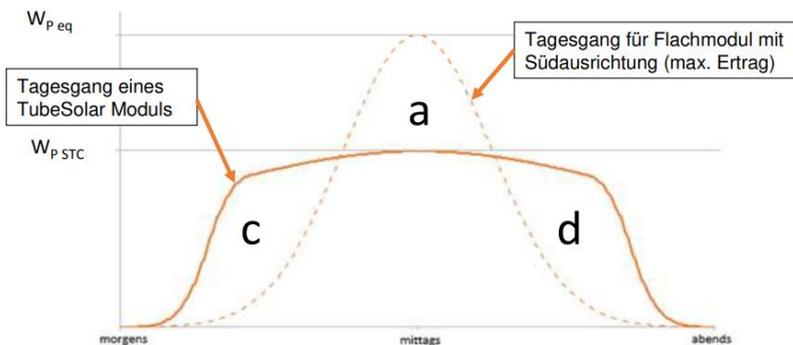


Abbildung 18: Vergleich des Modulertrags im Tagesverlauf von festen Modulen in Südausrichtung und den Modulen von TubeSolar (TubeSolar AG, 2020)

ist. Auch das Konzept von TubeSolar könnte, in Hinblick auf die Verbindung von nachhaltiger Energieerzeugung und Naturschutz, zukünftig interessant werden. Durch die runde Oberfläche kann, anders als bei fester Südausrichtung, auch morgens und abends Energie produziert werden, wie in Abbildung 18 zu sehen ist. Der Abstand zwischen den einzelnen Glasröhren ermöglicht, dass Niederschlag und Sonne gleichmäßig auf den Boden gelangen können. Die Stahlseilkonstruktion, die die Module hält, ist eher auf Agri-PV zugeschnitten. Die Module, die nur etwa 120 Wp erzeugen, sind für den derzeitigen reinen Energiemarkt nicht geschaffen. Das Unternehmen und die Idee sind noch sehr neu und sollten weiterentwickelt werden, könnten dennoch hinsichtlich einer Steigerung der Biodiversität auf FF-PVA interessant sein. Es bedarf auch hier an Studien.

Generell sollte sich die Modultechnik dahingehend entwickeln, dass weniger Schadstoffe eingesetzt werden, die bei einer Beschädigung entweichen können. Die Planung der Anlage sollte



Abbildung 19: Satellitenbild einer Freiflächen-Photovoltaikanlage der Enerparc AG (Enerparc AG)

sich nach den, auf der Anlage vorkommenden, Tieren richten. Bei Amphibien können die Reihenabstände geringgehalten werden, bei Brutvögeln sollten sie jedoch groß sein. Eine Kombination dieser Bauweisen ist möglich, wenn Modulreihen mit engen Abständen in einzelne Cluster aufgeteilt werden und zwischen den Clustern breite Korridore von über 10 Metern haben, in welchen die Brutvögel nisten können. Dies wurde bei einer Anlage der Enerparc AG bereits umgesetzt, wie in Abbildung 19 zu sehen ist. Inwieweit sich die Biodiversität durch diese Bauweise steigert, muss durch Monitorings ermittelt werden.

Die FF-PVA sollten, wenn möglich nach Förderungsende nicht abgebaut werden. Defekte Module sollten ausgetauscht werden, um das entstandene Biotop nicht zu schädigen.

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist eine unerlässliche Maßnahme, um Klimaneutralität zu erreichen. PV-Anlagen haben dabei ein großes Potential und sind wichtig, um die Energiewende zu schaffen. Doch auch für den Naturschutz und die Steigerung der Biodiversität sind FF-PVA ein bedeutendes Mittel. Da die Förderung von Biogasanlagen in den kommenden Jahren ausläuft, stellen die, für den Anbau von Energiepflanzen, genutzten Flächen ein großes Potential für den Ausbau von FF-PVA dar. Das extensive Grünland, das für Energiepflanzen umgebrochen wurde, kann wiederhergestellt werden. Extensives Grünland zählt zu den artenreichsten Biotopen Mitteleuropas und beherbergt 52% des Artenbestandes Deutschlands. Mit FF-PVA kann dem Artensterben entgegengewirkt und die Lebensgrundlage sowie Ernährungssicherung bewahrt werden. Eine Flächenkonkurrenz wird nicht stattfinden, da der benötigte Flächenanteil der landwirtschaftlichen Fläche zwischen 1% und 2,3% liegt. Der Ausbau an PV muss sehr schnell stattfinden, um die Ziele des Pariser Klimaabkommens erreichen zu können. Dafür bedarf es an eben diesen Flächen aus der Landwirtschaft und einem Zuwachs von Fachpersonal. Nicht nur durch erneuerbare Energien an sich kann dem Klimawandel entgegenwirkt werden, sondern auch durch die Wiederherstellung von Kohlenstoffsenken und die Nutzung der Potentiale der verschiedenen beschatteten und besonnten Zonen.

Im ersten Ergebnisteil dieser Arbeit werden die verschiedenen Auswirkungen beschrieben. In Abhängigkeit von der Bauweise, der Errichtung und des Betriebs der FF-PVA, kann es zu unterschiedlichen Auswirkungen auf die biotischen und abiotischen Umweltfaktoren kommen. Letztendlich ist aber festzuhalten, dass FF-PVA, bei einer Entwicklung, hin zu einer extensiven Grünlandfläche, zu einer Aufwertung der Fläche führen. FF-PVA bieten, durch die voll-, halb-, beschatteten und besonnten Bereiche, Habitate für verschiedene Arten, von denen einige sogar als gefährdet gelten. Durch diese Aufwertung kann es dazu kommen, dass keine Kompensationsmaßnahmen auf externen Flächen durchgeführt werden müssen. Im Bereich der Auswirkungen auf die Biodiversität gibt es dennoch Kenntnislücken. Eine Möglichkeit, um Kenntnislücken innerhalb eines Unternehmens und den mit dem Unternehmen im Zusammenhang stehenden Vertragspartner:innen zu mindern, wären Schulungen mit ergänzenden Videos. Dabei sollten erst einzelne Maßnahmen beschrieben werden, die zu keiner Förderung der Biodiversität führen. Danach sollten Auswirkungen vorgestellt werden, die aufzeigen, was nachhaltige Maßnahmen für den Erhalt der Biodiversität leisten können. Die Positivbeispiele verankern sich dabei stärker im Gedächtnis, da sie in der zweiten Hälfte stattfinden und somit als letztes gesehen werden. Die Schulungen sollten auf die einzelnen Personengruppen zugeschnitten sein. Projektentwickler:innen und Planer:innen im Unternehmen sollten zu allen Themenfeldern Informationen erhalten. Dabei sind beispielsweise die Standortwahl, die Beschaffenheit des Bodens und Bodentypen, der besonnte Streifen und die Wahl der zu planenden Strukturen essenziell. Die beim Bau beteiligten Personen sollten bei der Schulung erfahren, welche Auswirkungen bestimmte Tätigkeiten haben. Die Arbeiter:innen sollten nachvollziehen können, wieso sie beispielsweise die einzelnen Bodenschichten trennen müssen und welcher Nutzen sich daraus ziehen kann, Bodenmatten zu verwenden. Die Schulung von Flächenpfleger:innen sollte sich primär auf die Pflegemaßnahmen und ihre Auswirkungen

konzentrieren. Auch hier können diese verstehen, wieso das Stehenlassen von Altgrasstreifen wertvoll ist und warum ein Balkenmäher besser geeignet ist als ein Mulchgerät.

Im zweiten Ergebnisteil dieser Arbeit werden die verschiedenen Aspekte näher beleuchtet, die für eine Förderung der Biodiversität auf FF-PVA beachtet werden sollten. In den genutzten Leitfäden werden die zu beachtenden Maßnahmen grob beschrieben. Diese Bachelorarbeit erläutert diese Maßnahmen weiter im Detail. Es stellt sich heraus, dass die durchzuführenden Maßnahmen stark vom Standort und den dort vorherrschenden Gegebenheiten abhängig sind. Da die Natur Schwankungen unterliegt, ist nicht jede Maßnahme gleich durchführbar oder erfolgreich. Um die Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität für EPCC Unternehmen zu ermitteln und kurz darzustellen, könnte ein Tool erstellt werden, in welches man Daten, wie Standort, Bodenart, Bodenqualität, Biotoptyp, vorkommende Arten und Zielarten, einträgt. Durch Auswählen der Parameter könnten Checklisten erstellt werden. Bei der Standortwahl wären Punkte wie das Landschaftsbild, dessen Schönheit, die Kommunikation mit der Kommune und Naturschützern wichtig. Bei der Planung könnten auf Zielarten abgestimmte Checklisten für Strukturen ausgegeben werden. Der Grund der jeweiligen Struktur und Angaben zur Ausbringung sollten in einem Hinweispapier beigefügt sein. Zudem können Aussagen zum Reihenabstand getroffen werden, da bei Amphibien ein engerer Reihenabstand fördernd ist, wohingegen bei Vogelarten des Offenlandes ein großer Reihenabstand, bzw. besonnter Streifen wichtig ist. Das Tool zur Berechnung des besonnten Streifens kann Hilfestellung leisten. Bei der Errichtung sind die zu verwendenden Geräte mit Hinweisen zur Anwendung unter verschiedenen Witterungsbedingungen notwendig. Bauzeiten sollten mit stattzufindenden Vergärungsmaßnahmen und deren Einsatzzeiten ausgegeben werden. Des Weiteren sollte immer ein Hinweispapier mit Problempflanzen und deren Umgang beigefügt sein. Aussagekräftige Bilder sind hilfreich, damit sich beispielsweise niemand an dem Riesen-Bärenklau verletzt. Für den Betrieb muss eine Checkliste mit den zu verwendenden Geräten und Pflegemaßnahmen beschrieben werden. Es ist wichtig die verschiedenen Pflegemaßnahmen im Layout der Anlage einzuzeichnen und Pfleger:innen zu schulen. Beim Monitoring sollte mit den durchführenden Biolog:innen abgesprochen werden, dass sich diese an das Forschungsprogramm Straßenwesen FE 02.0332/2011/LRB der Bundesanstalt für Straßenwesen von 2013 halten. Somit kann Vergleichbarkeit geschaffen werden. Die Anzahl der durchzuführenden Monitorings während des Betriebs können ebenfalls in einer Checkliste festgehalten werden.

Derzeit bedarf es mehr Studien in puncto Anlagenplanung. Viele Studien beschäftigten sich nur mit den Auswirkungen von Agri-PV Maßnahmen, welche nicht die gleichen Bedingungen schaffen, wie sie rein industrielle FF-PVA haben. Die verschiedenen PV-Modultypen sollten auch mehr erforscht werden. Nur so kann es gelingen die bereits bestehenden Potentiale voll auszuschöpfen. Entsprechend kann es passieren, dass Reihenabstände nicht mehr so wichtig sind, wie von Peschel et al. beschrieben. Bisher scheint der Reihenabstand einer der wichtigsten limitierenden Faktoren für die Förderung der Biodiversität auf FF-PVA zu sein. Mithilfe von bifazialen Modulen und nachgeführten Systemen könnte dieser Faktor an Bedeutung verlieren und keine so große wirtschaftliche Hürde darstellen. Nichtsdestotrotz kann bis dahin die Berechnung des besonnten Streifens, abhängig von Standort und Bauweise, wichtig sein. Diese Berechnung wurde im zweiten Teil der Ergebnisse vorgestellt und sollte noch weiter ausgebaut

werden. Der Azimut sollte betrachtet werden und mittels einer Programmierung ebenfalls der Sonnenstand bzw. mögliche Schattenwurf von Mitte April bis Mitte September zu jeder Stunde des Tages. Folglich kann für jede neue FF-PVA der Reihenabstand im Detail ermittelt werden.

Neben der Forschung und Weiterentwicklung hilfreicher Tools, ist die Zusammenarbeit und der Austausch zwischen einzelnen Projektierer:innen wichtig. Da bereits viele Monitoringberichte von verschiedenen EPCC Unternehmen der PV-Branche existieren, könnten mithilfe dieser Berichte die Auswirkungen von FF-PVA in Abhängigkeit der Anlagenplanung und des Standorts dargestellt werden.

Eine weitere wichtige Folge der Förderung der Biodiversität von FF-PVA ist das gesteigerte Image eben dieser. Mithilfe der umgesetzten Maßnahmen kommt es zu einer Kombination aus Klimaschutz und Förderung der Biodiversität. Die positiven Folgen eben dieser Anlagen können in Kommunen beschrieben werden und somit mehr Flächen für FF-PVA freigegeben werden. Die Akzeptanz der Anlagen kann gesteigert werden und der naturverträgliche Ausbau schneller und großflächiger erfolgen. Somit nähert man sich der Klimaneutralität und leistet einen Beitrag zur Einhaltung der Aichi-Biodiversitätsziele bis zum Jahr 2030.

Literaturverzeichnis

Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., kein Datum *Trockenmauern – Oasen für Zauneidechsen*. [Online]

Available at: <https://www.lbv.de/ratgeber/lebensraum-garten/trockenmauern/>

[Zugriff am 12 01 2023].

VDLUFA, 2019. *Zuordnung von Bodenartengruppen der Düngung nach VDLUFA zu den Bodenartenuntergruppen nach KA 5*. [Online]

Available at: [https://llg.sachsen-](https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/pfl_ernaehr_duengung/Richtwerte/2019_rw_tab16.pdf)

[anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/pfl_ernaehr_duengung/Richtwerte/2019_rw_tab16.pdf](https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/pfl_ernaehr_duengung/Richtwerte/2019_rw_tab16.pdf)

[Zugriff am 14 01 2023].

Abs, C., 2004. Gebitesfremde Pflanzenarten in der Waldvegetation. *LWF aktuell*, Band 45, pp. 31-33.

acatech/Leopoldina/Akademieunion, 2022. Gesellschaftliche Akzeptanz und

Verantwortungsübernahme als Schlüssel für den Ausbau der erneuerbaren Energien. In: *Wie kann der Ausbau von Photovoltaik und Windenergie beschleunigt werden?*. s.l.:acatech, p. 39.

Ahrens, S., 2022. *Export von Fleisch und Fleischwaren aus Deutschland in den Jahren 2009 bis 2021*. [Online]

Available at: [https://de.statista.com/statistik/daten/studie/459259/umfrage/export-von-fleisch-aus-](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/459259/umfrage/export-von-fleisch-aus-deutschland/#:~:text=Die%20vorliegende%20Statistik%20zeigt%20den,Angaben%20rund%20503.900%20Tonnen%20Gefl%C3%BCgelfleisch.)

[deutschland/#:~:text=Die%20vorliegende%20Statistik%20zeigt%20den,Angaben%20rund%20503.900%20Tonnen%20Gefl%C3%BCgelfleisch.](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/459259/umfrage/export-von-fleisch-aus-deutschland/#:~:text=Die%20vorliegende%20Statistik%20zeigt%20den,Angaben%20rund%20503.900%20Tonnen%20Gefl%C3%BCgelfleisch.)

[Zugriff am 25 12 2022].

Ahrens, S., 2022. *Fleischverbrauch in Deutschland pro Kopf in den Jahren 1991 bis 2021*.

[Online]

Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/36573/umfrage/pro-kopf-verbrauch-von-fleisch-in-deutschland-seit-2000/>

[Zugriff am 25 12 2022].

Ahrens, S., 2022. *Import von Fleisch und Fleischwaren nach Deutschland in den Jahren 2009 bis 2021*. [Online]

Available at: [https://de.statista.com/statistik/daten/studie/459243/umfrage/import-von-fleisch-](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/459243/umfrage/import-von-fleisch-nach-)

[nach-](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/459243/umfrage/import-von-fleisch-nach-)

[deutschland/#:~:text=Die%20vorliegende%20Statistik%20zeigt%20den,Angaben%20rund%20714.210%20Tonnen%20Gefl%C3%BCgelfleisch.](#)

[Zugriff am 25 12 2022].

Ahrens, S., 2022. *Produktion von Fleisch in Deutschland nach Art in den Jahren 1991 bis 2021*. [Online]

Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/6739/umfrage/nettoerzeugung-von-fleisch/>

[Zugriff am 25 12 2022].

ahu GmbH, LLUR SH & MEKUN SH, 2021. *Leitfaden zum Bodenschutz beim Bauen*, Flintbek: Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig Holstein (LLUR).

Albrecht, K., Hör, T., Henning, F. W., Töpfer-Hofmann, G., Grünfelder, C., Selzer, D., Strätz, C., Bolz, R., Conze, K.-J., Schmidl, J. & Waeber, G., 2013. *Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen im Zusammenhang mit landschaftsplanerischen Fachbeiträgen und Artenschutzbeitrag*, Nürnberg: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

Albuquerque, D., Nascimento, B., Lima, M. & Sousa, P., 2015. Backtracking Algorithm for Single-Axis Solar Trackers installed in a sloping field. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 5(12), pp. 100-103.

Andrä, P., Böttcher, W., Jentzsch, M., Lange, U., Reichhoff, L., Schönbrodt, R., Thalmann, U., Bäse, W., Bank, C., v. Itzenplitz, C., Formella, M., Tesch, U., Wenzel, P., Bartels, R., Billetoft, B., Dornbusch, G., Frank, D., Peterson, J., Schnitter, P., Trost, M., Winter-Huneck, B., Burger, F., Dorn, M., Gohr, F., Jährling, M., Tappenbeck, L., Grosser, C., Gruschwitz, W., Haferkorn, J., Hanelt, D., Hohmann, M., Jäger, U., Reißmann, K., Stolle, J., Jage, H., Kammerad, B., Karisch, T., Kleinsteuber, W., Komposch, C., Körnig, G., Lübke-Al Hussein, M., Malchau, W., Meyer, F., Müller, J., Neumann, V., Ohlendorf, B., Ruhnke, H., Röhricht, W., Sacher, P., Schmidt, P., Schmidt, W., Schneider, K., Scholz, P., Scholze, P., Schönborn, C., Schütze, P., Spitzenberg, D., Stark, A., Steglich, R., Stolle, E., Täuscher, L., Wallaschek, M., Wendt, W., Witsack, W. & Wüstemann, O., 2002. *Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt - Die Lebensraumtypen nach Anhang I der Fauna-Flora-Habitatrichtlinie im Land Sachsen-Anhalt*, Halle: Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.

