

Masterstudiengang Umweltschutz

Ein Modell der Hochschulen Esslingen, Nürtingen, Reutlingen und Stuttgart

**Überprüfung des ökologischen Mehrwertes von Freiflächen-  
Photovoltaikanlagen für die Biodiversität anhand eines  
KI-gestützten automatisierten Monitoringsystems**

**Master-Arbeit vorgelegt**

von Jennifer Rix (Matrikelnummer 218114)

in Zusammenarbeit mit der EnBW Energie Baden-Württemberg AG

**Erstbetreuung:**

Prof. Dr. rer. Nat. Mirijam Gaertner

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt, Nürtingen

**Zweitbetreuung:**

Dipl. Geoökologe Timur Hauck

EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Stuttgart

1. August 2024

Sommersemester 2024

## Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denen bedanken, die mich während der Anfertigung der vorliegenden Arbeit begleitet, unterstützt und inspiriert haben.

Ich danke meiner langjährigen Professorin, Studiendekanin und Erstbetreuerin Frau Prof. Dr. rer. Nat Mirijam Gaertner für die stets wertvollen Ratschläge, die fachliche Expertise, die kontinuierliche Ermutigung sowie die sehr gute Betreuung. Ihre herzliche Art und das Vertrauen in mich hat mich stets motiviert.

Ein besonderer Dank gilt darüber hinaus der EnBW Energie Baden-Württemberg AG und meinem Zweitbetreuer Herrn Timur Hauck, der als Product Lead der Abteilung Natur- und Artenschutz (Erneuerbare Energien) während meiner gesamten Zeit im Unternehmen ein unglaublich kompetenter Ansprechpartner war. Vielen Dank für das entgegengebrachte Vertrauen, die Integration ins Team, die viele Zeit und die sehr wertvolle Unterstützung während meiner Masterarbeit.

Ich bedanke mich zudem bei dem gesamten Natur- und Artenschutzteam für die interessanten beruflichen Einblicke in Eure Arbeit und die wertvolle fachliche Unterstützung zu meinem Masterarbeitsthema. Die angenehme Arbeitsatmosphäre hat es mir leicht gemacht, bei Fragen auf Euch zuzukommen und um Eure Einschätzung zu bitten.

Zu guter Letzt gilt meinem Partner, meiner Familie und meinen Freunden ein besonderer Dank. Danke, dass Ihr in jeder Lebenslage an mich glaubt. Euer Verständnis, Mitgefühl und Eure Zusprüche haben mich gestärkt und mir während des gesamten Studiums Mut gemacht.

Jennifer Rix

1. August 2024

# Inhaltsverzeichnis

I	Abbildungsverzeichnis .....	I
II	Tabellenverzeichnis.....	III
III	Abkürzungsverzeichnis .....	IV
1	Einleitung .....	1
1.1	Ausgangslage.....	1
1.2	Zielsetzung .....	2
1.3	Forschungsfragen und Hypothesen.....	3
2	Theoretische Grundlagen.....	4
2.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen .....	4
2.1.1	Naturschutz und Biodiversität .....	4
2.1.2	Klimaschutz .....	5
2.1.3	Erneuerbare Energien .....	5
2.2	Biodiversität.....	6
2.2.1	Definition .....	6
2.2.2	Ökosystemdienstleistungen .....	7
2.2.3	Lebensraum Offenland .....	8
2.2.4	Entwicklungen und Einflussfaktoren .....	8
2.2.5	Gefährdete Arten des Offenlandes .....	12
2.3	Klimawandel und die Entwicklung zu den erneuerbaren Energien.....	14
2.4	Photovoltaik-Anlagen (PVA) .....	16
2.4.1	Freiflächen-Photovoltaikanlagen .....	17
2.5	Biodiversität in Solarparks.....	17
2.5.1	Aktuelle Erkenntnisse .....	17
2.5.2	Biodiversitätskonzept der FF-PVA der EnBW .....	19
3	Methodisches Vorgehen.....	21
3.1	Untersuchungsraum .....	21
3.2	Standorte.....	22
3.2.1	Solarpark Weesow-Willmersdorf .....	23

3.2.2	Landwirtschaftliche Flächennutzung .....	26
3.2.3	FFH-Gebiet „Weesower Luch“ .....	27
3.3	Zielsetzung und Erfassungsmaßstab .....	29
3.4	Forschungsdesign .....	30
3.4.1	Quantitative Datenerhebungen und Hypothesenprüfung .....	30
3.4.2	Validierung der Messtechnik.....	30
3.5	Datenverarbeitung.....	31
3.5.1	FaunaPhotonics A/S.....	31
3.5.2	Von der Datenerhebung bis zur Datenauswertung.....	33
4	Ergebnisdarstellung.....	36
4.1	Standortbezogene Gesamtanalyse der Aktivität von Fluginsekten mit Rückschlüssen auf die verfügbare Biomasse sowie der Biodiversität .....	37
4.1.1	Tageszeitliche Aktivität der Fluginsekten.....	38
4.1.2	Gesamtaktivität der Fluginsekten.....	41
4.1.3	Biomasse.....	45
4.1.4	Biodiversität.....	48
4.2	Habitatpotenzial großflächig angelegter FF-PVA.....	52
4.2.1	Tageszeitliche Aktivität der Fluginsekten.....	54
4.2.2	Gesamtaktivität der Fluginsekten.....	56
4.2.3	Biomasse.....	60
4.2.4	Biodiversität.....	61
4.3	Validierung der Messtechnik.....	64
4.3.1	Einflussnehmende Faktoren bei der Erfassung von Fluginsekten .....	64
4.3.2	Herkömmliche Methoden zur Erfassung von flugfähigen Insekten im Offenland .....	65
5	Diskussion .....	69
5.1	Ergebnisdiskussion.....	69
5.1.1	Standortübergreifende Gesamtanalyse und einflussnehmende Faktoren 69	
5.1.2	Habitatpotenzial und Einflussnahme der umgrenzenden Nutzungen .....	78

5.2	Methodendiskussion .....	81
6	Fazit und Ausblick .....	84
7	Literaturverzeichnis .....	86
8	Anhang .....	108

## I Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nachgewiesene Insektenarten (Ordnungen) in Deutschland .....	13
Abbildung 2: Aufbau einer Solarzelle .....	16
Abbildung 3: Übersicht des methodischen Vorgehens .....	21
Abbildung 4: Karte 1- Übersichtskarte .....	22
Abbildung 5: Funktionsweise eVolito 2.0 .....	32
Abbildung 6: Technische Skizze eVolito 2.0 .....	32
Abbildung 7: Post-hoc Test .....	38
Abbildung 8: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivität (FA) aller Standorte im April .....	39
Abbildung 9: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivitäten (FA) aller Standorte im Mai .....	40
Abbildung 10: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivitäten (FA) aller Standorte im Juni .....	40
Abbildung 11: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an allen Standorten im April .....	42
Abbildung 12: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) (akkumuliert) im April .....	42
Abbildung 13: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an allen Standorten im Mai .....	43
Abbildung 14: Fluginsekten-Aktivitäten (akkumuliert) im Mai .....	44
Abbildung 15: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an allen Standorten im Juni .....	44
Abbildung 16: Fluginsekten Aktivitäten (akkumuliert) im Juni .....	45
Abbildung 17: Summe der verfügbaren Biomasse an allen Standorten .....	45
Abbildung 18: Monatliche Summen der Biomasse an allen Standorten .....	46
Abbildung 19: Wöchentlich summierte Biomasse (Kalenderwochen 16 und 17) .....	46
Abbildung 20: Wöchentlich summierte Biomasse (Kalenderwochen 18 bis 21) .....	47
Abbildung 21: Wöchentlich summierte Biomasse (Kalenderwochen 22 bis 26) .....	47
Abbildung 22: Übersicht des Biodiversitätsindex .....	48
Abbildung 23: Detailansicht des Biodiversitätsindex im April .....	49
Abbildung 24: Detailansicht des Biodiversitätsindex im Mai .....	49
Abbildung 25: Detailansicht des Biodiversitätsindex im Juni .....	50
Abbildung 26: Durchschnittliches Gewicht der Fluginsekten an allen Standorten .....	51
Abbildung 27: Durchschnittliches Gewicht der Fluginsekten an allen Standorten ohne Ausreißer .....	51
Abbildung 28: Post-hoc Test zwischen den zentralen und den am Rand der FF-PVA liegenden Standorten .....	53

Abbildung 29: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivität (FA) der Standorte "Zentrum West", "Zentrum Ost" und "Rand" im April 2024 .....	54
Abbildung 30: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivität (FA) der Standorte "Zentrum West", "Zentrum Ost" und "Rand" im Mai 2024 .....	55
Abbildung 31: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivität (FA) der Standorte "Zentrum West", "Zentrum Ost" und "Rand" im Juni 2024 .....	55
Abbildung 32: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ (summiert aus den Tagesaktivitäten) im April 2024 .....	56
Abbildung 33: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) (akkumuliert) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ im April 2024 .....	57
Abbildung 34: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ (summiert aus den Tagesaktivitäten) im Mai 2024 .....	57
Abbildung 35: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) (akkumuliert) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ im Mai 2024 .....	58
Abbildung 36: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ (summiert aus den Tagesaktivitäten) im Juni 2024 .....	58
Abbildung 37: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) (akkumuliert) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ im Juni 2024 .....	59
Abbildung 38: Summe der verfügbaren Biomasse an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ am Ende des Untersuchungszeitraumes .....	60
Abbildung 39: Biomasse an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ über den gesamten Untersuchungszeitraum pro Kalenderwoche <sup>61</sup>	
Abbildung 40: Übersicht Biodiversitätsindex - Standorte „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ .....	62
Abbildung 41: Durchschnittliches Gewicht der Fluginsekten an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ .....	63
Abbildung 42: Durchschnittliches Gewicht der Fluginsekten an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ ohne Ausreißer .....	63

## II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standortbeschreibung der Standorte eins bis vier .....	23
Tabelle 2: Standortbeschreibung des Referenzstandortes "Rapsacker" .....	26
Tabelle 3: Standortbeschreibung des Referenzstandortes "FFH-Gebiet" .....	28
Tabelle 4: Hypothesen zu den zu bearbeitenden Forschungsfragen .....	30
Tabelle 5: Hypothese (H.1) und Nullhypothese (H.01) zur ersten Forschungsfrage .....	37
Tabelle 6: Daten zur Durchführung einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) .....	37
Tabelle 7: ANOVA zur Prüfung von H.1 und H.01 .....	38
Tabelle 8: Hypothese (H.2) und Nullhypothese (H.02) zur zweiten Forschungsfrage .....	52
Tabelle 9: Daten zur Durchführung einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) .....	52
Tabelle 10: ANOVA zur Prüfung von H.2 und H.02 .....	53
Tabelle 11: Einflussnehmende Faktoren in den untersuchten Bereichen der FF-PVA....	53
Tabelle 12: Gegenüberstellung der Erfassungsmethoden von Fauna Photonics und Malaisfallen zur Erfassung von Fluginsekten .....	67

### III Abkürzungsverzeichnis

BArtSchV	Bundesartenschutz-Verordnung
BI	Biodiversitätsindex
BNatSchG	Bundes-Naturschutzgesetz
BNE	Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V.
CBD	Convention on Biological Diversity
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CWS	ConnectedWindServices
DWD	Deutschen Wetterdienst
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetzes
FA	Fluginsekten-Aktivitäten
FFH-Richtlinie	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG)
FF-PVA	Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen
NBS	Strategie zur biologischen Vielfalt
ÖSD	Ökosystemdienstleistungen
PVA	Photovoltaik-Anlagen
PV-Module	Photovoltaik-Module
SPA	Pariser Klimaschutz-Abkommen (abgelöst)
THG	Treibhausgase
ü. NN	über Normalnull (Angabe Geländehöhe)
WEA	Windenergieanlagen

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Der zunehmende Verlust der biologischen Vielfalt und die damit verbundene Verantwortung zum Schutz und Erhalt möglichst artenreicher Ökosysteme stellt neben der Bekämpfung der Klimakrise eine der größten globalen Herausforderungen der heutigen Zeit dar (IPBES 2019; Bischoff et al. 2022). Anthropogen geprägte Verhaltensweisen wie veränderte Landnutzungen, die vermehrte Beanspruchung sowie der Handel von Ressourcen und eine zunehmende Umweltverschmutzung haben die Klimakrise beschleunigt und die Verbringung invasiver Tier- und Pflanzenarten begünstigt. Die Zurückdrängung vieler Tier- und Pflanzenarten ist eine besorgniserregende Folge dieser Entwicklungen (IPBES 2019; Europäisches Parlament 2021; IPCC 2022). Das Ausmaß des Artenrückgangs überschreitet jede bisher dokumentierte Grenze und auch die getroffenen Prognosen erfordern eine zügige Umsetzung effektiver Maßnahmen (IPBES 2019).

Der Rückgang der Artenvielfalt hat direkten Einfluss auf die Existenz und die Lebensqualität der Menschen sowie den wirtschaftlichen Erfolg, da nur gesunde Ökosysteme in der Lage sind eine qualitativ hochwertige Lebensgrundlage und wertvolle Ökosystemdienstleistungen zur Verfügung zu stellen (IPBES 2019). Die biologische und genetische Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten sowie die komplexen Wechselwirkungen sind wichtige und sensible Einflussfaktoren gesunder Ökosysteme (Bischoff et al. 2022). Die Vertragsstaaten des „internationalen Übereinkommens über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity - CBD)“ vereinbarten bei der 15. Vertragskonferenz im Jahr 2022 neue Aktionsziele, die neben weiteren Kernthemen ein Zusammendenken von Klimaschutz und dem Erhalt biologischer Vielfalt fordert (BMZ 2022).

Als innovativer Partner für Energie und Infrastruktur erkennt die EnBW Energie Baden-Württemberg AG den Verlust der Artenvielfalt als Problematik auf globaler Ebene an und ist sich über die bei den Geschäftstätigkeiten entstehenden Umwelteinwirkungen bewusst. Das Unternehmensziel sieht vor bis 2025 1.200 MW<sub>p</sub> aus erneuerbaren Energien zu erzeugen und die Klimaneutralität im Jahr 2035 zu erreichen (EnBW AG 2024d). Der Schutz der Biodiversität nimmt einen prioritären Platz in der Nachhaltigkeitsagenda und in den EnBW-Umweltgrundsätzen ein (EnBW AG 2007; EnBW 2024). Besonders im Bereich der Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen (FF-PVA) bestehen große Chancen, den Klimaschutz und die Förderung der biologischen Vielfalt zu vereinen (EnBW AG 2007; BNE 2019; EnBW AG 2024b).

Mit dem Ziel, bau- und anlagebedingte Biodiversitätsbeeinträchtigungen, nicht nur auszugleichen, sondern die Situation dauerhaft zu verbessern, werden auf FF-PVA der EnBW AG individuelle Maßnahmen nach festgelegten Standards durchgeführt, welche die potenziell standortheimische Artenvielfalt fördern (EnBW AG 2021). Durch angepasste Bepflanzungs- und Pflegekonzepte entstehen unterhalb und zwischen den Photovoltaik-Modulen (PV-Module) blütenreiche Wiesen mit einem reichen Nahrungs- und Habitatangebot für viele häufige und seltene Arten (Raab 2015; BNE 2019). Es können Trittsteinbiotope und Quellpopulationen, von denen nicht nur die Flora und Fauna der Umgebung, sondern auch die angrenzende Landwirtschaft profitieren kann, entstehen (BNE 2019; Schlegel 2021).

## 1.2 Zielsetzung

Spätestens nach der im April 2024 veröffentlichten Gesetzesänderung des Erneuerbaren-Energie-Gesetzes, welche die zu erfüllenden Kriterien für die Gebotsabgaben in Bezug auf den naturverträglichen Ausbau von FF-PVA neu definiert hat, wird die Relevanz von biodiversen FF-PVA deutlich (Bundesrat 2024). Da der Insektenrückgang weltweit ein sehr großes Problem darstellt und die tatsächlichen Ausmaße bisher aufgrund unzureichender Datenverfügbarkeiten nicht klar definiert werden können (IPBES 2019), soll anhand dieser Arbeit am Beispiel des größten Solarparks Deutschlands ein genauerer Blick auf die Biodiversitätssituation von groß angelegten FF-PVA geworfen werden, in dem ein automatisiertes Fluginsekten-Monitoring durchgeführt wird. Es gibt Aufschlüsse über die Aktivität, Biomasse und Diversität der vorkommenden Fluginsekten an unterschiedlichen Standorten in und um den Solarpark und ergänzt damit bereits durchgeführten Biotop- und Artkartierungen vor Ort. Ziel der Untersuchungen ist es auch herauszufinden, ob sich die Aktivitäten an Standorten mit unterschiedlichen Landnutzungsformen unterscheiden und ob in den zentralen und einflussärmeren Bereichen des Solarparks höhere Fluginsekten-Aktivitäten verzeichnet werden können. Das Forschungsdesign erprobt den Einsatz fortschrittlicher Technik zur Fluginsektenerfassung und validiert die Erfassungsmethode, indem sie herkömmlichen Methoden gegenübergestellt wird.

Innerhalb einer Vegetationsperiode werden Fluginsekten erfasst, indem das Messgerät vorbeifliegende Insekten über einen Lichtsensor erkennt und die erhobenen Daten anhand einer KI-gestützten Software auswertet (FaunaPhotonics A/S 2022). Die Daten erlauben standortspezifische Aussagen über die Biodiversitätssituation nach dem Bottom-up-Prinzip und die Aufstellung mehrerer Geräte an unterschiedlichen Standorten lässt einen Vergleich der jeweilig anzutreffenden Biomasse zu. Das automatisierte Monitoringssystem ermöglicht der EnBW AG eine aktuelle und wissenschaftlich fundierte Berichterstattung. Es entsteht eine Argumentationsgrundlage, die zukünftige Planungs- und

Genehmigungsprozesse erleichtern kann, während fachgutachterliche Personalressourcen geschont werden. Aus dem erfassten Status quo können zudem gezielte Maßnahmen erarbeitet werden, die die Ziel-Einhaltung der Nachhaltigkeitsagenda / der EnBW-Umweltgrundsätze garantiert.

### 1.3 Forschungsfragen und Hypothesen

Die Masterarbeit beschäftigt sich mit den nachstehend aufgeführten Fragestellungen.

1. Profitieren Fluginsekten durch Förderungsmaßnahmen der Artenvielfalt auf FF-PVA, wenn diese auf ehemaligen Ackerstandorten entstehen?
2. Herrscht in zentralen Bereichen einer großflächig angelegten FF-PVA eine höhere Fluginsektendichte als im Randbereich der FF-PVA?
3. Ist der technische Nachweis von Biodiversität anhand der angewandten Technik möglich?

Die ersten zwei Forschungsfragen werden durch eine statistische Hypothesenprüfung untersucht (vgl. Kapitel 4.1 und 4.2), während die dritte Forschungsfrage eine Validierung der Messtechnik darstellt (vgl. Kapitel 4.3).

Die zu überprüfenden Hypothesen lauten:

1. Die Aktivität der Fluginsekten ist auf der Freiflächen-Photovoltaikanlage größer als auf dem konventionell bewirtschafteten Ackerstandort.
2. In den zentralen Bereichen der Freiflächen-Photovoltaikanlagen ist die Aktivität der Fluginsekten höher als in den Randbereichen.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Nachstehend wird ein Überblick über die aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen gegeben, die im Bereich Biodiversität, Klimaschutz und erneuerbare Energien – insbesondere Solarenergie – gelten und im Rahmen der Untersuchungen von Bedeutung sind.

#### 2.1.1 Naturschutz und Biodiversität

In Rio de Janeiro wurde 1992 mit dem Übereinkommen zum Schutz der biologischen Vielfalt (CBD) eines der umfangreichsten, verbindlichen Regelungen im Naturschutz beschlossen (BfN 2024). Die Konvention ist 1993 für Deutschland in Kraft getreten (BNE 2019; IBN 2024). Gemäß dem ersten Artikel der Konvention zählen zu den Hauptzielen die Bewahrung der biologischen Vielfalt und ein nachhaltiger Umgang mit ihren Komponenten (IBN 2024). Für die Sicherung intakter Ökosysteme werden ökologische, soziale, wirtschaftliche und politische Interessen gemäß des ökosystemaren Ansatzes abgestimmt und global sowie landesweit umgesetzt (BNE 2019; IBN 2024). Die Vertragsstaaten verständigten sich 2022 bei der 15. Vertragskonferenz (COP 15) auf 23 mittelfristige Aktionsziele bis 2030 und vier langfristige Aktionsziele bis 2050 (BMZ 2022; IKI 2024). Ein Kernthema ist die Förderung von Klimaschutzaktivitäten, die den Erhalt der Biodiversität berücksichtigen (BMZ 2022). Die Biodiversitätsziele, die mit der 2007 herausgegebenen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) definiert wurden (BMUB 2007), wurden durch priorisierte Maßnahmen in der „Naturschutz-Offensive 2020“ ergänzt (Arndt et al. 2015).

Die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) (FFH-Richtlinie) und die Vogelschutz-Richtlinie (2009/147/EG) bilden gemeinsam die Natura 2000. Das systematische Schutzgebietsnetz erstreckt sich mit etwa 27.000 Schutzgebieten auf 18,6 % der europäischen Landesfläche und dient der Vernetzung naturnaher Lebensräume und dem genetischen Austausch zwischen Teilpopulationen. Als weltweit größte Schutzzone ist sie elementar für den Erhalt von Lebensräumen und Arten. Die FFH-Richtlinie weist in Deutschland > 4500 FFH-Gebiete aus. Aufgeführt werden 92 der europaweit 231 vorkommenden Lebensraumtypen (Anhang I) und 141 der 1000 Tier- und Pflanzenarten, für deren Erhaltung besondere Schutzgebiete ausgewiesen werden müssen (Anhang II). Es handelt sich um Lebensräume und Arten, die aufgrund ihres Migrationsverhaltens oder ihrer populationsbiologischen Bedürfnisse eine vernetzte Schutzgebietsstruktur benötigen. Die Vogelschutzrichtlinie weist in Deutschland 742 Vogelschutzgebiete aus, die 193 nach Anhang I definierten Arten einen geschützten Raum bieten. In Deutschland kommen 110 der 193 Vogelarten vor (BMUV 2023b).

Der nationale rechtliche Rahmen wird insbesondere durch das Bundes-Naturschutzgesetz (BNatSchG). Es gilt nach § 1 Abs. 1 BNatSchG die „Natur und Landschaft [...] aufgrund ihres Eigenwertes und als Lebensgrundlage für die Menschen jetzt und zukünftig in allen Bereichen dauerhaft zu schützen“. Schutzgüter sind insbesondere die biologische Vielfalt, die Leistungs-, Funktions-, Regenerations- und Nutzungsfunktion als auch die Vielfalt, Eigenart, Schönheit und der Erholungswert der Natur- und Landschaftsräume. Neben den Vorgaben der FFH- und Vogelschutzrichtlinie (§ 31 – 47 BNatSchG) wird auch der Erhalt von Schutzgebieten (§ 20ff BNatSchG) sowie die sog. Eingriffsregelung (§ 13ff BNatSchG) geregelt. Letztere stellt ein Verschlechterungsverbot von Lebensräumen dar. Die Bundesartenschutz-Verordnung (BArtSchV) gibt einen Überblick über alle besonders geschützten und streng geschützten Tier- und Pflanzenarten und beschreibt Handlungsanweisungen für den Umgang mit wild lebenden Tieren (BMUV 2021).

### 2.1.2 Klimaschutz

Mit dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls (2005) verpflichteten sich die Mitgliedsstaaten erstmals zur Reduktion entstehender Emissionen - es wurde 2020 durch das Pariser Klimaschutz-Abkommen (SPA) abgelöst (UBA 2024e). Die 2016 in Kraft getretene Konvention hat das Ziel Emissionen durch das gemeinsame wirtschaftliche Handeln zu senken, natürliche Kohlenstoffsenken zu schützen und zu entwickeln sowie den globalen Durchschnittstemperaturanstieg auf  $< 2^{\circ}\text{C}$  (möglichst aber  $< 1,5^{\circ}\text{C}$ ) im Vergleich zum Temperaturniveau vor der Industrialisierung zu beschränken (Artikel 2 Absatz 1a Pariser Abkommen). Der Einsatz finanzieller Mittel soll derart erfolgen, dass die Realisierung der Klimaziele unterstützt und Hindernisse minimiert werden (BMZ 2024a; UBA 2024e). Durch gezielte Klimaschutzmaßnahmen soll die globale Anpassungs- und Widerstandskraft gefördert (Artikel 7 Abs. 1 des Pariser Abkommens) und die Existenzgrundlage der Menschen sowie der Ökosysteme sichergestellt werden (Artikel 7 Abs. 2 Pariser Abkommen) (BMUB 2016). Mit dem „Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung und zur Änderung weiterer Gesetze (Kohleausstiegsgesetz)“ hat Deutschland den Abbau von Kohle auf das Jahr 2038 begrenzt. Dies unterstützt das Ziel Deutschlands bis 2045 klimaneutral zu werden (BMWK 2024) und reduziert die  $\text{CO}_2$ -Emissionen im Zeitraum 2020 bis 2030 um etwa zehn Millionen Tonnen jährlich (BMUV 2023a; BMWK 2024).

### 2.1.3 Erneuerbare Energien

Mit dem Ziel die Kohlendioxidemissionen aus Klima- und Umweltschutzgründen innerhalb der Stromproduktion und -versorgung durch die Förderung erneuerbarer Energien zu reduzieren, wurde das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) im Jahr 2000 verabschiedet (UBA 2023a; Wirth 2024). Das EEG ist ein Instrument, um das im SPA festgelegte  $1,5^{\circ}$ -Klimaziel zu erreichen und unabhängiger von fossilen Energieressourcen zu werden (Die

Bundesregierung 2023). Ein schnellerer Ausbau erneuerbarer Energien wird seit der 2023 in Kraft getretenen EEG-Novelle mit der Begründung des überragenden öffentlichen Interesses und der Bedeutung für die öffentliche Sicherheit und Gesundheit vorrangig bei Abwägungsentscheidungen behandelt - so soll es zu zügigeren Planungs- und Genehmigungsprozessen kommen (Die Bundesregierung 2023; Bundesrat 2024). Nach dem in § 4 festgelegten Ausbaupfad sollen im Jahr 2030 in Deutschland mindestens 80 % des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energien gewonnen werden (UBA 2023a; Die Bundesregierung 2023). Neben finanziellen Subventionen wurde der Ausbau von Photovoltaik-Anlagen (PVA) für mehr Flächenkategorien freigegeben (Agri-/ Floating- oder Moor-PV) (BMWK 2023). Das EEG gewährleistet den stromproduzierenden Unternehmen eine gesicherte Stromabnahme (Einspeisevorrang), was den wirtschaftlichen Betrieb erneuerbarer Energieanlagen sichert (Wirth 2024). Die neuste Gesetzesänderung im April 2024 ergänzte unter anderem Kriterien für die Errichtung naturverträglicher FF-PVA, deren Einhaltung maßgeblich für die Förderfähigkeit einzelner Anlagen sind. Zu ihnen gehört die Beschränkung der „in Anspruch genommenen Grundfläche“ (60 %), die Integration eines „biodiversitätsfördernden Pflegekonzeptes“, die Berücksichtigung der Durchgängigkeit, die Anlage von Biotopstrukturen (auf 10 % der Fläche) sowie die Umsetzung eines bodenschonenden Betriebs (Bundesrat 2024, S. 12–13).

## 2.2 Biodiversität

Nachstehend wird der Begriff Biodiversität definiert und in Hinsicht auf die qualitativen Entwicklungen betrachtet. Aufgrund der zu bearbeitenden Fragestellungen wird das Hauptaugenmerk auf die Biodiversitätssituation im Offenland gelegt.

### 2.2.1 Definition

Biodiversität (= biologische Vielfalt) bezeichnet die Mannigfaltigkeit des art- und formübergreifenden Lebens, in der unterschiedliche Arten und genetische Modifikationen in einem komplexen Ökosystem koexistieren und sich gegenseitig beeinflussen (Wittig und Niekisch 2014; BNE 2019; Europäisches Parlament 2021). Wenngleich die Biodiversität nach Baur als Messgröße für die Vielfalt belebter Natur gilt (Baur 2021) wird die Erforschung und Erfassbarkeit dieser durch die Komplexität der drei Ebenen der Biodiversität (Genetik, Artenvielfalt und Lebensräume) erschwert. Begründet wird dies durch die starke Einflussnahme der Lebensgemeinschaften und Variationen innerhalb einer Ebene auf das Gesamtwirkungsgefüge (IBN 2024) sowie abiotischer Einflüsse (z.B. klimatische, hydrologische oder geologische Gegebenheiten), die im jeweiligen Landschaftsraum vorherrschen (Baur 2021). Im Sinne der Evolution werden nach Baur genetische Frequenzen von Populationen im Laufe der Zeit bspw. durch Mutationen oder natürliche Selektion

verändert, was zur Entwicklung neuer Arten führt. Weiter führt er an, dass die genetische Vielfalt die erblich bedingten Unterschiede einzelner Individuen, von Individuen innerhalb einer Population, aber auch zwischen mehreren Populationen beschreibt. In Hinsicht auf die Artenvielfalt wird beschrieben wie viele unterschiedliche Arten in einem Bezugsgebiet (Lebensgemeinschaft, ökologischer, geografischer oder politischer Maßstab) vorkommen. Unterschiede werden hier insbesondere bei den vorkommenden Häufigkeiten von Individuen und Arten festgestellt. Zumeist lassen sich in einem Bezugsraum wenige Arten mit vielen Individuen und viele Arten mit schwachen Individuen-Anzahlen (=seltene Arten) nachweisen (Baur 2021). Sowohl die genetische Vielfalt als auch die Artenvielfalt werden bei steigender Diversität widerstandsfähiger gegenüber Störungen und können aufgrund dessen die Ökosystemfunktionen zuverlässiger bereitstellen (Wittig und Niekisch 2014). Die Lebensraumvielfalt beschreibt die Variationen verschiedener Biotoptypen sowie vorhandene Biozönosen in einem betrachteten Raum und wird im Naturschutz oftmals als Bewertungsinstrument für die Landschaftsqualität herangezogen (Baur 2021 zitiert nach Sauberer 2008). Umso heterogener sich ein Lebensraum gestaltet, desto mehr Variationen bietet er (u.a. durch resilientere Arten), für den Umgang mit Extremereignissen wie bspw. extremer Trockenheit (Hardle 2024). Darüber hinaus wird vielfältiger Lebensraum für die vorkommenden Tier- und Pflanzenarten und Arten mit Anspruch auf besondere Habitatstrukturen bereitgestellt. Besonders in Hinsicht auf die fortschreitende Klimakrise bietet eine heterogene Landschaftsstruktur mehr Ausweichhabitate und Entwicklungsmöglichkeiten als eine ausgeräumte Landschaft (Wittig und Niekisch 2014).

### 2.2.2 Ökosystemdienstleistungen

Alle Tier- und Pflanzenarten sowie die Menschen, sind direkt von den (Qualitäts- und Gesundheits-) Zuständen weltweiter Ökosysteme betroffen, da sie lebensnotwendige Funktionen (Ökosystemdienstleistungen = ÖSD) bereitstellen (Wittig und Niekisch 2014; Europäisches Parlament 2021). Die Funktionssicherheit der Ökosysteme steht in Verbindung mit dem vorhandenen Arteninventar - bei sinkender Biodiversität ist mit einem Funktionsverlust der Ökosysteme zu rechnen (Wittig und Niekisch 2014), da bereits das Wegfallen einzelner Arten wichtige Beziehungen / Wechselwirkungen unterbrechen und große Folgeschäden im Gesamtsystem verursachen kann (Wittig und Niekisch 2014; Leopoldina 2020; Europäisches Parlament 2021). ÖSD stellen Versorgungsleistungen des Naturhaushaltes bereit und / oder regulieren diese so, dass das Wohlergehen der Menschen in unterschiedlichen Bereichen (z.B. Sicherheit, Grundbedürfnisse oder Gesundheit) sichergestellt wird (Wittig und Niekisch 2014; Kühne et al. 2019). Ein Beispiel für die notwendigen Lebensaktivitäten und -beziehungen der unterschiedlichsten Tier- und Pflanzenarten zeigt sich bei der Reproduktion von Pflanzen, bei der bestäubende Arten

unerlässlich sind (Wittig und Niekisch 2014; Europäisches Parlament 2021; BMZ 2024b). Die beschriebene Korrelation zwischen der Biodiversität und dem menschlichen Wohlergehen kann über das Individuum hinaus auf das gesellschaftliche und unternehmerische Handeln übertragen werden und markiert eine Relevanz in rechtlichen und politischen Belangen (Wittig und Niekisch 2014).

### 2.2.3 Lebensraum Offenland

Landschaftseinheiten, die sich durch das Fehlen von Waldformationen oder urbanen Strukturen auszeichnen, werden als Offenland klassifiziert (Kremer 2024). Die Kategorie umfasst landwirtschaftlich genutzte und kulturell geprägte Acker- und Grünflächen, Sonderkulturen aber auch Moor- und Heidelandschaften (NABU 2024a; Kremer 2024). Die landwirtschaftlich genutzten Flächen nehmen in Deutschland etwa die Hälfte der Landesfläche ein (Statistisches Bundesamt 2022). Die Entwicklungstendenz der Offenlandbiotop von 2006 bis 2017 zeigt einen Rückgang, der auch nicht durch nachkommende Biotop-Entwicklungen ausgeglichen wird (BMUV 2017). Die Einflüsse auf landwirtschaftlichen Flächen (vgl. Kapitel 2.2.4) sind besonders relevant (Klotz und Settele 2017; Statistisches Bundesamt 2023), da viele Tier- und Pflanzenarten in Abhängigkeit zu der Flächenqualität und einer lebenserhaltenden Bewirtschaftungsform stehen (z.B. 30 % der einheimischen und 40 % der, als gefährdet eingestuften Farn- und Blütenpflanzenarten) (BfN 2017).

### 2.2.4 Entwicklungen und Einflussfaktoren

Biodiversität ist eine dynamische und beeinflussbare Größe. Naturbedingte Einflüsse wie Vulkanausbrüche oder der Kontinentaldrift führten in der Vergangenheit zu fünf Massensterben. Für das sechste, das zurzeit fortschreitende Massensterben, sind anthropogene Verhaltensweisen verantwortlich (Klotz und Settele 2017; Klotz et al. 2013). Das menschliche Handeln beeinflusst die Entwicklung der biologischen Vielfalt und der Landschaften bereits seitdem sesshaft werden der ersten Völker im Neolithikum (Jungsteinzeit) (Wittig und Niekisch 2014; Thomas 2018; Hardle 2024). Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert stellte sich ein zunehmender Strukturverlust der Landschaft durch großflächigere Flächeninanspruchnahmen, intensivere Bewirtschaftungsformen und einen generellen Landnutzungswandel ein (Mahlerwein 2022; Lüdemann und Kleinhüchelkotten 2023). Mit fortschreitender Zeit kam es zu einem Ungleichgewicht zwischen der menschlichen Beanspruchung natürlicher ÖSD und der Erholungs- und Regenerationsfähigkeit der Ökosysteme, was zu einer Aushagerung der biologischen Vielfalt führte (Klotz und Settele 2017; Europäisches Parlament 2021).

Nach Klotz und Settele sind für die abnehmende Artenvielfalt die nachstehend aufgeführten – vom Menschen beeinflussten – Bereiche hauptverantwortlich:

### Landnutzung und Nährstoffeinträge

Biodiversität steigt an Orten mit einer hohen Heterogenität, da den Tier- und Pflanzenarten vielfältigere Habitate und ökologische Nischen bereitgestellt werden (Paulusch 2019). Der durch die Industrialisierung bedingte Umbruch vieler natürlicher Lebensräume hin zu großflächig angelegten, für den Menschen nutzbar gemachten, Ökosystemen wie Grün- und Ackerland schmälerte diese Lebensräume (Lüdemann und Kleinhüchelkotten 2023; UBA 2024b) und schaffte große, oftmals leergeräumte Landschaftseinheiten (Wittig und Niekisch 2014; UBA 2024b). Die Nutzungsaufgabe naturschutzfachlich wertvoller und extensiv angelegter Landwirtschaftsflächen hat dazu beigetragen, dass Artbestände zurückgegangen sind (BMUB 2007). Am Beispiel der Tagfalter zeigt sich, dass die Insektenmasse mit zunehmender landwirtschaftlicher Nutzungsintensität und dem Einsatz von Spritzmitteln sinkt (BNE 2019; Habel et al. 2019).

Hinsichtlich der **Flächennutzung** (vgl. Anhang 1) werden gemäß des statistischen Bundesamtes 18,06 Millionen Hektar der gesamten Landesfläche (35,8 Millionen Hektar) für **landwirtschaftliche Zwecke** genutzt (Statistisches Bundesamt 2022). 80 % dieser Flächen werden Nahrungs- und Futtermittel angebaut (FNR 2023), wobei der Getreideanbau dominiert (BMEL 2023; BLE 2024). Weitere 13 % der landwirtschaftlichen Flächen werden zur Produktion von Energiepflanzen genutzt (BNE 2019; FNR 2023). Siedlungs- und Verkehrsstrukturen nehmen 7,8 Millionen Hektar der Landesfläche ein (FNR 2023). Die miteinander vernetzten Strukturen unterbrechen natürliche Biotope und führen zu einer Verinselung bisher verbundener Biotope. Dies erschwert eine Wanderung zwischen den Biotopstrukturen und den genetischen Austausch (BMUB 2007; Drobnik et al. 2013; Wittig und Niekisch 2014; Thomas 2018; Hardle 2024).

Die **Art und Weise der landwirtschaftlichen Aktivität** kann das Wachstum wilder, einheimischer Pflanzengesellschaften negativ beeinflussen und invasive Arten fördern (Thomas 2018). Eine intensive Ackerbewirtschaftung ohne wechselnde Fruchtfolgen oder eine intensive, mechanische Bodenbearbeitung kann die Biodiversität in ähnlichem Maße zurückdrängen wie die Einbringung von Pflanzenschutzmitteln (Riedel et al. 2020). Weitere Folgen - welche schlussendlich dem Pflanzenaufwuchs schaden können - sind die Veränderung der Bodenzusammensetzung (Pflugsohle mit Porenverdichtung) sowie die Beeinträchtigung der Sickerfähigkeit (Grundwasserneubildung) des Bodens (Joisten et al. 2023). Erosionsgefährdete Bereiche unterscheiden sich nach der Bodenart, der (Hang-) Neigung, dem vorherrschenden Bewuchs, der Bearbeitung des Bodens sowie der Stärke

der einflussnehmenden abiotischen Faktoren (UBA 2022a). Extensive Bewirtschaftungsformen fördern die Funktionen des Naturhaushaltes durch die Summe und das Ausmaß des Einflusses auf eine Fläche, vermeiden eine langfristige Überlastung und die sukzessive Verbuschung bei Pflegeverzicht. Sie bieten somit ein höheres Repertoire an heterogenen Strukturen und ökologische Nischen als intensiv bewirtschaftete Flächen (Wittig und Niekisch 2014). Umso naturnäher und artenreicher Lebensräume gestaltet sind, desto eher sind sie in der Lage negative Einflüsse zu kompensieren (BMUB 2007; Klotz et al. 2023).

Die **Verwendung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln** in der konventionellen Ackerbewirtschaftung stellt für die Biodiversität ein Problem dar (Wittig und Niekisch 2014; UBA 2023b, 2024b). Biologisch oder chemisch arbeitende Pflanzenschutzmittel (Insektizide, Fungizide, Herbizide) kommen zum Einsatz, um Kulturpflanzen frei von negativ wirkenden Organismen zu halten und den Ertrag zu steigern (Thomas 2018; Riedel et al. 2020; UBA 2024b). Beim Einsatz der (meistverwendeten) Herbizide sind die negativen Beeinträchtigungen auf den angrenzenden Naturhaushalt nach dem Umweltbundesamt als hoch einzustufen, da die Pflanzenschutzmittel durch Verdriftung in angrenzende Biotopstrukturen gelangen und dort das Pflanzen- und Blütenangebot reduzieren können. Hierbei kommt es zu einem Eingriff in den Lebensraum wertvoller Insekten, welche gefährdeten Feldvogelarten wie der Feldlerche (*Alauda avensis*) oder dem Rebhuhn (*Perdix perdix*) als Nahrungsgrundlage dienen. Auch auf die Landwirtschaft selbst erfährt langfristig hemmende Auswirkungen, da die Fruchtbarkeit des Bodens aufgrund der Beeinträchtigung wertvoller Bodenorganismen abnimmt (Riedel et al. 2020; Leopoldina 2020; UBA 2023b). Düngemittel dienen (v.a. bei wenig abwechslungsreichen Fruchtfolgen) der Nährstoffsicherung von Kulturpflanzen, die der Humusschicht des Bodens nach der Ernte wichtige Nähr- und Spurenstoffe zurückgeben (UBA 2022b; 2024b). Eine übermäßige Nährstoffzugabe kann negative Auswirkungen auf die Umwelt haben (Eutrophierung). Nitratbelastungen resultieren aus zu hohen Stickstoff- und Phosphorkonzentrationen und beeinträchtigen die Funktionsfähigkeit der Böden und der Gewässer (Klotz und Settele 2017; Leopoldina 2020; UBA 2022b) Folgeschäden entstehen durch schwach ausgebildete Gewebestrukturen der Pflanzen, was zu einer geringen Toleranz und Widerstandsfähigkeit gegenüber extremen Temperaturen, mechanischen Einflüssen oder schädlichen Organismen führt (UBA 2021b). Zusätzlich kann es zu einer Versauerung oder der Entstehung von bodennahem Ozon kommen (Leopoldina 2020). In Hinsicht auf die Biodiversität sind Nährstoffeinträge besonders für Arten nährstoffarmer Standorte von Nachteil, da sie sich unter den veränderten Standortbedingungen nicht gegen nährstoffliebende Arten durchsetzen

können und schlussendlich aus dem Arteninventar verdrängt werden (BNE 2019; UBA 2021b).

Etwa 30 % der landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland bestehen aus Dauergrünland (BNE 2019; BMEL 2023; BLE 2024). Wiesen und Weiden können sich nach Thomas vielfältig entwickeln und qualifizieren sich somit als wichtige und schützenswerte Lebens- und Nahrungshabitate (BNE 2019; Thomas 2018). Sie bieten Tier- und Pflanzenarten mehr Entwicklungsmöglichkeiten als die zuvor angesprochenen Ackerflächen und haben einen hohen Erhaltungs- und Entwicklungscharakter (BUND 2010; BNE 2019). Entscheidend sind die vorherrschenden Standortbedingungen biotischer und abiotischer Faktoren, wie die Wasser- und Lichtverfügbarkeit, die Bodenart und -tiefgründigkeit, die klimatischen Bedingungen, das Nährstoffangebot aber auch die mechanischen Einflüsse durch die Bewirtschaftungsformen oder Flächeninanspruchnahme (Thomas 2018). Dauergrünlandbiotopie zeichnen sich durch ihre gut ausgebildeten Filter- und Pufferfunktionen aus. Sie sind signifikant effizienter im Bereich der Wasserspeicherung und -reinigung als die gegenübergestellten Ackerflächen. Die permanente Vegetationsdecke bietet einen wirksamen Schutz vor Bodenerosion, indem sie (am Beispiel Starkregen) aufkommende Niederschlagsmengen effektiver absorbieren und den oberflächigen Wasserabfluss reduzieren kann. Dauergrünland fungiert außerdem als bedeutender Kohlenstoffspeicher und kann die atmosphärischen Kohlendioxidkonzentrationen senken (Schöder und Wider 2014). Ohne Pflegemaßnahmen würden Grünflächen sukzessive verbuschen und sich langfristig zu Wald entwickeln (BUND 2010; BNE 2019; Jandl et al. 2024). Auf Wiesen bestimmt das Mahdregime und das Einbringen von Nährstoffen die vorkommende Vegetation – bei früheren und / oder häufigeren Mahdzeitroutinen werden der Fläche Nährstoffe entzogen (Thomas 2018). Mit zunehmender Bewirtschaftungsintensität steigt der Anteil an Gräsern und stickstoffzeigenden Pflanzenarten und es bildet sich artenarme – meist gelb / weiß blühende Wiesenflächen aus (BUND 2024; LUBW 2018). Zu den vorkommenden Arten gehören oftmals der gewöhnliche Rotklee (*Trifolium pratense* L. subsp. *pratense*), der scharfe Hahnenfuß (*Ranunculus acris* L.), die gewöhnliche Wiesenschafgarbe (*Achillea millefolium* L.) (Thomas 2018) oder das Gänseblümchen (*Bellis perennis* L.) sowie der gewöhnliche Löwenzahn (*Taraxacum officinale* aggr.) (InfoFlora 2024). Bei der extensiven Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden wird die Bewirtschaftungsintensität geschmälert (reduzierter Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie der Besatzstärken in der Beweidung) (Hardle 2024). Umso weniger Nährstoffe in eine Fläche eingebracht werden, desto eher stellt sich ein natürliches und artenreiches Arteninventar ein. Bunte und lückig angeordnete Blütenzusammensetzungen sowie die Anwesenheit unterschiedlicher Insektenarten zeichnen artenreiche Wiesen und Weiden aus (BUND 2010). Zu den

vorkommenden Arten gehören unter anderem die aufrechte Trespe (*Bromus erectus*), die Acker-Witwenblumen (*Knautia avensis*), der gewöhnliche Hornklee (*Lotus corniculatus*) oder der Wiesen-Salbei (*Salvia pratensis*) (LUBW 2018).

### Klimakrise und invasive Arten

Ein weiterer, limitierender Faktor ist die fortschreitende Klimakrise (vgl. Kapitel 2.3). Denn auch wenn noch nicht feststeht, wie viel Verantwortung den klimatischen Veränderungen tatsächlich zugeschrieben werden kann (Klotz et al. 2023), verändern ansteigende Temperaturen die Standortbedingungen und -ansprüche der in einem Biotop natürlich vorkommenden Flora und Fauna und limitieren die Ausbreitungsmöglichkeit auf allen Ebenen der Biodiversität durch abiotische und biotische Faktoren (Klotz und Settele 2017; Klotz et al. 2023). Hallmann et al. stellten in Hinblick auf die rückläufige Fluginsektenmasse einen Bezug zu klimatischen Faktoren wie Temperatur, Windgeschwindigkeit und Niederschlagsmenge her (Hallmann et al. 2017). Die veränderten Standortbedingungen erlauben die vermehrte Verbreitung einzelner Arten, führen zu Arealverschiebungen und greifen in bestehende Räuber-Beute-Beziehungen ein. Simulationen zu Folge gehören insektenbestäubende Pflanzenarten sowie Insekten zu den zukünftig durch die Klimakrise bedrohten Arten (Settele et al. 2008; Klotz et al. 2023). Eine Co-Existenz zwischen einheimischen und invasiven Arten stellt sich aufgrund der konkurrierenden Ressourcenansprüche in der Regel nicht ein, da invasive Arten oftmals robuster, konkurrenzfähiger und weniger klimaempfindlich als die einheimischen Arten sind (Nentwig 2010; Klotz und Settele 2017). Die asiatische Hornisse (*Vespa velutina*) ernährt sich beispielsweise von Honigbienen und schmälert so den Bestand bestäubender Insekten (May 2024).

#### 2.2.5 Gefährdete Arten des Offenlandes

Untersuchungen zeigten, dass ca. 80 % der Biodiversitätsverluste im Offenland den Einflüssen aus der Landwirtschaft und der veränderten Landnutzung zugeordnet werden können (Leopoldina 2020; Riedel et al. 2020). Neben einem deutlichen Rückgang charakteristischer Insekten- und Vogelarten auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen konnten auch negativ wirkende Randeffekte festgestellt werden (BNE 2019; Habel et al. 2019; Riedel et al. 2020). Im Bereich des Offenlandes sind Biotoptypen besonders betroffen, die auf eine extensive Bewirtschaftungsform angewiesen sind oder die an extreme Standortbedingungen (sehr trocken oder feucht) angepasst sind. Steigende Siedlungs-, Verkehrs- und Landwirtschaftsaktivitäten reduzierten die Lebens- und Nahrungshabitate von Feldvögeln und Insekten im Offenland flächig und strukturell (BMUV 2017; Habel et al. 2019; BNE 2019; Riedel et al. 2020). Doch auch die Artenvielfalt von Ackerwildkräutern und deren geringer werdender Artenpool stellen für die Biodiversität ein Problem dar

(BMUV 2017). Aufgrund der Seltenheit primärer Lebensräume nimmt die Bedeutung naturnaher und artenreicher Sekundärlebensräume zu (Wingender et al. 2002).

