

Schwimmende PV-Anlagen: Auswirkungen auf Arten, Lebensräume und Landschaftsbild (und Ansätze zur Vermeidung)

Teilvorhaben 1: Erstellung eines Untersuchungskonzeptes für die naturschutzfachlichen Auswirkungen von schwimmenden PV-Anlagen in Stillgewässern

Dietmar Mehl, Conny Mehl, Anna-Rebekka Kühl, Daniel Johnson und Katja Bunzel

BfN-Schriften

685

2024





Schwimmende PV-Anlagen: Auswirkungen auf Arten, Lebensräume und Landschaftsbild (und Ansätze zur Vermeidung)

**Teilvorhaben 1: Erstellung eines Untersuchungskonzeptes
für die naturschutzfachlichen Auswirkungen von
schwimmenden PV-Anlagen in Stillgewässern**

Dietmar Mehl

Conny Mehl

Anna-Rebekka Kühl

Daniel Johnson

Katja Bunzel

Impressum

Titelbild: Schwimmende Solaranlage auf dem künstlichen See eines Kieswerkes in Weeze (Nordrhein-Westfalen) (F. Igel)

Adressen der Autorinnen und der Autoren:

Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl	biota-Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH
M. Sc. Conny Mehl	Nebelring 15, 18246 Bützow
Dr. rer. nat. Anna-Rebekka Kühl	E-Mail: dietmar.mehl@institut-biota.de conny.mehl@institut-biota.de anna.kuehl@institut-biota.de

Dr. rer. pol. Daniel Johnson	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH Potsdamer Straße 105, 10785 Berlin
	E-Mail: daniel.johnson@ioew.de

Dr. rer. nat. Katja Bunzel	Bundesamt für Naturschutz (BfN), Standort Leipzig Fachgebiet II 4.3 "Naturschutz und erneuerbare Energien" Alte Messe 6, 04103 Leipzig
	E-Mail: katja.bunzel@bfm.de

Fachbetreuung im BfN:

Dr. Katja Bunzel	Fachgebiet II 4.3 „Naturschutz und erneuerbare Energien“
------------------	--

Förderhinweis:

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (FKZ: 3522 15 1501).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

BfN-Schriften sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter www.bfn.de/publikationen heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (creativecommons.org/licenses).

ISBN 978-3-89624-447-5

DOI 10.19217/skr685

Bonn 2024

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
Summary	8
1 Hintergrund und Zielstellung	10
2 Literaturrecherche zu den Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen auf Belange von Naturschutz und Landschaftspflege	15
2.1 Zielstellung	15
2.2 Methodik	15
2.3 Ergebnisüberblick.....	17
2.4 Kenntnisstand und vorläufige Schlussfolgerungen zu den Auswirkungen von FPV auf Belange von Naturschutz und Landschaftspflege.....	30
2.4.1 Abschirmung des Strahlungseintrags: Änderung der Lichtverhältnisse im See durch Beschattung	31
2.4.2 Abschirmung gegenüber Windeinwirkung	33
2.4.3 Abschirmung des Strahlungseintrags: Veränderungen des Temperatur- und Sauerstoffhaushaltes des Gewässers sowie der Verdunstung	35
2.4.4 Eintrag von Stoffen ins Gewässer	38
2.4.5 Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse	40
2.4.6 Mechanische Abschirmung für Tiere	42
2.4.7 Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren	42
2.4.8 Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung.....	44
2.4.9 Gefährdung durch Havarien.....	46
2.4.10 Sonstige Wirkungen und Aspekte	47
2.4.11 Einfluss des Bedeckungsgrades der FPV-Anlage.....	48
2.4.12 Forschungsbedarf zu den naturschutz- und umweltfachlichen Auswirkungen	49
2.5 Fazit und Ausblick.....	50
3 Untersuchungskonzept für mehrjährige Untersuchungen der gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen	53
3.1 Zielstellung, Untersuchungsvarianten und Aufbau	53
3.2 Berücksichtigung von Ausgangs-/Rahmenbedingungen	53
3.2.1 Erfordernis.....	53
3.2.2 Nutzungsbedingte Subtypen künstlicher oder erheblich veränderter Seen	54
3.2.3 Weitere relevante Merkmale.....	56
3.3 Ermittlung der Auswirkungen auf die abiotischen Verhältnisse	57

3.3.1	Erläuterung.....	57
3.3.2	Allgemeine chemisch-physikalische Verhältnisse.....	58
3.3.3	Lichtverhältnisse	61
3.3.4	Windgeschwindigkeit	63
3.3.5	Strömungsverhalten.....	66
3.3.6	Gewässerschichtung	68
3.3.7	Sedimente	71
3.3.8	(windinduzierte) Wellenausbreitung und -charakteristik.....	75
3.3.9	Seeuferstruktur	77
3.4	Ermittlung der Auswirkungen auf Arten und Lebensräume	80
3.4.1	Erläuterung.....	80
3.4.2	Biotope/Biototypen	80
3.4.3	Phytoplankton	82
3.4.4	Zooplankton	84
3.4.5	Makrozoobenthos	85
3.4.6	Libellen	89
3.4.7	Fische und Rundmäuler.....	91
3.4.8	Amphibien	94
3.4.9	Aquatische Makrophyten und Phytobenthos.....	97
3.4.10	Diatomeen.....	99
3.4.11	Säuger.....	100
3.4.12	Vögel.....	103
3.4.13	Fledermäuse.....	109
3.5	Ermittlung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild	111
3.5.1	Erläuterung.....	111
3.5.2	Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung.....	112
3.5.3	Schönheit und Akzeptanz.....	114
3.5.4	Untersuchungshinweise für neu zu bauende FPV-Anlagen.....	116
3.6	Ermittlung der Auswirkungen durch die technischen Komponenten von Floating-PV-Anlagen	116
3.6.1	Erläuterung.....	116
3.6.2	Untersuchungskonzept für potenzielle stoffliche Beeinträchtigungen	117
3.6.3	Untersuchungskonzept für Standorte/Auswirkungen von Wechselrichtern und weiteren FPV-Anlagenbestandteilen	118

3.7	Berücksichtigung von Untersuchungsvarianten	121
3.7.1	Neu zu bauende Anlage	121
3.7.2	Bestehende Anlage	122
3.8	Aktualisierung der bundesweit vorhandenen oder geplanten Floating-PV-Anlagen.....	122
4	Vorschlag einer Methodik zur zusammenfassenden Bewertung der gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen	127
4.1	Zielstellung	127
4.2	Methodik.....	127
5	Mögliche Schwerpunktsetzung und Priorisierung im zweiten Teilvorhaben	131
	Literaturverzeichnis	136
	Abbildungsverzeichnis	150
	Tabellenverzeichnis	151
	Abkürzungsverzeichnis.....	154
A	Anhang: Arbeitshilfe/Empfehlungen für einen vorläufigen Untersuchungsrahmen einer naturschutzfachlichen Beurteilung von Floating-PV im Rahmen von Genehmigungsverfahren	157
A.1	Zielstellung	157
A.2	Hinweise für Genehmigungsverfahren	157
A.3	Fachliche Hinweise zu Untersuchungsinhalten (genehmigungsrelevante Fachgutachten, Wirkungsmonitoring)	159

Zusammenfassung

Auf künstlichen oder erheblich veränderten Stillgewässer (Seen) dürfen entsprechend § 36 Wasserhaushaltsgesetz schwimmende Photovoltaik-Anlagen (englisch: „Floating Photovoltaics“ bzw. kurz FPV-Anlagen) errichtet und betrieben werden, wobei eine Anlage nicht mehr als 15 Prozent der Gewässerfläche bedecken und der Abstand zum Ufer nicht weniger als 40 Meter betragen darf.

In einem aus zwei Teilvorhaben bestehenden Forschungsprojekt sollen die Auswirkungen von FPV-Anlagen auf Arten, Lebensräume und Landschaftsbild (und Ansätze zur Vermeidung) untersucht werden. Das wesentliche Ziel des ersten Teilvorhabens bestand in der Entwicklung eines mehrjährigen Untersuchungskonzeptes zur Identifikation und Bewertung der bau-, betriebs-, anlage- und rückbaubedingten Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen in Stillgewässern auf die Belange von Naturschutz und Landschaftspflege. Dieses Konzept soll die fachliche Grundlage für anschließende praktische Untersuchungen im zweiten Teilvorhaben bilden.

In einem ersten Schritt wurde eine Recherche und Auswertung der national und international verfügbaren Literatur zu bekannten und potenziellen Auswirkungen von FPV-Anlagen in Seen (und anderen Gewässern) durchgeführt. Hierbei konnten insgesamt 50 wissenschaftlich belastbare Arbeiten identifiziert werden. Davon stehen 38 Literaturquellen inhaltlich unmittelbar im Zusammenhang mit FPV-Anlagen. 12 Arbeiten hängen inhaltlich mit anderen, die Wasserfläche bedeckenden Strukturen zusammen (z. B. schwimmende Häuser, Plattformen) und lassen ggf. Analogieschlüsse zur umwelt-/naturschutzfachlichen Wirkung von FPV-Anlagen zu. Nur 10 recherchierte Studien basieren auf praktischen, d. h. Vor-Ort-Arbeiten, davon 8 aus den vergangenen 3 Jahren. Die größte Gruppe (27 Veröffentlichungen) steht für eine Literaturanalyse („Review“), was angesichts der geringen Gesamtzahl an recherchierten Literaturquellen auch ein indirektes Indiz ist für nur in geringem Umfang vorliegende praktische Erkenntnisse. Die Literaturanalyse wurde darüber hinaus für 10 Hauptgruppen der potenziellen Ursachen und Wirkungen (z. B. Abschirmung des Strahlungseintrags: Änderung der Lichtverhältnisse im See durch Beschattung) weitergehend differenziert, so dass dezidierte fachliche Schlussfolgerungen im Hinblick auf den Forschungsbedarf gezogen werden konnten.

Als zentrales Fazit aus der Literaturanalyse ist zu ziehen, dass die gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen der FPV-Anlagen bisher kaum erforscht sind. Kenntnisse über mittel- und langfristige Folgen von FPV-Anlagen auf Gewässerökologie und Biodiversität (Lebensräume und Arten) fehlen komplett. Generell besteht daher ein sehr hoher Bedarf an praktischen Untersuchungen: Mess- und Beobachtungsdaten, Kartierungen, Erfassungen, auch als wichtige Grundlage des Einsatzes kalibrierter Modelle. Chancen zur Ermittlung der naturschutzfachlichen Auswirkungen der FPV-Anlagen liegen aber auch in der Modellierung entsprechender Prozesse, aber möglichst auf Basis valider empirischer bzw. Feldgrößen.

Im Rahmen des mehrjährigen Untersuchungskonzeptes wurden insgesamt 24 Steckbriefe ausgearbeitet zur Gewinnung von empirischen (und teilweise modellgestützten) Daten zur Ermittlung der Auswirkungen von FPV-Anlagen auf die abiotischen und die biotischen Verhältnisse sowie auf das Landschaftsbild. Die Steckbriefe sind so aufgebaut, dass alle sachdienlichen Informationen zu methodischen Grundlagen, zum Aufwand, zu Fragen der Ergebnisauswertung etc. enthalten sind, aber auch Hinweise zu rechtlichen Grundlagen und geeigneter Fachliteratur. Ergänzt werden die Darstellungen durch ein Kapitel, was sich mit der Erstellung eines Untersuchungskonzeptes zur Ermittlung der Auswirkungen durch die technischen Komponenten der FPV-Anlagen beschäftigt.

Dieser Endbericht enthält zudem:

- eine Liste der bundesweit vorhandenen FPV-Anlagen (Stand Mai 2023),
- einen Vorschlag für eine Methodik zur zusammenfassenden Bewertung der gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen von FPV-Anlagen mittels der vor allem aus der Umweltverträglichkeitsprüfung bekannten „ökologischen Risikoanalyse“,
- Vorschläge für zwei Varianten: a) neu zu bauende FPV-Anlage (Untersuchungen vor und nach der Errichtung der Anlage sowie b) bestehende FPV-Anlage sowie
- differenzierte Vorschläge für eine fachlich-inhaltliche Schwerpunktsetzung im zweiten Teil des Vorhabens.

Anhang A enthält zusätzlich eine Arbeitshilfe bzw. entsprechende Empfehlungen für einen vorläufigen Untersuchungsrahmen einer naturschutzfachlichen Beurteilung von Floating-PV im Rahmen von Genehmigungsverfahren. Die Ausarbeitung soll helfen, den Zeitraum ohne belastbare und vor allem umfassende wissenschaftliche Ergebnisse zu überbrücken. Die Darstellungen in Anhang A können insofern vorläufig als behördeninterne Arbeitshilfe für den naturschutzrechtlichen Vollzug bei fachlichen Fragen und rechtlichen Verfahren dienen.

Summary

In accordance with Section 36 of the Federal Water Act, floating photovoltaic (FPV) systems may be installed and operated on artificial or heavily modified still waters (lakes), whereby a system may not cover more than 15 percent of the water surface and the distance to the shore may not be less than 40 meters. In a research project consisting of two sub-projects, the impacts of FPV installations on species, habitats and landscape (and approaches for avoidance) are to be investigated. The main objective of the first sub-project was to develop a multi-year study concept for identifying and assessing the construction-, operation-, installation- and dismantling-related impacts of floating PV installations in still waters on the interests of nature conservation and landscape management. This concept is to form the professional basis for subsequent investigations in the second sub-project.

In a first step, an analysis and evaluation of the nationally and internationally available literature on known and potential impacts of FPV systems in lakes (and other waterbodies) was carried out. A total of 50 scientifically mostly reviewed papers were filtered out. Of these, 38 literature sources are directly related to "FPV systems". 12 studies are related to other structures covering water surfaces (e. g. floating houses) and may allow analogies to be drawn to the environmental/nature conservation effects of FPV systems. Only 10 researched studies are based on practical, i. e. on-site work, 8 of them from the past 3 years. The largest group (27 publications) represents a literature analysis ("review") which, in view of the low total number of literature sources searched, is also an indirect indication of the limited amount of practical knowledge available. In addition, the literature analysis was further differentiated for 10 main groups of potential causes and effects (e. g. shielding of radiation input: change in light conditions in the lake due to shading), so that firm technical conclusions could be drawn with regard to the need for research.

The central conclusion from the literature analysis is that the ecological and nature conservation effects of FPV plants have hardly been researched so far. Knowledge about medium- and long-term consequences of FPV plants on water ecology and biodiversity (habitats and species) is completely missing. In general, there is therefore a very high need for practical studies: Measurement and observation data, mapping, surveys, also as an important basis of the use of calibrated models. However, opportunities for determining the conservation impacts of FPV installations also lie in modelling corresponding processes, but preferably based on valid empirical or field variables.

Within the framework of the multi-year study concept, a total of 24 fact sheets were prepared to obtain empirical (and partly model-based) data for determining the effects of FPV plants on abiotic and biotic conditions as well as on the landscape. The fact sheets are structured in such a way that all relevant information on methodological principles, effort, questions of result evaluation, etc. are included, as well as references to legal principles and suitable technical literature. The descriptions are supplemented by a chapter dealing with the preparation of an investigation concept for the determination of the effects caused by the technical components of the FPV systems.

This final report also contains:

- A list of existing FPV facilities nationwide (as of May 2023),

- a proposal for a methodology to summarize the ecological and nature conservation impacts of FPV plants by means of the "ecological risk analysis" known mainly from environmental impact assessment,
- Proposals for two variants: a) new FPV plant to be built (investigations before and after construction of the plant as well as b) existing FPV plant as well as
- differentiated proposals for a technical-content focus in the second part of the project.

Appendix A additionally contains a working aid and corresponding recommendations for a preliminary investigation framework of a nature conservation assessment of floating PV in the context of approval procedures. The elaboration should help to bridge the period without reliable and, above all, comprehensive scientific results. In this respect, the presentations in Annex A can serve as a preliminary internal working aid for the enforcement of nature conservation law in technical questions and legal procedures.

1 Hintergrund und Zielstellung

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023) sieht einen Ausbau der installierten Leistung von Solaranlagen auf 215 GW im Jahr 2030 und 400 GW im Jahr 2040 vor. Mit dem Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor vom 20. Juli 2022 wurde § 37 EEG dahingehend erweitert, dass die Förderung von Solaranlagen auch auf Oberflächengewässern möglich ist. Damit wurden schwimmende PV-Anlagen bzw. „Floating-Photovoltaik-Anlagen“ (nachfolgend abgekürzt „FPV-Anlagen“) aus der Innovationsausschreibung (InnAusV) in das reguläre Ausschreibungssegment des EEG 2023 überführt.

In § 36 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) wurde ein neuer Absatz 3 ergänzt:

(3) Eine Solaranlage darf nicht errichtet und betrieben werden

1. in und über einem oberirdischen Gewässer, das kein künstliches oder erheblich verändertes Gewässer ist, und
2. in und über einem künstlichen oder erheblich veränderten Gewässer, wenn ausgehend von der Linie des Mittelwasserstandes
 - a) die Anlage mehr als 15 Prozent der Gewässerfläche bedeckt oder
 - b) der Abstand zum Ufer weniger als 40 Meter beträgt.

Rechtlich zulässig sind demnach bei der Gewässerart/-kategorie „See“ (im Sinne eines stehenden Binnenoberflächengewässers) nur Installationen von FPV-Anlagen auf künstlichen oder erheblich veränderten Gewässern im Sinne des § 3 Nr. 4 und 5 WHG. Künstliche Gewässer sind laut WHG von Menschen geschaffene oberirdische Gewässer (oder Küstengewässer), während erheblich veränderte Gewässer durch den Menschen in ihrem Wesen physikalisch erheblich veränderte oberirdische Gewässer (oder Küstengewässer) sind. Zudem gelten die o. g. Beschränkungen nach § 36 Absatz 3 WHG.

Der Begriff „Floating-Photovoltaik-Anlagen“ bzw. FPV-Anlagen steht im engeren Sinne für die auf dem Wasser schwimmenden Photovoltaik-Anlagen (z. B. Ilgen et al. 2023), die flach liegen (bedingt durch hohen maximalen Sonnenstand eher im Bereich der Tropen und Subtropen) oder geneigt sind (gemäßigte Breiten, staffel- oder zeltartig). Mittlerweile gibt es auch bifaziale FPV-Anlagen (zweiseitige Solarmodule, die auf beiden Seiten Solarzellen tragen), die senkrecht über dem Wasser auf Schwimmkörpern stehen (zaunartig).

FPV-Anlagen wird international ein sehr großes Potenzial zur Gewinnung solarer Energie zugeschrieben. So sieht zum Beispiel die Weltbank (The World Bank 2019) eine ganze Reihe von Vorteilen:

- technologisch (z. B. kein „Flächenverlust“, keine notwendige Flächenvorbereitung, einfache Installation, hohe Modularität),
- wirtschaftlich (z. B. Ausbeute, Nutzen-Kosten) und auch
- umweltbezogen (z. B. Verbesserung der „Wasserqualität“ infolge verminderten Algenwachstums, verminderte Gewässerverdunstung).

Allerdings sind die Investitionsausgaben für FPV-Anlagen infolge des nötigen Installationsaufwandes (Schwimmkörper, Vertäuung bzw. Verankerung) laut Gorjian et al. 2021 ca. 25 % höher als für terrestrische PV-Anlagen.

Auf der anderen Seite erzeugen schwimmende Solarmodule in der Regel mehr Energie als ähnlich große terrestrische Systeme (aufgrund des Kühleffekts und des Reflexionsvermögens des Wassers, z. B. Gamarra & Ronk 2019, Al-Widyan et al. 2021). Für FPV-Anlagen auf marinen Gewässern fanden beispielsweise Hooper et al. (2021) eine um 13 % höhere Energieausbeute im Vergleich zu gleich leistungsstarken terrestrischen Anlagen. Eine weitere signifikante Steigerung könnte auch bei FPV-Anlagen durch die Verwendung bifazialer (beidseitiger) Solarmodule erreicht werden (Gorjian et al. 2021). Teilweise wird eine räumlich-zeitliche Kombination der Technologien von FPV-Anlagen auf einem Stausee und zugehörigem Wasserkraftwerk favorisiert (Art „virtuelle Batterie“, gemeinsame Nutzung entsprechender Infrastruktur bzw. Anlagen, Ausgleich der Energieerzeugung zwischen Wasserkraft und FPV je nach Strahlungsverhältnissen und hierdurch Reduktion von Leistungsschwankungen, Verdunstungsreduktion und damit mehr Wasserkraftnutzung usw., vgl. z. B. Farfan & Breyer 2018, Cazzaniga et al. 2019).

In den letzten Jahren haben die Aktivitäten zu FPV-Anlagen auch in Deutschland stark zugenommen. Erste Anlagen sind auf künstlichen Binnengewässern in Betrieb gegangen. Eine Studie des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) gibt für Deutschland nach Abzug der geschätzten Wasserflächen für Freizeitaktivitäten, Tourismus, Natur- und Landschaftsschutz beispielsweise ein wirtschaftliches Potenzial für FPV-Anlagen auf Braunkohle-Tagebauseen von 2,74 GWp an (ISE 2020).

Neben wasserrechtlichen Bestimmungen (vgl. auch Anhang A) ist naturschutzrechtlich eine ganze Reihe von Vorgaben im Hinblick auf eine Installation von FPV-Anlagen zu beachten, darunter insbesondere:

- § 1 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), u. a. Schutz der biologischen Vielfalt, Erhaltung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts einschließlich der Regenerationsfähigkeit und der nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter sowie Schutz von Natur und Landschaft im Hinblick auf Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie auf den Erholungswert von Natur und Landschaft; zur dauerhaften Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts sind insbesondere auch „Meeres- und Binnengewässer vor Beeinträchtigungen zu bewahren und ihre natürliche Selbstreinigungsfähigkeit und Dynamik zu erhalten“, „wild lebende Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften sowie ihre Biotope und Lebensstätten auch im Hinblick auf ihre jeweiligen Funktionen im Naturhaushalt, einschließlich ihrer Stoffumwandlungs- und Bestäubungsleistungen, zu erhalten“ sowie „der Entwicklung sich selbst regulierender Ökosysteme auf hierfür geeigneten Flächen Raum und Zeit zu geben“
- § 30 BNatSchG „Gesetzlich geschützte Biotope“; hierunter fallen explizit „natürliche oder naturnahe Bereiche fließender und stehender Binnengewässer einschließlich ihrer Ufer“
- Eingriffe in Natur und Landschaft, Unzulässigkeit, Vermeidungs-, Ausgleichs- und Kompensationsbestimmungen etc. gemäß §§ 13 ff. BNatSchG; gemäß § 14 BNatSchG ist bestimmt: „Eingriffe in Natur und Landschaft im Sinne dieses Gesetzes sind Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels, die die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können.“; unter den Begriff der „Grundflächen“ nach § 14 BNatSchG fallen nach aktuellem Rechtsverständnis auch Wasserflächen sowie Gewässerbetten
- Bestimmungen für (ggf. auch benachbarte) Schutzgebiete gemäß §§ 22 ff. BNatSchG

- Verträglichkeit und Unzulässigkeit von Projekten im Zusammenhang mit ihrer Verträglichkeit mit den Erhaltungszielen eines (ggf. auch benachbarten) Natura-2000-Gebiets gemäß § 34 BNatSchG (FFH-Gebiete gemäß FFH-RL, Vogelschutzgebiete nach VSchRL, so weisen z. B. folgende Seentypen (aquatische/amphibische) Lebensraumtypen der FFH-RL auf (LAWA EK Seen 2023):
 - Oligotrophe Stillgewässer des Flach- und Hügellandes mit Vegetation der Littorelletalia uniflorae (in Deutschland kommt dieser Seentyp fast ausschließlich im nordwestdeutschen Tiefland, z. B. auf nährstoffarmen Sandböden in Heidegebieten der Stader Geest vor; in den Gebirgen Süddeutschlands gibt es nur im Schwarzwald zwei Einzelvorkommen.)
 - Oligo- bis mesotrophe, basenarme Stillgewässer der planaren bis subalpinen Stufe der kontinentalen und alpinen Region und der Gebirge (mit amphibischen Strandlings-Gesellschaften (Littorelletea) sowie - bei spätsommerlichem Trockenfallen - einjährigen Zwergbinsen-Gesellschaften (Isoëto-Nanojuncetea)
 - Oligo- bis mesotrophe, kalkhaltige Stillgewässer mit benthischer Armleuchteralgen-Vegetation (Characeae)
 - Natürliche eutrophe Seen mit einer Vegetation vom Typ Magnopotamion oder Hydrocharition (Schwimm- und Wasserpflanzenvegetation, z. B. mit Wasserlinsendecken (Lemnetea), Laichkrautgesellschaften (Potamogetonetea pectinati), Krebschere (Stratiotes aloides) oder Wasserschlauch (Utricularia ssp.))
 - Dystrophe Seen
 - Gipskarstseen auf gipshaltigem Untergrund
- Berücksichtigung der Vorschriften für streng und besonders geschützte Arten gemäß § 44 f. BNatSchG

Die gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen der FPV-Anlagen sind bisher kaum erforscht (siehe Abschnitt 2.3 ff.). Kenntnisse über mittel- und langfristige Folgen von FPV-Anlagen auf Gewässerökologie und Biodiversität fehlen komplett. Die wesentlichen Einflüsse und möglichen Veränderungen infolge von FPV-Anlagen auf das Ökosystem eines Sees zeigt Abb. 1.

Aus dem Blickwinkel der „Umweltverträglichkeit“ (vgl. Systematik des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)) müssen aus gewässer- und naturschutzfachlichem Blickwinkel die bau-, anlage-, betriebs- und auch die rückbaubedingten Auswirkungen von FPV-Anlagen mit potenziellen Wirkungen auf den See als landschaftsökologisches System in den Blick genommen werden. Dies schließt demnach die Seeoberfläche, den See als limnisches System, das Seeufer sowie das Seeumfeld ein und erfordert ggf. auch die Hinzuziehung weiterer Räume, soweit vor allem biologische Zusammenhänge des Lebensraumwechsels betroffen sein könnten, z. B. benachbarte terrestrische Nahrungsflächen für wasserrastende Zugvögel, Seeflächen als Nahrungshabitat für Fledermäuse und Greifvögel usw.

Für die gewässerökologische Beurteilung von Seen als Standorte für FPV-Anlagen und damit vor allem vor wasserrechtlichem bzw. gewässerschutzfachlichem Hintergrund hatte Anfang 2023 bereits der LAWA-Expertenkreis Seen eine Arbeitshilfe im Entwurf vorgelegt (LAWA EK Seen 2023). Generell können durch die Anknüpfung an Methoden und Daten, die im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) bzw. der Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

erhoben werden (z. B. Arle et al. 2016 oder <https://gewaesser-bewertung.de>), wertvolle fachliche Grundlagen herangezogen und Synergieeffekte bei der Datengewinnung genutzt werden.

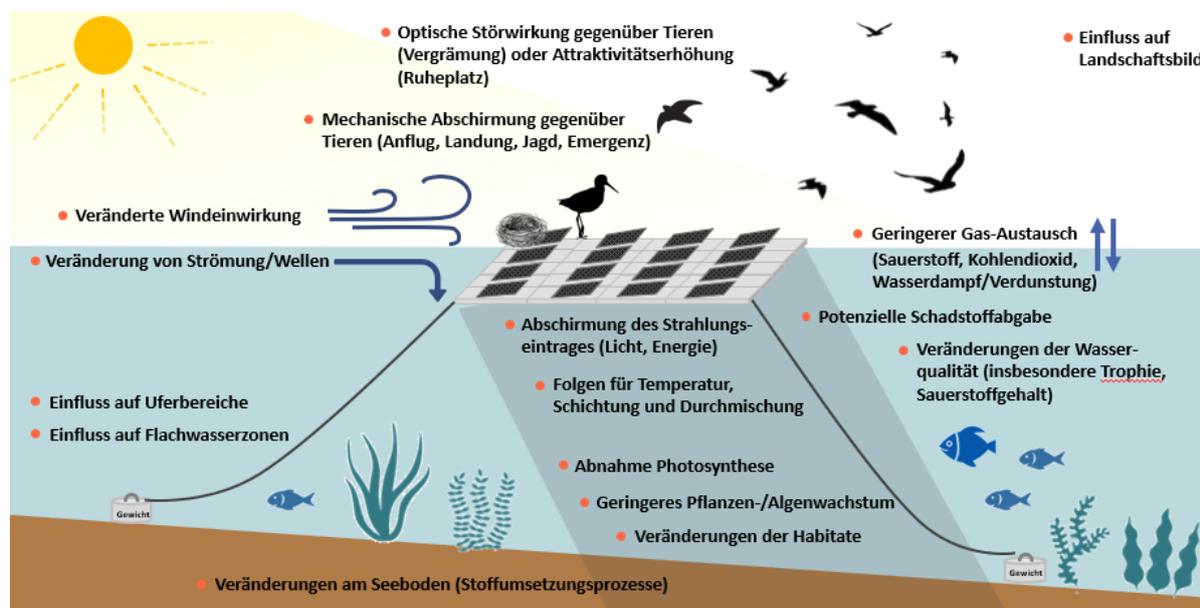


Abb. 1: Wesentliche Einflüsse und mögliche Veränderungen infolge von Floating-Photovoltaik-Anlagen auf das Ökosystem eines Sees; eigene Darstellung, auf der Basis einer Darstellung von de Lima et al. (2022), grafisch deutlich verändert und inhaltlich ergänzt

Das wesentliche Ziel des ersten Teilvorhabens bestand in der Entwicklung eines mehrjährigen Untersuchungskonzeptes zur Identifikation und Bewertung der bau-, betriebs-, anlage- und rückbaubedingten Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen in Stillgewässern auf die Belange von Naturschutz und Landschaftspflege. Dieses Konzept soll die fachliche Grundlage bilden für zeitlich anschließende Untersuchungen in einem zweiten Teilvorhaben.