Armstrong, A., Ostle, N. J. & Whitaker, J., 2016. Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 074016(11 (7)).

Badelt, O., Niepelt, R., Wiehe, J., Matthies, S., Gewohn, T., Stratmann, M., Brendel, R. & v. Haaren, C., 2020. *Integration von Solarenergie in die niedersächsische Energielandschaft (INSIDE)*, Hannover: Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz.

Baunetz Wissen, kein Datum *Bestimmung von Tageslichtverhältnissen*. [Online]
Available at: <https://www.baunetzwissen.de/licht/fachwissen/tageslicht/bestimmung-von-tageslichtverhaeltnissen-1000977>

[Zugriff am 11 01 2023].

Baur, B., 2021. *Naturschutzbiologie*. Bern: Haupt Verlag.

Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2022. *Feldlerche (Alauda arvensis)*. [Online]

Available at:

<https://www.lfu.bayern.de/natur/sap/arteninformationen/steckbrief/zeige?stbname=Alauda+arvensis>

[Zugriff am 11 01 2023].

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), 2023.

Glatthafer – Arrhenatherum elatius L. [Online]

Available at: <https://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/022481/index.php>

[Zugriff am 27 01 2023].

Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, kein Datum *Acker-Kratzdistel*. [Online]

Available at: https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/u_steckbriefe/053954/index.php

[Zugriff am 16 01 2023].

Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2022. *Braunkehlchen (Saxicola rubetra)*. [Online]

Available at:

<https://www.lfu.bayern.de/natur/sap/arteninformationen/steckbrief/zeige?stbname=Saxicola+rubetra>

[Zugriff am 26 01 2023].

Berner Fachhochschule BFH, 2023. *Entscheidungsdiagramm*. [Online]

Available at: <https://ch.terrano.world/light>

[Zugriff am 14 01 2023].

BfN, 2021. *Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD)*. [Online]
Available at: <https://www.bfn.de/abkommen-richtlinie/uebereinkommen-ueber-die-biologische-vielfalt-cbd>
[Zugriff am 29 12 2022].

BfN, 2022. *Anzahl gebietsfremder Arten*. [Online]
Available at: <https://neobiota.bfn.de/grundlagen/anzahl-gebietsfremder-arten.html>
[Zugriff am 23 12 2022].

BfN, 2022. *Bundesrecht*. [Online]
Available at: <https://www.bfn.de/bundesrecht>
[Zugriff am 29 12 2022].

BfN, 2022. *Das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD)*. [Online]
Available at: <https://www.bfn.de/das-uebereinkommen-ueber-die-biologische-vielfalt-cbd>
[Zugriff am 23 12 2022].

BfN, 2022. *Gebietsfremde und invasive Arten*. [Online]
Available at: <https://www.bfn.de/gebietsfremde-und-invasive-arten>
[Zugriff am 23 12 2022].

BfN, 2022. *Neue Rote Liste: Mehr als ein Viertel der Insekten-Arten bestandsgefährdet*. [Online]
Available at: <https://www.bfn.de/pressemitteilungen/neue-rote-liste-mehr-als-ein-viertel-der-insekten-arten-bestandsgefaehrdet>
[Zugriff am 23 12 2022].

BfN, 2022. *Strategischer Plan der CBD*. [Online]
Available at: <https://www.bfn.de/strategischer-plan-der-cbd>
[Zugriff am 29 12 2022].

BfN, 2023. *Eingriffsregelung*. [Online]
Available at: <https://www.bfn.de/eingriffsregelung>
[Zugriff am 26 01 2023].

BfN, kein Datum *Die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt*. [Online]
Available at: <https://biologischevielfalt.bfn.de/nationale-strategie/ueberblick.html>
[Zugriff am 28 12 2022].

BfN, kein Datum *Liste invasiver gebietsfremder Arten von unionsweiter Bedeutung (Unionsliste)*. [Online]

Available at: <https://neobiota.bfn.de/unionsliste/art-4-die-unionsliste.html>

[Zugriff am 16 01 2023].

Blum, W. E., 2019. *Boden und globaler Wandel*. Wien: Springer-Verlag GmbH.

BMEL, 2022. *Bienenweiden: Tipps für große Flächen*. [Online]

Available at: <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/artenvielfalt/bienen-fuettern/bienenweiden.html>

[Zugriff am 12 01 2023].

BMEL, 2022. *Förderung zur Anschaffung von Drohnen für das Retten von Rehkitzern*.

[Online]

Available at: <https://www.bmel.de/DE/themen/digitalisierung/drohnenfoerderung-rehkitze.html#:~:text=Das%20Bundesministerium%20f%C3%BCr%20Ern%C3%A4hrung%20und,zu%20Orten%20und%20zu%20retten.>

[Zugriff am 19 01 2023].

BMJ; BfJ, 2020. *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)*. [Online]

Available at: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschv/>

[Zugriff am 15 01 2023].

BMJ; BfJ, 2020. *Bundeskompensationsverordnung - BKompV*. [Online]

Available at: <http://www.gesetze-im-internet.de/bkompv/BKompV.pdf>

[Zugriff am 26 01 2023].

BMJ; BfJ, 2021. *Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)*. [Online]

Available at: <https://www.gesetze-im-internet.de/uvpg/UVPG.pdf>

[Zugriff am 07 01 2023].

BMJ; BfJ, 2021. *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG)*. [Online]

Available at: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbodschg/index.html#BJNR050210998BJNE000300000>

[Zugriff am 14 01 2023].

BMJ; BfJ, 2021. *Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke*. [Online]

Available at: <https://www.gesetze-im-internet.de/baunvo/index.html#BJNR004290962BJNE000607125>

[Zugriff am 07 01 2023].

BMJ; BfJ, 2022. *Baugesetzbuch*. [Online]

Available at: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/index.html#BJNR003410960BJNE004506116>

[Zugriff am 07 01 2023].

BMJ; BfJ, 2022. *Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG)*. [Online]

Available at: https://www.gesetze-im-internet.de/elektrog_2015/ElektroG.pdf

[Zugriff am 22 01 2023].

BMJ; BfJ, 2022. *Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG)*. [Online]

Available at: http://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/BNatSchG.pdf

[Zugriff am 29 12 2022].

BMJ; BfJ, 2022. *Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV)*. [Online]

Available at: https://www.gesetze-im-internet.de/gewabfv_2017/index.html#BJNR089600017BJNE001003125

[Zugriff am 15 01 2023].

BMUV, 2007. *Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt*, Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

BMUV, 2015. *Naturschutz-Offensive 2020*, Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

BMWK, 2022. *Das Erneuerbare-Energien-Gesetz*. [Online]

Available at: [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html?cms_docId=71110#:~:text=In%20diesem%20Zusammenhang%20wurde%20ein,EEG%202014%2C%20EEG%202017\).](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html?cms_docId=71110#:~:text=In%20diesem%20Zusammenhang%20wurde%20ein,EEG%202014%2C%20EEG%202017).)

[Zugriff am 23 12 2022].

BMWK, 2022. *Erneuerbare Energien*. [Online]

Available at: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>

[Zugriff am 23 12 2022].

BMZ, 2022. *15. Weltnaturkonferenz schafft starke neue Basis im globalen Einsatz gegen Naturzerstörung und Artensterben*. [Online]

Available at: <https://www.bmz.de/de/aktuelles/aktuelle-meldungen/cop15-neue-basis-einsatz->

[gegen-naturzerstoerung-und-artensterben-135672](#)

[Zugriff am 29 12 2022].

BMZ, 2022. *Biodiversität erhalten – Überleben sichern*. [Online]

Available at: <https://www.bmz.de/de/themen/biodiversitaet>

[Zugriff am 23 12 2022].

BMZ, 2022. *Klimaabkommen von Paris*. [Online]

Available at: <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/klimaabkommen-von-paris-14602>

[Zugriff am 27 11 2022].

BMZ, 2022. *Neue Biodiversitätsziele bis 2030*. [Online]

Available at: <https://www.bmz.de/de/themen/biodiversitaet/hintergrund/neue-biodiversitaetsziele-66242>

[Zugriff am 23 12 2022].

BMZ, 2022. *SDG 15: Leben an Land*. [Online]

Available at: <https://www.bmz.de/de/agenda-2030/sdg-15>

[Zugriff am 23 12 2022].

BMZ, 2022. *Wir verlieren an Boden*. [Online]

Available at: <https://www.bmz.de/de/themen/boden/hintergrund-20826>

[Zugriff am 27 12 2022].

Böhmer, H. J., Heger, D. T., Alberternst, B. & Walser, B., 2006. Ökologie, Ausbreitung und Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs (*Fallopia japonica*) in Deutschland.

ANLIEGEN NATUR, Band 30, pp. 29-34.

Borrull, M. G., 2019. *Performance Optimization of Bifacial Module PV Power Plants Based on Simulations and Measurements*, Hamburg: Hochschule für Angewandte Wissenschaften.

Brasseur, G., Jacob, D. & Schuck-Zöller, S., 2017. *Klimawandel in Deutschland*. s.l.:Springer Spektrum.

Breitschuh, G., Eckert, H., Breitschuh, T. & Körschens, M., 2015. *Bodenfruchtbarkeit in der nachhaltigen Landwirtschaft*, s.l.: s.n.

Brielmaier Motormäher GmbH, 2023. *Grünlandwirtschaft*. [Online]

Available at: <https://www.brielmaier.com/de/einsatzgebiete/gruenlandwirtschaft>

[Zugriff am 20 01 2023].

Brunken, G., 2004. *Amphibienwanderungen*, s.l.: Naturschutzverband Niedersachsen e.V.; Biologische Schutzgemeinschaft Hunte Weser-Ems e.V., Naturschutzforum Deutschland e.V. .

Buhck Gruppe, 2023. *Qualitätsprüfung*. [Online]
Available at: <https://2ndlifesolar.de/qualitaetspruefung>
[Zugriff am 22 01 2023].

BUND Naturschutz in Bayern e.V. , kein Datum *ARTENVIELFALT UND LANDWIRTSCHAFT: DEN ARTENSCHWUND BEENDEN!*. [Online]
Available at: <https://www.bund-naturschutz.de/landwirtschaft/artenvielfalt-und-landwirtschaft>
[Zugriff am 27 12 2022].

BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg, Juli 2021. *Hinweis für den naturverträglichen Ausbau von Freiflächensolaranlagen* , s.l.: BUND, NABU, Bodensee Stiftung, NaturFreunde Baden-Württemberg.

BUND, NABU, Juli 2021. *Solarenergie: Positionspapier von BUND und NABU*, Baden-Württemberg: BUND, NABU.

BUND, 2023. *Ampfer-Grünwidderchen ist Schmetterling des Jahres 2023*. [Online]
Available at: <https://www.bund.net/tiere-pflanzen/schmetterlinge/schmetterling-des-jahres/schmetterling-des-jahres-2023/>
[Zugriff am 26 01 2023].

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2019. *100er Boden – bestbewerteter Boden in Deutschland*. [Online]
Available at:
<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/boden100er.html>
[Zugriff am 08 01 2023].

Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, kein Datum *A-5.7.4 Hinweise zur hydraulischen Bemessung*. [Online]
Available at: <https://www.bfr-abwasser.de/html/Regenwasserbewirtschaftung.11.17.html>
[Zugriff am 13 01 2023].

bne, 2021. *GEO-Tag der Natur 2021: Biodiversität in Solarparks*, Berlin: bne.

bne, 2022. *Gute Planung von PV-Freilandanlagen*. [Online]
Available at: <https://gute-solarparks.de/>
[Zugriff am 22 12 2022].

Bundeszentrale für politische Bildung, 2020. *Landwirtschaft und Naturschutz*. [Online]
Available at: <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/305890/landwirtschaft-und-naturschutz/>

[Zugriff am 27 12 2022].

Bundeszentrale für politische Bildung, 2020. *Strukturwandel und Agrarentwicklung seit 1880*. [Online]

Available at: [https://www.bpb.de/themen/umwelt/landwirtschaft/316059/strukturwandel-und-agrarentwicklung-seit-](https://www.bpb.de/themen/umwelt/landwirtschaft/316059/strukturwandel-und-agrarentwicklung-seit-1880/#:~:text=Intensivierung%2C%20Mechanisierung%20und%20Spezialisierung%20%E2%80%93%20die,im%20letzten%20Jahrhundert%20stark%20gewandelt.)

[1880/#:~:text=Intensivierung%2C%20Mechanisierung%20und%20Spezialisierung%20%E2%80%93%20die,im%20letzten%20Jahrhundert%20stark%20gewandelt.](https://www.bpb.de/themen/umwelt/landwirtschaft/316059/strukturwandel-und-agrarentwicklung-seit-1880/#:~:text=Intensivierung%2C%20Mechanisierung%20und%20Spezialisierung%20%E2%80%93%20die,im%20letzten%20Jahrhundert%20stark%20gewandelt.)

[Zugriff am 27 12 2022].

Campbell, N. A. & Reece, J. B., 2009. Breitengradabhängigkeit. In: A. Kratochwil, R. Scheibe & H. Wiczorek, Hrsg. *Biologie*. München: Pearson Deutschland GmbH, p. 1635 f..

Choi, C. S., Cagle, A. E., Macknick, J., Bloom, D. E., Caplan, J. S. & Ravi, S., 2020. Effects of Revegetation on Soil Physical and Chemical Properties in Solar Photovoltaic Infrastructure. *Frontiers in Environmental Science*, August.8(140).

Demuth, D. B., Maack, A. & Schumacher, J., 2019. *Photovoltaik-Freiflächenanlagen - Planung und Installation mit Mehrwert für den Naturschutz*, Berlin: BfN; Technische Universität Berlin; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.

Deutsche Wildtier Stiftung, kein Datum *Das Wildbienenhotel*. [Online]

Available at: <https://www.wildbiene.org/wildbienenhotel/>

[Zugriff am 12 01 2023].

Deutsche Wildtier Stiftung, kein Datum *Das Wildbienenhotel – Bodennister fördern*. [Online]

Available at: <https://www.wildbiene.org/2021/05/18/das-wildbienenhotel-bodennister-foerdern/>

[Zugriff am 12 01 2023].

Die Bundesregierung, 2022. *Abschied von der Kohleverstromung*. [Online]

Available at: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/kohleausstiegsgesetz-1716678>

[Zugriff am 23 12 2022].

Die Bundesregierung, 2022. *Energiewende im Überblick*. [Online]

Available at: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/energiewende-im-ueberblick>

ueberblick-229564

[Zugriff am 23 12 2022].

Die Bundesregierung, 2022. *Generationenvertrag für das Klima*. [Online]

Available at: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>

[Zugriff am 23 12 2022].

Die Bundesregierung, 2022. *Mehr Flächen für zusätzliches Getreide*. [Online]

Available at: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/ausnahmen-gap-2023-2080660#:~:text=Die%20Pflicht%20zur%20Stilllegung%20von,zwei%20Jahre%20hintereinander%20angebaut%20werden.>

[Zugriff am 19 02 2023].

Die Bundesregierung, 2022. *Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt*. [Online]

Available at: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-erklaert-232174>

[Zugriff am 29 12 2022].

Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH, 2021. *Rahmenbedingungen für PV-Freiflächenanlagen*, Kaiserslautern: Energieagentur Rheinland-Pfalz GmbH.

EU, 2013. *Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie*. [Online]

Available at: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1992L0043:20070101:DE:PDF>

[Zugriff am 26 01 2023].

Europäische Kommission, 2022. *Nature restoration law*. [Online]

Available at: https://environment.ec.europa.eu/topics/nature-and-biodiversity/nature-restoration-law_de

[Zugriff am 29 12 2022].

Europäisches Parlament, 2021. *Verlust der Biodiversität: Ursachen und folgenschwere Auswirkungen*. [Online]

Available at:

<https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20200109STO69929/verlust-der-biodiversitaet-ursachen-und-folgenschwere-auswirkungen>

Fartmann, T. & Mattes, H., 1997. Heuschreckenfauna und Grünland –

Bewirtschaftungsmaßnahmen und Biotopmanagement. *Arbeiten aus dem Institut für*

Landschaftsökologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Band 3, pp. 179-188.

Feistel, U., Werisch, S., Marx, P., Kettner, S., Ebermann, J. & Wagner, L., 2022. Assessing the impact of shading by solar panels on evapotranspiration and plant growth using lysimeters. *AIP Conference Proceedings*, 2635(1).

Filser, J., 2021. Intensive Landwirtschaft und Bodendegradation. In: J. L. Lozán, S. Breckle, H. Graßl & D. Kasang, Hrsg. *Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung*. Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen & GEO Hamburg, pp. 291-297.

Flade, M., Plachter, H., Henne, E. & Anders, K., 2003. *Naturschutz in der Agrarlandschaft: Ergebnisse des Schorfheide-Chorin-Forschungsprojekts*. s.l.:Quelle & Meyer.

Flessa, H., Don, A., Jacobs, A., Dechow, R., Tiemeyer, B. & Poeplau, C., 2019. *Humus in landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands*, Bonn: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.