Auch wenn das Ausmaß des globalen Insektenrückgangs bisher nicht gänzlich erfasst werden konnte (IPBES 2019), zeigen sich doch alarmierende Erkenntnisse. Die in Deutschland durchgeführte Krefeld-Studie zeigte für den Zeitraum zwischen 1980 und 2016 schätzungsweise 50 % weniger (Grasland-) Schmetterlingsarten und 76 % weniger Fluginsekten (gesamte Biomasse) (Hallmann et al. 2017; Riedel et al. 2020). Abbildung 1 gibt einen Überblick über die aktuell vorkommenden Insektenarten, hier zeigt sich eine Hauptzusammensetzung aus Hautflüglern (*Hymenoptera*) wie Bienenarten, Zweiflüglern (*Diptera*) wie Schwebfliegen und Käfern (*Coleoptera*). Schmetterlinge (*Lepidoptera*) und Schnabelkerfen (*Hemiptera*) sind zu geringeren Mengenanteilen vertreten (Hörren et al. 2023). Die negativen Bestandsentwicklungen von Insekten beeinflussen die Dynamik eines ganzen Biotopes, da sie durch ihre bestäubende Leistung nicht nur wichtig für die vorkommende Flora sind (Kearns et al. 1998; Settele et al. 2008; Schmitt 2022); Klotz et al. 2023) sondern auch Nahrungsgrundlage vieler Tiere (insbesondere Vögel, Fledermäuse, Reptilien und Amphibien) (Näthe 2019; BMUV 2023c). Nach Hallmann et al. ernähren sich etwa 60 % der Vogelarten von Insekten, mit reduzierter Insektenverfügbarkeit reduziert sich demnach auch eine essenzielle Nahrungsgrundlage für die Tiere. Neben der Selbstversorgung vieler Vogelarten kann es bei Jungvögeln ohne die Anfütterung proteinreicher Nahrung zu Entwicklungsdefiziten bei der Aufzucht kommen (Wahl et al. 2014; BNE 2019). Untersuchungen des BfN zu Folge zeigt sich für den Zeitraum von 2004 bis 2016 ein rückläufiger Brutvogelbestand von 30 % und ein gänzlich Verschwinden von ca. vier Millionen Brutvögeln aus dem Offenland (BfN 2021). Am Beispiel der Bestände der Kiebitz

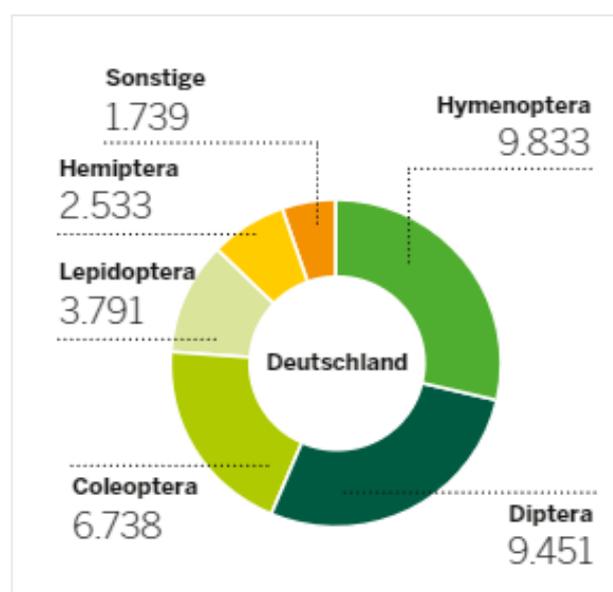


Abbildung 1: Nachgewiesene Insektenarten (Ordnungen) in Deutschland (Hörren et al. 2023)

(*Vanellus vanellus*) (Linnaeus, 1758) und der Rebhühner (*Perdix perdix*) zeigt sich, dass der Bestand auf 10 % des ursprünglichen Bestands gefallen ist (BfN 2021; NABU 2024b).

### 2.3 Klimawandel und die Entwicklung zu den erneuerbaren Energien

Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert wurde der Energieträger Holz aufgrund unzureichender Verfügbarkeit weitestgehend durch den fossilen Energieträger Kohle ersetzt und innerhalb weniger Jahrzehnte zu einem elementaren Rohstoff (Quaschnig 2021). Auch im Jahr 2023 setzt sich der größte Anteil des Primärenergieverbrauchs aus fossilen Energieträgern zusammen (Blum et al. 2020; UBA 2021a, 2024c) – zu ihnen gehören Mineralöl, Gase, Stein- und Braunkohle sowie Kernenergie (AGEB 2024). Fossile Energieträger entstehen als Zersetzungsprodukt langjährig, anaerob abgebauter Biomasse und kommen in drei Aggregatzuständen vor. Die umgewandelte Biomasse entzog der Atmosphäre zu Lebzeiten Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und speicherte es. Unter anderem durch die Verbrennung fossiler Energieträger zur Energiegewinnung werden große Teile CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre zurückgegeben und verändern die THG-Konzentrationen (Quaschnig 2021). Sowohl die angestiegenen THG-Emissionen als auch die Entnahme großflächiger (CO<sub>2</sub>-kompensierender) Naturflächen sind Treiber des anthropogenen Klimawandels (UBA 2024e). Das Klima beschreibt dabei gemittelte und langfristig aufgezeichnete meteorologische Werte eines Ortes (IPCC 2007; Wittig und Niekisch 2014). Durch das Ungleichgewicht der atmosphärischen Stoffe und Gase kommt es zu einer vermehrten Absorption der langwelligen Strahlung, welche von der durch die Sonne erwärmten Erdoberfläche abgegeben wird. Die folglich durch die THG emittierte thermischen Gegenstrahlung erwärmt die bodennahen Luftschichten wiederum so lange, bis der Strahlungshaushalt zwischen der Erde und dem Weltall wieder im Gleichgewicht steht (UBA 2021a). Nach Prognosen des Weltklimarates könnten die Temperaturen der vorindustriellen Zeit im 21. Jahrhundert erstmals über eine Temperaturerhöhung von 1,5° C steigen (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2023).

Die bisherigen Entwicklungen verursachten insbesondere durch sich häufende Extremwetterereignisse teils irreversible Schäden an Ökosystemen und urbanen Strukturen. In Hinsicht auf die Ökosysteme kann ein Zusammenhang zwischen den klimatischen Veränderungen und den negativen Entwicklungen bezüglich der Struktur, der Verbreitungsgebiete und der Phänologie terrestrischer und aquatischer Lebensräume hergestellt werden (IPCC 2022). Das zeitnahe Umsetzen von Klimaschutzmaßnahmen ist elementar, da schon kleine Temperatursteigerungen die negativen Auswirkungen verstärken und die Einflussnahme der Menschen mit zunehmenden Temperaturen stetig abnimmt (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2023). So führt die Überschreitung der klimatischen Schwellenwerte zu einer zusätzlichen THG-Emission, indem Rückkopplungsprozesse

bestehende Systeme verändern (bspw. das Abschmelzen der Gletscher) und teilweise irreversible Folgeschäden auslösen (IPCC 2022). Die Reduktion der fossilen Brennstoffe zählt zu einer wichtigen Maßnahme, da das 1,5°-Ziel des Pariser Abkommens (vgl. Kapitel 2.1.2) durch die entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen bei einer herkömmlichen Weiterverwendung um mehr als 50 % überstiegen werden würde (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2023). Für eine garantierte Versorgungssicherheit nach dem geplanten Kohleausstieg ist neben sicheren Vertragspartnerschaften auch ein rascher Ausbau erneuerbarer Energien (EE) notwendig (BMUV 2023b), um die Abhängigkeit gegenüber teuren Energieimporten zu reduzieren (AGEB 2024; Acatech / Leopoldina / Akademieunion 2022).

Deutschland strebt bis zum Jahr 2030 an, 80 % des verfügbaren Stroms über EE zu produzieren (BMWK 2024 UBA 2024d). Der Primärenergieverbrauch in Deutschland sank im vorangegangenen Jahr um 8,1 %. Ein derart niedriger Wert wurde zuletzt 1990 dokumentiert. Gründe für den Verbrauchsrückgang sind die angestiegenen Preise, milde Temperaturen, eine reduzierte Wirtschaftsleistung aber auch die Nutzung energieeffizienterer Techniken. Die erneuerbaren Energieträger waren mit einem Wachstum von 3,1 % die einzigen Energieträger, die hinsichtlich der Verbrauchswerte (Primärenergieverbrauch) im Jahr 2023 nicht rückläufig waren (AGEB 2024). Eine Darstellung der Entwicklungswerte findet sich in Anhang 2).

Den größten **Anteil des deutschen Energiemarktes** nehmen Mineralöl (35,6 %) und Erdgas (24,7 %) ein. Der Anteil der EE beträgt 19,6 % und trägt dazu bei, dass mit dem Energiemix des Jahres 2023 weniger CO<sub>2</sub> emittiert wurde, als ein Jahr zuvor (bisherige Schätzungen gehen von 11,8 % aus). Der Anteil der EE nimmt in Deutschland bezüglich der **produzierten Strommengen** (Bruttostromerzeugung) mit 52 % (272,4 Milliarden kWh der insgesamt 514 Milliarden kWh) den größten Marktanteil vor Braunkohle (17 %) und Erdgas (15 %) ein (AGEB 2024).

Durch den Ausbau der EE konnte ab dem Jahr 2019 35 % mehr Bruttostrom aus Photovoltaik erzeugt werden (UBA 2024a). Die aus Sonnenstrahlung erzeugte Energie betrug im Jahr 2023 61,2 Milliarden kWh und trug damit 12 % zum Bruttogesamtverbrauch sowie 22,5 % zur Stromerzeugung bei (AGEB 2024). Aufgrund der unterschiedlichen Ressourcenverfügbarkeit von Wind und Sonne ergänzen sich die Energieanlagensysteme und gleichen leistungsschwache Produktionsphasen aus. Die PVA produzieren im windreduzierten Sommerhalbjahr mehr Energie, während die Windenergie-Anlagen (WEA) nachts und in bewölkten Herbst- / Winterphasen ihre beste Leistung bringen (AGEB 2024).

## 2.4 Photovoltaik-Anlagen (PVA)

Die von der Sonne ausgehende Globalstrahlung besteht aus diffuser und direkter Strahlung und kann über die in Photovoltaik-Anlagen verbauten Solarzellen in elektrische Energie umgewandelt werden (Kühl 2010; Wesselak und Voswinckel 2016). Waferbasierte Solarzellen bestehen aus Siliziumscheiben (Wirth 2024). Der Quarzsand, aus dem die siliziumhaltigen Solarzellen hergestellt werden, steht in großen Mengen zur Verfügung. Wie in

Abbildung 2 zu sehen ist, verfügen kristalline Silizium-Solarzellen über eine p- und eine n-Schicht, zwischen denen sich ein elektrisches Feld (p-n-Übergang) aufbaut. Die Schichten sind auf der Vorder- und Rückseite in verkabelte Metallkontakte gefasst. Die Sonneneinstrahlung setzt Elektronen frei, welche durch ihre Bewegung zwischen

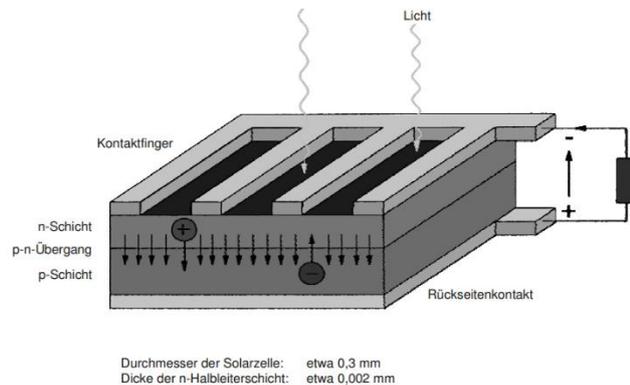


Abbildung 2: Aufbau einer Solarzelle (Kühl 2010)

den unterschiedlich geladenen Polen Strom erzeugen und einen Stromfluss anregen. Mehrere Solarzellen werden zu einem Solarmodul verbunden, indem die Zellen miteinander verglast und in einen Aluminiumrahmen gefasst werden (Kühl 2010). Es kann zwischen Dickschichtzellen (Mono- und Polykristallinen Solarzellen) und Dünnschichtzellen unterschieden werden, da die Dünnschichtzellen lediglich 10 % des globalen Marktes umfassen (Wesselak und Voswinckel 2016; ARGE 2007) werden sie folgend nicht genauer erläutert. Kristalline Solarzellen aktueller Produktionsreihen weisen Wirkungsgrade von 18 % bis 21 % auf (Wirth 2024). Der Wirkungsgrad steigt in einer Zelle mit dem Siliziumgehalt. Monokristalline Solarzellen haben einen höheren Siliziumgehalt, arbeiten effektiver und sind deshalb teurer als polykristalline Solarzellen. Beide kristallinen Solarzellen haben eine erwartete Lebensdauer von etwa 30 Jahren und sind für eine großflächigere Anwendung geeignet. Auf PVA werden mehrere Solarmodule in Strings verschalten und sind so in der Lage höhere Spannungen zu erzeugen (Kühl 2010). Technologische Fortschritte (v.a. Modulherstellung und Stromeinspeisung) ermöglichen die vermehrte Inbetriebnahme großflächigerer, netzgekoppelter Solarkraftwerke (Wesselak und Voswinckel 2016). Netzgekoppelte Anlagen wandeln den erzeugten Gleichstrom über leistungseffiziente Wechselrichter in Wechselstrom um und speisen diesen in das öffentliche Stromnetz ein (Kühl 2010). Aufgrund der statisch verbauten Anlagenteile und der Unabhängigkeit gegenüber zusätzlicher Hilfsenergien gelten PVA als wartungsarm. Verbaute Energiespeicher helfen dabei, die gewonnene Energie zu speichern und Phasen mit geringeren Strahlungsintensitäten auszugleichen (Wesselak und Voswinckel 2016).

### 2.4.1 Freiflächen-Photovoltaikanlagen

Freiflächen-PVA (FF-PVA) repräsentieren eine Form der solaren Energieentwicklung, bei der großflächige PVA in unbebauten, offenen Landschaftseinheiten errichtet werden. Ergänzend zu den PVA in urbanen Gebieten sowie zu integrierten PV-Systemen (Doppelnutzung in Form von Agri- oder Floating-PV) (UBA 2023c; Wirth 2024) betrug die Flächengröße installierter FF-PVA Stand 2021 etwa 32.000 Hektar (UBA 2023c). Eine hohe Dichte an FF-PVA findet sich in Deutschland in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Bayern, Schleswig-Holstein und in besonders hohem Maße in Brandenburg. Eine kartografische Übersicht ist dem Anhang 3 zu entnehmen (Walz et al. 2022). FF-PVA entstehen in Randbereichen von Verkehrsstrecken, auf Konversionsflächen oder auf benachteiligten / aufgegebenen Ackerflächen (UBA 2023c; Wirth 2024). Seit der Novellierung des EEG (vgl. Kapitel 2.1.3) wurden etwa 50 % der FF-PVA auf ehemaligen Ackerstandorten errichtet. Die Aufständigung der Modulreihen erfolgt auf Trägeregestellen, die durch mehrere Rammpfähle im Boden befestigt werden. Die Gestellhöhen betragen zwischen 0,7 und 1,5 m. Es wird zwischen nachführenden und starren Anlagentypen unterschieden – die nachführenden Modelle richten sich entsprechend dem Sonnenstand aus, während die starr installierten Modelle an einer festen Position installiert sind. Bei der Installation starrer Anlagentypen verhindern eine durchdachte Ausrichtung, Neigung und Modulreihenanzordnung sowie das Schaffen ausreichender Reihenabstände eine effizienzschmälernde Beschattung (ARGE 2007). Unterhalb der Solarmodule entwickeln sich in der Regel Grünlandbestände, welche naturschutzfachliche Einflüsse auf die vorkommende Flora und Fauna haben können (Wirth 2024) – detailliertere Einblicke hierzu werden im nachstehenden Kapitel erläutert.

## 2.5 Biodiversität in Solarparks

### 2.5.1 Aktuelle Erkenntnisse

Um die Synergieeffekte zwischen dem Ausbau von FF-PVA und der Entwicklung der biologischen Vielfalt herzustellen wurden mehrere Studien, die sich dieser Thematik angenommen haben, analysiert. Im Folgenden wird eine Darstellung der gewonnenen Erkenntnisse gegeben. Dabei wird zunächst auf die Risiken und anschließend auf die Chancen eingegangen, die Solarparks für die Biodiversität bedeuten können.

Durch den zunehmenden Ausbau von FF-PVA kommt es zu Flächeninanspruchnahmen - diese können insbesondere dann ungünstige naturschutzfachliche Auswirkungen haben, wenn sie ökologisch wertvolle Flächen oder Bereiche von Wanderkorridoren beanspruchen (Biotopverbund). Neben baubedingten Beeinträchtigungen (z.B. Lärm) können durch anlagebedingte Gegebenheiten Standortbedingungen verändert werden. Bei Niederschlägen entstehen beispielsweise unterschiedlich stark ausgeprägte

Versickerungsbereiche und durch den Schattenwurf bilden sich heterogene Vegetationsbestände in beschatteten und besonnten Bereichen aus (NABU 2022).

Für eine Aufrechterhaltung und / oder Förderung der genetischen Vielfalt werden Trittssteinhabitats, großflächigere Habitatflächen sowie Wandermöglichkeiten (verbindende Korridore) benötigt (Drobnik et al. 2013). Gemäß des BNE gelten kleinere FF-PVA als Trittssteinhabitats und Korridore, während größere FF-PVA auch als Dauerhabitats angenommen werden (BNE 2019). FF-PVA, die in einer landwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft entstehen, bieten Offenland-Arten eine geschützte, heterogene Lebensraumalternative, auf die sie ausweichen können. Ein weiterer umweltschutzfachlich relevanter Effekt, ist die Renaturierung und der dauerhafte Bewuchs der Böden. Sie unterstützen den nachhaltigen Schutz gegenüber Erosionen oder Schadstoffeinträgen (Steigerung des Puffervermögens) (Raab 2015; BNE 2019; NABU 2022; BNE 2022).

Durch ein angepasstes Pflegeregime (Extensivmahd oder -beweidung) kann die Biodiversität effektiv beeinflusst werden, indem z. B. artenreiche Blühflächen entstehen (Raab 2015; BNE 2022). Bei einigen Tierarten kann die Ausbildung einer Quellpopulation durch Abwanderung von Individuen positive Effekte auf die umliegende Landschaft erzielen. Besonders FF-PVA mit großen Reihenabständen bieten Tier- und Pflanzenarten Raum zur Entfaltung (BNE 2019, 2022).

Neben den Einflüssen, die nachstehend in Hinsicht auf die Insektenpopulationen angesprochen werden, haben biodiverse und heterogen gestaltete Solarparkflächen Effekte auf weitere Artgruppen (Amphibien, Fledermäuse, Reptilien, Vögel). Studien zeigen, dass FF-PVA ein geeignetes Habitat für unterschiedliche Insektenpopulationen darstellen. Die Flächen haben das Potenzial angrenzende Landschaftsräume durch abwandernde Individuen stabiler Populationen zu bereichern (BNE 2019). Nach Kwak et al. beeinflussen der Standort selbst sowie die Populationsgröße in Kombination mit der vorherrschenden Bestandsdichte blütenreicher Pflanzen die Anwesenheit der nahrungssuchenden Insekten, da sich der jeweilige Aktivitätsradius von bestäubenden Insekten proportional zu Ihrer Populationsgröße ausdehnt. Eine grafische Darstellung findet sich ergänzend in Anhang 4 (Kwak et al. 1998). Beispielsweise wurde in einer Studie ein Anstieg der Individuendichte sowie der Artendiversität von Tagfaltern und Hummeln auf bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen durch die Errichtung einer FF-PVA nachgewiesen. Wesentliche Einflussfaktoren für die Ausbildung der Insektenvielfalt stellen die Vorbereitung, die Umsetzung und das Pflegeregime der Grünlandflächen sowie der Abstand zwischen den Modulreihen dar (Parker und McQueen 2013; Montag et al. 2016). In Brandenburg durchgeführte Studien konnten darüber hinaus 60 % der einheimischen Heuschreckenarten – darunter auch störungssensible Arten - auf drei Solarparkflächen nachweisen. Bezüglich der

Tagfalter liegt die Erhebungsquote aufgrund der spezifischen Lebensraumansprüche mit 40 % etwas geringer, da sie ihre Habitate vermehrt in feuchteren Habitaten mit spezifischen Wirtspflanzen zur Nahrungsbeschaffung und Eiablage errichten. Die Kartierungen zeigten auch im Fall der Tagfalter eine Anwesenheit seltener Arten (Leguan GmbH 2014, 2015, 2016a, 2016b zitiert nach BNE 2019).

## 2.5.2 Biodiversitätskonzept der FF-PVA der EnBW AG

Die Solarparks der EnBW AG werden unabhängig ihrer Förderansprüche (gemäß EEG) nach den Standards der „guten Planung“ des Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V. (BNE) geplant und umgesetzt (mündliche Mitteilung Timur Hauck, EnBW AG, 17.4.2024) um bau- anlage- und betriebsbedingte Störungen des Naturhaushaltes zu vermeiden. Durch die betriebliche Selbstverpflichtung zur Durchführung der Mindestanforderungen werden die Belange von Natur, Umwelt, Landwirtschaft und Regionalplanung abgewogen und durch die Umsetzung gut durchdachter FF-PVA im besten Fall sogar gefördert. Die Anwendung der „Guten Planung“ schafft Transparenz und Akzeptanz in der breiten Bevölkerung und gewährleistet einen einheitlichen Qualitätsstandard, da Naturschutzverbände miteingebunden und die Öffentlichkeit informiert wird (BNE 2022; 2024). Die EnBW AG errichtete seit dem Jahr 2008 in Deutschland 37 FF-PVA wobei die Brandenburgischen Solarparks „Weesow-Willmersdorf“, „Gottesgabe“ und „Altrebbin“ mit installierten Leistungen > 145.000 kW<sub>p</sub> pro Anlage zu den bisher größten Solarenergieprojekten zählen (EnBW AG 2024b, 2024c).

### Die Planungsstandards der FF-PVA der EnBW AG umfassen folgende Maßnahmen (S1-13):

Hinsichtlich der verbauten Solarzellensysteme sind die überwiegend statisch verbauten FF-PVA mit Mono- und Polykristallinen Solarzellen ausgestattet (EnBW AG 2024b). Für eine größtmögliche Effizienz gehört der Einbau bifacialer Solarzelltypen zu den modulbezogenen Planungsstandards der EnBW AG (schriftliche Mitteilung Hauck - EnBW AG, 23.7.2024). Diese sind in der Lage diffuse und reflektierte Strahlung auch auf der Modulrückseite energetisch zu nutzen, was sie effizienter als monofaciale Solarmodule macht (Reise 2024). Die bessere Recycling-Fähigkeit trägt zudem zur Nachhaltigkeitsstrategie der EnBW AG bei (schriftliche Mitteilung Hauck – EnBW AG, 23.7.2024).

Die **Reihenabstände** innerhalb der FF-PVA variieren und werden durch die vorherrschende Topografie beeinflusst – es gilt jedoch ein Mindestabstand von 2,5 m (S4), der je nach Standort zu einem durchschnittlichen Reihenabstand von 3 bis 4 m führt. Das **Höhenprofil** der Solartische ist an der Unterkante auf min. 0,8 m festgelegt (S6) – dies beeinflusst den Lichteinfall und garantiert die Durchwanderbarkeit durch Schafe, die sich zur Pflege auf den Solarparkflächen befinden. Die angewandten Abstände ermöglichen

ein Mosaik unterschiedlich beschatteter Flächen. Durch die Zusammensetzung der unterschiedlich besonnten Bereiche entstehen Habitatkomplexe mit einer hohen Strukturvielfalt. Die schattigen Bereiche unter den Modultischen werden von Schafen und halbschattenliebender und schattenliebender Flora angenommen (EnBW AG 2007).

Der **Vollversiegelungsgrad** innerhalb der FF-PVA beläuft sich auf etwa 1 % der Gesamtfläche (S5), da Versiegelungen nur in wenigen Anlagenbereichen (z.B. Lagerplätze oder Trafohaus) und zur Installation der Rammprofile notwendig sind. Die **Ausbildung der Grünlandstrukturen** wird durch die Ausbringung von Regio-Saatgut unterstützt (S1) und durch standortgerechte Gehölzpflanzungen oder die Entwicklung von Blühstreifen (S2 und S7), sowie vereinzelte Struktur- und Lebensraumelemente (z.B. Insektenhotels, Feldlerchenfenster, oder Lesestein-/ Totholzhaufen) (S8) ergänzt. Die Maßnahmen finden im Innenbereich der Anlagen Anwendung und tragen zu einer größeren Habitat-, Nahrungs- und Artenvielfalt bei. Ergänzend werden Baumpflanzen in den nördlich liegenden Flächen durchgeführt. Die Vegetationsauflage fördert die Filter- und Pufferfunktion des Bodens (S10) und wirkt Erosionen in Hangbereichen präventiv entgegen (S9). Die Pflegemaßnahmen sehen je nach Standort und Ausgangszustand eine Aushagerung (Schröpfungsschnitt mit Abtransport des Mahdgutes) vor. Auf eine Düngung sowie die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln wird verzichtet (S11 und S12), um die natürlichen Entwicklungsprozesse zu unterstützen. Im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung werden die Grünlandbestände (ausgenommen sind die partiell angelegten Trittsteinhabitats) durch Extensivbeweidung entsprechend ihres Biotoptypes (0,3 GVE bei Magerrasen und 1,2 GVE bei Fettwiesen) gepflegt oder durch leichte Mähmaschinen (z.B. Balkenmäher) mit Rücksicht auf vorkommende (ggf. brütende) Tierarten ab Mitte Juni gemäht (S13) (EnBW AG 2007).

Aus sicherheitsrelevanten Gründen ist es notwendig die FF-PVA durch den **Einsatz von Zäunen** unzugänglich gegenüber Menschen und größeren Säugetieren zu machen. Durch kleinere Unterbrechungen im Zaun oder festgelegte Bodenabstände (S3) ist die Durchgängigkeit für Kleinsäuger z.B. Hasen jederzeit möglich. Aufgrund der erhöhten Störungsarmut können besonders bodenbrütende Vogelarten von der Einzäunung profitieren (EnBW AG 2007 und Wirth 2024).

### 3 Methodisches Vorgehen

Durch Abbildung 3 folgt ein Einblick in das methodische Vorgehen dieser Arbeit. In Anlehnung an die methodische Herangehensweisen nach (Witt 2001, Döring et al. 2016; Boßow-Thies & Kroll 2022) wurden die Forschungsfragen wie folgt bearbeitet:

**Mixed Methods** aus explanativer Hypothesenprüfung und Literaturrecherche

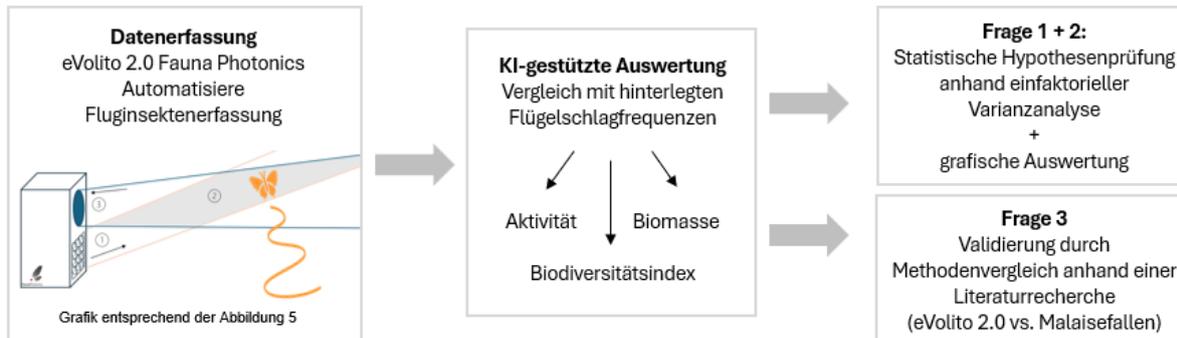


Abbildung 3: Übersicht des methodischen Vorgehens (eigene Darstellung)

#### 3.1 Untersuchungsraum

Der Solarpark Weesow-Willmersdorf bildet den Hauptuntersuchungsraum. Neben ihm werden zwei Referenzstandorte herangezogen, welche sich in unmittelbarer Nähe der FF-PVA befinden. Die Standorte werden in Kapitel 3.2 detaillierter erläutert, nachdem zunächst ein Überblick über die gesamtheitliche Gebietskulisse gegeben wird.

Der Solarpark liegt im Landkreis Barnim (nordöstlich von Berlin) und befindet sich zwischen den Gemeinden Willmersdorf, Werneuchen, Löhme und Börnicke auf den Gemarkungen Weesow und Willmersdorf (vgl. Karte 2: Übersichtskarte Anhang 5). Er wird südöstlich durch das FFH-Gebiet „Weesower Luch“ (DE 3348-301) begrenzt. Die naturräumliche Grobeinheit des Untersuchungsgebietes ist die Ostbrandenburgische Platte (Nr. 79) (Bosch & Partner 2010; Metaver 2024). Durch die „Ostbrandenburgische Grundmoränenplatte“ gestaltet sich die Landschaft geomorphologisch flach mit vereinzelt Moräneneinsenkungen (Bosch & Partner 2010). Es herrscht eine sandig kiesige Schluff-Bodenzusammensetzung (K&S Umweltgutachten 2019). Die Geländehöhe liegt innerhalb der Solarpark-Fläche zwischen 93,5 m ü. NN und 77,5 m ü. NN und sinkt in Bereichen des FFH-Gebietes „Weesower Luch“ auf 75 m ü. NN (LGB 2024) (vgl. Karte 3: Topografische Karte (Höhenprofil) in Anhang 6). Das mecklenburgisch-brandenburgische Übergangsklima zeichnet sich durch eine ansteigende Kontinentalität, annuelle Temperaturschwankungen sowie niedrige Niederschlagsmengen (500-600 mm) aus (Bosch & Partner 2010). In südöstlicher Ausrichtung erstreckt sich ausgehend vom FFH-Gebiet „Weesower Luch“ ein

Kohärenzraum zu einem südlich liegenden FFH-Gebiet. In Richtung des Solarparks sind keine Kohärenzflächen verzeichnet (Land Brandenburg und Öko-LOG).

### 3.2 Standorte

Im Folgenden werden die Standorte erläutert, an denen die Messgeräte der Firma FaunaPhotonics positioniert wurden (vgl. Abbildung 4). Sie werden im weiteren Verlauf der Arbeit hinsichtlich des standortspezifischen Fluginsektenvorkommens gegenübergestellt, um die Umwelteinflüsse, die durch die unterschiedlichen Landnutzungsformen entstehen, zu untersuchen. Es wird zwischen drei Raumnutzungstypen unterschieden (FF-PVA, konventionelle Agrarlandschaft und FFH-/ Naturschutzgebiet). Die Standorte 1 bis 4 erfassen die Fluginsektenaktivität innerhalb des Solarparks (vgl. Tabelle 1), während der Standort 5 den Randbereich eines Rapsackers (vgl. Tabelle 2) und der Standort 6 das FFH-Gebiet „Weesower Luch“ (vgl. Tabelle 3) mit der jeweiligen Aktivität zeigt. Die Tatsache, dass die Solarparkfläche vor Errichtung landwirtschaftlich genutzt wurde (konventioneller Maisanbau), lässt im Rahmen der Diskussion (vgl. Kapitel 5) Rückschlüsse zu den möglichen Biodiversitätsentwicklungen zu.

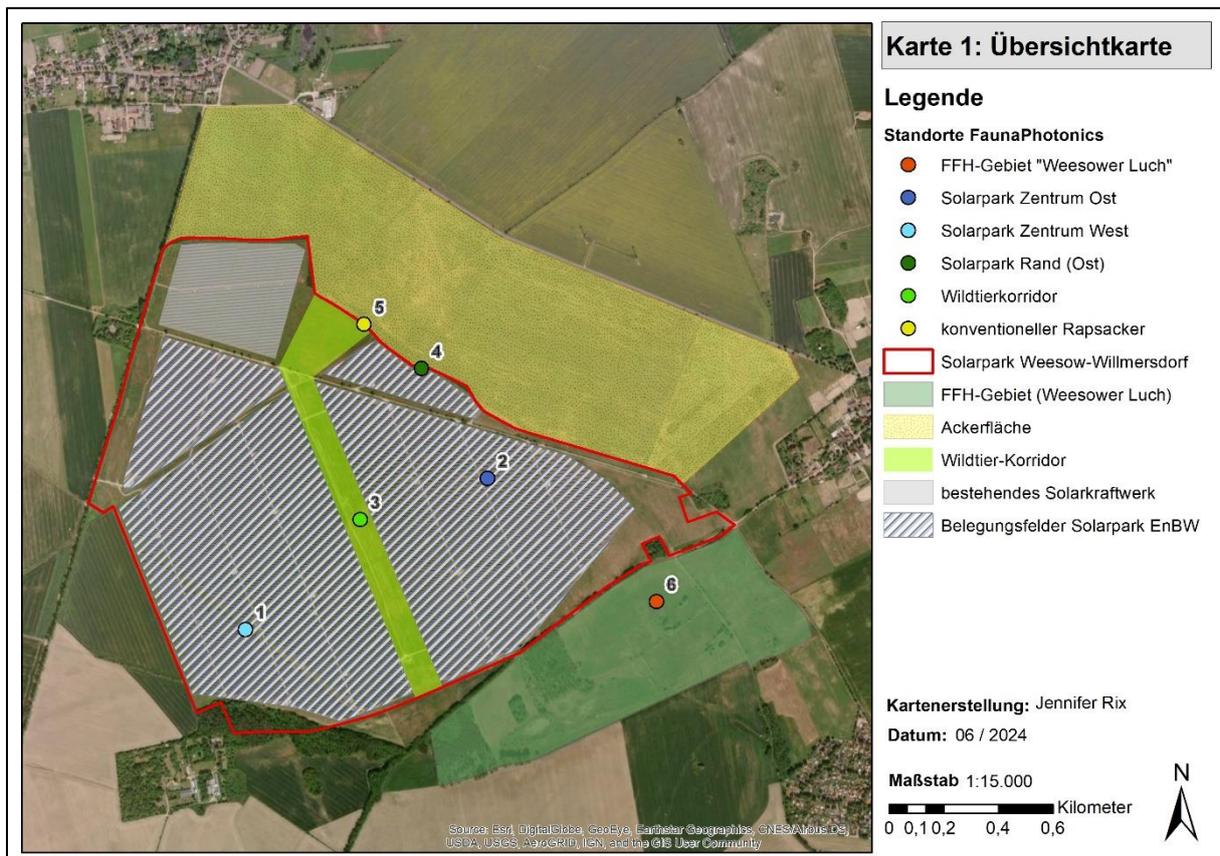


Abbildung 4: Karte 1: Übersichtskarte (eigene Darstellung (J. Rix) erstellt mit ArcGIS 10.8, Luftbild über Esri (ArcGIS))

Die Auswahl der einzelnen Standorte wurde im Vorfeld mit den zuständigen Verantwortlichen abgestimmt und genehmigt. Der Geräteaufbau wurde vor Ort durch Kollegen der Firma ConnectedWindServices (CWS) unterstützt. Die Anhänge 7 bis 12 zeigen eine ausführliche Bilddokumentation, in der sowohl der Messgeräte-Aufbau als auch ein Rundumblick der einzelnen Standorte visualisiert wird.

### 3.2.1 Solarpark Weesow-Willmersdorf

Der Solarpark Weesow-Willmersdorf erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 209 Hektar (bebaute Fläche 164 Hektar). Im Rahmen dieses Großprojektes wurden etwa 465.000 Solarmodule (400 W<sub>p</sub> spez. Leistung) verbaut, die mit einer jährlichen Leistung von 180 Millionen kWh zur Energiewende beiträgt, in dem etwa 50.000 Haushalte mit erneuerbarer Energie versorgt und 129.000 Tonnen CO<sub>2</sub> einspart werden. Der Bau zweier Umspannwerke und 21 Wechselrichterstationen ermöglichte im Jahr 2020 die Inbetriebnahme des Solarparks (EnBW AG 2024a). Die Aufständigung der Modultische folgt nach einem festgelegten Prinzip. Die Modultische haben an der vorderen Unterkante einen Bodenabstand von min. 0,8 m und erreichen eine Höhe von 3,09 m. Die Ausrichtung der statischen Modultische ist mit einem Neigungswinkel von 20° Grad nach Süden ausgerichtet. Die Reihenabstände zwischen den Modulreihen sind durch die vorherrschende Topografie beeinflusst. Bei Reihenabständen zwischen 2,5 m (Mindestabstand) und 8,31 m ergibt sich ein durchschnittlicher Reihenabstand von 2,98 m (EnBW AG 2019).

*Tabelle 1: Standortbeschreibung der Standorte eins bis vier*

<b>Standort 1</b>	<b>Solarpark (Zentrum West)</b>
Verortung	Belegungsfeld S03, Modultischreihe B033
Umzäunte Feldfläche*	75,92 Hektar
Genehmigung	Anlagenverantwortlicher EnBW AG
Vorgaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Verschattung der Module</li> <li>• Standsicherheit gewährleisten</li> </ul>
Reihenabstand	3,8 m
Vegetation	Grasdominierte Weide, partielle Verdichtungs- und Störzeiger wie gewöhnliche Kratzdistel ( <i>Cirsium vulgare</i> ) und Eutrophierungszeiger wie Brennnessel ( <i>Urtica</i> )
Pflege / Nutzung**	Schafsbeweidung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitte März bis Ende Mai ca. 450 Schafe</li> <li>• ab Ende Mai ca. 110 Schafe</li> </ul>

Mögliche Einflüsse auf die Flora und Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschattung durch die Solarmodule</li> <li>• Partielle Beanspruchung des Bodens (Laufwege, Liegeplätze, Sandbäder, Tränke ca. 10 m entfernt)</li> <li>• Historische Pflugsohle aus der Landwirtschaft sowie baubedingte Bodenverdichtungen</li> <li>• Verändertes Mikroklima</li> <li>• Abgegrenzter Raum durch Einzäunung (Barriere für größere Säugetiere)</li> </ul>
* Belegungsplan (EnBW AG 2019)	
**Mündliche Mitteilung des Schäfers 2024	
<b>Standort 2</b>	<b>Solarpark (Zentral Ost)</b>
Verortung	Belegungsfeld S04, Modultischreihe B033
Umzäunte Feldfläche*	65,72 Hektar
Genehmigung	Anlagenverantwortlicher EnBW AG
Vorgaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Verschattung der Module</li> <li>• Standsicherheit gewährleisten</li> </ul>
Reihenabstand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nördlich 7,25 m</li> <li>• Südlich 2,70 m</li> </ul>
Vegetation	Grasdominierte Weide, partielle Verdichtungs- und Störzeiger wie gewöhnliche Kratzdistel ( <i>Cirsium vulgare</i> ) sowie Eutrophierungszeiger wie Brennnessel ( <i>Urtica</i> )
Pflege / Nutzung**	Schafsbeweidung mit ca. 450 Schafen ab Mitte Mai
Mögliche Einflüsse auf die Flora und Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschattung durch die Solarmodule</li> <li>• Partielle Beanspruchung des Bodens (Laufwege, Liegeplätze, Sandbäder, Tränke ca. 4 m entfernt)</li> <li>• Historische Pflugsohle aus der Landwirtschaft sowie baubedingte Bodenverdichtungen</li> <li>• Verändertes Mikroklima</li> <li>• Abgegrenzter Raum durch Einzäunung (Barriere für größere Säugetiere)</li> <li>• Wechselrichter ca. 10 Meter entfernt</li> </ul>
* Belegungsplan (EnBW AG 2019)	
**Mündliche Mitteilung des Schäfers 2024	

<b>Standort 3</b>	<b>Ausgleichsfläche (Wildtierkorridor)</b>
Verortung	Wildtierkorridor zwischen Belegungsfeld S03 und S04, hinter der zweiten Benjes Hecke (aus nordöstlicher Sicht)
Flächengröße*	Ca. 20 Hektar mit einer Breite von 100 m
Genehmigung	Anlagenverantwortlicher EnBW AG
Vorgaben	Informationsschild anbringen
Vegetation**	Wiese (Ansaat mit zertifiziertem, regionalem und artenreichen Wildpflanzen-Saatgut**)
Pflege / Nutzung***	Einjährige Mahd im September, nächste Schafsbeweidung im Frühjahr 2025
Mögliche Einflüsse auf die Flora und Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uneingeschränkte Durchgängigkeit</li> <li>• Strukturebende Elemente (Benjes Hecke, Gehölzpflanzungen)</li> </ul>
<p>* gemessen mit dem BB-Geoviewer (LGB 2024)</p> <p>** Bebauungsplan Gruppe Planwerk und Bosch &amp; Partner 2018</p> <p>*** Mündliche Mitteilung des Schäfers 2024 und des Solarpark-Managers Weesow-Willmersdorf 2024</p>	
<b>Standort 4</b>	<b>Solarpark (Rand Ost)</b>
Verortung	Belegungsfeld S05
Genehmigung	Anlagenverantwortlicher EnBW AG
Umzäunte Feldfläche*	6,5 Hektar
Vorgaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standortnähe zur Messstation der TU Dresden</li> <li>• Standsicherheit gewährleisten</li> </ul>
Vegetation	Grasdominierte Weide mit partiellen Verdichtungs- und Störzeigern wie gewöhnliche Kratzdistel ( <i>Cirsium vulgare</i> ) und Eutrophierungszeiger wie Brennnessel ( <i>Urtica</i> )
Pflege / Nutzung**	Schafsbeweidung ab Ende April mit 170 Schafen
Mögliche Einflüsse auf die Flora und Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angrenzende konventionelle Bewirtschaftung</li> <li>• Angrenzende Ausgleichfläche (Gehölzpflanzungen)</li> <li>• Partielle Beanspruchung des Bodens (Laufwege, Liegeplätze, Sandbäder)</li> <li>• Historische Pflugsohle aus der Landwirtschaft sowie baubedingte Bodenverdichtungen</li> <li>• Verändertes Mikroklima (nicht unmittelbar aufgrund des Abstandes zu den Modulreihen)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abgegrenzter Raum durch Einzäunung (keine Zugänglichkeit für größere Säugetiere)</li> </ul>
* gemessen mit dem BB-Geoviewer (LGB 2024)	
** Mündliche Mitteilung des Schäfers 2024	

### 3.2.2 Landwirtschaftliche Flächennutzung

Das Untersuchungsgebiet und die umliegende Landschaft ist durch langjährige landwirtschaftliche Nutzung geprägt und wird größtenteils konventionell bewirtschaftet (MLUL Brandenburg 2019). Auf der Solarpark-Fläche wurde vor Errichtung intensiv Mais angebaut. Die Errichtung erfolgte an diesem Standort aufgrund des ertragsarmen Bodens (Bodenwerte 30 - 50). Die Betriebsdauer ist aktuell mit anschließendem Rückbau für Dezember 2060 angedacht (Bosch & Partner 2010; EnBW AG 2024a). Der Rapsackerstandort repräsentiert einen konventionell genutzten Wirtschaftsraum, der durch den Eintrag von Pflanzenschutz- und Düngemittel beeinflusst wird. Vor dem Messzeitraum (bis Mitte April) wurde das Feld dreimal mit Pflanzenschutzmitteln (Fungizid, Herbizid, Insektizid, Unkrautbekämpfung) und zweimal mit Düngemittel behandelt (mündliche Mitteilung Landwirt, 14.6.2024). Die Bewirtschaftung erfolgt hierzu mit großen / schweren Landwirtschaftsmaschinen. Bei der Messgerätaufstellung musste aufgrund dessen zwingend beachtet werden, dass die Bewirtschaftung der Fläche nicht behindert wird. Um Beschädigungen am Gerät zu verhindern, wurde ein Randbereich im Feld gewählt, der bei der Bewirtschaftung ausgespart wird. Auf dem gewählten Ackerstandort wird zum Zeitpunkt der Messungen Winterraps angebaut, der während der Datenerfassung in der Hauptblüte steht. Am 29. April wurde ein Fungizid, Insektizid sowie Bittersalz zur Blattdüngung ausgebracht. Dem Landwirt zu Folge wirken die eingesetzten Pflanzenschutzmittel bei guten Wetterbedingungen maximal zwei Wochen – deutlich kürzere Wirkzeiten können jedoch auch eintreten (Mündliche Mitteilung Landwirt, 14.6.2024)

*Tabelle 2: Standortbeschreibung des Referenzstandortes "Rapsacker"*

<b>Standort 5</b>	<b>Ackerfläche</b>
Verortung*	Nordöstlich des Belegungsfeldes S05
Fläche**	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ackerfläche: 124 Hektar</li> <li>• Randabstand 10 Meter</li> </ul>
Genehmigung	Flächeneigentümer / Landwirt
Vorgaben***	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrinnen müssen befahrbar sein</li> <li>• Sichtbarkeit muss gewährleistet sein (Inselstandort)</li> </ul>
Vegetation***	Konventioneller Anbau von Winterraps

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Standfläche auf einer bewirtschaftungsfreien Vegetationsfläche mit einem Wasserablauf (4 x 3 m)</li> <li>• Sukzessionsvegetation: trocken gefallene Gehölzbestände mit aufkommender Brachvegetation</li> </ul>
Pflege / Nutzung***	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aussaat im September, Ernte im August</li> <li>• Pflanzenschutzmittelausbringung um den 29. April Wirkstoffe: Tebuconazol (Fungizid), Tau-Fluvalinat (Insektizid)</li> <li>• Düngung (vor Messzeitraum) Wirkstoffe: Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung, Bittersalz</li> </ul>
Mögliche Einflüsse auf die Flora und Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monokultur mit maschineller Bewirtschaftung</li> <li>• Eintrag von Pflanzenschutzmittel und Nährstoffen</li> <li>• Bewirtschaftungsgänge mit großen Maschinen</li> <li>• Freifläche ermöglicht Sukzession und Rückzugsraum</li> </ul>
<p>* Belegungsplan (EnBW AG 2019)  ** gemessen mit dem BB-Geoviewer (LGB 2024)  *** Mündliche Mitteilung des Flächeneigentümers 2024</p>	

### 3.2.3 FFH-Gebiet „Weesower Luch“

Das in einer Schmelzwasserrinne liegende FFH-Gebiet erstreckt sich südöstlich der Solarparkfläche. Gemäß dem MLUL (Bezugnahme auf den Standarddatenbogen DE 3348-301) können dem Lebensraumtyp „natürliche und naturnahe nährstoffreiche Stillgewässer mit Lauchkraut- oder Froschbiss-Gesellschaften (LRT 3150)“ und „magere Flachland-Mähwiesen (LRT 6510)“ mit Frischwiesen artenreicher Ausprägungen (Biotopcode 05112) zugeordnet werden (MLUL Brandenburg 2019, S. 22–23; Szamatoski & Partner GbR 2019). Die Gewässer- und Grünlandlebensräume sollen erhalten und entwickelt werden (MLUL Brandenburg 2019). Das Gebiet ist seit 1997 nach § 23 BNatSchG als Naturschutzgebiet festgelegt, um die vorkommenden „Feuchtwiesen, Seggenrieden, und Kleingewässer“ zu schützen und den Lebensraum von bedrohten Tier- und Pflanzenarten zu erhalten (MLUL Brandenburg 2019, S. 29). 2017 konnte bei Kartierungen neben Rote-Liste-Amphibien (Kammolch (*Triturus cristatus*) und Rotbauchunke (*Bombina bombina*)) der stark gefährdete große Feuerfalter (*Lycaena dispar*) gesichtet werden (Szamatoski & Partner GbR 2019; MLUL Brandenburg 2019). Das FFH-Gebiet unterliegt Nutzungsfeldern der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft sowie der Jagd und Naherholung. Die landwirtschaftliche Nutzung sieht eine extensive Bewirtschaftung im Zeitraum Juni bis Oktober vor. Die

südlich des FFH-Gebietes liegende Ackerfläche wird konventionell bewirtschaftet. Eine Durchforstung der laubdominierten Waldfläche (Fläche < 10 Hektar) wird lediglich durch waldbauliche Pflegemaßnahmen durchgeführt (MLUL Brandenburg 2019).