Das Untersuchungskonzept war dabei für zwei Varianten zu erstellen:

- A. neu zu bauende Anlage (Untersuchungen vor und nach der Errichtung der Anlage, z. B. BACI-Design („Before-After-Control-Impact“) oder ein vergleichbares Untersuchungsdesign,
- B. bestehende Anlage (Untersuchungen nach der Errichtung sowie z. B. parallele Untersuchungen an einem vergleichbaren Gewässer ohne PV-Anlage).

Es erscheint sinnvoll, die zutreffenden der nachfolgend behandelten Untersuchungsansätze auch auf solche Photovoltaik-Anlagen anzuwenden, die nicht schwimmend verankert, sondern ggf. im See fest auf spezielle Tragkonstruktionen montiert werden (Verankerung im Untergrund des Sees). Solche technischen Lösungen gibt es bereits in Küstenbereichen, z. B. auf den Malediven. Aus ökologischer und naturschutzfachlicher Perspektive eröffnen derartige konstruktive Lösungen ggf. sogar Chancen in Richtung größerer umweltfachlicher Verträglichkeit. So könnten möglicherweise z. B. verankerte Systeme so etabliert werden, dass durch Ausnutzung eher vertikaler technischer Strukturen („Türme/Pfeiler mit Solarzellen“, s. hierzu z. B. Piana et al. 2021) bei gleichbleibendem Ertrag grundsätzlich mehr Licht in ein Gewässer gelangen könnte. Allerdings sind solche Lösungen mit höheren Kosten verbunden, was aus

rein betriebswirtschaftlichen Gründen eine Bevorzugung schwimmender Lösungen durch Investoren bewirken dürfte.

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse basieren auf insgesamt sechs Arbeitspaketen (AP):

- AP 1: „Literaturrecherche“
- AP 2: „Erstellung eines Untersuchungskonzepts zur Ermittlung der Auswirkungen von Floating-PV auf die abiotischen Verhältnisse“
- AP 3: „Erstellung eines Untersuchungskonzepts zur Ermittlung der Auswirkungen von Floating-PV auf Arten und Lebensräume“
- AP 4: „Erstellung eines Untersuchungskonzepts zur Ermittlung der Auswirkungen von Floating-PV auf das Landschaftsbild“
- AP 5: „Erstellung eines Untersuchungskonzepts zur Ermittlung der Auswirkungen durch die technischen Komponenten der Floating-PV-Anlage“
- AP 6: „Entwicklung einer Methodik zur zusammenfassenden naturschutzfachlichen Bewertung von Floating-PV“

2 Literaturrecherche zu den Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen auf Belange von Naturschutz und Landschaftspflege

2.1 Zielstellung

Bei der Literaturrecherche standen die folgenden Aufgaben bzw. Fragen im Zentrum:

- Auswertung der national und international verfügbaren Literatur im Hinblick auf die Auswirkungen von schwimmenden PV-Anlagen auf die Belange von Naturschutz und Landschaftspflege an Seen und Fließgewässern, ggf. auch an Küsten- und Übergangsgewässern, soweit fachliche Analogieschlüsse gezogen werden können
- Einbeziehung bzw. Aktualisierung der im BfN-F+E-Vorhaben „Zukünftige Solar-Anlagen: Technologien, Auswirkungen, räumliche Steuerungsmöglichkeiten“ (FKZ 3521 86 200) (BfN 2023) durchgeführten Literaturrecherche, Erweiterung der Literaturrecherche um noch offene bzw. weitere Schutzgüter nach UVPG
- Einbeziehung von Ergebnissen zu Auswirkungen aus anderen, vergleichbaren Strukturen (z. B. Plattformen, Badestege), soweit fachliche Analogieschlüsse gezogen werden können
- Erstellung einer (systematischen) Übersicht zu ggf. bereits bekannten und potenziellen Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen sowie von gleichartig wirkenden anderen Strukturen in Seen auf die Belange von Naturschutz und Landschaftspflege; mit einbezogen werden Fließ- und Küstengewässer in Bezug auf mögliche Analogieschlüsse
- Darstellung von Wissensdefiziten, die sich aus der Literaturrecherche und -analyse ergeben
- Nutzung der Literaturrecherche und -analyse
 - zur Ausarbeitung einer Arbeitshilfe bzw. von Empfehlungen für einen vorläufigen Untersuchungsrahmen einer naturschutzfachlichen Beurteilung von Floating-PV im Rahmen von Genehmigungsverfahren (Anhang A) sowie
 - als Grundlage für die weiteren Arbeitspakete (Kapitel 3, 4 und 5)

2.2 Methodik

Das Ziel jeder Literaturrecherche ist das Suchen und Finden von Veröffentlichungen entsprechend der relevanten Thematik bzw. der interessierenden Fragestellung(en). Eine wissenschaftliche Recherche basiert grundsätzlich auf systematischen Ansätzen. So lassen sich die Vorteile der digitalen Informationswelt optimal nutzen, indem Ein- oder ggf. auch Ausschlusskriterien vorab definiert werden und eine zielführende computer- bzw. webgestützte Analyse ermöglichen.

Dazu werden verschiedene thematisch zugeordnete (Such)Begriffe zusammengestellt, und anhand dieser Begriffe werden in wissenschaftlichen Datenbanken entsprechende Literaturstellen gesucht. Gerade die Kombination von Suchbegriffen ermöglicht dabei eine noch präzisere Suche im Sinne thematischer Zusammenhänge.

In der hier relevanten Recherche wurden insbesondere diese thematischen Fragestellungen verfolgt:

- Internationale und nationale Recherche zum Einfluss von FPV-Anlagen auf die Umwelt
- Internationale und nationale Recherche zum Einfluss von vergleichbaren, schwimmenden

Strukturen (z. B. schwimmende Gebäude/„floating houses“, Plattformen, Brücken und Steganlagen)

- Bereits etablierte Methoden sowie Ergebnisse/Bewertungen von Gewässeruntersuchungen im Hinblick auf den Einfluss von FPV-Anlagen auf die Umwelt
- Einfluss von FPV-Anlagen auf Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege (einschließlich gewässerökologischer/limnologischer Aspekte)
- Einfluss von vergleichbaren, schwimmenden Strukturen auf Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege (einschließlich gewässerökologischer/limnologischer Aspekte)

Dabei wurden folgende Begriffe (deutsch und englisch) für die Suche verwendet:

- Schwimmende Photovoltaik/floating photovoltaic
- Schwimmende Solarsysteme/floating solar systems
- Floating solar
- Floating PV Anlage
- Floating PV und Wasserqualität/and water quality
- Floating PV und Ökologie/and ecology
- Floating PV und Umwelteffekte/and environmental effects
- Schwimmende Häuser, Plattformen, Badestege/floating houses, platforms
- Floating PV und Lichtlimitation/and light limitation
- Floating PV und Verdunstung/and evaporation
- Ökosystem See/ecosystem lake

Die Literaturrecherche wurde vor allem (aber nicht ausschließlich) in folgenden öffentlich zugänglichen Datenbanken durchgeführt:

- ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>)
- Google Scholar (<https://scholar.google.de/>)
- ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com/>)
- Scopus (<https://www.scopus.com/>)

Berücksichtigt wurden bei der Recherche publizierte Artikel (überwiegend peer-reviewed) in Fachzeitschriften sowie Buchbeiträge. Eine gezielte Internetsuche, z. B. mittels Suchmaschine „Google“ (<https://www.google.com>) auf Seiten nationaler Ministerien und nachgeordneter Behörden und relevanter öffentlicher Einrichtungen (staatliche Umweltverwaltungen, öffentlich-rechtliche Institutionen) vornehmlich europäischer Länder fand ebenfalls statt, erbrachte aber nur ein relevantes Ergebnis, einen Leitfaden für die Genehmigung von schwimmenden Solarparks in den Niederlanden (STOWA 2018). Das Rechercheergebnis umfasst daher fast ausschließlich publizierte wissenschaftliche Arbeiten.

Die Zusammenstellung der Arbeiten bzw. Veröffentlichungen erfolgte systematisch mittels der professionellen Literaturverwaltungssoftware „Citavi 6“, Version 6.14. Hier wurden zur sachgerechten Kennzeichnung der Literaturstellen eine Einteilung in Kategorien und Unterkategorien vorgenommen. Citavi bietet Möglichkeiten zur manuellen sowie automatischen

Literaturerfassung mit Speicherung aller bibliographisch notwendigen Daten. Die Verwendung des Tools „Citavi Picker“ bei der Internetrecherche ermöglicht vereinfachte Importe der Zitation von Arbeiten. Allerdings werden dadurch auch ggf. fehlerhafte Angaben auf den Seiten der Datenbanken bzw. Verlage mit übernommen, was Nachbearbeitungsaufwand erfordert.

Auf jeden Fall ist eine gezielte bzw. themen-/kriterienbezogene Abfrage von Literaturstellen in Citavi über die gewählten Kategorien möglich. Zusätzlich zur Erstellung der Citavi-Datenbank wurden alle verfügbare Literaturquellen als pdf-Dokumente gespeichert und in einem gesonderten digitalen Ordner hinterlegt, so dass dieser Fundus nachgenutzt werden kann.

2.3 Ergebnisüberblick

Insgesamt wurden 50 relevante Literaturquellen im Citavi-6-Projekt zusammengestellt. Davon wurden 16 Literaturstellen bereits im BfN-F+E-Vorhaben „Zukünftige Solar-Anlagen: Technologien, Auswirkungen, räumliche Steuerungsmöglichkeiten“ (FKZ 3521 86 200) (BfN 2023) gefunden. Eine dieser Literaturquellen wurde für die weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt, da diese wissenschaftlich nicht belastbar ist (nur Internetseite: Zeitungs-/Überblicksartikel), so dass sich die Zahl auf 15 verringerte.

Zu den damit bereits vorliegenden 15 wissenschaftlichen Quellen wurden mehr als doppelt so viele neue bzw. bislang nicht erfasste Arbeiten aus eigener Recherche neu aufgenommen (35 neue Arbeiten), so dass insgesamt 50 Arbeiten für die Literaturanalyse ausgewertet werden konnten. Die Literaturrecherche repräsentiert den Stand vom 19.07.2023.

Insgesamt 38 Literaturquellen stehen inhaltlich unmittelbar im Zusammenhang mit FPV-Anlagen. 12 Arbeiten hängen inhaltlich mit anderen, Wasserfläche bedeckenden Strukturen zusammen (z. B. floating houses) und lassen ggf. Analogieschlüsse zur umwelt-/naturschutzfachlichen Wirkung von FPV-Anlagen zu. Diese Arbeiten wurden ebenfalls gezielt gesucht, so dass der Umfang entsprechend publizierter Arbeiten offenkundig ebenfalls relativ gering ist.

Fokussiert auf Arbeiten, die einen konkreten und eindeutigen Bezug auf Gewässerarten aufweisen und die einen empirischen (experimentellen) oder theoretischen (konzeptionellen oder modellbasierten) Ansatz verfolgen (d. h. **ohne** Arbeiten, die auf einer Literaturanalyse/Review bzw. einer Expertenbefragung basieren), ergibt sich folgendes Bild:

- Seen: 12 Quellen zu FPV-Anlagen, 5 Quellen zu anderen, Wasserfläche bedeckenden Strukturen
- Küstengewässer: 1 Quelle zu FPV-Anlagen, 9 Quellen zu anderen, Wasserfläche bedeckenden Strukturen
- Fließgewässer: 1 Quelle zu FPV-Anlagen, 2 Quellen zu anderen, Wasserfläche bedeckenden Strukturen
- künstliches Wasserbecken zu Forschungszwecken: 4 Quellen zu FPV-Anlagen, 1 Quelle zu anderen, Wasserfläche bedeckenden Strukturen

Nur 10 recherchierte Studien basieren auf praktischen, d. h. Vor-Ort-Arbeiten (Abb. 2), davon 8 aus den vergangenen 3 Jahren. Dies umfasst folgende Studien (chronologisch) und darin bearbeitete Inhalte von Vor-Ort-Datengewinnung (im Sinne von Umweltdaten):

- Melvin (2015): experimentelle und modellbasierte Untersuchungen zu Verdunstungsraten für eine modellhaft verkleinerte FPV-Anlage
- Costa (2017): Wassertemperatur, Trübung, Feststoff-/Schwebstoffgehalt des Wassers, pH-Wert, Säuregehalt und Alkalinität, Gesamt- und Karbonathärte, gelöster Sauerstoff, chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) und biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB), Stickstoff (nach Bindungsformen), Sulfate, Chlorid, elektrische Leitfähigkeit, TOC
- Mathijssen et al. (2020): Schwermetalle, poly- und monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, instabile Halogenkohlenwasserstoffe, monozyklische (Halogen) Stickstoffverbindungen, Phenole und Halogenphenole
- de Lima et al. (2021): gelöster Sauerstoff, Temperatur, Licht/Strahlung, Wasserdruck, elektrische Leitfähigkeit, (visuell erkennbare) ökologische Indikatoren (deskriptiv, nicht systematisch)
- Abdelal (2021): meteorologische Werte (Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit, vom Wasserkörper absorbierte Nettostrahlung, Dampfdruckwerte der Luft), Wassergüte (ortho-Phosphat, Nitrat), Wasserstand, Wassertemperatur
- Al-Widyan et al (2021): Lufttemperatur, Strahlung, Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, Salzgehalt, gelöster Sauerstoff, Sichttiefe/Transparenz, pH-Wert, TOC, PO₄-P, Verdunstungsmessung (Zylinder)
- Yang & Yu (2021): numerische und experimentelle Messungen und Simulationen unter Wellen- und Windlast (Havariegefährdung) für eine modellhaft verkleinerte FPV-Anlage
- Andini et al. (2022): Wassertemperatur, Feststoff-/Schwebstoffgehalt des Wassers, Phosphorgehalt (gesamt) und Chlorophyll-a
- Bax et al. (2023): Unterwassermessungen (Lichtintensität, Wassertemperatur, Menge gelösten Sauerstoffs, Sauerstoffkonzentration, pH-Wert, Trübung, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotenzial)
- Ilgen et al. (2023): meteorologische Daten (Wetterstation, Windgeschwindigkeit, Strahlung), Wassertemperatur

Eine Arbeit, die sich bereits mit der konkreten und umfassenden Konzeption von Untersuchungsprogrammen für FPV-Anlagen und umweltfachliche Auswirkungen beschäftigt, ist die Dissertation von Costa (2017). Dabei werden in der Arbeit folgende Hauptthemen verfolgt:

- Überwachung der Umweltauswirkungen in einer Fallstudie, einem FPV-Pilotprojekt in Portugal mit Messung der oben aufgeführten Parameter und Herausarbeitung entsprechender Schlussfolgerungen,
- Analyse der bisherigen Konzepte vom Umweltverträglichkeitsprüfungen im Hinblick auf die FPV-Anlagen Thematik und Herausarbeitung entsprechender Schwerpunkte zur Anwendung auf FPV-Anlagen.

Die Arbeiten von Melvin (2015), Abdelal (2021), Al-Widyan et al. (2021) und Yang & Yu (2021) haben ihre praktischen Untersuchungen in künstlichen Wasserbecken durchgeführt. Insofern werden verkleinerte und physikalisch ähnliche Abbilder der Realität auf natur- und ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen hin untersucht. Diese Arbeiten sind daher nur bedingt aussagefähig in ihren Ergebnissen zu potenziellen Wirkungsweisen von FPV-Anlagen auf Seen. Die

Beachtung von Modellgesetzen kann helfen, dass die Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den physikalischen Größen in der Realität und in einem Modell durch adäquate Kennzahlen (Berücksichtigung der Maßstabeffekte) sachgerecht abgebildet werden. Allerdings bedarf es auch hierfür valider Daten für reale FPV-Anlagenprojekte auf Seen, an denen es derzeit noch mangelt.

Die größte Gruppe (27 Veröffentlichungen) steht für eine Literaturanalyse („Review“), was angesichts der geringen Gesamtzahl an recherchierten Literaturquellen (38 Quellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen) auch ein indirektes Indiz für nur in geringem Umfang vorliegende praktische Erkenntnisse ist. Bei den weiteren 12 recherchierten Arbeiten mit inhaltlichem Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen handelt es sich ausschließlich um wissenschaftliche Artikel zu praktischen Untersuchungen.

Die insgesamt recherchierten 50 Literaturquellen wurden in folgende vier methodische Ansätze (Hauptgruppen) differenziert (Abb. 2), die in einigen Veröffentlichungen auch in Kombination angewandt wurden:

- A. Literaturanalyse/Review: Erkenntnisse basieren auf der Analyse von Fachliteratur bzw. auf einem systematischen Ansatz (Review)
- B. Praktische Untersuchungen: Erkenntnisse basieren auf Vor-Ort erfassten Daten infolge von Messungen, Kartierungen, systematischen Beobachtungen etc.
- C. Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz: Erkenntnisse basieren auf Anwendungen, a) deterministischer (physikalischer, ökologischer), b) statistischer oder c) konzeptioneller Modelle (vereinfachte, näherungsweise Ansätze, ggf. mit empirischen Daten unterstützt)
- D. Expertenbefragung: Erkenntnisse basieren auf einer Systematisierung von Expertenwissen, meist gewonnen im Rahmen von Befragungen

Interessant ist eine Auswertung, welche die Anzahl/Summe der Literaturstellen mit Bewertungsaussagen im Hinblick auf wesentliche potenzielle Belastungskategorien in Beziehung setzt (Abb. 3). Dabei kann entsprechend der Literaturaussagen differenziert werden, in solche Arbeiten die (kategorienbezogen) eine Verschlechterung oder aber diesbezüglich eine Verbesserung nachweisen oder prognostizieren. Teilweise hängt die Bewertung vom konkreten Überdeckungsgrad des Sees mit einer FPV-Anlage oder auch der Konstruktion bzw. dem Aufbau der FPV-Anlage zusammen. Zudem verdeutlicht Abb. 3, in welchem Umfang Aussagen auf Analogieschlüssen (Wirkungen anderer „gewässerabschirmender“ Anlagen) basieren.

Die wesentlichen Erkenntnisse der Literaturrecherche und -analyse werden im Abschnitt 2.4 systematisch vorgestellt und bewertet. Um die Aussagen nachvollziehbarer zu machen, stellen Tab. 1 (FPV-Anlagen) und Tab. 2 (andere schwimmende Konstruktionen) zusammenfassend für alle recherchierten Literaturquellen die Analyse im Hinblick auf die Hauptgruppen der potenziellen Ursachen und Wirkungen (Abschnitte 2.4.1 bis 2.4.11), den methodischen Grundansatz und die betrachtete Gewässerart dar.

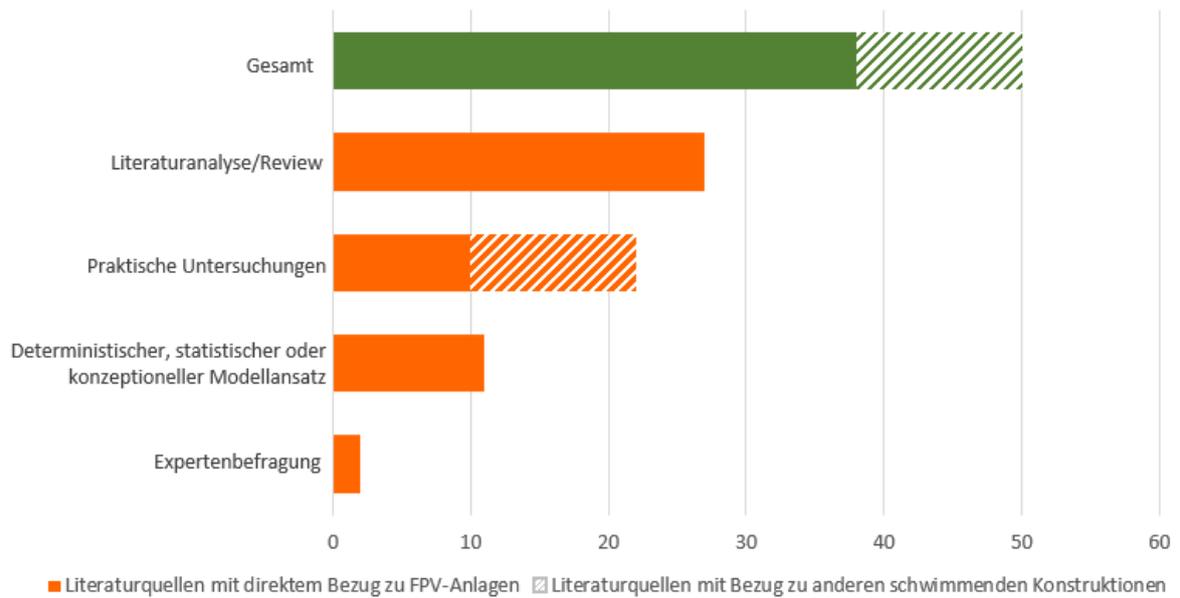


Abb. 2: Anzahl der relevanten Literaturquellen im Hinblick auf wesentliche methodische Ansätze, differenziert nach FPV-Anlagen-Bezug und Bezug zu anderen schwimmenden-Konstruktionen; teilweise Mehrfachzuordnung bei Methodenkombination

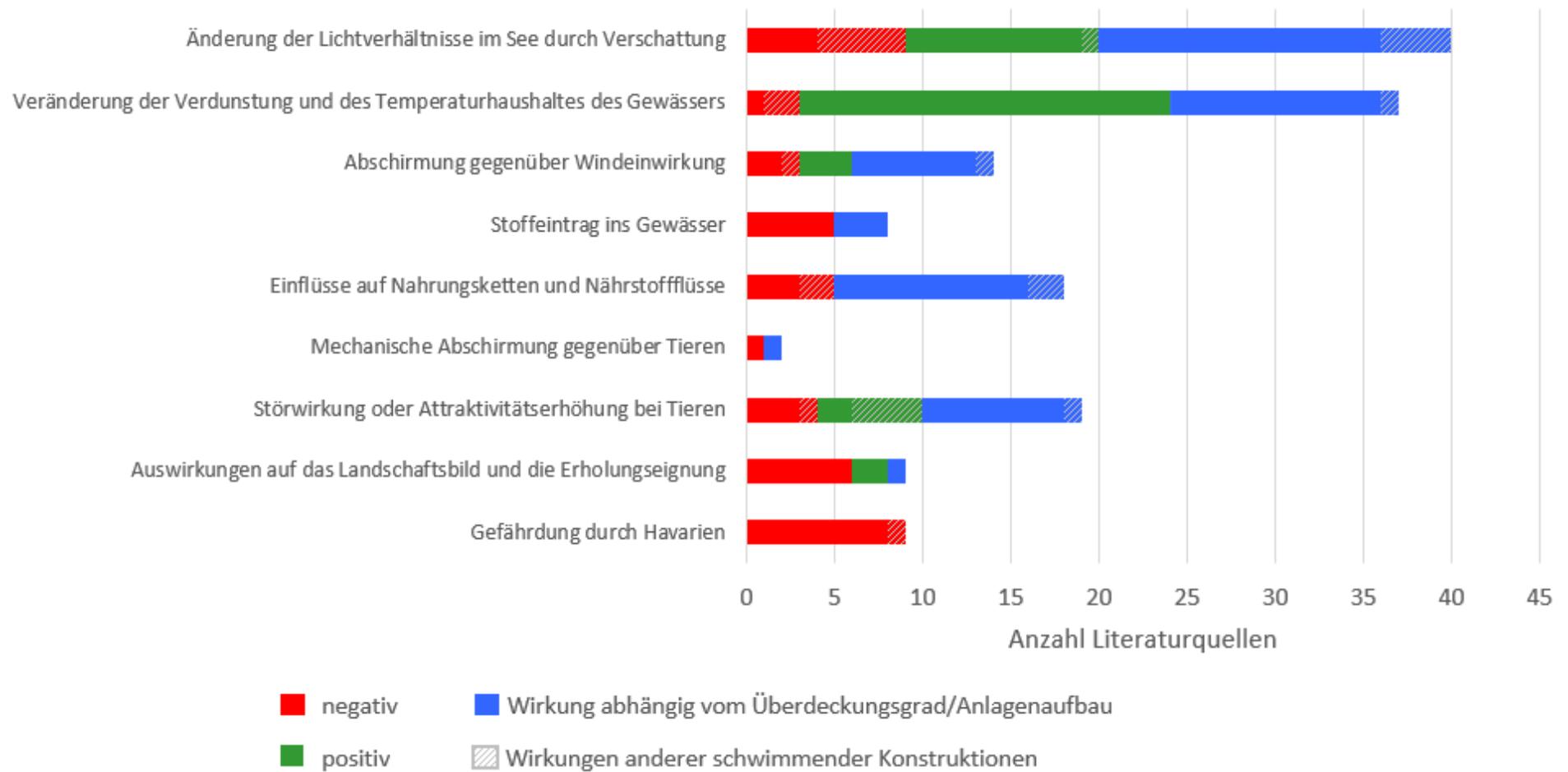


Abb. 3: Anzahl der Literaturquellen mit Bewertungsaussagen im Hinblick auf wichtige potenzielle Auswirkungskategorien (negativ: Verschlechterung nachgewiesen oder prognostiziert, positiv: Verbesserung nachgewiesen oder prognostiziert)

Tab. 1: Analyse für die recherchierten Literaturquellen (in alphabetischer Reihenfolge) im Hinblick auf die Hauptgruppen der potenziellen Wirkungen (Abschnitte 2.4.1 bis 2.4.9), dem methodischen Grundansatz und die betrachtete Gewässerart für Untersuchungen an FPV-Anlagen, bewertete positive Wirkung (+), negative Wirkung (-); Betrachtete Gewässerart bei den Literaturquellen, wo praktische Untersuchungen durchgeführt wurden: KG = Küstengewässer, FG = Fließgewässer, KW = Künstliche Wasserbecken

Quelle	Änderung der Lichtverhältnisse durch Beschattung	Veränderung Verdunstung und Temperaturhaushalt	Abschirmung gegenüber Wind einwirkung	Stoffeintrag ins Gewässer	Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse	Mechanische Abschirmung gegenüber Tieren	Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren	Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung	Gefährdung durch Havarien	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/Review	Expertenbefragung	Betrachtete Gewässerart
Abdelal (2021)	+	+									x			KW
Acharya & Devraj (2019)	-/+	-/+	-/+				-/+		-			x		
Almeida et al. (2022)	-	+							-			x		
Al-Widyan et al. (2021)	-/+	+			-						x			KW
Andini et al. (2022)	-	-	-		-						x			See

Quelle	Änderung der Lichtverhältnisse durch Beschattung	Veränderung Verdunstung und Temperaturhaushalt	Abschirmung gegenüber Windwirkung	Stoffeintrag ins Gewässer	Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse	Mechanische Abschirmung gegenüber Tieren	Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren	Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung	Gefährdung durch Havarien	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/Review	Expertenbefragung	Betrachtete Gewässerart
Armstrong et al. (2020)	+	+	+		-/+		-/+			x				See
Bax et al. (2023)	-	-/+			-/+						x			See
Cazzaniga et al. (2019)	+	+										x		
Costa (2017)				-			-/+	-	-		x	x	x	See
Cuce et al. (2022)	-/+	-/+	-	-	-/+	-	-	-	-			x		
de Lima et al. (2021)	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+						x			See

Quelle	Änderung der Lichtverhältnisse durch Beschattung	Veränderung Verdunstung und Temperaturhaushalt	Abschirmung gegenüber Wind einwirkung	Stoffeintrag ins Gewässer	Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse	Mechanische Abschirmung gegenüber Tieren	Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren	Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung	Gefährdung durch Havarien	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/Review	Expertenbefragung	Betrachtete Gewässerart
Essak & Ghosh (2022)	-/+	+			-/+							x		
Exley et al. (2021a)	-/+	-/+	-/+		-/+		-/+			x				See
Exley et al. (2021b)	-/+	+			-		-					x	x	
Farfan & Breyer (2018)	+	+										x		
Galdino & Olivieri (2017)	-/+	-/+	+									x		
Gamarra & Ronk (2019)		+										x		

Quelle	Änderung der Lichtverhältnisse durch Beschattung	Veränderung Verdunstung und Temperaturhaushalt	Abschirmung gegenüber Wind einwirkung	Stoffeintrag ins Gewässer	Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse	Mechanische Abschirmung gegenüber Tieren	Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren	Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung	Gefährdung durch Havarien	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/Review	Expertenbefragung	Betrachtete Gewässerart
Gorjian et al. (2021)	-/+	+					-/+	+				x		
Haas et al. (2020)	-/+	-/+			-/+					x				See
Hooper et al. (2021)	-/+	+					-/+	-				x		
Ilgen et al. (2023)	-	-/+	-/+							x	x			See
Ji et al. (2022)	-/+	+	-/+							x		x		
Kriechhammer (2017)	+	+		-/+			-/+	-	-			x		
Kulat et al. (2023)	-/+	+		-			+					x		

Quelle	Änderung der Lichtverhältnisse durch Beschattung	Veränderung Verdunstung und Temperaturhaushalt	Abschirmung gegenüber Windeinwirkung	Stoffeintrag ins Gewässer	Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse	Mechanische Abschirmung gegenüber Tieren	Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren	Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung	Gefährdung durch Havarien	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/Review	Expertenbefragung	Betrachtete Gewässerart
Kumar et al. (2021)	-/+	-/+	-/+		-/+					x		x		See, KG, FG
Matthijssen et al. (2020)				-/+							x			See
Melvin (2015)		-/+								x	x			KW
Nguyen (2017)	+	+		-					-			x		
Piana et al. (2021)								-/+				x		
Pimentel da Silva & Branco (2018)	-/+	+							-			x		

Quelle	Änderung der Lichtverhältnisse durch Beschattung	Veränderung Verdunstung und Temperaturhaushalt	Abschirmung gegenüber Wind einwirkung	Stoffeintrag ins Gewässer	Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse	Mechanische Abschirmung gegenüber Tieren	Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren	Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung	Gefährdung durch Havarien	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/Review	Expertenbefragung	Betrachtete Gewässerart
Rosa-Clot (2017)		+	+							x		x		See
Sahu et al. (2016)	+	+	-/+	-				+	-			x		
Sharma et al. (2015)	+	+										x		
STOWA (2018)	-/+	-/+			-/+					x				
Vaschetti et al. (2022)	+	+			-/+							x		
Yang & Yu (2021)									-	x	x			KW
Ziar et al. (2021)		-/+			-/+		-/+			x		x		See

Tab. 2: Analyse für die recherchierten Literaturquellen (in alphabetischer Reihenfolge) im Hinblick auf die Hauptgruppen der potenziellen Wirkungen (Abschnitte 2.4.1 bis 2.4.9), dem methodischen Grundansatz und die betrachtete Gewässerart für Untersuchungen an anderen, Wasserfläche bedeckenden Strukturen, bewertete positive Wirkung (+), negative Wirkung (-); Betrachtete Gewässerart bei den Literaturquellen, wo praktische Untersuchungen durchgeführt wurden: KG = Küstengewässer, FG = Fließgewässer, KW = Künstliche Wasserbecken

Quelle	Änderung der Lichtverhältnisse durch Beschattung	Veränderung Verdunstung und Temperaturhaushalt	Abschirmung gegenüber Wind einwirkung	Stoffeintrag ins Gewässer	Einflüsse auf Nahketten und Nährstoffflüsse	Mechanische Abschirmung gegenüber Tieren	Störwirkung oder Attraktivitätsreduzierung bei Tieren	Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung	Gefährdung durch Havarien	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/Review	Expertenbefragung	Betrachtete Gewässerart
Burdick & Short (1999)	-										x			KG
Cole et al. (2005)							+				x			KG
de Lima et al. (2020)	-						+				x			See, KG, FG
de Lima et al. (2022)	-	-	-		-		+				x			See, KG, FG
Foka (2014)	-	-	-/+								x			See

Quelle	Änderung der Lichtverhältnisse durch Beschattung	Veränderung Verdunstung und Temperaturhaushalt	Abschirmung gegenüber Wind einwirkung	Stoffeintrag ins Gewässer	Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse	Mechanische Abschirmung gegenüber Tieren	Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren	Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung	Gefährdung durch Havarien	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/Review	Expertenbefragung	Betrachtete Gewässerart
Härtwich (2016)	-/+				-/+						x			See, KG
Holloway (2002)	-/+						+				x			KG
Kitazawa et al. (2010)	-/+	-/+			-		-/+		-		x			KG
Li et al. (2011)	+				-/+						x			See
Lindgarth (2001)							-				x			KG
Walker et al. (1989)	-/+										x			KG
Yeh et al. (2014)	-										x			KW

2.4 Kenntnisstand und vorläufige Schlussfolgerungen zu den Auswirkungen von FPV auf Belange von Naturschutz und Landschaftspflege

Basierend auf der recherchierten Literatur, aber auch unter ergänzender Hinzuziehung weiterer und grundlegender Fachliteratur, wird im Folgenden der Kenntnisstand nach Hauptgruppen der potenziellen Wirkungen dargestellt und Schlussfolgerungen im Hinblick auf den Forschungsbedarf gezogen.