Fraunhofer ISE, 2022. *Installierte Netto-Leistung zur Stromerzeugung in Deutschland in 2021*. [Online]

Available at: https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&c=DE&year=2021&chartColumnSorting=default&expansion=installed_power
[Zugriff am 02 01 2023].

Fraunhofer ISE, 2022. *Installierte Solarleistung in Deutschland nach Anlagentyp in 2021*. [Online]

Available at: https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&c=DE&year=2021&chartColumnSorting=default&expansion=p_solar_size
[Zugriff am 02 01 2023].

Fraunhofer ISE, 2022. *Zubau installierter Wind- und Solarleistung in Deutschland in 2021*. [Online]

Available at: https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&c=DE&year=2021&chartColumnSorting=default&expansion=dp_inst_states
[Zugriff am 02 01 2023].

Fraunhofer ISE, kein Datum *Wie funktioniert die Kombination aus Landwirtschaft und Energiegewinnung?*. [Online]

Available at: <https://agri-pv.org/de/das-konzept/technik/>
[Zugriff am 11 01 2023].

- Frick, R. & Fluri, P., 2001. Bienenverluste beim Mähen mit Rotationsmäherwerken. *AGRARForschung*, 8(5), pp. 196-201.
- Früh, B., Brauch, J., Brienens, S., Buchholz, S., Fröhlich, K., Hoff, A., Imbery, F., Kreienkamp, F., Lenhardt, J., Leps, N., Paxian, A., Seybert, H., Steger, C., Walter, A. & Wehring, S., 2021. *Klimavorhersagen und Klimaprojektionen*, Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst.
- Gerlach, B., Dröschmeister, R., Langgemach, T., Borkenhagen, K., Busch, M., Hauswirth, M., Heinicke, T., Kamp, J., Karthäuser, J., König, C., Markones, N., Prior, N., Trautmann, S., Wahl, J. & Sudfeldt, C., 2019. *Vögel in Deutschland . Übersichten zur Bestandssituation*, Münster: DDA, BfN, LAG VSW.
- Godt, J., Schumacher, J., Stroh, H. G., Werk, K., Sachteleben, J., Hänel, K., Böttcher, M., Schumacher, A. & Rosenthal, G, 2017. *Kompensationsmaßnahmen in der Landwirtschaft nach § 15 BNatSchG*, Bonn; Bad Godesberg: BfN.
- Gottschalk, E. & Beeke, W., 2014. Wie ist der drastische Rückgang des Rebhuhns (*Perdix perdix*) aufzuhalten? Erfahrungen aus zehn Jahren mit dem Rebhuhnschutzprojekt im Landkreis Göttingen. *Berichte zum Vogelschutz*, Band 51, pp. 95-116.
- Graham, M., Ates, S., Melathopoulos, A. P., Moldenke, A. R., DeBano, S. J., Best L. R. & Higgins, C. W., 2021. Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific Reports*, 11(7452).
- Greif, S., Zsebök, S., Schmieder, D. A. & Siemers, B. M., 2017. Acoustic mirrors as sensory traps for bats. *Science*, 357(6355), pp. 1045-1047.
- Grünnewig, D., Sieben, A., Püschel, M., Bohl, J. & Mack, M., 2007. *Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen*, Hannover: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Guo, S., Walsh, T. M. & Peters, M., 2013. Vertically mounted bifacial photovoltaic modules: A global analysis. *Energy*, Band 61, pp. 447-454.
- Gyimothy, D. A. & Schumacher, J., 2019. *Landschaftspflegeholz*, Berlin: BfN.
- Heinrich-Böll-Stiftung; Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland; Le Monde Diplomatie, 2020. *Agrar-Atlas*, Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung.
- Heißenhuber, A., Haber, W. & Krämer, C., 2015. *30 Jahre SRU-Sondergutachten „Umweltprobleme der Landwirtschaft“ - eine Bilanz*, Dessau-Roßlau: UBA.

- Hengstler, J., Russ, M., Stoffregen, A., Hendrich, A., Weidner, S., Held, M. & Briem, A.-K., 2021. *Aktualisierung und Bewertung der Ökobilanzen von Windenergie- und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung aktueller Technologieentwicklungen*, Dessau-Roßlau: UBA.
- Herden, C., Rasmus, J. & Gharadjedaghi, B., 2009. *Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen*, Bonn: BfN.
- Hetzel, I., Müller-Pfannenstiel, K., Zintl, R., Langensiepen, I. & Stellmach, M., 2014. *Bayerische Kompensationsverordnung (BayKompV) - Arbeitshilfe zur Biotopwertliste – Verbale Kurzbeschreibung*, Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU).
- Hietel, P. D. E., Reichling, M. T. & Lenz, B. C., 2021. *Leitfaden für naturverträgliche und biodiversitätsfreundliche Solarparks - Maßnahmensteckbriefe und Checklisten*, s.l.: TH Bingen, MKUEM.
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften - Fakultät Life Sciences, 2022. *Durchschnittliche rel. Luftfeuchte*. [Online]
Available at: <https://wetter.ls.haw-hamburg.de/rel-luftfeuchte-statistik.html>
[Zugriff am 28 12 2022].
- Hoffmann, T., 2023. *Berechnung Sonnenverlauf*. [Online]
Available at: <https://www.sonnenverlauf.de/#/53.5408,9.9796,6/2022.06.21/17:00/2.7/3>
[Zugriff am 11 01 2023].
- Hörnle, O., Riedelsheimer, J., Trommsdorff, M., Keinath, T., Binder, F., Weinmann, E., Klodt, F., Zikeli, S., Pataczek, L., Rueß, F., Köppler, K., Glas, M., Mayr, U., Frey, M., Kromrey, V., Vedel, D. & Klein, A., 2021. *Durchführbarkeitsstudie - Zur Ermittlung möglicher Forschung- und Demonstrationsfelder für Agri-Photovoltaik in Baden-Württemberg*, Freiburg im Breisgau: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, ISE.
- Humbert, J.-Y., Ghazoul, J. & Walter, T., 2009. Meadow harvesting techniques and their impacts on field fauna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130(1-2), pp. 1-8.
- Humbert, J.-Y., Ghazoul, J., Walter, T. & Sauter, G. J., 2010. Impact of different meadow mowing techniques on field invertebrates. *Journal of Applied Entomology*, 134(7), pp. 592-599.
- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2022. *The European Red List*. [Online]

Available at: <https://www.iucnredlist.org/regions/europe>
[Zugriff am 23 12 2022].

IPCC, 2022. *Fact Sheet - Biodiversity*. [Online]
Available at:

https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGII_FactSheet_Biodiversity.pdf

IPCC, 2022. *Klimawandel 2022 - Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit (Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung)*, Bern: Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Österreich; Akademie der Naturwissenschaften Schweiz; Die Luxemburger Regierung.

Janson, M., 2022. *Wo das Grundwasser (nicht) knapp ist*. [Online]

Available at: <https://de.statista.com/infografik/27257/index-zur-ermittlung-des-risikos-fuer-grundwassermangel-nach-laendern/>

[Zugriff am 20 02 2023].

Kape, D. H.-E., 2019. *Bodenerosion durch Wind - Entstehen, Prozesse, Schäden*. [Online]
Available at:

<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/bodenerosion-durch-wind.html#:~:text=Winderosion%20ist%20der%20nat%C3%BCrliche%20Prozess,Kr%C3%A4ften%20des%20Windes%20gesch%C3%BCtzt%20sind.>

[Zugriff am 27 12 2022].

Kernbaum, S. & Hübner, T., 2013. Recycling von Photovoltaikmodulen. In: K. J. Thomé-Kozmiensky & D. Goldmann, Hrsg. *Recycling und Rohstoffe*. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensk, pp. 545-557.

Kitt, D. B. M., 2020. *Vorhabenbezogener B-Plan „Photovoltaik-Freiflächenanlage an der Bahnlinie“ in Winden*, Minfeld: Ortsgemeinde Winden.

KNE, 2021. *Kriterien für eine naturverträgliche Standortwahl für Solar-Freiflächenanlagen*, s.l.: KNE.

Köhler, G., 2003. Die Feldgrille, *Gryllus campestris* Linnaeus, 1758 (Ensifera, Gryllidae) - Das Insekt des Jahres 2003. *Entomologische Nachrichten und Berichte*, Band 47, pp. 1-11.

Kolb, D. H., 2019. *Humus 3: Möglichkeiten zur Einschätzung der Humusversorgung*. [Online]

Available at:

<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/humus-3-versorgung.html>

[Zugriff am 27 12 2022].

Krebs, R., Egli, M., Schulin, R. & Tobias, S., 2017. Bodenkundliche Grundlagen Boden als Teil des Ökosystems und im Naturkreislauf. In: R. Krebs, M. Egli, R. Schulin & S. Tobias, Hrsg. *Bodenschutz in der Praxis*. s.l.:utb., pp. 13-53.

Krebs, R., Egli, M., Schulin, R. & Tobias, S., 2017. Bodenschutz in der Landwirtschaft. In: R. Krebs, M. Egli, R. Schulin & S. Tobias, Hrsg. *Bodenschutz in der Praxis*. s.l.:utb., pp. 181-254.

Kühl, J., 2021. *Als ein Sandsturm zur Katastrophe wurde*. [Online]

Available at: <https://www.ndr.de/geschichte/schauplaetze/Sandsturm-auf-der-A19-Vor-zehn-Jahren-kommt-es-zur-Katastrophe.sandsturm298.html>

[Zugriff am 27 12 2022].

LANUV, 2021. *Schröpfschnitt*. [Online]

Available at:

<https://mahdgut.naturschutzinformationen.nrw.de/mahdgut/de/fachinfo/methoden/schroepfschnitt#:~:text=Ein%20Schr%C3%B6pfschnitt%20wird%20in%20der,die%20Bestockung%20der%20Gr%C3%A4ser%20anzuregen.>

[Zugriff am 18 01 2023].

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 2021. *Grünland: Frühjahrspflege und der Umgang mit Problempflanzen*. [Online]

Available at: [https://llh.hessen.de/pflanze/gruenland-und-](https://llh.hessen.de/pflanze/gruenland-und-futterbau/dauergruenland/bearbeitung-und-duengung/gruenland-fruehjahrspflege-und-der-umgang-mit-problempflanzen/)

[futterbau/dauergruenland/bearbeitung-und-duengung/gruenland-fruehjahrspflege-und-der-umgang-mit-problempflanzen/](https://llh.hessen.de/pflanze/gruenland-und-futterbau/dauergruenland/bearbeitung-und-duengung/gruenland-fruehjahrspflege-und-der-umgang-mit-problempflanzen/)

[Zugriff am 01 01 2023].

Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V. , kein Datum *Totholz - Ein Ort voller Leben!*. [Online]

Available at: <https://www.lbv.de/ratgeber/lebensraum-garten/totholz/>

[Zugriff am 12 01 2023].

Landesbund für Vogel- und Naturschutz in Bayern e.V., 2021. *Nistkästen richtig anbringen*.

[Online]

Available at: <https://www.lbv.de/ratgeber/lebensraum-garten/nistkaesten/nistkaesten-richtig-anbringen/>

[Zugriff am 12 01 2023].

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2019. *Heimische Hecken*. [Online]

Available at:

<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/naturschutz/biodiversitaet/pdf/heimische-hecken.pdf>

[Zugriff am 10 01 2023].

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2021. *Extensives Grünland*. [Online]

Available at:

<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/naturschutz/biodiversitaet/extensivierung/index.htm>

[Zugriff am 28 12 2022].

Lang, A., Zintl, R., Berg, M., Herre, P., Kuffer, S., Laudensack, A., Lorenz, W., Mayer, A., Neumann, S., Pfeiffer, W., Rammler, C., Rudolph, B.-U., Urban, R., Wagner, I., Wenisch, E., Woschée, R., Zahlheimer, W. & Zimmermann, R., 2022. *Kartieranleitung Biotopkartierung Bayern*, Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU).

Lang, A. & Walentowski, D. H., 2022. *Handbuch der Lebensraumtypen nach Anhang I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie in Bayern*, Augstburg, Freising: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.

LANUV, 2019. *Boden – mehr als Baugrund*, Recklinghausen: Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Maaß, C. & Schütte, P., 2018. Naturschutzrecht. In: P. D. H. Koch, P. D. E. Hofmann & D. M. Reese, Hrsg. *Handbuch Umweltrecht*. München: C.H. Beck oHG, pp. 433-488.

Makaronidou, M., 2020. *Assessment on the Local Climate Effects of Solar Photovoltaic Parks*, Lancaster: Lancaster University.

Meinig, H., Buschmann, A., Reiners, T. E., Neukirchen, M., Balzer, S. & Petermann, R., 2014. Der Status des Feldhamsters (*Cricetus cricetus*) in Deutschland. *Natur und Landschaft*, Issue 89, pp. 338-343.

Mertens, P. D.-I. K., 2020. *Photovoltaik - Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*. 5 Hrsg. München: Carl Hanser Verlag.

- Meyer, A., Dušej, G., Monney, J.-C., Billing, H., Mermod, M. & Jucker, K., 2011. *Praxismerkblatt Kleinstrukturen - Steinhaufen und Steinwälle*, Neuenburg: Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz.
- Meyer-Münzer, B., Grotehusmann, H. & Vor, T., 2015. Robinie. In: P. D. C. Ammer, P. D. H. Spellmann, P. D. F. Beese & P. D. S. Schütz, Hrsg. *Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten*. Göttingen: Universitätsverlag Göttingen, pp. 277-296.
- MIKWS; MELUND, 2021. *Grundsätze zur Planung von großflächigen Solar-Freiflächenanlagen im Außenbereich*. [Online]
Available at: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/S/stadtenwicklung-staedtebau/Downloads/erlass_SolarFreiflaechenanlagen.pdf?blob=publicationFile&v=1
[Zugriff am 07 01 2023].
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt - Mecklenburg Vorpommern, 2018. *Einführung in das Naturschutzrecht*. [Online]
Available at: https://www.lung.mv-regierung.de/dateien/lis_vortrag_18_03_15_schoeneck_2.pdf
[Zugriff am 29 12 2022].
- Montag, H., Parker, G. & Clarkson, T., 2016. *The Effects of Solar Farms on Local Biodiversity; A Comparative Study*, s.l.: Clarkson and Woods and Wychwood Biodiversity.
- Murer, E., 2009. *Bericht über die Überprüfung der Anwendbarkeit von Modellen zur Beurteilung der Bodenverdichtung*. Petzenkirchen: Bundesamt für Wasserwirtschaft Österreich.
- NABU; Bundesverband Solarwirtschaft e.V., 2021. *Kriterien für naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen*, Berlin: Naturschutzbund Deutschland e.V.; Bundesverband Solarwirtschaft e.V..
- Netzband, J., 2016. *Datenblatt Ertragsgutachten Nemsdorf 2*, Hamburg: SolPEG GmbH (Unveröffentlicht).
- Neumann, D. W. & Frobel, P. D. K., 2022. *Naturverträgliche Freiflächen-Solaranlagen für Strom und Wärme*, s.l.: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND).
- Next2sun GmbH, 2022. *Agri-PV*. [Online]
Available at: <https://next2sun.com/agri-pv/>
[Zugriff am 24 01 2023].

Niemann, K., Rüter, S., Bredemeier, B., Diekmann, L., Reich, M. & Böttcher, M., 2017. Photovoltaik-Freiflächenanlagen an Verkehrswegen in Deutschland. Ausbauzustand und mögliche Folgen für den Biotopverbund. *Natur und Landschaft*, 92(3), pp. 119-128.

NLWKN, 2011. *Vollzugshinweise zum Schutz von Wirbellosenarten in Niedersachsen. – Wirbellosenarten mit Priorität für Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen – Feldgrille (Gryllus campestris)*., Hannover: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN).

Oerter, K., kein Datum *Basisinfo zu Amphibienschutzanlagen*. [Online]
Available at: <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/amphibien-und-reptilien/amphibien/00500.html>

[Zugriff am 11 01 2023].

Oppermann, R., Meyerhoff, E. & van Elsen, T., 2006. *Naturschutzberatung für die Landwirtschaft*, Bonn: BfN.

Parker, G. E. & McQueen, C., 2013. *Can Solar Farms Deliver Significant Benefits for Biodiversity?*, England: Wychwood Biodiversity; Rowsell & McQueen.

PECBMS, 2022. *Species trends*. [Online]

Available at: <https://pcbms.info/trends-and-indicators/species-trends/>

[Zugriff am 18 02 2023].

Peschel, D. T., 2010. *Solarparks - Chancen für die Biodiversität*, Berlin: Agentur für Erneubare Energien e.V..

Peschel, R., Peschel, D. T., Marchand, D. M. & Hauke, J., 2019. *Solarparks - Gewinne für die Biodiversität*, Berlin: bne.

Pott, R. & Hüppe, J., 2007. *Spezielle Geobotanik*. Heidelberg: Springer-Verlag.

Pröbstl, D. U., 2001. *Eingriffsregelung auf der Ebene der Flächennutzungs- und Landschaftsplanung*, Bayern: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.

Prochnow, A. & Meierhöfer, J., 2003. Befahrmuster bei der Grünlandmahd: Faunaschonung und Aufwendungen. *Agrartechnische Forschung*, Band 4, pp. 36-43.

Quaschnig, V., Weniger, J., Bergner, J., Orth, N., Siegel, B. & Zoll, M., 2022. *20 Gigawatt Photovoltaik pro Jahr sind nicht genug*, s.l.: Der Elektrofachmann.

Quaschnig, V., 2022. *Spezifische Kohlendioxidemissionen verschiedener Brennstoffe*. [Online]

Available at: <https://www.volker-quaschning.de/datserv/CO2-spez/index.php>
[Zugriff am 23 12 2022].

Raab, B., 2015. Erneuerbare Energien und Naturschutz—Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. *Anliegen Natur*, 37(1), pp. 67-76.