Tabelle 3: Standortbeschreibung des Referenzstandortes "FFH-Gebiet Weesower Luch"

Standort 6	FFH-Gebiet „Weesower Luch“ (DE 3348-301)
Verortung**	Südöstlich des Solarparks
Fläche*	56 Hektar
Genehmigung	Untere Naturschutzbehörde, Flächeneigentümer des betroffenen Flurstücks (= bewirtschaftender Landwirt)
Vorgaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichst geringe Behinderung der Mahd</li> <li>• Zuwegung und Standort melden</li> </ul>
Vegetation** *gesichtet auf dem Weg zum Messgerät (14.5.2024)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Magere Flachland-Mähwiese</b> Wiesen-Fuchschwanz (<i>Alopecturus pratensis</i>)*; großer Wiesenknopf (<i>Sanguisorba officinalis</i>), Wiesen-Glockenblume (<i>Campanula patula</i>), Wiesen-Platterbse (<i>Lathyrus pratensis</i>)*, Gamander-Ehrenpreis (<i>Veronica chamaedrys</i>)*, Gewöhnliches Ruchgras (<i>Anthoxanthum odoratum</i>)*, Weißes Labkraut (<i>Galium album</i>), Scharfer Hahnenfuß (<i>Ranunculus acris</i>)*, Vogel-Wicke (<i>Vicia cracca</i>)*, Wiesen-Kerbel (<i>Anthriscus pratensis</i>), Wiesen-Schaumkraut (<i>Cardamine pratensis</i>), Wolliges Honiggras (<i>Holcus lanatus</i>)*, Gewöhnliches Hornkraut (<i>Cerastium holosteoides</i>)*, Rasen-Schmieele (<i>Deschampsia cespitosa</i>)*</li> <li>• Schilf-Röhricht-Bestand (Fläche &lt; 5 Hektar)</li> </ul>
Pflege / Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zweischürige Mahd mit Abtransport des Mahdgutes</li> <li>• Mahdzeitraum: Juni bis Oktober</li> <li>• Düngeverzicht</li> </ul>
Mögliche Einflüsse auf die Flora und Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffeinträge aus südlicher Agrarlandschaft</li> <li>• Schutzgebietskulisse und Störungsarmut</li> <li>• Extensive Bewirtschaftung</li> <li>• Durchgängigkeit und Trittsteinhabitat</li> <li>• Naherholung</li> </ul>
** MLUL Brandenburg 2019	

### 3.3 Zielsetzung und Erfassungsmaßstab

Für die Beantwortung der Forschungsfragen werden drei Lebensraumtypen gegenübergestellt, in dem sechs standardisierte Messgeräte an unterschiedlichen Standorten (unter vergleichbaren Bedingungen) installiert werden (Döring et al. 2016; Boßow-Thies und Krol 2022). Anschließend werden die Standorte hinsichtlich der erfassten Daten gegenübergestellt und unter Berücksichtigung einflussnehmender Faktoren verglichen. Es folgt eine automatisierte Erfassung der standortspezifischen Insektenaktivität, eine KI-gestützte Auswertung der vorkommenden Biomasse sowie der vorherrschenden Diversität (Ausgabe im Rahmen eines Biodiversitätsindex) (technische und methodische Erläuterung der Firma FaunaPhotonics A/S folgt in Kapitel 3.5). Ein Ziel der Untersuchungen ist herauszufinden, ob anhand der relativen Fluginsekten-Aktivitätsdaten ein ökologischer Mehrwert auf FF-PVA für die Biodiversität festgestellt werden kann. Im Gegensatz zu anderen Biodiversitätsstudien, in denen die Biodiversität über Kartierungen von Organismengruppen, die Einstufung unterschiedlicher Taxa oder eine Einordnung unterschiedlicher Strukturindizes erfasst wird (Baur 2021), differenzieren die eingesetzten Messgeräte zwischen den physikalischen Eigenschaften (Flügelschlagfrequenzen) unterschiedlicher Morphotypen und nutzen diese Informationen zur Einschätzung des standortbezogenen Artenreichtums (FaunaPhotonics A/S 2022). Eine Unterscheidung auf Individuen-Ebene (Arten-Niveau) in Form absoluter Zahlen wird seitens der Firma FaunaPhotonics A/S nicht zur Verfügung gestellt (schriftliche Mitteilung FaunaPhotonics A/S 2024). Auf räumlicher Untersuchungsebene entspricht die Untersuchungsmethode am ehesten einer Ableitung der vorkommenden Artenanzahl in einem definierten Lebensraumtyp (Baur 2021). Die gemessene Biomasse dient als Indikatorgröße für die verfügbare Nahrungsmasse, welche weiteren Tierarten (z.B. Avifauna) zur Verfügung steht (FaunaPhotonics A/S 2022). Die technische Erfassung der Insektenaktivität wurde für den Zeitraum vom 17. April 2024 bis 30. Oktober 2024 angesetzt. Im Rahmen der Masterarbeit wird eine Auswertung für den Zeitraum 18. April bis 30. Juni erfolgen. Die fortführende Datenauswertung wird seitens der EnBW AG betreut. Der Messzeitraum wurde auf die Dauer einer Vegetationsperiode festgelegt, um die technische und automatisierte Datenerfassung zu testen und zu untersuchen, ob diese Art der Datenerfassung im Bereich Biodiversität in FF-PVA zielführend und aussagekräftig genug für zukünftige Einsätze ist (vgl. Kapitel 4.3).

## 3.4 Forschungsdesign

### 3.4.1 Quantitative Datenerhebungen und Hypothesenprüfung

Der Stand des Wissens zeigt, dass FF-PVA positive Auswirkungen auf die Biodiversität haben können, wenn diese auf ehemaligen Ackerflächen entstehen (vgl. Kapitel 2.5). Für die Überprüfung dieser Kenntnisse wurden spezialisierte Hypothesen für die ersten beiden Fragestellungen formuliert und durch die Gegenüberstellung der Standorte geprüft. Die Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Forschungsfragen (F1-2), die zugehörigen Hypothesen (H 1-2) sowie Nullhypothesen (H0 1-2). Die Hypothesen stellen Annahmen über die voraussichtlichen Ergebnisse dar, die seitens der Autorin aufgrund der vorangestellten Recherchen erwartet werden aber noch nicht bewiesen sind. Die Nullhypothesen formulieren Ergebnisse, die der Hypothese entgegenstehen – also keinen signifikanten Zusammenhang zeigen. Im Rahmen der Datenauswertung (Kapitel 4) werden die (Null-) Hypothesen über eine Varianzanalyse (ANOVA) einschließlich Post-hoc-Verfahren nach Scheffé ausgewertet (Boßow-Thies und Krol 2022). Die Hypothesen prüfen den Faktor „Aktivität“, welcher auch die Berechnungsgrundlage der Biomasse und Biodiversität darstellt.

*Tabelle 4: Hypothesen zu den zu bearbeitenden Forschungsfragen*

<b>F 1</b>	<b>Profitieren Fluginsekten durch die Förderung der Artenvielfalt auf FF-PVA, wenn diese auf ehemaligen Ackerstandorten entstehen?</b>
<b>H 1</b>	Die Aktivität der Fluginsekten ist auf der FF-PVA größer als auf dem konventionell bewirtschafteten Ackerstandort.
<b>H 01</b>	Auf FF-PVA kann keine signifikant erhöhte Aktivität der Fluginsekten im Vergleich zu dem konventionell bewirtschafteten Ackerstandort festgestellt werden.
<b>F 2</b>	<b>Herrscht in zentralen Bereichen einer großflächig angelegten FF-PVA eine höhere Fluginsektendichte als im Randbereich der FF-PVA?</b>
<b>H 2</b>	In den zentralen Bereichen der FF-PVA ist die Aktivität der Fluginsekten höher als in den Randbereichen einer großangelegten FF-PVA.
<b>H 02</b>	In den zentralen Bereichen der FF-PVA kann keine signifikant erhöhte Aktivität der Fluginsekten als in den Randbereichen festgestellt werden.

### 3.4.2 Validierung der Messtechnik

Die dritte Forschungsfrage validiert die angewandte Technik als Erfassungsmethode sowie die Qualität der gewonnenen Daten und stellt sie herkömmlich angewandten Erfassungsmethoden von (Flug-) Insekten des Offenlandes gegenüber. Durch die Beantwortung der ersten zwei Forschungsfragen werden über den gesamten Untersuchungszeitraum Erfahrungen über das Unternehmen, die Messtechnik, die Datenverfügbarkeit und -

qualität sowie über den generellen Informationsgehalt der Erfassungsmethodik gesammelt. Anhand der Validierung soll untersucht werden, inwiefern das automatisierte und KI-gestützte Monitoringsystem durch die Erhebung von Fluginsekten-Daten Aussagen über die Biodiversität an einem Standort treffen kann und ob der Einsatz einer solchen Dienstleistung beispielsweise für das Erbringen von Nachweisen auf weiteren FF-PVA der EnBW AG in Erwägung gezogen werden könnte. Im Rahmen einer Literaturrecherche werden die gängigen Erfassungsmethoden zur Kartierung flugfähiger Offenland-Insekten dargestellt und dem angewandten Monitoringsystem der Firma FaunaPhotonics A/S gegenübergestellt. Aufgrund der nächtlich abgeschalteten Messgeräte der Firma FaunaPhotonics A/S werden für die Gegenüberstellung Erfassungsmethoden gewählt, die die Identifikation tagaktiver Fluginsekten ermöglichen.

### 3.5 Datenverarbeitung

#### 3.5.1 FaunaPhotonics A/S

Das dänische Unternehmen FaunaPhotonics A/S mit Sitz in Kopenhagen (Dänemark) wurde 2014 gegründet (schriftliche Mitteilung FaunaPhotonics 2024). Mit dem Ziel die Biodiversität durch technische Innovation und den Einsatz künstlicher Intelligenz messbar zu machen, entwickelte das Unternehmen eine Messtechnik, die es ermöglicht die Fluginsekten-Aktivität an einem Standort sensorisch zu erfassen, ohne dabei physisch in die Lebensraumsituation der Insekten einzugreifen (FaunaPhotonics A/S 2024b). Dem Unternehmen zu Folge sind Insektenpopulationen und -dichten Zeigerarten für die Qualität terrestrischer Lebensräume und Ökosysteme, deshalb projiziert FaunaPhotonics A/S durch ihr Vorgehen kleinräumige Analysen auf eine Großmaßstabsebene (Bottom-up-Prinzip) (FaunaPhotonics A/S 2022, 2024b).

#### Technische Erläuterung des eVolito 2.0

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen den Sensor, der auf einem Dreibein montiert und durch die Installation eines PV-Moduls durch Sonnenlicht autark mit Energie versorgt wird. Der eVolito 2.0 sendet Infrarot-Licht (810 nm) über LED-Module aus und erzeugt somit ein elektrisches Feld, welches durch den Durchflug von Insekten durch Lichtreflexion gestört wird. Der Frequenzbereich der Lichtquelle ist für das menschliche Auge nicht sichtbar und hat eine geringe Lockwirkung (Schriftliche Mitteilung, FaunaPhotonics 2024 (FaunaPhotonics A/S 2024b, o.D.)). Die Insekten erfassung erfolgt aufgrund dessen nach dem Zufallsprinzip und schließt keine flugfähigen Individuen gänzlich aus (probabilistische Teilerhebung) (Berekoven et al. 2009; Boßow-Thies und Krol 2022).

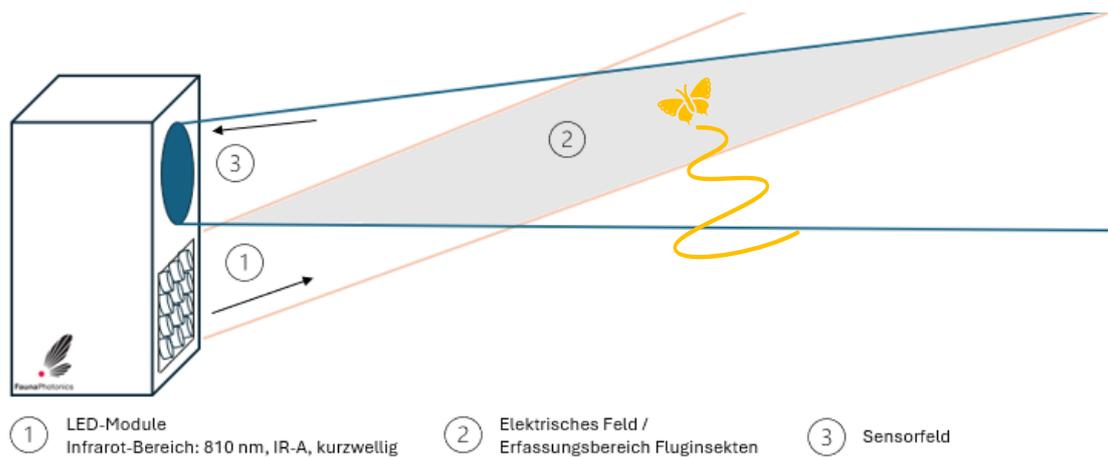


Abbildung 5: Funktionsweise eVolito 2.0 (Eigene Darstellung)

Die Messvorrichtungen und das -format wurden seitens der Firma FaunaPhotonics A/S bereits mehrjährig erprobt und kommen in Europa und Nord Amerika zum Einsatz (schriftliche Mitteilung, FaunaPhotonics 2024).

Der Sensor des Gerätes erfasst die Störung, vergleicht diese KI-gesteuert mit hinterlegten Flügelschlagfrequenz-Daten und ordnet die Bewegung den physikalischen Eigenschaften (Körper- / Flügelgrößen), dem Verhältnis der Flügelgröße zum Körpervolumen sowie der Farbgebung und den natürlichen Bewegungsmustern unterschiedlicher Fluginsektengruppen zu (FaunaPhotonics A/S 2023, 2024b). Anhand dieser Daten errechnet die KI-gestützte Software wöchentlich sowohl die vorkommende Biomasse als auch den standortbezogenen Biodiversitätsindex, welcher in Anlehnung an den Simpson Diversity Index und den Shannon Diversity Index berechnet wird (Torelli 2024 sowie schriftliche Mitteilung FaunaPhotonics A/S, 13.6.2024).

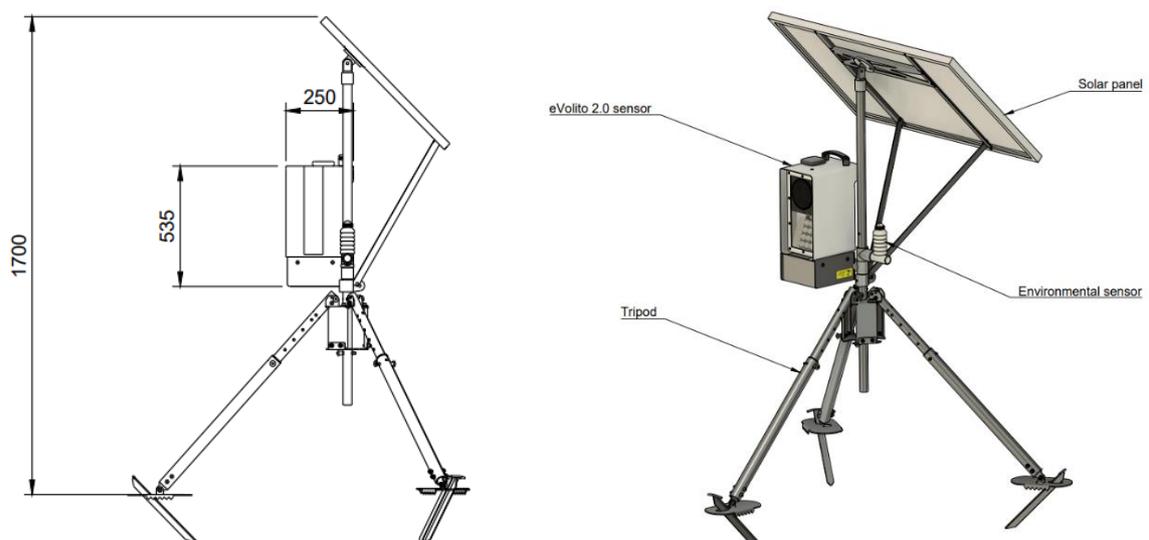


Abbildung 6: Technische Skizze eVolito 2.0 (FaunaPhotonics A/S o.D.)

### Installation der Messvorrichtungen

Die Messgerätaufstellung erfolgte am 17. April 2024 nach einheitlichen Kriterien und Installationsvorgaben. Die Solarmodule der Messgeräte wurden südlich mit einem Neigungswinkel von 45° ausgerichtet. Die Erfassungssensoren sind senkrecht nach Norden ausgerichtet worden. Ausnahmen stellen die Standorte 4 (Ausrichtung nach Osten aufgrund Erfassungsstörungen durch den nördlich verlaufenden Zaun) und 5 (Neigungswinkel des Sensors bei 14° aufgrund des hohen Ackeraufwuchs) dar (vgl. Kapitel 3.2). Die Oberkantenhöhe des Solarmoduls liegt bei 1,50 m und die Sensorhöhe bei 1m (Unterkante 0.8 cm, Oberkante 1,12 cm). Die Geräte wurden vorprogrammiert geliefert. Die Datenerfassungen starten morgens eine Stunde vor Sonnenaufgang und enden eine Stunde nach Sonnenuntergang (schriftliche Mitteilung FaunaPhotonics A/S, 10.6.2024).

#### 3.5.2 Von der Datenerhebung bis zur Datenauswertung

Mit dem Start des eVolito 2.0 wurden kontinuierlich Daten generiert und an die Cloud des Unternehmens übermittelt. Die Datenverarbeitung erfolgt in Form von Edge Computing und unter Einsatz von künstlicher Intelligenz / Machine Learning (FaunaPhotonics A/S 2023). Die Daten werden in Form von zahlenhinterlegten Schaubildern (Häufigkeit, Aktivität, Vielfalt und Biomasse) in einem Kundenportal in Echtzeit zur Verfügung gestellt (FaunaPhotonics A/S 2024b). Für die eigenständige Datenanalyse und -auswertung wurden die erhobenen Daten als Excel-Rohdaten bereitgestellt. Diese beinhalten die stündlich gemessenen Aktivitätsdaten, tageweise akkumulierte Aktivitätsdaten, die errechnete Biomasse sowie die Fluginsektenvielfalt (Biodiversitätsindex) pro Standort. An jeder Messstation werden tageszeitlich die vorherrschenden Temperaturen erfasst - da diese allerdings erst ab Mai zur Verfügung gestellt wurden (fehlende Vergleichbarkeit), die Fragestellungen keinen primären Bezug zur vorherrschenden Temperatur erfordern und davon ausgegangen wird, dass sich die Umwelteinflüsse im Untersuchungsgebiet nur marginal unterscheiden, werden diese zusammenfassend zu Beginn des Ergebniskapitels erläutert.

Die Hypothesenprüfung erfolgt anhand einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA). Das Ziel ist es herauszufinden, ob sich die Mittelwerte der Aktivitätsdaten pro Standort (abhängige Variable) voneinander unterscheiden und somit einen signifikanten Einfluss auf die gemessenen Aktivitätsdaten aufweisen (Behnke und Behnke 2006; Boßow-Thies und Krol 2022). Durch die Berechnung der Quadratsummen und mittleren Quadratsummen der Vorhersage-, Fehler- und Gesamtvarianzen (Berechnung mit Excel-Datenanalyse-Tool) ergeben sich die Prüfgröße F, der kritische F-Wert (Signifikanzniveau 95 %) und der P-Wert. Eine Signifikanz gilt als statistisch bewiesen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist: **P-Wert < 0,05**.

Anhand des nachgeführten Post-hoc-Tests (Scheffé-Test) werden die Abweichungen der einzelnen Standorte zueinander analysiert, um signifikante Unterschiede zwischen den Standorten herauszustellen (Reiter 2005). Die Berechnung erfolgt nach dem folgenden Schema:

- (1) Berechnung kritischer Scheffé-Wert S

S = Freiheitsgrade zwischen den Gruppen (df) \* kritischer F-Wert

- (2) Durchführung des Scheffé-Tests  $F_s$

$$F_s = \frac{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)^2}{MS \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

mit Mittelwert  $\bar{x}_i / \bar{x}_j$ , Quadratsumme MS (innerhalb der Gruppen), Anzahl  $n_i / n_j$

- (3) Ein signifikanter Unterschied besteht bei der folgenden Bedingung:

Kritischer Scheffé-Wert S < Ergebnis des Scheffé-Tests  $F_s$

Die anschließende grafische Datenpräsentation erläutert die Entwicklungen über den Messzeitraum und geht auf die Aktivität (tageszeitliche Aktivität, summierte und akkumulierte Gesamtaktivität der Tagessummen) sowie die wöchentlich berechnete Biomasse und Biodiversität ein.

Die **tageszeitliche Aktivität** zeichnet ein Bild der Aktivitätsmuster über den Zeitraum von 24 Stunden und zeigt Verhaltensänderungen mit den fortschreitenden Monaten. Für die Berechnung wurden die Aktivitäten der einzelnen Tagesstunden für jeden Tag des Monats aufsummiert und monatsweise abgebildet. Die Darstellung ermöglicht Einblicke in die Dynamik eines Ökosystems, da sich die Bewegungs- und Aktivitätsmuster artspezifisch unterscheiden und durch ökologische Prozesse wie Bestäubung, Prädation oder Konkurrenz beeinflusst werden können (FaunaPhotonics A/S 2022).

Die Tagessummen visualisieren die standortabhängige Lebensraumdynamik über den gesamten Untersuchungszeitraum und stellt die Summe der stündlich erfassten Aktivitäten eines Tages dar. Anhand der akkumulierten Gesamtaktivität lässt sich am Ende jeden Monats ein Zwischenstand der insgesamt erfassten Aktivitäten ablesen. Die Aktivitätsentwicklungen können im weiteren Verlauf der Arbeit (vgl. Kapitel 4.1.2 und 4.2.2) mit den vorherrschenden Einflussfaktoren, den Auswirkungen auf die ökologischen Prozesse (Bestäubung, Prädation oder Konkurrenz) sowie der generellen Ressourcenverfügbarkeit in Verbindung gebracht werden (FaunaPhotonics A/S 2022).

Die **errechnete Biomasse** stellt einen Indikator für die zur Verfügung stehende Nahrungsmenge dar und ermöglicht Rückschlüsse auf die Standort-Attraktivität in einem Ökosystem (FaunaPhotonics A/S 2022). Stellt ein Standort geringe Biomasse-Anteile zur Verfügung, kann dadurch das vorkommende Arteninventar sowie die Wechselwirkungen in einem Ökosystem direkt und / oder indirekt beeinflusst werden (Näthe 2019; FaunaPhotonics A/S 2022). Die Darstellung der Biomasse erfolgt wöchentlich. Die Ausgabe erfolgt jeweils montags für die voranstehende Woche und erfolgt aufgrund dessen bis zum 1. Juli 2024. Die Berechnung der Biomasse erfolgte nach unternehmensinternen Rechenprozessen der Firma FaunaPhotonics A/S (basierend auf einer WBF-Massenkartierung, Literaturrecherchen und internem Fachwissen) (schriftliche Mitteilung FaunaPhotonics A/S, 13.6.24) und wird an dieser Stelle unverändert präsentiert (vgl. Kapitel 4.1.3 und 4.2.3).

Die **Biodiversität** wird wöchentlich in Form eines durch die Firma FaunaPhotonics A/S errechneten Biodiversitätsindex angegeben. Die Ausgabe erfolgt jeweils montags für die voranstehende Woche und erfolgt aufgrund dessen bis zum 1. Juli 2024. Er definiert die Anzahl der verschiedenen Fluginsekten sowie deren individuenbezogene Verteilung im gemessenen Feld und hat eine Range von 0 bis 1. Höhere Indexwerte weisen auf mehr unterschiedliche Arten im Erfassungsraum und folglich auf einen artenreicheren Raum hin (FaunaPhotonics A/S 2024a). Auch wenn der Begriff „Biodiversität“ weiterhin an dieser Stelle verwendet wird, ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass eine artspezifische Unterscheidung aufgrund der bestehenden Datengrundlage nicht vorgelegt werden kann. Aus diesen Gründen wird zusätzlich das **durchschnittliche Gewicht** der Fluginsekten errechnet – es ergibt sich aus dem Quotienten der wöchentlichen Biomasse und der wöchentlichen Tagesaktivität. Durch die Berechnung der Mittelwerte kann dargestellt werden, wie viel die Fluginsekten durchschnittlich wiegen. Anhand der errechneten Standardabweichung  $s_x$  kann darüber hinaus ein Eindruck darüber vermittelt werden, wie breit das Feld der Abweichungen / Streuungen zum errechneten Durchschnittsgewicht (Mittelwert) ist. Eine große Abweichung entspricht demnach einem Standort mit mehreren Individuen, die vom errechneten „Mittelwert-Insekt“ abweichen und zeigt damit eine höhere Diversität des Standortes auf. Die Biodiversität sowie die Durchschnittsgewichtsklasse werden in Kapitel 4.1.4 und 4.2.4 betrachtet.

## 4 Ergebnisdarstellung

Im Rahmen der nachstehenden Kapitel 4.1 und 4.2 werden die erhobenen Daten präsentiert und hinsichtlich der Forschungsfragen 1 und 2 analysiert. Dabei werden die Aktivitäten, die wöchentlich verfügbare Biomasse und die wöchentliche Biodiversität der erfassten Fluginsekten wie in Kapitel 3.5.2 beschrieben wurde betrachtet. Die Datenpräsentation erfolgt für den Zeitraum vom 18. April bis zum 30. Juni 2024. Die Ergebnisauswertung zeigt die signifikanten Zusammenhänge zwischen den einzelnen Standorten und der Umwelteinflüsse auf. Das Kapitel 4.3 beinhaltet eine Validierung der Messtechnik (3. Forschungsfrage), bevor im Kapitel 5 alle Ergebnisse interpretiert und mit dem aktuellen Wissens- und Forschungsstand in Verbindung gebracht und diskutiert werden.

Die Fragestellungen konzentrieren sich auf die Korrelationen zwischen unterschiedlichen Nutzungstypen und dem Vorkommen flugfähiger Insekten. Aufgrund des eng gefassten Untersuchungsgebietes wird der einflussnehmende Faktor „Witterung“ standortübergreifend vorab angesprochen. Die Studie von Hallmann et al. zum Rückgang der Fluginsekten zeigt, dass höhere Temperaturen positiv und Niederschläge negativ auf die Biomasse wirken, während die Windgeschwindigkeit nahezu keinen Einfluss nimmt. Aus messtechnischer Sicht kommt es bei sehr geringen Temperaturen zu Abschaltungen der Messgeräte und somit zu Messausfällen. Ein solcher Ausfall ist im Messzeitraum am 22. April an den Standorten 1 bis 5 eingetreten (schriftliche Mitteilung FaunaPhotonics A/S, 2.7.2024).

Die monatlichen Durchschnittstemperaturen befinden sich in Deutschland in einem Aufwärtstrend und verzeichneten im April 10° C, im Mai 14,9° C und im Juni 16,8° C (Statista 2024b). Gemäß des Deutschen Wetterdienstes (DWD) brachte der Frühling 2024 die bisher wärmsten Mitteltemperaturen seit Beginn der Messungen (1881). Für den Raum Brandenburg stiegen die Temperaturen im März mit 11,8° C ungewöhnlich hoch und hielten sich im milden bis warmen Bereich bis Mai (DWD 2024a). Frühjahrserwärmungen sind ein Indiz für die langfristige Verschiebungen der Vegetationsperiode mit früheren Blühphasen (DWD 2024b). In Hinsicht auf die Niederschlagsereignisse konnten im April 36 l / m<sup>2</sup> (+ 6 l / m<sup>2</sup> zum Vorjahr), im Mai 54 l / m<sup>2</sup> (gleichbleibend zum Vorjahr) und im Juni 64 l / m<sup>2</sup> (+ 5 l / m<sup>2</sup> zum Vorjahr) erfasst werden (Statista 2024a). Die Gesamtbilanz in Brandenburg erscheint trotz vereinzelter Starkregenereignisse im Mai eher trocken (DWD 2024a). Bezugnehmend auf den Winterraps bergen Starkregenereignisse die Gefahr des Umknickens der hochwachsenden Pflanzen und Wechselfrostereignisse können die Wasseraufnahme am Wurzelwerk hemmen (Gömann et al. 2015). Nach Aussagen des Landwirtes (Rapsacker) führten Frosttage Ende April zu einem Frostschaden der Pflanzen und bedingten u.a. das Abblühen gegen Anfang Mai (mündliche Mitteilung Landwirt, 14.6.2024).

#### 4.1 Standortbezogene Gesamtanalyse der Aktivität von Fluginsekten mit Rückschlüssen auf die verfügbare Biomasse sowie der Biodiversität

Um darzustellen, welchen Einfluss die biodiversitätsfördernden Maßnahmen auf den FF-PVA der EnBW AG auf die Fluginsekten haben (erste Forschungsfrage vgl. Kapitel 1.3), wurden die erhobenen Daten des Solarparks (Standorte 1 bis 4) mit zwei Referenzstandorten (Standort 5 und 6) verglichen. Die einfaktorielle Varianzanalyse überprüft den statistisch signifikanten Unterschied der Messstandorte und filtert die Standorte mit besonderen Aktivitätsabweichungen durch einen nachgeführten Post-hoc Test nach Scheffé heraus. Die einfaktorielle Varianzanalyse dient der Hypothesenüberprüfung und bestätigt die in Tabelle 5 aufgeführte Hypothese (H.1) ab einem Signifikanzniveau  $< 5\%$ . Bei einem Wert von  $> 0,05$  gilt H.1 als verworfen und die Nullhypothese (H.01) wird bestätigt.

Tabelle 5: Hypothese (H.1) und Nullhypothese (H.01) zur ersten Forschungsfrage

<b>H.1</b>	Die Aktivität der Fluginsekten ist auf FF-PVA größer als auf dem konventionell bewirtschafteten Rapsacker.
<b>H.01</b>	Auf der FF-PVA kann keine signifikant erhöhte Aktivität der Fluginsekten im Vergleich zu dem konventionell bewirtschafteten Rapsacker festgestellt werden.

Für die Berechnungen werden die summierten tageszeitlichen Aktivitätsdaten der erfassten Fluginsekten aller Standorte über den gesamten Erfassungszeitraum herangezogen. Die ermittelten Summen, Mittelwerte und Varianzen, die die Grundlage der einfaktoriellen Varianzanalyse bilden, sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6: Daten zur Durchführung einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA)

Standorte	Mess-tage	Summe Erfassungen	Mittelwert $\bar{x}$	Varianz
<b>Solarpark Zentrum West</b>	74	98.926	1.336,8	3.388.600,6
<b>Solarpark Zentrum Ost</b>	74	122.967	1.661,7	2.554.300,6
<b>Wildtierkorridor</b>	74	69.293	936,4	1.905.742,4
<b>Solarpark Rand Ost</b>	74	52.804	713,6	479.178,3
<b>Acker: Winterraps</b>	74	199.122	2.690,8	4.304.237,8
<b>FFH-Gebiet</b>	74	53.184	718,7	553.630,4

Anhand der einfaktoriellen Varianzanalyse ergeben sich die in Tabelle 7 aufgeführten Werte. Anhand des **P-Wertes von  $2,14 \cdot 10^{-17}$**  (P-Wert  $< 0,05$ ) kann die Einflussnahme der verschiedenen Standorte auf die Fluginsekten-Aktivität grundlegend **bestätigt** werden.

Tabelle 7: ANOVA zur Prüfung von H.1 und H.01

Prüfgröße F	P-Wert	Kritischer F-Wert
19,3	$2,14 \cdot 10^{-17}$	2,2

Die Durchführung des Post-hoc-Tests (Scheffé-Test) vergleicht die signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten. Der Wert des kritischen Scheffé-Wertes beträgt 11,2 (Berechnungsschema vgl. Kapitel 3.5.2) – ab einer Überschreitung des Wertes  $F_s$  (Ergebnis des Scheffé-Tests) ist ein signifikanter Unterschied zwischen den Standorten festgestellt. Wie in der Abbildung 7 zu sehen ist, zeigt der Standort „Rapsacker“ signifikante Unterschiede zu allen anderen Messstandorten ( $F_s > S = 11,2$ ). Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, zeigen sich signifikante Unterschiede vom Standort „Zentrum Ost“ zu den Standorten „Rand“, „Rapsacker“ und „FFH-Gebiet“ ( $F_s > S = 11,2$ ). Die ANOVA sowie die Ergebnisse des Scheffé-Tests sind dem Anhang 13 zu entnehmen.

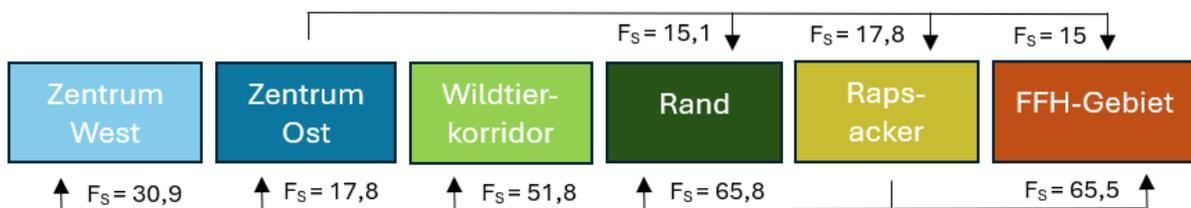


Abbildung 7: Post-hoc Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten und zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei  $F_s >$  kritischer Scheffé Wert = 11,2

Die nachstehende Ergebnispräsentation visualisiert die detaillierten Unterschiede und Entwicklungen der einzelnen Standorte zueinander und betrachtet dabei die Teilbereiche „tageszeitliche Aktivität“, die durch die Fluginsekten verfügbare „Biomasse“ (wöchentlich) und Entwicklung der Biodiversität (wöchentlich). Die Gegenüberstellung bildet die Grundlage zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage.

#### 4.1.1 Tageszeitliche Aktivität der Fluginsekten

Das tageszeitlichen Aktivitätsmuster orientiert sich standortübergreifend an den Sonnenstunden und zeigt mit fortschreitender Zeit veränderte Aktivitätsphasen. Während zu Beginn zwei Aktivitätsspitzen (mittags und abends) verzeichnet sind, ballt sich die Aktivität gegen Ende der Messungen in den Abendstunden.

Die Fluginsekten-Aktivitäten (FA) im **April 2024** (vgl. Abbildung 8) begrenzen sich auf das Zeitfenster von 8 bis 21 Uhr. Die FA am „Rapsacker“ steigen um 13 Uhr auf ein Tagesmaximum von 5.336 FA und sinken danach bis auf einen geringfügigen zweiten Anstieg (+173 FA) gegen 18 Uhr ab. Der Standort „Zentrum West“ misst um 14 Uhr 4.064 FA, sinkt

zwischenzeitlich auf 1.953 FA ab und erfährt um 19 Uhr ein zweites Hoch mit 3.460 FA. Er stellt im Untersuchungsgebiet den Standort mit der höchsten Abendaktivität dar. Sowohl der „Wildtierkorridor“ (13 Uhr mit 2.840 FA und 18 Uhr mit 1.883 FA) als auch der Standort „Zentrum Ost“ (13 Uhr mit 1.321 FA und 19 Uhr mit 881 FA) lehnen sich mit geringeren Zahlen an das tageszeitliche Bewegungsschema des Standortes „Zentrum West“ an. Die FA im „FFH-Gebiet“ erreichen um 15 Uhr mit 2.623 FA ihr Tagesmaximum, während der „Rand“-Standort mit einem Maximum von 1.475 FA um 18 Uhr die geringsten Werte zeigt.

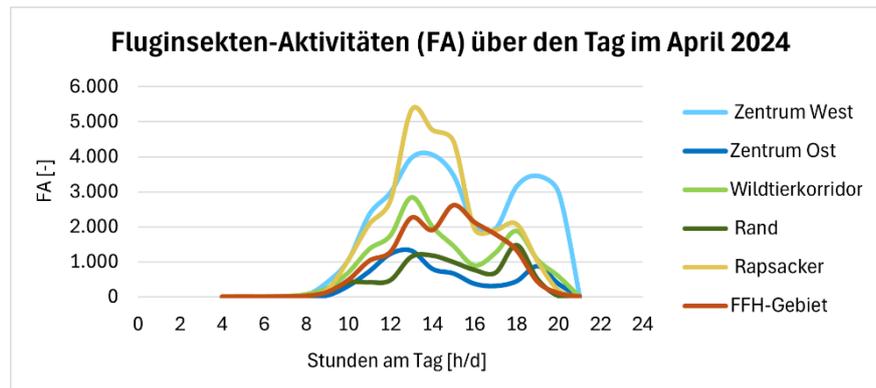


Abbildung 8: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivität (FA) aller Standorte im April 2024 (Eigene Darstellung)

Im **Mai 2024** (vgl. Abbildung 9) verschiebt sich das Aktivitätsfenster auf 9 bis 22 Uhr. Die FA auf dem „Rapsacker“ steigen um 14 Uhr auf ein Tagesmaximum von 16.408 FA und sind von einem zweiten Hoch um 20 Uhr (10.016 FA) gefolgt. Die Aktivität überschreitet die der anderen Standorte und ist um die Mittagszeit mehr als dreimal so hoch als im vorherigen Monat. Der Standort „Zentrum West“ (14 Uhr mit 6.734 FA und 20 Uhr mit 6.066 FA) und der Standort „Wildtierkorridor“ (14 Uhr mit 4.308 FA und 19 Uhr mit 3.921 FA) zeigen höhere Aktivitätszahlen als im April und lehnen sich mit geringeren Zahlen an das tageszeitliche Bewegungsschema des „Rapsackers“ an. Die FA der Standorte „Zentrum Ost“ (18 Uhr mit 5.640 FA) und „FFH-Gebiet“ (18 Uhr mit 2.372 FA) steigen über den Tag langsam an und finden ihre Maxima um 18 Uhr. Der Standort „Zentrum Ost“ verzeichnet im Mai ca. viermal so hohe Aktivitätszahlen als im April, während der Standort „FFH-Gebiet“ nahezu gleichbleibende Aktivitäten im Vergleich zum Vormonat zeigt. Der „Rand“-Standort steigt um 14 Uhr auf 4.050 FA und sinkt danach wieder ab. Mit dem Aktivitätsanstieg um die Mittagszeit erreicht dieser Standort über doppelt so hohe FA als im April 2024.

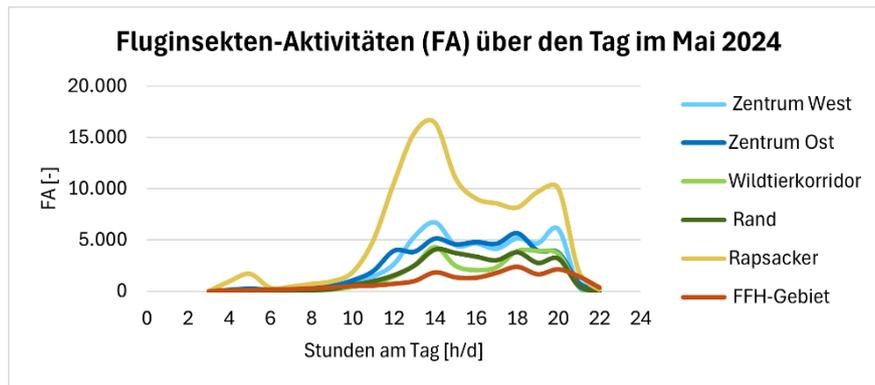


Abbildung 9: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivitäten (FA) aller Standorte im Mai 2024 (Eigene Darstellung)

Die Aktivitätsmuster im **Juni 2024** (vgl. Abbildung 10) zeigen regere Aktivitäten zwischen 3 und 11 Uhr. Bis auf die Standorte „Zentrum Ost“ und „Rapsacker“ sinken die Aktivitäten zwischen 12 und 18 Uhr wieder ab. Die Gesamtaktivität ist im Vergleich zu Mai 2024 an allen Standorten außer den Standorten „Zentrum Ost“ und „FFH-Gebiet“ rückläufig. Die höchste Aktivität kann mit 9.808 FA um 19 Uhr am Standort „Zentrum Ost“ erfasst werden, nachdem ein kontinuierlicher Anstieg über den Tag zu beobachten ist. Der „Rapsacker“ reiht sich an zweiter Stelle mit 5.990 FA um 19 Uhr ein und gleicht dem tageszeitlichen Bewegungsschema des Standortes „Zentrum Ost“. Die Standorte „Zentrum West“ (3.478 FA), „Wildtierkorridor“ (2.333 FA) und „Rand“ (2.349 FA) erreichen um 19 Uhr ihr Aktivitätsmaximum, während der Standort „FFH-Gebiet“ gegen 21 Uhr ein Maximum von 3.053 FA erreicht. Der „Rand“-Standort zeigt die geringsten FA im Juni 2024.

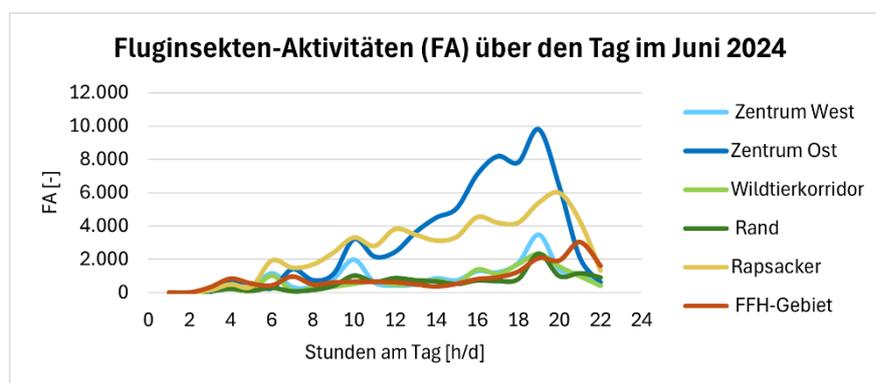


Abbildung 10: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivitäten (FA) aller Standorte im Juni 2024 (Eigene Darstellung)

#### 4.1.2 Gesamtaktivität der Fluginsekten

Nachstehend werden die summierten Tagesaktivitäten sowie die akkumulierten Gesamtaktivitäten der Fluginsekten über den gesamten Messzeitraum dargestellt. Eine Auflistung der metrischen Werte findet sich ergänzend zu der visuellen Darstellung in Anhang 14.

Den Standort mit der höchsten Aktivitätssumme stellt der „Rapsacker“ dar. Er wird im April 2024 durch den Standort „Zentrum West“ und im Juni 2024 durch den Standort „Zentrum Ost“ phasenweise überschritten. Die akkumulierten Aktivitäten zeigen, dass die Gesamtaktivität am Ende der Aufzeichnungen am „Rapsacker“ am höchsten war und die zentralen Solarpark Standorte „Zentrum Ost“ und „Zentrum West“ folgen.

Im **April 2024** wird in der ersten Beobachtungswoche im Vergleich zum übrigen Erfassungszeitraum verhältnismäßig wenig Fluginsekten-Aktivität erfasst (vgl. Abbildung 11). Während für den 22. April seitens der Firma FaunaPhotonics A/S bestätigt wird, dass die Messgeräte aufgrund einer temperaturbedingten Abschaltung automatisch vorübergehend heruntergefahren wurden, sind für die restlichen Tage zwischen dem 18. April und dem 24. April keine expliziten Gründe für die geringeren Aktivitäten seitens des Unternehmens genannt worden. Nach Informationen der nächstgelegenen Wetterstation (Heckelberg), wurden für die besagte Woche vermehrte Regenereignisse am 19. April, 20. April und dem 22. April mit einem Gesamtniederschlag von 11,2 mm / Woche sowie eine Durchschnittstemperatur von 4,3° C / Woche dokumentiert (Meteostat 2024a). Da keine eigenen, vollumfänglichen Wetterdaten (insb. Regen- und Temperaturmessungen) erhoben wurden und die Messstation für eine zuverlässige Korrelationsaussage mit > 10 km Entfernung zum Untersuchungsgebiet zu weit entfernt scheint (Bestätigung durch mündliche Mitteilung Landwirt, 14.6.2024), dient die Darstellung der Wetterbedingungen an dieser Stelle als Zusatzinformation und stellt keinen gesicherten Grund für reduzierte Aktivitäten dar. Während der ersten Woche dominieren die Aktivitäten auf dem „Rapsacker“. Zwischen dem 25. April und dem 29. April steigen sie gesamtheitlich an, wobei die markantesten Anstiege an den Standorten „Zentrum West“, „Rapsacker“ und „FFH-Gebiet“ zu sehen sind. Der Standort „Zentrum West“ übersteigt den „Rapsacker“ am 27. April und erreicht das Monatsmaximum mit 9.544 FA, bevor die FA zum Monatsende wieder abnimmt. Der „Rapsacker“ findet sein Monatsmaximum mit 5.468 FA am 26. April und bleibt einen Tag länger stabil. Das „FFH-Gebiet“ ordnet sich mit einem Monatsmaximum von 4.637 FA am 27. April vor dem „Wildtierkorridor“ (3.796 FA am 28. April), dem „Zentrum Ost“ (2.295 FA am 28. April) und dem Standort „Rand“ (2.139 FA am 27. April) ein.

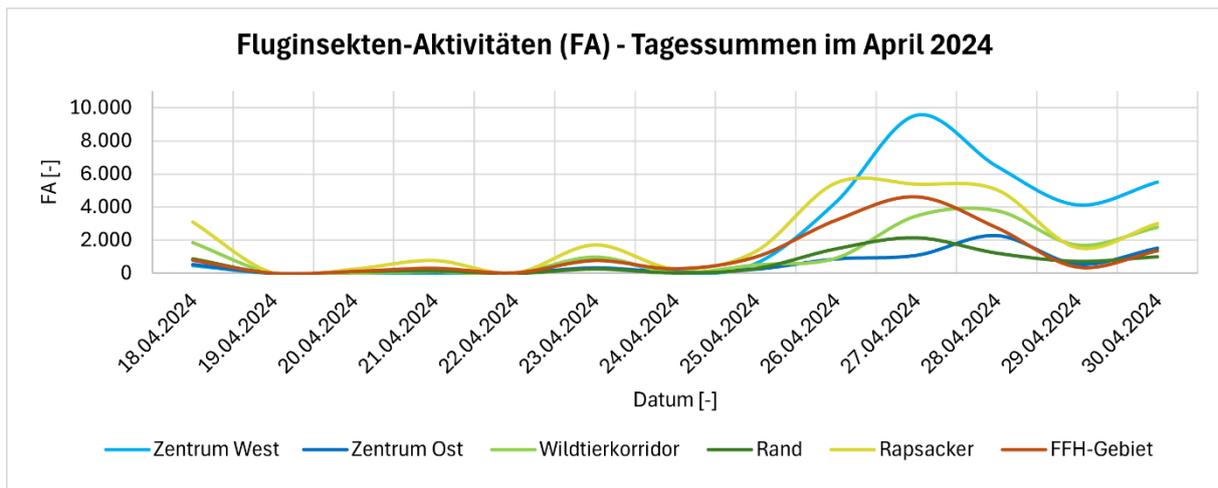


Abbildung 11: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an allen Standorten (summiert aus den Tagesaktivitäten) im April 2024 (eigene Darstellung)

Anhand der akkumulieren Fluginsekten-Aktivität Ende April (vgl. Abbildung 12) lässt sich erkennen, dass die Gesamt-Aktivität an den Standorten „Zentrum West“ mit 33.452 FA und „Rapsacker“ mit 28.281 FA am höchsten war. In abnehmender Reihenfolge folgen die Standorte „Wildtierkorridor“ (16.207 FA), „FFH-Gebiet“ (15.585 FA), „Zentrum Ost“ (8.425 FA) und „Rand“ (8.324 FA).