FPV-Anlagen können zwar zur Umsetzung der energiepolitischen Zielstellungen einer immer stärkeren Erzeugung und Nutzung regenerativer Energie (hier Elektroenergie) beitragen. Sie nutzen aber die Oberfläche aquatischer Systeme und unterbrechen bzw. beeinflussen grundsätzlich physikalische Prozesse, die wesentliche abiotische Steuergrößen limnischer Systeme darstellen. Zudem sind Seen Teil eines Landschaftsraumes mit mannigfachen abiotischen und biotischen Verknüpfungen zwischen Umland und See, so dass auch dahingehende Beeinflussungen bestehen können (Abb. 4). Aus alldem können sich umweltfachliche Gefährdungen bzw. potenzielle Belastungen ergeben. Generell ist davon auszugehen, dass viele von FPV-Anlagen potenziell ausgehende Wirkungen und Folgen sehr komplex sind, d. h., dass sich Prozesse gegenseitig beeinflussen und überlagern.

Nachfolgend wird der recherchierte Kenntnisstand dargestellt, was vorläufige Schlüsse ermöglicht. Die Einordnungen basieren auf bereits beobachteten bzw. gemessenen, aber auch modellierten oder prognostizierten Wirkungen und Folgen. Aufbau und Struktur der Ausführungen folgen grundlegend der Darstellung bzw. Systematik nach Abb. 5.

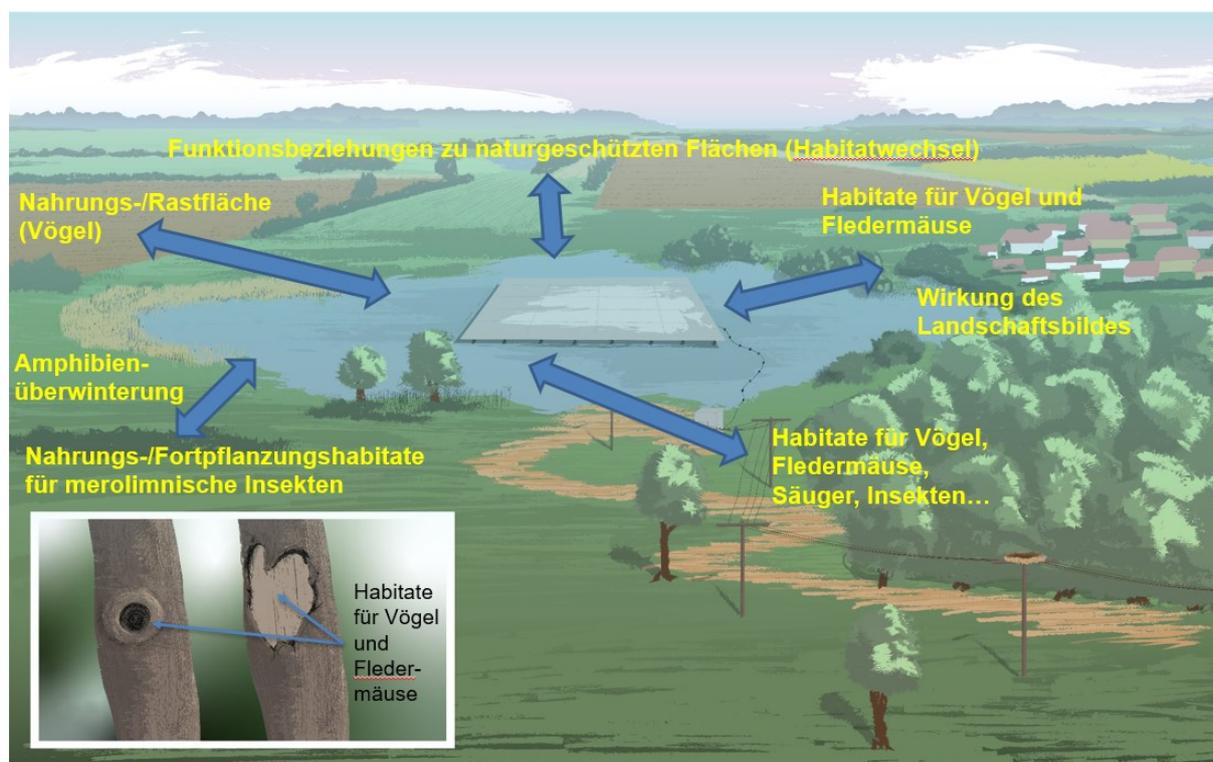


Abb. 4: Wichtige, exemplarische Wirkungen und Zusammenhänge von FPV-Anlagen im landschaftsräumlichen Bezug (eigene Darstellung)

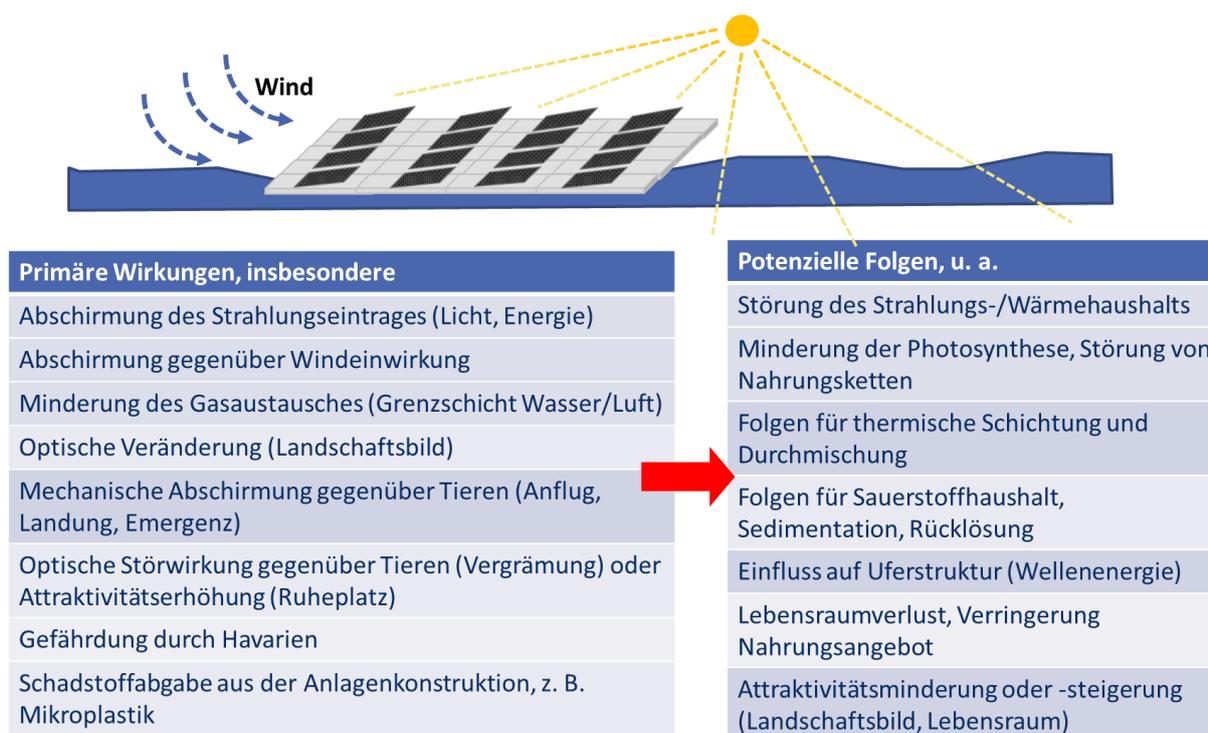


Abb. 5: Wichtige primäre Wirkungen von FPV-Anlagen und potenzielle Folgen (eigene Darstellung)

2.4.1 Abschirmung des Strahlungseintrags: Änderung der Lichtverhältnisse im See durch Beschattung

FPV-Anlagen führen zur teilweisen Abschattung eines Sees, was für alle auf Photosynthese angewiesenen Organismen zu einer unmittelbaren Betroffenheit führt (Haas et al. 2020, Cuce et al. 2022). Das spielt eine große Rolle für die mehr oder weniger stark, aber zumindest unverkennbar von Licht durchfluteten räumlichen Bereiche des Sees, das sogenannte Litoral.

Die Änderungen der Lichtverhältnisse durch FPV-Anlagen wurden bislang aber nur in 6 Arbeiten (Abdelal 2021, Al-Widyan et al. 2021, Andini et al. 2022, Bax et al. 2023, de Lima et al. 2021, Ilgen et al. 2023) direkt ermittelt bzw. gemessen (Tab. 3). Am Maiwaldsee (Baggersee) im Oberrheintal konnten z. B. Ilgen et al. (2023) unterhalb der FPV-Anlage eine gravierende Abnahme des Strahlungseintrags im Vergleich zur unbedeckten Seeoberfläche um 73 % messtechnisch detektieren.

Tab. 3: Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der möglichen Änderungen der Lichtverhältnisse (teilweise Mehrfachzuordnung)

	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/ Review	Expertenbefragung
Literaturquellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen	7	6	22	1
Literaturquellen mit Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen	0	10	0	0

Studien zu anderen schwimmenden Konstruktionen (keine FPV-Anlagen) haben gezeigt, dass die Abschattung eines Sees für alle auf Photosynthese angewiesenen Organismen zu einer unmittelbaren Betroffenheit führt (Kitazawa et al. 2010, Yeh et al. 2014).

Nachfolgend werden die wichtigsten ökologischen Wirkprinzipien anhand ausgewählter Arbeiten zu FPV-Anlagen, von Arbeiten zu anderen schwimmenden Konstruktionen sowie unter Einbeziehung der Fachliteratur kurz diskutiert.

Im Freiwasser (Pelagial) wirkt Abschattung für das Phytoplankton stark limitierend (Galdino & Olivieri 2017, Rosa-Clot 2017, Gamarra & Ronk 2019, Andini et al. 2022). Das ist ökologisch von Belang, weil deren Bedeutung als Primärproduzent innerhalb der Nahrungsketten im See (und darüber hinaus) ökologisch fundamental ist (Uhlmann 1988, Schwoerbel 1993). Demzufolge kann bei nährstoffbelasteten Seen aus der Lichtlimitation auch ein Vorteil entstehen, da die Gefahr von Algenblüten nebst unerwünschten ökologischen Begleiterscheinungen verringert werden könnte. Das kann für seenbezogene Ziele der WRRL von Vorteil sein (LAWA EK Seen 2023).

In einem Experiment mit insgesamt sechs und vergleichsweise kleinen Pontons (Fläche: 3 m x 3 m) wiesen Li et al. (2011) nach, dass die Verschattung die Lichtintensität im Wasser reduziert, wobei diese mit steigender Wassertiefe exponentiell abnahm, und dass das Algenwachstum (Chlorophyll-a-Gehalt sowie Algenzelldichte) signifikant gehemmt wurde. Auch konnten sie ein paralleles Ansteigen der Nährstoffkonzentrationen (Makronährstoffe Stickstoff und Phosphor) messen und damit eine räumlich beschränkte Abnahme der Intensität autotrophischer Prozesse bzw. eine geringere organismische Nährstoffinkorporation. In nicht lichtlimitierten Seebereichen könnte damit ggf. eine höhere Trophie zu verzeichnen sein (z. B. in Form von Algenblüten) oder ggf. könnten auch mehr Nährstoffe über hydrologische Pfade aus dem System ausgetragen werden (Gefahr der Eutrophierung anderer aquatischer Systeme).

Gerade aber für die ebenfalls autotrophen, aquatischen sub- und emersen Makrophyten, die verstärkt in der Flachwasserzone wachsen, ist eine Lichtlimitation ökologisch äußerst kritisch (Burdick & Short 1999, DWA-M 615, Hooper et al. 2021). Mit einer Veränderung der autotrophisch bedingten Faktoren und der Makrophyten sowie des Phytobenthos sind Veränderungen der Nahrungsketten möglich (Cuce et al. 2022), aber auch direkte Veränderungen im Sinne von Habitaten (vor allem bei Makrophytenrückgang), was insbesondere bedeutsam sein kann für Fische und das Makrozoobenthos, aber auch für Fluginsekten bzw. merolimnische Insekten

(z. B. Libellen), für Amphibien und für gewässerabhängige Säuger (Biber, Fischotter etc.). Auch die gewässerinterne Sauerstoffproduktion im Zusammenhang mit der Photosynthese kann so stark leiden, dass insbesondere die sauerstoffatmende Tierwelt geschädigt wird (Fische, Makrozoobenthos, Zooplankton), aber auch schwefelwasserstoff- oder methanproduzierende Bakterien begünstigt werden, was auch den mit FPV verbundenen Dekarbonisierungseffekt zunichtemachen könnte (Almeida et al. 2022).

Die Flachwasserzone steht daher auch im besonderen Fokus der ökologischen Gewässerbewertung nach WRRL bzw. OGewV (Lebensraum für die biologischen Qualitätskomponenten Makrophyten/Phytobenthos, die benthische wirbellose Fauna sowie die Fischfauna). Zudem wird sie als unterstützende hydromorphologische Qualitätskomponente mit dem Teilkriterium „Struktur der Uferzone“ bewertet (zu Verfahren und Bedeutung s. Ostendorp et al. 2008, Mehl et al. 2017a, b).

Zu betonen ist naturschutzfachlich zudem die hohe ökologische Bedeutung des Flachwasserbereiches als Teil des Ufers im Sinne einer Ökotonstruktur, auch bereits im Sukzessionsstadium, z. B. nach einer Auskiesung bzw. ggf. sogar als Teil einer ohnehin genehmigungsrechtlich fixierten Rekultivierung (DWA-M 615, Böx et al. 2017, Mehl 2019).

Fazit: Die durch FPV-Anlagen hervorgerufenen Änderungen der Lichtverhältnisse in einem See wurden nur in sehr wenigen Arbeiten direkt untersucht, d. h. gemessen. Damit sind auch die wenigen Ergebnisse eher objektspezifisch und dem Wesen nach individueller Natur, zumal auch im Hinblick auf die umweltfachliche Deutung. Insofern mangelt es an systematischen, vom FPV-Bedeckungsgrad, der Seemorphologie und vom Seetyp (insbesondere Trophie) abhängigen Ergebnissen bzw. entsprechend fundierten Studien, auch als Grundlage einer Kalibrierung von Modellen und damit der Absicherung entsprechender Modellqualität bzw. Prognosesicherheit.

2.4.2 Abschirmung gegenüber Windeinwirkung

FPV-Anlagen schirmen relevante Seeteilflächen weitestgehend vor den üblichen Windeinwirkungen ab. Eine Reduktion von Windstreich- oder -wirklängen infolge der Abdeckung von Seefläche durch FPV-Anlagen hat Folgen für die Ausbildung von Strömungen (Massentransport) sowie von winderzeugten Wellen (Energie- und Impulstransport).

FPV-Anlagen auf Seen vermindern deswegen den Eintrag an mechanischer (windinduzierter) Energie ins Gewässer (Exley et al. 2021a, b). Die Änderungen auf Grund veränderter Windeinwirkung in einem See durch FPV-Anlagen wurden bislang aber nur in drei Arbeiten (Andini et al. 2022, de Lima et al. 2021, Ilgen et al. 2023) direkt ermittelt bzw. gemessen (Tab. 4). Ilgen et al. (2023) haben z. B. für den bereits in Abschnitt 2.4.1 erwähnten Baggersee im Oberrheintal eine durchschnittliche Verringerung der oberflächennahen Windgeschwindigkeit in Modulhöhe um 23 % messtechnisch ermittelt.

Tab. 4: Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Abschirmung gegenüber Windeinwirkung und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)

	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/ Review	Expertenbefragung
Literaturquellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen	6	3	8	0
Literaturquellen mit Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen	0	2	0	0

Nachfolgend werden die wichtigsten ökologischen Wirkprinzipien anhand ausgewählter Arbeiten zu FPV-Anlagen sowie unter Einbeziehung der Fachliteratur kurz diskutiert.

Eine Veränderung des Windfeldes bzw. der -eigenschaften ist dabei abhängig von der Morphometrie des Sees, der landschaftlichen Einbettung, der äolischen Rauigkeit des Umlandes, aber auch von orographischen Merkmalen wie z. B. der Steilheit eines Ufers bzw. der Uferüberhöhung. Windabschattung kann auf Grund des fehlenden oder reduzierten Energieeintrages zu reduzierter Strömung, einer längeren Schichtungszeit oder gar zu einer nur unvollständigen Durchmischung führen, im Extremfall zur Ausbildung eines Monimolimnions. Auswirkungen auf den Sauerstoff- und Nährstoffhaushalt wären die Folge, s. hierzu ausführlicher in Abschnitt 2.4.3. Besonders gefährdet sind Seen, deren Schichtungsverhalten sich bereits in diese Richtung neigt, also beispielsweise zeitweises Monimolimnion, Übergang vom di- zum monomiktischen Gewässer, oder stärker vom See abgegrenzte Teilbereiche, z. B. Buchten (LAWA EK Seen 2023).

Durch veränderte Windeinflüsse kann auch das Sedimentationsverhalten im See verändert werden. Eine ggf. erhöhte Freisetzung von Treibhausgasen aus dem Sediment könnte als negative Folge eintreten (Kumar et al. 2021).

Veränderungen der maßgeblichen physikalischen Welleneigenschaften/-energie (Höhe, Länge, Periode, Richtung, ggf. Interferenzen) können sich desgleichen auf Struktur, Dynamik und zeitliche Entwicklung der Seeuferbereiche nach Raum und Zeit auswirken: Ufermorphologie und -bewuchs, Korngrößen und Umlagerungsdynamik der Ufersedimente, ufernahe Strömungen, Funktion als Habitate usw.) (Mehl et al. 2017a, b). Trautner et al. (2022) verweisen auf die hohe ökologische Bedeutung von jungen Sukzessionsstadien bzw. Brandungszonen (z. B. für sauerstoffliebende, strömungsangepasste Insektenarten) in erosionsgeneigten (natürlichen und künstlichen) Uferbereichen.

Es ist davon auszugehen, dass generell die Wellen- und Strömungsenergie nach Errichtung von FPV-Anlagen abnimmt, sich demnach die Hydro- und Morphodynamik eines Sees und die damit einhergehenden Prozesse tendenziell abschwächen. Für Uferbereiche spielen hier die Lage in Bezug auf die Hauptwindrichtung und die (ggf. noch verbleibenden) Windstreichlängen über die Wasseroberfläche eine entscheidende Rolle.

Fazit: Die durch FPV-Anlagen hervorgerufene Abschirmung gegenüber Windeinwirkung ist nur in drei Arbeiten messtechnisch belegt. Auch bei diesem wichtigen Kriterium sind die wenigen Ergebnisse und Erkenntnisse dem Wesen nach individueller Natur. Insofern mangelt es an systematischen, vom FPV-Bedeckungsgrad, der FPV-Anlagenkonstruktion, der Seemorphologie und weiteren windwirkungsbestimmenden Faktoren abhängigen Ergebnissen bzw. entsprechenden Studien, auch als Grundlage einer Kalibrierung von Modellen und damit der Absicherung entsprechender Modellqualität bzw. Prognosesicherheit.

2.4.3 Abschirmung des Strahlungseintrags: Veränderungen des Temperatur- und Sauerstoffhaushaltes des Gewässers sowie der Verdunstung

FPV-Anlagen verändern den Wärmehaushalt von Gewässern (Exley et al. 2021a, b, Andini et al. 2022, Cuce et al. 2022, Ilgen et al. 2023).

Im Allgemeinen verzögern FPV-Anlagen vor allem die strahlungsbedingte Erwärmung und auch die Abkühlung des Seewassers, indem dessen Wärmeabgabe verringert wird, insbesondere in den Nächten nach hohen Einstrahlungswerten bzw. auch im Herbst. Die Veränderungen des Temperatur- und Sauerstoffhaushaltes des Gewässers sowie der Verdunstung auf Grund der Abschirmung des Strahlungseintrags durch FPV-Anlagen wurden bislang aber nur in sieben Arbeiten (Abdelal 2021, Al-Widyan et al. 2021, Andini et al. 2022, Bax et al. 2023, de Lima et al. 2021, Ilgen et al. 2023, Melvin 2015) direkt ermittelt bzw. gemessen (Tab. 5). Ilgen et al. (2023) konnten beispielsweise für den Maiwaldsee Verzögerungen des täglichen Minimums und des Maximums der Temperatur bzw. Wärmespeicherung infolge der FPV-Anlagen um durchschnittlich zwei Stunden ermitteln.

Tab. 5: Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Abschirmung des Strahlungseintrages und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)

	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/ Review	Expertenbefragung
Literaturquellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen	10	7	25	1
Literaturquellen mit Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen	0	3	0	0

Nachfolgend werden die wichtigsten ökologischen Wirkprinzipien anhand ausgewählter Arbeiten zu FPV-Anlagen, von Arbeiten zu anderen schwimmenden Konstruktionen sowie unter Einbeziehung der Fachliteratur und eigener Expertise kurz diskutiert.

Generell können die Abschirmungen im Strahlungseintrag und daraus resultierende Temperaturveränderungen nach Raum und Zeit, je nach Umfang und in Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften eines Sees, Folgen für die Schichtung und auch die Durchmischung von Seen haben, wobei für die obere Wassersäule auch der windbedingte Energieeintrag von

hoher Bedeutung ist (Abschnitt 2.4.2). Resultierende physikalische Effekte können insbesondere sein:

- Verringerung der Durchmischung und seeninterner Strömungen in flachen Seen auf Grund geringeren Energieeintrages
- In tiefen Seen vertikale Verschiebungen der Schichtenausbildung in Epi-, Meta- und Hypolimnion auf Grund anderer Vertikalgradienten der Temperatur (Folgen für Konvektion und Zirkulation, d. h. die Strömungsverhältnisse, auch und gerade in Überlagerung mit verändertem Windangriff)
- Phasenverschiebungen der jahreszeitlichen Erwärmung und Abkühlung in Bezug auf mittlere Seewassertemperaturen
- Wegfall oder Veränderungen in Bezug auf die Volldurchmischung bei gleicher vertikaler Temperatur, d. h. längere Schichtungszeit, ggf. unvollständige Durchmischung (tiefere Seen in Deutschland sind im Regelfall dimiktisch, d. h. sie weisen im Frühjahr und im Herbst eine Vollzirkulation auf)
- Veränderungen der internen Nährstoffkreisläufe
- Verringerung der Seeverdunstung
- Veränderungen in Bezug auf die Eisbedeckung nach Raum und Zeit

FPV-Anlagen schirmen die Gewässeroberfläche primär mechanisch ab, was auch zu einer mehr oder weniger starken Minderung des Gasaustausches (Grenzschicht Wasser/Luft) infolge

- A. der Verminderung der Wasser-Luft-Grenzfläche (Schwimmelemente),
- B. der geringeren windbedingten Strömung und Turbulenz (Luft und Wasser) sowie
- C. durch vertikale Beschränkung/Dämpfung des Luftaustausches bei horizontal abschirmenden Modulen bzw. Modulkonstruktionen führt.

In der Folge kann das vor allem zu Veränderungen in Bezug auf die für Organismen physiologisch bedeutsame Aufnahme von Sauerstoff (Atmung) und Kohlendioxid (Photosynthese) aus der Luft durch das Seewasser führen. Foka (2014) hat bei Messungen unter (flächenbezogen) relativ kleinen Hausbooten (floating houses) bereits mittlere Abnahmen im Sauerstoffgehalt gegenüber dem Freiwasser um ca. 10 % festgestellt. Andini et al. (2022) fanden bei Mesokosmos-Experimenten unter FPV-Anlagen eine noch deutlichere Abnahme des Gehalts an gelöstem Sauerstoff. Ziar et al. (2021) bestätigen dieses Phänomen und konnten insbesondere eine Zunahme von hypoxischen Zuständen (Sauerstoffgehalt $< 6 \text{ mg l}^{-1}$) bzw. die Ausdehnung entsprechender Zeiträume unter FPV-Anlagen detektieren.

Die Abschirmung hat aber zusammen mit den Veränderungen des Wärmehaushalts vor allem auch deutliche Konsequenzen für die Verdunstung und bewirkt grundsätzlich deren Abnahme (Galdino & Olivieri 2017, Rosa-Clot 2017, Gamarra & Ronk 2019, Exley et al. 2021a, b, Abdelal 2021, Kumar et al. 2021, Andini et al. 2022, Vaschetti et al. 2022). Unter dem Begriff Verdunstung (Fachbegriff: „Evaporation“; Fachbegriff: „Evatranspiration“ bei Beteiligung von Organismen) fasst man den sich an der Gewässeroberfläche vollziehenden Prozess des Übergangs des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand („Phasenumwandlung“) zusammen. Die durch die Verdunstung einsetzende Wasserdampfentstehung vollzieht sich unterhalb des Siedepunktes von Wasser und benötigt Energie, d. h. Wärmeenergie. Hierauf fußt

der infolge der Verdunstung eintretende Kühleffekt. Gesteuert wird die Verdunstung aber durch das vom Sättigungsdampfdruck abhängige Sättigungsdefizit der Luft (DWA-M 504-2), so dass der windbedingte Luftaustausch über Wasser für die Höhe der Verdunstung ebenfalls eine große Rolle spielt (s. o.).

Aus der teilweise erfolgenden Abdeckung der Seeoberfläche mit FPV-Anlagen erwachsen gerade bei Wasserspeicherlösungen Vorteile im Hinblick auf die Verdunstungsreduktion bzw. die wasserwirtschaftlich vorteilhafte Begrenzung von Wasserverlusten (Exley et al. 2021b). Insbesondere für Stauseen unter ariden/semiariden Bedingungen kann das als vorteilhaft angesehen werden (Gamarra & Ronk 2019, Vaschetti et al. 2022). Kumar et al. (2021) weisen darauf hin, dass die Konstruktionsart, die Größe und das Design der Anlage entsprechend wichtige Einflussgrößen auf die Verdunstung sind.

Eine Verdunstungsminderung könnte aber auch lokalklimatische Nachteile haben: Verringerung der Kühlung infolge von Verdunstung und Transport latenter Wärme sowie Verringerung der Kondensation im Umfeld (vor allem bei autochthonen Wetterlagen): verminderte Wasserversorgung von Pflanzen über Kondensat, verringerte Kondensationswärme/ggf. erhöhte Frostgefährdung bei Kulturpflanzen.

An der direkten Seewasseroberfläche kann bei hoher Einstrahlung und damit Leistung der FPV-Anlage ggf. durch Abwärme eine stärkere Erwärmung stattfinden, wobei hier mit Sicherheit auch konstruktive Details der FPV-Anlage eine Rolle spielen, z. B.

- Abstand der Module zur Wasseroberfläche mit Folgen für die Hinterlüftung oder
- ggf. Unterbrechungen der Modulbedeckung und damit auch für einen mehr oder weniger guten Temperatenausgleich durch Wärmetransport der Luft.

Da von einer relevanten Kühlung und damit höheren Energieausbeute von PV-Modulen auf Gewässern auszugehen ist, erscheint es sachgerecht, zunächst von einem durchaus signifikanten thermischen Energieeintrag (durch Wärmeabstrahlung der PV-Module sowie Wärmetransport der Luft) zu strahlungsreichen Zeiten in die obere Wasserschicht auszugehen und auch diesen Effekt im Blick zu behalten.