Rieger-Hofmann GmbH, 2021. *Anleitung für die Neuanlage von Wiesen-Mischungen*.
Blaufelden: s.n.

Rieger-Hofmann GmbH, kein Datum *Die Regionenkarte*. [Online]
Available at: <https://www.rieger-hofmann.de/alles-ueber-rieger-hofmann/qualitaet/regionenkarte.html>
[Zugriff am 14 01 2023].

Rodrigues, V., 2019. *Measurement and validation of bifacial modules' power output*. [Online]
Available at: <https://www.pv-magazine.com/wp-content/uploads/2019/04/Vitor-Rodrigues-Presentation.pdf>
[Zugriff am 24 01 2023].

Runge, K., Baum, S., Meister, P. & Rottgardt, E., 2012. *Umweltauswirkungen unterschiedlicher Netzkomponenten*, s.l.: OECOS GmbH; Im Auftrag der Bundesnetzagentur.

RW; HSWT; PSU; EEB, 2020. *Endbericht Eule - Evaluierungssystem für eine umweltfreundliche und landschaftsverträgliche Energiewende*, s.l.: Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

RW; HSWT; PSU; EEB, 2021. *Abschlussbericht EULE II - Evaluierungssystem für eine umweltfreundliche und landschaftsverträgliche Energiewende*, s.l.: Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

Sachsen, 2023. *Sächsischen Bauordnung*. [Online]
Available at: <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/1779-SaechsBO>
[Zugriff am 07 01 2023].

Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2022. *Wie viel CO₂ darf Deutschland maximal noch ausstoßen? Fragen und Antworten zum CO₂-Budget*, Berlin: Sachverständigenrat für Umweltfragen.

Schlegel, J., November 2021. *Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf Biodiversität und Umwelt*, s.l.: ZHAW, EnergieSchweiz.

Schmid, H., 2013. *Sitzstangen für Greifvögel*. [Online]

Available at: <https://www.vogelwarte.ch/de/voegel/ratgeber/fuetterung-im-winter/sitzstangen-fuer-greifvoegel>

[Zugriff am 13 01 2023].

Schönbrodt, D.-B. M., Drescher, S. & Hennig, D.-I. R., 2022. *3. Monitoringdurchgang der Flächenentwicklung und der Bestände der Avifauna und der Zauneidechse für die PVA Nemsdorf (2022)*, Halle (Saale): Enerparc AG; LASIUS Büro für Ökologie, Landschaftsplanung und Umweltbildung (Unveröffentlicht).

Schröder, D. S. & Wider, D. J., 2013. *Agrobiodiversität im Grünland – nutzen und schützen*, Berlin: Schriftenreihe des Informations- und Koordinationszentrums für Biologische Vielfalt.

Schultz, J., 2016. Böden. In: *Die Ökozonen der Erde*. s.l.:UTB, pp. 41-55.

SMA Solar Technology, 2021. *Datenblatt SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL*, s.l.: SMA Solar Technology.

Solar Materials GmbH, 2022. *Warum Solarmodule recyceln?*. [Online]

Available at: <https://solar-materials.com/>

[Zugriff am 22 01 2023].

Solarwatt, 2022. *Wirkungsgrade von Photovoltaik und Solarzellen*. [Online]

Available at: <https://www.solarwatt.de/ratgeber/wirkungsgrad-solarzelle-und-pv>

[Zugriff am 01 02 2023].

SolPEG GmbH, 2014. *Ertragsgutachten Nemsdorf*, Hamburg: SolPEG GmbH (Unveröffentlicht).

SPD, Bündnis 90/Die Grünen, FDP, 2021. *Koalitionsvertrag 2021 - 2025 zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP*. Berlin: s.n.

Starfinger, D. U. & Kowarik, P. D. I., 2003. *Bunias orientalis*. [Online]

Available at: <https://neobiota.bfn.de/handbuch/gefaesspflanzen/bunias-orientalis.html>

[Zugriff am 16 01 2023].

Starfinger, D. U. & Kowarik, P. D. I., 2003. *Fallopia japonica*. [Online]

Available at: <https://neobiota.bfn.de/handbuch/gefaesspflanzen/fallopia-japonica.html>

[Zugriff am 16 01 2023].

Starfinger, D. U. & Kowarik, P. D. I., 2003. *Heracleum mantegazzianum*. [Online]

Available at: <https://neobiota.bfn.de/handbuch/gefaesspflanzen/heracleum->

[mantegazzianum.html](#)

[Zugriff am 16 01 2023].

Starfinger, D. U. & Kowarik, P. D. I., 2003. *Robinia pseudoacacia*. [Online]

Available at: <https://neobiota.bfn.de/handbuch/gefaesspflanzen/robinia-pseudoacacia.html>

[Zugriff am 16 01 2023].

Statista Research Department, 2022. *Bevölkerung - Einwohnerzahl von Deutschland von 1990 bis 2021*. [Online]

Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2861/umfrage/entwicklung-der-gesamtbevoelkerung-deutschlands/>

[Zugriff am 16 02 2023].

Statistisches Bundesamt, 2022. *2,2 Millionen Photovoltaik-Anlagen in Deutschland installiert*.

[Online]

Available at:

https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_N037_43.html#:~:text=Mit%20den%20Photovoltaikanlagen%20konnten%20im,Quartal%202021.

[Zugriff am 23 12 2022].

Statistisches Bundesamt, 2022. *Stromerzeugung im 3. Quartal 2022: 13,3% mehr Kohlestrom als im Vorjahreszeitraum*. [Online]

Available at:

https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/12/PD22_518_433.html

[Zugriff am 23 12 2022].

Strom-Report, 2022. *PHOTOVOLTAIK IN DEUTSCHLAND*. [Online]

Available at: <https://strom-report.de/photovoltaik/#:~:text=Neuinstallationen%20Photovoltaik%20Deutschland%202021&text=Bayern%20f%C3%BChr%20den%20Bundesl%C3%A4ndervergleich%20hinsichtlich,vor%20Brandenburg%20%5B611%20MW%5D.>

[Zugriff am 02 01 2023].

SunBrush mobil GmbH, 2023. *SUNBRUSH MOBIL COMPACT*. [Online]

Available at: <https://www.sunbrushmobil.com/produkte/sunbrush-mobil-compact>

[Zugriff am 20 01 2023].

Tautenhahn, K., Jurkschat, M., Gerdes, K. & Rebitzer, J., 2017. *Beweidung von Photovoltaik-Anlagen mit Schafen - Anforderungen an die Bausweise der Anlage und die Haltung der*

Schafe, die Vertragsgestaltung sowie die Vergütung, Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.

Trommsdorff, M., 2021. *Agri-Photovoltaik: Doppelt ernten*. [Online]

Available at:

https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/infomaterial/brochures/21_de_I SE_APV.pdf

[Zugriff am 20 02 2023].

Trommsdorff, M., Gruber, S., Keinath, T., Hopf, M., Hermann, C., Schönberger, F., Högy, P., Zikeli, S., Ehmann, A., Weselek, A., Bodmer, U., Rösch, C., Ketzer, D., Weinberger, N., Schindele, S. & Vollprecht, J., 2022. *Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende - Ein Leitfaden für Deutschland*, Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

TubeSolar AG, 2020. *Initiating Coverage*. [Online]

Available at: https://tubesolar.de/wp-content/uploads/2020/10/9TS-2020-10-29_DE.pdf

[Zugriff am 24 01 2023].

UBA, 2018. *Bodentypen*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/kleine-bodenkunde/bodentypen>

[Zugriff am 28 12 2022].

UBA, 2019. *Landwirtschaft mit Zukunft: Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft-zukunft-eine-gesamtgesellschaftliche>

[Zugriff am 04 01 2023].

UBA, 2020. *Optionen für den Weiterbetrieb von Biogasanlagen ab 2030*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/optionen-fuer-den-weiterbetrieb-von-biogasanlagen>

[Zugriff am 23 12 2022].

UBA, 2021. *Struktur der Flächennutzung*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#die-wichtigsten-flachennutzungen>

[Zugriff am 23 12 2022].

UBA, 2022. *Beobachtete und künftig zu erwartende globale Klimaänderungen*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/beobachtete-kuenftig-zu->

[erwartende-globale#aktueller-stand-der-klimaforschung-](#)

[Zugriff am 5 12 2022].

UBA, 2022. *Bioenergie*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/bioenergie#iLUC>

[Zugriff am 23 12 2022].

UBA, 2022. *Düngemittel*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel#dungemittel-was-ist-das>

[Zugriff am 27 12 2022].

UBA, 2022. *Erneuerbare Energien in Zahlen*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>

[Zugriff am 23 12 2022].

UBA, 2022. *Gefährdung der Biodiversität*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/gefaehrdung-der-biodiversitaet>

[Zugriff am 23 12 2022].

UBA, 2022. *Gefährdung der Biodiversität*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/gefaehrdung-der-biodiversitaet>

UBA, 2022. *Grünlandumbruch*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/gruenlandumbruch#gefahrung-des-grunlands>

[Zugriff am 23 12 2022].

UBA, 2022. *Pflanzenschutzmittelverwendung in der Landwirtschaft*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/pflanzenschutzmittelverwendung-in-der#zulassung-von-pflanzenschutzmitteln>

[Zugriff am 23 12 2022].

UBA, 2022. *Stickstoffeintrag aus der Landwirtschaft und Stickstoffüberschuss*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/stickstoffeintrag-aus-der-landwirtschaft#stickstoffuberschuss-der-landwirtschaft>

[Zugriff am 23 12 2022].

UBA, 2022. *Trends der Niederschlagshöhe*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-niederschlagshoehe>
[Zugriff am 28 12 2022].

UBA, 2022. *Umweltbelastungen der Landwirtschaft*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft>
[Zugriff am 27 12 2022].

UBA, 2022. *Veränderung der jahreszeitlichen Entwicklungsphasen bei Pflanzen*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/veraenderung-der-jahreszeitlichen#pflanzen-als-indikatoren-fur-klimaveranderungen>
[Zugriff am 14 01 2023].

UBA, 2023. *Klimafolgen: Handlungsfeld Biologische Vielfalt*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimafolgen-deutschland/klimafolgen-handlungsfeld-biologische-vielfalt>
[Zugriff am 20 02 2023].

v.d.Decken, H., Jessel, B., Krug, A., Schuster, B., Stratmann, U., Balzer, S., Benzler, A., Dröschmeister, R., Ellwanger, G., Finck, P., Heinze, S., Herberg, A., Klein, M., Krüß, A., Metzger, D., Petermann, R., Scherfose, V., Schweppe-Kraft, B., Ssymank, A., Strauß, C., Ullrich, K. & Vischer-Leopold, M., 2017. *Agrar-Report 2017 - Biologische Vielfalt der Agrarlandschaft*, Bonn - Bad Godesberg: BfN.

Walston, L. J., Li, Y., Hartmann, H. M., Macknick, J., Hanson, A., Nootenboom, C., Lonsdorf, E. & Hellmann, J., 2021. Modeling the ecosystem services of native vegetation management practices at solar energy facilities in the Midwestern United States. *Ecosystem Services*, 47(101227).

Weber, E., 2018. *Biodiversität - Warum wir ohne Vielfalt nicht leben können*. Berlin: Springer-Verlag GmbH.

Wesselak, V. & Voswinckel, S., 2016. *Photovoltaik - Wie Sonne zu Strom wird*. 2 Hrsg. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Wirth, D. H., 2022. *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*, Freiburg: Fraunhofer ISE.

Wittig, R. & Niekisch, M., 2014. *Biodiversität: Grundlagen, Gefährdung, Schutz*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Wöllecke, J. & Elmer, M., 2008. Entwicklung biologischer Vielfalt in einer sich verändernden Agrarlandschaft. In: B. f. Naturschutz, Hrsg. *Treffpunkt Biologische Vielfalt VIII*. Bonn: s.n., pp. 35-40.

Zimmermann, J. & Hürlimann, J., 2017. Umwelt-DNA (eDNA) - Molekularbiologie erobert Arten-, Gewässer- und Naturschutz. *Wasser Energie Luft*, Band 3, pp. 163-172.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel „Förderung der Biodiversität von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf zuvor landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland“ selbstständig und ausschließlich unter Benutzung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Hamburg den 28.02.2023

Janine Gehrke

Anhang

Anhang 1: Interviewfragebogen.....	IX
Anhang 1.1: Fragebogen 1	IX
Anhang 1.2: Fragebogen 2	XI
Anhang 1.3: Fragebogen 3	XIII
Anhang 2: Zusammenfassungen der Expert:innen-Gespräche	XV
Anhang 2.1: Interview Nr. 1 vom 17. November 2022	XV
Anhang 2.2: Interview Nr. 2 vom 17. November 2022	XVII
Anhang 2.3: Interview Nr. 3 vom 21. November 2022	XIX
Anhang 2.4: Interview Nr. 4 vom 22. November 2022	XXI
Anhang 2.5: Interview Nr. 5 vom 20. Dezember 2022	XXIV
Anhang 2.6: Interview Nr. 6 vom 22. Dezember 2022	XXVII
Anhang 3: Bodenarten und ihre potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit	XXIX
Anhang 4: Berechnung des besonnten Streifens bei Steigung	XXX
Anhang 5: Berechnung des besonnten Streifens bei Gefälle.....	XXXIV

Anhang 1: Interviewfragebogen

Anhang 1.1: Fragebogen 1

1. Wo arbeiten Sie und was sind die Aufgabenfelder Ihres Betriebs sowie Ihrer Abteilung? Welche Berührungspunkte haben Sie mit dem Bereich Biodiversität und/oder Photovoltaikanlagen?
2. Auf welchem Pfad des IPCC denken Sie, bewegen wir uns?
 - a. SSP1-1.9
 - b. SSP1-2.6
 - c. SSP2-4.5
 - d. SSP3-7.0
 - e. SSP5-8.5
3. Wann, denken Sie, wird Deutschland den Ausbau erreicht haben, den wir zur Klimaneutralität benötigen?
 - a. 2027
 - b. 2030
 - c. 2050
 - d. 2070
4. Laut dem aktuellen IPCC-Bericht muss die Klimaneutralität bis 2027 erreicht werden. Wie kann man es schaffen einen schnellen Ausbau an PV zu gewährleisten und zudem die Flächen naturverträglich zu gestalten?
5. Dachanlagen sollen beim Ausbau priorisiert werden. Denken Sie, dass der Ausbau dort schneller und effektiver sein kann als bei Freiflächen-Photovoltaikanlagen?
6. Denken Sie, dass auf Dächern mit Dachanlagen ein naturverträglicher Ausbau gut möglich ist?
7. Welche Flächen halten Sie für am geeignetsten, wenn es um Freiflächen-Photovoltaikanlagen und ihr Potential zur Biodiversitätsförderung geht?
 - a. Konversionsflächen
 - b. Intensive Grünlandflächen
 - c. Extensive Grünlandflächen
 - d. Ackerflächen
 - e. Versiegelte Flächen
 - f. Ehemalige Ackerflächen
 - g. Deponien
 - h. Vorbelastete Flächen z.B. Kampfmittel
 - i. Schutzgebiete (Landschaftsschutzgebiete)

- j. Flächen in der Nähe von Wäldern
 - k. Flächen in der Nähe von Ackerflächen
 - l. Flächen in der Nähe von Grünlandflächen
 - m. Sonstige Flächen
8. Wie ist Ihre Meinung zu Freiflächen-Photovoltaikanlagen neben Schnellstraßen?
9. Freiflächen-Photovoltaikanlagen neben Schnellstraßen: Welche (Schutz-)Maßnahmen sind dort nötig, um die Biodiversität zu fördern?
10. Wie stehen sie zu den genutzten Flächen in der Landwirtschaft? Denken Sie, dass Flächen, die derzeit für den Anbau von Futtermittel oder Energiepflanzen genutzt werden, für Freiflächen-Photovoltaikanlagen genutzt werden sollten? Wenn ja, wie?
11. Welche Indikatorarten halten Sie für am geeignetsten, um die Biodiversität auf Freiflächen-Photovoltaikanlagen zu erfassen?
12. Was halten Sie von der Idee, bei Vorlage eines Konzepts für bestimmte geplante Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität eine schnellere Zulassung einer Freiflächen-Photovoltaikanlagen zu ermöglichen? So könnten naturverträgliche Maßnahmen nicht durch Verbote, sondern durch schnellere Genehmigungen erreicht werden.
13. Was würden Sie davon halten die obligatorischen Kompensationsmaßnahmen für Freiflächen-Photovoltaikanlagen in Hinsicht auf den starken Rückgang der Biodiversität zu verschärfen?
14. Was sollte mit abtransportiertem Mahdgut am besten gemacht werden?
15. Wie kann man die vielen positiven Aspekte von Freiflächen-Photovoltaikanlagen in der Gesellschaft verankern und Akzeptanz schaffen?
16. Wie kann mehr Transparenz hinsichtlich der Biodiversität auf Freiflächen-Photovoltaikanlagen geschaffen werden?
17. Wie kann hinsichtlich des Monitorings ein Standard gesetzt werden?
18. Welche weiteren Themen halten Sie für wichtig, in Bezug auf naturverträglichen Ausbau von Freiflächen-Photovoltaikanlagen?