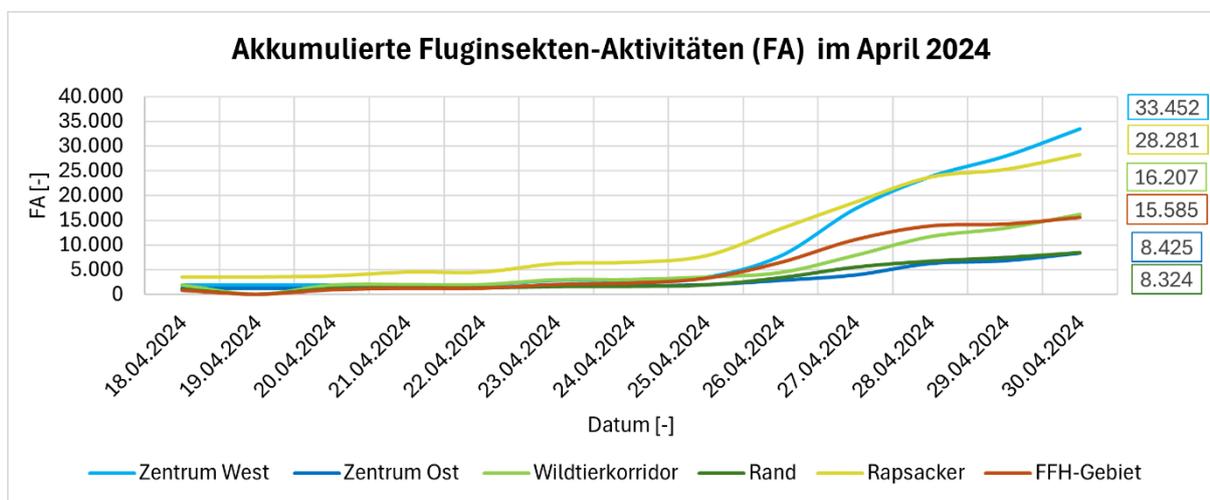


Abbildung 12: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) (akkumuliert) im April 2024 (eigene Darstellung)

Die Aktivitäten im **Mai 2024** (vgl. Abbildung 13) sind in der ersten Monatshälfte an allen Standorten außer dem „FFH-Gebiet“ stärkeren Schwankungen unterlegen als in der zweiten Monatshälfte. Am 22. Mai lässt sich darüber hinaus ein vorübergehender Anstieg an allen Standorten beobachten. Die Schwankungen auf dem „Rapsacker“ liegen in der ersten Monatshälfte zwischen 1.748 FA und 8.577 FA und überschreiten damit die Aktivitäten des vorherigen Monats. Sie heben sich mit diesen Entwicklungen deutlich von den

anderen Standorten ab. In der zweiten Monatshälfte nähern sich die Aktivitäten des „Rapsackers“ den Aktivitäten der Standorte an und zeigen ab diesem Zeitpunkt nur leicht erhöhte Aktivitäten im Vergleich. Der Standort „Zentrum West“ erreicht bereits zu Beginn des Monats ein Monatsmaximum von 7.427 FA und sinkt im Verlauf des Monats zum Standort mit der geringsten Aktivität (230 FA zum 31. Mai). Im Vergleich zu den Aktivitäten im April 2024 sind hier geringere Aktivitätszahlen verzeichnet. Der „Wildtierkorridor“ erreicht im Mai 2024 mit 9.397 FA sein Monatsmaximum und verzeichnet damit im Vergleich zum vorherigen Monat eine starke Aktivitätszunahme. Ab dem 12. Mai 2024 nehmen die Aktivitäten an diesem Standort wieder ab und sinken zum Monatsende (31. Mai mit 265 FA) auf die zweitletzte Position. Der Standort „Zentrum Ost“ findet sein Monatsmaximum gleich zu Beginn des Monats mit 3.126 FA. Nach einem kurzzeitigen Aktivitätstief nehmen die Aktivitäten zum 5. Mai wieder zu und lehnen sich ab diesem Zeitpunkt an das Bewegungsschema des Standortes „Zentrum West“ an. Die Aktivitäten überschreiten die des „Zentrum West“-Standortes ab dem 12. Mai und enden mit 613 FA zum 31. Mai. Während sich die Aktivitäten am „Rand“-Standort in der ersten Monatshälfte mit einem Monatsmaximum von 3.783 FA noch über dem „FFH-Gebiet“ (Maximum am 3. Mai mit 1.719 FA) befinden, nehmen die Aktivitäten am „Rand“-Standort zum Monatsende ab (414 FA zum 31. Mai) und ordnen sich unter dem „FFH-Gebiet“ (810 FA zum 31. Mai) ein.

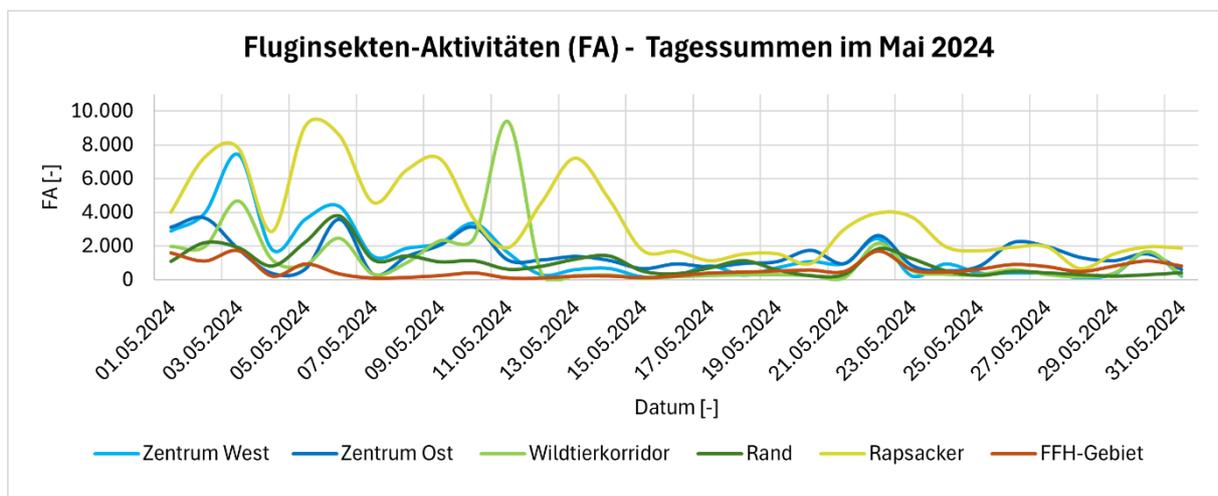


Abbildung 13: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an allen Standorten (summiert aus den Tagesaktivitäten) im Mai 2024 (eigene Darstellung)

Die akkumulierte Fluginsekten-Aktivität Ende Mai 2024 (vgl. Abbildung 14) zeigt, dass die Gesamt-Aktivität an dem Standort „Rapsacker“ mit 141.252 FA am höchsten war. An nächster Stelle stehen die zentralen Solarpark-Standorte „Zentrum West“ mit 81.185 FA und „Zentrum Ost“ mit 54.154 FA. In abnehmender Reihenfolge folgen die Standorte „Wildtierkorridor“ (45.052 FA), „Rand“ (39.145 FA) und „FFH-Gebiet“ (33.982 FA).

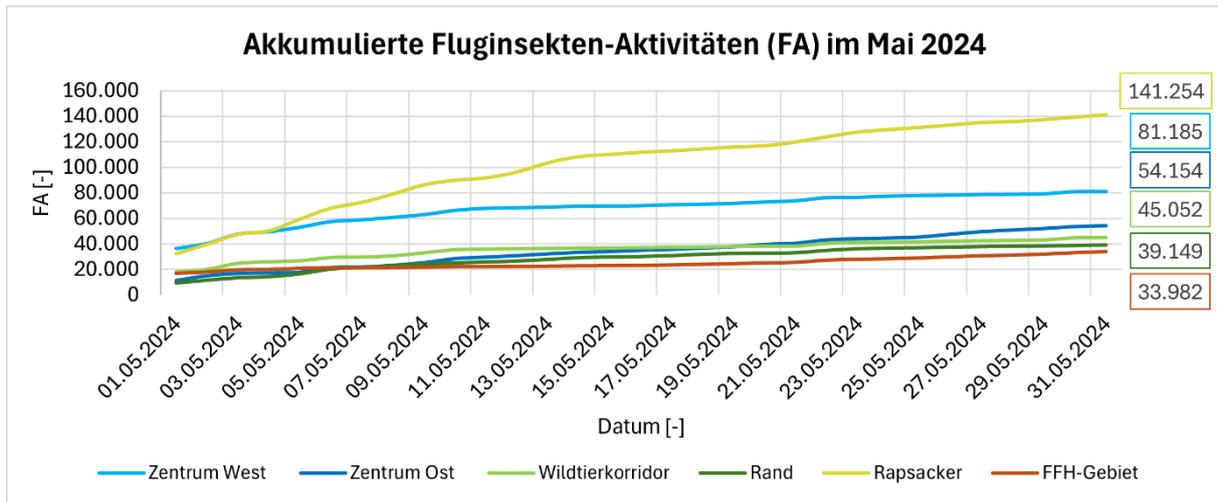


Abbildung 14: Fluginsekten-Aktivitäten (akkumuliert) im Mai 2024 (eigene Darstellung)

Die Entwicklungen im **Juni 2024** (vgl. Abbildung 15) zeigen im ersten und letzten Drittel des Monats verhältnismäßig einheitliche Entwicklungen aller Standorte. Zu den aktivsten Standorten gehören der „Rapsacker“ und der Standort „Zentrum Ost“. Der „Zentrum Ost“-Standort zeigt erstmals am 9. Juni mit 3.877 FA und ein zweites Mal am 17. Juni mit 9.759 FA besonders hohe Aktivitäten und stellt damit auch das Gesamt-Tagesmaximum im Messzeitraum dar. Der „Rapsacker“ zeigt im Juni geringere Aktivitätsspitzen als im Mai und findet sein Monatsmaximum am 28. Juni mit 3.461 FA. Die Standorte „Zentrum West“, „Wildtierkorridor“, „Rand“ und „FFH-Gebiet“ befinden sich auf ähnlichen Aktivitätsniveaus. Die Monatsmaxima der Standorte „Zentrum West“ (2.753 FA), „Rand“ (2.740 FA) und „FFH-Gebiet“ (1.735 FA) werden am 18. Juni erreicht, während der „Wildtierkorridor“ (1.948 FA) sein Monatsmaximum am 30. Juni erreicht.

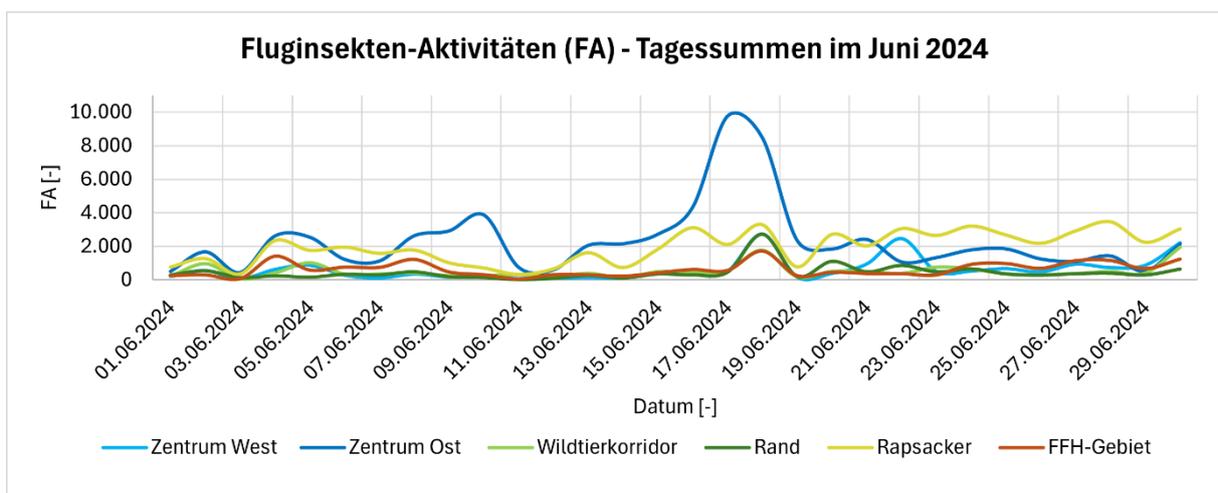


Abbildung 15: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an allen Standorten (summiert aus den Tagesaktivitäten) im Juni 2024 (eigene Darstellung)

Die akkumulierte Fluginsekten-Aktivität Ende Juni 2024 (vgl. Abbildung 16) zeigt, dass die Gesamt-Aktivität an dem Standort „Rapsacker“ mit 199.570 FA am höchsten war. Darauf folgen die zentralen Solarpark-Standorte „Zentrum Ost“ mit 120.718 FA und „Zentrum West“ mit 100.452 FA. In abnehmender Reihenfolge folgen die Standorte „Wildtierkorridor“ (60.301 FA), „FFH-Gebiet“ (53.195 FA) und „Rand“ (52.948 FA).

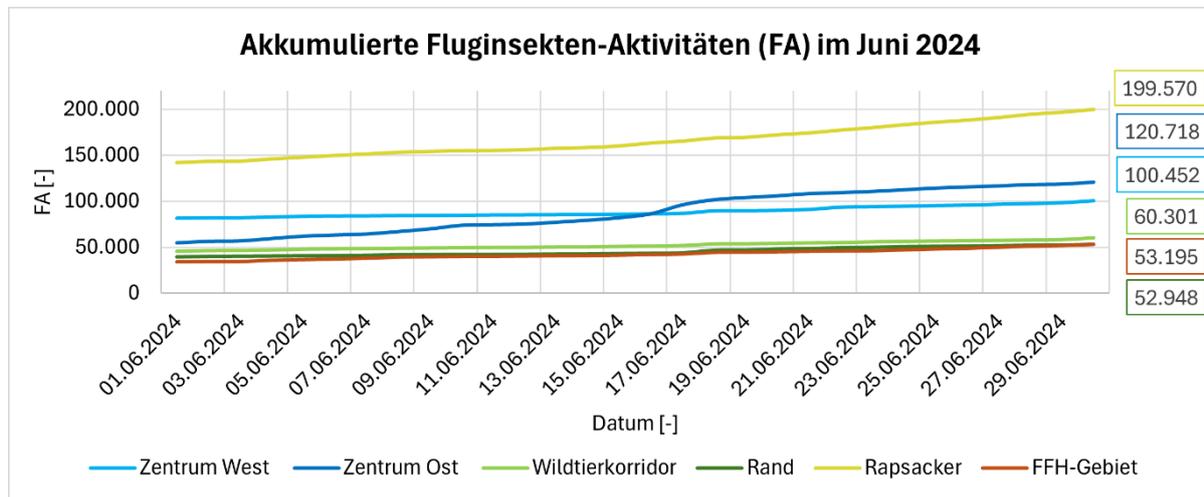


Abbildung 16: Fluginsekten Aktivitäten (akkumuliert) im Juni 2024 (eigene Darstellung)

#### 4.1.3 Biomasse

Bevor die verfügbare Biomasse der einzelnen Monate angesprochen wird, zeigt die Abbildung 17 eine Gesamtübersicht der verfügbaren Biomasse am Ende des Untersuchungszeitraumes (eigene Errechnung). Die meiste verfügbare Biomasse findet sich an den Standorten „Rapsacker“ mit 21.340 g, „Zentrum Ost“ mit 11.955 g und „Zentrum West“ mit 10.646 g. Drauf folgen in absteigender Reihenfolge die Standorte „Wildtierkorridor“ (7.176 g), „FFH-Gebiet“ (6.432 g) und „Rand“ (5.864 g).

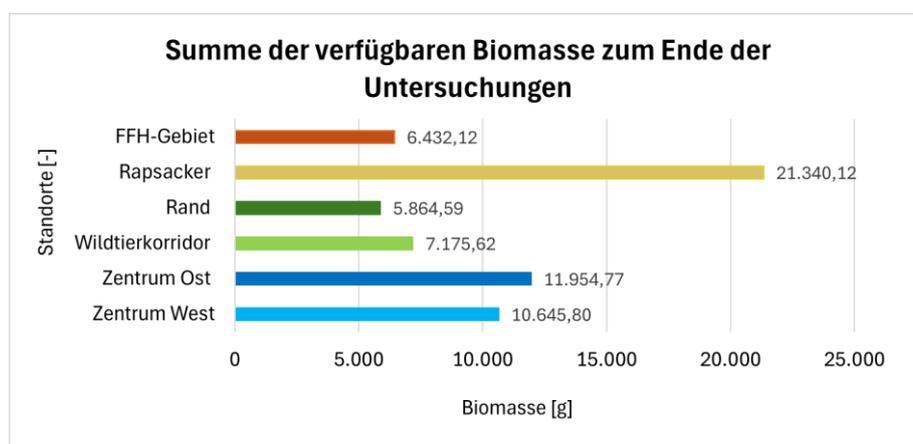
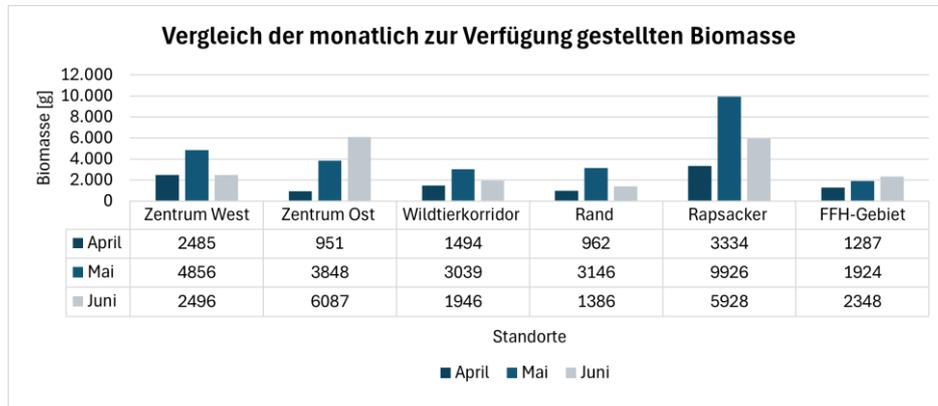


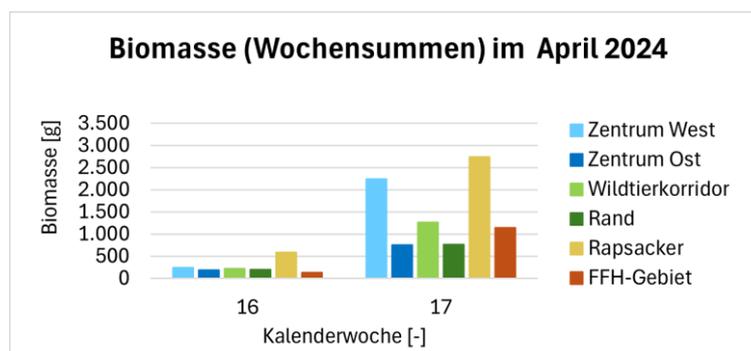
Abbildung 17: Summe der verfügbaren Biomasse an allen Standorten am Ende des Untersuchungszeitraumes (eigene Darstellung)

In Abbildung 18 wird eine Übersicht über die monatlich verfügbaren Biomassen der einzelnen Standorte gegeben. Es lässt sich erkennen, dass im April und Mai an den Standorten „Rapsacker“ und „Zentrum West“ die meiste Biomasse zur Verfügung steht. Im Juni hingegen dominieren die Standorte „Zentrum Ost“ und „Rapsacker“.



*Abbildung 18: Monatliche Summen der Biomasse an allen Standorten  
(Eigene Darstellung)*

Die Errechnungen der Biomasse im **April 2024** (vgl. Abbildung 19) zeigen in der ersten Kalenderwoche niedrige Biomassen als die restlichen Kalenderwochen. Diese Entwicklungen gründen einerseits auf den in Kapitel 4 angesprochenen Wittereinflüssen und andererseits auf der Tatsache, dass die Datenerfassungen der Kalenderwoche (KW) 16 mit dem Start am 18. April lediglich vier anstatt sieben Tagen summieren. Die meiste Biomasse wird in der KW 17 am „Rapsacker“ mit 2.742 g und am Standort „Zentrum West“ mit 2.242 g zur Verfügung gestellt. Es folgen in abnehmender Reihenfolge die Standorte „Wildtierkorridor“ (1.266 g), „FFH-Gebiet“ (1.151 g), „Rand“ (761 g) und „Zentrum Ost“ (759 g).



*Abbildung 19: Wöchentlich summierte Biomasse (Kalenderwochen 16 und 17)  
im April 2024 (Eigene Darstellung)*

Im **Mai 2024** (vgl. Abbildung 20) wird an allen Standorten in den ersten zwei Wochen mehr Biomasse bereitgestellt als in letzten zwei Wochen. Es dominiert der Standort „Rapsacker“ in allen Kalenderwochen. Der höchste Wert wird in KW 18 mit 3.158 g erreicht. An zweiter Stelle folgt in KW 18 und 19 der Standort „Zentrum West“ mit einem Maximum von 2.408 g in KW 18. In KW 20 liegt der Standort „Rand“ mit 652 g an zweiter Stelle und in KW 21 wird dieser durch den Standort „Zentrum Ost“ mit 1.047 g überholt. Bis in KW 20 stellt der Standort „FFH-Gebiet“ im Mai den Standort mit der geringsten Biomasse dar.

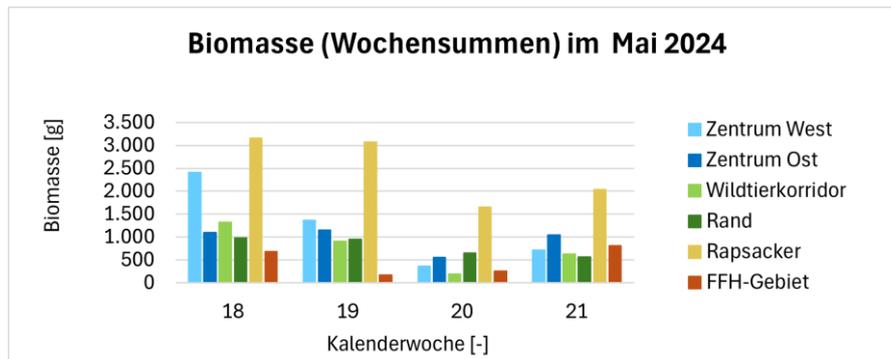


Abbildung 20: Wöchentlich summierte Biomasse (Kalenderwochen 18 bis 21) im Mai 2024 (Eigene Darstellung)

In den ersten 3 Wochen im **Juni 2024** (vgl. Abbildung 21) ist die Biomasseverfügbarkeit an allen Standorten höher als in den darauffolgenden zwei Wochen. Der in KW 22, 23 und 26 dominierende Standort „Rapsacker“ wird in den Kalenderwochen 24 und 25 durch den Standort „Zentrum Ost“ übertroffen. Der höchste Wert wird in KW 25 am Standort „Zentrum Ost“ mit 1.446 g erreicht. An zweiter Stelle folgt in derselben Kalenderwoche der Standort „Rapsacker“ mit einem Maximum von 1.055 g. Bis in KW 25 stellt der „Rand“-Standort im Juni den Standort mit der geringsten Biomasse dar. Eine ergänzende Datentabelle mit den metrischen Werten ist dem Anhang 15 zu entnehmen.

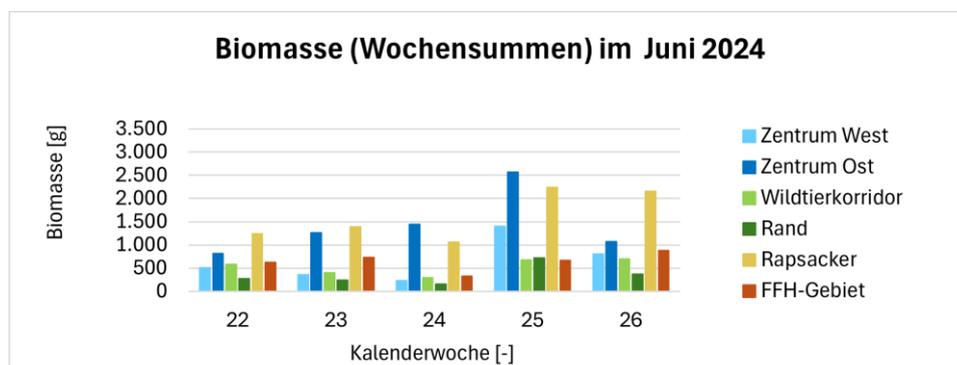


Abbildung 21: Wöchentlich summierte Biomasse (Kalenderwochen 22 bis 26) im Juni 2024 (Eigene Darstellung)

#### 4.1.4 Biodiversität

Im Folgenden wird die durch die Firma FaunaPhotonics A/S berechnete Biodiversität in Form des Biodiversitätsindex (BI) wiedergegeben. Der Biodiversitätsindex zeigt errechnete Werte zwischen null und eins, wobei eine Annäherung an die Zahl eins eine steigende Biodiversität ausdrückt. Wie in Kapitel 3.3 bereits erläutert wurde, ermöglichen die Berechnungen keine Differenzierung unterschiedlicher Arten, sondern stellen die übergreifende Arten-Heterogenität in einem Untersuchungsgebiet dar.

Bei der Betrachtung des gesamten Untersuchungszeitraumes (vgl. Abbildung 22) fällt auf, dass sich der Biodiversitätsindex beim Vergleich der ersten und letzten KW standortübergreifend erhöht. Die Schwankungen über den Zeitraum sind am Standort „FFH-Gebiet“ am auffälligsten. Die einzelnen Standorte zeigen in den jeweiligen Kalenderwochen selbst überschaubare Abweichungen zueinander. Den geringsten Indexwert zeigt der Standort „Rapsacker“ in KW 19 mit einem BI von 0,59, während der Höchstwert von 0,81 am Standort „Rand“ im KW 25 und am Standort „Zentrum West“ in KW 26 erreicht wird. In Anhang 16 werden die Grafiken durch metrische Datensammlungen ergänzt.

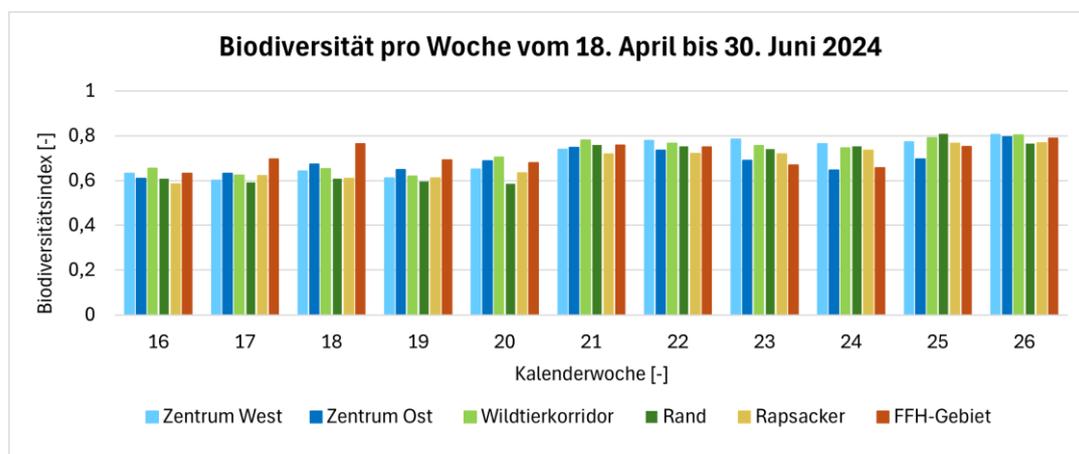


Abbildung 22: Übersicht des Biodiversitätsindex über den gesamten Untersuchungszeitraum (18. April bis 30. Juni 2024, Angabe in Kalenderwochen) (Eigene Darstellung)

Im **April 2024** (vgl. Abbildung 23) wird der Standort „Wildtierkorridor“ (BI 0,66) durch den Standort „FFH-Gebiet“ (BI 0,7) überschritten. Während der Standort „Rapsacker“ in KW 16 noch den geringsten BI (BI 0,59) darstellt, sinkt der Standort „Rand“ in der darauffolgenden Woche auf einen BI von 0,59 ab und nimmt damit den Standort mit dem geringsten Biodiversitätsindex ein. Die Standorte „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ befinden sich im April zwischen BI-Werten von 0,6 und 0,63.

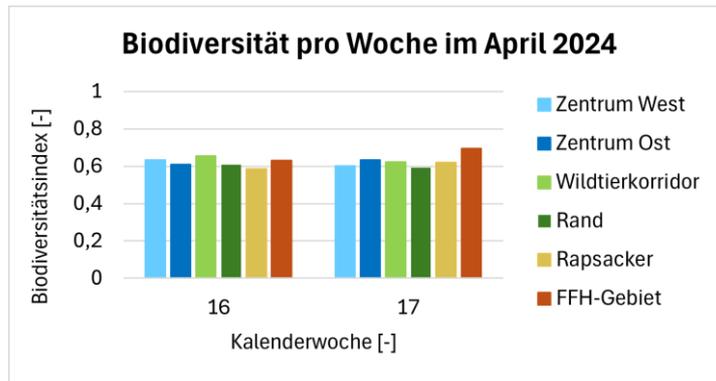


Abbildung 23: Detailansicht des Biodiversitätsindex im April (16. und 17. Kalenderwoche) (Eigene Darstellung)

In Abbildung 24 ist zu erkennen, dass der BI am Standort „FFH-Gebiet“ im **Mai 2024** direkt zu Beginn (KW 18) auf einen BI von 0,76 ansteigt. Die Standorte „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Wildtierkorridor“ weisen zu diesem Zeitpunkt einen kleineren BI als das „FFH-Gebiet“ und einen geringfügig höheren BI als die Standorte „Rapsacker“ und „Rand“ auf. Bis zur KW 21 nehmen die BI-Werte standortübergreifend zu und pendeln sich zwischen BI-Werten von 0,72 und 0,78 ein. Der „Wildtierkorridor“ zeigt am Ende des Monats (KW 21) mit einem BI von 0,79 den höchsten Biodiversitätsindex.

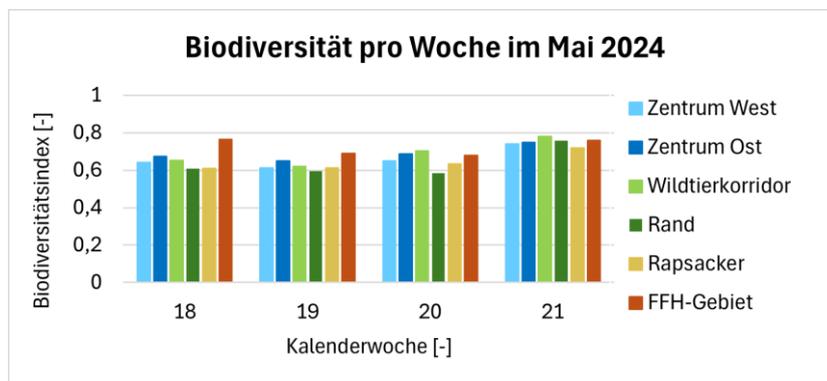


Abbildung 24: Detailansicht des Biodiversitätsindex im Mai (17. bis 21. Kalenderwoche) (Eigene Darstellung)

Im **Juni 2024** (vgl. Abbildung 25) lassen sich zwischen den Kalenderwochen 22 und 26 sehr geringe Unterschiede hinsichtlich des BI feststellen. Der BI der Standorte „FFH-Gebiet“ und „Zentrum Ost“ sinkt vorübergehend etwas stärker ab, bevor er zum Ende des Monats wieder steigt. Die Standorte „Zentrum West“, „Wildtierkorridor“ und „Rand“ zeigen über den Monat hinweg vergleichsweise geringe Schwankungen. Der Standort mit dem geringsten BI im Juni ist der Standort „Zentrum Ost“ – er weist in KW 24 einen BI von 0,65 auf. Den höchsten BI-Wert erreichen die Standorte „Rand“-Standort und „Zentrum West“ mit 0,81.

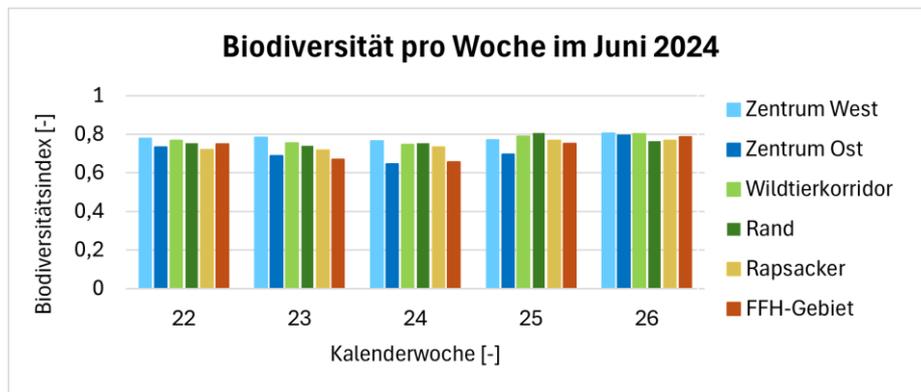


Abbildung 25: Detailansicht des Biodiversitätsindex im Juni (22. bis 26. Kalenderwoche)  
(Eigene Darstellung)

Zusätzlich zum Biodiversitätsindex soll an dieser Stelle noch das durchschnittliche Gewicht der vorkommenden Fluginsekten an den jeweiligen Standorten verglichen werden. Die metrischen Werte werden tabellarisch in Anhang 17 zur Verfügung gestellt.

Der „Wildtierkorridor“ zeigt die Fluginsekten mit dem geringsten Durchschnittsgewicht (Mittelwert  $\bar{x} = 0,11$  g). An den Standorten „Zentrum Ost“, „Rand“, „Rapsacker“ und „FFH-Gebiet“ wiegen die Fluginsekten im Mittel 0,12 g. Die schwersten Fluginsekten finden sich mit einem Durchschnittsgewicht von 0,16 g am Standort „Zentrum West“. Die kleinsten Standardabweichungen ( $s_x = 0,02$ ) sind an den Standorten „Rapsacker“ und dem „FFH-Gebiet“ zu finden. Minimal höhere Standardabweichungen ( $s_x = 0,03$ ) zeigen die Standorte „Wildtierkorridor“ und „Rand“. Die größten Standardabweichungen zeigen die Standorte „Zentrum Ost“ mit einem Wert von 0,07 und „Zentrum West“ mit einem Wert von 0,12. Anhand der nachstehenden Abbildungen 26 und 27 wird die Streuung der Durchschnittsgewichte zusätzlich veranschaulicht. Der Standort „Zentrum West“ weist im Vergleich zum „Zentrum Ost“ eine nur minimal größere Box zwischen dem oberen und unteren Quartil. Die Spanne zwischen den minimalen und maximalen Durchschnittsgewichten, sowie der Abstand zwischen dem oberen und oberen Quartil ist am „Rand“-Standort am geringsten und am „Wildtierkorridor“ am höchsten. Die Standorte „Zentrum West“ und „Zentrum Ost“ befinden sich in einer ähnlichen Range, wobei das Durchschnittsgewicht und die Anzahl der schwereren Fluginsekten am Standort „Zentrum West“ höher ist. Die Box zwischen dem oberen und unteren Quantil ähnelt am „Rapsacker“ und dem „FFH-Gebiet“ dem des Standortes „Zentrum West“ – die Minimal- und Maximalgewichte sind am „Rapsacker“ in der Skala allerdings tiefer und am Standort „FFH-Gebiet“ höher angesetzt.

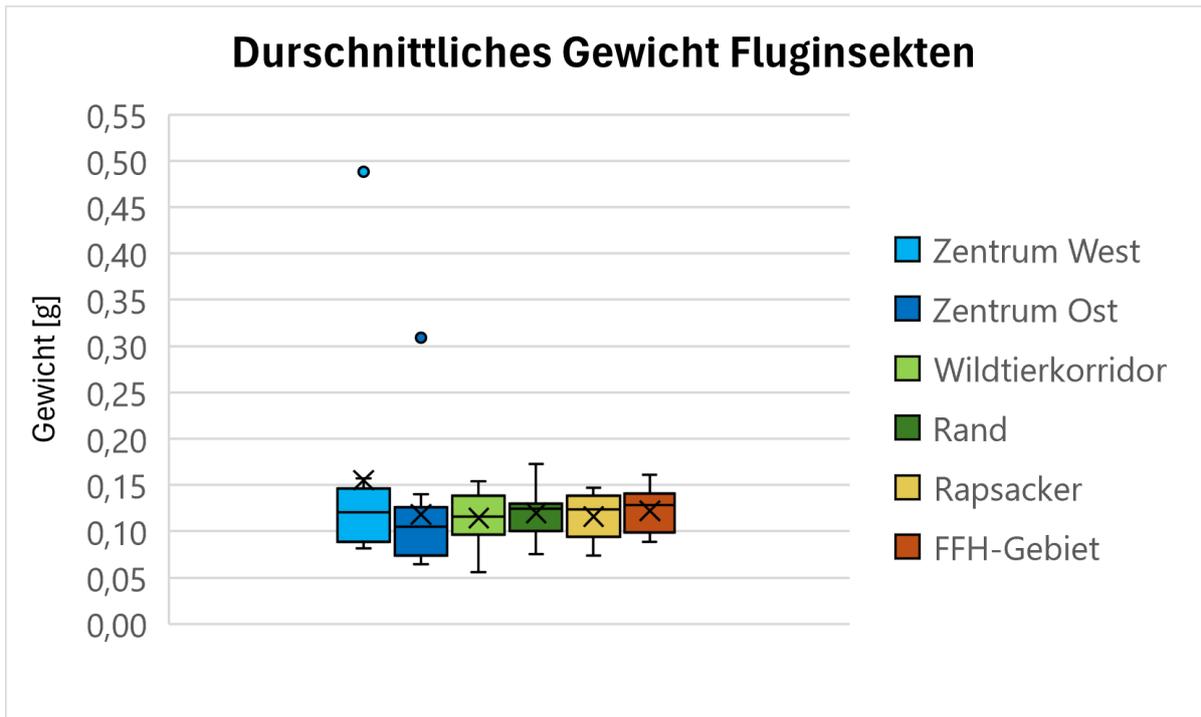


Abbildung 26: Durchschnittliches Gewicht der Fluginsekten an allen Standorten  
(Eigene Darstellung)

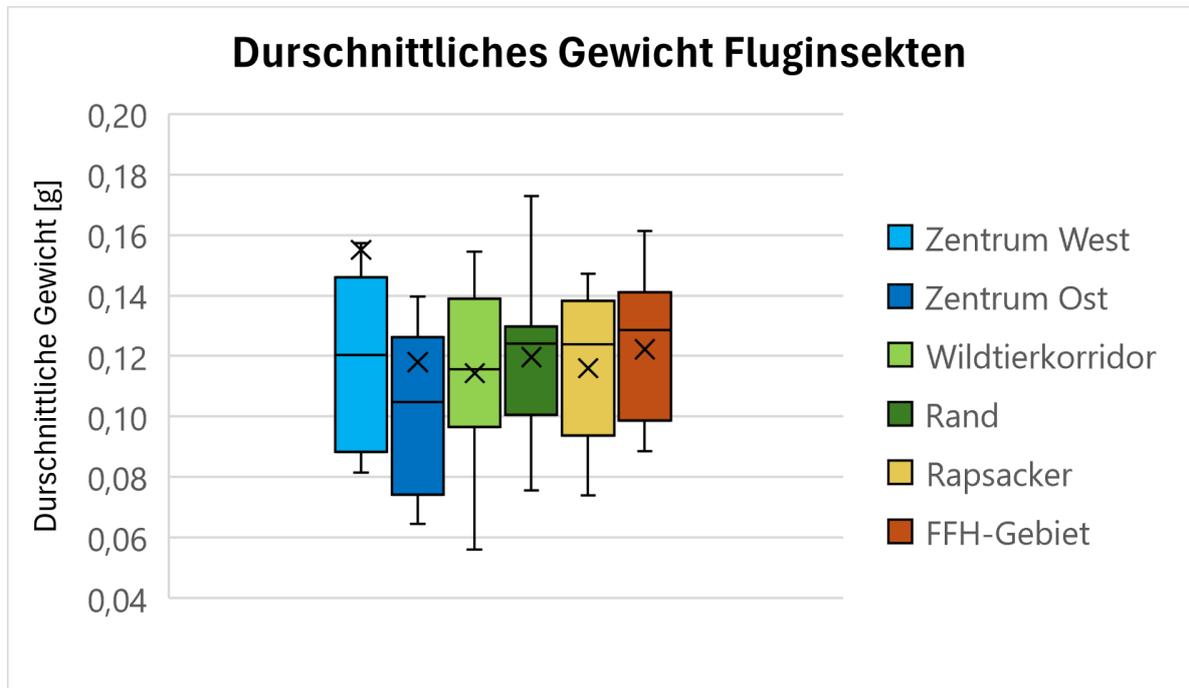


Abbildung 27: Durchschnittliches Gewicht der Fluginsekten an allen Standorten ohne Ausreißer (Eigene Darstellung)

## 4.2 Habitatpotenzial großflächig angelegter FF-PVA

Die folgenden Gegenüberstellungen haben das Ziel herauszufinden, welchen Einfluss die Größe einer FF-PVA auf die vorkommende Fluginsekten-Aktivität haben kann (zweite Forschungsfrage vgl. Kapitel 1.3). Dazu wird die jeweilige Fluginsekten-Aktivität, der verfügbaren Biomasse und die errechnete Biodiversität zwischen den zentral liegenden Standorten „Zentrum West“ und „Zentrum Ost“ und dem am östlichen Rand des Solarparks Weesow-Willmersdorf liegenden „Rand“-Standortes verglichen. Auch in dieser Untersuchung überprüft eine einfaktorielle Varianzanalyse den statistisch signifikanten Unterschied der Messstandorte zueinander und filtert anschließend die Standorte mit besonderen Aktivitätsabweichungen zueinander über einen Post-hoc Test (Scheffé) heraus. Die Hypothese H.2 (vgl. Tabelle 8) gilt ebenfalls ab einem Signifikanzniveau < 5 % als bestätigt.

Tabelle 8: Hypothese (H.2) und Nullhypothese (H.02) zur zweiten Forschungsfrage

<b>H.2</b>	In den zentralen Bereichen der FF-PVA sind ist die Aktivität der Fluginsekten höher als in Randbereichen einer großangelegten FF-PVA.
<b>H.02</b>	In den zentralen Bereichen der FF-PVA kann keine signifikant erhöhte Aktivität der Fluginsekten als in den Randbereichen festgestellt werden.

Für die Berechnungen werden die summierten tageszeitlichen Aktivitätsdaten der erfassten Fluginsekten der Standorte „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ über den gesamten Erfassungszeitraum herangezogen. Die ermittelten Summen, Mittelwerte und Varianzen für die Durchführung der ANOVA sind in Tabelle 9 aufgelistet.

Tabelle 9: Daten zur Durchführung einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA)

Standorte	Mess-tage	Summe Erfassungen	Mittelwert $\bar{x}$	Varianz
<b>Solarpark Zentrum West</b>	74	98.926	1.336,8	3.388.600,6
<b>Solarpark Zentrum Ost</b>	74	122.967	1.661,7	2.554.300,6
<b>Solarpark Rand Ost</b>	74	52.804	713,6	479.178,3

Anhand der einfaktoriellen Varianzanalyse ergeben sich die in Tabelle 10 aufgeführten Werte. Anhand des **P-Wert von  $4,3 \cdot 10^{-4}$**  (P-Wert < 0,05) kann die Einflussnahme der verschiedenen Standorte auf die Fluginsekten-Aktivität grundlegend **bestätigt** werden.

Tabelle 10: ANOVA zur Prüfung von H.2 und H.02

Prüfgröße F	P-Wert	Kritischer F-Wert
8,0	$4,3 \cdot 10^{-4}$	3,0

Die Durchführung des Post-hoc-Tests (Scheffé-Test) vergleicht die signifikanten Unterschiede zwischen den drei Standorten. Der Wert des kritischen Scheffé-Wertes beträgt 6,1 (Berechnungsschema vgl. Kapitel 3.5.2) und wird mit den  $F_s$ -Werten des Scheffé-Tests verglichen. In Abbildung 28 ist erkennbar, dass sich sowohl der „Standort West“ als auch der Standort „Zentrum Ost“ signifikant vom Standort „Rand“ unterscheidet ( $F_s > S = 6,1$ ). Die ANOVA sowie die Ergebnisse des Scheffé-Tests sind dem Anhang 18 zu entnehmen.

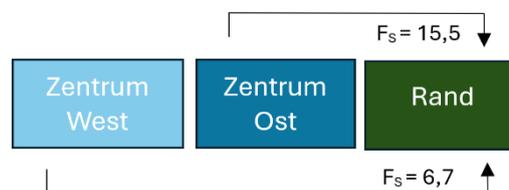


Abbildung 28: Post-hoc Test zeigt signifikante Unterschiede zwischen den zentralen und den am Rand der FF-PVA liegenden Standorten ( $F_s > \text{kritischer Scheffé Wert} = 6,1$ )

Anhand der folgenden Ergebnispräsentation werden die detaillierten Unterschiede und Entwicklungen an den drei Standorten abgebildet. Darüber hinaus wird an dieser Stelle ein gezielter Blick auf die einflussnehmenden Nutzungsumstände der Flächen geworfen. Aus diesem Grund werden in der Tabelle 11 die Umwelteinflüsse, die aus den Flächennutzungstypen hervorgehen, nochmal zusammengefasst dargestellt (vgl. Kapitel 3.2).

Tabelle 11: Einflussnehmende Faktoren in den untersuchten Bereichen der FF-PVA

Einflüsse in den zentralen Bereichen der FF-PVA Weesow-Willmersdorf	Einflüsse im östlichen Randbereich der FF-PVA Weesow-Willmersdorf
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schafsbeweidung mit Tränke im weiteren Umfeld</li> <li>• Wechselrichter im näheren Umfeld des Messstandortes „Zentrum Ost“</li> <li>• Beschattung in der Umgebung durch Modulreihen (nicht im Messfeld)</li> <li>• Mikroklima durch die Nähe zu den Solarmodulen</li> <li>• Niederschlag / Temperatur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angrenzend großflächig und konventionell angebaute Wintertraps in der Hauptblüte mit Ausbringen von Dünge- und Pflanzenschutzmittel</li> <li>• Ausgleichsfläche zwischen Ackerfläche und dem Standort</li> <li>• Schafsbeweidung mit Tränke im weiteren Umfeld</li> <li>• Niederschlag / Temperatur</li> </ul>

#### 4.2.1 Tageszeitliche Aktivität der Fluginsekten

Bei dem Vergleich der zentral liegenden Messstandorte („Zentrum West“ und „Zentrum Ost“) mit dem am Rand des Solarparks liegenden Standort („Rand“) lässt sich feststellen, dass über alle drei Monate immer mindestens ein zentral liegender Standort eine höhere Fluginsekten-Aktivität (FA) aufweist. Die Aktivitäten nehmen an den zentral liegenden Standorten in allen Monaten früher am Tag zu, während die abendlichen Aktivitätsrückgänge monatliche Unterschiede aufweisen. Die Verhaltensmuster verändern sich standortübergreifend hinsichtlich des tageszeitlichen Bewegungsschemas. Während bis Mai 2024 deutliche Mittag- und Abendaktivität zu erkennen sind, verschieben sich die FA im Juni tendenziell in die Abendstunden.