Im Hinblick auf die limnologischen Folgen kann den folgenden Aussagen der Arbeitshilfe des LAWA EK Seen für die gewässerökologische Beurteilung von Seen als FPV-Standorte (LAWA EK Seen 2023) gefolgt werden:

- FPV-Anlagen können je nach Größe und Flächenanteil in Bezug auf die Seefläche sowohl zu mildereren Oberflächentemperaturen im Winter als auch zu kühleren Temperaturen im Sommer führen.
- Die in vielen Seen sich vollziehende Ausbildung der winterlichen vertikalen Zonierung („Wintereinschichtung“) kann infolge von FPV-Anlagen verkürzt oder ganz verhindert werden, was damit auch die Intensität (Eisdicke), zeitliche Dauer und der Flächenanteil einer möglichen Eisbedeckung beeinflusst.
- Im Frühjahr und im Sommer wird besonders die Temperatur des Epilimnions direkt beeinflusst, was Folgen für die Biomasse und die Zusammensetzung des Planktons hat.
- Grundsätzlich kann durch die abschirmende Wirkung von FPV-Anlagen das normale Schichtungsverhalten von (tieferen) Seen verändert werden, was sich auf den Sauerstoff- und den Nährstoffhaushalt auswirken kann. Damit können maßgebliche Einflussgrößen auf die Nahrungsketten sowie die Physiologie und die Habitate der limnischen Organismen

gestört werden, was wiederum auch maßgebliche Folgen für terrestrische Nahrungsketten haben kann.

Naturschutzfachlich ist dies insofern relevant, da dies zu Verschiebungen hinsichtlich der Artenausstattung und der Populationsgrößen führen kann. Die Auswirkungen können dabei sowohl den See selbst, das Seeumfeld, als auch räumlich entferntere Bereiche betreffen.

Fazit: Die durch FPV-Anlagen durch Abschirmung des Strahlungseintrags hervorgerufenen Veränderungen des Temperatur- und Sauerstoffhaushaltes des Gewässers sowie der Verdunstung in einem See wurden nur in einer sehr geringen Zahl von Arbeiten direkt untersucht, d. h. gemessen. Von daher sind die wenigen Ergebnisse als objektspezifisch und dem Wesen nach individueller Natur zu kennzeichnen, auch im Hinblick auf die umweltfachliche Bewertung. Insofern mangelt es auch bei diesem Kriterium an systematischen, vom FPV-Bedeckungsgrad, der Seemorphologie und vom Seetyp (insbesondere Trophie) abhängigen Ergebnissen bzw. entsprechend fundierten Studien, auch als Grundlage einer Kalibrierung von Modellen und damit der Absicherung entsprechender Modellqualität bzw. Prognosesicherheit.

2.4.4 Eintrag von Stoffen ins Gewässer

Der Eintrag von Stoffen durch FPV-Anlagen wurde bislang aber nur in drei Arbeiten (Costa 2017, de Lima et al. 2021, Mathijssen et al. 2020) direkt ermittelt bzw. gemessen oder auf Messdaten basierende konkrete Studien aus Umweltverträglichkeitsprüfungen ausgewertet (Tab. 6).

Tab. 6: Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich des Eintrages von Stoffen in das Gewässer und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)

	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/ Review	Expertenbefragung
Literaturquellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen	0	3	6	1
Literaturquellen mit Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen	0	0	0	0

Die wichtigsten Wirkprinzipien werden anhand ausgewählter Arbeiten zu FPV-Anlagen, von Arbeiten zu anderen schwimmenden Konstruktionen sowie unter Einbeziehung der Fachliteratur nachfolgend kurz diskutiert. Die spezifischen Gefährdungen durch Havarien werden im Abschnitt 2.4.9 behandelt.

Costa (2017), Da Silva & Branco (2018) und Cuce et al. (2022) sehen folgende überwiegend stoffliche Gefährdungen:

- Baubedingt: Öl- und Schmiermitteleintrag in das Gewässer durch Maschineneinsatz (auch während des Betriebes durch Havarien); Bodenverdichtung und Staubentwicklung im Zugangsbereich zum See; Verankerung kann bei Installation negative Auswirkungen auf aquatische Lebensgemeinschaft haben (Schwebstoffe, direkter Kontakt), Lärmemission, Eintrag von Abfallstoffen, Erhöhung des Feststoffeintrages ins Gewässer
- Betriebsbedingt: Reinigung der Paneele bei Einsatz von Chemikalien
- Rückbaubedingt: grundsätzlich wie baubedingt

Bei der Arbeitshilfe des LAWA EK Seen (2023) wird betont, dass auf einen Einsatz gewässerschädlicher Materialien bei der Anlagenkonstruktion generell verzichtet werden sollte. Bei fehlenden Daten zur Freisetzung und zur Wirkung sollten entsprechende Studien durchgeführt werden. Durch den Einsatz von High-Density-Polyethylen (HDPE) bei unvermeidlichem Kunststoffeinsatz sowie durch die Anwendung von speziellen Stahlzink-Beschichtungsverfahren für Anlagenteile könnten die Einträge in den Wasserkörper laut der Arbeitshilfe zumindest minimiert werden.

Gemäß Sahu et al. (2016) können Siliziummodule und auch thermoplastische Schwimmkörper aus HDPE die Wasserqualität beeinträchtigen. Cuce et al. (2022) weisen darauf hin, dass insbesondere Blaualgen Metalle korrodieren können. Mögliche stoffliche Emissionen aus Stromkabeln zieht Costa (2017) in Betracht.

Bei Untersuchungen auf Schwermetalle, poly- und monozyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, instabile Halogenkohlenwasserstoffe, monozyklische (Halogen) Stickstoffverbindungen, Phenole und Halogenphenole stellten Mathijssen et al (2020) im Seewasser unter FPV-Anlagen nur sehr geringe Konzentrationen fest. Ähnliche Befunde fanden auch de Lima et al. (2021) im Ergebnis einer in-situ-Untersuchung der FPV-Anlage Bomhofsplas bei Zwolle (Niederlande).

Augenmerk muss auch das Thema „Anti-Fouling“ haben (Costa 2017). De Lima et al. (2021) fanden bereits wenige Monate nach der Installation der FPV-Anlage Bomhofsplas einen ausgeprägten Biofilm an den Anlagenteilen. Anti-Fouling-Lösungen können daher die Leistung und die Lebensdauer von FPV erhöhen, indem sie die Verschmutzung und Korrosion von Modulen, Anlagenträgern und Schwimmkörpern durch organismische Besiedlung reduzieren. Das Phänomen der z. T. exzessiven organismischen Besiedlung (vor allem Muscheln) ist bereits aus der Schifffahrt und bei wasserbenetzten Schiffsteilen bekannt, ist aber auch für bestehende FPV-Anlagen bereits bestätigt. So fanden z. B. Kitazawa et al. (2010) eine hohe organismische Besiedlung mit Muscheln und anderen sessilen Organismen an den Unterwasserteilen von schwimmenden Plattformen und weisen auf die positiven Wirkungen des Bewuchses für die Reduktion des seeinternen Nährstoffangebotes hin.

Entscheidend ist die Art der eingesetzten Anti-Fouling-Maßnahme: Soll Anti-Fouling insbesondere mittels (giftiger) Chemikalien, spezieller Beschichtungen, mechanischer Reinigung, Ultraschallverfahren, elektrischer Felder oder gar biologischer Methoden (Fraß, Parasitierung o. ä.) erreicht werden oder kann der Bewuchs durch entsprechende (hydro)statische Dimensionierung (Anlagenauftrieb) ggf. sogar in Kauf genommen werden (Ersatzhabitat, Vorteile für die Wasserqualität)? Hier besteht grundsätzlicher Untersuchungsbedarf.

Ziar et al. (2021) weisen auf ein anderes Problem hin. Vornehmlich auf flach geneigten PV-Modulen tritt Vogelkot auf; solche Konstruktionen nutzen Vögel als Ruhebereiche und sogar zum Brüten. Insofern könnte ggf. auch eine Verstärkung von Nährstoffeinträgen (vor allem des besonders eutrophierungsrelevanten Phosphors) möglich sein, was technologisch (weitgehend) vermieden werden könnte, zumal eine Neigung von ca. 30-40° in Deutschland wegen des Sonnenstandes auch für den Ertrag vorteilhaft ist. Geneigte Solarmodule können die Attraktivität für Vögel vermindern und zugleich durch den Niederschlagseffekt selbstreinigend wirken (Vermeidung oder Verminderung von Maßnahmen der Oberflächenreinigung).

Die Wartung und Reinigung der PV-Module sollte nach LAWA EK Seen (2023) auf jeden Fall so erfolgen, dass keine Schad- und Nährstoffe in das Gewässer gelangen; dies gilt auch für die ggf. erforderliche Verwendung von speziellen Stoffen zum Löschen in Brand geratener Anlagenteile, s. auch Abschnitt 2.4.9.

Fazit: Der durch FPV-Anlagen potenziell verursachte Eintrag von Stoffen in einen See wurde in lediglich zwei Arbeiten direkt untersucht, d. h. gemessen. Hier besteht demnach erheblicher Forschungsbedarf, zumal eine Vielzahl von Stoffen potenziell relevant ist. Von daher spielen hier auch die Konstruktion und die Materialien der FPV-Anlagen eine wesentliche Rolle. Abhängig ist die ökologische, ggf. sogar toxikologische Wirkung von Stoffen stets von den Eigenschaften der Seen wie insbesondere Größe, Volumen, biogeochemische und trophische Verhältnisse sowie hydrologische Prägung.

2.4.5 Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse

Alle bereits in den Abschnitten 2.4.1 bis 2.4.4 genannten Einflüsse können sich auf die Nahrungsketten auswirken sowie Nährstoffflüsse verändern (Cuce et al. 2022). Ggf. könnten neue Nährstoffquellen (seenintern oder -extern, z. B. Rücklösungen aus dem Sediment oder aus Vogelkot) hinzutreten. Das Zusammenspiel von Photosynthese, Sedimentation, Rücklösung etc. beeinflusst den Stoffumsatz und die organismische Besiedlung, was den ökologischen Zustand/das ökologische Potenzial entsprechend WRRL/OGewV bestimmt.

Die Wirkungen von FPV-Anlagen auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse wurden bislang nur in vier Arbeiten und auch nur in sehr begrenzten Teilaspekten praktisch untersucht bzw. ermittelt (Tab. 7). Al-Widyan et al. (2021) und Andini et al. (2022) beispielsweise konnten infolge einer FPV-Anlage oder bei Mesokosmos-Experimenten eine Verringerung des pH-Werts, eine Verbesserung der Transparenz/Sichttiefe, eine Zunahme des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und eine Verringerung der Algenbiomasse bei gleichzeitiger Verringerung des gelösten Sauerstoffs feststellen. Ähnliche Untersuchungsergebnisse finden sich auch bei Bax et al. (2023) sowie de Lima et al. (2021). Alle Autor*innen interpretieren ihre Ergebnisse als Verbesserung der Wasserqualität. Die Verringerung der Algenbiomasse ist dagegen aber als potenziell erheblicher Einfluss auf die Nahrungsketten zu bewerten.

Tab. 7: Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)

	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/ Review	Expertenbefragung
Literaturquellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen	6	4	7	1
Literaturquellen mit Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen	0	4	0	0

Wie groß die Einflüsse von FPV-Anlagen auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse sind, hängt von vielen Faktoren ab. Der Seetyp, die individuellen Verhältnisse des Sees und die relative Anlagengröße sind Hauptfaktoren. Grundsätzlich sind für die Gewässerqualität infolge der Wirkung einer FPV-Anlage Verschlechterungen als auch Verbesserungen (zumindest im Hinblick auf trophische Folgen, insbesondere Algenblüten) möglich. Auch könnte ein Bewuchs an schwimmenden Anlagenbestandteilen mit Muscheln und in geringerem Umfang auch mit Periphyton (s. o.) infolge verstärkter Filtration und Nährstoffbindung durchaus positive Effekte zur Verbesserung der Wasserbeschaffenheit und Sichttiefe hervorrufen (LAWA EK Seen 2023).

Zu betonen ist, dass neben den seeninternen Nahrungsketten und Stoffumsetzungsprozessen natürlich auch jene Prozesse zu betrachten sind, welche für Tiere des Umlandes von Bedeutung sind. Seen dienen etlichen Artengruppen, z. B. Vögeln und Säugern, als Nahrungshabitat. Gleichzeitig werden tierische Ausscheidungen in die Seen eingetragen. An der FPV-Anlage könnte es ggf. zur Ansammlung von Wasservögeln kommen. Kormorane könnten beispielsweise Anlagenteile als neue Ansitz- und Trockenplätze entdecken. Dies kann auch zu einer Anreicherung von Vogelkot führen (s. o.), was aus limnologischer Sicht zu einem unerwünschten Nährstoffeintrag in die Seen führen kann. Sollten Badestellen von Relevanz sein, wären ggf. hygienische Aspekte von Belang (potenzielle Keimbelastung).

Seeinterne Veränderungen ziehen daher auch seeexterne Veränderungen in den Nahrungsketten nach sich, zumal unter dem weiteren Aspekt einer mechanischen Abschirmung (s. Abschnitt 2.4.6).

Fazit: Die durch FPV-Anlagen relevanten bzw. potenziellen Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse in einen See wurden nur in sehr wenigen Arbeiten und nur in sehr begrenzten Teilaspekten direkt untersucht, d. h. gemessen. Der Forschungsbedarf ist hoch und erklärt sich insbesondere bereits im Hinblick auf die Erkenntnisdefizite der vorstehenden Kriterien (Abschnitte 2.4.1 bis 2.4.4). Insbesondere besteht er aber im Hinblick auf eine angemessene Bewertung der Glieder des Nahrungsnetzes, was die Dringlichkeit dahingehend zielführender biologischer Untersuchungen unterstreicht.

2.4.6 Mechanische Abschirmung für Tiere

Die Wirkung von FPV-Anlagen gegenüber Tieren basiert neben einer möglichen Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung (s. Abschnitt 2.4.7) zunächst auf der mechanischen Abschirmung. Ver- oder mindestens behindert werden der Anflug, die Landung auf dem Wasser, das Jagen über der Wasseroberfläche oder auch die Nahrungssuche unter Wasser. Insofern führen FPV-Anlagen zum Entzug von Lebensraum und zu einer Barrierewirkung für viele Tiere. So könnten vor allem Schwimm- und Tauchvögel, gewässergebunden jagende Greifvögel oder Fledermäuse und Insekten durch den Entzug von Seefläche leiden.

Die Einflüsse mechanischer Abschirmung für Tiere durch FPV-Anlagen wurden bislang nicht praktisch untersucht (Tab. 8). Die Möglichkeit dieser Auswirkung wurde lediglich in zwei Studien angesprochen. Bei im bzw. auf dem See (u. a. auf emersen bzw. schwimmenden Pflanzen) brütenden Arten können entsprechend Costa (2017) und Cuce et al. (2022) Einschränkungen und damit negative ökologische Folgen relevant sein. Eine Barrierewirkung für Vögel, Fledermäuse und Fische beschreibt Costa (2017) und thematisiert das bislang unbekanntes Wissen um die Gefahr für Kollisionen mit Anlagenstrukturen. Für im Wasser schlüpfende erwachsene Insekten wird infolge von FPA-Anlagen die Emergenz ggf. verhindert oder erschwert.

Tab. 8: Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der mechanischen Abschirmung für Tiere und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)

	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/ Review	Expertenbefragung
Literaturquellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen	0	0	2	0
Literaturquellen mit Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen	0	0	0	0

Fazit: Die von FPV-Anlagen ausgehende mechanische Abschirmung für Tiere wurde bislang nicht untersucht und sollte dringend Teil umfassender Forschungsfragestellungen sein. Hier sind dementsprechend biologische bzw. zooökologische Untersuchungsansätze zu wählen.

2.4.7 Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren

Es ist aber auch wahrscheinlich, dass einzelne Tierarten (z. B. der Kormoran) Anlagenteile als Sitzwarten nutzen oder sogar in Anlagenteilen brüten, wenn deren Charakter entsprechenden Schutz erwarten lässt (z. B. unter zelt-/dachförmig aufgestellten PV-Modulen). Entsprechende Effekte sind bei PV-Modulen auf Hausdächern bekannt (z. B. brütende Spatzen und Tauben). Dies kann zu einer FPV-Anlagen(typ)- und artabhängigen Attraktivitätswirkung führen. Costa (2017) verweist daher auch auf mögliche Anziehungswirkungen für Vögel und Fledermäuse. Die mögliche Attraktivität von FPV-Anlagen für Wasservögel (Unterstand, Brutplatz) wird

durch de Lima et al. (2021) im Rahmen von Zufallsbeobachtungen bestätigt (dies ist nicht als systematischer Untersuchungsansatz zu werten).

Auch für aquatische Organismen führen vor allem Anlagenteile, die getaucht sind, zur Attraktivitätserhöhung, indem sie als Hart- bzw. Aufsiedlungssubstrat fungieren. Das gilt für Algen, Bakterien und vor allem auch für das Makrozoobenthos (insbesondere für Muscheln, Schnecken), siehe hierzu auch Abschnitte 2.4.4 und 2.4.10. Gleichzeitig dienen die schwimmenden Strukturen Fischen und vor allem Muscheln als zusätzliches Habitat. Kitazawa et al. (2020) haben bei Untersuchungen von schwimmenden Pontons in der Tokio-Bay festgestellt, dass vorrangig Muscheln die Pontons besiedeln.

Bei einigen Fischarten ist davon auszugehen, dass FPV-Anlagen durchaus als Schutz gegenüber Raubtieren (insbesondere Raubvögel) eine gewisse Attraktion erfahren („Fischunterstand“), vgl. auch Costa (2017); zudem führt eine Aufsiedlung von Flora und Fauna auf Anlagenteilen unter Wasser auch zur Attraktivität als Nahrungshabitat für Fische.

Optische und/oder akustische Störwirkungen gegenüber Tieren können jedoch vor allem auch zur Vergrämung führen; hierunter fallen alle bau- und wartungsbedingten Störungen (z. B. Montagearbeiten, Reinigung, Modulaustausch, vgl. auch Abschnitt 2.4.4), aber auch Spiegelung, Lichtbündelung, optische Veränderungen etc.

Zur Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren durch FPV-Anlagen wurden bislang keine praktischen Untersuchungen durchgeführt (Tab. 9).

Tab. 9: Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)

	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/ Review	Expertenbefragung
Literaturquellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen	3	0	11	2
Literaturquellen mit Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen	0	6	0	0

Fazit: Auch die von FPV-Anlagen ausgehende potenzielle Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren wurde bislang in keiner Arbeit untersucht und sollte daher ebenso wichtiger Teil umfassender Forschungsfragestellungen sein. Bei entsprechenden praktischen Untersuchungen an anderen schwimmenden Konstruktionen konnte vor allem eine Ansiedlung von Muscheln unterhalb der schwimmenden Konstruktionen festgestellt werden. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf FPV-Anlagen ist aber nicht ohne weiteres möglich. Von daher sind geeignete biologische bzw. zooökologische Untersuchungsansätze zu wählen.

2.4.8 Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung

Angesichts der Neuartigkeit von FPV im deutschen Kontext gibt es bisher keine Studien, die sich mit den Auswirkungen von FPV-Anlagen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung beschäftigen. Zu den Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung durch FPV-Anlagen wurde keine empirische Studie gefunden, sondern nur eine Reihe von Studien, die auf dem Prinzip „Review“ basieren bzw. die Wichtigkeit der Landschaftsbildbewertung betonen (Tab. 10).

Tab. 10: Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)

	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/ Review	Expertenbefragung
Literaturquellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen	0	0	9	1
Literaturquellen mit Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen	0	0	0	0

Darüber hinaus werden in der sonstigen, nicht durch die Literaturrecherche erfassten Literatur die Auswirkungen anderer Natureingriffe wie Windkraftanlagen, Stromnetze und Freiflächenphotovoltaikanlagen auf das Landschaftsbild untersucht. Insbesondere die Ergebnisse zur Freiflächenphotovoltaik lassen sich grundsätzlich auf den vorliegenden Kontext übertragen, was auch den nationalen Forschungsstand widerspiegelt. Im Folgenden werden die Auswirkungen von FPV auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung daher auf diese Weise abgeleitet und die methodischen Schritte der Analyse aus der Literatur aufgezeigt.

Entsprechend § 1 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) sind Ziele des Naturschutzes u. a. der Schutz der biologischen Vielfalt, die Erhaltung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts einschließlich der Regenerationsfähigkeit und der nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter sowie der Schutz von Natur und Landschaft im Hinblick auf Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie im Hinblick auf den Erholungswert von Natur und Landschaft. Der Begriff „Landschaftsbild“ entsprechend UVPG, der auch für die Erholungseignung eine maßgebliche Bedeutung besitzt, taucht hingegen im Gesetzestext des BNatSchG nicht auf (Roth & Bruns 2016). Das Landschaftsbild ist aber als Teil der Erholung zu verstehen, die angemessen bei der Planung berücksichtigt werden soll und ist nach § 7 (1) Nr. 3 BNatSchG so definiert: „natur- und landschaftsverträglich ausgestaltetes Natur- und Freizeiterleben einschließlich natur- und landschaftsverträglicher sportlicher Betätigung in der freien Landschaft, soweit dadurch die sonstigen Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege nicht beeinträchtigt werden“ (Roth & Fischer 2020).

Zwei wichtige Faktoren bestimmen den Grad der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes. Zum einen die Bedeutung des Landschaftsbildes selbst, und zum anderen die Intensität der negativen Auswirkungen einer FPV-Anlage (KNE 2020). Die Intensität hängt von verschiedenen

Wirkfaktoren (beispielsweise Flächeninanspruchnahme, Einzäunung, erkennbare Anlageelemente, Spiegelung/Reflexionen, Vergleich zur Horizontlinie) und der Empfindlichkeit des Landschaftsbildes ab, die von Wiederherstellbarkeit, Vorbelastungen und Sichtbarkeit abhängig ist. Zu den möglichen Auswirkungen einer FPV-Anlage auf das Landschaftsbild und den Erholungswert gehören die folgenden Aspekte, die auch bei Freiflächenanlagen vorkommen (Regionale Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel 2021):

- Beeinträchtigung der landschaftsprägenden und kulturhistorisch bedeutenden Landschaftsausschnitte und -elemente,
- Veränderung der qualitativen Ausprägung der Landschaft durch technische Überprägung,
- Verlust typischer Landschaftsformen,
- Beeinträchtigung durch optische Störreize,
- Beeinträchtigung durch Reflexionen der Anlage,
- Beeinträchtigung der Erholungsmöglichkeiten in unmittelbare Nähe der Anlage.

Es fehlen aber sowohl in der Praxis als auch in der Wissenschaft bislang standardisierte Verfahren zur Bewertung der Auswirkungen von FPV-Anlagen auf das Landschaftsbild. Erkannt ist das Problem der notwendigen „Attraktivitätsbewertung“ aber (Haas et al. 2020, Hooper et al. 2021, Cuce et al. 2022).

Üblicherweise berücksichtigen Methoden zur Erfassung und Bewertung der Landschaftsästhetik Indikatoren für die Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft und beziehen dabei Störwirkungen mit ein (z. B. Hermes et al. 2018, Thiele et al. 2020). Ähnliche Methoden und Vorgehensweisen, die bei Freiflächenanlagen verwendet werden, um Auswirkungen auf das Landschaftsbild zu bewerten, können mit herangezogen werden, um eine Basis für das Untersuchungskonzept zu etablieren. Um die Auswirkungen auf die Vielfalt und Eigenart der Landschaft zu erfassen, wird in den meisten Fällen eine GIS-unterstützte Sichttraumanalyse vorgeschlagen, um die optischen Störreize möglichst zu erfassen. Dabei können sowohl die Überprägung der FPV-Anlage in der Landschaft als auch mögliche Vorbelastungen im betroffenen Sichtraum qualitativ festgestellt werden. Aus der Analyse lässt sich auch die Empfindlichkeit und Intensität der Wirkfaktoren ableiten (KNE 2020).

In Bezug auf die Erholungseignung muss eine qualitative Analyse der Beeinträchtigung der Erholungsmöglichkeiten erfolgen. Um die Auswirkung auf das Kriterium Schönheit zu erfassen, kann das Vorgehen auf verschiedenen Methoden basieren. Da eine Bürgerbeteiligung an der Planung solcher Vorhaben die Akzeptanz erhöhen kann (Schmidt et al. 2018a), gibt es bereits Empfehlungen, bundesweite Umfragen mit der Bevölkerung durchzuführen. Durch repräsentative Stichproben lässt sich durch solche Umfragen das relativ subjektive Kriterium „Schönheit“ besser ermitteln. Anhand von Visualisierungen des Vorhabens kann hierbei die Bevölkerung Meinungen zur Schönheit (mit unterschiedlichen Begriffen und auf einheitlichen Skalen) äußern (Roth & Fischer 2020).

In Bezug auf die räumliche Planung geeigneter Standorte für FPV-Anlagen kann auf methodisches Vorgehen aus der Planung von Freiflächenanlagen und den Ausbau von Windenergie zurückgegriffen werden, indem die Ergebnisse der vorliegenden Methodik kombiniert werden mit Ausschlusskriterien, Restriktionskriterien und Eignungskriterien (Schmidt et al. 2018b).

Fazit: Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung im Zusammenhang mit FPV-Anlagen sind nicht praktisch untersucht und sollten daher Teil entsprechender Forschungsstrategien sein. Hier eröffnen bewährte nationale Verfahren für andere regenerative Energieanlagen gute Möglichkeiten einer Adaption. Ggf. könnten sich hier weitergehende sozioökonomische Forschungen anschließen (z. B. Akzeptanzfragen).

2.4.9 Gefährdung durch Havarien

Eine Gefährdung des Ökosystems See durch Havarien im Zusammenhang mit FPV-Anlagen ist grundsätzlich gegeben (da Silva & Branco 2018). Die jeweiligen umweltfachlichen Folgen sind nur einzelfallspezifisch beurteilbar.

Zur Gefährdung durch Havarien von FPV-Anlagen wurde eine empirische Studie gefunden (Tab. 11). In der Studie von Yang & Yu (2021) war es Ziel, für eine modellhaft verkleinerte FPV-Anlage numerische und experimentelle Simulationen unter Wellen- und Windlast durchzuführen, um die Bewegungseigenschaften der Plattform, die Spannung der Verankerungsleine sowie den Druck- und Auftriebskoeffizienten der Paneele bei einer Wassertiefe von 2,5 m und 5 m zu analysieren. Die Ergebnisse zeigen, dass das FPV-System unter normalen Seebedingungen bei einer hohen Wellenfrequenz in Resonanz treten kann und eine größere Auftriebskraft an der Luvseite auftritt. Unter extremen Seebedingungen änderte sich die Nickbewegung der schwimmenden Plattform, ohne zu kippen; der starke Wind verursachte jedoch eine große Drift der FPV-Anlage und sogar Wirbelbildung, so dass ohne entsprechende Stabilität der FPV-Anlagen und ohne geeignete Festhalte-/Verankerungslösungen die Gefahr von Beschädigungen und Havarien bestände.

Tab. 11: Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Gefährdung durch Havarien und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)

	Deterministischer, statistischer oder konzeptioneller Modellansatz	Praktische Untersuchungen	Literaturanalyse/ Review	Expertenbefragung
Literaturquellen mit direktem Bezug zu FPV-Anlagen	1	1	7	1
Literaturquellen mit Bezug zu anderen schwimmenden Konstruktionen	0	1	0	0

Zudem sollte bei Bau, Rückbau und auch bei Wartungsarbeiten im Anlagenbetrieb darauf geachtet werden, dass möglichst keine wassergefährdenden und/oder toxischen Stoffe zum Einsatz kommen (Abschnitt 2.4.4). Auf den Einsatz kraftstoffbetriebener Motoren und Geräte auf dem See sollte von vornherein zugunsten elektrischer Antriebe verzichtet werden.

Im Hinblick auf mineralölbasierte Schmierstoffe u. ä. sollten bestmögliche Vorkehrungen getroffen werden, um eine Freisetzung in das Gewässer oder auch die Umfeldzone zu verhindern. Für die erforderlichen Umwandlungen von Gleich- in Wechselstrom sollten möglichst ölfreie Trockentransformatoren bei den notwendigen Wechselrichtern zum Einsatz kommen.

Für den Brandfall von Anlagenteilen sollten Notfallpläne bestehen, die insbesondere auch Löschtechnologien vorschreiben, die schadstofffrei oder -arm sind. Gewässer- und ggf. bodenschutzorientierte Lösungen zum Auffangen von Löschmitteln sollten vorgesehen werden. Auch für den Fall des Abreißen einer FPV-Anlagen-Verankerung, insbesondere bei Sturm, und Auflaufen der Anlage im Uferbereich oder auch für den Fall des Versinkens von Anlagen oder Anlagenteile sollten Notfallpläne vorgehalten werden.

Auch elektrische Unfälle durch Unterwasserkabel mit entsprechenden Folgen für die Lebewelt sind prinzipiell möglich (Sahu et al. 2016).

Fazit: Die Gefährdung durch Havarien im Zusammenhang mit FPV-Anlagen ist kaum praktisch untersucht, woraus sich entsprechender Forschungsbedarf generiert, vor allem zur Ableitung zielführender Vermeidungs- und Verminderungsstrategien, ggf. auch im Hinblick auf Reaktionsmöglichkeiten im Havariefall. Hier wären auch zusätzliche Forschungsbeiträge der Anlagenhersteller und Zulieferer sinnvoll und hilfreich.

2.4.10 Sonstige Wirkungen und Aspekte

Im Zusammenhang mit FPV-Anlagen verlegte Unterwasserkabel erzeugen elektromagnetische Felder, was die Lebewelt beeinflussen kann (Essak & Ghosh 2022). Costa (2017) sieht hier mögliche Folgen insbesondere für Fische und Rundmäuler.