Anhang 1.2: Fragebogen 2

1. Wo arbeiten Sie und was sind die Aufgabenfelder Ihres Betriebs sowie Ihrer Abteilung? Welche Berührungspunkte haben Sie mit dem Bereich Biodiversität und/oder Photovoltaikanlagen?
2. Auf welchem Pfad des IPCC denken Sie, bewegen wir uns?
 - a. SSP1-1.9
 - b. SSP1-2.6
 - c. SSP2-4.5
 - d. SSP3-7.0
 - e. SSP5-8.5
3. Wann, denken Sie, wird Deutschland den Ausbau erreicht haben, den wir zur Klimaneutralität benötigen?
 - a. 2027
 - b. 2030
 - c. 2050
 - d. 2070
4. Laut dem aktuellen IPCC-Bericht muss die Klimaneutralität bis 2027 erreicht werden. Wie kann man es schaffen einen schnellen Ausbau an PV zu gewährleisten und zudem die Flächen naturverträglich zu gestalten?
5. Wie suchen Sie sich Ihre Flächen aus?
6. Wie groß sind die Reihenabstände auf Ihren Anlagen?
7. Wie läuft generell die Grünpflege ab?
8. Wie wird die partielle Mahd durchgeführt?
9. Wird das Mahdgut immer beräumt?
10. Was passiert mit dem Grünschnitt?
11. Wie viel Grünschnitt fallen für 1 ha ungefähr an?
12. Auf welche Probleme sind Sie bei der Grünpflege bisher gestoßen?
13. Gibt es Maßnahmen zur Steigerung der Biodiversität? Wenn ja, welche?
14. Was für Maschinen werden eingesetzt?
15. Kann bei der Errichtung immer gewährleistet werden, dass Lebewesen bei dieser keinen Schaden nehmen (Brutzeiten, Bodenverdichtung etc.)?

16. Wie sollte man (vor der Bodenbearbeitung) mit Problempflanzen umgehen (z.B. Distel, Brennnessel, Knöterich, Robinie etc.)?

17. Welche weiteren Themen halten Sie für wichtig, in Bezug auf naturverträglichen Ausbau von Freiflächen-Photovoltaikanlagen?

Anhang 1.3: Fragebogen 3

1. Wo arbeiten Sie und was sind Ihre Aufgabenfelder? Welche Berührungspunkte haben Sie mit dem Bereich Biodiversität und/oder Photovoltaikanlagen?
2. Auf welchem Pfad des IPCC denken Sie, bewegen wir uns?
 - a. SSP1-1.9
 - b. SSP1-2.6
 - c. SSP2-4.5
 - d. SSP3-7.0
 - e. SSP5-8.5
3. Welche Flächen halten Sie für am geeignetsten, wenn es um Freiflächen-Photovoltaikanlagen und ihr Potential zur Biodiversitätsförderung geht?
 - a. Konversionsflächen
 - b. Intensive Grünlandflächen
 - c. Extensive Grünlandflächen
 - d. Ackerflächen
 - e. Versiegelte Flächen
 - f. Ehemalige Ackerflächen
 - g. Deponien
 - h. Vorbelastete Flächen z.B. Kampfmittel
 - i. Schutzgebiete (Landschaftsschutzgebiete)
 - j. Flächen in der Nähe von Wäldern
 - k. Flächen in der Nähe von Ackerflächen
 - l. Flächen in der Nähe von Grünlandflächen
 - m. Sonstige Flächen
4. Wie ist Ihre Meinung zu Freiflächen-Photovoltaikanlagen neben Schnellstraßen?
5. Freiflächen-Photovoltaikanlagen neben Schnellstraßen: Welche (Schutz-)Maßnahmen sind dort nötig, um die Biodiversität zu fördern?
6. Wie stehen sie zu den genutzten Flächen in der Landwirtschaft? Denken Sie, dass Flächen, die derzeit für den Anbau von Futtermittel oder Energiepflanzen genutzt werden, für Freiflächen-Photovoltaikanlagen genutzt werden sollten? Wenn ja, wie?
7. Welche Indikatorarten halten Sie für am geeignetsten, um die Biodiversität auf Freiflächen-Photovoltaikanlagen zu erfassen?
8. Was halten Sie von der Idee, bei Vorlage eines Konzepts für bestimmte geplante Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität eine schnellere Zulassung einer Freiflächen-Photovoltaikanlagen zu ermöglichen? So könnten naturverträgliche Maßnahmen nicht durch Verbote, sondern durch schnellere Genehmigungen erreicht werden.

9. Was würden Sie davon halten die obligatorischen Kompensationsmaßnahmen in Hinsicht auf den starken Rückgang der Biodiversität zu verschärfen?
10. Was sollte mit abtransportiertem Mahdgut am besten gemacht werden?
11. Wie kann man die vielen positiven Aspekte von Freiflächen-Photovoltaikanlagen in der Gesellschaft verankern und Akzeptanz schaffen?
12. Wie kann mehr Transparenz hinsichtlich der Biodiversität auf Freiflächen-Photovoltaikanlagen geschaffen werden?
14. Welche Maßnahmen zur Steigerung der Biodiversität auf Freiflächen-Photovoltaikanlagen halten Sie am geeignetsten?
15. Wie sollte man (vor der Bodenbearbeitung) mit Problempflanzen umgehen (z.B. Distel, Brennnessel, Knöterich, Robinie etc.)?
16. Welche weiteren Themen halten Sie für wichtig, in Bezug auf naturverträglichen Ausbau von Freiflächen-Photovoltaikanlagen?

Anhang 2: Zusammenfassungen der Expert:innen-Gespräche

Anhang 2.1: Interview Nr. 1 vom 17. November 2022

Zusammenfassung des Expert:innen-Gesprächs mit einem oder einer selbständigen Berater:in im Bereich der biodiversitätsfördernden Freiflächen-Photovoltaikanlagen am 17. November 2022

Der/die Expert:in hat Agraringenieurwesen in Bonn studiert und erlangte den Abschluss 1989. Daraufhin war er/sie im Bereich der Personalvermittlung tätig, bis er/sie in ein Unternehmen gelangte, bei welchem er/sie FF-PVA projektierte. Dort sollte der/die Expert:in mit Landwirt:innen reden, um deren Flächen für den Ausbau von Solarparks nutzen zu können. Als 2012 der Photovoltaikausbau zurückging, war er/sie einige Jahre in der IT-Branche tätig. Im Jahr 2019 ging er/sie in die Solarbranche zurück. Bei seiner Rückkehr ging er/sie auch mit Kommunen und Bürger:innen in Gespräche, um diesen aufzuzeigen, dass FF-PVA einen Teil zum Arten- und Umweltschutz beitragen können. Seit 2019 ist er/sie als freie:r Berater:in tätig, arbeitet jedoch die Hälfte der Zeit bei der RheinEnergie AG.

Er/sie hält das Problem des Artenschwundes für schwerwiegender als das des Klimawandels. Er/sie denkt, dass die Welt noch bis 2050 mehr CO₂-Emissionen ausstoßen wird und diese dann erst eine rückläufige Tendenz aufweisen werden. Er/sie geht davon aus, dass Deutschland erst 2070 den benötigten Ausbau erreicht hat, um Klimaneutralität zu erreichen. Dies wird daran liegen, dass Deutschland die Folgen des Klimawandels so wenig spüren wird, dass ein schnellerer Ausbau vernachlässigt werden wird. Die fossile Industrie wird sich so lange wie möglich gegen eine erfolgreiche Energiewende wehren und den Ausbau verzögern. Er/sie ist der Meinung, dass die Welt sich bis 2100 mindestens um 3°C erwärmen wird. Um einen schnellen Ausbau mit Photovoltaik zu gewährleisten, hält er/sie es für wichtig die derzeit für Energiepflanzen genutzten Flächen aus der Landwirtschaft für FF-PVA freizugeben. Die Flächeneffizienz von FF-PVA ist größer als die der Biomassenutzung. Im Gegensatz zu den Energiepflanzenflächen wird bei den FF-PVA kein Dünger aufgetragen und Lebensraum geschaffen. Aus diesen Gründen sind FF-PVA die nachhaltigere und effizientere Alternative. Zudem läuft bald die Förderung für viele Biogasanlagen aus, weswegen mehr Fläche für diese Nutzungsart zur Verfügung stehen würde. Die Politik versteift sich auf Dachanlagen und bereits versiegelte Flächen, was er/sie für ein großes Problem hält. Es existiert zwar Fachkräftemangel für die Installation von Freiflächen-Photovoltaik- und Dachanlagen, jedoch benötigt man vergleichsweise mehr Personal für die gleiche Leistung bei Dachanlagen. Des Weiteren ist der Strom aus FF-PVA günstiger als aus Dachanlagen. Damit FF-PVA so biodiversitätsfördernd wie möglich sind, sollten sie möglichst dort gebaut werden, wo der Nutzen für die Natur am höchsten ist. Das ist vor allem auf intensiv genutztem Ackerland der Fall. Artenarmes Ackerland kann zu einem sehr vielfältigen, artenreichen Magerrasenstandort entwickelt werden, der Kleinsäugetern, Amphibien, Vögeln und Insekten gute Lebensbedingungen bietet.

Konversionsflächen haben meist schon eine sehr ausgeprägte Natur und sollten in Ruhe gelassen werden. Bei den umgebenden Flächen ist es wichtig, dass die Arten eine Möglichkeit zum Wandern haben, somit also Verbindungskorridore oder -elemente, damit ein Besiedeln der FF-PVA möglich ist. Neben Schnellstraßen oder Autobahnen würde er/sie keine biodiversitätsfördernden FF-PVA bauen, sondern eine hundertprozentige Flächenbedeckung bevorzugen. Bedingt durch die Belastung mit Feinstaub, Lärm, Abgasen, Abrieb und Fahrverkehr, stellen diese Flächen einen schlechten Lebensraum dar. Diese FF-PVA sollten in Ost-West-Ausrichtung gebaut werden. Zudem sollte ein Wassermanagementsystem eingebaut werden, das Regenwasser sammelt und den angrenzenden Landschaften zur Verfügung stellt. Es sollte alle 500 m oder mindestens alle 1.000 m ein 5 bis 10 m breiter Korridor und eine Brücke über die Straße gebaut werden, um einen Wildwechsel zu ermöglichen. Abseits von Schnellstraßen und der Autobahn sollte eine extensive Pflege mit einem Abtransport des Mahdguts erfolgen. Das Mahdgut sollte, wenn es artenarm ist, an Kühe oder bei artenreichem Mahdgut an Pferde und Kaninchen verfüttert werden, da es hochwertiges Raufutter darstellt. Zudem könnte es als Kompost verwendet oder zu einem Torfersatz verarbeitet werden. Generell benötigen FF-PVA eine umweltgerechte Standortplanung, die individuell auf die Flächen zugeschnitten sein sollte. Die Selbstverpflichtung hin zu einer biodiversitätsfördernden FF-PVA sollte sich in eine Selbstverständlichkeit wandeln. Um eine Vergleichbarkeit zu schaffen, sollte ein Punktesystem eingeführt werden, welches sich das EULE-Projekt zum Vorbild nimmt, da eine bundesweite einheitliche Standardisierung nicht möglich ist. Zur Erfassung der Biodiversität auf FF-PVA könnte man Bodenproben nehmen, den Humusgehalt auf den Flächen untersuchen und messen wie viele Lebewesen sich auf einem Quadratmeter Boden befinden. Der Boden und die darin vorkommenden Lebewesen sind die Basis des darüber stattfindenden Lebens, bieten Nährstoffe und Nahrung für Pflanzen, Insekten und Vögel. Der Humusgehalt hat eine Bedeutung für die Kohlenstoffspeicherung. Auf Ackern liegt der Humusgehalt bei etwa 2% und auf extensiven Grünlandflächen bei 8 bis 15%. Da der Humusgehalt mit den Bodenorganismen steigt, könnte dies ein geeigneter Indikator in Bezug auf Biodiversität sein. Das Monitoring sollte nicht von den Unternehmen selbst, sondern alle fünf Jahre von lokalen Naturschützer:innen mit Unterstützung der unteren Naturschutzbehörde durchgeführt werden.

Um mehr Transparenz zu schaffen und die Akzeptanz in der Gesellschaft zu verankern, sollte die Bürgerbeteiligung erleichtert und verstärkt werden. Den Stadtwerken, Naturschutzverbänden und Landwirt:innen sollten mehr Möglichkeiten der Beteiligung eingeräumt werden. Auch sollten FF-PVA so attraktiv errichtet werden, dass die Menschen diese Form der Energieerzeugung in ihrer Nähe haben möchten. Dabei kann es helfen in den Kommunen Führungen auf den FF-PVA anzubieten. Nachrichten und Dokumentationen, die die positiven Aspekte hinsichtlich des Artenschutzes aufzeigen, sollten häufiger und weit verbreiteter vorkommen.

Anhang 2.2: Interview Nr. 2 vom 17. November 2022

Zusammenfassung des Expert:innen-Gesprächs mit einem oder einer Mitarbeiter:in des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung und der Technischen Universität in Dresden am 17. November 2022

Der/die Expert:in dieses Interviews arbeitet im Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung im Bereich Landschaft, Ökosysteme und Biodiversität. Dort beschäftigt er/sie sich mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien und dem Landschaftswandel. In seiner oder ihrer Arbeit setzt er/sie sich mit Flächennutzungs-, Landschafts- und Ökosystemleistungsindikatoren auseinander. Er/sie ist zudem Professor:in an der Technischen Universität Dresden im Bereich der Siedlungsentwicklung und ist Mitglied der deutschen UVP-Gesellschaft. Er/sie betreibt Forschung, Transferpolitik und ist beratend tätig. Er/sie hat die Hoffnung, dass die Welt bis 2100 nur eine Erderwärmung zwischen 2 und 3°C erreichen wird. Bedingt durch die vielen Konflikte auf der Welt, wie zum Beispiel den russischen Angriffskrieg, hat die Politik wenig Handlungskapazitäten. Sie bräuchte jedoch genau diese Kapazitäten, um schneller in der Energiewende voranzuschreiten. Die Abhängigkeit von den fossilen Energieträgern und damit einhergehend deren Import muss so schnell wie möglich eingestellt werden. Nur so ist ein Ausbau hin zur Klimaneutralität in Deutschland bis 2030 realisierbar. Er/sie geht davon aus, dass dieser Ausbau zwar vor 2050 abgeschlossen sein wird, aber mit den aktuell vorgegebenen Ausbauzielen keine hundertprozentige regenerative Energieerzeugung gegeben sein wird. Um Klimaneutralität zu erreichen, muss deutlich mehr getan werden, als nur die Energieerzeugung umzustellen. Der Verkehrs- und Wärmesektor müssen umstrukturiert werden, damit auch dort weniger CO₂ ausgestoßen wird. Um einen schnellen Ausbau zu erwirken, benötigen die Genehmigungsbehörden, wie lokale Bauämter und die untere Naturschutzbehörde, mehr Personal. Es ist wichtig die Bedeutung der Schönheit und Attraktivität von Flächen und Landschaftsbildern nicht zu unterschätzen, da es bei diesen Flächen zu Bürgerprotesten hinsichtlich eines Ausbaus mit FF-PVA kommen kann. Er/sie betont, dass der Ausbau und Naturschutz auf Bundesebene und nicht auf kommunaler Ebene gesteuert werden sollte. Er/sie ist der Meinung, dass Dächer und versiegelte Flächen bei dem Ausbau von Photovoltaikanlagen priorisiert werden sollten. Dachanlagen stellen keinen größeren Eingriff in die Natur dar, sondern nutzen das Potenzial des Gebäudebestandes. Es gibt Studien, in welchen beschrieben wird, dass aktuell 4.400 km² an Dach- und 12.400 km² an Fassadenflächen für einen Ausbau zur Verfügung stehen würden. Diese Zahlen beachten jedoch z.B. nicht die Statik von Gebäuden. Somit kann gar nicht jedes Gebäude für eine Dachanlage genutzt werden. Dennoch sei die Fläche für den Ausbau auf Dächern groß genug. Man muss nur Anreize für Hausbesitzer schaffen, wie zum Beispiel eine gute Energieeinspeisevergütung. Da die Ziele des EEG 2023 nicht allein mit Dachanlagen geschafft werden können, sollten auch FF-PVA gebaut werden. Dies sollte nur unter Aufwertung der genutzten Fläche geschehen. Die größten Potentiale haben versiegelte Flächen, Ackerflächen und Deponien. In der Nähe von Wäldern und

Ackerflächen müsse man Rücksicht auf die Migrationswege der Tiere nehmen und dafür sorgen, dass diese nicht zerstört werden. Neben Schnellstraßen sieht er/sie kein Problem von biodiversitätsfördernden FF-PVA. Korridore für Tiere und Grünbrücken sind entscheidend, um eine weitere Zerschneidung der Landschaft zu minimieren. In Hinblick auf die derzeit genutzten Flächen in der Landwirtschaft sieht er/sie ein großes Potential bei den für Futtermittel genutzten Flächen, da diese einen Anteil von 60% der landwirtschaftlichen Fläche ausmachen. Er/sie ist der Meinung, dass wenn die Subventionen der Fleischindustrie reduziert werden würden, sich dies auch auf die Flächenverfügbarkeit auswirken würde. In Hinblick darauf, dass die Anzahl der Vegetarier:innen und Veganer:innen in Deutschland steigt, führt ein weiterer Flächenverbrauch für Futtermittel nur zu mehr Exporten oder einem Rückgang der Produktion von Fleisch- und Milchprodukten. Angesichts der EU-Biodiversitätsstrategie 2030, welche nicht nur dem Verlust der Biodiversität entgegenwirken, sondern einen Gewinn dieser erreichen möchte, wäre eine Umwandlung der landwirtschaftlich genutzten Flächen hin zu artenreichen FF-PVA erstrebenswert. Biodiversitätsfördernde FF-PVA könnten bei Einreichung eines überdurchschnittlichen Konzepts auch eine schnellere Zulassung bei den Behörden erlangen, vorausgesetzt, dass genug Personal vorhanden ist. Um eine positive Biodiversitätsentwicklung festzustellen, würde er/sie ein kleines Set an Zeigerpflanzen vorschlagen, welche bodenabhängig ausgesucht werden sollten. Zudem sollte jede FF-PVA das Ziel haben, in ein extensives Grünland umgewandelt zu werden. Somit könnten auch Zeigerpflanzen für extensives Grünland festgelegt werden, welche bei Erreichen des Zustandes typischerweise zu finden sind. Er/sie legt den Wert auf Pflanzen, weil diese bei Abwesenheit von wichtigen Bodenorganismen nicht vorkommen würden. Auch seltene Tierarten wären ohne sie nicht auffindbar. Um extensives Grünland zu erhalten ist eine regelmäßige Mahd von Bedeutung. Das anfallende Mahdgut sollte von lokalen Abnehmern entweder energetisch oder als Futtermittel genutzt werden. Da jedes Unternehmen eigene Monitorings durchführt, wäre eine verbesserte Kommunikation und Transparenz zwischen den einzelnen Unternehmen wichtig. Somit könnte schneller festgestellt werden, was jedes einzelne Unternehmen verbessern kann. Gerade auch die Veröffentlichung anonymisierter Forschungsprojekte einzelner Unternehmen wäre eine Hilfestellung, um auf möglichen Personal- und Kostenmehraufwand oder Minderung dieser hinzuweisen. Er/sie ist darüber hinaus der Meinung, dass Monitorings in Zukunft stark von den Behörden kontrolliert werden sollten. Externes Fachpersonal sollte die Monitorings durchführen und Aussagen über die getroffenen Maßnahmen und deren Erfolg oder Misserfolg treffen. Um die nötigen Gelder dafür bereitzustellen, könnte ein Teil der 80 Milliarden € des Klimaschutzfonds genutzt werden.