Im **April 2024** (vgl. Abbildung 29) zeigt der Standort „Zentrum West“ deutlich höhere FA in den Mittags- und Abendstunden als die Standorte „Zentrum Ost“ und „Rand“. Die Aktivitätskurven der Fluginsekten zeigen bei den Standorten „Zentrum West“ und „Zentrum Ost“ ähnliche Verläufe. Das Tagesmaximum liegt am „Zentrum West“-Standort um 14 Uhr bei 4.064 FA und erreicht ein zweites abendliches Hoch gegen 19 Uhr mit 3.360 FA. Das Tagesmaximum am Standort „Zentrum Ost“ zeigt 1.321 FA um 13 Uhr und 881 FA um 19 Uhr. Die Verlaufskurve am „Rand“-Standort zeigt hingegen über die Mittagszeit schwankende Aktivitäten und findet das Tagesmaximum um 18 Uhr mit 1.475 FA.

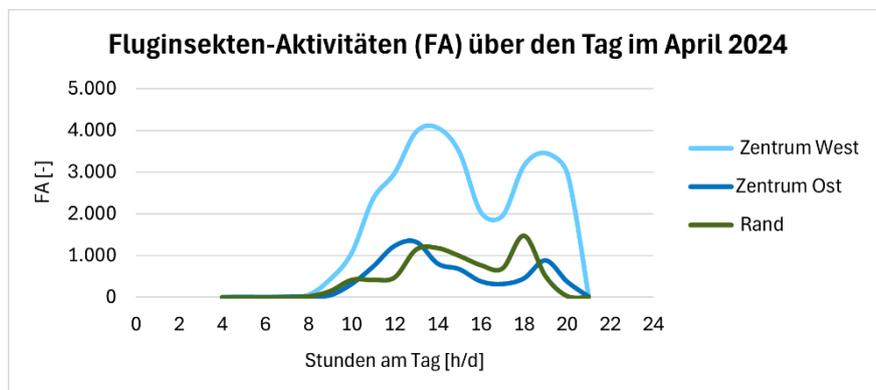


Abbildung 29: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivität (FA) der Standorte "Zentrum West", "Zentrum Ost" und "Rand" im April 2024 (Eigene Darstellung)

Im **Mai 2024** (vgl. Abbildung 30) zeigen alle betrachteten Standorte höhere Gesamtaktivitätszahlen, starke Anstiege zwischen 8 und 12 Uhr sowie ein einheitliches Absinken der Aktivitäten gegen 21 Uhr. Die zentral gelegenen FA der Standorte „Zentrum West“ und „Zentrum Ost“ liegen ganztägig über den FA des Standortes „Rand“. Während der Standort „Zentrum West“ zwischen den Höchstwerten um 14 Uhr mit 6.734 FA und um 20 Uhr mit 6.066 FA auf 4.159 FA absinkt, findet der Standort „Zentrum Ost“ genau zu dieser Zeit

sein Tageshoch mit 5.640 FA. Im Vergleich zum Vormonat erreicht die Aktivitätskurve des „Rand“-Standortes das Tageshoch im Mai 2024 bereits um 14 Uhr mit 4.050 FA.

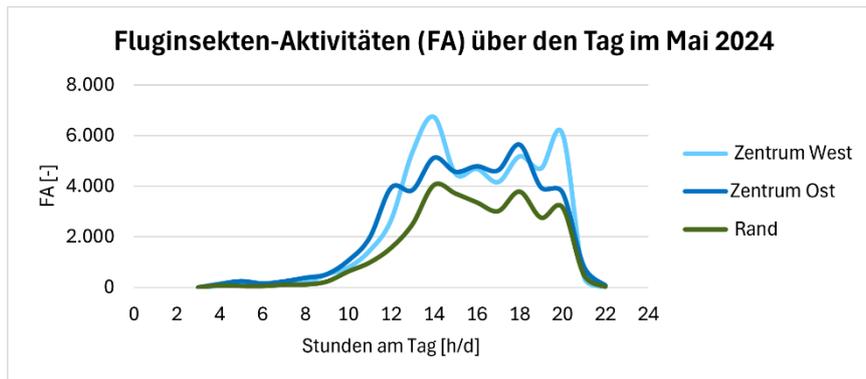


Abbildung 30: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivität (FA) der Standorte "Zentrum West", "Zentrum Ost" und "Rand" im Mai 2024 (Eigene Darstellung)

Die FA im **Juni 2024** zeigt wieder deutliche Unterschiede zwischen den zentral liegenden Standorten, wobei sich die Aktivitätskurven standortübergreifend ähneln (vgl. Abbildung 31). Während im April 2024 der Standort „Zentrum West“ besonders hohe FA zeigte, weist der Standort „Zentrum Ost“ in diesem Monat sehr hohe FA im Vergleich zu den Vergleichsstandorten auf. Dieser steigt mit leichten Schwankungen bis 19 Uhr kontinuierlich auf ein Tagesmaximum von 9.808 FA an und sinkt daraufhin rapide ab. Die Standorte „Zentrum West“ und „Rand“ bewegen sich generell unter 4000 FA und finden ihre Tagesmaxima um 19 Uhr. Die Aktivitätsausschläge des Standortes „Zentrum West“ zeigt geringfügig höhere Aktivitätsausschläge als der „Rand“-Standort. Das Tagesmaximum des Standortes „Zentrum West“ zeigt somit 3.478 FA und das Tagesmaximum des Standortes „Rand“ zeigt 2.349 FA.

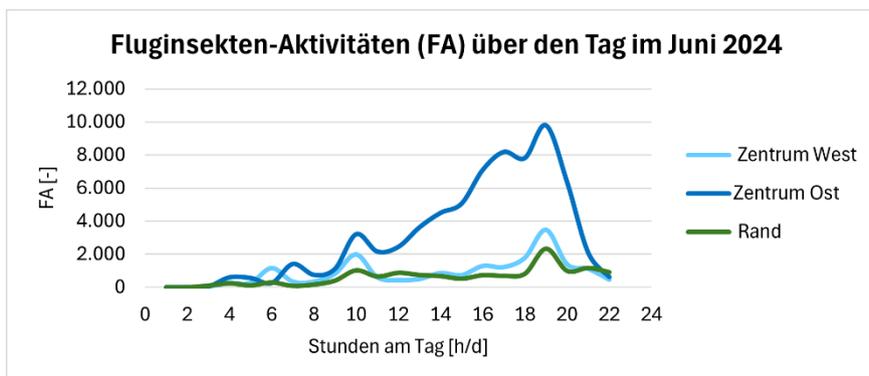


Abbildung 31: Tageszeitliche Fluginsekten-Aktivität (FA) der Standorte "Zentrum West", "Zentrum Ost" und "Rand" im Juni 2024 (Eigene Darstellung)

#### 4.2.2 Gesamtaktivität der Fluginsekten

Anhand der Grafiken 32 bis 34 wird der Fokus auf die Standorte „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ gelegt. Die Berechnungsgrundlage und das Vorgehen entspricht den Erläuterungen der Kapitel 3.5.2 und 4.1 und wird deshalb an dieser Stelle nicht erneut erläutert. Es wird zudem auf die Gesamtdatentabelle aus dem Kapitel 4.1.2 in Anhang 14 verwiesen.

Die Entwicklungen im **April 2024** (vgl. Abbildung 32) zeigen ab dem 25. April deutliche Aktivitätsanstiege (Begründung vgl. Kapitel 4.1.2). Die Anstiege der FA am Standort „Zentrum West“ überschreiten die der Vergleichsstandorte wesentlich und finden das Monatsmaximum am 27. April mit 9.555 FA. Der zweite zentrale Standort „Zentrum Ost“ überschreitet die FA des „Rand“-Standortes erst zum 28. April und findet an diesem Tag das Monatsmaximum mit 2.295 FA, während das Maximum am „Rand“ einen Tag zuvor mit 2.139 FA erreicht wird.

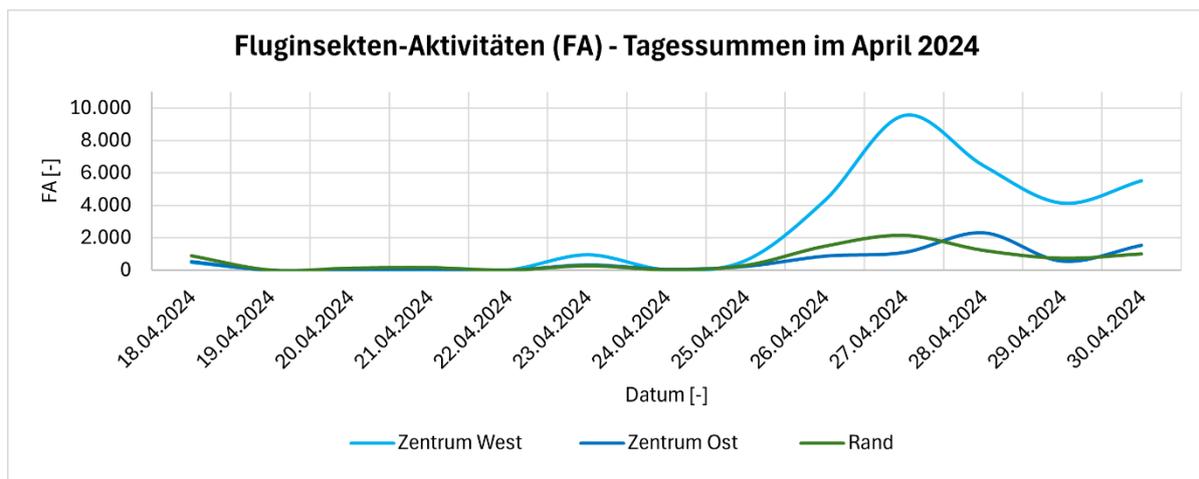


Abbildung 32: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ (summiert aus den Tagesaktivitäten) im April 2024 (eigene Darstellung)

Die akkumulieren Fluginsekten-Aktivität Ende April (vgl. Abbildung 33) zeigen, dass die Gesamt-Aktivität am Standort „Zentrum West“ mit 33.452 FA mehr als dreimal so hoch war als die Standorte „Zentrum Ost“ (8.425 FA) und „Rand“ (8.324 FA).

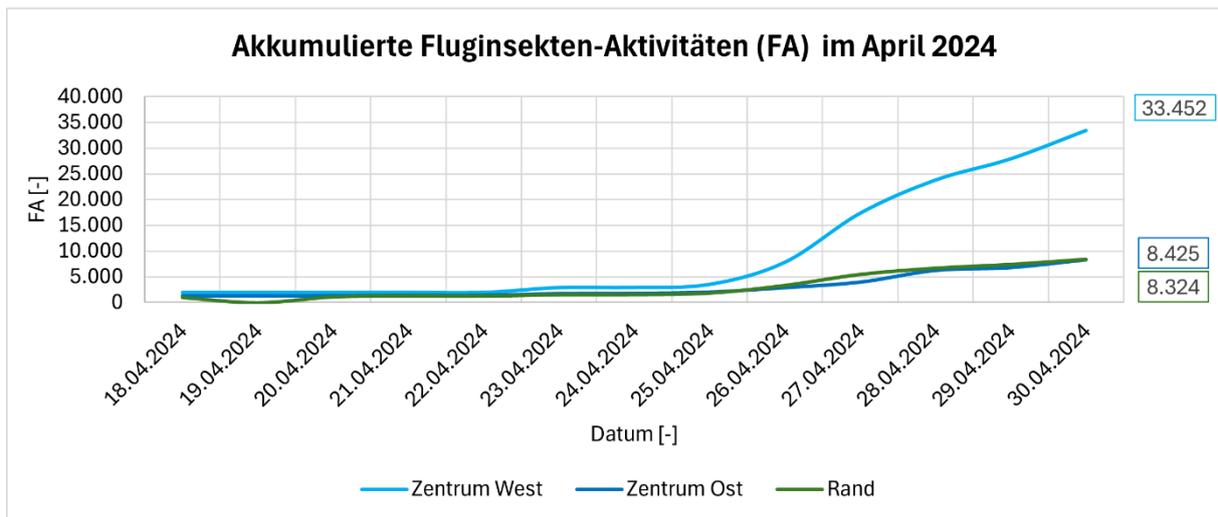


Abbildung 33: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) (akkumuliert) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ im April 2024 (eigene Darstellung)

Im **Mai 2024** (vgl. Abbildung 34) pendeln sich die FA bis auf einen Ausreißer am Anfang des Monats am Standort „Zentrum Ost“ (Monatsmaximum mit 7.427 FA am 3. Mai) auf einem ähnlichen Aktivitätsniveau ein. Die Aktivitätszahlen sind dabei im Vergleich zum Vormonat rückläufig. Über den Monat hinweg überschreiten die zentralen Standorte „Zentrum West“ und „Zentrum Ost“ den „Rand“-Standort immer wieder mit ähnlich ausgerichteten Aktivitätskurven (z.B. am 10. Mai oder am 22. Mai). Der Standort „Zentrum Ost“ erreicht sein Monatsmaximum gleich zu Beginn des Monats mit 3.673 FA, während der „Rand“-Standort sein Monatsmaximum am 6. Mai mit 3.783 FA erreicht.

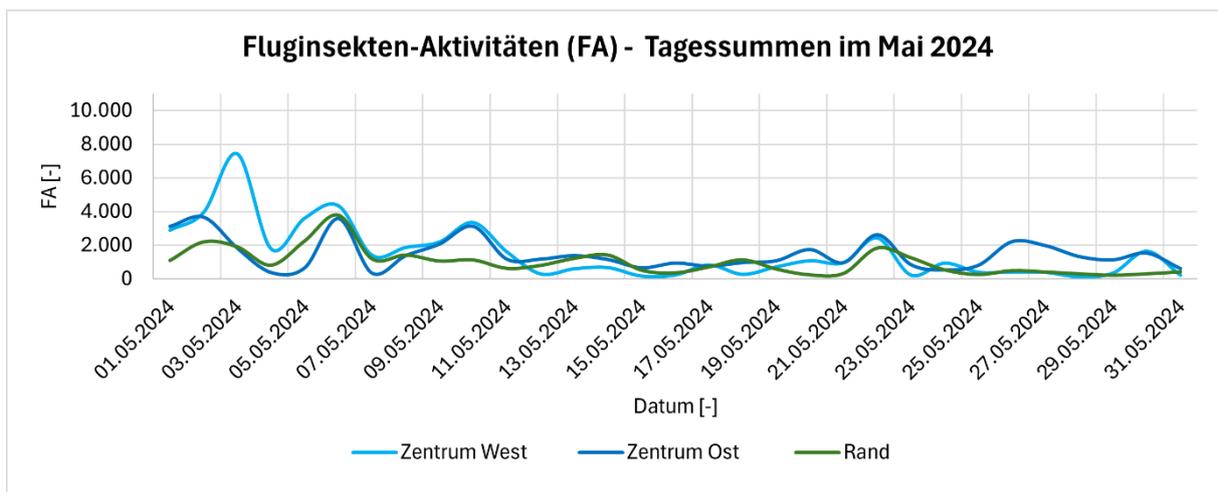


Abbildung 34: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ (summiert aus den Tagesaktivitäten) im Mai 2024 (eigene Darstellung)

Die akkumulierte Fluginsekten-Aktivität Ende Mai (vgl. Abbildung 35) zeigt, dass die Gesamt-Aktivität am Standort „Zentrum West“ mit 81.185 FA immer noch höher ist als die der Vergleichsstandorte. Der Standort „Zentrum Ost“ zeigt Ende des Monats Mai mit 54.154 FA jedoch größere Differenzen zum Standort „Rand“ mit 39.149 FA.

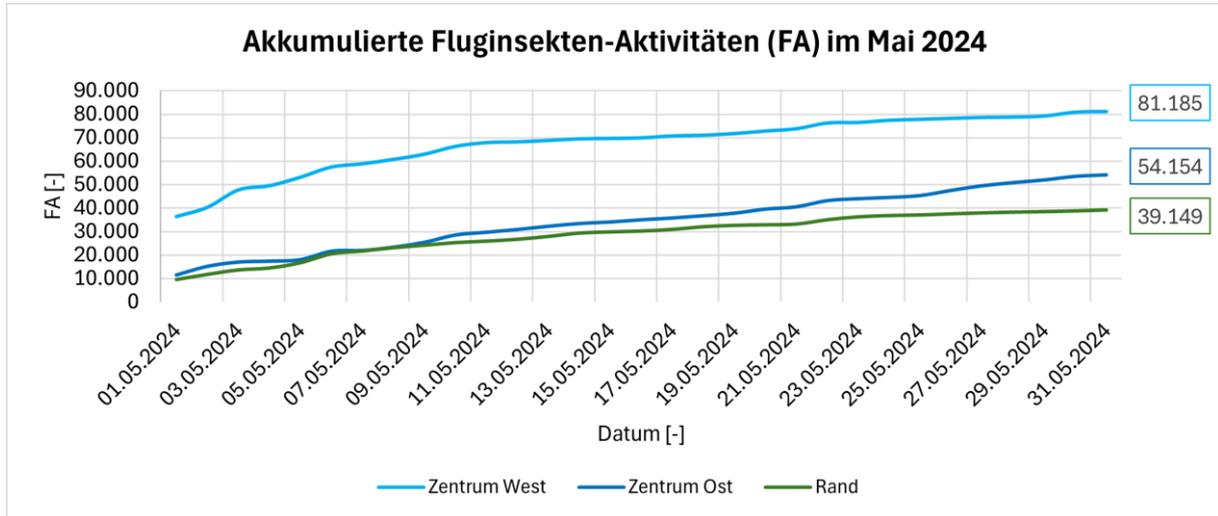


Abbildung 35: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) (akkumuliert) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ im Mai 2024 (eigene Darstellung)

Im **Juni 2024** (vgl. Abbildung 36) zeigen sich deutliche FA-Anstiege am Standort „Zentrum Ost“. Dieser hebt sich zwischen dem 16. und 19. Juni von den Aktivitäten der Vergleichsstandorte ab. Das Monatsmaximum wird am 17. Juni mit 9.759 FA erreicht. Die Aktivitätszahlen der Standorte „Zentrum West“ und „Rand“ sind geringer und weisen weniger Schwankungen auf. Das Monatsmaximum wird an den Standorten „Rand“ mit 2.740 FA und „Zentrum West“ 2.753 FA am 18. Juni erreicht.

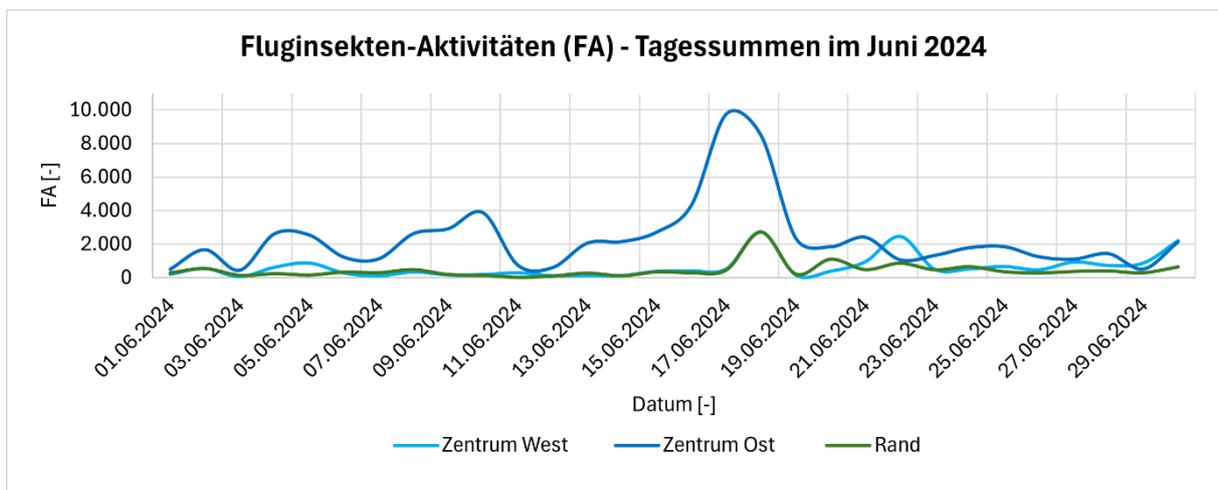


Abbildung 36: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ (summierte Tagesaktivitäten) im Juni 2024 (eigene Darstellung)

Ende Juni zeigt die akkumulierte Fluginsekten-Aktivität (vgl. Abbildung 37), dass die Gesamt-Aktivität am Standort „Zentrum West“ zum 17. Juni durch den Standort „Zentrum Ost“ überschritten wird. Der Standort „Zentrum Ost“ stellt zum Ende des Überwachungszeitraumes den Standort mit den größten FA dar. Mit 120.718 FA reiht er sich vor dem Standort „Zentrum West“ mit 100.452 FA ein. Die akkumulierten FA am „Rand“-Standort liegen mit 52.946 FA deutlich unter den zentral gelegenen Messstandorten.

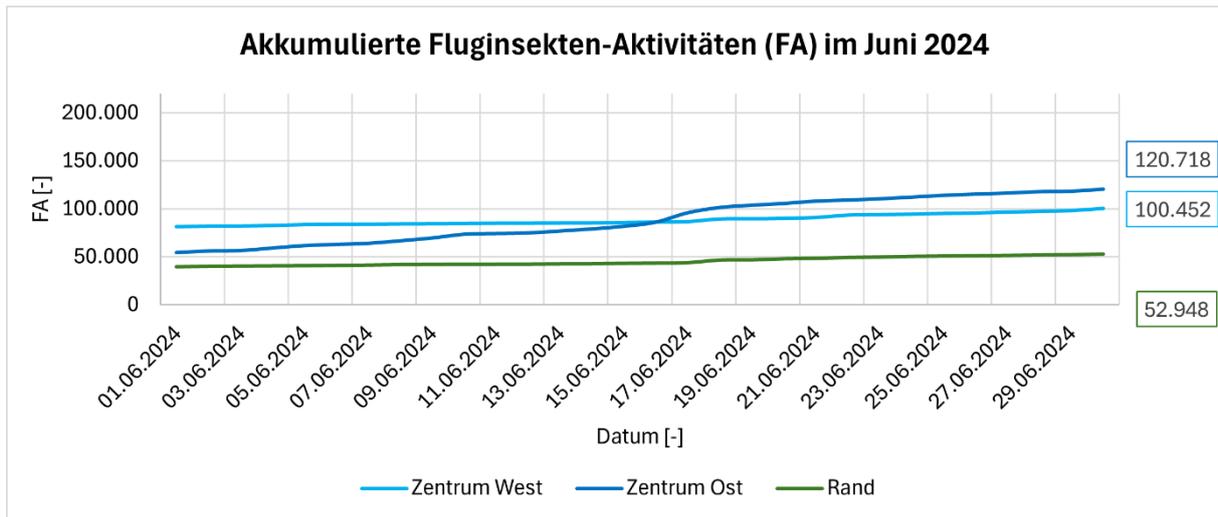


Abbildung 37: Fluginsekten-Aktivitäten (FA) (akkumuliert) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ im Juni 2024 (eigene Darstellung)

### 4.2.3 Biomasse

Anhand der Abbildung 38 zeigt sich zunächst die gesamt verfügbare Biomasse am Ende des Untersuchungszeitraumes (eigene Errechnung). Dabei erreichen die zentral gelegenen Solarparkflächen deutlich höhere Biomassen als der Vergleichsstandort am Rand. Mit 11.045 g stellt der Standort „Zentrum Ost“ den Standort mit der größten verfügbaren Biomasse dar. Der Standort „Zentrum West“ verfügt mit 10.646 g nur geringfügig weniger Biomasse. Der „Rand“-Standort verfügt gesamtheitlich über 5.864 g Biomasse.

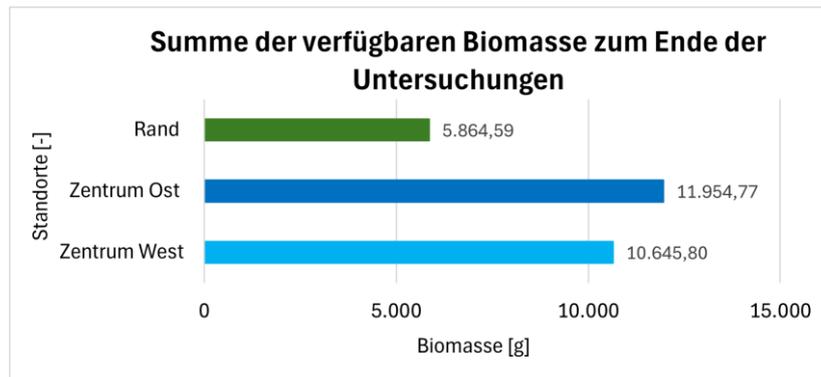


Abbildung 38: Summe der verfügbaren Biomasse an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ am Ende des Untersuchungszeitraumes (eigene Darstellung)

In Abbildung 39 wird eine Gesamtübersicht über die wöchentlich verfügbare Biomasse bereitgestellt. Es lässt sich erkennen, dass bis zur KW 19 am Standort „Zentrum West“ mehr Biomasse zur Verfügung steht als an den Vergleichsstandorten. Insbesondere in den Kalenderwochen 17 und 18 erreicht der Standort mehr als doppelt so hohe Werte, während sich die Standorte „Zentrum Ost“ und „Rand“ sich auf einem ähnlichen Niveau befinden. In KW 18 erreichen die Standorte „Zentrum West“ (2.408 g) und „Rand“ (985 g) ihr Wochenmaximum. Die Biomasse nähert sich in den Kalenderwochen 19 bis 22 hinsichtlich der wöchentlichen Abweichungen zueinander an, wobei die sie am „Rand“-Standort konstant abnimmt. Die zentralen Standorte schwanken in dieser Zeit. Bis zur KW 25 steigt die verfügbare Biomasse am Standort „Zentrum Ost“ stetig an und findet schließlich das Wochenmaximum bei 1.446 g. Es wird an dieser Stelle zusätzlich auf die Gesamtdatentabelle aus dem Kapitel 4.1.3 in Anhang 15 verwiesen.

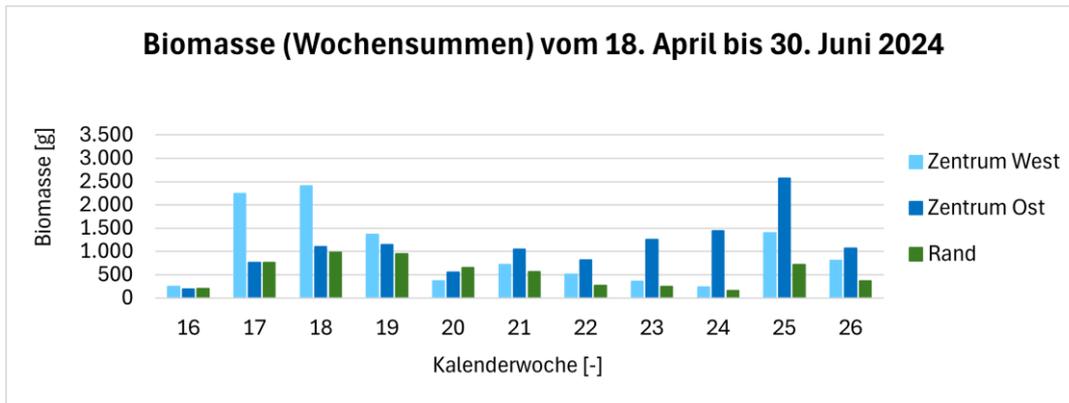


Abbildung 39: Biomasse an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ über den gesamten Untersuchungszeitraum pro Kalenderwoche (Eigene Darstellung)

#### 4.2.4 Biodiversität

Getreu dem Vorgehen aus den Kapiteln 3.5.2 und 4.1 erfolgt im Folgenden die Gegenüberstellung des Biodiversitätsindex (BI) an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“.

Bei der Betrachtung des gesamten Untersuchungszeitraumes (vgl. Abbildung 40) fällt auf, dass der Biodiversitätsindex mit dem fortlaufenden Jahr gesamtheitlich steigt. Die wöchentlichen Abweichungen unterscheiden sich in den Kalenderwochen 20, 23, 24 und 25 am meisten. Am Standort „Zentrum West“ wird der geringste BI von 0,6 in KW 17 und der höchste BI von 0,81 in KW 26 erreicht. Die geringsten BI-Werte werden an den Standorten „Zentrum West“ (BI 0,6) und „Rand“ (BI 0,81) in KW 17 und am Standort „Zentrum Ost“ (BI 0,61) in KW 16 dokumentiert. Die höchsten Werte hingegen werden am Standort „Rand“ (BI 0,81) in KW 25 und an den Standorten „Zentrum West“ (0,81) und „Zentrum Ost“ (BI 0,8) in KW 26 erreicht. Der Standort „Rand“ zeigt somit die größte Differenzspanne zwischen den gemessenen BI-Werten über den gesamten Zeitraum. In den Kalenderwochen 16 bis 20 überschreitet der BI der zentral gelegenen Solarparkstandorte die des Standortes am Solarparkrand. Zwischen der KW 21 und 26 sinken die BI-Werte an allen Standorten leicht ab - die größte Abnahme verzeichnet dabei der Standort „Zentrum West“. Der Standort „Zentrum Ost“ zeigt ab KW 22 im Vergleich die höchsten BI-Werte und wird lediglich in KW 25 durch den Standort „Rand“ übertroffen. Es wird zudem auf die Gesamtdatentabelle aus dem Kapitel 4.1.4 in Anhang 16 verwiesen.

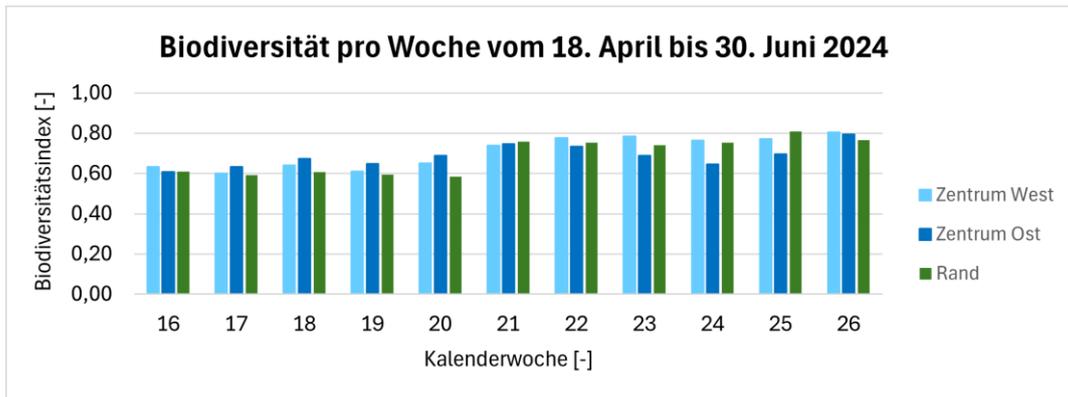


Abbildung 40: Übersicht Biodiversitätsindex - Standorte „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ (Eigene Darstellung)

Die Abbildungen 41 und 42 zeigen das durchschnittliche Gewicht der vorkommenden Fluginsekten an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“. An den Standorten „Zentrum Ost“ und „Rand“ wiegen die Fluginsekten im Mittel 0,12 g, während sie am Standort „Zentrum West“ im Mittel 0,16 g wiegen. Die Standardabweichungen  $s_x$  zum Mittelwert  $\bar{x}$  sind am Standort „Zentrum West“ mit  $s_x = 0,12$  am höchsten. Der Standort „Zentrum West“ folgt mit einer Standortabweichung von  $s_x = 0,7$  noch vor dem „Rand“-Standort mit  $s_x = 0,03$ .

Die in Anhang 17 hinterlegten Daten aus Kapitel 4.1.4 können an dieser Stelle ergänzend eingesehen werden. Die zentralen Solarparkstandorte wirken im Vergleich zu dem Standort am Rand des Solarparks ähnlich proportional. Die Box zwischen dem unteren und oberen Quartil ist dabei minimal größer am Standort „Zentrum West“. Die Spanne zwischen den Erfassungen mit dem geringsten Gewicht und den Erfassungen mit dem höchsten Gewicht zieht sich am Standort „Zentrum West“ zwischen 0,08 g und 0,16 g auf. Am Standort „Zentrum Ost“ liegt die Spanne zwischen 0,06 g und 0,14 g. Die Box des Durchschnittsgewichtes (0,09 g bis 0,11 g) sowie die Spanne zwischen dem Minimal- und Maximalgewicht (0,07 g bis 0,13 g) der Fluginsekten am „Rand“-Standort ist im Vergleich zu den zentral gelegenen Standorten kleiner.

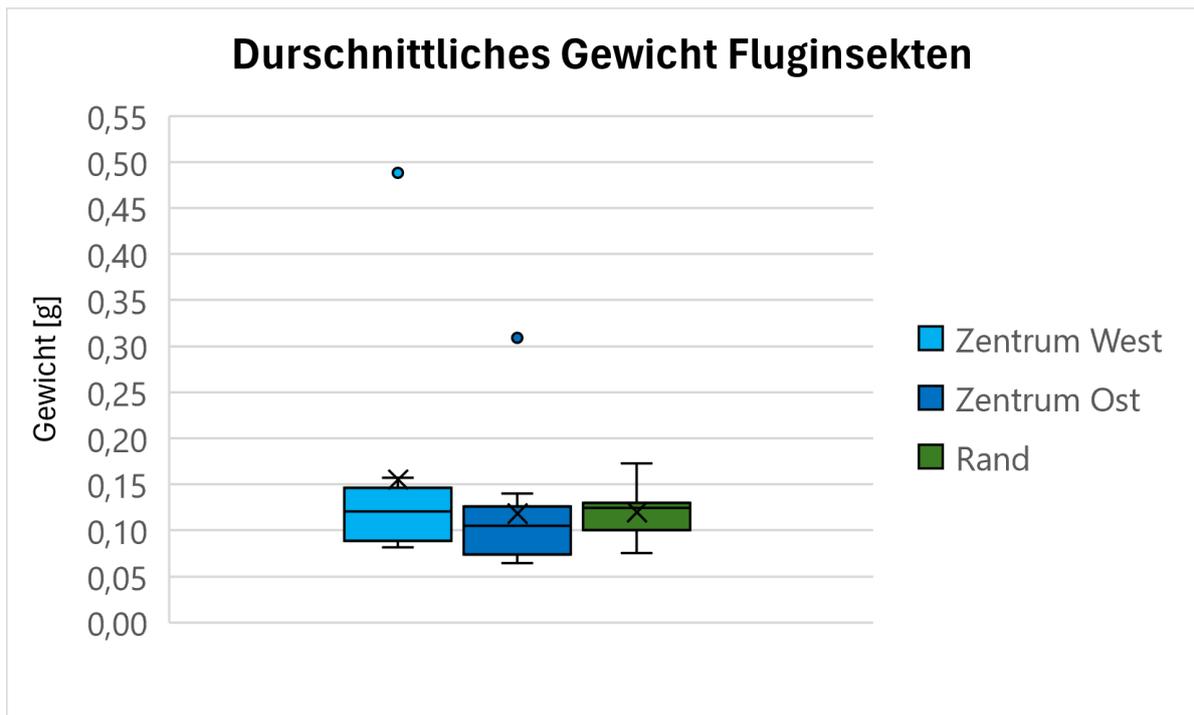


Abbildung 41: Durchschnittliches Gewicht der Fluginsekten an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ (Eigene Darstellung)

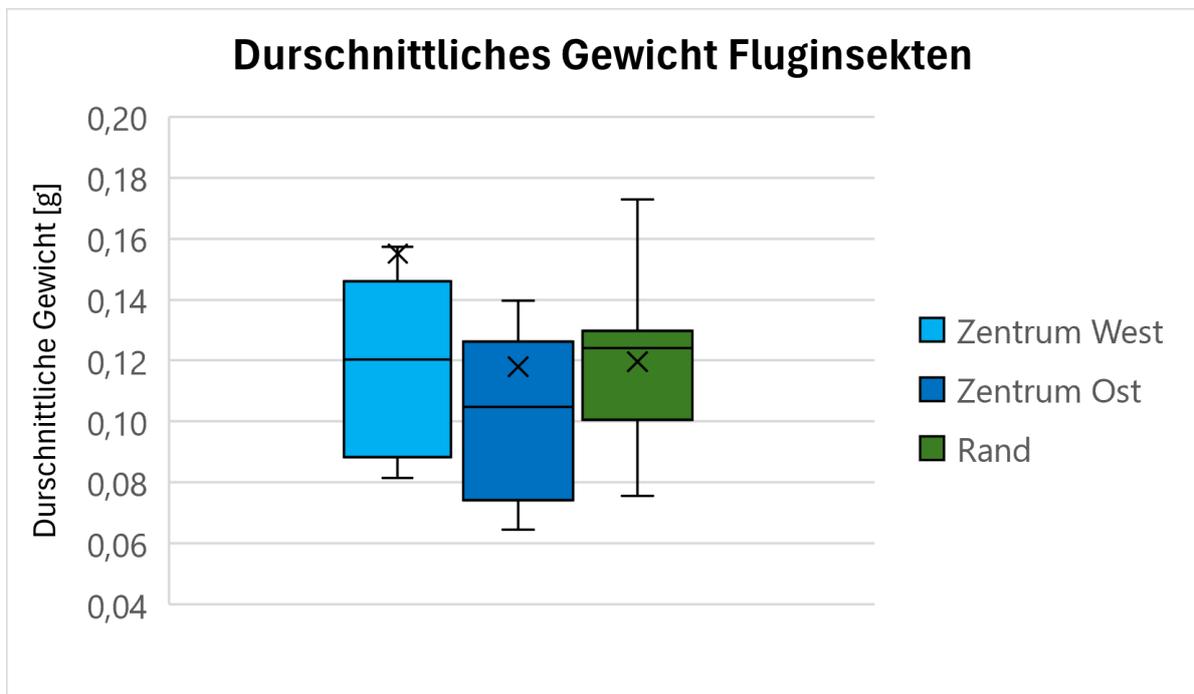


Abbildung 42: Durchschnittliches Gewicht der Fluginsekten an den Standorten „Zentrum West“, „Zentrum Ost“ und „Rand“ ohne Ausreißer (Eigene Darstellung)

## 4.3 Validierung der Messtechnik

### 4.3.1 Einflussnehmende Faktoren bei der Erfassung von Fluginsekten

Für eine aussagekräftige Erfassung vorkommender Insekten in einem festgelegten Untersuchungsraum sind mehrere Faktoren entscheidend. Insbesondere bei Untersuchungen, die eine großräumige Datenerhebung mit mehreren Messstandorten vorsehen, sind einheitliche und gut durchdachte Methoden unerlässlich, um zuverlässige Bestandentwicklungen zu kartieren und diese mit den vorherrschenden Umwelteinflüssen in Verbindung zu bringen (LUBW 2024). Die Relevanz von Monitorings auf bereits erbauten FF-PVA, die qualifizierten Erkenntnisse über die Entwicklung der Biodiversität erheben, wurde bereits durch die Studie des BNE im Jahr 2019 angemerkt (BNE 2019) und auch der IPBES zeigte mit alarmierenden Zahlen unter anderem die Notwendigkeit nach vermehrten Insekten-Monitorings (IPBES 2019) (vgl. Kapitel 1.2 und 2.2.5). Im Rahmen dieses Kapitels gilt es das angewandte, technisch innovative Erfassungsmedium der Firma FaunaPhotonics A/S bisher bekannten Insektenerfassungsmethoden gegenüberzustellen.

Die Aussagekraft von Monitorings wird maßgeblich durch den zeitlich festgelegten Rahmen der Untersuchung beeinflusst. Ohne einen ausreichend langen Beobachtungszeitraum können nur mäßig aussagekräftige Bestandentwicklungen eingeschätzt werden (LUBW 2024).

Nach Empfehlungen der Firma FaunaPhotonics A/S sollte ein durch ihre Messtechnik durchgeführtes Fluginsekten-Monitoring mindestens ein Jahr laufen (mündliche Mitteilung Fauna Photonics A/S, 7.12.2023). Aufgrund der vorgegebenen Bearbeitungszeit sowie der in den April verlagerten Geräteanlieferung, beschränkt sich der Beobachtungszeitraum dieser Untersuchungen auf zehn Wochen (18. April bis 30. Juni).

Die im Solarpark vorherrschende Biodiversität wird durch ansteigende Insekten-Aktivitäten und die dadurch verfügbare Biomasse beeinflusst, da diese der vorkommenden Fauna (insbesondere Avifauna) als wichtige Nahrungsgrundlage dienen (vgl. Kapitel 2.2.5). Die Diversität innerhalb der untersuchten Insektengruppe wird anhand des Biodiversitätsindexes bereitgestellt – dieser liefert keine Erkenntnisse zu den vorkommenden Arten selbst und wird weniger als Biodiversitätswert – sondern eher als Indikator für das Verhältnis der verschiedenen Fluginsektenanzahlen zueinander verstanden (vgl. Kapitel 3.3). Bei der Interpretation der Daten müssen Umwelteinflüsse berücksichtigt werden. Die Aktivität von Fluginsekten ist nicht nur von Nahrungsquellen wie Blüten anhängig, sondern unterliegt weiteren Einflüssen wie Prädatoren aber auch bspw. Konkurrenz zu

anderen Insektenarten oder Witterungsverhältnisse, die sich auf Standorte unterschiedlich stark auswirken können.

#### 4.3.2 Herkömmliche Methoden zur Erfassung von flugfähigen Insekten im Offenland

Für die Insektenerfassung gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten. Abhängig von dem Ziel der Erfassung, können Insektenvorkommen punktuell oder über einen längeren Zeitraum kartiert und gesammelt werden. Um im weiteren Vorgehen eine Vergleichbarkeit zur Messtechnik der Firma FaunaPhotonics A/S zu gewährleisten, werden die punktuellen Erfassungsmethoden im Folgenden nur kurz genannt und die Malaisefalle als Vergleichsmethodik herangezogen. Die punktuellen Erfassungstechniken werden häufig in Kombination mit anderen Erfassungsmethoden durchgeführt, um eine zusätzliche Momentaufnahme darzulegen und die Ergebnisse der Insektenerfassungen zu stützen (Schuch et al. 2020). Zu ihnen gehören unter anderem der Sichtfang und die Transektbegehungen (gezielte Suche nach einer oder mehreren Insekten im Feld durch eine qualifizierte Fachperson mit eventuellem Fang zur Identifikation (Schuch et al. 2020)), das Streifkeschern (Insektenerfassung im Feld unter Verwendung eines Keschers, der über die Krautschicht geführt wird (Zou et al. 2012; Schuch et al. 2020)) oder der Saugfang (Erfassung durch ein saugfähiges Gerät mit installierter Auffangvorrichtung (Schuch et al. 2020)). Erfassungsmethoden, deren Anwendung seltener ist (z.B. Autokescher) oder von denen eine bewusste und starke Lockwirkung ausgeht (z.B. Köder- oder Lichtfang) werden im weiteren Kontext nicht angesprochen.

##### Malaisefallen (stationär)

Bei der Fangvorrichtung handelt es sich um ein Zelt, welches im Inneren über eine Querwand sowie einen Fangbehälter im Dach des Zeltendes verfügt (Hörren et al. 2023; Schuch et al. 2020). Beim Einfliegen weichen die Insekten der Querwand nach oben hin aus und gelangen in einen Fangbehälter (Hörren et al. 2023). Die Fangflüssigkeit in den Behältern setzt sich in Malaisefallen oftmals aus einem Ethanolgemisch (Ethanolgehalt > 80 %) zusammen. Im Falle einer nachgeführten DNA-Sequenzierung muss allerdings auf eine alternative Fangflüssigkeit (z.B. Wasser mit zugesetztem Formalin) ausgewichen werden (Ssymank et al. 2018). Die toten und konservierten Insekten können über lange Zeiträume in den Fangbehältern gesammelt werden (Hörren et al. 2023). Malaisefallen werden vielfach im Offenland eingesetzt, um große Mengen an Fluginsekten zu erfassen (Ssymank et al. 2018; Schuch et al. 2020). So können pro Sommermonat 3000-4000 Individuen erfasst werden (Schuch et al. 2020). Wesentliche Faktoren für den Fangerefolg sind die Wahl des Standortes und die Aufstellung der Falle selbst (Malicky 2019). Weiter sind permanente und langanhaltende Messperioden durchführbar. Durch die permanente Sammlung und

Konservierung der erfassten Arten ist eine Bestimmung des Biomasse-Materials auf Art-niveau zum Ende der Erfassungen möglich (Hallmann et al. 2017, Schuch et al. 2020). Die Fluginsektenerfassung an mehreren Standorten ist möglich, sofern die Installation vorher festgelegten Standards entspricht. Um die Vergleichbarkeit von Erfassungen an mehreren Standorten zu gewährleisten, ist es zudem notwendig die gleichen Fallenmodelle an den Standorten zu verwenden und die vorherrschenden Umwelteinflüsse detailliert zu dokumentieren (Schuch et al. 2020). Die Flugfähigkeit limitiert das zu erfassende Insekten-spektrum, was durch Malaisefallen erfasst werden kann. Hierzu gehören vor allem Diptera und Hymenoptera (Ssymank et al. 2018; Schuch et al. 2020) aber auch Neuroptera, Käfer (Coleoptera), Schmetterlinge (Lepidoptera) und Schnabelkerfen (Hemiptera) (Darling und Packer 1988; Schuch et al. 2020). Die Identifikation der erfassten Arten kann aufgrund der hohen Masse aufwendig sein und wird oftmals unter Einsatz von Metabarcoding durchgeführt (Hörren et al. 2023; Schuch et al. 2020). Diese Methode analysiert kurze DNA-Sequenzen der unterschiedlichen Arten und differenziert sie somit über den genetischen Ansatz (Hörren et al. 2023). Eine Aussage über die Abundanz der erfassten Daten ist über das Metabarcoding bisher noch nicht zuverlässig (Schuch et al. 2020). Die Kosten für eine Malaisefalle belaufen sich auf bis zu 500 € das Stück, eine Einzäunung empfiehlt sich, um Schäden durch freilaufende Tiere zu vermeiden (instabil gegen äußere Einwirkungen) (Ssymank et al. 2018). Die personellen Ressourcen beschränken sich während dem Erfassungszeitraum, auf den Austausch der Fangbehälter (alle 14 Tage von Mai bis September) (Ssymank et al. 2018). Für die anschließende Sortierung und Artbestimmungen können pro Monat (3000-4000 Individuen) insgesamt etwa 270 h gerechnet werden (Schuch et al. 2020).

Um die im Rahmen dieser Arbeit erprobte Monitoring Messtechnik zur automatisierten und KI-gesteuerten Fluginsektenerfassung zu validieren, wird sie mit einer langfristig etablierten Erfassungsmethode verglichen. Die Malaisefallen eignen sich für die Gegenüberstellung, da beide Erfassungsmethoden speziell auf die Kartierung flugfähiger Insekten ausgerichtet sind. Darüber hinaus können beide Methoden über längere Zeiträume im Feld stehen und kontinuierlich Daten / Fluginsekten erfassen. Eine Aufstellung an mehreren Standorten ist unter vorab abgestimmten Standardisierungsfaktoren möglich. Unterschiede bestehen im Aufbau, den Auswirkungen auf die Insekten selbst sowie in der Verarbeitungs- und Auswertungsmethode. Der Vergleich der Erfassungsmethoden erfolgt anhand der nachstehenden Tabelle 12:

*Tabelle 12: Gegenüberstellung der Erfassungsmethoden von Fauna Photonics A/S (vgl. Kapitel 3.3 bis 3.5) und Malaisefallen zur Erfassung von Fluginsekten*

<b>Kriterium</b>	<b>FaunaPhotonics</b>	<b>Malaisefallen</b>
<b>Erfassungsmethode</b>		
Tierfang oder Einflussnahme	Nein	Ja
Lebendnachweis	Ja	Nein
Lockwirkung	Nein	Nein
Langzeiterfassungen	Ja	Ja
Standortvergleich	Ja	Ja
Stationäre Erfassung	Ja	Ja
Standssicherheit und Empfindlichkeit gegenüber Wild- und Weidetieren	Standssicher	Instabil
Notwendigkeit des Mitarbeiterereinsatzes	Auf- und Abbau, während dem Erfassungszeitraum ausgelagerte Dienstleistung	Auf- und Abbau, Austausch der Fangbehälter, Sortierung und Identifikation der Arten durch Fachpersonal
<b>Erfassungsmaßstab</b>		
Erfassung der Aktivität	Ja	Ja
Erfassung der Abundanz	Nicht auf Arten-Ebene	Nicht bei Metabarcoding
Differenzierung auf Artniveau	Nein	Ja
Erfassung der Biomasse	Ja	Ja
Erfassung von tag- und nachtaktiven Fluginsekten	Nein	Ja
Erfassung bodennaher Individuen	Nein, Erfassung auf ca. 1 m Höhe	Ja, da durchgehendes Fangzelt
<b>Datenauswertung und -ausgabe</b>		
Auswertung der Erfassungen	Biodiversitätsindex berechnet in Anlehnung an den Simpson Diversity Index und den Shannon	Identifizierung durch Fachpersonal oder Metabarcoding (DNA-Sequenzierung)

	Diversity Index (KI-gestützte Auswertung der Flügelschlagfrequenz)	
Personelle Ressourcen	Gering	Hoch
Vergleichbarkeit mehrerer Standorte	Ja	Ja
Datenausgabe	Ausgewertet auf dem Kundenportal, Rohdaten (CSV, Excel oder JSON), Abschlussbericht	Abschlussbericht
<b>Finanzielle Ressourcen</b>		
Kosten	Hoch	Sehr hoch
<b>Wissenschaftlichkeit</b>		
Standardisierbarkeit	Gut	Gut
Objektivität	Gut	Gut
Nachvollziehbarkeit	Mittel	Gut
Überprüfbar	Schlecht	Gut
Zuverlässigkeit	Gut	Gut

## 5 Diskussion

### 5.1 Ergebnisdiskussion

Im Rahmen der nachstehenden Kapitel werden die Ergebnisse (vgl. Kapitel 4) mit dem Wissen aus der Theorie (vgl. Kapitel 2) in Verbindung gebracht und interpretiert.