Abspannende Unterwasser-Verankerungen von Schwimmanlagen sind meistens primär nur kleinflächig, können aber einen größeren negativen Effekt auf die Boden- und Vegetationsstrukturen unter Wasser haben, weil die „Löcher“ zu einer Vergrößerung erosionsanfälliger

Bereiche führen (Walker et al. 1989). Dies bedeutet, dass entsprechende Verankerungen vor allem in flacheren Bereichen (Litoral) mit stärkerer Strömung zur Verhinderung von Erosion subhydrischer Böden bzw. zur Verhinderung von Schäden an der Unterwasservegetation vermieden werden sollten. Costa (2017) sieht auch mögliche Verdichtungen und direkte Schädigungen des Seebodens auf Grund von Gewichteten oder Verankerungen als potenzielle Gefahr. Auf eine mögliche Trübung des Gewässers durch Montage und Demontage von Vertäuungs- und Ankersystemen weisen Cuce et al. (2022) hin.

Costa (2017) thematisiert die möglichen Nachteile der Platzierung von Wechselrichtern auf der FPV-Anlage, kommt am Ende zum Schluss, dass eine Platzierung an Land umweltverträglicher ist. Nach Auswertung von Studien ist Costa (2017) der Meinung, dass bei der Abführung von Gleichstrom die Bedeutung der elektromagnetischen Felder für aquatische Organismen ungleich höher und damit nachteiliger einzuschätzen sind als bei Wechselstrom.

Zur ökologischen Kompensation oder zur generellen ökologischen Aufwertung könnten an Schwimmkörpern geeignete künstliche Strukturen angebracht werden, die als wertvolle Teillebensräume bzw. Habitate dienen können (z. B. Holloway & Connell 2002, Cole et al. 2005, Lu et al. 2015). Die Stiftung Lebensraum Elbe (SLE 2023) empfiehlt zur Aufwertung künstlicher oder erheblich veränderter Gewässer schwimmfähige, sogenannte „mobile Habitatmodule“, die sowohl Habitatstrukturen unter Wasser als auch über der Wasseroberfläche erzeugen können, insbesondere durch emerse Makrophyten (Helophyten) oder totholz- oder anderweitig substratgefüllte Gabionen. Lu et al. (2015) zeigen u. a. messbare Vorteile durch „reinigende“ Pflanzen und Mikroorganismen für die Wasserqualität. Holloway & Connell (2002) können eine höhere Anzahl von Taxa der wirbellosen Fauna bei an der Oberfläche schwimmenden künstlichen Strukturen gegenüber künstlichen Unterwasserhabitats nachweisen. Sie folgern, dass schwimmende künstliche Habitate daher ökologisch günstiger sind, weil sie mehr und konstanter Licht erhalten als solche im Unterwasserbereich.

Fazit: Auch sonstigen Wirkungen und Aspekte sollte im Hinblick auf die Forschungsstrategie und das -design gewisses Augenmerk zu teil werden. Teilweise erscheinen entsprechende Aspekte zunächst als Art Spezialfragestellungen. Sie können aber fallweise von hoher Bedeutung sein.

Ebenfalls gilt es, das Thema der ökologischen Kompensation bzw. der generellen ökologischen Aufwertung wissenschaftlich mit Nachdruck zu verfolgen, auch weil dem gerade im Zusammenhang mit Ausgleich und Ersatz von Lebensraum bei Eingriffen gemäß § 15 BNatSchG, zudem im Hinblick auf das Verschlechterungsverbot nach § 27 WHG, und damit bei natur- und umweltrechtlichen Genehmigungsverfahren eine hohe Bedeutung zukommen kann.

2.4.11 Einfluss des Bedeckungsgrades der FPV-Anlage

Eine zentrale umweltfachliche Frage ist diejenige nach dem relativen Anteil einer FPV-Anlage an der Gewässeroberfläche eines Sees, d. h. die Frage, welcher maximale Bedeckungsgrad noch verträglich für das Ökosystem See wäre. Dass hier individuelle oder bestenfalls typologische Abhängigkeiten von Seetyp, Seemorphologie und anderen Faktoren bestehen, wurde bereits vorstehend umfangreich thematisiert. In der analysierten Literatur werden bereits (ausschließlich als Ergebnis modellbasierter Simulationen) Prozentwerte der Überdeckung/des

Bedeckungsgrades, d. h. des Anteils von FPV-Anlagen an der Seefläche, im Hinblick auf die möglichen negativen gewässerökologischen Folgen postuliert bzw. diskutiert:

- Nach Mathijssen et al. (2020) sollte sich die maximale Abdeckung einer Seefläche im Bereich von 10 % bis 30 % Flächenanteil bewegen, um signifikante Nachteile für die Trinkwasserqualität zu vermeiden. (Anm. Autor*innen: Bei einer ggf. eintretenden Verschlechterung der Trinkwasserqualität wären nach eigener Einschätzung auch negative Umwelteffekte zu erwarten.)
- Vaschetti et al. (2022) stellen (ohne konkrete Forschungsergebnisse) folgende Faustregel auf: Ein Bedeckungsgrad bei FPV-Anlagen von > 50 % auf einem See führt zu Problemen; bei < 20 % Bedeckung gibt es keine Probleme, wenn das FPV-System richtig konstruiert ist und Luft und Licht eindringen kann.
- Nur wenige Prozent Bedeckungsgrad durch FPV-Anlagen auf einem See (< 10 %) führen bei Modellierungen auf tiefen Gewässern nur zu geringen Veränderungen. Größere Bedeckungen (> rd. 50 %) führen jedoch in den Modellen zu großen Temperaturveränderungen und sehr weitreichenden Änderungen der Schichtungs- und Durchmischungsverhältnisse (STOWA 2018, Exley et al. 2021a). Die quantitativen Auswirkungen von FPV-Anlagen bewegen sich bei größeren Bedeckungsgraden damit in einem ähnlichen Ausmaß wie die durch den Klimawandel hervorgerufenen (Exley et al. 2021a).
- Haas et al. (2020) geben im Ergebnis von Modellierungen folgende Einschätzungen:
 - Bedeckungsgrad 0...40 %: keine Auswirkungen auf das Algenwachstum
 - Bedeckungsgrad 40... 60 %: deutliche Reduzierung von Algenwachstum
 - Bedeckungsgrad 60...100 %: keine Algenblüten mehr, aber massive Beeinflussung des Ökosystems, wobei die Konzentration von Primärproduzenten unter dem Mindestschwellenwert zur Aufrechterhaltung des Ökosystems liegt

2.4.12 Forschungsbedarf zu den naturschutz- und umweltfachlichen Auswirkungen

Das Gros der analysierten Studien entsprechend Literaturrecherche sieht grundsätzlichen und dringenden Forschungsbedarf:

- Es ergibt sich ein hoher Bedarf an praktischer Forschung, da FPV-Anlagen gravierende Folgen haben könnten für die Schutzziele und die ökologische Funktionalität von Gewässern (de Lima et al. 2021, Piana et al. 2021). Die Wechselwirkung zwischen FPV-Anlagen und Gewässern, die Auswirkungen auf biochemische Prozesse im Wasserkörper sowie die Abstimmung von FPV-Anlagen auf maximale Erträge bei minimalen Auswirkungen auf die Ökosysteme der Seen sehen Ilgen et al. (2023) als Schwerpunkte. Auch empfehlen Ilgen et al. (2023), dass hydroökologische Folgenabschätzungen ein integraler Bestandteil für die nachhaltige Integration von FPV-Systemen sein sollten, da entsprechende Studien auch das Verständnis der Auswirkungen von FPV auf Gewässer erweitern und dazu beitragen, die Nachhaltigkeit von erneuerbarer Stromerzeugung angesichts der Herausforderungen des Klimawandels sicherzustellen.
- Die Gesamtheit aller ökologischen Auswirkungen von FPV-Anlagen (Kumar et al. 2021) bzw. Effekte von FPV-Anlagen auf Wasserqualität und lokale Umgebung sollte im Zentrum stehen (Mathijssen et al. 2020). Insbesondere mangelt es offenbar an wissenschaftlichen Arbeiten zu den Auswirkungen auf Habitate, Nahrungsketten und Arten.

- Almeida et al. (2022) fordern unter globalem Blickwinkel auf Grund befürchteter Kaskadeneffekte breit angelegte Feldstudien in allen Klimazonen. Dabei sollten sachgerechte, d. h. auf kausale Ursache-Wirkungs-Pfade ausgerichtete Kriterien untersucht werden, um die Nachhaltigkeit von FPV-Anlagen sicherzustellen.
- Vielfach wird auf die nicht oder nur eingeschränkte Übertragbarkeit von Forschungsergebnissen hingewiesen. Hierauf verweisen z. B. Bax et al. (2022), indem sie ihre Aussagen bzw. Folgerungen zu den nur geringen Auswirkungen von FPV-Anlagen auf die Wasserqualität eines großen brackigen Systems für nicht übertragbar auf Süßwassersysteme und insbesondere auf kleinere Süßwasserseen halten.
- Da Silva & Branco (2018) sehen explizit Forschungsbedarf zu den stofflichen Auswirkungen von Bau, Betrieb und Rückbau von FPV-Anlagen. Auch in den Ausführungen bei LAWA EK Seen (2023) wird betont, dass auf einen Einsatz gewässerschädlicher Materialien in der Anlagenkonstruktion generell verzichtet werden sollte und dass bei fehlenden Daten zur Freisetzung und zur Wirkung entsprechende Forschungsstudien durchgeführt werden sollten.
- Auch die Untersuchung sozioökonomischer Faktoren wird für notwendig erachtet (Hooper et al. 2021), z. B. die Frage der Attraktivität von Seen für Touristen (Haas et al. 2020).
- Essak & Ghosh (2022) sehen beispielsweise speziellen Forschungsbedarf zu den Folgen der Ausbildung elektromagnetischer Felder bei Unterwasserkabeln in Bezug auf die Lebewelt.
- Manche Autor*innen heben spezifische Untersuchungsansätze und deren Vorteile hervor:
 - Armstrong et al. (2020) betonen, dass die Entwicklung von Modellierungsmöglichkeiten zur Erforschung der Auswirkungen der FPV-Anlagen auf verschiedene Gewässertypen sowie in Abhängigkeit von FPV-Anlagen-Designs angesichts des hohen zeitlichen Aufwandes und der Kosten der Feldforschung einen sehr wesentlichen Forschungsansatz bilden sollte. Modellierungsstrategien sollten offen sein für unterschiedlich detaillierte Ansätze, z. B. neben eindimensionalen, auch zwei- und dreidimensionale Modelle.
 - Šorf et al. (2013) und Andini et al. (2022) empfehlen Mesokosmen als Forschungsansatz, weil sich dadurch Untersuchungen im verkleinerten Maßstab deutlich kostengünstiger als vollständige Freilanduntersuchungen durchführen lassen.
- Weitere Forschung sollte unbedingt einen Einfluss auf das Design von FPV-Anlagen haben, um negative Umweltfolgen zu vermeiden oder zu minimieren (de Lima et al. 2021).

2.5 Fazit und Ausblick

Grundsätzlich lässt sich im Ergebnis der Literaturrecherche und -analyse einschätzen, dass bereits die relativ geringe Zahl international und national publizierter Beiträge zu FPV-Anlagen und vergleichbaren gewässerbedeckenden Strukturen, im Hinblick auf potenzielle Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen in Seen (und ggf. anderen Gewässern), auf erhebliche Erkenntnis- und damit Forschungsdefizite hinweist. Die wenigen, auf Vor-Ort-Untersuchungen basierenden Studien können vor allem Informationen zu möglichen und erfolgversprechenden Untersuchungsansätzen und -methoden liefern, aber kaum umfassend übertragbare Erkenntnisse.

Generell ist die Übertragbarkeit von Studienergebnissen, vor allem aufgrund individueller Eigenschaften untersuchter Seen und dahingehend geringer typologischer Systematik (Klimazonen, Landschaften, Seemorphologie, Hydrologie, Chemismus, Trophie etc.), nicht oder nur eingeschränkt gegeben.

Das sich klar abzeichnende Defizit an praktischen Studien bzw. Erkenntnissen kann auch durch eine Einbeziehung von Studien im Zusammenhang mit anderen wasserbedeckenden Strukturen nicht ausgeglichen werden; zudem sind viele Erkenntnisse nicht oder nur eingeschränkt übertragbar.

Der Fokus bisheriger Arbeiten lag auf Wirkungen im Kontext der Limnologie und insbesondere der trophischen Verhältnisse der Seen. Es gibt kaum Arbeiten bzw. Erkenntnisse zu möglichen Auswirkungen auf Arten und Lebensräume. Hier besteht ein ausgesprochen großer Forschungsbedarf. Eine zusätzliche Fokussierung auf naturschutzfachliche Kriterien, z. B. europa- /deutschlandweit streng und besonders geschützte Arten und Lebensräume, ist naturschutzrechtlich geboten.

Als Ergebnis der Literaturanalyse und nach eigener Einschätzung besteht aktuell folgender Forschungsbedarf für die Bewertung umwelt- und naturschutzfachlicher Auswirkungen von FPV-Anlagen auf Seen bzw. auch im Hinblick auf Auswirkungen im landschaftlichen Zusammenhang:

- Eine umfassende Betrachtung aller bau-, anlage-, betriebs- und rückbaubedingten Auswirkungen von FPV-Anlagen im Hinblick auf das See- und das dazu gehörige Landschaftsökosystem im Hinblick auf die Schutzgüter gemäß § 2 Absatz 1 UVPG bzw. zur Erhaltung und Förderung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Ökosysteme ist umweltfachlich und -rechtlich geboten.
- Nur durch eine Berücksichtigung individueller und vor allem typenhaft bereits definierter oder zu definierender Faktoren der Seen, wie insbesondere ökologische (trophische), hydrologische, morphologische, naturräumliche/landschaftliche, hydroklimatische Faktoren, zudem von Nutzungen, Schutzgebieten, besondere Anforderungen etc. kann die Vielfalt möglicher Belastungen sachgerecht untersucht und bewertet werden.
- Es besteht generell ein sehr hoher Bedarf an praktischen Untersuchungen: Mess- und Beobachtungsdaten, Kartierungen, Erfassungen, auch als wichtige Grundlage des Einsatzes kalibrierter Modelle. Chancen liegen dann auch in der Modellierung entsprechender Prozesse, aber möglichst auf Basis valider empirischer bzw. Feldgrößen.
- Auch eine Absicherung der Überführbarkeit von Forschungsergebnissen in naturschutzfachliche Bewertungsmethoden und -verfahren (u. a. Eingriffsregelung, Artenschutzfachbeitrag, ggf. Natura 2000-Vorprüfung oder -Prüfung) sowie UVPG-Prüfverfahren sollte bei den Forschungsansätzen von vornherein möglichst berücksichtigt werden.
- Daneben erscheint auch das Thema der ökologischen Kompensation bzw. der generellen ökologischen Aufwertung im Zusammenhang mit FPV-Anlagen als wichtiges Forschungsfeld. Gerade im Zusammenhang mit dem notwendigen Ausgleich bzw. Ersatz von Lebensraum bei Eingriffen gemäß § 15 BNatSchG, zudem auch im Hinblick auf das Verschlechterungsverbot nach § 27 WHG, und damit bei natur- und umweltrechtlichen Genehmigungsverfahren erfährt die Thematik eine hohe praktische Bedeutung.

- Forschung kann und sollte generell auch darauf ausgerichtet werden, ggf. technische Lösungen zu finden, die natur- und umweltverträglicher sind als aktuelle Lösungen (Material, Havarieanfälligkeit, ggf. andere Konstruktionsweisen von FPV-Anlagen etc.). Als Beispiel können „aufgelockerte“ FPV-Anlagenkonstruktionen genannt werden, die mehr Licht und Luft an das Gewässer gelangen lassen oder die stärker auf vertikale Raumnutzung zugunsten freier Seeoberfläche setzen. Vaschetti et al. (2022) empfehlen z. B., mehrere kleine FPV-Anlagen („Inseln“) zu bauen anstatt einer großen, zusammenhängenden Fläche.
- Der erwartbare Beitrag zur synergiefördernden bzw. konfliktarmen Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen bzw. zur Förderung regenerativer Energieerzeugung im Abgleich mit Natur-, Gewässer- und Landschaftsschutz sollte insofern eine Leitschnur bzw. Intention der Forschung bilden. Von daher wäre auch eine sozioökonomische Begleitforschung von großem Vorteil.

3 Untersuchungskonzept für mehrjährige Untersuchungen der gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen

3.1 Zielstellung, Untersuchungsvarianten und Aufbau

Die Erstellung eines Untersuchungskonzepts im Sinne einer grundlegenden Forschungskonzeption für mehrjährige Untersuchungen der gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen bildet das übergeordnete Ziel des Vorhabens.

Die nachfolgenden Ausführungen sind wie folgt gegliedert:

- Berücksichtigung von Ausgangs- bzw. Rahmenbedingungen (Abschnitt 3.2)
- Ermittlung der Auswirkungen auf die abiotischen Verhältnisse: steckbriefhaft (factsheets) (Abschnitt 3.3)
- Ermittlung der Auswirkungen auf Arten und Lebensräume: steckbriefhaft (factsheets) (Abschnitt 3.4)
- Ermittlung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild (factsheets) (Abschnitt 3.5)
- Ermittlung der Auswirkungen durch die technischen Komponenten von Floating-PV-Anlagen (Abschnitt 3.6)
- Berücksichtigung von Untersuchungsvarianten (Abschnitt 3.7)
- Aktualisierung der bundesweit vorhandenen oder geplanten Floating-PV-Anlagen (Abschnitt 3.8)

Anhang A enthält zusätzlich eine Arbeitshilfe bzw. entsprechende Empfehlungen für einen **vorläufigen** Untersuchungsrahmen einer naturschutzfachlichen Beurteilung von Floating-PV im Rahmen von Genehmigungsverfahren. Die Ausarbeitung soll helfen, den Zeitraum, ohne belastbare und vor allem umfassende wissenschaftliche Ergebnisse zu überbrücken.

Die Darstellungen in Anhang A können insofern vorläufig als behördeninterne Arbeitshilfe für den naturschutzrechtlichen Vollzug bei fachlichen Fragen und rechtlichen Verfahren dienen. Sie basieren explizit auf den Schlussfolgerungen aus Abschnitt 2.4.

3.2 Berücksichtigung von Ausgangs-/Rahmenbedingungen

3.2.1 Erfordernis

Jeder künstliche bzw. erheblich veränderte See und jede Fallkonstellation einer FPV-Anlagenerrichtung ist zunächst individueller Natur in Bezug auf Wirkungen und mögliche Folgen. Dies ist bei jeder Untersuchung, erst recht bei einem wissenschaftlich orientierten Untersuchungsprogramm zu beachten. Eine zentrale Frage ist, ob es bei einem Untersuchungsobjekt natürliche und/oder anthropogene Einflüsse dergestalt gibt, die normale („typische“), erwartbare Folgen überlagern können. Ggf. sind auch die Wirkungen auf benachbarte Landschaftsbestandteile von herausragender Bedeutung, z. B. in der Nachbarschaft liegende Schutzgebiete gemäß §§ 23 ff. BNatSchG. Wenn ja, dann müssen diese Faktoren explizit berücksichtigt werden.

Piana et al. (2021) favorisieren aus eher praktischen Erwägungen die Entwicklung von Checklisten als vereinfachten Weg, alle Sachverhalte im Blick zu behalten. Den Autor*innen geht es um Faktoren, die seespezifisch die positiven Effekte von FPV-Anlagen hervorheben und negative Auswirkungen minimieren helfen. Sie heben fünf wesentliche Faktoren hervor:

1. Vorort-Klima und atmosphärische Bedingungen (Sonneneinstrahlung, Verschattung durch Umgebung, maximale Windgeschwindigkeiten, Eis und Schnee etc.)
2. Seezugänglichkeit (Straßenanbindung, angrenzende Fläche für Inverter, Versorgungsnetzzugang usw.)
3. Seeform-, Boden- und Wassereigenschaften (Geometrie, Wassertiefe, Wasserstands-Variabilität, Bodenbeschaffenheit etc.)
4. Umgebung und Umwelt (limnologische Beurteilung des Sees, Vorhandensein von geologischen, biologischen und ökosystembezogenen Besonderheiten (z. B. nur dort vorkommende, endemische Spezies), mögliche chemische Kontamination des Wassers durch die FPV-Anlage, Flora und Fauna im Gewässer sowie im Umfeld des Gewässers, wirtschaftliche Nutzung von Flora und Fauna des Gewässers)
5. Vorhandene/aktuelle Landschaftswahrnehmung (Landschaftsbild, Ästhetik) der lokalen Gemeinden/Öffentlichkeit sowie der Touristen

3.2.2 Nutzungsbedingte Subtypen künstlicher oder erheblich veränderter Seen

Bei landschafts-, geo- und bioökologischen Arbeitsweisen hat sich die Bildung von Typen zur „Beherrschung der Mannigfaltigkeit“ (Neef 1967) bewährt. „Typen aufstellen bedeutet Schematisieren; aber ohne Schematisierung kann der menschliche Geist die Natur nicht fassen“ (Thienemann 1932). Das Typisieren gilt neben dem Generalisieren als wesentlicher Ansatz zur Verallgemeinerung im Sinne geographischer Arbeitsweisen (Neef 1967). Die praktische Bedeutung von Typen spiegelt sich im Naturschutz beispielsweise in Landschaftstypen, Biotop- und Nutzungstypen, Lebensraumtypen, Habitattypen und im Gewässerschutz beispielsweise in Gewässertypen (auch Seetypen) oder Auentypen wider.

Windelband (1973), vgl. auch Hubrich (1976), unterscheidet drei Grundformen des Typisierens in der Landschaftsforschung:

1. Abstraktion wesentlicher Merkmale im Prozess detaillierter Untersuchungen eines einzelnen Objekts,
2. Abstraktion wesentlicher gemeinsamer Merkmale mehrerer Objekte sowie
3. Konstruktion von Typen in einer Art „Idealisierung“.

Typen weisen demnach gemeinhin (weitgehend) übereinstimmende Merkmale in den für eine Typenreihe wesentlichen Eigenschaften auf. Sie ermöglichen eine räumliche Übertragung wissenschaftlicher Daten und Erkenntnisse und eine typusbezogene Anwendung vorhandenen Wissens, was auch für praktische Belange des Naturschutzes und des Gewässerschutzes viele Vorteile aufweist.

Besonders fundierte Grundlagen bzw. wasserwirtschaftlich-gewässerökologische Grundlagen werden neben erforderlichen naturschutzfachlichen Grundlagen im Rahmen von FPV-Anlagen-Genehmigungsverfahren im Regelfall dann erarbeitet werden müssen, wenn es sich um Projekte auf WRRL-berichtspflichtigen, künstlichen oder erheblich veränderten Seen handelt. Dies betrifft Seen mit mindestens 50 ha Seefläche entsprechend der Festlegungen nach

Anhang V WRRL bzw. OGewV. Diese Seen müssen einem Seetyp entsprechend Anlage 1 (zu § 3 Satz 1 bzw. § 5 Absatz 2 Satz 1) OGewV zugeordnet sein. Solche Seen sind im Hinblick auf ihr „ökologisches Potenzial“ zu bewerten (§ 5 OGewV). Dafür sind die in Anlage 5 OGewV aufgeführten Verfahren und Werte für die Qualitätskomponenten entsprechend Anlage 3 und die Einstufungsvorgaben nach Anlage 4 OGewV zu verwenden.

Grundsätzlich erscheint es zielführend, unabhängig von der Frage, ob ein künstlicher oder erheblich veränderter See WRRL-berichtspflichtig ist, die Frage nach seiner nutzungsbezogenen Herkunft/Genese bzw. seiner aktuell prägenden Nutzung zu stellen und hieran auch forschungsseitig bezüglich der Übertragbarkeit entsprechender umweltfachlicher Erkenntnisse anzuschließen. Das hängt damit zusammen, dass die Nutzung insbesondere über die Größe, die Seeform (ggf. auch erkennbare geometrische Figur), die Seetiefe und die dahingehende hydromorphologische Homogenität oder Variabilität entscheidet. Soweit Nutzungen noch in Betrieb sind, erzeugen sie Beeinträchtigungen der Wasserqualität oder andere Störungen (Lärm, Optik, Staub etc.).

Genetische oder aktuelle Nutzungen künstlicher oder erheblich veränderter Seen können insofern als Typenreihe gefasst werden; einen typologischen Vorschlag, auch mit Obergruppen, offeriert folgende Liste:

Seen infolge von Bergbau-/Abbautätigkeit

- Kies-/Sandtagebauseen, auch aktive (Nassbaggerung), z. B. Oberrheingraben in Baden-Württemberg
- Tagebaurestseen (Braunkohle), z. B. Cottbuser Ostsee mit 1.900 ha im Lausitzer Seenland
- Seen infolge der Gewinnung von Festgesteinsmaterial (Steinbrüche)
- Bergsenkungsseen (als Folge von historischer/aktueller Bergbautätigkeit)
- Torfstiche, offene Torfgewinnungsflächen
- Wassergefüllte Ton-/Mergelgruben

Seen im Fließgewässernetz, die Nutzzwecken dienen

- Talsperren, Flachlandspeicher (Trink- und/oder Brauchwasser)
- Mühlenteiche
- Zierteiche, Park- und Schlossteiche
- Urbane (auch dörfliche) Teiche/Seen

Seen abseits des Fließgewässernetzes, die Nutzzwecken dienen

- Künstliche Wasserspeicher bzw. -reservoirs
- Fischteiche
- Zierteiche, Park- und Schlossteiche
- Urbane (auch dörfliche) Teiche/Seen
- Badeseen
- Rückhaltebecken
- Feuerlöschteiche

Sonstige künstliche oder erheblich veränderte Seen

- Ggf. weitere, bislang nicht aufgeführte Typen

Eine Berücksichtigung sachgerechter typologischer Aspekte (damit nicht nur der nutzungsbedingten Faktoren) sollte eine fachliche Grundlage bzw. Zielstellung möglichst langfristig angelegter Forschungsprojekte bilden. Neben gezielter und mehr oder weniger umfassender Forschung an einzelnen Seen könnte eine forschungsseitige Begleitung, d. h. methodisch einheitliche Auswertung laufender, im Rahmen der Genehmigungsverfahren festgelegter Monitoringprogramme erfolgen. So bestände die Chance auf eine mit den Jahren wachsende und profunde Datengrundlage nach einem geeigneten seetypologischen System; außerdem könnte der Ansatz verfolgt werden, Inhalte und Methoden des Monitorings möglichst bundesweit und grundsätzlich zu vereinheitlichen (vgl. hierzu auch Kapitel 3, 4 und 5).

Seen, die auf Grund von historischer Bergbautätigkeit entstanden sind, sind im Regelfall rekultiviert und können heute eine hohe Naturnähe aufweisen. Bei sehr hoher Naturnähe wurden sie ggf. von den Ländern bei der WRRL-Umsetzung gar nicht als künstlich oder erheblich verändert ausgewiesen und würden dann aus dem Kreis der nach § 36 WHG für eine FPV-Anlagen-Installation zulässigen Gewässer ohnehin herausfallen. Grundsätzlich sollten vor allem das hohe Schutzbedürfnis und die Seltenheit nährstoffarmer Seen in Deutschland auch im Hinblick auf die FPV-Anlagen-Thematik im Blickpunkt stehen.

Anlagenbezogene „Stillgewässer“ die rechtlich gar keine Gewässer darstellen, z. B. Kläranlagenbecken, würden demgegenüber im Regelfall umweltfachlich unkritisch eine hohe Eignung für FPV-Anlagen aufweisen (Rosa-Clot et al. 2017; dann vermutlich in nicht schwimmender, sondern eher „bedachender“ Konstruktion). Zu beachten ist jedoch, dass sich teilweise auch auf dem Kläranlagengelände z. T. naturnahe Strukturen entwickelt haben können. So können naturnahe Absatzbecken mit Schilf lokal bzw. regional als Brut- und Rastgewässer für Vögel von hoher Bedeutung sein.

Grundsätzlich natur- und gewässerschutzfachlich unbedenklich sollte z. B. auch die Integration von FPV-Systemen in eher technisch geprägten Aquakulturanlagen sein, zumal Verdunstungsverluste und eine für viele Aquakulturen ungünstige Wassererwärmung reduziert werden könnten und die Doppelnutzung zur Nahrungsmittel- und Energieproduktion Flächen spart und dahingehende Synergien schafft.