Anhang 2.3: Interview Nr. 3 vom 21. November 2022

Zusammenfassung des Expert:innen-Gesprächs mit einem oder einer Mitarbeiter:in des Bundesamts für Naturschutz im Bereich der Erneuerbaren Energien und des Naturschutzes am 21. November 2022

Der/die Expert:in dieses Interviews arbeitet beim Bundesamt für Naturschutz im Fachgebiet Naturschutz und erneuerbare Energien. Er/sie hat ein Studium zum oder zur Landschaftsplaner:in (FH) absolviert. Seit 2002 ist er/sie beim Bundesamt für Naturschutz mit den Themen Solarenergie und Wasser- und Wind betraut. Er/sie vergibt Forschungsvorhaben mit Bezug zu Naturschutzfragen beim Ausbau der erneuerbaren Energien und ist zudem beratend tätig. Das Bundesamt für Naturschutz erstellt Empfehlungen und Veröffentlichungen, die sowohl der Arbeit der Bundesländer zur Unterstützung dienen und von diesen übernommen werden können oder die der Politikberatung dienen. Es war auch bei der EEG-Novelle 2022 beteiligt. In Bezug auf die Ausbauziele der erneuerbaren Energien, insbesondere von Photovoltaik, welche Deutschland für die Klimaneutralität benötigt, sieht er/sie ein massives Wachstum, wodurch der Naturschutz, zum Erreichen der Klimaziele, eingeschränkt werden könnte. Der Ausbau müsse zwar schnell erfolgen, aber werde für das Erreichen der Klimaneutralität erst zwischen 2040 und 2045 vollzogen werden. Man sollte, in Hinblick auf die neuen Ziele des EEG 2023, im Jahr 2030 rückblickend schauen, was bis dato erreicht wurde und auf Grundlage dieser Daten neue Ziele für die Zukunft setzen. Die großen Schwierigkeiten des Ausbaus der Photovoltaik sieht er/sie in der Politik und im Personalmangel der Kommunen. In der Politik müsse mehr in Diskussion gegangen, sowie die Kommunen personell und fachlich unterstützt werden, um die geplanten 215 GW PV-Leistung bis zum Jahr 2030 erreichen zu können. Dieses Ziel wird von ihm oder ihr als sehr ambitioniert, in Bezug auf den Ausbau, angesehen und es bleibt abzuwarten, inwieweit die einzelnen Kommunen zur praktischen Umsetzung beitragen werden. Das Bundesamt für Naturschutz weist darauf hin, dass es erst die Dach- und versiegelten Flächen für den Ausbau priorisieren möchte. Zudem gibt es Studien, die aufzeigen, dass die Ausbauziele bis 2030 allein mit diesen Flächen gelingen könnten, jedoch fehlt es an Fachpersonal für die Installation. Die Hausbesitzer:innen müssen selbst aktiv werden und zudem Mehrkosten tragen. Die Lösung wäre eine Solarpflicht oder Steuervergünstigungen. Letztere können einen Anreiz für Hausbesitzer:innen, Mietwohnungsgesellschaften oder Mehrfamilienhausbesitzer:innen darstellen. Es bedarf einer bundesweiten einheitlichen Regelung über das Förder- oder Ordnungsrecht. Da der Anteil der Hausbesitzer:innen, welche über 60 Jahre alt sind, hoch ist, könnte sich der Ausbau dennoch verzögern. Diese sehen meist die Notwendigkeit nicht und überlassen die Aufgabe des Ausbaus ihren Kindern und Erben. In Anbetracht dieser Schwierigkeiten müssen neue FF-PVA beim Ausbau berücksichtigt werden, da diese schneller gebaut werden können und wirtschaftlicher sind. Dabei ist eine Extensivierung der Fläche wichtig, unter der Berücksichtigung, dass es zu keiner Verschlechterung der Flächenqualitäten kommen darf. Somit sollte nicht auf einer Fläche gebaut werden, welche

laut Bundeskompensationsverordnung eine Wertigkeit von 11 hat. Ab dieser Wertigkeit gilt ein Biotopwert für artenreiche extensive Grünlandflächen. In diesem Sinne sieht er/sie das größte Potential des Ausbaus auf ehemaligen Ackerflächen, welche für die Futtermittelproduktion genutzt wurden. Bei der Errichtung der FF-PVA muss auch die Umgebung betrachtet werden. Neben Schnellstraßen sieht er/sie die Schwierigkeit, dass diese für Arten eine zusätzliche Barriere darstellen können. Sollte eine FF-PVA neben einer Schnellstraße gebaut werden, so sei ein Korridor zwischen den Anlagen bzw. Anlagenteilflächen mit einer Breite von mindestens 50 m, besser 100 m, mit einer Bepflanzung notwendig. Wenn dies nicht gegeben ist, sei es schon vorgekommen, dass trotz vorhandener Brücken oder Tunneln als Querungshilfe für die Straße oder Schiene, Tiere die Schnellstraße kreuzten, da die FF-PVA eine zusätzliche Barriere beim Erreichen der Querungshilfe darstellte. In Hinblick auf die artenfördernden Maßnahmen auf FF-PVA ist er/sie gegen ein Standardkonzept, da alle Maßnahmen auf den Standort und die in dem Gebiet vorkommenden Arten angepasst sein sollten. Um den Erfolg der biodiversitätsfördernden Maßnahmen zu messen, sollte es standardisierte Vorgehen geben, welche zu einem bestimmten Zeitpunkt oder Zeitraum eine Artenerhebung durchführen. Der Zustand vor der Bebauung und nach der Errichtung sollte verglichen werden. Indikatorarten sollten dabei bestimmte Pflanzen, Vögel, Insekten, Amphibien und Reptilien sein. Diese seien vom Standort abhängig zu wählen. Nach dem Monitoring sollten alle Daten zentral gespeichert, ausgewertet und veröffentlicht werden. Dies soll dabei helfen mehr Transparenz zu schaffen. Doch Transparenz allein genügt nicht, um Akzeptanz in der Gesellschaft für FF-PVA zu erreichen. Es ist wichtig alle Betroffenen frühzeitig zu beteiligen und die Erfordernisse des Ausbaus zu verdeutlichen. Die Menschen vor Ort sollten das Gefühl bekommen ein Teil des Projektes zu sein und von der Anlage profitieren zu können. Generell ist es ihm oder ihr sehr wichtig, dass FF-PVA nicht zu groß werden. Es soll durch sie nicht zu einer weiteren Zerschneidung und technischen Überprägung von Flächen kommen. Auch ist es wichtig, in der Gesellschaft Suffizienz und Energieeinsparung zu verankern.

Anhang 2.4: Interview Nr. 4 vom 22. November 2022

Zusammenfassung des Expert:innen-Gesprächs mit einem oder einer Berater:in im Bereich der naturverträglichen Freiflächen-Photovoltaikanlagen vom 22. November 2022

Der/die Expert:in ist seit 1992 Diplombiologe oder -biologin und hat ebenfalls einen juristischen Hintergrund. Er/sie war über 30 Jahre geschäftsführende:r Gesellschafter:in bei einem Unternehmen, welches sich mit Umweltplanungen im Bereich der Eingriffsplanung beschäftigt. Dort führte er/sie biologisch-fachliche Monitorings für u.a. den Fehmarnbelt-Tunnel, den Nord-Ostsee-Kanal, Autobahnen und Eisenbahnen, sowie Grundlagenerfassungen in über 200 FFH-Gebieten durch. Seit über 10 Jahren beschäftigt er/sie sich mit allen Aspekten der biologischen Planungstätigkeiten im Zusammenhang mit Freiflächen-PV, wie zum Beispiel Grundlagenerfassungen, Erfolgskontrollen, Ökologische Baubegleitung, Artenschutz-Gutachten. Seit etwa fünf Jahren berät er/sie diesbezüglich konkret Unternehmen, die FF-PVA errichten wollen. Mit seiner oder ihrer Hilfe soll es den Unternehmen gelingen, mehr Artenvielfalt auf ihren Anlagen zu schaffen. Abgeleitet aus den Ausbauzielen der Bundesregierung wird etwa ein Prozent der Fläche Deutschlands benötigt, um den geforderten Ausbau der Photovoltaikanlagen zu schaffen. Das größte Aufwertungspotential sieht er/sie dabei bei ehemals genutzten Ackerflächen, vor allem auf Maisäckern, welche als Energiepflanzen genutzt werden. Durch die Umwandlung dieser Flächen kommt es zu einer Humusanreicherung und einer verbesserten Wasserversickerung. Die FF-PVA, welche von Ackerflächen umgeben sind, sollten dabei groß genug sein, um die Effekte durch die umgebende Landwirtschaft innerhalb der Anlage verschwinden zu lassen. In großen Anlagen entstehen Erhaltungskulturen und seltene Pflanzenarten bleiben erhalten. Bei einer kleinen Anlage können schon durch stärkeren Wind, Dünge- und Pflanzenschutzmittel auf die FF-PVA gelangen. Bei größeren Anlagen ist der Einfluss dieser Mittel geringer. Zu Wäldern sollte man 30 m Abstand halten. Nichtsdestotrotz können in der Nähe von Wäldern Amphibienpopulationen stark gefördert werden, denn deren Sommerlebensräume sind oftmals Wälder. Die Module auf den Anlagen spenden den Amphibien Schatten und Sonne zugleich, weswegen diese gute terrestrische Lebensräume darstellen können. Wenn in der Anlage ein Gewässer enthalten ist, sollten die Module um dieses Gewässer sogar enger gestellt werden, um ein passendes Mikroklima für Amphibien zu gewährleisten. Dies wiesen Untersuchungen von z.B. Ökotoxikologie und auch am GEO-Tag der Natur nach. Ebenfalls wurde nachgewiesen, dass Fledermäuse in diesen Anlagen vorkommen und auch jagen, da dort ein hohes Insektenvorkommen vertreten ist. Kiefernforste, um genauer zu sein die sogenannten Stangenplantagen, hält er/sie auch für einen geeigneten Ort, um FF-PVA zu bauen. Diese Forste werden vermehrt von Borkenkäfern befallen, sind schlecht verwurzelt und bieten nur minderwertiges Holz. Sie stehen immer unter Wasserstress, da sie stark transpirieren und somit das Land entwässern. Somit ist er/sie der Meinung, dass diese Flächen, bei einem Ausbau von FF-PVA mit einer biodiversitätsfördernden Bauweise und Pflege, einen Mehrwert für die Natur darstellen könnten. Weiteres Potential sieht er/sie auf künstlichen oligotrophen

Gewässern, wie zum Beispiel Bergbaufolgeseen oder Kiesgruben. Auf diesen Seen könnten schwimmende Photovoltaikanlagen installiert werden, wobei der Uferbereich von eben diesen freigehalten werden sollte. Solche künstlich angelegten, nährstoffarmen Seen sind kalt, nicht sehr tief und haben kaum einen Fischbesatz. Bedingt durch den Klimawandel erwärmen sich diese Seen. Eine schwimmende Photovoltaikanlage könnte einer Erwärmung des Sees entgegensteuern. Es bedarf hier jedoch noch Forschung, bei welcher die Auswirkungen betrachtet werden müssen. Auch auf degradierten Mooren sieht er/sie Potential, da eine darauf stehende Photovoltaikanlage die Verdunstungsrate, durch einen engen Bau, vermindern könnte. Zuvor sollte dieses Moor wieder vernässt werden. Wenn eine Wiedervernässung nicht möglich scheint, weil in der Nähe eine landwirtschaftliche Fläche ist, dann kann, laut Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, um das zu vernässende Moor ein Folienzaun gelegt werden. Es sollte mit bifazialen Modulen auf diesen Flächen gearbeitet und auf das Material geachtet werden, da verschiedene Materialien von der dort vorkommenden Säure angegriffen werden könnten. Neben Schnellstraßen soll seiner oder ihrer Meinung nach eng gebaut werden und Biodiversität nicht gefördert werden, da die Nähe zu Schnellstraßen zu erhöhten Verlusten an Brutvögeln führen kann und Populationen senken. Amphibien könnte man dort fördern, wobei man darauf achten sollte, dass diese nicht auf die Schnellstraßen gelangen. Bei naturverträglich gestalteten FF-PVA auf ehemaligen Ackerflächen sollte es nicht dazu kommen, dass man Kompensationsmaßnahmen benötigt. FF-PVA können, bei naturverträglicher Bauweise und Pflege, eine Verbesserung des Naturhaushaltes darstellen. Unter diesem Gesichtspunkt könnten diese somit für Behörden nur eine Formsache bei der Zulassung sein. Da das Landschaftsbild auch beeinträchtigt werden kann, ist diese Formsache nicht gegeben. Es haben nicht alle Kommunen und Behörden die gleiche fachliche Kenntnis, in Hinblick auf die mögliche biodiversitätsfördernde Wirkung von FF-PVA. Aus diesem Grund kann es oftmals zu Verzögerungen bei der Zulassung kommen. Dem oder der Expert:in wäre es wichtig, dass Behörden sich bei der Zulassung stark an das BNatSchG halten, um einschätzen zu können, ob die betrachtete FF-PVA eine Beeinträchtigung in den Naturhaushalt darstellt. Bei einer biodiversitätsfördernden Bauweise und Pflege tut sie das nicht. Diese Bauweise und Pflege sollten bekannter werden, um die Zulassung schneller zu bewirken. Des Weiteren sind Gründe für eine verzögerte Zulassung die Unwilligkeit der unteren Naturschutzbehörden, die Ahnungslosigkeit und der Widerwillen der Kommunen und die beratenden, aber dennoch ahnungslosen, Naturschutzverbände. Um die positiven Aspekte mehr in den Vordergrund rücken zu können, ist es wichtig, dass Besichtigungen und Führungen mit Biolog:innen, die sich intensiv mit Photovoltaikanlagen auseinandergesetzt haben, angeboten werden. Die offene Kommunikation mit Gegner:innen von FF-PVA sollte gesucht werden, da auch hier Unwissenheit der Grund der Ablehnung sein kann. Es muss bessere Öffentlichkeitsarbeit geleistet und mehr Geld in PR investiert werden. Infoveranstaltungen wie zum Beispiel der GEO-Tag der Natur sind wichtig, aber leider noch nicht bekannt genug.

Bei der Flächenpflege der Anlagen darf, laut Auflagen verschiedener unterer Naturschutzbehörden, vor dem 1. Juli nicht gemäht werden, um die brütenden Vögel nicht zu stören. Da wegen des Klimawandels sich der Beginn und die Länge der Jahreszeiten verändert hat, ist die Vegetation, in vielen der letzten Jahre, zu diesem Zeitpunkt schon sehr hoch. Sie ist damit

zu hoch für Arten wie Feldlerchen. Dies kann zur Verklammung führen, weswegen in einem solchen Fall eine frühere Mahd nötig wäre. Die Mahdtermine sollten also nicht früh festgelegt sein, sondern situativ entschieden werden. Durch die Aushagerung der Fläche kommt es zu einem Nährstoffentzug und über die Jahre zu einer Reduzierung der Biomasse. Das erhaltene Mahdgut sollte nicht zu Abfall werden. Der/die Expert:in hat die Idee, dass es zusammen mit der Straßenbegleitbegrünung in Biogasanlagen gebracht werden könnte. Derzeit sind die Bakterienkulturen dort noch nicht darauf angepasst, jedoch könnten diese dahingehend umgestellt werden, um die vorhandene Infrastruktur zu nutzen. Zusätzlich könnte man aus dem Mahdgut Asche herstellen, welche als Dünger genutzt werden könnte. Dies sind jedoch alles nur Ideen und bedürfen an Kommunikation zwischen den einzelnen Unternehmen.

Man sollte sich bei dem Monitoring an das Forschungsprogramm Straßenwesen FE 02.0332/2011/LRB der Bundesanstalt für Straßenwesen von 2013 halten. Dort stehen biologische Methoden, die man nutzen kann, um mögliche relevante Organismen zu erfassen. Der/die Expert:in kennt schon Unternehmen, welche sich an eben dieses Papier halten.