#### 5.1.1 Standortübergreifende Gesamtanalyse und einflussnehmende Faktoren

Anhand der ersten Hypothesenprüfung (vgl. Kapitel 4.1) wurde bewiesen, dass sich das Insektenvorkommen an den unterschiedlichen Standorten signifikant unterscheidet. Dabei konnte anhand des Post-hoc-Tests festgestellt werden, dass die größten Abweichungen zwischen dem „Rapsacker“ und den restlichen Vergleichsstandorten sowie zwischen dem Standpunkt „Zentrum Ost“ und den Standorten „Rand“, „Rapsacker“ und „FFH-Gebiet“ erscheinen. Für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage – nämlich, welche Auswirkungen die biodiversitätsfördernden Maßnahmen im Solarpark Weesow-Willmersdorf auf die Insektenaktivität im Vergleich zu einem konventionell bewirtschafteten Acker (in diesem Fall Rapsacker) haben – wird der Fokus besonders auf die Solarpark-Standorte und den „Rapsacker“ gelegt. Der Standort „FFH-Gebiet“ gilt als allgemeiner Vergleichsstandort, der von den energiewirtschaftlichen und landwirtschaftlichen Aktivitäten unberührt ist und die gemessenen Werte ins Verhältnis setzt. Anhand der grafischen Auswertungen (vgl. Kapitel 4.1.1 bis 4.1.4) sind die Fluginsekten-Entwicklungen über den gesamten Messzeitraum in Hinsicht auf die Faktoren Aktivität, Biomasse und Biodiversität beleuchtet worden. Dabei hat sich der Standort „Rapsacker“ hingegen der Hypothese H 1 aktiver als auf den Solarparks Standorten gezeigt (vgl. Kapitel 4.1.2), weshalb die Nullhypothese bestätigt wurde. Nachstehend werden die Ergebnisse ausführlich diskutiert und mit dem aktuellen Wissensstand in Verbindung gebracht.

Insekten gehören zu den ektothermen Tieren, deren Stoffwechselprozesse von den vorherrschenden Temperaturen abhängt (Schmitt 2022). Abiotische Faktoren – aber vor allem die vorherrschenden Temperaturen beeinflussen das Aktivitätsmuster der Fluginsekten in unterschiedlichem Maß (vgl. Kapitel 4). Wenngleich die Temperaturerfassungen nicht in ausreichendem Maß vorliegen (vgl. Kapitel 3.5.2 und Kapitel 4) um eine Vergleichbarkeit der Zustände zu gewährleisten, kann dennoch beobachtet werden, dass sich die Temperatur- und Aktivitätskurven in den Grafiken des Dashboards der Firma FaunaPhotonics A/S gleichzeitig erhöhen oder absenken (FaunaPhotonics A/S 2024a). Betrachtet man die Monate April bis Juni lassen sich veränderte Verhaltensmuster über den Tag erkennen (vgl. Kapitel 4.1.1). Das tageszeitliche Aktivitätsmuster orientiert sich standortübergreifend an den Sonnenauf- und Sonnenuntergängen im Untersuchungsgebiet und zeigt mit den fortschreitenden Monaten veränderte Aktivitätsphasen in den Mittags- und

Abendstunden. In der ersten Hälfte des Bemessungszeitraumes sind die Aktivphasen kürzer (April und Mai ca. 12 h) und beginnen ab 8 Uhr. Im Juni hingegen weisen die Messungen langanhaltendere Aktivitätsphasen (Juni ca. 17 h) mit erkennbaren Aktivitäten ab 5 Uhr morgens auf. Es ist naheliegend, dass die Veränderung von einer erhöhten Mittags- und Abendsaktivität hin zu einer präzentieren Abendaktivität den jährlichen Temperaturentwicklungen obliegt – die Tiere sich also bei zunächst kühleren Temperaturen im Frühling mittags und abends aufwärmen und bewegen, um Nahrung zu suchen und mit dem fortschreitenden Jahr energiezehrende Aktivitäten bei zunehmenden Mittagshitzen reduzieren. Ähnliche Beobachtungen konnten im Rahmen einer Studie im Schwarzwald von Welti et al. 2022 erhoben werden – hier zeigten sich ansteigende Temperaturen zwar grundsätzlich als positiver Faktor für die Entwicklung flugfähiger Insekten, an besonders heißen Tagen wurden jedoch Aktivitätseinbrüche beobachtet.

Im April steigen alle Standorte mittags und abends mit unterschiedlicher Intensität an (vgl. Kapitel 4.1.1, Abbildung 8). Dabei sind die Entwicklungen innerhalb des Solarparks in Hinsicht auf die erfassten Fluginsekten-Aktivitäten nicht einheitlich stark ausgeprägt, sondern unterscheiden sich stark. Das tageszeitliche Verlaufsschema hingegen ähnelt sich innerhalb des Solarparks und zeigt Unterschiede zu beiden Referenzstandorten. Der „Rapsacker“ zeigt mittags mit > 5.000 FA die meisten Aktivitäten und sinkt zum Abend hin ab, während der Standort „Zentrum West“ den Ackerstandort mit einem zweiten und länger anhaltenden Aktivitätshoch deutlich überschreitet. Im Mai zeigen die Solarpark-Standorte gesamtheitlich leicht steigende FA, dabei bleiben sie allerdings unter 7.000 FA – der „Rapsacker“ hingegen erfährt besonders mittags eine massive Aktivitätszunahme (FA > 15.000), welche die der Vergleichsstandorte ganztags überschreitet (vgl. Kapitel 4.1.1, Abbildung 9). Im Juni sinken die tageszeitlichen Aktivitäten an allen Standorten außer dem „Rapsacker“ und dem Standort „Zentrum Ost“ (vgl. Kapitel 4.1.1, Abbildung 10). Dabei bleibt der Ackerstandort in diesem Monat unter 6.000 FA und der Solarparkstandort erreicht bis zu 10.000 FA. Die dem Solarpark angehörigen Standorte „Wildtierkorridor“ und „Rand“ steigen bis April an und sinken im Juni auf Aktivitäten < 2.000 FA ab – sie sind innerhalb der Solarparks die Standorte mit den geringeren Aktivitäten.

Die nächtlichen Aktivitäten werden durch die Messgeräte nicht erfasst (energetische Gründe). Die Messungen der Sensoren starten voreingestellt eine Stunde vor Sonnenaufgang und enden eine Stunde nach Sonnenuntergang (vgl. Kapitel 3.5.2). Durch die tageszeitlichen Veränderungen wird der Insektenfressenden Fauna über den Beobachtungszeitraum hinweg ein sich verändertes Nahrungsangebot über den Tag geboten – möglich ist es zudem aber auch, dass die Räuber-Beute-Beziehungen und Aufwuchsbedingungen an einem Standort Einfluss auf die tageszeitlichen Aktivitäten der erfassten Fluginsekten

haben – hierzu wird im Rahmen der noch folgenden Feldlerchentheorie noch detaillierter Bezug genommen.

Die Gesamtaktivität wird in Kapitel 4.1.2 auf zwei Sichtweisen betrachtet. Die summierte Aktivität zeigt die Gesamtaktivität der einzelnen Tage im Bemessungszeitraum, während die akkumulierte Aktivität Aufschluss über die gesamt erfassten Aktivitäten gegen Ende jeden Monats gibt. Übergreifend kann in Hinsicht auf die Tagessummen erkannt werden, dass sich die Aktivitätskurven an den Standorten „Rapsacker“, „Zentrum West“ und „Zentrum Ost“ über denen der Vergleichsstandorte bewegen und sich zwischen Mitte April und Juni immer wieder temporär gegenseitig übertreffen. Die akkumulierte Aktivität zeigt, dass zunächst der Standort „Zentrum West“ mit den meisten Aktivitäten zum Monatsende („Rapsacker“ und „Zentrum Ost“ folgend) vorne liegt. Er wird in den darauffolgenden Monaten erst durch den Standort „Rapsacker“ überholt, welcher dann wiederum durch den Standort „Ost“ überholt wird (vgl. Abbildung 16 für die schlussendliche Reihenfolge der akkumulierten Aktivitäten: „Zentrum Ost“ > „Rapsacker“ > Zentrum West“ > Wildtierkorridor > FFH-Gebiet > Rand).

Die verfügbare Biomasse (vgl. Kapitel 4.1.3) wurde seitens der Firma FaunaPhotonics A/S aus den Aktivitäten errechnet und zeigt Übereinstimmungen mit den Verhältnissen der standortbezogenen Aktivitätszahlen. Die Mengenverteilung der Biomasse gleicht der Hierarchie der akkumulierten Aktivitätsdaten – so ist die meiste Biomasse am „Rapsacker“ bereitgestellt, während sich die Standorte „Zentrum Ost“, „Zentrum West“, Wildtierkorridor“, „FFH-Gebiet“ und „Rand“ anschließen (vgl. Abbildung 17).

Die erste Messwoche zeigt im Vergleich zur restlichen Zeit sehr geringe bis teilweise keine Aktivitätserfassungen (vgl. Kapitel 4.1.2, Abbildung 11). Niederschlagsereignisse können die Standortbedingungen und das Verhalten von Insekten (Luftdruck und -feuchtigkeit) verändern (Welti et al. 2022). Die Ergebnisdokumentation zeigte jedoch lediglich in der ersten Woche Aktivitätsabfälle, die durch vorherrschende Niederschlagsereignisse begründet werden könnten. Da in diesem Zeitraum zudem niedrige Temperaturen herrschten und wenig zuverlässige / übertragbare Daten für eine sichere Korrelation zwischen Niederschlag und Aktivitätsverlust erfasst wurden (vgl. Kapitel 4.1.2), kann dieser Zusammenhang nicht eindeutig bewiesen werden. Selbst das intensivste Niederschlagsereignis mit 35,5 mm am 22. Mai 2024 (Meteostat 2024b) hat keinen bedeutsamen Einbruch der errechneten Biomasse in KW 22 zur Folge gehabt. Die geringe Einflussnahme kann durch die vorherrschenden Bodenbedingungen (vgl. Kapitel 3.1) bedingt sein, da es sich um sandige Böden handelt (gute Sickerfähigkeit). Auch Welti et al. stellten den Aktivitätszusammenhang des Niederschlags im Rahmen ihrer Studie zur Fluginsektenkartierung als

nicht signifikant dar. Ab der letzten Aprilwoche erkennt man schwankendere aber auch höhere Aktivitäten als im darauffolgenden Zeitraum, die sich bis Mai halten.

Der Standort „Zentrum West“ übertrifft den „Standort „Rapsacker“ im April (vgl. Abbildung 11) zunächst und erreicht nahezu 10.000 FA, während sich alle anderen Vergleichsräume unterhalb von 6.000 FA befinden. Anfang Mai (vgl. Abbildung 13) löst der „Rapsacker“ den Standort „Zentrum West“ ab und erreicht ebenfalls über 9.000 FA, während sich die Vergleichsstandorte auf < 5.000 FA entwickeln. Die Aktivitätskurven der Solarparkstandorte nähern sich ab dem 5. Mai (bis auf einen Ausreißer des Wildtierkorridors am 12. Mai) deutlich an und stehen dem „Rapsacker“ gegenüber. Die Aktivitäts-Verlaufskurve sinkt zum Monatsende (Mai) standortübergreifend ab. Lediglich die Standorte „Rapsacker“ und „Zentrum Ost“ zeigen kleinere Ausschläge gegen den 22. April. Die Aktivitäten im Juni (vgl. Abbildung 15) werden anschließend durch die Standorte „Rapsacker“ und „Zentrum Ost“ dominiert, wobei der Ackerstandort verhältnismäßig konstant verläuft und temporär mit hoch ausschlagenden Aktivitätsspitzen des Solarpark-Standorts überschritten wird. Die Aktivitäten auf dem „Rapsacker“ werden durch das Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln nach Aussagen des Landwirtes maximal zwei Wochen reduziert (vgl. Kapitel 3.2.2).

Die Verhaltensweisen unterschiedlicher Insekten haben einen entscheidenden Einfluss auf die vorherrschenden Aktivitätsentwicklungen. Insekten haben im Vergleich zu anderen Tierarten kurze Lebens- und meistens noch kürzere Aktivitätszeiten. Am Beispiel der Wildbienen und Schmetterlinge begrenzt sich die Lebenszeit auf ein Jahr (Deutsche Wildtier Stiftung 2024a, 2024b). Die Wildbienen sind in diesem Jahr maximal vier bis acht Wochen aktiv (Deutsche Wildtier Stiftung 2024b). Märzfliegen (*Bibio marci*) sind maximal drei Monate aktiv, während die Aktivität der großen Stubenfliege (*Musca domestica*) auf wenige Wochen begrenzt ist (Zimmermann 2012; UBA 2019c). Da anhand der erhobenen Datenauswertungen keine Aussage über die an den Standorten vorkommenden Arten selbst gemacht werden (vgl. Kapitel 3.3), kann die folgende Argumentation nicht durch die Untersuchungen bewiesen werden. Mit dem Hintergrund der bereits angesprochenen Temperaturabhängigkeiten und der je Insektenart unterschiedlichen Lebens- und Aktivitätsphase kann jedoch die These aufgestellt werden, dass sich die Artzusammensetzungen an den Standorten und über den Bemessungszeitraum hinweg unterscheiden. Die These wird kurz anhand des Vergleiches der drei dominierenden Standorte beispielhaft aufgezeigt. Innerhalb der Solarparkflächen werden die ersten Höchstaktivitäten am „Standort West“ Mitte bis Ende April gemessen, während die Aktivitätsphasen des Standortes „Zentrum Ost“ vier bis sechs Wochen später einsetzen. Da man aufgrund des identischen Biotoptyps, der gleichen räumlichen Gebietskulisse und der annähernd gleichen

Flächengröße nicht von einer stark abweichenden Artenzusammensetzung (aufgrund unterschiedlicher Lebensraumsansprüche) und / oder einer veränderten Räuber-Beute-Beziehung ausgehen kann, müssen weitere einflussnehmende Faktoren geprüft werden. Der Zeitpunkt der umgesetzten Grünlandpflege (Beweidung) stellt den einzigen Unterschied zwischen den Belegungsfeldern dar. Der Standort „Zentrum West“ wurde zum Zeitpunkt des Messgeräteaufbaus bereits seit Mitte März mit etwa 450 Schafen beweidet (vgl. Kapitel 3.2.1, Tabelle 1). Die Schafe hatten die Vegetationsdecke Mitte April bereits zu großen Teilen abgefressen und hielten sich aufgrund der 10 m entfernten Tränke im weiteren Kreis der Messstation regelmäßig auf. Der Standort „Zentrum Ost“ wurde zu diesem Zeitpunkt noch nicht beweidet – die 450 Schafe des Belegungsfeldes S03 wurden ab Mitte Mai auf das Belegungsfeld S04 getrieben. Die Entfernung der Tränke beläuft sich in etwa auf 4 m und ist deshalb im näheren Umfeld des regelmäßig aufgesuchten Aufenthaltsortes. Die erfassten Fluginsektenaktivitäten (vgl. Kapitel 4.1.2, Abbildungen 11, 13 und 15) stimmen mit den Beweidungszeiten überein. Ausgenommen der wahrscheinlich temperaturbedingten Aktivitätsflauten in der ersten Messwoche, ist der bereits einen Monat beweidete Standort „Zentrum West“ der Standort mit der höheren Aktivität. Darüber hinaus kann auch festgestellt werden, dass das Durchschnittsgewicht am Standort „Zentrum Ost“ niedriger bemessen ist (vgl. Kapitel 4.1.4, Abbildung 26 und 27). Dies könnte ein Hinweis auf Aktivitäten von Fluginsekten in einem jüngeren Entwicklungsstadium sein. Mit dem Umtrieb zum Standort „Zentrum Ost“ sowie einer berücksichtigten Zeitspanne, die die Schafe für erste Beweidungserfolge benötigen, steigt der Standort „Zentrum Ost“ zum Standort mit den meisten Aktivitäten an. Dass dieser den westlich liegenden Standort sogar überschreitet, kann durch die wärmeren Temperaturen aber auch durch das für die Schafe höhere Nahrungsangebot (mit ebenfalls höherem Kot- und Urinabsatz) begründet sein. Die Hinterlassenschaften der Schafe wirken anziehend auf Insektenarten, die sich von Verdauungsrückständen ernähren (z.B. Herbstfliege (*Musca autumnalis*) (Mehlhorn 2020). Durch das selektive Abfressen der Weiden entstehen zudem heterogene Lebensraumstrukturen, die den Insekten als Nahrungs-, Fortpflanzungs- und Lebensraum dient (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft 2022). Die verfügbare Biomasse unterstützt die erläuterten Entwicklungen, da die größten Biomassen in den Monaten April und Mai auf den Standorten „Zentrum West“ und „Rapsacker“ und im Juni an den Standorten „Zentrum Ost“ und „Rapsacker“ errechnet wurden.

Die Höhe der vorkommenden Insekten-Anzahlen kann zudem durch die taxonomisch unterschiedlichen Anzahlen gelegter Eier oder eine Schwarmzugehörigkeit beeinflusst werden. Zwei Beispiele für im Schwarm auftretende Insekten, die häufig auf Rapsfeldern gesichtet werden sind die Märzfliege und der Rapsglanzkäfer. Die Märzfliege (*Bibio marci*) ist

eine Mückenart, die zwischen Mai und Juni im Raps zu finden ist. Sie erinnert optisch an eine Fliege, unterstützt allerdings auf der Nektarsuche die Befruchtung der Rapspflanzen (Zimmermann 2012; Rapool 2024). Märzfliegen paaren sich im Flug und bilden im April oftmals große Schwärme. Sie legen ihre bis zu 100 Eier in die Humusschicht des Bodens ab und sterben nach der Fortpflanzung. Sie werden nicht als Schädlinge deklariert (Zimmermann 2012). Ein bekannter Schädling hingegen ist der Rapsglanzkäfer (*Brassicoglyphus aeneus*). Die flugfähigen Käfer nutzen die Blüten der Rapspflanze zur Eiablage und verursachen dabei massive Fraßschäden. Besonders bei sonnigen Wetterbedingungen fliegen sie (teilweise zu Massen) in die Rapsfelder, da sie durch die gelben Blüten angelockt werden (UBA 2019a). Im Vergleich zu den schwarmbildenden Arten agiert die Wildbienen bei vielen Aktivitäten allein (Deutsche Wildtier Stiftung 2024b). Das Aufkommen und die Individuendichte der Herbstfliegen wird durch die Menge vorhandener Kotstellen beeinflusst und lässt sich nicht verallgemeinern (Mehlhorn 2020).

Bei der Gegenüberstellung des „Rapsackers“ und der Solarparkstandorte wird an dieser Stelle auch auf die sich unterscheidenden Bewuchsformen der Vergleichsstandorte hingewiesen. Innerhalb der Solarparkflächen befindet sich niedriggewachsene und / oder zusätzlich abgefressene Grünlandbestände. Der Rapsacker befand sich als hochwachsende Pflanze im April / Mai bei ca. 1 m Aufwuchshöhe und befand sich bis Ende Mai in der Hauptblüte (Lockwirkung). Die Blüten befinden sich also auf gleicher Höhe wie der Erfassungssensor (vgl. Anhang 11, Bilddokumentation am Rapsacker im Vergleich zu beispielsweise Anhang 8 Bilddokumentation am Standort Zentrum Ost). Der Sensor ist zwar aufgrund der Nähe zum Feld mit einem höheren Neigungswinkel eingestellt (vgl. Kapitel 3.5.1), dennoch ist die Wahrscheinlichkeit höher ein Insekt beim Anflug an eine der zahlreichen Blüten im Rapsacker zu erfassen, als den Anflug eines Insekts an den Vergleichsstandorten, bei denen die Lockmittel (Hinterlassenschaften der Schafe und blühende, strukturreiche Krautschicht) mehr als 50 cm unterhalb des elektrischen Erfassungsfeldes liegen. Ein weiterer interessanter Unterschied ist die Nähe zu vorhandenen Gehölzstrukturen, die den vorkommenden Insekten als Rückzugsort dienen können. Das Messgerät befindet sich auf einer kleinen Brachinsel, die sich etwa 15 m vom Rand des „Rapsackers“, und der begrenzenden, langgezogenen Hecke befindet (Anhang 11, Bilddokumentation am Rapsacker). Solch ausgebildete Gehölzstrukturen weist keiner der Solarpark-Standorte auf. Zwar befinden sich die Ausgleichspflanzungen zwischen dem Rapsacker und dem Standort „Rand“ nahe dem Messgerät, diese sind jedoch noch nicht voll aufgewachsen (die Feldhecke ist fernab des Standortes „Rand“ und wird durch darin vorkommende Insekten nicht beeinflusst). In der Nähe des Messgerätes, welches auf einer Brachinsel aufgestellt wurde (vgl. 3.2.2) befindet sich zudem ein Wasserablauf, der zu beiden

Besichtigungsterminen (April und Mai) trocken und ohne auffallende Insektenaktivitäten wahrgenommen wurde (Anhang 11, Bilddokumentation am Rapsacker).

Das FFH-Gebiet zeigt im Vergleich zu allen anderen Standorten überwiegend niedrige Aktivitäten der Fluginsekten (vgl. Kapitel 4.1.2, Abbildungen 11-13 und 15). Es wird vermutet, dass die vorkommenden Insekten (ähnlich den Solarparkstandorten) ihren Bewegungsmittelpunkt in Bodennähe haben und deswegen seltener erfasst werden. Der Aufwuchs und vor allem der Blühstand der Pflanzen befand sich zu den Besichtigungsterminen auf einer Aufwuchshöhe von bis zu 30 cm (vgl. Anhang 12, Bilddokumentation im FFH-Gebiet). Damit liegt das elektrische Erfassungsfeld höher. Weiter wird davon ausgegangen, dass durch vorhandene Leitstrukturen sowie Bauminself / -reihenbestände und Siedlungen vermehrte Fledermausaktivitäten in diesem Bereich des Untersuchungsgebietes zu erwarten sind. Fledermauskartierungen zum Solarpark Weesow Willmersdorf stehen leider nicht zur Verfügung, Fledermaus-Kartierungen im Solarpark Eggesin (ebenfalls eine FF-PVA der EnBW AG in Brandenburg) nächtliche Aktivitäten mehrerer Fledermausarten zeigten allerdings (EnBW AG 2021). Die extensiv bewirtschaftete FFH-Mähwiese wurde im Juni unter Abtransport des Schnittgutes gemäht (MLUL Brandenburg 2019). Diese Pflegemaßnahme könnte Insekten in unterschiedlichen Entwicklungsstadien mit abtransportiert haben. Darüber hinaus kann der Prädationsdruck auch von anderen Insektenarten wie Spinnenarten ausgehen (UBA 2019b).

Die Biodiversität wird in Kapitel 4.1.4 anhand des Biodiversitätsindex angegeben. Er zeigt BI-Werte zwischen 0,59 („Rapsacker“ in der KW 19, vgl. Abbildung 22) und 0,81 (Standorte „Rand“ in KW 25 und „Zentrum West“ in KW 26). Die BI-Werte steigen standortübergreifend über den gesamten Zeitraum an. Der Standort „FFH-Gebiet“ ist zu Beginn etwas höher eingestuft als die Vergleichsstandorte und zeigt im Vergleich die Insekten mit dem höchsten durchschnittlichen Gewicht. Die wöchentlichen BI-Werte der Solarparkstandorte sind bis zum 12. Mai innerhalb der Solarparkflächen gleichbleibend und niedriger als in der darauffolgenden Zeit. Im direkten Vergleich mit den Aktivitätskurven ist auffallend, dass dies der aktivere und schwankungsintensivere Zeitraum der Fluginsektenaktivitäten war. Insbesondere der Standort „Zentrum West“ zeigt in diesem Zeitraum stark ansteigende Aktivitäten. Ab dem 12. Mai sinken die Fluginsektenaktivitäten selbst aber auch die Schwankungen an allen Solarparkstandorten bis zum 3. Juni - der Biodiversitätsindex hingegen steigt an. Für den restlichen Juni sind alle Standorte außer dem Standort „Zentrum Ost“ in ihrem BI-Wert zunehmend. Der Standort „Zentrum West“ zeigt sinkende BI-Werte zwischen seiner maximalen Aktivität (KW 23 und 24). Berücksichtigt man an dieser Stelle noch das Durchschnittsgewicht der vorkommenden Fluginsekten zeigen sich am Standort „Zentrum Ost“ im Vergleich zu allen anderen Standorten

leichtere Gewichtsklassen. Eine höhere Aktivität mit gleichzeitig niedrigeren Biodiversitätswerten spricht für eine weniger diverse Artenzusammensetzung an den jeweiligen Standorten. Diese Entwicklungen stützen darüber hinaus die These, dass die zeitlich versetzte Schafsbeweidung Einfluss auf die vorkommenden Fluginsekten hat. Es ist beispielsweise möglich, dass auf dem Standort „Zentrum Ost“ kleinere Individuen zu finden sind, da die Kot- und Urineinbringung durch die Schafsbeweidung erst ab Mitte Mai erfolgte und deshalb unter Berücksichtigung von biologisch bedingten Verzögerungen zunächst viele Junginsekten erfasst wurden. Darüber hinaus kann die kürzere Distanz zur Wassertränke Einfluss auf die vorherrschenden Standortbedingungen genommen haben (vgl. Kapitel 3.2.1, Tabelle 1). Der „Wildtierkorridor“ weist während dem Untersuchungszeitraum zumeist höhere BI-Werte als der „Rand“-Standort auf. Er ist darüber hinaus der Standort mit der größten Gewichtsspanne (vgl. Abbildung 26 und 27), während der „Rand“-Standort die kleinste Spannbreite zeigt. Dies weist darauf hin, dass viele unterschiedliche Gewichtsklassen am Standort „Wildtierkorridor“ gemessen wurden. Vergleicht man die Fluginsekten-Aktivitäten des Standortes „Rapsacker“ mit den Entwicklungen des Biodiversitätsindex, sind keine Höchstwerte des Rapsackers mehr zu erkennen. Der BI-Wert schwankt generell nur wenig und nimmt mit dem Jahresverlauf tendenziell zu (vgl. Kapitel 4.1.4, Abbildung 25). Der „Rand“-Standort ist bis zur KW 20 immer leicht unter dem Standort „Rapsacker“ angeordnet und überschreitet ihn ab diesem Zeitpunkt. Die Reduktion des Biodiversitätsindex am Standort „Rapsacker“ beginnt Ende Mai – dies ist auch der Zeitraum, den der Landwirt bezüglich der eintretenden Rapsschäden kommuniziert hatte (vgl. Kapitel 4). Es ist möglich, dass durch den beschädigten / abgeblühten Raps ab diesem Zeitraum eine geringere Attraktivität für anfliegenden Insekten ausgegangen ist als zuvor.

### Die Feldlerchentheorie

Im Rahmen eines Feldlerchenmonitorings wurden im Jahr 2023 Kartierungen zum Bestand der Offenlandart in dem Solarpark Weesow-Willmersdorf vorgenommen. Die Feldlerche (*Alauda arvensis*) ist eine besonders geschützte Offenlandvogelart. Der ehemalige Steppenvogel lebt in freigeräumten Landschaften mit geringen Vegetationshöhen wie beispielsweise (Sommerfrucht-) Acker- und Brachland oder extensive Grünlandbereiche. Sie wird durch intensive landwirtschaftliche Aktivitäten gestört und durch die generell geringere Insektenverfügbarkeit (vgl. Kapitel 2.2.4 und 2.2.5) bedroht (LANUV 2024). Die Bestandserfassung des Planungsbüros befinden sich gerade noch in der Auswertung und Berichterstattung, dennoch konnte kürzlich eine vorläufige Einschätzung abgegeben werden. Der Einschätzung zu Folge befindet sich auf den zwei der untersuchten Flächen eine doppelt so hohe Feldlerchen-Revierdichte als auf ideal gelegenen Habitatflächen. Das

LANUV erklärt, dass Feldlerchen ihre Nester zwar jedes Jahr neu bauen – grundsätzlich aber eine Reviertreue besteht. Es ist also davon auszugehen, dass auch in diesem Jahr sehr hohe Revierdichten innerhalb der Solarparkflächen bestehen. Die Brut der Feldlerchen beginnt im April. Nach etwa 12 Tagen schlüpfen die Jungen und bereits nach 20 Tagen werden sie flügge (NABU 2019). Ausgehend von den hohen Revierdichten, bestand während des Untersuchungszeitraums ein sehr hoher Nahrungsdruck durch die Feldlerchenbrut sowie die adulten Tiere, die sich von Insekten ernähren (NABU 2019). Geringere Aktivitätszahlen innerhalb der Solarparkflächen können durch die hohen Jagdaktivitäten der Feldlerche, sowie anderen Offenlandvogelarten beeinflusst / reduziert worden sein, denn die Modulreihen des Solarparks zeigen (unter Vorbehalt) keine wesentlichen Aktivitätseinschränkungen der Vögel. Da in den Randbereichen und am Standort „West“ die größten angrenzenden Freiflächen zu finden sind, könnte eine geringere Erfassungsquote auch mit der Anwesenheit jagender Feldlerchen (oder weiterer insektenbejagender Arten) zusammenhängen. Auch die noch geringeren Fluginsekten-Aktivitäten im „Wildtierkorridor“ kann durch diese Theorie erklärt werden. Er bildet von allen Standorten im Solarpark den strukturell freigeräumtesten Lebensraum, der sich für die Nahrungsbeschaffung und Brut gut eignet. Eigene Sichtungen beim Aufbau der Messstationen bestätigen mehrere Feldlerchen-Sichtungen innerhalb des Korridors. Nimmt man an, dass die erste Feldlerchenbrut im Solarpark im April begonnen hat, ist an einem Standort mit hoher Revierdichte etwa 30 Tage lang mit abnehmenden Fluginsekten-Aktivitäten zu rechnen, da diese zur Aufzucht der Brut intensiv bejagt werden. Am Standort „Zentrum West“ ist genau diese Entwicklung zu beobachten. Er stellt im April den Standort mit der höchsten Fluginsektenaktivität dar und fällt Anfang Mai kontinuierlich ab. Gleichzeitig ändert sich durch den Umtrieb der Schafe auf den Standort „Zentrum Ost“ der landschaftspflegerische Einfluss auf der Fläche, da die insektenanlockenden Ausscheidungen der Schafe am Standort „Zentrum West“ nicht mehr eingetragen werden. Nach dem Flügge werden der Jungtiere verlassen diese das Aufwuchshabitat und die zweite Brut der adulten Tiere beginnt wenige Tage später (NABU 2019). In dieser Zeit können sich die Insektenpopulationen erholen und wieder anwachsen oder unter dem Einfluss der Schafsbeweidung im neuen Belegungsfeld neu entstehen. Der Aufwuchs der zweiten Brut würde die Fluginsektenaktivitäten voraussichtlich gegen Ende Juni limitieren. Auch diese Entwicklungen zeigen sich anhand der Aktivitätskurve des Standortes „Zentrum Ost“, welcher am 17. Juni sein Maximum erreicht und danach rapide absinkt (vgl. Kapitel 4.1.2, Abbildung 15). Das Bejagen der Fluginsekten führt zu geringeren Erfassungsgrößen und schlussendlich auch zu einer geringeren verfügbaren Biomasse. Es wird davon ausgegangen, dass die Jagdaktivitäten der Feldlerchen keinen Einfluss auf die Fluginsekten des Rapsackers haben, da dieser zum einen durch eine hohe Hecke getrennt wird und darüber hinaus eine zu hohe

Vegetation bietet. Die stark schwankenden Aktivitätszahlen innerhalb der Solarparkflächen stehen den konstanteren und geringer schwankenden Aktivitätszahlen des Rapsackers gegenüber und können auf ein unterschiedlichen Arteninventar mit abweichenden Revierzahlen und Jagdverhalten hindeuten.

Zusammenfassend zeigt der „Rapsacker“ entgegen der Hypothese und trotz dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln höhere Fluginsekten-Aktivitäten als die Solarpark-Standorte. Einflüsse, die zu diesen Entwicklungen führen können, sind die höhere Strukturvielfalt im direkten Umfeld des Messgerätes, eine hohe Lockwirkung durch den Rapsanbau und die vergleichsweise hohe Revierdichte insektenfressender Vögel auf den Solarparkflächen. Der Solarpark Weesow-Willmersdorf wurde auf einem intensiv bewirtschafteten Maisacker errichtet (vgl. Kapitel 3.2), es ist davon auszugehen ist, dass die Lockwirkung und Habitatattraktivität von einem Rapsacker abweicht.

#### 5.1.2 Habitatpotenzial und Einflussnahme der umgrenzenden Nutzungen

Der konkrete Vergleich zwischen den zentral gelegenen Solarparkstandorten („Zentrum West“ und „Zentrum Ost“) und dem am Rand liegenden Standort („Rand“) diente der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage. Durch die Untersuchungen soll das Maß der Randeffekte, welches durch die angrenzende Landnutzung (konventioneller Rapsacker) Einfluss auf die Aktivität der Fluginsekten innerhalb des Solarparks nimmt, erkannt werden. Höhere Aktivitäten in den zentralen Bereichen deuten auf weniger limitierende Einflussfaktoren hin und garantieren die Bereitstellung größerer Biomassen für insektenfressende Tiere in der Solaranlage. In Kapitel 2.5.1 ist aufgeführt, dass besonders großflächig angelegte FF-PVA aufgrund ihrer Störungsarmut gute Entwicklungspotenziale für Flora und Fauna bieten und teilweise auch als dauerhafte Habitate angenommen werden. Im Kontext der Fluginsekten ist der Verzicht auf Pflanzenschutz- und Düngemittel sowie die extensive Bewirtschaftung der Flächen eine wirkungsvolle Maßnahme. Insektenfressende Tiere profitieren darüber hinaus von gut ausgebildeten Insektenpopulationen, da diese als Nahrung zur Verfügung stehen. Durch die Einzäunung der FF-PVA entsteht für Vögel und Kleinsäuger ein störungsreduzierter Raum, der Schutz vor großen Prädatoren (z.B. dem Wolf) oder anderen Störfaktoren (z.B. anthropogene Störungen) bietet.

Da sich die generelle Vorgehensweise und auch die im vorherigen Kapitel erläuterten Hintergründe vor allem in Hinsicht auf die Entwicklungen der zentralen Solarparkstandorte nicht unterscheiden, wird der Fokus folgend eher auf die tatsächlichen Unterschiede zwischen den betrachteten Standorten gelegt, um Dopplungen zu vermeiden. Die zugrundeliegende ANOVA inklusive Post-hoc-Test (vgl. Kapitel 4.2) bestätigte die gestellte

Hypothese, indem signifikante Unterschiede zwischen zentralen und den außen liegenden Standorten errechnet wurden.

Bei der Gegenüberstellung der tageszeitlichen Aktivitäten unterscheiden sich die Bewegungsmuster über den Tag lediglich im April, da der Standort „Rand“ hier nachmittags höhere Aktivitäten als der Standort „Zentrum West“ aufweist (vgl. Kapitel 4.2.1, Abbildung 28 bis 30). Der „Rand“-Standort wird im April durch den Standort „Zentrum West“, im Mai durch beide zentrale Solarparkstandorte und im Juni durch den Standort „Zentrum Ost“ ganztäglich übertroffen. Ein Grund hierfür könnte eine andere Artenzusammensetzung mit einem anderen Temperaturoptimum sein.

In Hinsicht auf die Gesamtaktivitäten liegen die FA am „Rand“-Standort auf dem Niveau des Standortes „Zentrum Ost“, welcher zu diesem Zeitpunkt noch nicht beweidet war. Zum Zeitpunkt der Geräteaufstellung wurden am dem Belegungsfeld S05 („Rand“) keine Schafe gesichtet. Nach Aussagen des Schäfers wurden etwa 170 Tiere gegen Ende April auf die Fläche gebracht und bis Mitte Juni auf der Fläche belassen (mündliche Mitteilung Schäfer, 24. Juni 2024) (bestätigende Sichtungen am 2. Vor-Ort Termin). Ansteigende, schwankende Aktivitäten konnten daraufhin bis zum 7. Mai beobachtet werden (vgl. Kapitel 4.2.2, Abbildung 33). Im Vergleich zu den Aktivitätsanstiegen, die mit der Beweidung am Standort „Zentrum Ost“ im Juni auftreten (vgl. Kapitel 4.2.2, Abbildung 35), sind die des „Rand“-Standortes jedoch deutlich geringer ausgeprägt. Da der „Rand“-Standort weiter von den schattenspendenden Modulen aufgestellt wurde, lässt sich vermuten, dass sich die Schafe seltener im direkten Umfeld der Messgeräte aufgehalten haben (fehlende Ausscheidungen der Schafe). Es scheint zudem trotz der auffallend hohen Insekten-Aktivität im angrenzenden Rapsacker kein bedeutender Zuflug zu erfolgen. Diese könnten, wie im vorherigen Kapitel 5.1.1 bereits beschrieben, an die vermehrten Gehölzstrukturen gebunden sein. Weitere Möglichkeiten wären, dass der zwischen dem Solarparkrand und dem Rapsacker befindliche Pflanzbestand eine Pufferwirkung erzielt. Während die Aktivitäten gegen Mitte / Ende Mai standortübergreifend gering sind, erhöhen sich im Juni nur die Aktivitäten am Standort „Zentrum Ost“. Die akkumulierten Aktivitäten stellen den „Rand“-Standort zum Ende des Bemessungszeitraumes als Standort mit den vergleichsweise geringsten Aktivitäten dar. Diese Entwicklungen zeigen sich auch in der verfügbaren Biomasse, welche am „Rand“-Standort deutlich geringer ist als an den zentral gelegenen Standorten.

Der Biodiversitätsindex (vgl. Kapitel 4.2.4, Abbildung 38) liegt am „Rand“-Standort bis KW 20 deutlich unter den zentral gelegenen Standorten. Ab KW 21 überschreitet er den Standort „Zentrum Ost“ beinahe in jeder Woche und den Standort „Zentrum West“ in KW 21 und 25. Ende Mai (KW 22) betrifft die Zeit, in der der angrenzende Raps durch die Folgen

von Frostschäden abblühte. Es ist möglich, dass sich mit dem veränderten Nahrungsmittelangebot in der Umgebung auch das Arteninventar verändert hat und heterogener wurde. Das durchschnittliche Gewicht der erfassten Fluginsekten ähnelt dem der auf am Standort „Zentrum West“ erfassten Fluginsekten und umfasst schwerere Gewichtsklassen als am Standort „Zentrum Ost“ (vgl. Abbildung 40 und 41). Die Gewichtsspanne sowie das maximal erfasste Gewicht sind allerdings im Vergleich geringer. Neben der Möglichkeit, dass mehr Fluginsekten aus den angrenzenden Ausgleichspflanzungen sowie aus dem Rapsfeld das elektrische Erfassungsfeld der Sensoren kreuzen, kann an dieser Stelle auch wieder der Beweidungszeitpunkt berücksichtigt werden.

Ausgehend von den höheren Insektenaktivitäten in den zentralen Bereichen der Solaranlage verbessert sich auch die Biodiversität, da sich die Nahrungsgrundlage des Standortes für viele insektenfressende Arten mit höheren Insektenaktivitäten stabilisiert und deren Existenz dadurch gesichert wird. Zu ihnen gehören Amphibien, Reptilien, Vögel und Fledermäuse (vgl. Kapitel 2.2.5), aber auch andere Insektenarten wie beispielsweise Spinnen (UBA 2019). Da sich die Habitatstrukturen in der näheren Umgebung der Messstandorte nicht für Amphibien und Reptilien eignen, werden sie an dieser Stelle ausgeklammert. Das Vorkommen von Fledermäusen auf FF-PVA bedarf noch weiteren Untersuchungen. Untersuchungen des BNE zeigten jedoch, dass blüten- und insektenreiche Grünlandbestände zwischen den Modulreihen als Nahrungshabitat angenommen werden, wenn die umliegenden Bereiche intensiv bewirtschaftet werden (BNE 2019). Zwischen den Belegungsfeldern begleiten Baumreihen die Wege, welche prinzipiell als Leitlinien angenommen werden könnten. Die Lebensraumeignung von Vogelarten in FF-PVA wird durch das Pflegeregime und die Reihenabstände beeinflusst. Besonders große Anlagen liefern Kapazitäten für die Avifauna, da sie einen großen und diversen Aktionsraum zur Verfügung stellen (BNE 2019). An dieser Stelle wird auch nochmal auf die bereits erläuterten Zusammenhänge zwischen der Feldlerche und den Fluginsekten verwiesen.

Die Bestätigung der Hypothese H 2 zeigt zusammenfassend, dass die Größe einer FF-PVA Einfluss auf die Aktivität und Biomasse haben kann. Strukturgebende Elemente und ein angepasstes Pflegeregime sind essenziell zur Entwicklung der Artenvielfalt.

## 5.2 Methodendiskussion

Anhand der nachstehenden Inhalte wird das methodische Vorgehen kritisch hinterfragt. Da sich die dritte Forschungsfrage mit der methodischen Eignung der Messgeräte befasst, fließen die Ergebnisse des Kapitels 4.3 in die Auswertung mit ein.

Das automatisierte und KI-gesteuerte Fluginsektenmonitoring im Solarpark Weesow-Willmersdorf wird insgesamt sechs Monate durchgeführt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die ersten zehn Wochen begleitet. Da dieser Zeitraum weit unter den empfohlenen Beobachtungszeiträumen liegt (vgl. Kapitel 4.3.1), kann nur ein kleiner Ausschnitt der vorherrschenden Entwicklungen analysiert werden. Der Informationsgehalt sowie die Reliabilität und Validität der verarbeiteten Daten steigen mit dem Beobachtungszeitraum – so werden mindestens einjährige (oftmals auch mehrjährige) Beobachtungszeiträume empfohlen. Viele der ökologischen Prozesse, die im Frühling beginnen, die sich mit dem fortlaufenden Jahr verändern und Einflüsse auf die vorkommenden Fluginsekten haben, können in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden.

Das Ziel dieser Arbeit war es einen Kenntnisstand darüber zu erlangen, wie sich die Fluginsekten-Aktivität in und um die FF-PVA verhält und ob es standortbedingte Unterschiede innerhalb der einzelnen Bereiche gibt (vgl. Kapitel 4.1 und 4.2). Daraus folgend sollte eine Aussage zur Biodiversitätssituation getroffen werden. Anhand der Aktivitäten und der Biomasse lässt sich die Nahrungsverfügbarkeit für weitere auf der Anlage lebende Tierarten einschätzen. Die Aussagen zur Biodiversität sollten nach anfänglichen Planungen anhand der morphologischen Unterschiede getroffen werden (vgl. Kapitel 3.3), ein Anspruch auf tiefergehende Artdifferenzierungen wurde aus technischen Gründen von Beginn an ausgeschlossen. Während des Untersuchungszeitraums kam es zu Veränderungen im methodischen Vorgehen der Firma FaunaPhotonics A/S, indem die Biodiversität fortan lediglich im Rahmen des Biodiversitätsindexes (vgl. Kapitel 3.3) bereitgestellt wurde. Der Biodiversitätsindex gibt keine Auskunft über das Vorkommen unterschiedlicher Arten im Messfeld, sondern bestimmt die Heterogenität anhand einer Skala von null bis eins. Für eine aussagekräftige Einschätzung der Biodiversität wäre nach Baur 2021 die Betrachtung der relativen Häufigkeiten vorkommender Arten und Individuen relevant gewesen (vgl. Kapitel 2.2.1). Wichtige Aussagen über die vorherrschende Bestäubungsleistungen unterschiedlicher Fluginsekten können auf der vorliegenden Datengrundlagen nicht getroffen werden.

Weiter stellt sich die Frage, ob die Erfassung der vorhandenen Fluginsekten für die Einschätzung der Biodiversität in einem Solarpark eine ausreichend informative Methode darstellt oder ob ein Fluginsekten-Monitoring eher ergänzend zu weiteren Kartierungsvorgängen einzusetzen ist.

Bei der Geräteaufstellung wurde auf ein standardisiertes Vorgehen geachtet. Da die verglichenen Standorte allerdings unterschiedlichen Nutzungstypen unterliegen herrschen teilweise abweichende Standortbedingungen, die Einfluss auf die Messergebnisse hervorrufen können. Im Vergleich der Solarpark-Standorte zum Ackerstandort ist dies der Fall. Der Aufwuchs auf dem Rapsacker ist durch die Ansaat des Winterraps deutlich höher. Die Rapspflanzen, welche zum Beobachtungszeitraum weitgehendst in der Hauptblüte standen, befinden sich somit auf einer Ebene mit dem elektrischen Messfeld. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wären weitere Messgeräte auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sinnvoll gewesen. So hätte beispielsweise der Vergleich zwischen anderen Kulturpflanzen wie Getreide oder der Einfluss unterschiedlicher Landnutzungsdensitäten erprobt werden können. Darüber hinaus wäre eine mittigere Platzierung der Messvorrichtung geeigneter gewesen, um Randeinflüsse besser abgrenzen zu können.

Die Zusammenarbeit mit der Firma FaunaPhotonics A/S gestaltete sich zu jedem Zeitpunkt einwandfrei. Sowohl die Organisation als auch der Aufbau der Messgeräte erfolgte ohne Probleme und die Mitarbeitenden standen bei Fragen oder Rückmeldungen mit sehr schnellen Antwortzeiten zur Verfügung. Die Insekten-Aktivitäten wurden bis auf wenige Tage, an denen die Geräte aufgrund kalter Temperaturen in den Standby-Modus geschaltet wurden, konstant erfasst und automatisiert ausgewertet. Die zur Verfügung gestellten Grafiken sowie die Rohdaten waren jederzeit in Echtzeit verfügbar und lieferten über den gesamten Zeitraum Eindrücke über die Situation im Untersuchungsgebiet. Im Vergleich zu anderen Fluginsekten-Erfassungsmethoden (vgl. Kapitel 4.3.2) ist der notwendige personelle Aufwand sehr gering auf der Auftraggeberseite. Die Anwesenheit vor Ort ist nicht zwingend notwendig. Bei manuellen Erfassungen (Malaise-Falle) müssen während des Untersuchungszeitraumes regelmäßig Behälter gewechselt werden und die Identifikationsprozesse der erfassten Insekten muss zeitaufwendig durchgeführt werden. Vorteil der Malaise-Fallen ist hingegen, dass schlussendlich Ergebnisse erhoben werden, die Aussagen zur vorherrschenden Biodiversität treffen können. Ein weiterer Unterschied ist, dass bei der Erfassung über die Messtechnik von FaunaPhotonics A/S keine Individuen beeinträchtigt werden, da sie beim Vorbeiflug unbeschadet erfasst werden. Die Insektenanalyse bei Malaisefallen erfolgt am ertrunkenen Insekt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Einsatz der Messgeräte viele interessante Inhalte sichtbar gemacht hat, die bisher nicht erwartet wurden. Bei der Entscheidung einer geeigneten Methode sollte die hintergründige Zielsetzung berücksichtigt werden. Im Falle der durchgeführten Untersuchungen konnte die verfügbare Biomasse anhand der Fluginsekten-Aktivitäten eingeschätzt werden, was für viele der in einem Solarpark lebenden Arten – insbesondere Vogelarten – ein wichtiger Faktor für die Lebensraumqualität ist. Darüber hinaus konnten die verfolgten Fragestellungen weitestgehend durch den Einsatz der Messgeräte beantwortet werden. Die erhobenen Daten geben auch über die Masterarbeit hinaus Aufschlüsse über die Lebensraumqualität im Solarpark Willmersdorf und können dadurch zur Förderung der Artenvielfalt beitragen.