3.2.3 Weitere relevante Merkmale

Sowohl für das forschungsseitige Untersuchungskonzept als auch für übliche Monitoringkonzepte sollten neben den Aspekten der nutzungsbezogenen Herkunft bzw. Genese bzw. der aktuell prägenden Nutzung (s. o.) auch folgende Merkmale betrachtet und ggf. durch Anpassungen oder Erweiterungen des Untersuchungsprogramms berücksichtigt werden:

- Naturraum und Landschaftstyp, ggf. besondere Landschaftsfaktoren oder biogeographische Aspekte (Artvorkommen), Funktionsbeziehungen zu Habitaten des Umlandes
- Vorhandene, auch benachbarte Schutzgebiete nach Naturschutzrecht, insbesondere mit Fokus auf Natura-2000-Gebiete, Naturschutzgebiete; hier sind ökologische Funktionsbeziehungen zwischen einem See und den Schutzgebieten von besonderem, auch ggf. naturschutzrechtlichem Belang

- Soweit nicht bereits vorliegend: Erfassung der morphometrischen, hydromorphologischen Eigenschaften des Sees: Volumen, Fläche, Tiefenverhältnisse, Uferlinien und -struktur; vorzugsweise durch Erfassung der Bathymetrie (über Echolotverfahren), Einbeziehung digitaler Geländemodelldaten (DGM) der Länder (möglichst DGM 1: 1 m x 1 m Auflösung) für Ufer und Seeumfeld
- Hydrologisches Regime des Sees/hydrologische Prägung bzw. Einbindung in hydrologische Systeme (Grundwasserzu-/abstrom, Lage in einer Aue/in einem Überschwemmungsgebiet, ggf. oberirdischer Zu- und/oder Abstrom), Größe des hydrologischen Einzugsgebiets, ggf. getrennt nach ober-/unterirdischem Einzugsgebiet
- Bewirtschaftungsmaßnahmen im Hinblick auf Wassermenge/-wasserstand
- Ggf. besondere regionale Effekte des Klimawandels bzw. der Veränderung hydrometeorologischer und hydrologischer Größen
- Ggf. kritische Nutzungskonstellationen der Seen (Trinkwasser-/Brauchwasser, Angeln, Fischzucht, Tourismus, Sport, Baden usw.)
- Besatz-/Hegemaßnahmen für die Fischfauna (vor allem durch Anglervereine)
- Quellen und Höhe bekannter Stoffeinträge in den Seen, insbesondere Nährstoffeinträge (Phosphor, Stickstoff), auch Beachtung des atmosphärischen Stoffeintrages (Nass- und Trockendeposition)
- Ausbreitung von Neophyten und -zoen bzw. Berücksichtigung ihrer ökologischen Wirkungen

3.3 Ermittlung der Auswirkungen auf die abiotischen Verhältnisse

3.3.1 Erläuterung

In diesem Abschnitt wird das Untersuchungskonzept zur Ermittlung der Auswirkungen auf die abiotischen Verhältnisse vorgestellt. Die Darstellung erfolgt nach einheitlichen Kriterien steckbriefhaft („factsheets“), um möglichst kompakte Informationen zu offerieren. Die Steckbriefe enthalten daher zu folgenden Kriterien möglichst sachdienliche Informationen:

- Methodische Grundlagen
- Untersuchungsdesign (Anzahl, räumliche Verteilung der Probestellen/Transekte/Messgeräte/Horchboxen/Fallen)
- Benötigte Arbeitsmaterialien
- Zeitbedarf
- Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen
- Erfassungszeitraum und -häufigkeit (Kartierung, Probenahme, Messung, ...)
- Notwendiger Dokumentationsumfang
 - Gelände
 - Büro/Labor
- Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten
- Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Grenzen der Anwendbarkeit
- Anwendungsgebiete
- Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

3.3.2 Allgemeine chemisch-physikalische Verhältnisse

Tab. 12: Steckbrief/factsheet „Erfassung der allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten“

Erfassung der allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten

Methodische Grundlagen

Methodik entsprechend Anlage 9 OGewV und LAWA (2014): Trophieklassifikation von Seen – Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen

Untersuchungsdesign

- punktuelle Probenahme an tiefster Stelle im See, bei mehreren Seebecken ist die tiefste Stelle in jedem Becken zu beproben
- ergänzend repräsentative Messtellen mit und ohne Einfluss FPV-Anlage
- Beprobung Trophie: März – Oktober/November, monatlich
- Ggf. Ausdehnung Beprobung über Wintermonate (November – Februar)
- Anfahren Probenahmestelle und Anlegen von Feldprotokollen
- Sondenmessung vor Ort im Tiefenprofil
 - Ab 0,5 m Wassertiefe bis ca. 1 m über Grund
 - Auflösung 1 m Abstände
- Einsatz von wasserdichten Temperatur- (und Licht-)Loggern an mindestens 3 Bereichen: 1) unter der FPV-Anlage im stark verschatteten Bereich, 2) im Übergangsbereich/teilweise verschattet sowie 3) im unverschatteten Raum („Referenz“) auf Wasseroberfläche sowie in verschiedenen Tiefen alle 0,5 m; Verankerung mit Boje oder Gestänge
- Einsatz der Secchi-Scheibe als limnologischer Standard zur Bestimmung der Sichttiefe (trophogene Zone)
- Beprobung in Abhängigkeit von Schichtungsverhalten
 - Vollzirkulation/keine Schichtung: eine Mischprobe bis zur mittleren Tiefe des Sees, jedoch max. bis 10 m
 - Sommerstagnation/Schichtung: Mischprobe aus der euphotischen Zone, maximal bis zur unteren Grenze des Epilimnions
- Die Proben sind möglichst tagesaktuell an das zu analysierende Labor zu übergeben und bis zur Analyse im Labor gekühlt aufzubewahren
- Wasserchemische Analysen im akkreditierten Labor nach einschlägigen DIN-Vorschriften

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Boot, inkl. Motor, Anker und persönlicher Schutzausrüstung
- GPS-Gerät zur Erfassung der Koordinaten
- Feldprotokoll mit wasserfester Oberfläche (alternativ: Outdoor-Tablet)
- Secchi-Scheibe
- Multiparameter-Sonde mit ausreichend langem Kabel
- Wasserdichte Temperatur- (und Licht-)Logger (viele)
- Sensoraufnahme (Boje, Seil, Gewicht oder Gestänge)
- Wasserschöpfer (z. B. Hydrolab)
- Großer Eimer/Mischgefäß, Schöpf-/Messbecher
- Probenahmegefäße für chemische Analysen im Labor (z. B. Falcon-Tubes, Grünglasflaschen)
- Kühlbox inkl. Kühllakkus

Erfassung der allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten

- EDV mit Geoinformationssystem (z. B. ArcGIS, QGIS), Statistiksoftware (z. B. Excel, R)

Zeitbedarf

- je nach Größe, Tiefe und Zugänglichkeit des Sees inkl. Boot einsetzen und vorbereiten, Anfahrt zur Probestelle und Probenahme 1-2 Stunden pro Messtelle

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- je nach Größe und Ausrichtung des Sees Windgeschwindigkeiten < 3-4 bft
- Eisfreiheit

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- Für Trophieermittlung: März bis November, monatliche Beprobung
- Ggf. zusätzliche Beprobung über die Wintermonate

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

Feldprotokoll

- See-/Messpunkt-Nummer und -Name, Koordinaten
- Datum
- Uhrzeit
- Probenehmer
- Bewölkung in Achteln: 0 = wolkenlos bis 8 = völlig bedeckt
- Windrichtung
- Optischer Eindruck z.B. Färbung, Trübung
- Geruch
- Sichttiefe – Messung mit Secchi-Scheibe auf 10 cm genau
- Euphotische Tiefe = Sichttiefe x 2,5
- Sichttiefe bis Grund: ja/nein?
- Tiefe an der Probestelle: gelotete Tiefe
- Angaben zur Tiefenauflösung der Beprobung in Abhängigkeit von Schichtungszustand
- Angaben zu Schichtung/Sprungschicht, Mächtigkeit der durchmischten Schicht (Epilimnion Z_{epi})
- Bemerkungen/Angaben zu weiteren Beprobungen (z. B. Phyto- und Zooplankton)

Fotodokumentation

- 3- 5 Aufnahmen seecharakteristischer Motive

Sondenmessung (mobil)

- Temperatur
- Sauerstoff-Konzentration und -Sättigung
- Leitfähigkeit
- pH-Wert
- Redoxpotenzial
- Erfassung und Protokollierung Sprungschicht, wenn auf 1 m
 - Temperaturdifferenz > 2 °C oder
 - Differenz Sauerstoffsättigung > 20 %
 - Ggf. zusätzliche Messtiefe in 0,5 m Schritten

Büro/Labor

Labor

- Optische Erscheinung der Probe, Geruch, ggf. Bemerkungen zu Unregelmäßigkeiten
- Stickstoffkomponenten: Ammonium-Stickstoff (NH₄-N), Nitrit-Stickstoff (NO₂-N), Nitrat-Stickstoff (NO₃-N), anorganischer Stickstoff (Summenparameter NAN_{org}), Gesamtstickstoff

Erfassung der allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten

- Phosphorkomponenten: gelöster Ortho-Phosphat-Phosphor (O-PO₄-P oder DRP), Gesamtphosphor (TP)
- Chlorophyll a und Phaeophytinpigmente
- Gesamt organischer Kohlenstoff (TOC)
- Weitere limnochemische Parameter: Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Gesamthärte, Alkalinität, Silikat (SiO₂)

Büro

- Digitalisierung analoger Feldprotokolle/Dateneingabe
- Auswertung Jahrgang verschiedener Parameter, Schichtungsverhalten
- Auswertung räumlicher Verteilungsmuster (vertikal, horizontal) über die Zeit
- Trophieberechnung gemäß LAWA (2014)
- Sofern Monitoringdaten (z. B. WRRL - Monitoring) der Vorjahre vorliegen – Auswertung und Vergleich

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

Bei starkem Wind oder Eisbedeckung ist eine Bootsbefahrung auf einem See je nach Ausrichtung und Größe zu gefährlich. Es ist möglichst nach Alternativterminen im gleichen Kalendermonat zu suchen. Die Zeitabstände zwischen den einzelnen Beprobungen können sich daher leicht verschieben. Bei mehreren Messstellen pro Tag können einzelne Parameter (z. B. Temperatur, pH) tageszeit-abhängig sein. Daher sollten gleiche Messstellen jeweils zur gleichen Tageszeit beprobt werden.

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Mit der Methode wird über das Verfahren nach LAWA (2014) grundsätzlich der trophische Zustand eines Sees in seiner Gesamtheit ermittelt. Darüber hinaus werden Erkenntnisse über das Schichtungsverhalten und damit verbundene vertikale Nährstoffverteilung (Tiefenprofile) sowie die saisonale Variabilität im Gewässer gewonnen. Durch eine feinere räumliche Auflösung kann der Einfluss einer FPV-Anlage auf das Schichtungsverhalten im Gewässer, die kleinräumige Temperatur- und Nährstoffverteilung sowie auf die Ausprägung der Primärproduktion (Chlorophyll-a) dargestellt werden.

Grenzen der Anwendbarkeit

Natürliche Ökosysteme unterliegen starken saisonalen und zwischenjährlichen Schwankungen. Meteorologische und hydrologische Verhältnisse sind bei der Interpretation der Daten dringend zu berücksichtigen.

Anwendungsgebiete

- Grundlage einer limnologischen Beurteilung von Folgen von FPV-Anlagen
- Erklärungsgrundlage für ggf. veränderte geobiochemische und/oder biologische/ökologische Prozesse
- Im weitesten Sinne Begleit- oder Ursachenmonitoring für Überwachungs- oder Ermittlungszwecke nach WRRL, Gewährleistung der Maßgaben von WRRL, WHG und OGewV
- Abiotische Erklärung für ggf. erfolgende Schadstofffreisetzung sowie veränderte trophische Bedingungen, Nahrungsketten, Habitatqualität

Erfassung der allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- LAWA (2014): Trophieklassifikation von Seen: Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Berlin: 34 S.
- LAWA (2015b): AQS-Merkblatt P-8/5 zu den Rahmenempfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die Qualitätssicherung bei Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen. Probenahme aus Seen. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): 19 S.
- einschlägige DIN-Normen der Wasseranalytik

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.3.3 Lichtverhältnisse

Tab. 13: Steckbrief/factsheet „Erfassung der Lichtverhältnisse“

Erfassung der Lichtverhältnisse

Methodische Grundlagen

Autotrophe Organismen, wie z. B. Pflanzen, sind auf Licht als Form der Energie für die Photosynthese angewiesen. Die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) befindet sich dabei im Spektrum von 400 nm (blau) bis ca. 700 nm (rot). Dieser Bereich entspricht in etwa dem für den Menschen sichtbaren Anteil des elektromagnetischen Spektrums. Wasser absorbiert Licht unterschiedlicher Wellenlänge mit steigender Tiefe. Oberflächennah wird rotes Licht (Wellenlänge von ca. 650 nm - 780 nm) zuerst absorbiert und blaues Licht (Wellenlänge von ca. 380 nm - 490 nm) dringt am weitesten in den Wasserkörper ein, bis zu 60 m.

Zur (einfachen) Sichttiefenbestimmung kann zunächst eine Secchi-Scheibe verwendet werden.

Gemessen werden kann Licht durch gängige Luxmeter in Form von Lichtloggern, die meistens auch die Temperatur miterfassen. Ggf. kann auch die photosynthetische Photonendichte (PPFD) über spezielle Messsysteme (Quanten-Sensoren) gemessen werden. Diese gibt Auskunft darüber, wie viele Photonen auf einen Quadratmeter Fläche pro Sekunde auftreffen. Allerdings werden die Quanten-Sensoren wohl erst ab Ende 2023 im Markt verfügbar sein; die Kosten sind unklar.

Auch der Einsatz von deterministischen (physikalischen) Modellen zur ergänzenden Analyse des Strahlungstransportes innerhalb des Wasserkörpers (ggf. Kalibrierung/Validierung von Modelldaten durch Messdaten), vgl. Factsheet „Erfassung der Gewässerschichtung“, ist sinnvoll. Insbesondere könnten Messdaten zur Kalibrierung der Modellparameter genutzt werden.

Untersuchungsdesign

- Einsatz von wasserdichten Licht- (und Temperatur-)Loggern an mindestens 3 Bereichen: 1) unter der FPV-Anlage im stark verschatteten Bereich, 2) im Übergangsbereich/teilweise verschattet sowie 3) im unverschatteten Raum („Referenz“) auf Wasseroberfläche sowie in verschiedenen Tiefen alle 0,5 m; Verankerung mit Boje oder Gestänge
- Einsatz der Secchi-Scheibe als limnologischer Standard zur Bestimmung der Sichttiefe (trophogene Zone)
- Ggf. Einsatz von Quanten-Sensoren, bei Verfügbarkeit und entsprechendem wissenschaftlichen Design (stationär unterhalb der Wasseroberfläche)

Erfassung der Lichtverhältnisse

- Anzahl ansonsten entsprechend Seegröße/Seegliederung und abhängig von Fragestellung
- Messgeräteauswahl nach Eignung/Herstellerangaben

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Wasserdichte Licht- (und Temperatur-)Logger
- Secchi-Scheibe
- Ggf. Quanten-Sensoren-Messtechnik, Quanten-Sensoren -Auswertesoftware (sofern beides verfügbar ist, sowie nur bei beherrschbarem Kostenrahmen)
- Sensoraufnahme (Boje, Seil, Gewicht oder Gestänge)
- EDV-Technik
- Geodaten
- Morphometrische, bathymetrische Daten
- Meteorologische Daten
- Hydrologische Daten
- Limnologische/physikalische Daten

Zeitbedarf

- Installationsbedarf, ggf. separater Zeitbedarf für Setzen/Verankern der Sensoraufnahme (mehrere Tage)
- Messtellenbetreuung, Datenauslesen (mehrere Tage je Monat)
- Auswerten, Darstellen, Interpretieren, auch im Kontext mit anderen Daten (mehrere Wochen)
- Für Modellierung entsprechend des modellbezogenen Aufwands für Einarbeitung, Parametrisierung, ggf. Kalibrierung/Validierung, Modelldurchläufe, Auswertung, ggf. Modell-Ensembleanwendung mit erhöhtem statistischem Aufwand

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Kontrolle der Messtechnik erforderlich, vor allem nach Stürmen, Seegang oder Eisgang
- Regelmäßige Reinigung der Sensoren, um Biofilm vorzubeugen

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- Durchgängiger Einsatz, d. h. mehrjährige, kontinuierliche Messung

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Koordinaten, Zeitpunkte von Installation und Kontrollen, Kennzeichen der Messtechnik
- Überprüfung der Systemzeit erforderlich, ggf. Abgleich mit Echtzeit
- Messdaten, Einflussgrößen, z. B. vertikal/horizontale Wassertemperaturen, Windgeschwindigkeiten

Büro/Labor

- Datenauswertung
- Bei Modellierung:
 - Modellauswahl und -begründung
 - Grundlagendaten und -herkunft
 - Parametrisierung (Begründung)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

- Regelmäßige Reinigung von unter Wasser betriebenen Messgeräten zur Reduktion von Biofilm

Erfassung der Lichtverhältnisse

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Über die Lichtverhältnisse lassen sich Aussagen über die Photosyntheseleistung der autotrophen Primärproduzenten ableiten. Aus den Ergebnissen können unter anderem Rückschlüsse zu Wachstumsraten und zur Bedeutung der Lichtlimitation gezogen werden.

Grenzen der Anwendbarkeit

–

Anwendungsgebiete

–

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- Long, M. H., Rheuban, J. E., Berg, P. & Zieman, J. C. (2012): A comparison and correction of light intensity loggers to photosynthetically active radiation sensors. *Limnol. Oceanogr. Methods* 10: 402-463.
- Martinsen, K. T., Kragh, T., Sand-Jensen, K., Madsen-Østerbye, M., Kristensen, E. & Sørensen, J. S. (2022): Wind drives fast changes of light climate in large, shallow re-established lake. *Science of the Total Environment* 806 (3):151354.
- Mascarenhas, V. & Keck, T. (2018): Marine Optics and Ocean Color Remote Sensing. *YOUA-RES 8 – Oceans Across Boundaries: Learning from each other. Conference paper*: 41 – 54.
- Thrane, J. E., Hessen, D. O. & Andersen, T. (2014): The Absorption of Light in Lakes: Negative Impact of Dissolved Organic Carbon on Primary Productivity. *Ecosystems* 17: 1040–1052.

Ggf. sonstiges Relevantes

-

3.3.4 Windgeschwindigkeit

Tab. 14: Steckbrief/factsheet „Erfassung der Windgeschwindigkeit“

Erfassung der Windgeschwindigkeit

Methodische Grundlagen

Messwerterfassung in Bezug auf Windgeschwindigkeiten (Wegstrecke je Zeiteinheit) in Luftsäule/im Raum (2D oder vorzugsweise 3D), vorzugsweise mittels stationärer Messtechnik.

Möglichst Messung durch eines von folgenden Messverfahren:

- Lidar (Light detection and ranging) Anemometrie: Auswertung der auf Basis des Doppler-Effektes entstehenden Frequenzverschiebung des rückgestreuten emittierten Laser-Lichtes (Laser = Lichtquelle konstanter Wellenlänge). Die Reflexion entsteht an sich in der Atmosphäre bewegenden Teilchen (Partikel, Eiskristalle, Tropfen). Bestimmung von Windfeldern in unterschiedlichen Höhen möglich. Idealerweise fest verankert an Land oder auf dem Gewässer (Messbojen, stationäre Messplattformen)

Erfassung der Windgeschwindigkeit

- Sodar (Sound detection and ranging): Auswertung der auf Basis des Doppler-Effektes entstehenden Frequenzveränderung des rückgestreuten emittierten Schallimpulses. Die Reflexion entsteht an sich in der Atmosphäre bewegenden Teilchen (Partikel, Eiskristalle, Tropfen). Bestimmung von Windfeldern in unterschiedlichen Höhen möglich. Idealerweise fest verankert an Land oder auf dem Gewässer (Messbojen, stationäre Messplattformen)
- Mechanische Anemometer (Flügelrad- oder Schalenanemometer) zur Messung von Windgeschwindigkeiten in der Ebene. Mehrere Messsysteme in unterschiedlichen Höhen nötig zur Bestimmung des Windprofils
- Ultraschallanemometer zur Messung von Windgeschwindigkeiten in der Ebene. Mehrere Messsysteme in unterschiedlichen Höhen nötig zur Bestimmung des Windprofils

Ggf. auch Einsatz von deterministischen (physikalischen) Modellen zur Analyse von Luftströmungen und Windwirklängen (Stichwort „fetch“) (ggf. Kalibrierung/Validierung von Modelldaten durch Messdaten)

Untersuchungsdesign

- Einsatz von Anemometern (stationär an Land an Masten und auf dem Gewässer an Bojen)
- Anzahl entsprechend Seegröße/Seegliederung und abhängig von Fragestellung
- Messgeräteauswahl nach Eignung/Herstellerangaben

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Anemometer-Messtechnik, Anemometer-Auswertesoftware (herstellerabhängig)
- Messmast(en)
- Boje (verankert)
- Messplattform (verankert)
- EDV-Technik
- Geodaten
- Morphometrische, bathymetrische Daten
- Meteorologische Daten
- Hydrologische Daten
- Limnologische/physikalische Daten

Zeitbedarf

- Installationsbedarf, ggf. separater Zeitbedarf für Setzen/Verankern von Boje oder Mast (mehrere Tage)
- Messtellenbetreuung, Datenauslesen (mehrere Tage je Monat)
- Auswerten, Darstellen, Interpretieren, auch im Kontext mit anderen Daten (mehrere Wochen)
- Für Modellierung entsprechend des modellbezogenen Aufwands für Einarbeitung, Parametrisierung, ggf. Kalibrierung/Validierung, Modelldurchläufe, Auswertung, ggf. Modell-Ensembleanwendung mit erhöhtem statistischem Aufwand

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Kontrolle der Messtechnik erforderlich, vor allem nach Stürmen, Seegang oder Eisgang (bei Bojenmontage)
- Aufstellen der Messinstrumente an windgeprägten Standorten

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- Durchgängiger Einsatz, d. h. mehrjährige, kontinuierliche Messung

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Koordinaten, Zeitpunkte von Installation und Kontrollen, Kennzeichen der Messtechnik

Erfassung der Windgeschwindigkeit

- Überprüfung der Systemzeit erforderlich, ggf. Abgleich mit Echtzeit
- Messdaten, Einflussgrößen, z. B. vertikal/horizontale Wassertemperaturen, Windgeschwindigkeiten

Büro/Labor

- Datenauswertung
- Bei Modellierung:
 - Modellauswahl und -begründung
 - Grundlagendaten und -herkunft
 - Parametrisierung (Begründung)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

–

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Die Kenntnisse zu Windgeschwindigkeiten und Windströmungen sind insbesondere zur Erfassung und Bewertung der Gewässerschichtung wichtig. Die durch die Luftmassenbewegung auf die Wasseroberfläche induzierten Schubspannungen tragen zum Entstehen von Wellen und Oberflächenströmungen bei. Diese haben wiederum Einfluss auf die Gewässerzirkulation und tragen dadurch zu seeinternen Misch- und Transportvorgängen bei; s. hierzu auch entsprechende Steckbriefe (Strömungsverhalten, Wellenausbreitung, Gewässerschichtung).

Schichtungsdauer und -stabilität haben insbesondere entscheidenden Einfluss (vor allem in eu- und hypertrophen Seen) auf die normalerweise im Hypolimnion im Sommer und im Winter auftretenden anoxischen Bedingungen mit Folgen für sauerstoffabhängige Freisetzungsprozesse aus dem Sediment. FPV-Anlagen können sowohl raum-zeitlich die Temperaturverhältnisse von Seen verändern als auch den Eintrag mechanischer Energie infolge von Wind.

Grenzen der Anwendbarkeit

–

Anwendungsgebiete

- Grundlage einer limnologischen Beurteilung von Folgen von FPV-Anlagen
- Erklärungsgrundlage für ggf. veränderte geobiochemische und/oder biologische/ökologische Prozesse
- Im weitesten Sinne Begleit- oder Ursachenmonitoring für Überwachungs- oder Ermittlungszwecke nach WRRL, Gewährleistung der Maßgaben von WRRL, WHG und OGewV
- Abiotische Erklärung für ggf. erfolgreiche Schadstofffreisetzung sowie veränderte trophische Bedingungen, Nahrungsketten, Habitatqualität

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- Brunet, D., Valipour, R. & Rao, Y. R. (2022): Wind variability over a large lake with complex topography: Lake of the Woods. *Journal of Great Lakes Research* 49: 112–121.
- Grund, C. J., Banta, R. M., George, J. L., Howell, J. N., Post, M. J., Richter, R. A. & Weick-Mann, A. M. (2001): High-Resolution Doppler Lidar for Boundary Layer and Cloud Research. *J. Atmos. Oceanic Technol.* 18: 376–393.

Erfassung der Windgeschwindigkeit

- Jaster, D.; Perez, A. S., Porte-Agel, F. & Stefan, H. (2007): Wind velocity profiles and shear stresses on a lake downwind from a canopy: Interpretation of three experiments in a wind tunnel. University of Minnesota. St. Anthony Falls Laboratory. Minneapolis: 63 S.
- Kelley, P. D., Jonkman, B. J., Scott, G. N. & Pichugina, Y. L. (2007): Comparing Pulsed Doppler LIDAR with SODAR and Direct Measurements for Wind Assessment. American Wind Energy Association. WindPower 2007 Conference and Exhibition Los Angeles. Los Angeles: 25 S.
- Torma, P. & Krámer, T. (2016): Wind Shear Stress Interpolation over Lake Surface from Routine Weather Data Considering the IBL Development. Periodica Polytechnica Civil Engineering 61 (1): 14-26.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.3.5 Strömungsverhalten

Tab. 15: Steckbrief/factsheet „Erfassung des Strömungsverhaltens“

Erfassung des Strömungsverhaltens

Methodische Grundlagen

Messwerterfassung in Bezug auf Fließgeschwindigkeiten (Wegstrecke je Zeiteinheit) im Wasserkörper/im Raum (2D oder vorzugsweise 3D), vorzugsweise mittels stationärer Messtechnik (Euler-Methode), ggf. auch durch Messobjekte und Bahnverfolgung (Bahnlinienanalyse bzw. Lagrange-Methode, nur an der Seeoberfläche, d. h. bei 2D, durchführbar).

Bei üblicher stationärer Messung Einsatz von Messtechnik auf der Basis von Akustik/Ultraschall: ADCP-Technik (Acoustic Doppler Current Profiler) idealerweise fest verankert (Messbojen, stationäre Messplattformen) oder ggf. auch Einsatz von Boot, Messboot oder Schwimmträger (aber wegen Eigenbewegung Kopplung mit GPS notwendig und Driftkorrektur (bottom-track) erforderlich).

ADCP können die Fließ-/Strömungsgeschwindigkeiten dreidimensional in verschiedenen Wassertiefen messen (Integral über Raum und Zeit), das Messprinzip basiert darauf, dass sich die Frequenz eines reflektierten Schallsignals verändert, da sich die reflektierenden Wasserteilchen relativ zum Empfänger des Schallsignals bewegen; Frequenzverschiebungen geben daher Aufschluss über die Laufzeiten und so über die Geschwindigkeiten (gute Erklärung der physikalischen Grundlagen z. B. bei Kryeziu 2014, Einsatzgebiete, Vorteile und Fehlerquellen z. B. bei Adler 2004, LAWA 2018).

Ggf. auch Einsatz von deterministischen (physikalischen) Seemodellen zur Analyse von Prozessen der Durchmischung und damit auch Strömungsanalyse (ggf. Kalibrierung/Validierung von Modelldaten durch Messdaten).

Untersuchungsdesign

- Einsatz von ADCP (stationär an Messboje/Messplattform oder mobil mit Boot, Messboot oder Schwimmträger), Geräteleistung entsprechend Seetiefe (ggf. am Messort)
- Anzahl entsprechend Seegröße/Seegliederung und abhängig von Fragestellung
- ADCP-Messgeräteauswahl nach Eignung/Herstellerangaben
- Modelleinsatz entsprechend Factsheet „Erfassung der Gewässerschichtung“

Benötigte Arbeitsmaterialien

- ADCP-Messtechnik, ADCP-Auswertesoftware (herstellerabhängig)
- Boje (verankert)
- Messplattform (verankert)
- Ggf. Boot, Messboot oder Schwimmträger
- Modelle, Modellsoftware entsprechend Factsheets „Erfassung der Gewässerschichtung“

Erfassung des Strömungsverhaltens

- EDV-Technik
- Geodaten
- Morphometrische, bathymetrische Daten
- Meteorologische Daten
- Hydrologische Daten
- Limnologische/physikalische Daten

Zeitbedarf

- Installationsbedarf, ggf. separater Zeitbedarf für Setzen/Verankern von Boje (mehrere Tage)
- Messtellenbetreuung, Datenauslesen (mehrere Tage je Monat)
- Auswerten, Darstellen, Interpretieren, auch im Kontext mit anderen Daten (mehrere Wochen)
- Für Modellierung entsprechend des modellbezogenen Aufwands für Einarbeitung, Parametrisierung, ggf. Kalibrierung/Validierung, Modelldurchläufe, Auswertung, ggf. Modell-Ensembleanwendung mit erhöhtem statistischem Aufwand

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Kontrolle der Messtechnik erforderlich, vor allem nach Stürmen, Seegang oder Eisgang
- Möglichst kein Einsatz in Flachwasserbereichen mit hohem Pflanzenwachstum (Krauteinfluss)

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- Durchgängiger Einsatz, d. h. mehrjährige, kontinuierliche Messung

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Koordinaten, Zeitpunkte von Installation und Kontrollen, Kennzeichen der Messtechnik
- Überprüfung der Systemzeit erforderlich, ggf. Abgleich mit Echtzeit
- Messdaten, Einflussgrößen, z. B. vertikal/horizontale Wassertemperaturen, Windgeschwindigkeiten

Büro/Labor

- Datenauswertung
- Bei Modellierung:
 - Modellauswahl und -begründung
 - Grundlagendaten und -herkunft
 - Parametrisierung (Begründung)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

Schwierigkeiten beim Einsatz von ADCP-Technik können sich ergeben, wenn ein See schweb-/trübstoffreich oder stark „verkrautet“ ist, weil die Signalausbreitung gedämpft wird; hier sind ggf. Alternativen zu erwägen/zu prüfen.

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Die Kenntnisse zu Strömungen und zur Strömungsdynamik sind insbesondere zur Erfassung und Bewertung der Gewässerschichtung wichtig.

Die Schichtung (tieferer) Seen ist temperaturabhängig und basiert grundlegend auf der Dichteanomalie des Wassers. Großen Einfluss haben neben der Thermik (temperaturinduzierte Strömungen) auch windinduzierte Strömungen. Die klassische Schichtenfolge von oben nach unten ist:

1. Epilimnion (stark von Strahlungsverhältnissen und Lufttemperatur abhängige Wassertemperatur),
2. Metalimnion („Sprungschicht“: starker, nach oben gerichteter Temperaturgradient des Wassers),
3. Hypolimnion (Wassertemperatur 4° C oder nur leicht darüber).