Es ist wichtig, dass es mehr naturverträglich gestaltete Anlagen gibt, da davon auszugehen ist, dass die dort vorkommende Tiere voneinander lernen. Es wurde bisher eine Anpassungsleistung von verschiedenen Tieren beobachtet. Beispielsweise bemerkten immer mehr Vogelarten, dass FF-PVA geeignete Brutplätze darstellen. Somit kann man sagen, dass je mehr Solarparks entstehen, desto schneller auch die Besiedlung mit Arten erfolgen wird und dem Artensterben entgegensteuert werden kann.

Anhang 2.5: Interview Nr. 5 vom 20. Dezember 2022

Zusammenfassung des Expert:innen-Gesprächs mit einem oder einer Mitarbeiter:in der Wattmanufactur GmbH & Co. KG am 20. Dezember 2022

Der/die Expert:in dieses Fachgesprächs hat Elektrotechnik studiert und in seiner oder ihrer Berufslaufbahn erst bei Conergy und danach bei QCells gearbeitet. Bei beiden Unternehmen hat er/sie Freiflächenanlagen projektiert. Seit 2010 arbeitet er/sie bei der Wattmanufactur. Die Wattmanufactur entwickelt, baut und betreibt FF-PVA und hat es sich zur Aufgabe gemacht Energieerzeugung, Landwirtschaft und die Artenvielfalt zu verbinden. Durch langlebige und hochwertige Komponenten, eine individuelle Planung jedes Solarparks, extensive Bewirtschaftung und gute Kommunikation und Mitarbeit, gelingt es der Wattmanufactur nicht nur günstigen und erneuerbaren Strom zu gewährleisten, sondern auch die Artenvielfalt auf ihren Anlagen zu steigern und so dem Biodiversitätsrückgang entgegenzusteuern. Als eines von 39 Unternehmen hat die Wattmanufactur die *Gute Planung von PV-Freiflächenanlagen* des Bundesverband Neue Energiewirtschaft unterschrieben. Bei der guten Planung verpflichten sich Unternehmen „[...] einen positiven Beitrag zum Klimaschutz, Biodiversität, Natur- und Umweltschutz sowie ländlichen Entwicklung [zu] leisten“. (Bundesverband Neue Energiewirtschaft, 2022). Der/die Mitarbeiter:in der Wattmanufactur steht einem Ausbau, den wir benötigen würden, um die 1,5°C bis 2100 noch einhalten zu können, kritisch gegenüber. Er/sie geht davon aus, dass die CO₂-Emissionen bis 2040/50 noch ansteigen und danach abfallen werden. Die Welt wird sich bis 2100 um zwei bis drei Grad Celsius erwärmen und keine Klimaneutralität erreichen. Deutschland wird, seiner oder ihrer Meinung nach, ein Umdenken schnell durchlaufen und Klimaneutralität bis 2050 erreichen können. Um den Ausbau Deutschlands hin zu Klimaneutralität zu gewährleisten, wird auf den Dachflächen der Ausbau zur Hälfte stattfinden, da sich, bedingt durch die derzeitigen hohen Energiekosten, ein riesiger Markt etablieren wird. Er/sie geht davon aus, dass für eine Energiewende 700 GW benötigt werden und dafür eine Fläche von 500.000 bis 700.000 ha in Anspruch genommen werden muss. Da die Hälfte der Anlagen auf Deutschlands Dächer kommen sollen, wäre nur noch eine Fläche von 250.000 ha nötig und somit etwa 1,5% der landwirtschaftlichen Fläche. Er/sie hat im Austausch mit Bürger:innen die Erfahrung gemacht, dass die Menschen oftmals von einem Flächenanspruch von 25% bis 50% ausgehen. Somit könnte mit einer offenen Kommunikation dieses Vorurteil beseitigt werden. In Hinblick auf die Agrarreform 2023 sollen 4% der Ackerflächen stillgelegt werden. Somit scheint ein benötigter Anteil von 1,5% der landwirtschaftlichen Fläche gering. Ihre Photovoltaikanlagen plant die Wattmanufactur immer individuell, bezogen auf den Standort und die Gegebenheiten. Bifaziale Module wurden von der Wattmanufactur schon auf Anlagen genutzt, jedoch sei der Mehrwert nicht gegeben, da bei vielen bifazialen Modulen zwischen den Zellen eine weiße Folie verarbeitet ist. Somit ergeben sich, durch Verhinderung der Lichtdurchlässigkeit, keine besseren Auswirkungen im Vergleich zu monofazialen Modulen. Generell sind die Modulreihen so konzipiert, dass zwischen den Modulen immer 20 mm Platz

herrscht, um unter den Modulreihen Licht und Niederschlag durchzulassen. Zudem wird darauf geachtet, dass zwischen den Modulreihen immer ein besonnter Streifen von 2,5 m gewährleistet ist. Um dies zu erreichen hat die Wattmanufactur ein Tool entwickelt, in welchem sie die Gegebenheiten und vorhandene Technik eintragen und somit den Reihenabstand errechnen, welcher für einen besonnten Streifen von 2,5 m nötig ist. So können dort Blühpflanzen wachsen, welche wiederum Nahrung für Insekten und Tiere sind. Der durchschnittliche Abstand, von Oberkante zu Oberkante, beträgt 10 m, variiert jedoch immer und wird für jeden Park neu zu planen. Während der Errichtung einer Anlage werden die Bodengegebenheiten und die Brutzeiten immer beachtet. Um eine Bodenverdichtung zu vermeiden, werden Raupenfahrzeuge und Verteilermatten genutzt. Sollte es dennoch zu einer Fahrspur kommen, so dient diese für Insekten. Der Gesamtversiegelungsgrad der Anlage liegt bei unter einem Prozent, da das Gestellsystem der Module und der Zaun über Gründungspfosten mit dem Boden verbunden sind, Wege offenporig gebaut werden und die Trafostation auf einem Kiesbett gestellt und mit Erdwällen befestigt wird. Die Wattmanufactur hat eine eigene externe Firma, welche das ökologische Flächenmanagement durchführt. Die Mahd, bei der Grünpflege, wird mit einem Doppelmesser-Mähbalken durchgeführt. Diese Maschine hat rotierende Stachelwalzen, welche ein Überleben der Insekten von mindestens 80% gewährleistet und kann ferngesteuert betrieben werden. Um eine Fläche von 10 MW zu mähen, benötigen zwei Mitarbeiter:innen etwa einen bis eineinhalb Tage. Der Doppelmesser-Mähbalken hat eine Schnittbreite von bis zu vier Metern und eine Geschwindigkeit von bis zu 7 km/h. Er erzeugt weniger Geräusch- und Geruchsemissionen. Seine Messer müssen nach jedem vollen Tag des Einsatzes geschliffen werden. Während der Mahd werden Abschnitte stehengelassen, um einen Rückzugsort für Tiere und Insekten zu gewährleisten. Es wird zudem auf die Brutzeiten von Vögeln geachtet. Die Masse des anfallenden Mahdguts ist abhängig von der Bodenart und dem Nährstoffgehalt des Bodens. Bei ehemaligen Ackerflächen, welche einen hohen Nährstoffgehalt haben, fällt viel Mahdgut an, wohingegen bei mageren Böden wenig anfällt. Das Mahdgut wird von verschiedenen lokalen Partner:innen geborgen und zu Rundballen gepresst. Abhängig von der Qualität des Mahdguts wird dieses verfüttert oder kompostiert. Bisher wurde es noch nicht zu Biogasanlagen gebracht, jedoch besteht Kontakt zu Biogasanlagenbetreiber:innen. Einmal im Jahr werden Problempflanzen auf den Anlagen, falls diese vorkommen, entsorgt. Jedoch hat die Wattmanufactur nicht häufig mit diesem Problem zu tun. Bei einer einzigen Fläche hatte die Wattmanufactur vor der Errichtung den Fall, dass auf der ganzen Fläche Robinien wuchsen. Durch eine regelmäßige Mahd wurde diese Problematik gelöst.

Um die Artenvielfalt auf ihren Flächen zu fördern, hat die Wattmanufactur zielgerichtete Maßnahmen. Zunächst werden sich die Gegebenheiten auf der Fläche angesehen und daraufhin die Maßnahmen geplant. Zu den Maßnahmen gehören Heckenpflanzungen, Feuchtbiopte, Lesesteine, Nisthilfen und Insektenhotels. Da viele Wildbienenarten im Erdboden nisten, werden die Insektenhotels eher von den Menschen wahrgenommen und weniger von den Wildbienen genutzt. Durch frische Bodenabbrüche werden Nistplätze für Wildbienen hergestellt. Dies kann zum Beispiel durch eine Schafbeweidung erreicht werden. Um bei dieser Beweidung die Tiere zu schützen, wird entweder ein Herdenschutzhund oder ein Untergrabschutz

eingesetzt. Dieser Untergrabschutz wird auch genutzt, wenn die Wattmanufactur bei einer Fläche Probleme mit eindringenden Wildschweinen hat.

Generell ist es dem oder der Expert:in wichtig, dass in den Gemeinden die Akzeptanz für FF-PVA gestärkt und dafür in den Austausch miteinander gegangen wird. Zudem ist für eine gewisse Artenvielfalt der Reihenabstand, beziehungsweise ein besonnter Streifen, ungemein wichtig. Jede Anlage sollte einen Beitrag zur Artenvielfalt leisten, sei es neben Wäldern, Ackern, Grünlandflächen oder Schnellstraßen.

Anhang 2.6: Interview Nr. 6 vom 22. Dezember 2022

Zusammenfassung des Expert:innen-Gesprächs mit einem oder einer Mitarbeiter:in des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) vom 22. Dezember 2022

Die in diesem Gespräch interviewte Person hat eine Ausbildung als Physiker:in absolviert und vor 35 Jahren noch Teilchenbeschleuniger gebaut. Ab Mitte der 1980-iger hat er/sie in einem Umweltlabor gearbeitet und dort Altlastmessungen in Böden und Radioaktivitätsmessungen durchgeführt. Mehr als 20 Jahre war er/sie Mitglied des Energiereferats der kommunalen Klimaschutzagentur in Frankfurt. Seit etwa 20 Jahren ist er/sie beim BUND und arbeitet im Bundesarbeitskreis Energie, bei welchem er/sie Positionspapiere erarbeitet. Zudem ist er/sie Mitglied der UVP-Gesellschaft. Er/sie hofft, dass die Welt bis 2100 nur eine Erwärmung bis 2°C erreichen, sich der Energieverbrauch bis zum Jahr 1950 halbiert hat und durch Erneuerbare Energie gedeckt wird. Die Emissionen werden, seiner oder ihrer Meinung nach, durch Wirtschaftskrisen und nicht durch politische Entscheidungen sinken. Auf Grund dessen könnte es zu einer Erwärmung um bis zu 4°C kommen. Er/sie hält es für wahrscheinlich, dass die Kippunkte schon erreicht oder sogar längst überschritten sind. Der BUND setzte sich in der Politik für einen CO₂-Budgetansatz ein, da prozentuale Reduktionen nicht eingehalten werden. Den in Deutschland für eine Klimaneutralität benötigten Photovoltaikausbau fordert er/sie bis zum Jahr 2035, aus dem Grund, dass dieser mit einer einkalkulierten Verzögerung im Jahr 2040 erreicht werden wird. Es gibt derzeit noch zu viele gesetzliche Hindernisse und einen zu hohen Fachkräftemangel, um einen schnelleren Ausbau erreichen zu können. Der BUND möchte bei dem Ausbau, dass zwei Drittel der Anlagen auf Dächern und vorversiegelten Flächen installiert werden. Jährlich soll es zu einem Zubau von 25 GW kommen. Hätte man schon früher mit einem großflächigen Ausbau angefangen, wäre der BUND sogar für einen hundertprozentigen Ausbau auf diesen Flächen. Da die Regierung die Verantwortung auf einzelne Länder überträgt, kann der Ausbau auf Dachflächen und versiegelten Flächen nicht schnell genug stattfinden. Deswegen muss eine Ergänzung durch naturverträgliche FF-PVA erfolgen. Diese sollten jedoch nicht mehr als ein Prozent der landwirtschaftlichen Fläche ausmachen, wobei jede einzelne Anlage maximal eine Fläche von 20 ha haben sollte, um weitere Flächenzerschneidungen zu vermeiden. Des Weiteren hält er/sie es für wichtig auch Anlagen zu haben, welche primär morgens und abends in das Netz einspeisen. Dabei wären die Anlagen von Next2sun eine Lösungsmöglichkeit, da diese nur eine Flächenüberdeckung von 10% haben. Um den Ausbau auf Dächern zu fördern, bildet der BUND in Darmstadt freiwillige Photovoltaikberater:innen aus, welche von Haus zu Haus gehen und mit den Menschen vor Ort reden, um sie auf die Vorteile einer Dachanlage hinzuweisen. Bei versiegelten Flächen, wie Parkplätzen, sollte es Pflicht sein, eine Photovoltaikanlage zu installieren. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass die Produktion der Materialien einer Photovoltaikanlage wieder vermehrt in Deutschland und Europa stattfinden sollte, um mehr Unabhängigkeit zu erlangen und die Materialien schneller zu erhalten. Um eine Naturverträglichkeit von Dachanlagen zu generieren, kann sich

an Leitfäden oder Initiativen aus Wien und München orientiert werden. Bezogen auf Freiflächenanlagen hält er/sie jede Fläche für geeignet, um dort die Biodiversität zu steigern, abgesehen von währenddessen intensiv genutzten Acker- und Grünlandflächen. Bei den derzeit genutzten Flächen für Energiepflanzen würde er/sie die Fläche für Getreide, welches später zu Ethanol für die Beimischung des Biosprits genutzt wird, nicht mehr weiter nutzen und ein Tempolimit einführen, um einen hohen Verbrauch des Sprits einzusparen. Damit wäre die Fläche, welche etwa 7% der landwirtschaftlichen Fläche ausmacht, für FF-PVA und andere naturverträgliche Nutzungen frei. FF-PVA benötigen nur ein Prozent der landwirtschaftlichen Fläche. Somit könnte der Rest für den Anbau von Bionahrungsmittel genutzt werden. Ebenso sollte Mais nicht weiter als Energiepflanze angebaut werden, sondern die dafür genutzte Fläche für den Anbau von Klee gras freigegeben werden. Um den Wärmesektor zu unterstützen wäre es wichtig die Abwärme in den Städten zu nutzen. In Frankfurt könnte man mit dem Rechenzentrum allein die halbe Stadt mit Abwärme versorgen.

Er/sie fordert generell einen biodiversitätsfördernden Ausbau von FF-PVA und eine verstärkte Kontrolle der umgesetzten Kompensationsmaßnahmen. Alle drei bis fünf Jahre sollte eine Kontrolle der Naturverträglichkeit stattfinden, um diese nachweisen zu können. Bei einer neu erstellten Anlage sollte die Kontrolle anfangs alle zwei bis drei Jahre stattfinden. Die UVP-Gesellschaften könnten einen Leitfaden erarbeiten und zur Verfügung stellen, um für Deutschland gültige Vorgaben bereitzustellen. Die Ergebnisse sollten an die zuständige Kommune oder Naturschutzbehörde weitergeleitet werden, um eine Vergleichbarkeit zu schaffen. Ein Problem dabei wäre, dass die Unternehmen Besorgnis vor einer Missinterpretation ihrer Ergebnisse haben könnten. Zusätzlich wäre eine Zertifizierung nach verschiedenen Standards und dem entsprechenden Label hilfreich. Dieses Label könnte zu einer Entlastung der Unternehmen führen, welche ihre Anlagen am naturverträglichsten gestalten und dem Artensterben entgegenwirken. Somit könnte der erzeugte Strom mit einem kleinen Aufpreis verkauft werden. Dabei würden die Anlagen mit dem höchsten Standard auch die größte Entlastung erhalten. Das eingesetzte Label sollte aber unabhängig für alle gelten und es sollten keine anderen konkurrierenden Labels in Deutschland auf dem Markt sein, um Einheitlichkeit zu schaffen. Dieses Label könnte auch mehr Akzeptanz in der Gesellschaft schaffen. Nichtsdestotrotz ist es wichtig den Menschen die Chance der Beteiligung, durch Mitwirken und Teilhabe an den Anlagen, zu geben und aufzuzeigen, dass nicht nur guter und günstiger Strom aus so einer Anlage kommt, sondern auch etwas für den Naturschutz getan wird.