## 6 Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen zeigten Insekten-Aktivitäten, die sich mit dem fortlaufenden Jahr und den jeweiligen Grünland-Pflegemaßnahmen veränderten. Im Vergleich zu den Solarparkstandorten wurde auf dem Rapsacker mehr Fluginsekten-Aktivität als an den Vergleichsstandorten gemessen. Die akkumulierten Aktivitäten präsentieren zum Ende des Bemessungszeitraumes den Rapsacker mit 199.570 Aktivitäten mit einer Biomasse von 21.340 g sowie die zentral gelegenen Standorte mit 120.718 Aktivitäten (11.955 g Biomasse) im Osten und 100.452 Aktivitäten (10.646 g Biomasse) im Westen als die drei aktivsten Standorte. Dabei konnte beobachtet werden, dass die zentral gelegenen Solarparkstandorte stärkeren Schwankungen unterliegen sind als der Rapsacker. Die Standorte Wildtierkorridor (60.301 Aktivitäten und 7.176 g Biomasse), FFH-Gebiet“ (53.195 Aktivitäten und 6.432 g Biomasse) und Rand (52.948 Aktivitäten und 5.864 g Biomasse) zeigen vergleichsweise geringe akkumulierte Aktivitäten mit geringen Schwankungen in den jeweiligen Monaten. Die Aktivitäten sind durch die jeweilige Strukturvielfalt, das Blühangebot inkl. des Lockvermögens für die Insekten, die Anzahl der vorhandenen Reviere insektenbejagender Fauna und die Beweidungszyklen beeinflusst.

Es konnten wesentliche Unterschiede zwischen den zentralen Bereichen des Solarparks und dem Randgebiet gemessen werden. Die akkumulierte Aktivität am Rand sowie die Gesamtbiomasse erreichten nur nahezu die Hälfte der Werte, die im Zentrum der Solaranlage erreicht wurden. Durch die höheren Fluginsekten-Aktivitäten im Zentrum des Solarparks kann von einer höheren Nahrungsverfügbarkeit für weitere insektenfressende Tierarten – vor allem Vögel – ausgegangen werden. Dies ist ein wichtiger Faktor für die Lebensraumqualität innerhalb der Solarparks.

Der Einsatz des automatisierten und KI-gestützten Monitoringsystems bietet die Möglichkeit der Datenerfassung flugfähiger Insekten. Dabei ist die Anwendung selbst (Aufbau und Organisation) und die Datenbereitstellung in Echtzeit ein wenig aufwendiger Prozess mit großem Informationsgehalt. Es werden wertvolle Erkenntnisse zum Aktivitätsverhalten und der verfügbaren Biomasse bereitgestellt, die Aufschluss über die vorherrschenden Lebensraumprozesse bieten. Die Einschätzung der vorherrschenden Fluginsekten-diversität wird nicht auf Artniveau, sondern anhand eines Biodiversitätsindex zur Verfügung gestellt. Dieser zeigt die Heterogenität innerhalb des erfassten Messfeldes in Form einer Skala von null bis eins. Es ist daher wichtig, das Monitoring-Ziel mit diesem Hintergrund zu beleuchten und gegebenenfalls (zusätzliche) Methoden in Erwägung zu ziehen, die eine Unterscheidung auf Artniveau ermöglichen.

Da die vorliegende Arbeit die ersten zehn Messwochen des Gesamtuntersuchungszeitraumes begleitet, besteht großes Interesse an den weiteren Entwicklungen. Diese können das sich veränderte Verhalten der Fluginsekten bis zum Ende der Vegetationsperiode verfolgen und qualitative Aussagen über die Lebensraumqualität in und um den Solarpark treffen. Unter Anwendung der verwendeten Messmethode könnten weitere Forschungsprojekte wie die Gegenüberstellung mehrerer Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen mit unterschiedlichen Pflegekonzepten untersucht werden, um den Wissensstand im Bereich Fluginsekten zu erweitern. Die Methode eignet sich für die Beleuchtung der Übergruppe Fluginsekten und stellt damit nur einen kleinen Anteil der komplexen Biodiversität dar. Für die Darstellung der Biodiversität ist es wichtig weitere Daten zu erheben, die Aussagen auf Artniveau treffen und die Bestandssituation weiterer im Offenland vorkommender Arten darstellen.

## 7 Literaturverzeichnis

Acatech / Leopoldina / Akademieunion (2022): Welche Auswirkungen hat der Ukrainekrieg auf die Energiepreise und Versorgungssicherheit in Europa? Akademieprojekt "Energie der Zukunft". Hg. v. acatech, Leopoldina und Akademieunion. Online verfügbar unter [https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale\\_Empfehlungen/2022\\_ESYS\\_Sonderimpuls\\_Versorgungssicherheit\\_web.pdf](https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale_Empfehlungen/2022_ESYS_Sonderimpuls_Versorgungssicherheit_web.pdf), zuletzt geprüft am 10.04.2024.

AGEB (2024): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2023. Hg. v. AG Energiebilanzen e.V. AG Energiebilanzen e.V. Berlin. Online verfügbar unter [https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2024/04/AGEB\\_Jahresbericht2023\\_20240403\\_dt.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2024/04/AGEB_Jahresbericht2023_20240403_dt.pdf), zuletzt geprüft am 11.04.2024.

ARGE (2007): Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von PV-Freiflächenanlagen. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (ARGE Monitoring PV-Anlagen. Berlin, Hannover (P496).

Arndt, Thomas; Balzer, Sandra; Benzler, Achim; Böhmer, Franz; Böttcher, Marita; Bruker, Jörg et al. (2015): Fachinformation des BfN zur "Naturschutz-Offensive 2020" des Bundesumweltministeriums. Status, Trends und Gründe zu den prioritär eingestufteten Zielen der NBS. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz. Bundesamt für Naturschutz. Bonn (BfN-Skripten (1.1998 - 630.2022)). Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/sites/default/files/BfN/service/Dokumente/skripten/skript418.pdf>, zuletzt geprüft am 03.04.2024.

Baur, Bruno (2021): Naturschutzbiologie. 1. Auflage. Bern: Haupt Verlag (UTB-Biologie, 5416).

Behnke, Joachim; Behnke, Nathalie (Hg.) (2006): Grundlagen der statistischen Datenanalyse. Eine Einführung für Politikwissenschaftler. Lehrbuch. Unter Mitarbeit von Arthur Benz. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften (Grundwissen Politik, Bd. 41).

Berekoven, Ludwig; Eckert, Werner; Ellenrieder, Peter (2009): Marktforschung. Methodische Grundlagen und praktische Anwendung. 12., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.

BfN (2017): Agrar-Report 2017. Biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft. 1. Aufl. Unter Mitarbeit von S. Balzer, A. Benzler, R. Dröschmeister, G. Ellwanger, P. Finck, S. Heinze, A. Herberg, M. Klein, A. Krüß, D. Metzinger, R. Petermann, V. Scherfose, B.

Schweppe-Kraft, A. Ssymank, C. Strauß, K. Ullrich, M. Vischer-Leopold. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz. Bundesamt für Naturschutz. Bonn.

BfN (2021): Vogelmonitoring. Hg. v. Bundesamt für Naturschutz. Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/vogelmonitoring>, zuletzt aktualisiert am 05.05.2021, zuletzt geprüft am 18.03.2024.

BfN (2024): Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD). Hg. v. Bundesamt für Naturschutz. Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/abkommen-richtlinie/uebereinkommen-ueber-die-biologische-vielfalt-cbd>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

Bischoff, Mascha; Lindner, Jan Paul; Winter, Lisa und Fehrenbach, Horst (2022): Die Ökobilanz als Instrument für informierte Konsumententscheidungen – bewusster Konsum kann Biodiversität schützen. Life Cycle Assessment as an instrument for informed consumer decisions – Conscious consumerism can protect biodiversity. In: Natur und Landschaft (97. (3. Ausgabe)), S. 130–136. Online verfügbar unter <https://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/103399/file/103399.pdf>, zuletzt geprüft am 16.02.2024.

BLE (2024): Was wächst auf Deutschlands Feldern? Hg. v. Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-arbeiten-foerster-und-pflanzenbauer/was-waechst-auf-deutschlands-feldern/>, zuletzt aktualisiert am 19.03.2024, zuletzt geprüft am 19.03.2024.

Blum, Ulrich; Rosenthal, Eberhard; Diekmann, Bernd (2020): Energie – Grundlagen für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Machbarkeiten, Grenzen und Umweltauswirkungen. Wiesbaden: Springer Vieweg (Springer eBooks Computer Science and Engineering).

BMEL (2023): Allgemeines zur Bodennutzung. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/bodennutzung-und-pflanzliche-erzeugung/allgemeines-zur-bodennutzung>, zuletzt aktualisiert am 05.04.2024, zuletzt geprüft am 05.04.2024.

BMUB (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. 4. Aufl. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Rostock. Online verfügbar unter

[https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/nationale\\_strategie\\_biologische\\_vielfalt\\_2015\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nationale_strategie_biologische_vielfalt_2015_bf.pdf), zuletzt geprüft am 02.04.2024.

BMUB (2016): Übereinkommen von Paris. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Online verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/paris\\_abkommen\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/paris_abkommen_bf.pdf), zuletzt geprüft am 10.04.2024.

BMUV (2017): Veröffentlichung der Roten Liste gefährdeter Biotoptypen. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/rote\\_liste\\_pressehandout\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/rote_liste_pressehandout_bf.pdf), zuletzt geprüft am 20.03.2024.

BMUV (2021): Besonderer und strenger Artenschutz. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/themen/artenschutz/nationaler-artenschutz/instrumente/besonderer-und-strenger-artenschutz>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

BMUV (2023a): Kohleausstiegsgesetz. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/faqs/kohleausstiegsgesetz>, zuletzt aktualisiert am 10.04.2024, zuletzt geprüft am 10.04.2024.

BMUV (2023b): Natura 2000. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/themen/naturschutz/gebietsschutz-und-vernetzung/natura-2000/schutzgebietsnetz-natura-2000>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

BMUV (2023c): Warum sind Insekten besonders wichtig? Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Online verfügbar unter <https://www.bmuv.de/faq/warum-sind-insekten-besonders-wichtig>, zuletzt aktualisiert am 25.07.2024, zuletzt geprüft am 25.07.2024.

BMWK (2023): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2022. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2022.pdf?\\_\\_blob=publication-File&v=8](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2022.pdf?__blob=publication-File&v=8), zuletzt geprüft am 12.04.2024.

BMWK (2024): Erneuerbare Energien. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien#entwicklung-in-zahlen>, zuletzt aktualisiert am 10.04.2024, zuletzt geprüft am 10.04.2024.

BMZ (2022): Neue Biodiversitätsziele bis 2030. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. Online verfügbar unter <https://www.bmz.de/de/themen/biodiversitaet/hintergrund/neue-biodiversitaetsziele-66242>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

BMZ (2024a): Klimaabkommen von Paris. Hg. v. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. Online verfügbar unter <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/klimaabkommen-von-paris-14602>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

BMZ (2024b): Ökosystemleistungen. Hg. v. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. Online verfügbar unter

BNE (2019): Solarparks - Gewinne für die Biodiversität. Hg. v. Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V. Bundesverband Neue Energiewirtschaft (bne) e.V. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bne-online.de/fileadmin/bne/Dokumente/20191119\\_bne\\_Studie\\_Solarparks\\_Gewinne\\_fuer\\_die\\_Biodiversitaet\\_online.pdf](https://www.bne-online.de/fileadmin/bne/Dokumente/20191119_bne_Studie_Solarparks_Gewinne_fuer_die_Biodiversitaet_online.pdf), zuletzt geprüft am 14.03.2024.

BNE (2022): Gute Planung von PV-Freilandanlagen. Wie sich Belange der Energiewende, des Umwelt- und Naturschutzes und der Landwirtschaft vereinen lassen. Hg. v. Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V. (bne). Berlin.

BNE (2024): Gute Planung - Best Practice für PV-Freilandanlagen. Hg. v. Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V. (bne). Online verfügbar unter <https://gute-solarparks.de/>, zuletzt aktualisiert am 24.04.2024, zuletzt geprüft am 24.04.2024.

- Bosch & Partner (2010): Bebauungsplan „Energiepark Weesow-Willmersdorf“. Stadt Werneuchen. im Auftrag von ProCon GmbH. Unter Mitarbeit von BÖF – Büro für Ökologie und. Hg. v. Bosch & Partner und Gaßner, Groth, Siederer & Coll. Hannover.
- Boßow-Thies, Silvia; Krol, Bianca (Hg.) (2022): Quantitative Forschung in Masterarbeiten. Best-Practice-Beispiele wirtschaftswissenschaftlicher Studienrichtungen. Springer Fachmedien Wiesbaden. Wiesbaden, Germany, Heidelberg: Springer Gabler (Lehrbuch).
- BUND (2010): Augen auf für unsere Wiesen und Weiden. Hg. v. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND). Online verfügbar unter [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/\\_migrated/publications/20100100\\_biologische\\_vielfalt\\_wiesencheck\\_faltblatt.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/_migrated/publications/20100100_biologische_vielfalt_wiesencheck_faltblatt.pdf), zuletzt geprüft am 21.03.2024.
- BUND (2024): Wiesen und Weiden: bunte Oasen der Artenvielfalt. Hg. v. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND). Online verfügbar unter <https://www.bund.net/themen/naturschutz/wiesen-und-weiden/>, zuletzt aktualisiert am 21.03.2024, zuletzt geprüft am 21.03.2024.
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2022): Beweidung mit Schafen fördert die Biodiversität. Bonn. Online verfügbar unter <https://www.nutztierhaltung.de/schaf/management/beweidung-mit-schafen-foerdert-die-biodiversitaet/>, zuletzt aktualisiert am 26.07.2024, zuletzt geprüft am 26.07.2024.
- Bundesrat (2024): Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestages. Gesetz zur Änderung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und weiterer energiewirtschaftsrechtlicher Vorschriften zur Steigerung des Ausbaus photovoltaischer Energieerzeugung, von der Drucksache 193/24. Online verfügbar unter [https://www.bundesrat.de/Shared-Docs/drucksachen/2024/0101-0200/193-24.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesrat.de/Shared-Docs/drucksachen/2024/0101-0200/193-24.pdf?__blob=publicationFile&v=1), zuletzt geprüft am 10.06.2024.
- Darling, D. Christopher; Packer, Laurence (1988): Effectiveness of Malaise traps in collecting Hymenoptera: The influence of trap design, mesh size, and location. In: *Can Entomol* 120 (8-9), S. 787–796. DOI: 10.4039/Ent120787-8.
- Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle (2023): Synthesebericht zum Sechsten IPCC-Sachstandsbericht (AR6). Hauptaussagen aus der Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung (SPM). Hg. v. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle. Online verfügbar unter <https://www.de->

[ipcc.de/media/content/Hauptaussagen\\_AR6-SYR.pdf](https://www.ipcc.de/media/content/Hauptaussagen_AR6-SYR.pdf), zuletzt geprüft am 09.04.2024.

Deutsche Wildtier Stiftung (2024a): Steckbrief Schmetterling. Online verfügbar unter <https://www.deutschewildtierstiftung.de/wildtiere/schmetterling>, zuletzt geprüft am 26.07.2024.

Deutsche Wildtier Stiftung (2024b): Steckbrief Wildbienen. Online verfügbar unter <https://www.deutschewildtierstiftung.de/wildtiere/wildbienen>, zuletzt geprüft am 26.07.2024.

Die Bundesregierung (2023): Ausbau erneuerbarer Energien beschleunigen. Hg. v. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/bregde/schwerpunkte/klimaschutz/novelle-eeg-gesetz-2023-2023972>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

Döring, Nicola; Bortz, Jürgen; Pöschl, Sandra; Werner, Christina S.; Schermelleh-Engel, Karin; Gerhard, Carla; Gäde, Jana C. (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. 5. Aufl. 2016. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1624548>.

Drobnik, Juliane; Finck, Peter; Riecken, Uwe (Hg.) (2013): Die Bedeutung von Korridoren im Hinblick auf die Umsetzung des länderübergreifenden Biotopverbunds in Deutschland. Bundesamt für Naturschutz. Bonn: Bundesamt für Naturschutz (BfN-Skripten (1.1998 - 630.2022), 346). Online verfügbar unter [https://bf.n.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/434/file/Skript\\_346.pdf](https://bf.n.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/434/file/Skript_346.pdf), zuletzt geprüft am 28.03.2024.

DWD (2024a): Deutschlandwetter im Frühjahr 2024. Hg. v. Deutscher Wetterdienst (DWD). Bundesministeriums für Digitales und Verkehr. Offenbach. Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2024/20240531\\_deutschlandwetter\\_fruehjahr2024\\_news.html](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2024/20240531_deutschlandwetter_fruehjahr2024_news.html), zuletzt aktualisiert am 14.06.2024, zuletzt geprüft am 14.06.2024.

DWD (2024b): Landwirtschaft. Agrarklimatologische Forschung. Hg. v. Deutscher Wetterdienst (DWD). Bundesministeriums für Digitales und Verkehr. Offenbach. Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/landwirt/landwirt\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/landwirt/landwirt_node.html), zuletzt aktualisiert am 14.06.2024, zuletzt geprüft am 14.06.2024.

EnBW AG (2007): Leitfaden zur Berücksichtigung von Umweltbelangen bei der Planung von FF-PV. Hg. v. Energie Baden-Württemberg AG.

EnBW AG (2019): Vorentwurf Flächenbelegung.

EnBW AG (2021): Solarparks fördern Artenvielfalt. Unter Mitarbeit von Timur Hauck. Hg. v. EnBW Energie Baden-Württemberg AG. Online verfügbar unter <https://www.enbw.com/unternehmen/eco-journal/solarparks-foerdern-artenvielfalt.html>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

EnBW AG (2024): Biodiversität. Hg. v. EnBW Energie Baden-Württemberg AG. Online verfügbar unter <https://www.enbw.com/unternehmen/nachhaltigkeit/environment/umweltschutz/biodiversitaet.html>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

EnBW AG (2024a): Der EnBW-Solarpark in Weesow-Willmersdorf. Hg. v. Energie Baden-Württemberg AG. Online verfügbar unter <https://www.enbw.com/erneuerbare-energien/solarenergie/solarpark-weesow/#einleitung-projektetails>, zuletzt aktualisiert am 03.05.2024, zuletzt geprüft am 07.05.2024.

EnBW AG (2024b): E-Cockpit. EnBW-Standorte.

EnBW AG (2024c): Solarenergie und Solarparks bei der EnBW. Hg. v. Energie Baden-Württemberg AG. Online verfügbar unter <https://www.enbw.com/erneuerbare-energien/solarenergie/>, zuletzt aktualisiert am 18.04.2024, zuletzt geprüft am 24.04.2024.

EnBW AG (2024d): Unternehmensstrategie für die Zukunft. Hg. v. Energie Baden-Württemberg AG. Online verfügbar unter <https://www.enbw.com/unternehmen/konzern/ueber-uns/konzernstrategie/>, zuletzt aktualisiert am 20.06.2024, zuletzt geprüft am 26.06.2024.

Europäisches Parlament (2021): Verlust der Biodiversität: Ursachen und folgenschwere Auswirkungen. Das Artensterben beschleunigt sich. Weltweit verschwinden immer mehr Pflanzen- und g Tierarten. Verantwortlich dafür sind die Eingriffe des Menschen in die Natur. Mehr zu Folgen und Ursachen. Hg. v. Europäisches Parlament. Generaldirektion Kommunikation (20200109STO69929). Online verfügbar unter [https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/1/story/20200109STO69929/20200109STO69929\\_de.pdf](https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2020/1/story/20200109STO69929/20200109STO69929_de.pdf), zuletzt geprüft am 14.03.2024.

- FaunaPhotonics A/S (o.D.): eVolito 2.0 system overview. Hg. v. FaunaPhotonics A/S.
- FaunaPhotonics A/S (2022): how we measuring biodiversity digitally in anuual insect biodiversity report 2022. Hg. v. FaunaPhotonics A/S.
- FaunaPhotonics A/S (2023): FaunaPhotonics. We see insects.
- FaunaPhotonics A/S (2024a): Dashboard. Hg. v. FaunaPhotonics A/S. Online verfügbar unter <https://app.faanaphotonics.com/dashboard>, zuletzt aktualisiert am 14.06.2024, zuletzt geprüft am 14.06.2024.
- FaunaPhotonics A/S (2024b): Making Biodiversity simple & measurable. Hg. v. FaunaPhotonics A/S. Online verfügbar unter <https://faanaphotonics.com/>, zuletzt aktualisiert am 22.05.2024, zuletzt geprüft am 22.05.2024.
- FNR (2023): Flächennutzung in Deutschland. Hg. v. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Online verfügbar unter <https://mediathek.fnr.de/flachennutzung-in-deutschland.html>, zuletzt aktualisiert am 20.03.2024, zuletzt geprüft am 20.03.2024.
- Gömann, Horst; Bender, Andrea; Bolte, Andreas (2015): Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Thünen. Braunschweig (30). Online verfügbar unter [https://literatur.thuenen.de/digbib\\_external/dn055248.pdf](https://literatur.thuenen.de/digbib_external/dn055248.pdf), zuletzt geprüft am 14.06.2024.
- Gruppe Planwerk; Bosch & Partner (2018): 1. Änderung des Bebauungsplanes „Energiepark Weesow-Willmersdorf“. Begründung einschl. Umweltbericht gemäß § 9 Abs. 8 BauGB.
- Habel, Jan Christian; Ulrich, Werner; Biburger, Nina; Seibold, Sebastian; Schmitt, Thomas (2019): Agricultural intensification drives butterfly decline. In: *Insect Conserv Diversity* 12 (4), S. 289–295. DOI: 10.1111/icad.12343.
- Hallmann, Caspar A.; Sorg, Martin; Jongejans, Eelke; Siepel, Henk; Hofland, Nick; Schwan, Heinz et al. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. In: *PloS one* 12 (10), e0185809. DOI: 10.1371/journal.pone.0185809.
- Hardle, Werner (2024): Biodiversität, Ökosystemfunktionen und Naturschutz. [S.l.]: Springer Spektrum.

Hörren, Thomas; Bodingbauer, Sven; Bourlat, Sarah; Grüneberg, Christoph; Kaiser, Matthias; Kiel, Ernst-Friedrich et al. (2023): Monitoring der Biodiversität flugaktiver Insekten in NRW. Ergebnisse und Perspektiven aus der Kooperation des Entomologischen Vereins Krefeld mit dem Land Nordrhein-Westfalen. In: Natur in NRW (3), S. 17–21. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/375825074\\_Monitoring\\_der\\_Biodiversitat\\_flugaktiver\\_Insekten\\_in\\_NRW](https://www.researchgate.net/publication/375825074_Monitoring_der_Biodiversitat_flugaktiver_Insekten_in_NRW), zuletzt geprüft am 24.07.2024.

IBN (2024): Konvention über die Biologische Vielfalt. Hg. v. Institut für Biodiversität - Netzwerk e.V (IBN). Institut für Biodiversität - Netzwerk e.V (IBN). Online verfügbar unter <https://biodiv.de/biodiversitaet-infos/konvention-ueber-die-biologische-vielfalt.html>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

IKI (2024): CBD COP 15. Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Internationale Klimaschutz Initiative. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.international-climate-initiative.com/themen/cbd-cop/>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

InfoFlora (2024): Fettwiesen und -weiden. InfoFlora. Online verfügbar unter <https://www.infoflora.ch/de/lebensraeume/typoch/4.5-fettwiesen-und-weiden.html>, zuletzt aktualisiert am 11.06.2024, zuletzt geprüft am 11.06.2024.

IPBES (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneeth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages.

IPCC (2007): Klimaänderung 2007. Synthesebericht. Geneva: IPCC. Online verfügbar unter <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/IPCC2007-SYR-german.pdf>, zuletzt geprüft am 08.04.2024.

IPCC, 2022: Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (Hrsg.)]. In: Klimawandel 2022: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen [H.-O.

- Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Hrsg.]. Deutsche Übersetzung auf Basis der Version vom Juli 2022. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn; Die Luxemburger Regierung, Luxemburg; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien; Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, ProClim, Bern; Oktober 2022. DOI 10.48585/nx04-e135
- Jandl, Robert; Tappeiner, Ulrike; Foldal, Cecilie Birgitte; Erb, Karl-Heinz (Hg.) (2024): APCC Special Report: Landnutzung und Klimawandel in Österreich. Berlin, Germany: Springer Spektrum.
- Joisten, Holger; Giani, Luise; Kochan, Nils; Kühn, Dieter; Sauer, Daniela; Schad, Peter; Sponagel, Herbert (Hg.) (2023): Böden Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Ein Bildatlas. Unter Mitarbeit von Karl-Heinz Feger. Springer-Verlag GmbH. Berlin, Heidelberg, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag; Imprint Springer Spektrum.
- K&S Umweltgutachten (2019): Landschaftspflegerischer Begleitplan (LBP). Berlin.
- Kearns, Carol A.; Inouye, David W.; Waser, Nickolas M. (1998): ENDANGERED MUTUALISMS: The Conservation of Plant-Pollinator Interactions. In: Annu. Rev. Ecol. Syst. 29 (1), S. 83–112. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.29.1.83.
- Klotz, S.; Baessler, C.; Klusmann-Kolb, A.; Muellner-Riehe, A. (2013): Biodiversitäts-wandel in Deutschland. In: Guy Brasseur, Michaela Schaller und Bernhard Stribrny (Hg.): Klimawandel und Biodiversität. Folgen für Deutschland. Online-Ausg. Darmstadt: WBG - Wissenschaftliche Buchgesellschaft (EBL-Schweitzer), S. 38–56.
- Klotz, Stefan; Settele, Josef (2017): Biodiversität. In: Guy P. Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöllner (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 151–160.
- Klotz, Stefan; Henle, Klaus; Settele, Josef; Sukopp, Ulrich (2023): Biodiversität und Naturschutz im Klimawandel. In: Guy Brasseur, Daniela Jacob und Susanne Schuck-Zöllner (Hg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum, S. 191–212.
- Kremer, Bruno (2024): Landschaften und Lebensräume. Vom Watzmann bis zum Wattenmeer. [S.l.]: SPRINGER-VERLAG BERLIN AN.

- Kühl, Lars (2010): Solare Stromerzeugung – Photovoltaik. In: Matthias Kramer und Sigmar Gabriel (Hg.): Integratives Umweltmanagement. Systemorientierte Zusammenhänge zwischen Politik, Recht, Management und Technik. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler, S. 563–585.
- Kühne, Olaf; Weber, Florian; Berr, Karsten; Jenal, Corinna (Hg.) (2019): Handbuch Landschaft. RaumFragen: Stadt – Region – Landschaft. Springer Fachmedien Wiesbaden. Wiesbaden, Heidelberg: Springer VS (RaumFragen).
- Kwak, Manja M.; Velterop, Odilia; van Andel, Jelte (1998): Pollen and gene flow in fragmented habitats. In: Applied Vegetation Science 1 (1), S. 37–54. DOI: 10.2307/1479084.
- Land Brandenburg; Öko-LOG: Karte 4: Netz Natura2000. Biotopverbund Brandenburg - Wildtierkorridore.
- LANUV (2024): Geschützte Arten in Nordrhein-Westfalen - Planungsrelevante Arten - Artengruppen - Vögel. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Online verfügbar unter <https://artenschutz.naturschutzinformationen.nrw.de/artenschutz/de/arten/gruppe/voegel/liste>, zuletzt aktualisiert am 27.07.2024, zuletzt geprüft am 27.07.2024.
- Leguan GmbH (2014): Monitoring auf der PV-Anlage Finow II und III. Zwischenbericht 2014. im Auftrag der S Quadrat Finow Tower Grundstücks GmbH & Co. KG. Hg. v. Leguan GmbH.
- Leguan GmbH (2015): Monitoring auf der PV-Anlage Finow II und III. Zwischenbericht 2015. im Auftrag der S Quadrat Finow Tower Grundstücks GmbH & Co. KG. Leguan GmbH.
- Leguan GmbH (2016a): Biologisches Monitoring zu Solarpark Fürstenwalde. Bericht 2015. im Auftrag von Trautmann Goetz Landschaftsarchitekten. Hg. v. Leguan GmbH. Berlin.
- Leguan GmbH (2016b): LEGUAN GMBH, 2016b: Monitoring der PV-Anlage Finow II und III. Abschlussbericht. im Auftrag der S Quadrat Finow Tower Grundstücks GmbH & Co. KG. Hg. v. Leguan GmbH.
- Leopoldina (2020): Globale Biodiversität in der Krise. Was können Deutschland und die EU dagegen tun? Dokumentationsband zu Diskussion Nr. 24. Stand: Mai 2020. Unter Mitarbeit von Detlev Drenckhahn, Henning Steinicke, Almut Arneth, Juliane Filser, Helmut Haberl, Bernd Hansjürgens et al. Hg. v. Nationale Akademie der

- Wissenschaften Leopoldina. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina. Halle (Saale) (Diskussion-on / Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina). Online verfügbar unter [https://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2020\\_Dokumentationsband\\_Biodiversitaetskrise.pdf](https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2020_Dokumentationsband_Biodiversitaetskrise.pdf), zuletzt geprüft am 14.03.2024.
- LGB (2024): BRANDENBURGVIEWER. Hg. v. Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB). Potsdam. Online verfügbar unter <https://bb-viewer.geobasis-bb.de/#>, zuletzt aktualisiert am 06.05.2024, zuletzt geprüft am 08.05.2024.
- LUBW (2018): Arten, Biotope, Landschaft. Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. 5., ergänzte und überarbeitete Auflage; 2.000 Exemplare. Hg. v. Landesanstalt für Um-welt Baden-Württemberg (LUBW). Karlsruhe.
- LUBW (2024): Insektenmonitoring. Hg. v. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). Online verfügbar unter <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/insektenmonitoring>, zuletzt aktualisiert am 23.07.2024, zuletzt geprüft am 23.07.2024.
- Lüdemann, Julia; Kleinhüchelkotten, Silke (2023): Beratung zu Biodiversität und Klimaschutz in der Landwirtschaft. Fokus: Flächenbezogenen Maßnahmen zur Förderung der Bio-diversität und zum Klimaschutz. ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung. Online verfügbar unter [https://www.ecolog-institut.de/wp-content/uploads/2023/02/Beratung-zu-Biodiversitaet-und-Klimaschutz-in-der-Landwirtschaft\\_2023.pdf](https://www.ecolog-institut.de/wp-content/uploads/2023/02/Beratung-zu-Biodiversitaet-und-Klimaschutz-in-der-Landwirtschaft_2023.pdf), zuletzt geprüft am 14.03.2024.
- Mahlerwein, Gunter (2022): Strukturwandel und Agrarentwicklung seit 1880. In: Bundeszentrale für politische Bildung 2020, 31.01.2022. Online verfügbar unter <https://www.bpb.de/themen/umwelt/landwirtschaft/316059/strukturwandel-und-agrarentwicklung-seit-1880/>, zuletzt geprüft am 14.03.2024.
- Malicky, Hans (2019): Vom Handwerk der Entomologie. 1. Aufl. 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1606477>.
- May, Helga (2024): Insekten im Klimawandel: Gute Zeiten für Sonnenanbeter. Hg. v. Naturschutzbund Deutschland e.V. Online verfügbar unter <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/insekten-und-spinnen/info/32996.html>, zuletzt aktualisiert am 30.07.2024, zuletzt geprüft am 30.07.2024.

- Mehlhorn, Heinz (2020): Zecken, Milben, Fliegen, Schaben. Schach dem Ungeziefer. Unter Mitarbeit von Birgit Mehlhorn. 4. Auflage 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6319917>.
- Metaver (2024): Naturräumliche Gliederung Brandenburg nach Scholz 1962. Hg. v. Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU Brandenburg). Metadaten Verbund (MetaVer). Online verfügbar unter [https://metaver.de/kartendienste;jsessionid=5D4A076FD2909EAA760B5C094CDBAC91?lang=de&topic=themen&bgLayer=sgx\\_geodatenzentrum\\_de\\_web\\_light\\_grau\\_EU\\_EPSG\\_25832\\_TOPP-LUS&layers=f3b4bd4a3c32007bc90991ef180c734a&E=768361.50&N=5820245.00&zoom=6](https://metaver.de/kartendienste;jsessionid=5D4A076FD2909EAA760B5C094CDBAC91?lang=de&topic=themen&bgLayer=sgx_geodatenzentrum_de_web_light_grau_EU_EPSG_25832_TOPP-LUS&layers=f3b4bd4a3c32007bc90991ef180c734a&E=768361.50&N=5820245.00&zoom=6), zuletzt aktualisiert am 2016, zuletzt geprüft am 07.05.2024.
- Meteostat (2024a): Heckelberg. Wetterrückblick & Klimadaten. Meteostat. Online verfügbar unter <https://meteostat.net/de/station/D7389?t=2024-04-18/2024-04-24>, zuletzt aktualisiert am 16.07.2024, zuletzt geprüft am 16.07.2024.
- MLUL Brandenburg (2019): Managementplanung Natura 2000 im Land Brandenburg. Hg. v. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MLUL Brandenburg). Stiftung NaturSchutzFonds Brandenburg. Potsdam.
- Montag; H.; G. Parker & T. Clarkson (2016): The Effects of Solar Farms on Local Biodiversity. Hg. v. Clarkson & Woods und Wychwood Biodiversity. Online verfügbar unter [https://www.farminguk.com/content/knowledge/Effects-of-Solar-Farms-on-Local-Biodiversity\(4654-8780-3868-4254\).pdf](https://www.farminguk.com/content/knowledge/Effects-of-Solar-Farms-on-Local-Biodiversity(4654-8780-3868-4254).pdf), zuletzt geprüft am 25.04.2024.
- NABU (2019): Die Feldlerche. Vogel des Jahres 2019. Hg. v. Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. und Landesbund für Vogelschutz in Bayern e.V. (LBV). Berlin, Hilpoltstein. Online verfügbar unter [https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/vogelschutz/vdj/nabu\\_vdj2019\\_broschuere\\_final-web.pdf](https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/vogelschutz/vdj/nabu_vdj2019_broschuere_final-web.pdf), zuletzt geprüft am 27.07.2024.
- NABU (2022): Solarparks naturverträglich ausbauen. Anforderungen des NABU an naturverträgliche Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Unter Mitarbeit von Michael Schaefer. Hg. v. Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V. Berlin.
- NABU (2024a): Grundsatzprogramm Offenland. Natur stärken, Klima schützen, Wirtschaft sichern. Hg. v. NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. Berlin. Online verfügbar unter

<https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/241019-nabu-grundsatzprogramm-offenland.pdf>, zuletzt geprüft am 05.04.2024.

NABU (2024b): Internationaler Tag des Artenschutzes - NABU Niedersachsen. Hg. v. Naturschutzbund Deutschland e.V. Naturschutzbund Deutschland e.V. Online verfügbar unter <https://niedersachsen.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/umweltpolitik/32992.html>, zuletzt aktualisiert am 15.03.2024, zuletzt geprüft am 15.03.2024.

Näthe, Kerstin (2019): Einfluss von atmosphärischen Stickstoffeinträgen auf die Biodiversität von Insekten in terrestrischen Ökosystemen. Eine Literaturrecherche. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-17\\_hgp\\_stickstoff\\_und\\_insekten\\_final\\_version\\_aenderungen\\_okay\\_ii.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-06-17_hgp_stickstoff_und_insekten_final_version_aenderungen_okay_ii.pdf), zuletzt geprüft am 21.07.2024.

Nentwig, Wolfgang (2010): Invasive Arten. Mit 9 Tabellen. 1. Aufl. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt (UTB-Profile, 3383). Online verfügbar unter <http://ifb.bsz-bw.de/bsz325076863rez-1.pdf>.

Parker, G. E.; McQueen, C. (2013): Can Solar Farms Deliver Significant Benefits for Biodiversity? Unpublished Report. Hg. v. Wychwood Biodiversity und Rowsell & McQueen. Online verfügbar unter <https://assets.lightsourcebp.com/app/uploads/2022/12/29220530/Solar-and-Biodiversity-Report-Parker-McQueen-2013d.pdf>, zuletzt geprüft am 25.04.2024.

Paulusch, Jan (2019): Militärische Landnutzung und Biodiversität. In: Studienarchiv Umweltgeschichte (24), S. 43–62. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/1197938494/34#page=43>, zuletzt geprüft am 15.03.2024.

Quaschnig, Volker (2021): Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Hintergründe - Techniken und Planung - Ökonomie und Ökologie - Energiewende. 6., aktualisierte Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary). Online verfügbar unter <https://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446468689>.

Raab, Bernd (2015): Erneuerbare Energien und Naturschutz – Solarparks können einen Beitrag zur Stabilisierung der biologischen Vielfalt leisten. Renewable energy and nature conservation – solar farms can contribute to the stabilization of biological diversity. In: AnliegenNatur (37 (1)), S. 67–76. Online verfügbar unter [https://www.zobodat.at/pdf/AnliegenNatur\\_37\\_1\\_2015\\_0067-0076.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/AnliegenNatur_37_1_2015_0067-0076.pdf), zuletzt geprüft am 25.04.2024.

- Rapool (2024): Lebensraum Raps – was fliegt denn da? -. Online verfügbar unter <https://www.rapool.de/anbau/zahlen-und-fakten/lebensraum-raps-was-fliegt-denn-da/>, zuletzt aktualisiert am 26.07.2024, zuletzt geprüft am 26.07.2024.
- Reise, Christian (2024): Maximale Erträge und höchste Zuverlässigkeit mit bifazialen PV-Modulen. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Freiburg. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/energiewende-digital/maximale-ertraege-und-hoechste-zuverlaessigkeit-mit-bifazialen-pv-modulen.html>, zuletzt aktualisiert am 24.04.2024, zuletzt geprüft am 24.04.2024.
- Reiter, Thomas (2005): Post Hoc Tests nach ANOVA Kruskal Wallis Friedman. Reutlingen. Online verfügbar unter [http://www.reiter1.com/Glossar/Post\\_Hoc\\_Test.htm](http://www.reiter1.com/Glossar/Post_Hoc_Test.htm), zu-letzt aktualisiert am 03.06.2018, zuletzt geprüft am 31.07.2024.
- Riedel, Judith; Niggli, Urs; Brühl, Carsten; Liess, Carsten; Schulz, Ralf; Altenburger, Rolf et al. (2020): Pflanzenschutz und Biodiversität in Agrarökosystemen. In: Berichte über Land-wirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft (1). DOI: 10.12767/BUEL.V98I1.272.
- Sauberer, Norbert; Moser, Dietmar; Grabherr, Georg 2008: Biodiversität in Österreich, Räumliche Muster und Indikatoren der Arten- und Lebensraumvielfalt. Zürich, Bristol-Stiftung, Bern, Stuttgart, Wien, Haupt, 313 S.
- Schlegel, Jürg (2021): Auswirkungen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf Biodiversität-tät und Umwelt. Unter Mitarbeit von Bundesamt für Energie (Hintz, Wieland), Rohrer, Jürg (ZHAW), Rupf, Reto (ZHAW) und Stickelberger, David (Swissolar). EnergieSchweiz. Ittingen, Bern.
- Schmitt, Michael (2022): Insektenwunderwelt - Einstieg in Die Entomologie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6874917>.
- Schöder, Stefan; Wider, Johanna (Hg.) (2014): Agrobiodiversität im Grünland nutzen und schützen. Tagungsband eines Symposiums am 12. und 13. November 2013 in Berlin. Berlin, 12.-13.11.2013. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Agrobio-diversität, 34).
- Schuch, Sebastian; Ludwig, Hella; Wesche, Karsten (2020): Erfassungsmethoden für ein Insektenmonitoring. Eine Materialsammlung. 565. Aufl. Bonn - Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (BfN-Skripten, 565).

- Settele, Josef; Kudrna, Otakar; Harpke, Alexander; Kühn, Ingolf; van Swaay, Chris; Verovnik, Rudi et al. (Hg.) (2008): Climatic Risk Atlas of European Butterflies. Biorisk 1. Bulgaria: Pensoft Publishers (1).
- Ssymank, Axel; Sorg, Martin; Doczkal, Dieter; Rulik, Björn; Merkel-Wallner, Gisela; Vischer-Leopold, Mareike (2018): Praktische Hinweise und Empfehlungen zur Anwendung von Malaisefallen für Insekten in der Biodiversitätserfassung und im Monitoring. In: Series Naturalis (1), S. 1–12.
- Statista (2024a): Durchschnittlicher Niederschlag pro Monat in Brandenburg von Juni 2023 bis Juni 2024 (in Liter pro Quadratmeter). Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/576836/umfrage/durchschnittlicher-niederschlag-pro-monat-in-brandenburg/>, zuletzt aktualisiert am 05.07.2024, zuletzt geprüft am 05.07.2024.
- Statista (2024b): Monatliche Durchschnittstemperatur in Deutschland von Juni 2023 bis Juni 2024. Hg. v. Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/5564/umfrage/monatliche-durchschnittstemperatur-in-deutschland/>, zuletzt aktualisiert am 05.07.2024, zuletzt geprüft am 05.07.2024.
- Statistisches Bundesamt (2022): Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html>, zuletzt aktualisiert am 20.09.2023, zuletzt geprüft am 05.04.2024.
- Statistisches Bundesamt (2023): Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland. Hg. v. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html>, zuletzt aktualisiert am 20.09.2023, zuletzt geprüft am 14.03.2024.
- Szamoski & Partner GbR (2019): Managementplan für das FFH-Gebiet Weesower Luch (Landesnr.: 612, EU-Nr.: 3348-301). Karte 3: Habitate und Fundorte der Arten des Anhang II FFH-Richtlinie. Berlin: MLUL Brandenburg. Online verfügbar unter [https://lfu.brandenburg.de/daten/n/natura2000/managementplanung/614/614\\_k3\\_Arten.pdf](https://lfu.brandenburg.de/daten/n/natura2000/managementplanung/614/614_k3_Arten.pdf), zuletzt geprüft am 24.05.2024.
- Thomas, Frank (2018): Grundzüge der Pflanzenökologie. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://www.springer.com/de/book/9783662541388>.

Torelli, Daniele (2024): FaunaPhotonics Biomeasure. FaunaPhotonics A/S.

UBA (2019a): Rapsglanzkäfer. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/rapsglanzkaefer#verhalten>, zuletzt aktualisiert am 26.07.2024, zuletzt geprüft am 26.07.2024.

UBA (2019b): Spinnen. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/spinnen#fortpflanzung>, zuletzt aktualisiert am 31.07.2024, zuletzt geprüft am 31.07.2024.

UBA (2019c): Stubenfliege. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/stubenfliege#fortpflanzung>, zuletzt aktualisiert am 26.07.2024, zuletzt geprüft am 26.07.2024.

UBA (2021a): Klima und Treibhauseffekt. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/klima-treibhauseffekt#grundlagen>, zuletzt aktualisiert am 08.04.2024, zuletzt geprüft am 08.04.2024.

UBA (2021b): Stickstoff. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/stickstoff#einfuehrung>, zuletzt aktualisiert am 19.03.2024, zuletzt geprüft am 19.03.2024.

UBA (2022a): Bodenerosion durch Wasser. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/bodenbelastungen/bodenerosion/bodenerosion-durch-wasser#wie-viel-boden-geht-in-deutschland-durch-wasser-verloren>, zuletzt aktualisiert am 04.04.2024, zuletzt geprüft am 04.04.2024.

UBA (2022b): Düngemittel. Unter Mitarbeit von Umweltbundesamt. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel#dungemittel-was-ist-das>, zuletzt aktualisiert am 19.03.2024, zuletzt geprüft am 19.03.2024.

UBA (2023a): Erneuerbare-Energien-Gesetz. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-gesetz#erfolg>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

UBA (2023b): Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/pflanzenschutzmittel-in-der-landwirtschaft>, zuletzt aktualisiert am 19.03.2024, zuletzt geprüft am 19.03.2024.

UBA (2023c): Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/photovoltaik/photovoltaik-freiflaechenanlagen#flacheninanspruchnahme-durch-photovoltaik-freiflaechenanlagen>, zuletzt aktualisiert am 23.04.2024, zuletzt geprüft am 23.04.2024.

UBA (2024a): Erneuerbare Energien in Zahlen. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>, zuletzt aktualisiert am 12.04.2024, zuletzt geprüft am 12.04.2024.

UBA (2024b): Gefährdung der Biodiversität. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/gefaehrdung-der-biodiversitaet>, zuletzt aktualisiert am 19.03.2024, zuletzt geprüft am 19.03.2024.

UBA (2024c): Grundlagen des Klimawandels. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/grundlagen-des-klimawandels>, zuletzt aktualisiert am 08.04.2024, zuletzt geprüft am 08.04.2024.

UBA (2024d): Primärenergieverbrauch. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/primaerenergieverbrauch#primaerenergieverbrauch-nach-energietragern>, zuletzt aktualisiert am 08.04.2024, zuletzt geprüft am 08.04.2024.

UBA (2024e): Übereinkommen von Paris. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/internationale-eu-klimapolitik/uebereinkommen-von-paris#ziele-des-ubereinkommens-von-paris-uvp>, zuletzt aktualisiert am 14.03.2024, zuletzt geprüft am 14.03.2024.

Wahl, Johannes; Dröschmeister, Rainer; Gerlach, Bettina; Grüneberg, Christoph; Langgemach, Torsten; Trautmann, Sven; Sudfeldt, Christoph (2014): Vögel in Deutschland. Münster: Dachverband Deutscher Avifaunisten.

Walz, Ulrich; Meinel, Gotthard; Göhler, Laura; Krüger, Tobias; Schinke, Ulrike (2022): Freiflächen-Photovoltaik in Deutschland. Hg. v. Naturschutz und Landschaftsplanung

(12). Online verfügbar unter <https://www.nul-online.de/magazin/archiv/article-7312952-202007/freiflaechen-photovoltaik-in-deutschland-.html>, zuletzt aktualisiert am 23.04.2024, zuletzt geprüft am 23.04.2024.

Welti, Ellen A. R.; Zajicek, Petr; Frenzel, Mark; Ayasse, Manfred; Bornholdt, Tim; Buse, Jörn et al. (2022): Temperature drives variation in flying insect biomass across a German malaise trap network. In: *Insect Conserv Diversity* 15 (2), S. 168–180. DOI: 10.1111/icad.12555.

Wesselak, Viktor; Voswinckel, Sebastian (2016): *Photovoltaik. Wie Sonne zu Strom wird*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer (Technik im Fokus). Online verfügbar unter <http://www.blickinsbuch.de/item/1d5afcdcffdc99cdf6ece798dcf710ac>.