Schichtungsdauer und -stabilität haben insbesondere entscheidenden Einfluss (vor allem in eu- und hypertrophen Seen) auf die normalerweise im Hypolimnion im Sommer und im Winter auftretenden anoxischen

Erfassung des Strömungsverhaltens

Bedingungen mit Folgen für sauerstoffabhängige Freisetzungprozesse aus dem Sediment. FPV-Anlagen können sowohl raum-zeitlich die Temperaturverhältnisse von Seen verändern als auch den Eintrag mechanischer Energie infolge von Wind.

Grenzen der Anwendbarkeit

–

Anwendungsgebiete

- Grundlage einer limnologischen Beurteilung von Folgen von FPV-Anlagen
- Erklärungsgrundlage für ggf. veränderte geobiochemische und/oder biologische/ökologische Prozesse
- Im weitesten Sinne Begleit- oder Ursachenmonitoring für Überwachungs- oder Ermittlungszwecke nach WRRL, Gewährleistung der Maßgaben von WRRL, WHG und OGewV
- Abiotische Erklärung für ggf. erfolgreiche Schadstofffreisetzung sowie veränderte trophische Bedingungen, Nahrungsketten, Habitatqualität

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- Adler (2004): Funktion und Anwendung von akustischen Doppler Geräten. Vortrag auf Seminar der TU München. 11./12. März 2004.
- Kryeziu, S. (2014): Grundlagen der ADCP-Messtechnik und Auswertung von Messdaten. Masterarbeit. Technische Universität Graz. Dekanat für Bauingenieurwissenschaften. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft: 127 S.
- LAWA (2018): Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder Pegelhandbuch. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). 5. Aufl.: 160 S.
- Literatur zu Modellen, s. Factsheet „Erfassung der Gewässerschichtung“

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.3.6 Gewässerschichtung

Tab. 16: Steckbrief/factsheet „Erfassung der Gewässerschichtung“

Erfassung der Gewässerschichtung

Methodische Grundlagen

Ableitung über Vor-Ort-Messwerte, insbesondere durch raum-zeitliche Daten zu vertikalen Temperaturgradienten der Wassertemperatur, Windgeschwindigkeiten und detektierte Strömungen und/oder Einsatz von deterministischen (physikalischen) Seemodellen zur Analyse von Prozessen der Durchmischung (ggf. Kalibrierung/Validierung von Modelldaten durch Messdaten).

Untersuchungsdesign

- Messwerterfassung entsprechend Factsheets „Allgemeine chemisch-physikalische Qualitätskomponenten“, „Windgeschwindigkeit“, „Strömungsverhalten“

Erfassung der Gewässerschichtung

- Anwendung deterministischer (hydrophysikalisch basierter, 1D...3D) Seemodelle, z. B. ELCOM, FLake, MyLake, Simstrat, GOTM, DYRESM, GLM, LoW, LakeMIP
- Ggf. Ensembleanwendung und Auswertung mit Software LakeEnsembleR (Statistikpaket R), vgl. Feldbauer et al. (2023)

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Entsprechend Steckbriefen „Allgemeine chemisch-physikalische Qualitätskomponenten“, „Windgeschwindigkeit“, „Strömungsverhalten“
- EDV-Technik
- Modellsoftware
- Geodaten
- Morphometrische, bathymetrische Daten
- Meteorologische Daten
- Hydrologische Daten
- Limnologische/physikalische Daten

Zeitbedarf

- Für Vor-Ort-Messwerte entsprechend Steckbriefen „Allgemeine chemisch-physikalische Qualitätskomponenten“, „Windgeschwindigkeit“, „Strömungsverhalten“
- Für Modellierung entsprechend des modellbezogenen Aufwands für Einarbeitung, Parametrisierung, ggf. Kalibrierung/Validierung, Modelldurchläufe, Auswertung, ggf. Modell-Ensembleanwendung mit erhöhtem statistischem Aufwand

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

–

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

–

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Für Vor-Ort-Messwerte entsprechend Steckbriefen „Allgemeine chemisch-physikalische Qualitätskomponenten“, „Windgeschwindigkeit“, „Strömungsverhalten“

Büro/Labor

- Datenauswertung
- Bei Modellierung:
 - Modellauswahl und -begründung
 - Grundlagendaten und -herkunft
 - Parametrisierung (Begründung)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

Grundsätzlich wäre ein kombinierter Ansatz (Messdaten) und Modell(e) einschließlich dann gegebener Modell-Kalibrierungsmöglichkeiten am besten geeignet.

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Die Schichtung (tieferer) Seen ist temperaturabhängig und basiert grundlegend auf der Dichteanomalie des Wassers. Großen Einfluss haben neben der Thermik (temperaturinduzierte Strömungen) auch windinduzierte Strömungen. Die klassische Schichtenfolge von oben nach unten ist:

1. Epilimnion (stark von Strahlungsverhältnissen und Lufttemperatur abhängige Wassertemperatur),

Erfassung der Gewässerschichtung

2. Metalimnion („Sprungschicht“: starker, nach oben gerichteter Temperaturgradient des Wassers),
3. Hypolimnion (Wassertemperatur 4° C oder nur leicht darüber).

Schichtungsdauer und -stabilität haben insbesondere entscheidenden Einfluss (vor allem in eu- und hypertrophen Seen) auf die normalerweise im Hypolimnion im Sommer und im Winter auf-tretenden anoxischen Bedingungen mit Folgen für sauerstoffabhängige Freisetzungsprozesse aus dem Sediment. FPV-Anlagen können sowohl raum-zeitlich die Temperaturverhältnisse von Seen verändern als auch den Eintrag mechanischer Energie infolge von Wind.

Grenzen der Anwendbarkeit

- Ungenaue, fehlende Daten

Anwendungsgebiete

- Grundlage einer limnologischen Beurteilung von Folgen von FPV-Anlagen
- Erklärungsgrundlage für ggf. veränderte geobiochemische und/oder biologische/ökologische Prozesse
- Im weitesten Sinne Begleit- oder Ursachenmonitoring für Überwachungs- oder Ermittlungszwecke nach WRRL, Gewährleistung der Maßgaben von WRRL, WHG und OGEwV
- Abiotische Erklärung für ggf. erfolgreiche Schadstofffreisetzung sowie veränderte trophische Bedingungen, Nahrungsketten, Habitatqualität

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- Armstrong, A., Page, T., Thackeray, S., Hernandez, R. & Jones, I. (2020): Integrating environmental understanding into freshwater floatovoltaic deployment using an effects hierarchy and decision trees. *Environmental Research Letters* 15 (11): 114055.
- Büche, T. & Vetter, M. (2014a): Influence of groundwater inflow on water temperature simulations of Lake Ammersee using a one-dimensional hydrodynamic lake model. *Erdkunde* 68 (1): 19-31.
- Büche, T. & Vetter, M. (2014b): Simulating water temperatures and stratification of a pre-alpine lake with a hydrodynamic model: calibration and sensitivity analysis of climatic input parameters. *Hydrological Processes* 28 (3): 1450-1464.
- Büche, T. & Vetter, M. (2015): Future alterations of thermal characteristics in a medium-sized lake simulated by coupling a regional climate model with a lake model. *Climate Dynamics* 44 (1-2): 371-384.
- Büche, T. (2015): Numerische Modellierung des Wärme- und Stoffhaushaltes des Ammersees. Kummulative Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Geowissenschaften. München: 32 S. + Anhang.
- Eeder, M., Kobus, H. & Helmig, R. (2008): Dreidimensionale Modellierung der Hydrodynamik im Bodensee. *WasserWirtschaft* 10/2008: 16-21.
- Exley, G., Armstrong, A., Page, T. & Jones, I. D. (2021): Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification. *Solar Energy* 219: 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.076>.
- Feldbauer, J., Hegewald, T., Berendonk, T. U. & Petzoldt, T. (2023): Nicht nur Temperatur – wie der Klimawandel Trinkwassertalsperren beeinflusst. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 16 (4): 244-248.
- Kienel, U., Kirillin, G., Brademann, B., Plessen, B., Lampe, R., & Brauer, A. (2017): Effects of spring warming and mixing duration on diatom deposition in deep Tiefer See, NE Germany. *Journal of Paleolimnology* 57 (1): 37-49.

Erfassung der Gewässerschichtung

- Kirillin, G., & Shatwell, T. (2016): Generalized scaling of seasonal thermal stratification in lakes. *Earth-Science Reviews* 161: 179-190.
- Kirillin, G., Hochschild, J., Mironov, D., Terzhevik, A., Golosov, S. & Nützmann, G. (2011): Software, Data and Modelling News: FLake-Global: Online lake model with worldwide coverage. *Environmental Modelling & Software* 26: 683-684.
- Layden, A., Maccallum, S. N., & Merchant, C. J. (2016): Determining lake surface water temperatures worldwide using a tuned one-dimensional lake model (FLake, v1). *Geoscientific Model Development* 9 (6): 2167-2189.
- Le Moigne, P., Colin, J., & Decharme, B. (2016): Impact of lake surface temperatures simulated by the FLake scheme in the CNRM-CM5 climate model. *Tellus A*, 68.
- Schwefel, R., Jordan, S., Köhler, A. & Hupfer, M. (2023): Wie reagieren Seen auf den Klimawandel? Prognosen und mögliche Anpassungsstrategien. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 16 (5): 293-300.
- Thiery, W., Stepanenko, V. M., Fang, X., Jöhnk, K. D., Li, Z., Martynov, A., Perroud, M., Subin, Z. M., Darchambeau, F., Mironov, D. & Van Lipzig, N. P. M. (2014): LakeMIP Kivu: evaluating the representation of a large, deep tropical lake by a set of one-dimensional lake models. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography* 66: 1.
- Valipour, R., Fong, P., Mccrimmon, C., Zhao, J., Van Stempvoort, D. R. & Rao, Y. R. (2023): Hydrodynamics of a large lake with complex geometry and topography: Lake of the Woods. *Journal of Great Lakes Research* 49: 82–96.
- Yang, P., Chua, L. H. C., Irvine, K. N., Nguyen, M. T. & Low, E.-W. (2022): Impacts of a floating photovoltaic system on temperature and water quality in a shallow tropical reservoir. *Limnology* 23: 441-454.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.3.7 Sedimente

Tab. 17: Steckbrief/factsheet „Sedimentuntersuchungen“

Sedimentuntersuchungen

Methodische Grundlagen

Methodik entsprechend Anlage 9 OGeWV, LAWA-AO (2016) und Sinke et al. (1990)

- Punktuelle Erfassung, Sondenmessung, Entnahme Sedimentproben, Laboranalytik im zertifizierten, akkreditierten Büro

Untersuchungsdesign

- Punktuelle Probenahme an tiefster Stelle im See; bei mehreren Seebecken ist die tiefste Stelle in jedem Becken zu beproben
- Ergänzend: repräsentative Messstellen mit und ohne Einfluss einer FPV-Anlage
- Beprobung ganzjährig: mind. 1 mal jährlich; optimal: 12 mal (Untersuchung des Jahresgangs), ansonsten saisonale Beprobung (4 mal jährlich entsprechend der Jahreszeiten)
- Sondenmessung (Multiparameter-Sonde) vor Ort im Tiefenprofil:
 - Ab 0,5 m Wassertiefe bis ca. 1 m über Grund
 - Vertikale Auflösung: 1 m Abstände
- Beprobung mit Sedimentcorer (z. B. uwitec®):
 - Entnahme mehrerer ungestörter Sedimentkerne pro Station (mind. 3 Proben: 1 x für Porenwasseranalyse, 1 x für strukturelle Kenngrößen, 1 x für Korngröße)
- Proben möglichst tagesaktuell weiterzubearbeiten:

Sedimentuntersuchungen

- Entnahme Porenwasser mittels Rhizonen (Rhizosphere Research Products®)
- Bearbeitung ggf. am Folgetag möglich
- Entnahme Unterproben aus verschiedenen Tiefenhorizonten; Ermittlung Wassergehalt und Glühverlust
- Nasssiebung zur Analyse der Korngrößenverteilung
- Ggf. weitere chemische Analysen im akkreditierten Labor nach einschlägigen DIN-Vorschriften

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Boot, inkl. Motor, Anker und persönlicher Schutzausrüstung
- GPS-Gerät zur Erfassung der Koordinaten
- Feldprotokoll mit wasserfester Oberfläche (alternativ Outdoor-Tablet)
- Secchi-Scheibe
- Multiparameter-Sonde mit ausreichend langem Kabel
- Sedimentcorer (z. B. uwitec®)
- Plexiglasrohre mit entsprechender Halterung/Kiste und zugehörige Stopfen (für Porenwasser mit Bohrungen in 1 cm Abstand)
- Sedimentkernschneider, Petrischalen
- Trockenschrank, Muffelofen, Feinwaage, Tiegel
- Siebsatz oder alternatives Analysegerät zur Ermittlung der Korngrößenverteilung
- Rhizone (Rhizosphere Research Products®) und Zubehör (Schläuche, Spritzen etc.)
- Photometer und entsprechende Testkits (z. B. Spectroquant®)
- EDV mit Geoinformationssystem (z. B. ArcGIS, Q-GIS); Statistiksoftware (z. B. Excel, R)

Zeitbedarf

- 1 – 2 h pro Messstelle je nach Größe, Tiefe und Zugänglichkeit des Sees inkl. Boot einsetzen und vorbereiten und Anfahrt zur Probestelle

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Je nach Größe und Ausrichtung des Sees: Windgeschwindigkeiten < 3- 4 bft.
- Eisfreiheit

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- Gem. OGewV zur Überwachung UQN (Umweltqualitätsnormen) mind. 1 x jährlich
- Empfehlung mind. 4 x zur Erfassung saisonaler Variationen
- Besser 12 x jährlich (monatlich zur Erfassung des Jahresgangs)

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

Feldprotokoll

- See-/Messpunktnummer und -name, Koordinaten
- Datum, Uhrzeit
- Probenehmer
- Bewölkung in Achteln: 0 = wolkenlos bis 8 = völlig bedeckt
- Windrichtung
- Optischer Eindruck, z. B. Färbung, Trübung des Wassers
- Geruch
- Sichttiefe – Messung mit Secchi-Scheibe auf 10 cm
- Euphotische Tiefe = Sichttiefe x 2,5
- Sichttiefe bis Grund: ja/nein
- Tiefe an Probestelle: gelotete Tiefe

Sedimentuntersuchungen

- Angaben zu Schichtung/Sprungschicht, Mächtigkeit der durchmischten Schicht (Epilimnion z_{epi}) (Rückgriff auf die Ergebnisse der allg. chem.-physik. Untersuchungen)
- Angaben zum Entnahmegesetz
- Bemerkung zu Sediment/Gewässergrund (z. B. Makrophytenbedeckung, Auflage von Steinen, org. Material etc.)
- Bemerkungen/Angaben zu weiteren Beprobungen

Fotodokumentation

- 3 - 5 Aufnahmen seecharakteristischer Motive

Sondenmessung

- Temperatur
- Sauerstoffkonzentration und -sättigung
- Leitfähigkeit und pH-Wert
- Redoxpotenzial
- Erfassung und Protokollierung der Sprungschicht, wenn auf 1 m
- Temperaturdifferenz $> 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ oder
- Differenz Sauerstoffsättigung $> 20 \%$
- Ggf. zusätzliche Messtiefe in 0,5 m Schritten

Büro/Labor

Labor

- Fotodokumentation der Sedimentkerne vor Weiterverarbeitung
- Entnahme Porenwasser mittels Rhizonen
- Photometrische Bestimmung von z. B. Phosphat im Porenwasser
- Schneiden und ggf. Dokumentation verschiedener Sedimenthorizonte (z. B. 1 - 2 cm Schichten)
- Homogenisieren einzelner Schichten
- Entnahme Unterprobe mit Ermittlung Wassergehalt und Glühverlust
- Nach Bedarf können weitere Unterproben zur weiteren Analyse (z. B. Schwermetalle, TOC, TN, TP) in ein zertifiziertes, akkreditiertes Labor überführt werden
- Nasssiebung zur Ermittlung der Korngrößenverteilung
- Bei Sedimentaushub ist zur Bewertung der weiteren Verwendung des Baggergutes ggf. eine Analyse nach BBodSchV notwendig

Büro

- Digitalisierung analoger Feldprotokolle/Dateneingabe
- Auswertung Porenwasserprofile; Berechnung Porenwasserflüsse nach 1. Fickschem Gesetz
- Auswertung Korngrößenverteilung; Erstellung Sieblinien
- Auswertung räumlicher und saisonaler Verteilung
- Ggf. Auswertung Schadstoffverteilung und weiterer Parameter
- Erstellung Bericht und Karten/Diagramme

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

Bei starkem Wind oder Eisbedeckung ist eine Bootsbefahrung auf einem See je nach Ausrichtung und Größe zu gefährlich. Es ist möglichst nach Alternativterminen im gleichen Kalendermonat/Jahreszeit zu suchen. Die Zeitabstände zwischen den einzelnen Beprobungen können sich daher leicht verschieben. Erfolgt die Beprobung der Sedimente zeitgleich mit der Wasserprobenahme für die allgemeinen physikalisch-chemischen Parameter (empfohlen), so sind die Wasserproben vor der Sedimentbeprobung zu entnehmen, um eine Verfälschung der Wasserproben durch Trübung oder ggf. Schad- oder Nährstofffreisetzung aus dem Sediment zu vermeiden.

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Auswertungsverfahren bereits unter „Notwendiger Dokumentationsumfang“ beschrieben. Durch die Methode werden zusätzliche Informationen zu der Schad- und Nährstoffverteilung im Sediment gewonnen. Dies ist bereits für die Bauphase einer FPV-Anlage relevant, um eine Gefährdung der

Sedimentuntersuchungen

Wasserqualität durch potenzielle Freisetzung von Schad- und Nährstoffen aus dem Sediment frühzeitig zu erkennen und dieser durch entsprechende Schutzmaßnahmen (z. B. Silt Screens während Bagger- und Rammarbeiten) vorzubeugen. Darüber hinaus ist es mit der Methode möglich die Einflüsse einer bestehenden FPV-Anlage auf das Sedimentationsverhalten abzubilden. Durch Beschattung und damit Beeinträchtigung des Bewuchses sowie Veränderung der Strömungsdynamik werden neben der Sedimentation auch Sedimentverlagerungsprozesse verändert, was sich durch Austauschprozesse an der Sediment-Wasser-Grenzfläche wiederum auf die Wasserqualität und die geobiochemischen Prozesse im Gewässer auswirken kann.

Grenzen der Anwendbarkeit

Natürliche Ökosysteme unterliegen starken saisonalen und zwischenjährlichen Schwankungen. Insbesondere die Sedimente sind zumeist auch in der kleinräumigen Verteilung sehr heterogen. Die Einschätzung von Repräsentativität einzelner Proben erfordert entsprechende Erfahrung sowie Kenntnis der Gewässer. Bei einer Erstbeprobung ist die überblickshafte Entnahme mehrerer Parallelproben dringend zu empfehlen. Meteorologische und hydrologische Verhältnisse sind bei der Interpretation der Daten zu berücksichtigen.

Anwendungsgebiete

- Ergänzend zur limnologischen Beurteilung der Folgen von FPV-Anlagen
- Darstellung veränderter Sedimentations- und Sedimentverlagerungsprozesse
- Erweiterung zu Untersuchungen der allgemein physikalisch-chemischen Parameter
- Unterstützung der Untersuchungen zu Strömungsverhalten
- Essenziell bei Entnahme von Baggergut und Weiterverwendung

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- Hansen, H. P. & Koroleff, F. (1999): Determination of nutrients. In: Grasshoff, K., Kremling, K. & Ehrhardt, M. (Hrsg.). *Methods of seawater analysis*. 3. Ausgabe, Wiley-VCH Verlag GmbH: 159–228.
- LAWA (2002): AQS-Merkblatt P-8/4 zu den Rahmenempfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die Qualitätssicherung bei Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen. Probenahme von Schwebstoffen und Sedimenten. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): 19 S.
- LAWA-AO (2016): Rahmenkonzeption Monitoring. Teil B. Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen. Arbeitspapier IV.4. Empfehlung für Schwebstoff- und Sedimentuntersuchungen an Überblicksmessstellen nach der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373). Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Ständiger Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO): 26 S.
- Lavery, P. S., Oldham, C. E. & Ghisalberti, M. (2001): The use of Fick's First Law for predicting porewater nutrient fluxes under diffusive conditions. *Hydrological Processes* 15 (13): 2435–2451.
- Li, Y.-H. & Gregory, S. (1974): Diffusion of ions in seawater and in deep-sea sediments. *Geochim et Cosmochimica Acta* 38 (5): 703–714.
- Sinke, A., Cornelesen, A., Keizer, P., Van Tongeren, O. & Cappenberg, T. (1990): Mineralization, pore water chemistry and phosphorus release from peaty sediments in the eutrophic Lossdrecht lakes, The Netherlands. *Freshwater Biology* 23 (3): 587–599.
- Einschlägige DIN-Normen der Feststoffanalytik (Boden, Sediment)

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.3.8 (windinduzierte) Wellenausbreitung und -charakteristik

Tab. 18: Steckbrief/factsheet „Erfassung der (windinduzierten) Wellenausbreitung und -charakteristika“

Erfassung der (windinduzierten) Wellenausbreitung und -charakteristika

Methodische Grundlagen

Wellen auf Gewässeroberflächen entstehen in der Regel durch Energieübertragung von Wind auf das Wasser. Durch die oberflächennahe Luftströmung wird eine Schubspannung auf die Wasseroberfläche induziert und diese dadurch in Bewegung versetzt. Diese ist abhängig von der Windgeschwindigkeit. Die oberflächennahe Windgeschwindigkeit über einem Gewässer ist zusätzlich abhängig von der Windwirklänge (Fetch), also der unbeeinflussten Strecke über offenem Gewässer. Je länger der Fetch, umso höher die Geschwindigkeit und höher die Welle.

Messung der Wellenhöhe durch folgende Messverfahren:

- AWAC (acoustic wave and current profiler): ADCP-Messverfahren (siehe Factsheet: Strömungsverhalten); Die Messsonde wird auf der Gewässersohle befestigt und misst aus der Tiefe in Richtung Oberfläche. So können auch Wellenhöhen erfasst werden.
- Drucksensorik: Drucksensoren erfassen die durch Wellen erzeugte Druckänderung in der Wassersäule. Aus den Messdaten lassen sich Frequenz und Wellenhöhe ableiten.
- Messbojen: Auf der Wasseroberfläche schwimmende Bojen, die mit Beschleunigungssensoren die Frequenz und Amplitude der Wellen aufzeichnen

Ggf. auch Einsatz von deterministischen (physikalischen) Modellen zur Vorhersage von Wellen (ggf. Kalibrierung/Validierung von Modelldaten durch Messdaten)

Untersuchungsdesign

- Einsatz von Messtechnik (stationär unter der Wasseroberfläche oder auf Messbojen)
- Anzahl entsprechend Seegröße/Seegliederung und abhängig von Fragestellung
- Messgeräteauswahl nach Eignung/Herstellerangaben

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Messtechnik, entsprechende Auswertesoftware (herstellerabhängig)
- Messplattform (verankert)
- EDV-Technik
- Geodaten
- Morphometrische, bathymetrische Daten
- Meteorologische Daten
- Hydrologische Daten
- Limnologische/physikalische Daten

Zeitbedarf

- Installationsbedarf, ggf. separater Zeitbedarf für Verankern von Messplattform (mehrere Tage)
- Messstellenbetreuung, Datenauslesen (mehrere Tage je Monat)
- Auswerten, Darstellen, Interpretieren, auch im Kontext mit anderen Daten (mehrere Wochen)
- Für Modellierung entsprechend des modellbezogenen Aufwands für Einarbeitung, Parametrisierung, ggf. Kalibrierung/Validierung, Modelldurchläufe, Auswertung, ggf. Modell-Ensembleanwendung mit erhöhtem statistischem Aufwand

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Kontrolle der Messtechnik erforderlich, vor allem nach Stürmen, Seegang oder Eisgang
- Aufstellen von Messinstrumenten im Bereich des Litorals

Erfassung der (windinduzierten) Wellenausbreitung und -charakteristika

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- Durchgängiger Einsatz, d. h. mehrjährige, kontinuierliche Messung

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Koordinaten, Zeitpunkte von Installation und Kontrollen, Kennzeichen der Messtechnik
- Überprüfung der Systemzeit erforderlich, ggf. Abgleich mit Echtzeit
- Messdaten, Einflussgrößen, z. B. vertikale/horizontale Wassertemperaturen, Windgeschwindigkeiten

Büro/Labor

- Datenauswertung
- Bei Modellierung:
 - Modellauswahl und -begründung
 - Grundlagendaten und -herkunft
 - Parametrisierung (Begründung)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

Schwierigkeiten beim Einsatz von ADCP-Technik können sich ergeben, wenn ein See schweb-/trübstoffreich oder stark „verkrautet“ ist, weil die Signalausbreitung gedämpft wird; hier sind ggf. Alternativen zu erwägen/zu prüfen.

- Regelmäßige Reinigung von unter Wasser betriebenen Messgeräten zur Reduktion von Biofilm

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Wellen haben einen direkten Einfluss auf das Litoral bzw. die dort vorkommenden Sedimente und Organismen (Umlagerung, mechanische Wirkungen, „strömungsgleiche“ physiologische Wirkungen). Wellen sind in diesem Bereich unter anderem für Resuspension, Erosion und Partikeltransport, Freisetzung von Nährstoffen, Abrasion von Biofilm und Umverteilung sowie Stress auf das Zoobenthos verantwortlich. Wellenexponierte Bereiche sind aber auch ökologische Nischen für strömungs- und sauerstoffliebende Arten (z. T. können in Seebrandungszonen auch Fließgewässerarten leben). Entsprechend haben Wellen vielseitigen Einfluss auf das Gesamtsystem See.

Grenzen der Anwendbarkeit

–

Anwendungsgebiete

- Grundlage einer limnologischen Beurteilung von Folgen von FPV-Anlagen
- Erklärungsgrundlage für ggf. veränderte geobiochemische und/oder biologische/ökologische Prozesse
- Im weitesten Sinne Begleit- oder Ursachenmonitoring für Überwachungs- oder Ermittlungszwecke nach WRRL, Gewährleistung der Maßgaben von WRRL, WHG und OGewV
- Abiotische Erklärung für ggf. erfolgende Schadstofffreisetzung sowie veränderte trophische Bedingungen, Nahrungsketten, Habitatqualität

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Erfassung der (windinduzierten) Wellenausbreitung und -charakteristika

Fachliteratur (Methodik)

- Hofmann, H., Lorke, A. & Peeters, F (2008): The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. *Limnology and Oceanography* Volume 53. Issue 1: 368-380.
- Lyman, T. P., Elsmore, K., Gaylord, B., Byrnes, J. E. K. & Miller, L. P. (2020): Open Wave Height Logger: An open source pressure sensor data logger for wave measurement. *Limnol Oceanogr Methods* 18: 335-345.
- Shoushtarizadeh, A., Allahyar, M., Kebriaee, A. & Tajalibakhsh, T. (2010): Analytical Comparison Among Oceanographic Instruments Operations. In: Sundar, V.; Srinivasan, K.; Murali, K.; Sudheer, K.P. (Hrsg.): ICHE2010. Proceedings of the 9th International Conference on Hydro-Science & Engineering. August 2-5. 2010. Chennai: 9 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.3.9 Seeuferstruktur

Tab. 19: Steckbrief/factsheet „Klassifizierung der Seeuferstruktur“

Klassifizierung der Seeuferstruktur

Methodische Grundlagen

LAWA-Verfahren: „Verfahrensanleitung zur uferstrukturellen Gesamtseeklassifizierung mit einem bundesweit einheitlichen Übersichtsverfahren“ (Mehl et al. 2019a, b, c)

Untersuchungsdesign

- Übersichtsverfahren (Bearbeitung auf der Grundlage von Geodaten), Vor-Ort-Aufnahmen/Begehung als Ergänzung möglich
- Unterteilung des Uferbereichs in Flachwasser-, -Ufer- und Umfeldzone
- Bildung homogener Abschnitte (über alle drei Zonen; nach Neigung, Boden, Exposition und Schadstrukturen; mindestens 100 m und höchstens 1.000 m lang)
- Bestimmung eines Seeufertyps für jeden Abschnitt (als Referenzzustand der Merkmalsausprägung)
- Klassifizierung der Abschnitte der Flachwasserzone
 - Kriterium A1: Veränderung des Röhrichts
 - Kriterium A2: Schadstrukturen nach Schadstrukturenkatalog
- Klassifizierung der Abschnitte der Uferzone
 - Kriterium B1: Uferverbau
 - Kriterium B2: Schadstrukturen nach Schadstrukturenkatalog
- Klassifizierung der Abschnitte der Umfeldzone
 - Kriterium C1: Landnutzung
- Klassifizierung erfolgt auf 5-stufiger Skala
- Darstellung in Datenbank und Karten

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Kartieranleitung (s. o.)
- EDV-Technik
- GIS (z. B. ArcMap)
- Geodaten (mindestens: Digitales Geländemodell, Bodenkarte, Tiefenlinien, Luftbilder, Landnutzungsdaten (z. B. ATKIS Basis DLM, Corine Landcover, BNTK), optional: Geologische Karte, Abgrenzung Wasserkörper, historische Karten, Trophieeinstufung der Seen, Ergebnisse der Makrophytenkartierung, Kartierung von Uferverbau, Topographische Karte)

Klassifizierung der Seeuferstruktur

- für optionale Vor-Ort-Aufnahmen: Übersichtskarte, Papier, Stift, Fotoapparat, ggf. Drohne
- für optionale Überprüfung des Bodens zur Bestimmung Seeufertyp: Pürckhauer-Bohrer, Bohrstange

Zeitbedarf

- sehr variabel nach Größe (Anzahl zu klassifizierender Abschnitte) und Form (Problem der Abgrenzung der Geometrien bei stark gebuchteten oder länglichen Seen) des Sees
- ca. 20 h bis 40 h pro See
- Verkürzung der Arbeitszeit pro See bei der Bearbeitung mehrerer Seen durch Zusammenfassen von Arbeitsschritten möglich (z. B. einmalige Aufbereitung der Geodaten)
- Optionale Vor-Ort-Aufnahme: Variabel nach Anzahl und Art der zu überprüfenden Strukturen, Zeit für An- und Abreise

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

Da das Verfahren grundsätzlich am PC durchzuführen ist, gibt es keine weiteren notwendigen Erfassungsbedingungen

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

Die Kartierung kann jederzeit erfolgen. Zur Erfassung von Änderungen und bzgl. einer gewissen Aktualität der Ergebnisse sollte die Kartierung alle 6 Jahre wiederholt werden.