Anhang 3: Bodenarten und ihre potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit

Tabelle 6: Potenzielle Bodenempfindlichkeit in Abhängigkeit der Bodenart; Quellen: (Reinke et al., 2021; VDLUFA, 2019)

Bodenarten des Feinboden nach AG Boden	Potenzielle Verdichtungsempfindlichkeit
Reiner Sand (Ss), schwach schluffiger Sand (Su2), schwach lehmiger Sand (Sl2)	Sehr geringes Risiko
Mittel schluffiger Sand (Su3), mittel lehmiger Sand (Sl3), schwach toniger Sand (St2), mittel toniger Sand (St3), stark lehmiger Sand (TS4)	Geringes Risiko
Mittel sandiger Lehm (Ts3), stark schluffiger Sand (Su4), sandig-toniger Lehm (Lts), stark lehmiger Sand (Sl4), schluffig-lehmiger Sand (Slu), mittel toniger Lehm (Lt3), stark sandiger Lehm (Ls4), schwach toniger Lehm (Lt2)	Mittleres Risiko
Mittel schluffiger Ton (Tu3), stark schluffiger Ton (Tu4), sandiger Schluff (Us), mittel sandiger Lehm (Ls3), schwach toniger Schluff (Ut2), reiner Schluff (Uu)	Hohes Risiko
Schwach sandiger lehm (Ls2), stark toniger Schluff (Ut4), schluffiger Lehm (Lu)	Sehr hohes Risiko
Lehmiger Ton (Tl), mittel toniger Schluff (Ut3), sandig-lehmiger Schluff (Uls), schwach schluffiger Ton (Tu2), reiner Ton (Tt), schwach sandiger Ton (Ts2)	Äußerst hohes Risiko

Um herauszufinden, wie groß i ist, muss zunächst e errechnet werden, wobei e genauso groß ist wie b . i ist dabei die restliche Strecke, die fehlt, um den Abstand von der Modultischoberkante zum Boden zu erhalten.

$$e = b = \cos(\alpha) \cdot c \quad (20)$$

$$e = b = \cos(20^\circ) \cdot 6,246 \text{ m} = 5,869 \text{ m} \quad (21)$$

$$i = \tan(\delta) \cdot e \quad (22)$$

$$i = \tan(5^\circ) \cdot 5,869 \text{ m} = 0,513 \text{ m} \quad (23)$$

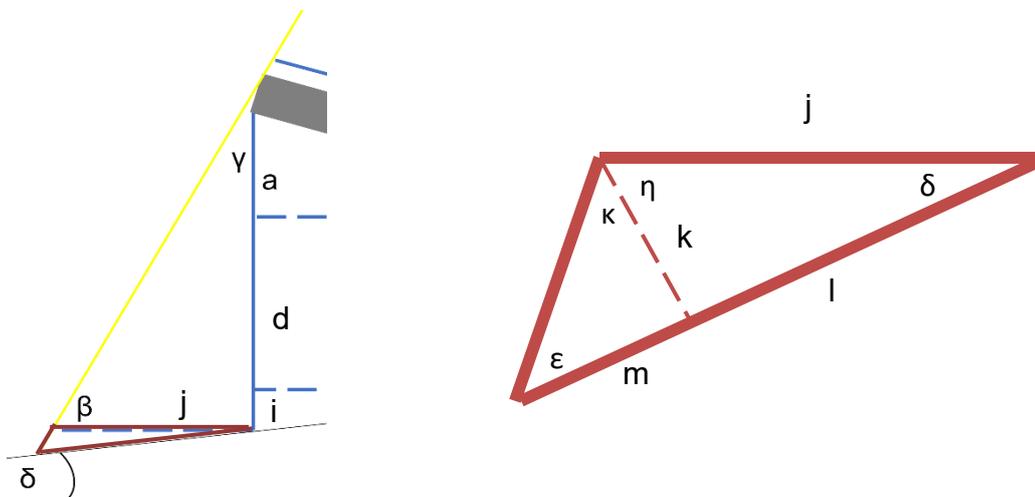


Abbildung 21: Berechnung des beschatteten Bereichs bei Steigung; Eigene Darstellung

Um den beschatteten Bereich, also f , zu errechnen, sind die Strecken a , d und i wichtig, welche in Abbildung 21 zu sehen sind. Zuerst muss j dafür berechnet werden.

$$j = \tan(\gamma) \cdot (a + d + i) \quad (24)$$

$$j = \tan(53,55^\circ) \cdot (2,136 \text{ m} + 0,8 \text{ m} + 0,513 \text{ m}) = 4,67 \text{ m} \quad (25)$$

Da nur j gegeben ist und f gesucht ist, muss zunächst die Höhe k berechnet werden:

$$\epsilon = \beta - \delta = 36,45^\circ - 5^\circ = 31,45^\circ \quad (26)$$

$$\eta + \kappa = 180^\circ - \epsilon - \delta = 180^\circ - 31,45^\circ - 5^\circ = 143,55^\circ \quad (27)$$

$$\eta = 180^\circ - 90^\circ - 5^\circ = 85^\circ \quad (28)$$

$$\kappa = 180^\circ - 90^\circ - 31,45^\circ = 58,55^\circ \quad (29)$$

$$k = \sin(\delta) \cdot j \quad (30)$$

$$k = \sin(5^\circ) \cdot 4,67 \text{ m} = 0,407 \text{ m} \quad (31)$$

Mithilfe von k können die Strecken l und m berechnet werden, welche zusammen f , also den beschatteten Bereich ergeben.

$$l = \cos(\delta) \cdot j \quad (32)$$

$$l = \cos(5^\circ) \cdot 4,67 \text{ m} = 4,652 \text{ m} \quad (33)$$

$$m = \frac{k}{\tan(\varepsilon)} \quad (34)$$

$$m = \frac{0,407}{\tan(31,45^\circ)} = 0,665 \text{ m} \quad (35)$$

$$f = l + m = 4,652 \text{ m} + 0,665 \text{ m} = 5,317 \text{ m} \quad (36)$$

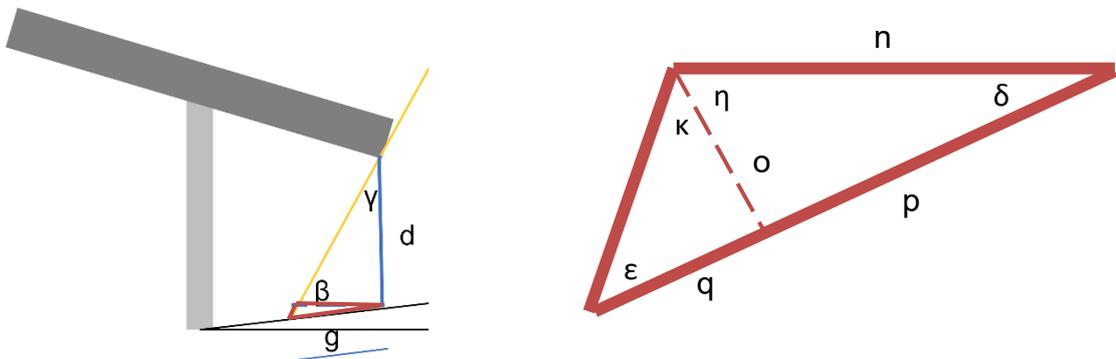


Abbildung 22: Berechnung des besonnten Bereichs unter dem Modul bei Steigung; Eigene Darstellung

Genau die gleichen Formeln mit anderen Strecken, gelten nun für den besonnten Bereich unter dem Modul, also die Strecke g . Diese setzt sich aus den Strecken p und q zusammen, wie in Abbildung 22 zu sehen ist.

$$n = \tan(\gamma) \cdot d \quad (37)$$

$$n = \tan(53,55^\circ) \cdot 0,8 \text{ m} = 1,083 \text{ m} \quad (38)$$

$$o = \sin(\delta) \cdot n \quad (39)$$

$$o = \sin(5^\circ) \cdot 1,083 \text{ m} = 0,094 \text{ m} \quad (40)$$

$$p = \cos(\delta) \cdot n \quad (41)$$

$$p = \cos(5^\circ) \cdot 1,083 \text{ m} = 1,079 \text{ m} \quad (42)$$

$$q = \frac{o}{\tan(\varepsilon)} \quad (43)$$

$$q = \frac{0,094}{\tan(31,45^\circ)} = 0,154 \text{ m} \quad (44)$$

$$g = p + q = 1,079 \text{ m} + 0,154 \text{ m} = 1,233 \text{ m} \quad (45)$$

Somit ergibt sich ein besonnener Streifen von:

$$h = r - f + g = 5,5 \text{ m} - 5,317 \text{ m} + 1,233 \text{ m} = 1,416 \text{ m} \quad (46)$$

Anhang 5: Berechnung des besonnten Streifens bei Gefälle

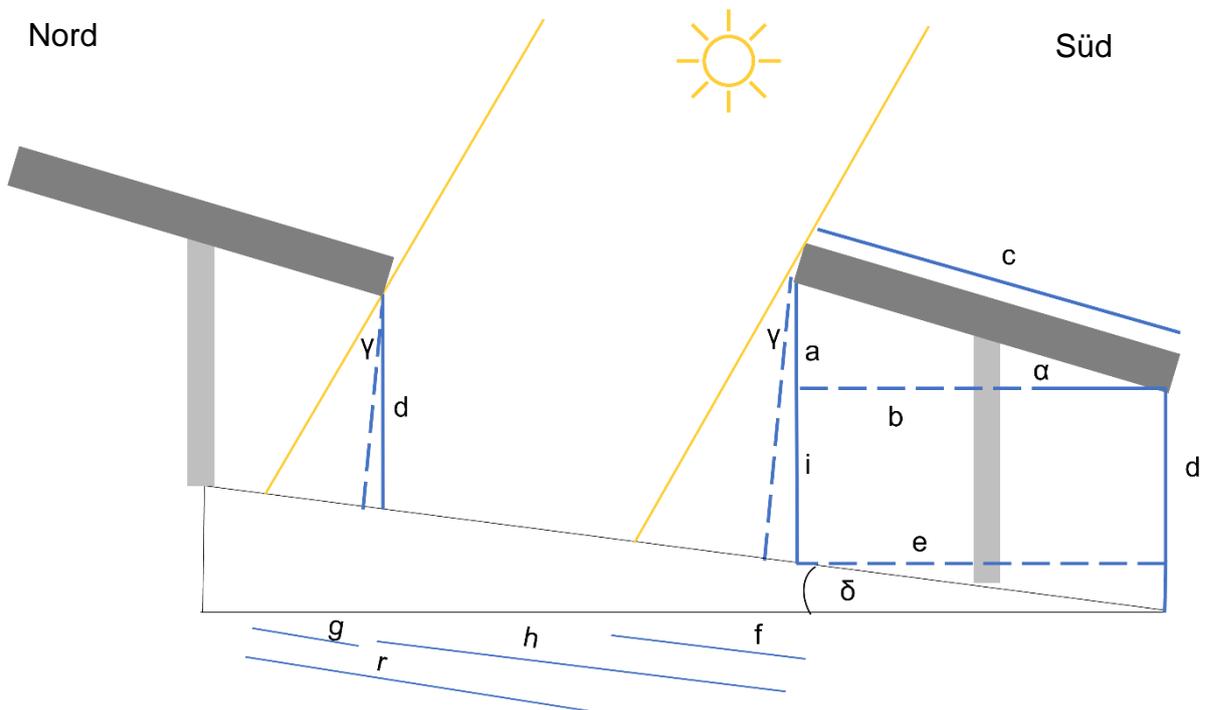


Abbildung 23: Berechnung des benötigten Reihenabstands für besonnte Streifen in Süd-Ausrichtung und mit Gefälle; Eigene Darstellung

Wie in Abbildung 23 zu sehen ist, sollen der beschattete Bereich (f) und der besonnte Bereich (h) berechnet werden. In der Berechnung aus Kapitel 3.2.2.1 sind schon folgende Werte gegeben:

Modulbreite = 1,041 m

Modulanzahl = 6 Stück

$$c = 1,041 \text{ m} \cdot 6 = 6,246 \text{ m} \quad (47)$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$d = 0,8 \text{ m}$$

$$r = 5,5 \text{ m}$$

$$B = 53,55^\circ$$

$$\beta = 36,45^\circ$$

$$\gamma = 90^\circ - 36,45^\circ = 53,55^\circ \quad (48)$$

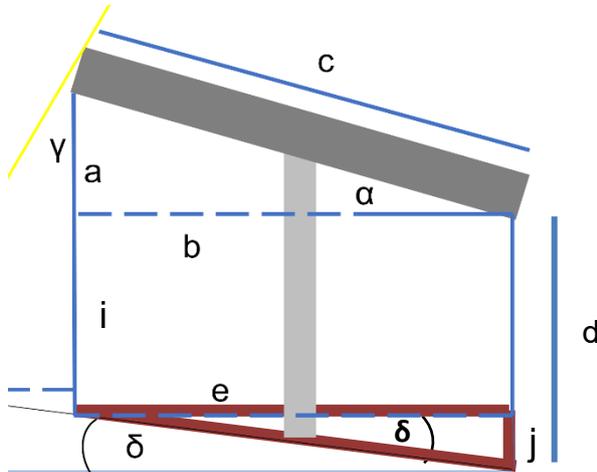
$$a = 2,136 \text{ m}$$

$$\delta = 5^\circ$$

Um herauszufinden, wie groß i ist, muss hier zunächst auch e errechnet werden, wobei e genauso groß ist wie b . i ist der Abstand der Moduloberkante zum Boden subtrahiert mit a .

$$e = b = \cos(\alpha) \cdot c \quad (49)$$

$$e = b = \cos(20^\circ) \cdot 6,246 \text{ m} = 5,869 \text{ m} \quad (50)$$



Da sich die Strecke i aus dem Abstand der Unter-
 terkante zum Boden (d) und j ergibt, muss zu-
 nächst j berechnet werden. j ist dabei Differenz
 zwischen d und i , wie Abbildung 24 zeigt.

Abbildung 24: Berechnung des Abstands von der Modul-
 oberkante bis zum Boden ($a+i$); Eigene Darstellung

$$j = \tan(\delta) \cdot e \quad (51)$$

$$j = \tan(5^\circ) \cdot 5,869 \text{ m} = 0,513 \text{ m} \quad (52)$$

$$i = d - j = 0,8 \text{ m} - 0,513 \text{ m} = 0,287 \text{ m} \quad (53)$$

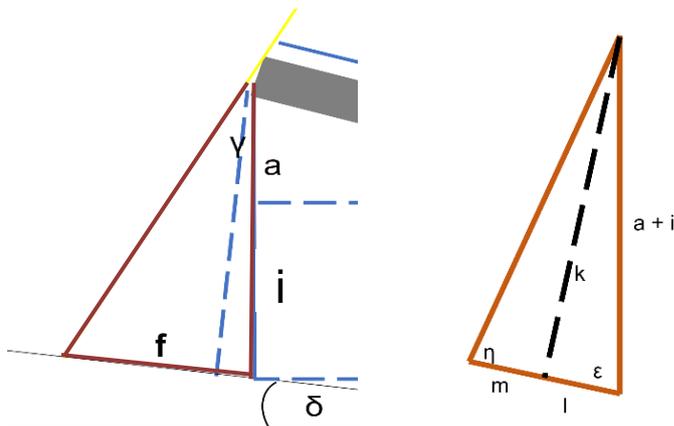


Abbildung 25: Berechnung des beschatteten Bereichs bei Ge-
 fälle; Eigene Darstellung

Da auch dieses Mal nur die Strecke von
 der Moduloberkante zum Boden, also
 die Summe aus a und i , gegeben ist,
 muss der beschattete Bereich (f)
 mithilfe der der Höhe k berechnet
 werden, wie in Abbildung 25 zu sehen
 ist.

$$\eta = \beta + \delta = 41,45^\circ \quad (54)$$

$$\varepsilon = 180^\circ - \eta - \gamma = 85^\circ \quad (55)$$

$$k = \sin(\varepsilon) \cdot (a + i) \quad (56)$$

$$k = \sin(85^\circ) \cdot (2,136 \text{ m} + 0,287 \text{ m}) = 2,414 \text{ m} \quad (57)$$

Mithilfe von k können die Strecken l und m berechnet werden, welche zusammen f , also den beschatteten Bereich ergeben.

$$l = \cos(\varepsilon) \cdot (a + i) \quad (58)$$

$$l = \cos(85^\circ) \cdot (2,136 \text{ m} + 0,287 \text{ m}) = 0,211 \text{ m} \quad (59)$$

$$m = \frac{k}{\tan(\eta)} \quad (60)$$

$$m = \frac{k}{\tan(41,45^\circ)} = 2,733 \text{ m} \quad (61)$$

$$f = l + m = 0,211 \text{ m} + 2,733 \text{ m} = 2,944 \text{ m} \quad (62)$$

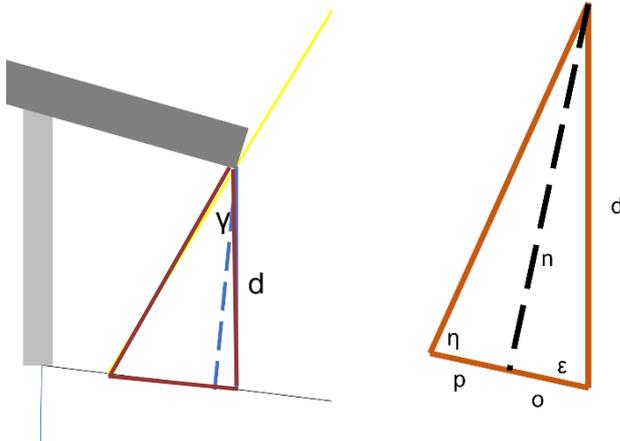


Abbildung 26: Berechnung des besonnten Bereichs unter dem Modul bei Gefälle; Eigene Darstellung

Genau die gleichen Formeln mit anderen Strecken, gelten nun für den besonnten Bereich unter dem Modul, also die Strecke g . Diese setzt sich aus den Strecken p und o zusammen, wie in Abbildung 26 zu sehen ist.

$$n = \sin(\varepsilon) \cdot d \quad (62)$$

$$n = \sin(85^\circ) \cdot 0,8 \text{ m} = 0,797 \text{ m} \quad (63)$$

$$o = \cos(\varepsilon) \cdot d \quad (64)$$

$$o = \cos(85^\circ) \cdot 0,8 \text{ m} = 0,07 \text{ m} \quad (65)$$

$$p = \frac{n}{\tan(\eta)} \quad (66)$$

$$p = \frac{0,797 \text{ m}}{\tan(41,45^\circ)} = 0,902 \text{ m} \quad (67)$$

$$g = o + p = 0,07 \text{ m} + 0,902 \text{ m} = 0,972 \text{ m} \quad (68)$$

Somit ergibt sich ein besonnter Streifen von:

$$h = r - f + g = 5,5 \text{ m} - 2,944 + 0,972 \text{ m} = 3,528 \text{ m}$$

(69)