Wingender, Ruth; Weddeling, Klaus; Beinlich, Burkhard; Hill, Benjamin; Köstermeyer, Klaus (2002): Die Bedeutung der landwirtschaftlichen Nutzung für die Vielfalt wildlebender Tiere und Pflanzen in Deutschland. Hg. v. Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. Bonn. Online verfügbar unter [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41180793/Die\\_Bedeutung\\_der\\_landwirtschaftlichen\\_N20160114-7235-j7zy70.pdf20160115-19908-rukp24-libre.pdf?1452849163=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDie\\_Bedeutung\\_der\\_landwirtschaftlichen\\_N.pdf&Expires=1711620454&Signature=LHMq0JWVu8EQdZWXe9U4xB7QcKHIsZuAVbl-EmjUzIR81bTw83KErv2Vw9RluK-DqC32SBnE0tfuWGP0N7IkjA6m0KyN-hlcVlct1BwiJxyslvVrNIbeQAS4iC5RQQpxbZOL1T~1pufnztDx8R6VuUHvQqYxgl-Eid4rot-nUqHp78UD9rKymRoLSd8NgbcSN1xajko2KtaQwqcurCP2C6ny0lXLigGtDkhQjy861NYkWrXuom-q7MFg2qDGAzUH4lidd4Mqbj-gtTCToFjSxgUZtNBu68xnpjAD-SoBqE-mrlztZPpGSXCZNUVX7WSZdsHuGYiyZTT9inCznwBSGTw\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/41180793/Die_Bedeutung_der_landwirtschaftlichen_N20160114-7235-j7zy70.pdf20160115-19908-rukp24-libre.pdf?1452849163=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDie_Bedeutung_der_landwirtschaftlichen_N.pdf&Expires=1711620454&Signature=LHMq0JWVu8EQdZWXe9U4xB7QcKHIsZuAVbl-EmjUzIR81bTw83KErv2Vw9RluK-DqC32SBnE0tfuWGP0N7IkjA6m0KyN-hlcVlct1BwiJxyslvVrNIbeQAS4iC5RQQpxbZOL1T~1pufnztDx8R6VuUHvQqYxgl-Eid4rot-nUqHp78UD9rKymRoLSd8NgbcSN1xajko2KtaQwqcurCP2C6ny0lXLigGtDkhQjy861NYkWrXuom-q7MFg2qDGAzUH4lidd4Mqbj-gtTCToFjSxgUZtNBu68xnpjAD-SoBqE-mrlztZPpGSXCZNUVX7WSZdsHuGYiyZTT9inCznwBSGTw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA), zuletzt geprüft am 28.03.2024.

Wirth, Harry (2024): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Hg. v. Fraunhofer ISE. Freiburg.

Witt, Harald (2001): Forschungsstrategien bei quantitativer und qualitativer Sozialforschung [36 Absätze. [36 Absätze]. 2(1). *Forum Qualitative Sozialforschung*. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs010189>.

Wittig, Rüdiger; Niekisch, Manfred (Hg.) (2014): *Biodiversität: Grundlagen, Gefährdung, Schutz*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Zimmermann, Klaus (2012): Die Märzfliege – Eigentlich eine Mückenart. Hg. v. inatura Erlebnis Naturschau GmbH. Online verfügbar unter [https://www.inatura.at/fileadmin/www.inatura.at/Fachberatung/Merkblaetter\\_Tiere/Merkblatt-Maerzfliege.pdf](https://www.inatura.at/fileadmin/www.inatura.at/Fachberatung/Merkblaetter_Tiere/Merkblatt-Maerzfliege.pdf), zuletzt geprüft am 26.07.2024.

Zou, Yi; Feng, Jinchao; Xue, Dayuan; Sang, Weiguo; Axmacher, Jan C. (2012): A Comparison of Terrestrial Arthropod Sampling Methods. In: *Journal of Resources and Ecology* 3 (2), S. 174–182. DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2012.02.010.

## Gesetzesnachweise

Bundesartenschutzverordnung vom 16. Februar 2005 (BGBl. I S. 258, 896), die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 21. Januar 2013 (BGBl. I S. 95) geändert worden ist

Bundesgesetzblatt Jahrgang 2016 Teil II Nr. 26, ausgegeben zu Bonn am 30. September 2016

Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert worden ist

Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 8. Mai 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 151) geändert worden ist

RICHTLINIE 92/43/EWG DES RATES vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen

RICHTLINIE 2009/147/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. November 2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten

Kohleausstiegsgesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1818), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 19. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2479) geändert worden ist

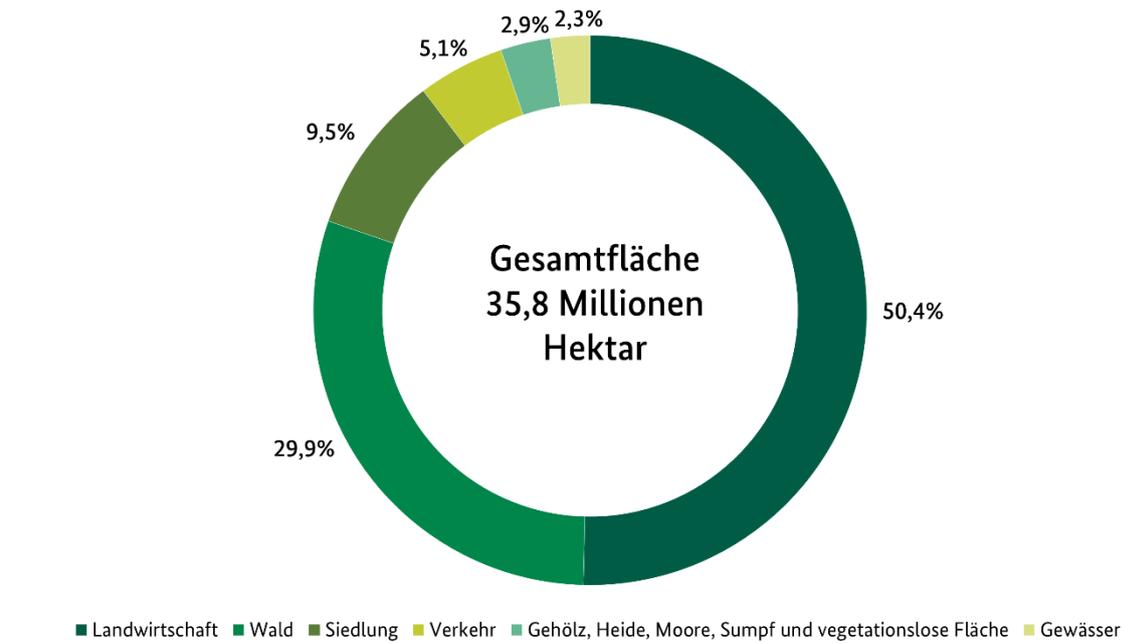
## Abbildungsnachweise

- Hörren, Thomas; Bodingbauer, Sven; Bourlat, Sarah; Grüneberg, Christoph; Kaiser, Matthias; Kiel, Ernst-Friedrich et al. (2023): Monitoring der Biodiversität flugaktiver Insekten in NRW. Ergebnisse und Perspektiven aus der Kooperation des Entomologischen Vereins Krefeld mit dem Land Nordrhein-Westfalen. In: *Natur in NRW* (3), S. 17–21. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/375825074\\_Monitoring\\_der\\_Biodiversitat\\_flugaktiver\\_Insekten\\_in\\_NRW](https://www.researchgate.net/publication/375825074_Monitoring_der_Biodiversitat_flugaktiver_Insekten_in_NRW), zuletzt geprüft am 24.07.2024.
- Kühl, Lars (2010): Solare Stromerzeugung – Photovoltaik. In: Matthias Kramer und Sigmar Gabriel (Hg.): *Integratives Umweltmanagement. Systemorientierte Zusammenhänge zwischen Politik, Recht, Management und Technik*. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler, S. 563–585.
- Kwak, Manja M.; Velterop, Odilia; van Andel, Jelte (1998): Pollen and gene flow in fragmented habitats. In: *Applied Vegetation Science* 1 (1), S. 37–54. DOI: 10.2307/1479084.
- Walz, Ulrich; Meinel, Gotthard; Göhler, Laura; Krüger, Tobias; Schinke, Ulrike (2022): Freiflächen-Photovoltaik in Deutschland. Hg. v. *Naturschutz und Landschaftsplanung* (12). Online verfügbar unter <https://www.nul-online.de/magazin/archiv/article-7312952-202007/freiflaechen-photovoltaik-in-deutschland-.html>, zuletzt aktualisiert am 23.04.2024, zuletzt geprüft am 23.04.2024.
- AGEB (2024): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2023. Hg. v. AG Energiebilanzen e.V. AG Energiebilanzen e.V. Berlin. Online verfügbar unter [https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2024/04/AGEB\\_Jahresbericht2023\\_20240403\\_dt.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2024/04/AGEB_Jahresbericht2023_20240403_dt.pdf), zuletzt geprüft am 11.04.2024.
- BMEL (2023): Allgemeines zur Bodennutzung. Hg. v. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/bodennutzung-und-pflanzliche-erzeugung/allgemeines-zur-bodennutzung>, zuletzt aktualisiert am 05.04.2024, zuletzt geprüft am 05.04.2024.

## 8 Anhang

### Anhang 1: Nutzung der Gesamtfläche Deutschland (BMEL 2023)

#### Nutzung der Gesamtfläche Deutschlands 2022



Quelle: Statistisches Bundesamt: Genesis-Online 33111; BMEL (723).

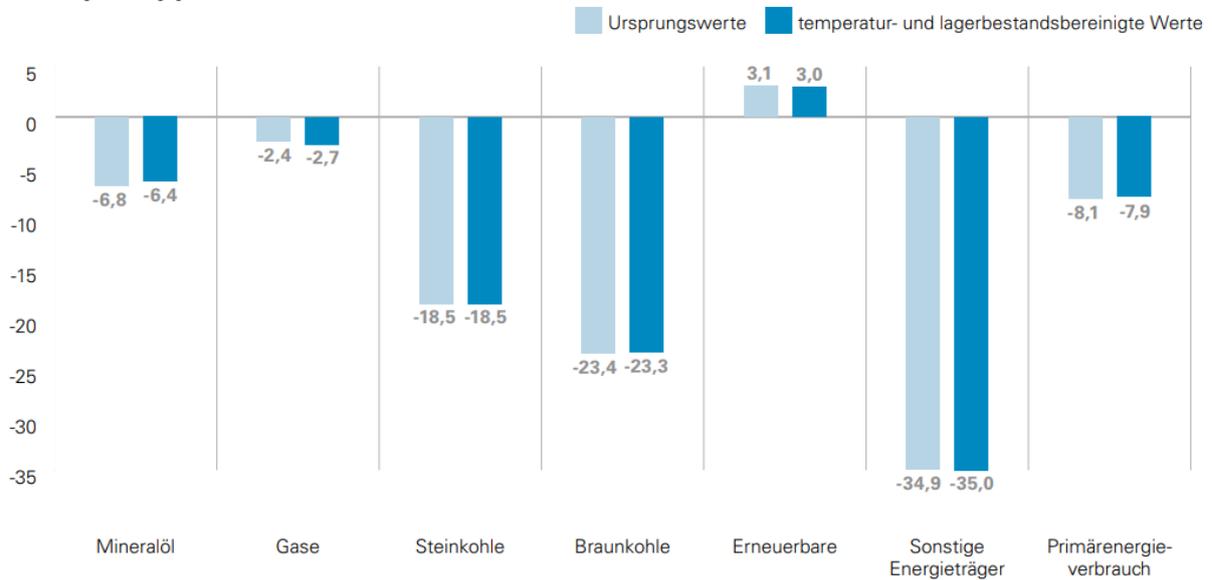
## Anhang 2: Primärenergieverbrauch 2023 (AGEB 2024)

Abbildung 2

AGEB  
AG Energiebilanzen e.V.

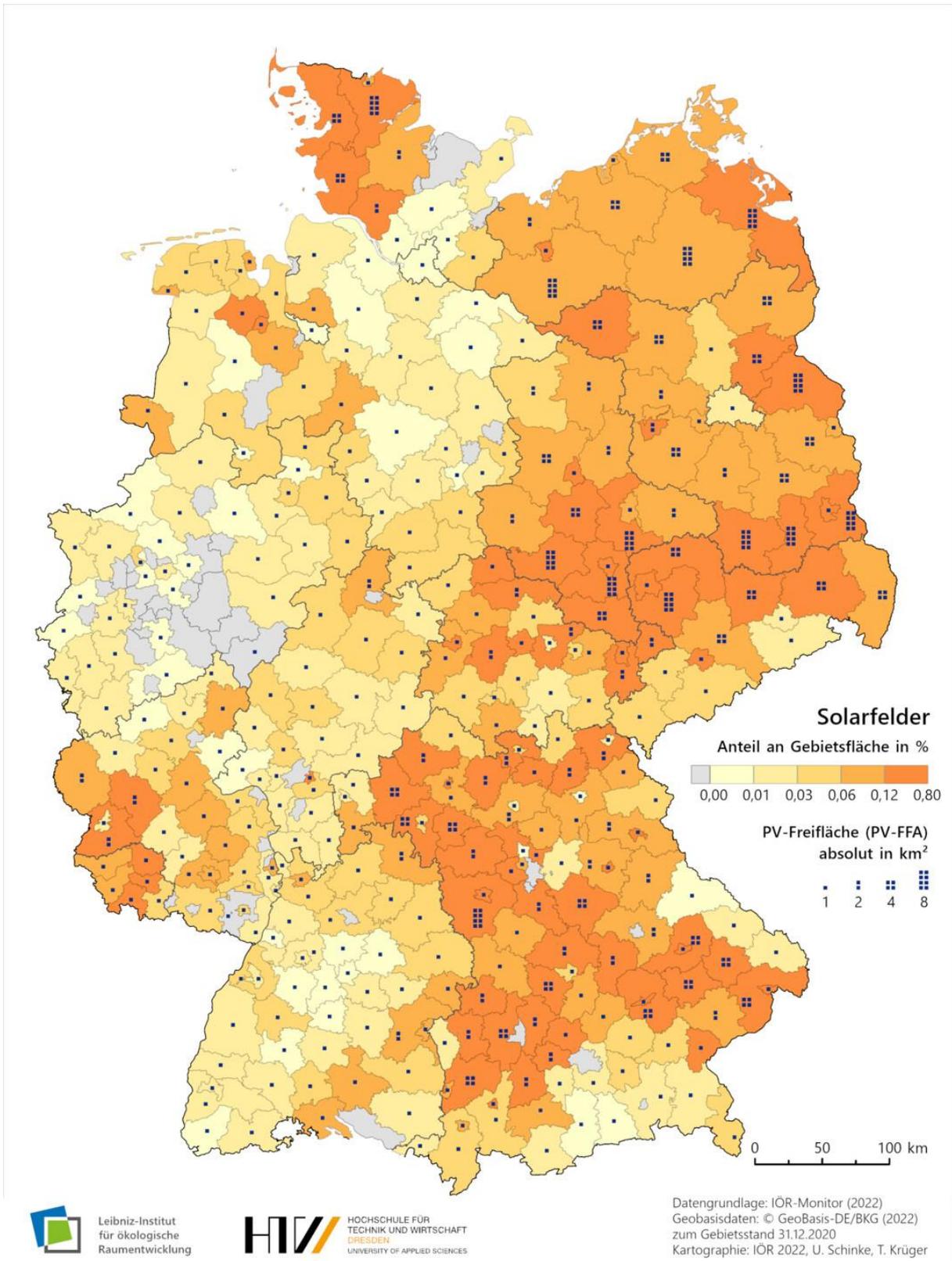
### Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Energieträgern

Veränderungen 2023 gegenüber 2022 in %

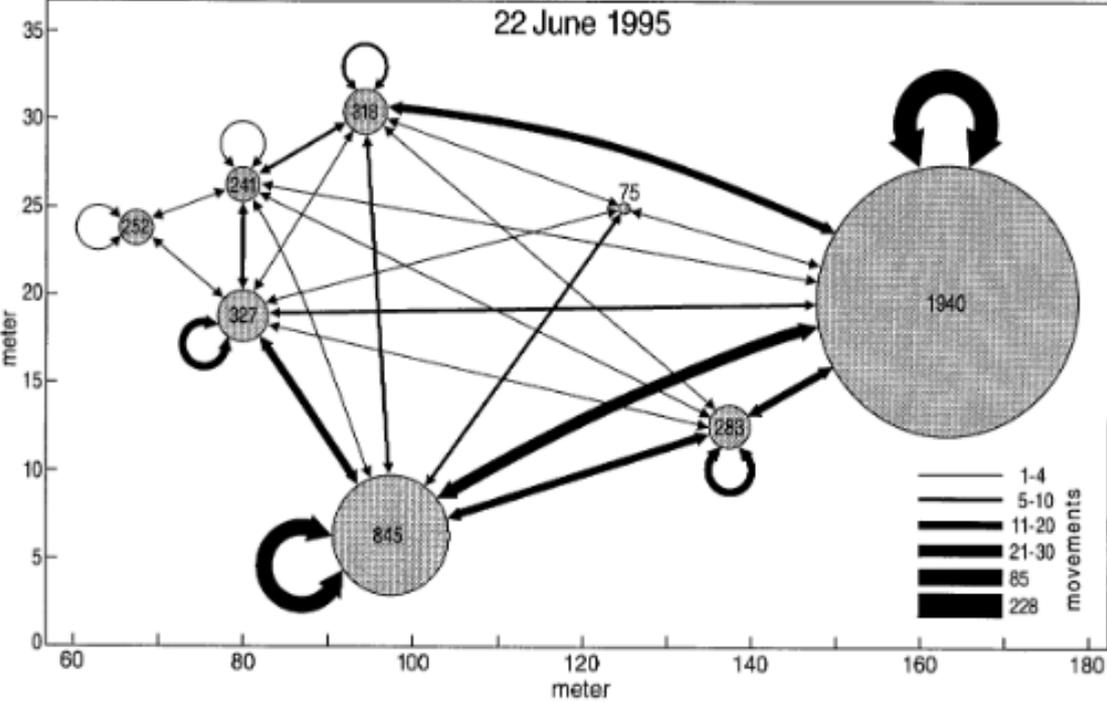


Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Deutscher Wetterdienst

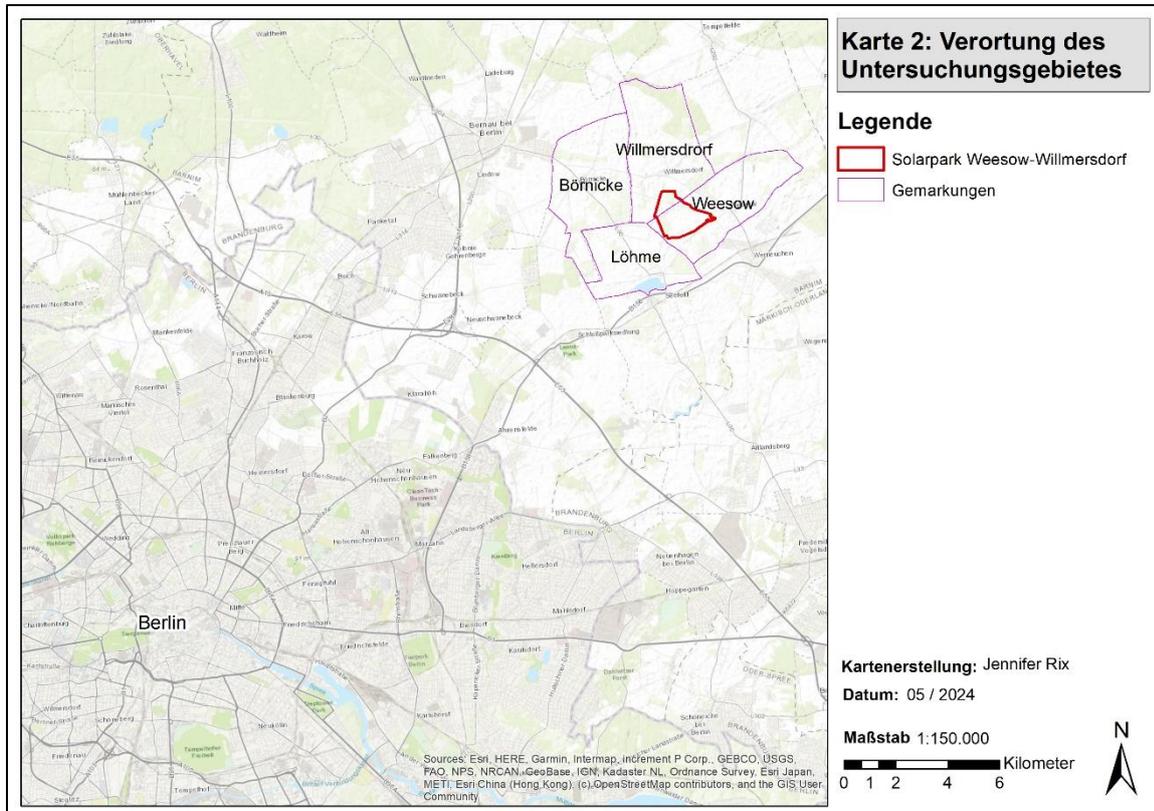
### Anhang 3: Freiflächen-Photovoltaikanlagen in Deutschland (Walz et al. 2022)



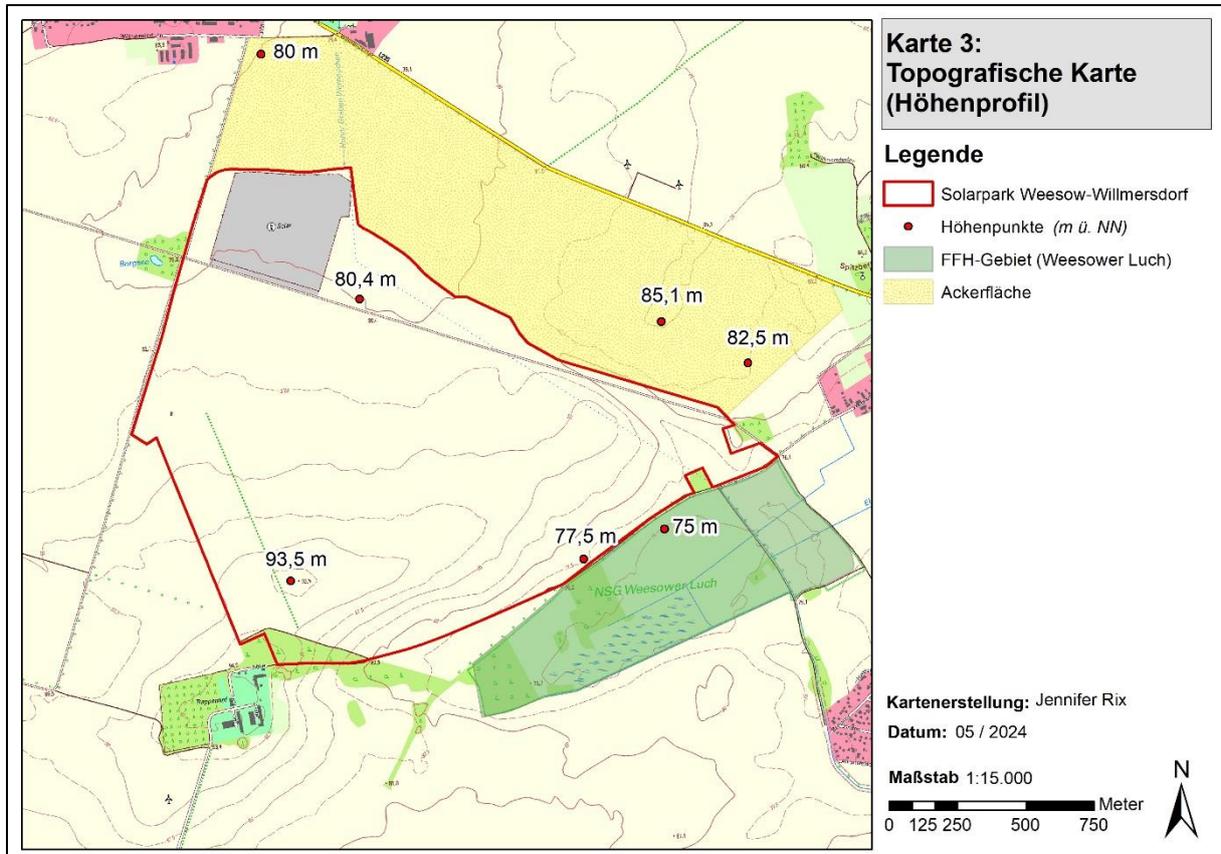
**Anhang 4:** Bewegungsaktivität markierter Hummeln (Juni 1995) (Kwak et al. 1998)



**Anhang 5: Karte2: Übersichtskarte, (Eigene Darstellung mit Datenbezug der Hintergrundkarte über Esri (ArcGIS))**



**Anhang 6: Karte3: Topografische Karte (Eigene Darstellung mit Datenbezug der Hintergrundkarte über Esri (ArcGIS) und (LGB 2024)**



## Anhang 7: Bilddokumentation Standort 1: Solarpark Zentrum West

Bilddokumentation (Eigene Aufnahmen)		
<p>Blickrichtung Norden 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Osten 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Südosten 14.5.2024</p> 
<p>Blickrichtung Süden 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung West 14.5.2024</p> 	<p>Blickrichtung Nordwesten 14.5.2024</p> 

## Anhang 8: Bilddokumentation Standort 2: Solarpark Zentrum Ost

<b>Bilddokumentation (Eigene Aufnahmen)</b>		
<p>Blickrichtung Norden 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Osten 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Süden 17.4.2024</p> 
<p>Blickrichtung Südwesten 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Nordwesten 17.4.2024</p> 	

## Anhang 9: Bilddokumentation Standort 3: Wildtierkorridor

Bilddokumentation (Eigene Aufnahmen)		
<p>Blickrichtung Nordwesten 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Nordost 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Süden 17.4.2024</p> 
<p>Blickrichtung Nordwest 17.4.2024</p> 	<p>Südöstliche Blickrichtung auf den Wildkorridor aus Sicht des Aussichtspunktes (B03-05) 17.4.2024</p> 	

## Anhang 10: Bilddokumentation Standort 4: Solarpark Zentrum Rand

<b>Bilddokumentation (Eigene Aufnahmen)</b>		
<p>Blickrichtung Norden 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Nordosten 14.5.2024</p> 	<p>Blickrichtung Osten 14.5.2024</p> 
<p>Blickrichtung Süden 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Südwesten 14.5.2024</p> 	<p>Blickrichtung Westen 14.5.2024</p> 

## Anhang 11: Bilddokumentation Standort 5: Rapsacker

Bilddokumentation (Eigene Aufnahmen)		
<p>Blickrichtung Norden 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Osten 14.5.2024</p> 	<p>Blickrichtung Südosten 14.5.2024</p> 
<p>Blickrichtung Süden 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Nordwesten 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Nordwest 14.5.2024</p> 
<p>Blickrichtung Südwest 14.5.2024</p> 	<p>Blickrichtung West 14.5.2024</p> 	<p>Südlicher Ackerrandstreifen 14.5.2024</p> 

## Anhang 12: Bilddokumentation Standort 6: FFH-Gebiet „Weesower Luch“

Bilddokumentation (Eigene Aufnahmen)		
<p><i>Veronica chamaedrys</i> und <i>Cerastium holosteoides</i> 14.5.2024</p> 	<p><i>Ranunculus acris</i> 14.5.2024</p> 	<p><i>Trifolium campreste</i> 14.5.2024</p> 
<p>Blickrichtung Norden 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Osten 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Osten 14.5.2024</p> 
<p>Blickrichtung Süden 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Nordwesten 17.4.2024</p> 	<p>Blickrichtung Nordwesten 14.5.2024</p> 

## Anhang 13: ANOVA und Post-hoc nach Scheffé (erste Forschungsfrage) – Datenübersicht

ZUSAMMENFASSUNG						
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz		
Zentrum West	74	98926	1336,837838	3388600,631		
Zentrum Ost	74	122967	1661,716216	2554300,644		
Wildtierkorridor	74	69293	936,3918919	1905742,406		
Rand	74	52804	713,5675676	479178,3036		
Rapsacker	74	199122	2690,837838	4304237,754		
FFH-Gebiet	74	53184	718,7027027	553630,4036		
ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	212346499,6	5	42469299,91	19,32517727	2,13569E-17	2,234594292
Innerhalb der Gruppen	962555380,4	438	2197615,024			
Gesamt	1174901880	443				

ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	212346499,6	5	42469299,91	19,32517727	<b>2,13569E-17</b>	2,234594292
Innerhalb der Gruppen	962555380,4	438	2197615,024			
Gesamt	1174901880	443				

**Kritischer Scheffe-Wert = df (zwischen den Gruppen) \* kritischer F-Wert**

$$= 5 * 2,234594292$$

$$= 11,1729715$$

**Weitere Berechnung** nachfolgender Formel:

$$F_s = \frac{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)^2}{MS \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

Es gilt die Bedingung:  $F_s > \text{kritischer Scheffe-Wert} = \text{signifikanter Unterschied}$

Beziehungen		Zähler	Nenner	Fs	Kritischer Scheffe-Wert
West	Ost	105545,961	59395,0006	1,78	11,2
West	Korridor	160356,956	59395,0006	2,70	11,2
West	Rand	388465,83	59395,0006	6,54	11,2
West	Acker	1833316	59395,0006	30,87	11,2
West	FFH	382091,045	59395,0006	6,43	11,2
Ost	Korridor	526095,375	59395,0006	8,86	11,2
Ost	Rand	898985,86	59395,0006	15,14	11,2
Ost	Acker	1059091,31	59395,0006	17,83	11,2
Ost	FFH	889274,487	59395,0006	14,97	11,2
Korridor	Rand	49650,6795	59395,0006	0,84	11,2
Korridor	Acker	3078080,58	59395,0006	51,82	11,2
Korridor	FFH	47388,5831	59395,0006	0,80	11,2
Rand	Acker	3909597,72	59395,0006	65,82	11,2
Rand	FFH	26,3696129	59395,0006	0,00	11,2
Acker	FFH	3889316,99	59395,0006	65,48	11,2

## Anhang 14: Gesamtaktivität – Berechnungsgrundlage tageszeitliche Aktivitäten

Datum	Solarpark Zentrum West	Solarpark Zentrum Ost	Solarpark Wildtierkorridor	Solarpark Rand Ost	Rapsacker	FFH-Gebiet
<b>April</b>						
18.04.2024	477	531	1864	879	3094	786
19.04.2024	1	0	0	0	1	0
20.04.2024	13	30	6	116	239	104
21.04.2024	8	60	101	151	765	299
22.04.2024	0	0	0	0	0	21
23.04.2024	946	329	986	266	1711	768
24.04.2024	28	59	33	30	263	269
25.04.2024	594	240	513	287	1308	980
26.04.2024	4299	866	921	1471	5468	3216
27.04.2024	9544	1088	3476	2139	5389	4637
28.04.2024	6463	2295	3796	1216	5055	2761
29.04.2024	4136	558	1714	729	1543	372
30.04.2024	5517	1529	2789	997	3007	1361
<b>Mai</b>						
01.05.2024	2897	3126	1976	1089	4015	1591
02.05.2024	3956	3673	1959	2194	7271	1104
03.05.2024	7427	1829	4673	1899	7809	1719
04.05.2024	1799	381	1198	813	2866	216
05.05.2024	3612	660	901	2254	9167	931
06.05.2024	4351	3589	2462	3783	8577	340
07.05.2024	1407	343	334	1184	4593	93
08.05.2024	1875	1382	1014	1416	6524	135
09.05.2024	2198	2070	2328	1059	7169	244
10.05.2024	3355	3131	2474	1123	3599	398
11.05.2024	1619	1176	9397	626	1902	105
12.05.2024	307	1176	361	798	4582	97
13.05.2024	610	1383	255	1215	7223	208
14.05.2024	681	1153	281	1413	4803	220
15.05.2024	180	662	92	512	1748	116
16.05.2024	240	943	187	360	1681	222
17.05.2024	835	761	246	705	1129	394
18.05.2024	281	972	292	1129	1524	444
19.05.2024	725	1081	297	584	1536	516
20.05.2024	1087	1750	254	238	966	569
21.05.2024	977	965	128	326	3012	488
22.05.2024	2440	2633	2172	1829	3967	1698
23.05.2024	234	847	535	1252	3718	593
24.05.2024	945	533	319	533	1962	445
25.05.2024	404	810	306	258	1719	622
26.05.2024	417	2217	593	489	1926	900
27.05.2024	396	1977	312	410	1958	776

28.05.2024	136	1327	170	300	655	484
29.05.2024	359	1137	391	219	1533	806
30.05.2024	1653	1535	1673	300	1953	1113
31.05.2024	230	613	265	414	1876	810
<b>Juni</b>						
01.06.2024	209	509	206	307	775	263
02.06.2024	567	1673	962	558	1280	308
03.06.2024	68	443	60	157	369	81
04.06.2024	631	2620	406	259	2347	1422
05.06.2024	884	2549	1015	176	1767	596
06.06.2024	288	1227	336	352	1962	772
07.06.2024	118	1127	343	316	1586	752
08.06.2024	355	2631	413	497	1788	1234
09.06.2024	176	2919	240	205	1029	481
10.06.2024	189	3877	243	160	722	318
11.06.2024	298	754	318	37	340	62
12.06.2024	122	603	158	112	663	321
13.06.2024	146	2060	387	291	1628	310
14.06.2024	128	2154	117	132	746	230
15.06.2024	389	2722	483	368	1835	432
16.06.2024	418	4334	459	315	3111	629
17.06.2024	531	9759	547	473	2114	576
18.06.2024	2753	8483	1766	2740	3288	1735
19.06.2024	166	2354	176	230	789	264
20.06.2024	395	1845	501	1122	2715	470
21.06.2024	960	2415	486	498	2034	394
22.06.2024	2482	1070	377	882	3052	382
23.06.2024	505	1332	755	489	2646	306
24.06.2024	533	1793	647	672	3206	935
25.06.2024	678	1851	348	373	2677	986
26.06.2024	481	1248	293	300	2179	698
27.06.2024	947	1106	368	388	2921	1156
28.06.2024	740	1433	495	417	3461	1168
29.06.2024	882	517	396	310	2246	680
30.06.2024	2228	2139	1948	663	3040	1252

## Anhang 15: Biomasse – Datenübersicht

Datum	Zentrum West	Zentrum Ost	Wildtierkorridor	Rand	Rapsacker	FFH-Gebiet
<b>22.04.2024</b>	243,49971	191,80267	227,77662	198,20356	591,84033	135,86851
<b>29.04.2024</b>	2241,69116	759,2517	1265,72346	764,10239	2742,33976	1151,05563
<b>06.05.2024</b>	2408,0614	1098,93318	1319,23446	984,94335	3158,5531	677,47289
<b>13.05.2024</b>	1368,54752	1147,09023	906,42493	947,77889	3075,50876	172,20911
<b>20.05.2024</b>	364,92325	555,02011	189,45959	651,50107	1657,7378	258,83222
<b>27.05.2024</b>	714,85999	1046,83899	623,92138	562,17206	2033,87134	815,41253
<b>03.06.2024</b>	506,82735	814,70537	575,45329	268,37878	1242,58791	623,29605
<b>10.06.2024</b>	355,63234	1256,25481	403,80435	243,90044	1386,46221	724,65719
<b>17.06.2024</b>	232,39853	1445,79018	289,22032	156,79995	1054,86208	329,38291
<b>24.06.2024</b>	1401,59377	2570,56692	677,64807	716,64251	2243,99068	670,35601
<b>01.07.2024</b>	807,76556	1068,5144	696,94896	370,16463	2152,36776	873,57446
Summe	10.645,80	11.954,77	7.175,62	5.864,59	21.340,12	6.432,12

## Anhang 16: Biodiversität – Datenübersicht

Datum	Zentrum West	Zentrum Ost	Wildtierkorridor	Rand	Rapsacker	FFH-Gebiet
<b>22.04.2024</b>	0,63	0,61	0,66	0,61	0,59	0,63
<b>29.04.2024</b>	0,60	0,63	0,62	0,59	0,62	0,70
<b>06.05.2024</b>	0,64	0,67	0,65	0,61	0,61	0,76
<b>13.05.2024</b>	0,61	0,65	0,62	0,60	0,61	0,69
<b>20.05.2024</b>	0,65	0,69	0,70	0,59	0,64	0,68
<b>27.05.2024</b>	0,74	0,75	0,78	0,76	0,72	0,76
<b>03.06.2024</b>	0,78	0,74	0,77	0,75	0,72	0,75
<b>10.06.2024</b>	0,78	0,69	0,76	0,74	0,72	0,67
<b>17.06.2024</b>	0,77	0,65	0,75	0,75	0,74	0,66
<b>24.06.2024</b>	0,77	0,70	0,79	0,81	0,77	0,75
<b>01.07.2024</b>	0,81	0,80	0,80	0,77	0,77	0,79
<b>08.07.2024</b>	0,81	0,79	0,79	0,81	0,71	0,66
<b>15.07.2024</b>	0,81	0,80	0,76	0,77	0,77	0,75

## Anhang 17: Biodiversität – Durchschnittliches Gewicht - Datenübersicht

Durchschnittliches Gewicht = Masse in der Woche / Aktivität in der Woche

Datum	Zentrum West	Zentrum Ost	Wildtierkorridor	Rand	Rapsacker	FFH-Gebiet
22.04.2024	0,49	0,31	0,12	0,17	0,14	0,11
29.04.2024	0,09	0,14	0,11	0,12	0,13	0,09
06.05.2024	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09
13.05.2024	0,12	0,11	0,06	0,13	0,09	0,13
20.05.2024	0,09	0,08	0,11	0,13	0,12	0,10
27.05.2024	0,12	0,10	0,14	0,11	0,11	0,15
03.06.2024	0,16	0,11	0,15	0,12	0,15	0,16
10.06.2024	0,13	0,07	0,13	0,12	0,12	0,13
17.06.2024	0,11	0,06	0,12	0,09	0,10	0,13
<b>Mittelwert</b>	0,16	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12
<b>Standardabweichung</b>	0,12	0,07	0,03	0,03	0,02	0,02
Median	0,12	0,10	0,12	0,12	0,12	0,13
Min.	0,08	0,06	0,06	0,08	0,07	0,09
Max.	0,49	0,31	0,15	0,17	0,15	0,16

## Anhang 18: ANOVA und Post-hoc nach Scheffé (zweite Forschungsfrage) – Datenübersicht

ZUSAMMENFASSUNG				
Gruppen	Anzahl	Summe	Mittelwert	Varianz
Zentrum West	74	98926	1336,83784	3388600,63
Zentrum Ost	74	122967	1661,71622	2554300,64
Rand	74	52804	713,567568	479178,304

ANOVA						
Streuungsursache	Quadratsummen (SS)	Freiheitsgrade (df)	Mittlere Quadratsumme (MS)	Prüfgröße (F)	P-Wert	kritischer F-Wert
Unterschiede zwischen den Gruppen	34360608,7	2	17180304,4	8,02557994	<b>0,00043286</b>	3,0370876
Innerhalb der Gruppen	468811809	219	2140693,19			
Gesamt	503172418	221				

**Kritischer Scheffe-Wert** = df (zwischen den Gruppen) \* kritischer F-Wert  
 = 2 \* 3,037087599  
 = 6,074175197

**Weitere Berechnung** nachfolgender Formel:

$$F_s = \frac{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)^2}{MS \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

Es gilt die Bedingung:  $F_s >$  kritischer Scheffe-Wert = signifikanter Unterschied

		Zähler	Nenner	Fs	Kritischer Scheffe-Wert
West	Ost	105545,961	57856,5728	1,82426915	6,08
West	Rand	388465,83	57856,5728	6,71429038	6,08
Ost	Rand	898985,86	57856,5728	15,5381803	6,08

# Anhang 19: zusammenfassendes Poster (in digitaler Form beigefügt)

## Überprüfung des ökologischen Mehrwertes von Freiflächen-Photovoltaikanlagen für die Biodiversität anhand eines KI-gestützten automatisierten Monitoringsystems

Masterarbeit von Jennifer Rix in Zusammenarbeit mit der EnBW Energie Baden-Württemberg AG

### Problemstellung<sub>1</sub>

Globales Ausmaß der Insektenrückgänge ist aufgrund schlechter Datenlage bisher unbekannt, der massive Rückgang ist jedoch unumstritten.

→ **Folgen:** Verlust der genetischen Vielfalt und existenzieller Ökosystemdienstleistungen



Abb. 1: Schafsbeweidung im Solarpark Weesow-Willmersdorf (J. Rix 2024)

### Problemlösung<sub>2</sub>

- Zusammendenken von Klima- und Naturschutz
- gut durchdachte Biodiversitätskonzepte für Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen
- angepasstes Pflegekonzept ohne Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln
- Schaffen von beruhigten, heterogenen Lebensräumen
- Entwicklung artenreicher Flora und Fauna mit Chance auf Quellpopulationen

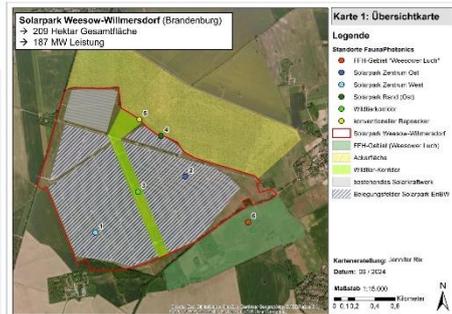
### Forschungsfragen

1. Profitieren Fluginsekten durch Förderungsmaßnahmen der Artenvielfalt auf Freiflächen-Photovoltaikanlagen, wenn diese auf ehemaligen Ackerstandorten entstehen?
2. Herrscht in zentralen Bereichen einer großflächig angelegten Freiflächen-Photovoltaikanlage eine höhere Fluginsekten-dichte als im Randbereich der Freiflächen Photovoltaikanlagen?
3. Ist der technische Nachweis von Biodiversität anhand der angewandten Technik möglich?

### Hypothesenformulierung

- H1: Die Aktivität der Fluginsekten ist auf der Freiflächen-Photovoltaikanlage größer als auf dem konventionell bewirtschafteten Rapsacker.
- H2: In den zentralen Bereichen der großen Freiflächen-Photovoltaikanlage ist die Aktivität der Fluginsekten höher als in den Randbereichen.

Abb. 2: Übersichtskarte Solarpark Weesow-Willmersdorf (Eigene Darstellung, Hintergrundkarte über Earth)



### Methodik

Datenerfassung  
eVolito 2.0 Fauna Photonics



- LED-Module Infrarot-Bereich: 810 nm, IR-A, kurzzeitig
- Elektrisches Feld / Erfassungsbereich Fluginsekten
- Sensorkabel

KI-gestützte Auswertung  
Vergleich mit hinterlegten Flügelschlagfrequenzen

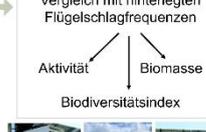


Abb. 3-6: FaunaPhonics-Messgeräte im Solarpark (J. Rix 2024)

Frage 1 + 2:  
Statistische Hypothesenprüfung anhand einfaktoriereller Varianzanalyse + grafische Auswertung

Frage 3  
Validierung durch Methodenvergleich

### Ergebnisse



Abb. 4: erfasste Fluginsekten-Aktivitäten (FA) über den gesamten Messzeitraum (Eigene Darstellung)



Abb. 5: Durch Fluginsekten verfügbare Biomasse (Summe zum Ende des Messzeitraumes) (Eigene Darstellung)



Abb. 5-6: Biodiversitätsindex (BI) und Durchschnittsgewicht (Eigene Darstellung)

- ✗ H1: Aktivitäten Rapsacker > Aktivitäten Solarpark
- ✓ H2: Die Aktivitäten zentrale Solarpark-Bereiche > Rand

### Akkumuliert

- 5: 199.570 FA
- 2: 120.718 FA
- 1: 100.452 FA
- 3: 60.301 FA
- 6: 53.195 FA
- 4: 52.948 FA

### Validierung

Kriterium	Fauna Photonics	Malaise-Fallen <sub>3</sub>
Lebendnachweis	✓	✗
Artendifferenzierung	✗	✓
Nachterfassungen	✗	✓
Langzeiterfassung	✓	✓
Personalaufwand	gering	hoch
Kosten	hoch	sehr hoch

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Messtechnik mit einer herkömmlichen Fluginsekten-Erfassungsmethode

### Diskussion und Fazit

Gründe für höhere Aktivitäten auf dem Rapsacker können eine erhöhte Lockwirkung (Geruch und Farbe) in der Vollblüte, vorhandene Gehölzstrukturen im näheren Umfeld oder die durch die hochwüchsigen Pflanzen vor dem Sensor positionierten Blüten sein. Die Beweidungszyklen innerhalb des Solarparks sowie die Anwesenheit insektenfressender Tierarten (z.B. hohe Feldlerchen-Dichte) scheinen die Insektenaktivität zu beeinflussen. Es können Aussagen zur Nahrungverfügbarkeit (Biomasse) und daraufhin zur Habitatqualität getroffen werden. Der BI steigt über die Zeit - eine Unterscheidung unterschiedlicher Fluginsektenarten erfolgt nicht, was eine Biodiversitätsaussage der Fluginsekten unmöglich macht.

1. IPBES (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Diaz, J. Setälä, E. S. Brondizio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Armel, P. Balvanera, K. A. Braaten, S. H. M. Butcher, M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ishii, J. Liu, S. N. Moilanen, G. P. Mittermeier, Z. Molnar, D. Oburo, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Rozas, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Vassini-Holmbeck, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.) IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages.

2. BNE (2024). Data Planung - Best Practice für PV-Freiflächenanlagen. Hrsg. v. Bundesverband Neue Energiewirtschaft e.V. (BNE). Online verfügbar unter <https://www.bne.de/de/aktuelles/aktuelle-aktualisiert-am-24-04-2024-aktuell-geopnert-am-24-04-2024>.

3. Schuch, Sebastian; Ludwig, Heiko; Wesche, Karsten (2020): Erfassungsmethoden für ein Insektenmonitoring. Eine Materialsammlung. 565. Aufl. Bonn - Bad Godesberg: Bund-Lösung für Naturschutz (BLN-Skripten, 565).



## **Anhang 19: Zusammenfassung**

Mit dem Ausbau der Solarenergie besteht die Chance, durch biodiversitätsfördernde Maßnahmen auf Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen ökologisch hochwertige Lebensräume für die vorkommenden Tiere und Pflanzen zu schaffen.

Anhand des automatisierten und KI-gesteuerten Fluginsekten-Monitorings wurden die Aktivitäten an sechs Standorten in und um den Solarpark Weesow-Willmersdorf erfasst. Die Fluginsekten-Aktivität sowie die verfügbare Biomasse dienen als Indikator für die zur Verfügung stehende Nahrung weiterer Arten und geben Auskunft über die Habitatqualität. Anhand eines Biodiversitätsindex wird auf die Fluginsekten-Diversität geschlossen.

Es wird untersucht welchen Einfluss die vorherrschenden Landnutzungstypen auf die Fluginsekten-Aktivität haben und ob sich Unterschiede zwischen den Zentral- und Randbereichen der Solaranlage feststellen lassen. Anschließend folgt eine Validierung der über die dänische Firma FaunaPhotonics A/S bezogene Messtechnik.

Es konnte festgestellt werden, dass die Fluginsekten-Aktivitäten des Rapsfeldes, die der Solarpark-Standorte akkumuliert überschreiten und geringere Schwankungen aufweisen. Die Aktivität innerhalb des Solarparks wird stark durch die Beweidungszyklen beeinflusst und ist in den zentralen Bereichen der Solaranlagen höher als im Randbereich. Anhand der Messtechnik konnten wertvolle Daten zur Aktivität und der verfügbaren Biomasse erhoben werden. Die Einschätzung der Biodiversität fällt aufgrund fehlender Informationen schwer.

## Anhang 20: Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit ehrenwörtlich:

1. dass ich meine schriftliche Prüfungsleistung selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die Abgegebenen verwendet habe,
2. dass ich weiß, dass ich stets zu wissenschaftlicher Redlichkeit verpflichtet bin und die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis eingehalten habe – das schließt auch die ggf. durch die Prüfer\*innen für meine Arbeit weiterführenden Auflagen zur Umsetzung der guten wissenschaftlichen Praxis (z.B. der Umgang/ die Nutzung KI-gestützter Werkzeuge) ein.
3. dass ich insbesondere die Übernahme wörtlicher Zitate sowie die Verwendung oder Verarbeitung von Gedanken Dritter an den entsprechenden Stellen eindeutig gekennzeichnet habe.

Mir ist bewusst, dass die Unrichtigkeit dieser Erklärung zur Folge haben kann, dass ich von der Ableistung weiterer Prüfungsleistungen nach § 15 Abs. 3 sowie § 17 Abs. 1 der Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen – Allgemeiner Teil für Bachelor- und Masterstudiengänge in der jeweils geltenden Fassung ausgeschlossen werden bzw. ausgeschlossen sein kann und durch unter Umständen den Prüfungsanspruch im Studiengang endgültig verliere.

Stuttgart, 1. August 2024

---

Jennifer Rix