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- optionale Vor-Ort-Überprüfung möglich
- evtl. Überprüfung des Seeufertyps (Boden und ggf. Neigung), von Röhrichtausbildung, Uferverbau, Schadstrukturen der Flachwasser- und Uferzone und der Landnutzung
- Dokumentation in Form von Vor-Ort-Protokollen

Büro/Labor

- Dokumentation in Form von Text (Bericht) und Karten (bzw. Geodaten)
- Kartendarstellung möglich als:
 1. Darstellung aller Abschnitte der einzelnen Zonen
 2. Darstellung des Durchschnittswertes der Klassifizierung einer gesamten Zone
 3. Darstellung als Mittelwert eines Abschnittes über alle Zonen hinweg
- Ablage aller Ergebnisse in einer Excel-Datenbank

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

Bestimmte fehlende Geodaten können aus anderen erzeugt werden (z. B. die Erzeugung von Tiefenlinien aus Vermessungsdaten).

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Ergebnis der Klassifizierung ist eine flächendeckende Beurteilung des Uferbereichs (unterteilt in Flachwasser-, Ufer- und Umfeldzone) hinsichtlich der hydromorphologischen Defizite (und Wertstrukturen). Auswirkungen von FPV-Anlagen ersichtlich durch Veränderungen innerhalb der Klassifizierung der Seeuferstruktur.

Grenzen der Anwendbarkeit

- Ungenaue, fehlende Daten

Anwendungsgebiete

- Bewertung bzw. Überwachung des Zustandes der Seen nach WRRL

Klassifizierung der Seeuferstruktur

- Bestimmung der hydromorphologischen Qualitätskomponente zur Unterstützung der biologischen Komponenten
- Erfüllung der Berichtspflicht (Art. 8 Abs 1 WRRL, Art. 15 WRRL, sowie §§ 5 und 9 OGewV)

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- Böx, S., Eberts, J. & Mehl, D. (2015a): Praxistest zur „Verfahrensanleitung für eine uferstrukturelle Gesamtseeklassifizierung (Übersichtsverfahren)“ und „Verfahrensanleitung zur Prognose makrozoobenthos-relevanter Habitattypen an Seeufern“. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern). Bützow: 73 S.
- Böx, S., Mehl, D. & Eberts, J. (2015b): Verfahrensanleitung zur Prognose makrozoobenthos-relevanter Habitattypen an Seeufern. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern). Bützow: 86 S.
- Mehl, D., Böx, S., Eberts, J., Plambeck, G., Köhler, A. & Schaumburg, J. (2017a): Erstellung einer LAWA-Verfahrensanleitung für eine Klassifizierung der Seeuferstruktur als Übersichtsverfahren. Teil 1: Hintergrund, Zielstellung, Grundlagen. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 10 (1): 16 - 21.
- Mehl, D., Böx, S., Eberts, J., Plambeck, G., Köhler, A. & Schaumburg, J. (2017b): Erstellung einer LAWA-Verfahrensanleitung für eine Klassifizierung der Seeuferstruktur als Übersichtsverfahren. Teil 2: Methodik, Praxistest. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 10 (1): 22 - 27.
- Mehl, D., Eberts, J., Böx, S. & Krauß, D. (2019a): Fortschreibung der „Verfahrensanleitung für eine uferstrukturelle Gesamtseeklassifizierung mit einem bundesweit einheitlichen Übersichtsverfahren“ (Projekt-Nr. O 6.18). Hintergrunddokument. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall: 69 S.
- Mehl, D., Böx, S., Eberts, J. & Schönrock, S. (2019b): Fortschreibung der „Verfahrensanleitung für eine uferstrukturelle Gesamtseeklassifizierung mit einem bundesweit einheitlichen Übersichtsverfahren“ (Projekt-Nr. O 6.18). Technischer Bericht. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall: 62 S.
- Mehl, D., Böx, S. & Eberts, J. (2019c): Fortschreibung der „Verfahrensanleitung für eine uferstrukturelle Gesamtseeklassifizierung mit einem bundesweit einheitlichen Übersichtsverfahren“ (Projekt-Nr. O 6.18). Kartieranleitung. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall: 69 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.4 Ermittlung der Auswirkungen auf Arten und Lebensräume

3.4.1 Erläuterung

In diesem Abschnitt wird das Untersuchungskonzept zur Ermittlung der Auswirkungen auf Arten und Lebensräume vorgestellt. Auch diese Darstellungen erfolgen nach einheitlichen Kriterien steckbriefhaft („factsheets“), in gleicher Art und Weise, wie dies bereits in Abschnitt 3.3 beschrieben wurde.

3.4.2 Biotope/Biotoptypen

Tab. 20: Steckbrief/factsheet „Erfassung der Biotoptypen“

Erfassung der Biotoptypen im Verlandungs- und Litoralbereich
Methodische Grundlagen
Biotopkartieranleitungen der Länder, Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands (Riecken et al. 2017)
Untersuchungsdesign
<ul style="list-style-type: none">• Überblickskartierung der Biotope im Verlandungs- und Litoralbereich der Standgewässer• Rasterartige Erfassung der Submersvegetation mittels wiederkehrender Hols in verschiedenen Tiefenstufen• Einmessung von Schwimmblattbeständen bzw. Verlandungsröhrichten im Flachwasserbereich
Benötigte Arbeitsmaterialien
<ul style="list-style-type: none">• Boot mit angemessener Sicherheitsausrüstung• GPS-Gerät mit geeignetem Kartenmaterial (z. B. Tiefenkarten, aktuelle Luftbilder und topographische Karten in geeigneten Maßstäben)• Für Rechenmethode: Neoprenanzug und Schnorchelausrüstung im Flachwasserbereich, Sichtkasten, ausziehbarer Rechen sowie Wurfharke (modifiziert nach Deppe & Lathrop 1993)• für Unterwasseraufnahmen geeigneter Fotoapparat• Kühlbox mit Probehgefäßen für Belegmaterial
Zeitbedarf
<ul style="list-style-type: none">• ca. 8 h bei Seen < 50 ha, in größeren Seen abhängig von Gewässergröße
Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen
<ul style="list-style-type: none">• bevorzugt windstilles Wetter
Erfassungszeitraum und -häufigkeit
<ul style="list-style-type: none">• einmalige Überblickskartierung der Wasser- und Verlandungsvegetation im Zeitraum vom Mitte Juni bis Ende August
Notwendiger Dokumentationsumfang
Gelände
<ul style="list-style-type: none">• Arteninventar und Häufigkeit der Makrophyten in den einzelnen Hols, Angabe der Erfassungstiefen, des Substrates und der Gesamtdeckung, zusätzlich Aufnahme vorkommender Sonderstrukturen (größere Muschelbänke oder Totholzansammlungen, flächige Detritusmudden etc.)• GPS-Koordinaten der Hols bzw. eingemessener Schwimmblatt- und Röhrichtbestände

Erfassung der Biotoptypen im Verlandungs- und Litoralbereich

Büro/Labor

- Verschneidung der ermittelten Koordinaten und der abgeleiteten Vegetationsausprägungen mit Tiefenkarten zu einer Biotoptypenkarte der Verlandungs- und Submersvegetation
- flächige Abgrenzung von Biotoptypen und Zuordnung von Schutzstatus (geschützte Biotope nach BNatSchG und ggf. FFH-Richtlinie Anhang I (innerhalb von Gebieten gemeinschaftlicher Bedeutung [GGB]) und Gefährdungsgrad (Rote Liste Deutschlands und/oder der jeweiligen Bundesländer)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

- Bei Auftreten ergänzende Darstellung vorhandener Sonderstrukturen

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Ergebnis der Darstellung ist eine flächige Charakterisierung der Verlandungs- und Uferbereiche sowie die Ableitung und Kennzeichnung gesetzlich geschützter Biotope und vorhandener Sonderstrukturen

Grenzen der Anwendbarkeit

- Rastererfassung erfordert Generalisierung der Biotoptypen unter Nutzung von Tiefenkarten bzw. anhand der erhobenen Daten

Anwendungsgebiete

- Ermittlung bzw. Überwachung vorkommender gesetzlich geschützter Biotope nach BNatSchG, in GGB auch ermittelter Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-RL
- Nullerfassung als Grundlage für Monitoringprogramme der Ufer- und Gewässervegetation

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG)
- Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-RL)

Fachliteratur (Methodik)

- Biotopkartieranleitungen der Bundesländer
- BfN & BLAK (2017a): Bewertungsschemata für die Bewertung des Erhaltungszustandes der Arten und Lebensraumtypen als Grundlage für ein bundesweites FFH-Monitoring. Teil II: Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie (mit Ausnahme der marinen und Küstenlebensräume). BFN-Skripten 481. Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Bund-Länder-Arbeitskreis (BLAK) FFH-Monitoring und Berichtspflicht (Hrsg.). Bonn, Bad Godesberg: 243 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.4.3 Phytoplankton

Tab. 21: Steckbrief/factsheet „Erfassung des Phytoplanktons“

Erfassung des Phytoplankton
Methodische Grundlagen
Mischke et al. (2017): Handbuch Phyto-See-Index - Verfahrensbeschreibung für die Bewertung von Seen mittels Phytoplankton
Untersuchungsdesign
<ul style="list-style-type: none">• Sechs Probennahmen pro Jahr in der Vegetationsperiode, dabei mindestens vier im Zeitraum Mai bis September• Sichttiefenmessung mittels Secchi-Scheibe und Bestimmung der euphytischen Zone• Entnahme von Wasserproben an jeweils einer Probestelle (tiefste Stelle bzw. Seemitte), Messung mittels Echolot und Verortung per GPS• Messung physiko-chemischer Daten mit Multiparameter-Sonde in 1 m Tiefenstufen• Entnahme von Planktonproben mittels Planktonschöpfer aus verschiedenen Tiefenstufen in 1 m Schritten (polymyktische Seen) bzw. maximal 2 m (geschichtete Seen) und Herstellung einer Mischprobe• bei Einsatz eines Tiefen-Integralschöpfers erfolgt dies automatisiert• Ausfüllen des Feldprotokolls
Benötigte Arbeitsmaterialien
<ul style="list-style-type: none">• Boot mit angemessener Sicherheitsausrüstung• Echolot und GPS-Gerät mit geeignetem Kartenmaterial (z. B. Tiefenkarten und topographische Karten 1:25000 bzw. 1:50000)• Tiefenintegralschöpfer bzw. Planktonschöpfer• Multiparametersonde zur Messung physikochemischer Kenngrößen• Secchi-Scheibe zur Sichttiefenmessung• Kartierprotokolle und Bleistifte• Probegläschen und Transportbox mit Kühlakkus, Lugolsche Lösung zur Konservierung
Zeitbedarf
<ul style="list-style-type: none">• Probennahme mit ca. 0,75 h/Probestelle, zuzüglich Anfahrt per Boot
Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen
<ul style="list-style-type: none">• bevorzugt sonniges windstilles Wetter
Erfassungszeitraum und -häufigkeit
<ul style="list-style-type: none">• Sechs Probennahmen pro Jahr in der Vegetationsperiode, dabei mindestens vier im Zeitraum Mai bis September
Notwendiger Dokumentationsumfang
Gelände <ul style="list-style-type: none">• Tiefenprofile und Geländekoordinaten (GPS)• Plankton-Mischproben:<ol style="list-style-type: none">1. Chlorophyll-a-Probe: (0,5 bis 2 l) je nach Algendichte, unfixiert in PET-Flaschen2. Phytoplanktonprobe: Lugol-fixiert in 100 ml Klarglas-Enghalsflasche• Sichttiefenmessungen

Erfassung des Phytoplankton

- Messung von Temperatur und Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit, PH-Wert in 1 m Tiefenstufen

Büro/Labor

- Chlorophyll-a-Probe: ethanolische Heißextraktion des Filtrerrückstands einer Wasserprobe, Spektral-photometrische Absorptionsmessung bei 665 nm
- Bestimmung der Phytoplanktonprobe nach der Utermöhl-Methode (Anreicherung des Phytoplanktons in geeichten Absetzkammern, Mikroskopische Bestimmung des Biovolumens und relevanter Arten
- Bewertung der ermittelten Daten

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

In polymiktischen Seen ist die Probennahme in der gesamten Wassersäule bis 1 m über Grund durchzuführen (Ausnahme sauerstofffreie Bereiche), in geschichteten Seen ist während der Schichtungsphase die tiefere Kenngröße (Epilimnion- bzw. euphotische Tiefe) zu beproben

- Entnahme einer Diatomeenprobe kann fakultativ erfolgen

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Typbezogene Bewertung ermöglicht eine Klassifizierung der wasserkörperbezogenen Ergebnisse nach Zustandsklassen gemäß WRRL
- Auswertung anhand weiterer Daten (Chlorophyll-a-Gehalt, Ausdehnung euphotische Zone, Tiefenzonierung, Anteil Cyanobakterien) ist zusätzlich möglich, um den aktuellen Zustand bzw. Veränderungen von Einzelparametern zu charakterisieren

Grenzen der Anwendbarkeit

- Verfahren basiert auf typabhängiger Klassifizierung für WRRL-relevante Seen
- Summenindikation mittels Phytoplankton teilweise anhand aggregierter Werte (z. B. Chlorophyll-a-Gehalt als Kenngröße für Phytoplankton-Biomasse, Arteninventar nur teilweise berücksichtigt)
- Aktuelle Taxonomie permanent im Fluss, Berücksichtigung kann nur in definierten Zeitintervallen über Aktualisierung der Taxalisten erfolgen
- bei nicht definierten Seentypen nur näherungsweise Bewertung möglich

Anwendungsgebiete

- Ökologische Bewertung des Phytoplanktons und Ermittlung der Leitbildabweichung, Bewertung des trophischen Zustandes und möglicher Störeinflüsse (Versalzung)

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- Mischke, U., Riedmüller, U., Hoehn, E. & Nixdorf, B. (2017): Handbuch Phyto-See-Index -Verfahrensbeschreibung für die Bewertung von Seen mittels Phytoplankton. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall". Stand 15. Dezember 2017: 79 S.
- Riedmüller, U., Mischke, U. & Hoehn, E. (2022a): Verfahrenanleitung PhytoSee Online –Bewertung von Seen mit Phytoplankton – Version 8.0.x. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2021. LAWA-Projekt Nr. O3.21. Stand 31. März 2022. Freiburg: 57 S.

Normen

- DIN 38409-620: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H) – Teil 60: Photometrische Bestimmung der Chlorophyll-a-Konzentration in Wasser (H 60). Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). Beuth Verlag. Berlin: 29 S.

Erfassung des Phytoplankton

Ggf. sonstiges Relevantes

- Bewertung WRRL-relevanter Seen (> 50 ha) erfolgt im Rahmen des WRRL-Monitorings der Länder, Seen kleiner 50 ha bisher nicht berücksichtigt

3.4.4 Zooplankton

Tab. 22: Steckbrief/factsheet „Erfassung des Zooplanktons“

Erfassung des Zooplankton

Methodische Grundlagen

Deneke, Maier & Mischke (2015): Das PHYTOLOSS-Verfahren. Berücksichtigung des Zooplanktons in der Seebewertung nach WRRL durch die Ermittlung der Grazing-Effektstärke und anderer Indizes. Ausführliche Verfahrensvorschrift. Stand März 2015.

Untersuchungsdesign

- Probennahme erfolgt im Zusammenhang mit Phytoplankton-Probenahme
- Sechs Probenahmen pro Jahr in der Vegetationsperiode, dabei mindestens vier im Zeitraum Mai bis September
- Entnahme von Wasserproben an jeweils einer Probestelle (tiefste Stelle bzw. Seemitte), Messung mittels Echolot und Verortung per GPS
- Entnahme von Planktonproben mittels Planktonschöpfer aus verschiedenen Tiefenstufen in 1 m Schritten (polymyktische Seen) bzw. maximal 2 m (geschichtete Seen) und Herstellung einer Mischprobe
- bei Einsatz eines Tiefen-Integralschöpfers erfolgt dies automatisiert
- Ausfüllen des Feldprotokolls

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Boot mit angemessener Sicherheitsausrüstung
- Echolot und GPS-Gerät mit geeignetem Kartenmaterial (z. B. Tiefenkarten und topographische Karten 1:25000 bzw. 1:50000)
- Tiefenintegralschöpfer bzw. Planktonschöpfer
- Probegläschen und Transportbox mit Kühlakku, Lugolsche Lösung zur Konservierung

Zeitbedarf

- Probennahme mit ca. 0,75 h/Probestelle, zuzüglich Anfahrt per Boot

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- bevorzugt sonniges windstilles Wetter

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- Sechs Probenahmen pro Jahr in der Vegetationsperiode, dabei mindestens vier im Zeitraum Mai bis September

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Tiefenprofile und Geländekoordinaten (GPS)

Erfassung des Zooplankton

- Plankton-Mischproben:
 1. Chlorophyll-a-Probe: (0,5 bis 2 l) je nach Algendichte, unfixiert in PET-Flaschen
 2. Planktonprobe: Lugol-fixiert in 100 ml Klarglas-Enghalsflasche

Büro/Labor

- Parallele Erfassung des Zooplanktons (Arten und Anzahl) im Rahmen der Aufarbeitung der Phytoplanktonprobe, Mikroskopische Bestimmung relevanter Arten und Ermittlung des Biovolumens
- Aufbereitung und Integration der Daten in das PHYTOLOSS-Auswertetool

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

- Probenahmemethodik und damit verbundene Besonderheiten analog zur Phytoplanktonbeprobung

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Zooplankton stellt bisher keine eigene Qualitätskomponente im Rahmen der WRRL-Bewertung dar, ergänzende Berücksichtigung ermöglicht aber Abschätzung des Einflusses auf Phytoplankton (Grazing-Effekte) und Fischfauna
- Auswertungsmodul ermöglicht Charakterisierung ökologischer Zustände anhand des Zooplanktons

Grenzen der Anwendbarkeit

- bisher nur ergänzende Bewertung des ökologischen Zustandes mit Hilfe des Zooplanktons
- basierend auf Einstufung und Bewertung des Phytoplankton-Verfahrens (PHYTOSEE)

Anwendungsgebiete

- Ökologische Bewertung des Zooplanktoneinflusses und Ermittlung der Leitbildabweichung

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Fachliteratur (Methodik)

- Deneke, R., Maier, G. & Mischke, U. (2015): Das PhytoLoss-Verfahren. Berücksichtigung des Zooplanktons in der Seenbewertung nach EU-WRRL durch die Ermittlung der Grazing-Effektstärke und anderer Indizes. Ausführliche Verfahrensvorschrift. Stand: März 2015, Version 2.0. Im Auftrag der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Expertenkreis Seen, Projekt O8.12. Projektmodul PhytoLoss. Berlin: 130 S.
- Deneke, R., Maier, G. & Mischke, U. (2018): Berechnung der Grazing-Effekt-Stärke des Metazooplanktons. PhytoLoss Access-Auswertetool Version 3.0, Stand 30.11.2018.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.4.5 Makrozoobenthos

Tab. 23: Steckbrief/factsheet „Erfassung des Makrozoobenthos“

Erfassung des Makrozoobenthos

Methodische Grundlagen

LAWA-Verfahren: „WRRL-Bewertung von Seen mittels Makrozoobenthos gemäß AESHNA“ (Böhmer 2017)
Hess, M. & Heckes, U. (2017): Bewertungsverfahren für Makrozoobenthos in Seen zur Umsetzung der WRRL, Fortführung der Untersuchung von 2012, aktuelle Anpassungen für die unterschiedlichen Naturräume in der Bundesrepublik, in Bearbeitung

Erfassung des Makrozoobenthos

Untersuchungsdesign

- standardmäßig Mischprobenahme mit Berücksichtigung grundlegender Umweltfaktoren wie Windexposition, Habitatvielfalt und Habitatausprägung
- Kriterien bei der Probennahme:
 1. quantitativ, da die WRRL die Einbindung quantitativer Metrics wie Gesamtindividuumdichte fordert
 2. flächenstandardisiert, da dies den Vergleich der biozönotischen Ergebnisse zwischen den einzelnen Habitaten ermöglicht
 3. repräsentativ bezüglich des Arteninventars und des strukturellen Zustandes der Uferzone des gesamten Sees
 4. repliziert, um Effekte genesteter Verteilung zu verringern
- Bestimmung eines Seeufertyps für jeden Abschnitt (als Referenzzustand der Merkmalsausprägung), wobei die Ausweisung des Seetyps nach Mathes et al. (2002) für künstliche Gewässer erfolgt
- Unterscheidung von vier Seetypen: S_BWest = Baggerseen ohne Fließgewässeranbindung der Rheinschiene, S_Bfg = Baggerseen mit Anbindung an den Rhein, S_BOst = Baggerseen Ostdeutschland und S_T = Tagebauseen
- Mindestanzahl der zu untersuchenden Probestellen abhängig von der Länge des Seeufers und wird nach einer Formel berechnet
- Nach Festlegung der Anzahl der Probestellen wird Mischprobe des eulitoral Makrozoobenthos genommen, d. h. definierte Teilproben aus mehreren Habitaten werden vor Ort zu einer Mischprobe vereinigt
- Mischprobennahme auf insgesamt 1 m² (beprobte Teilflächen der einzelnen Habitate)
- Lage der Probestellen entsprechend der Anteile der erfassten Uferstrukturtypen
- Länge der Probestellen: mindestens 50 m, höchstens 100 m; repräsentativ für den gesamten Uferabschnitt
- Je nach vorliegendem Habitat (z. B. emerse Makrophyten, Beton/Stahlspundwand, submerse Wurzeln und Totholz) ist angepasste Beprobungsmethode entsprechend Brauns (2016) anzuwenden
- Probenaufbereitung entweder als Laborsortierung (Brauns 2016) oder als Lebenssortierverfahren für das Freiland (Meier et al. 2006)
- Sonderfragestellungen zu ausgewählten Artengruppen (z. B. Wasserkäfer, Libellen und Mollusken): methodische Standards zur Erfassung von unterschiedlichen Tierartengruppen bei Trautner (1991)
- Fotodokumentation jeder Probestelle
- Klassifizierung erfolgt in 5-stufiger Skala (gem. AESHNA)
- Darstellung in Datenbank und Karten
- Zusätzliche Erfassung des Aufwuchses auf den Schwimmkörpern wäre zielführend (Arten, Abschätzung Biomasse und ökologische Funktion)

Benötigte Arbeitsmaterialien

Generell sollte die Probenahme zum Zweck der Zeitersparnis und aus Gründen der Arbeitssicherheit mindestens durch 2 Personen erfolgen. Bei beschränkter Zugänglichkeit der Ufer ist die Beprobung mittels eines Bootes mit Motor zu empfehlen, sofern naturschutzfachliche Vorgaben dies nicht verbieten.

Zur Probenahme benötigte Geräte und Materialien:

- 96 %-iges Ethanol (vergällt, 0,5 L je Probegefäß) in Sicherheitskanistern
- Federstahlpinzetten
- Feldprotokoll Probenahme Eulitoral" (siehe AESHNA Probenahmeverfahren, Brauns et al. 2016)
- Fotoapparat
- Gartenschere
- Handbürsten
- Kastensieb (Maschenweite mind. 10 mm)
- Kescher (Maschenweite 500 µm)
- Maßband, Zollstock, Messschieber
- mehrere große Fotoschalen (Maße: 30 cm x 50 cm)
- mehrere Transportkisten

Erfassung des Makrozoobenthos

- Pfahlkratzer (Maschenweite 500 µm)
- Probegefäße (Fassungsvermögen mind. 1 L)
- Protokolle zur Berechnung der Oberfläche von Steinen und Totholz (siehe AESHNA Probenahmeverordnung, Brauns et al. 2016)
- Schreibutensilien; Taschenrechner; Wathose bzw. Gummistiefel; optional: Surbersampler
- Wathose bzw. Gummistiefel
- Taschenrechner
- EDV-Technik
- Bewertungssoftware WRRL-Bio Modul AESHNA
- GIS (z. B. ArcMap)
- Geodaten (mindestens: Bodenkarte, Tiefenlinien, Luftbilder, Landnutzungsdaten (z. B. ATKIS Basis DLM, Corine Landcover, BNTK), optional: geologische Karte, Abgrenzung Wasserkörper, historische Karten, Trophieeinstufung der Seen, Ergebnisse der Makrophytenkartierung, Kartierung von Uferverbau, topographische Karte)

Zeitbedarf

- sehr variabel nach Größe (Anzahl zu klassifizierender Abschnitte) und Form des Sees
- ca. 12 h bis 15 h pro Probestelle (inkl. Bestimmung im Labor und An- und Abfahrt)
- Variabel nach Anzahl und Art der zu überprüfenden Strukturen

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

Da das Verfahren auf biologischen Erfassungen basiert, sind bei den Erfassungsbedingungen u. a. auf die Einhaltung bestimmter saisonale Zeiträume (vor dem Schlupf merolimnischer Insekten) zu achten.

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- Einmalige Beprobung Anfang Februar bis Ende Mai, vor dem Schlupf merolimnischer Arten
- Optionale Probenahme im Herbst zu empfehlen (Anfang September bis Ende Oktober)

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Fotodokumentation der Probestellen, die den gesamten Aspekt der Probestellen abbilden
- Kartierung der im Bereich der Probestelle vorkommenden Habitate (möglichst vom Boot oder Ufer aus)
- Festhalten der Ergebnisse im Feldprotokoll
- Notieren der besammelten Flächen im Feldprotokoll
- Konservierung der Mischproben und Probenbeschriftung (Seename, Probennahmetyp, Probestelle, Habitattyp, Datum, Bearbeiter, Teilprobe-Nr.)
- Ggf. Lebensortierung der Proben und Festhalten der Ergebnisse im Feldprotokoll

Büro/Labor

- Determination und Zählung der Großgruppen
- Aufbewahrung der Organismen in 70 %-igem Ethanol
- Zusammenfassung der Daten in einer Taxaliste, die die Individuendichte pro m² für jedes Habitat und jede Probestelle enthält
- Übertragung der Feldprotokolle in Excel-Tabellen inkl. geografischer Lage des Sees (Koordinaten) sowie Fotos
- Archivierung der Feldprotokolle
- Aggregation der Probestellenergebnisse oder direkt Eingabe der Excel-Tabelle in Bewertungssoftware WRRL-Bio Modul AESHNA

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

Erfassung des Makrozoobenthos

–

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Biologische Zustandsbewertung: Diese lässt insbesondere in Kombination mit den anderen Qualitätskomponenten Rückschlüsse auf Habitatqualität zu
- Einzelergebnisse aus Mischprobestellen lassen direkte Rückschlüsse zu, ob durch FPV-Anlage negative Beeinflussung vorliegt (Vorher-Nachher-Vergleich oder Vergleich mehrerer Probestellen mit gleicher Habitatcharakteristik)

Grenzen der Anwendbarkeit

–

Anwendungsgebiete

- Bewertung bzw. Überwachung des Zustandes der Seen nach WRRL

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- Böhmer, J. (2017): Methodisches Handbuch zur WRRL-Bewertung von Seen mittels Makrozoobenthos gemäß AESHNA. Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Stehgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) und Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): 78 S.
- Brauns, M., Miler, O., Garcia, X.-F. & Pusch, M. (2012): Vorschrift für die standardisierte Probenahme des biologischen Qualitätselementes „Makrozoobenthos“ im Litoral von Seen. Im Auftrag Senatsentwicklung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin und der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Berlin: 23 S.
- Hess, M. & Heckes, U. (2012): Bewertungsverfahren für Makrozoobenthos in Seen zur Umsetzung der WRRL. Überarbeitung bzw. Ausarbeitung für die deutschen Alpen- und Alpenvorlandseen. Im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt, Referat 84: Ökologie der Seen. Wielenbach. München: 100 S.
- Hess, M. & Heckes, U. (2017): Bewertungsverfahren für Makrozoobenthos in Seen zur Umsetzung der WRRL, Fortführung der Untersuchung von 2014. Im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt, Referat 84: Ökologie der Seen. Wielenbach. München: 100 S.
- Mathes, J., Plambeck, G. & Schaumburg, J. (2002): Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. In: Deneke, R. & Nixdorf, B. (Hrsg.) (2002): Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. BTUC-AR 5/2002: 15-23.
- Meier, C., Haase, P., Rolaufts, P., Schindehütte, K., Schöll, F., Sundermann, A. & Hering, D. (2006): Methodisches Handbuch Fließgewässerbewertung – Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie: 79 S. + Anhänge.
- Schilling, P. (2020): Bundestaxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands (BTL) – Stand Mai 2020. Im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (AO) und des Umweltbundesamtes (UBA). Elektronische Veröffentlichung auf gwaesser-bewertung.de (Letzter Zugriff: 17.05.2023).
- Trautner, J. (Hrsg) (1991): Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen. BVDL-Tagung Bad Wurzach: 254 S.
- Methodendokumentationen auch unter <https://gwaesser-bewertung.de>

Erfassung des Makrozoobenthos

- Fachliteratur (Referenz- und Determination)
- Haase, P., Sundermann, K. & Schindehütte, K. (2010): Informationstext zur Operationellen Taxaliste als Mindestanforderung an die Bestimmung von Makrozoobenthosproben aus Fließgewässern zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland. Forschungsinstitut Senckenberg. Gelnhausen: 23 S.
- Mauch, E., Maetze, A. & Schmedtje, U. (2003): Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands zur Erfassung und Kodierung biologischer Erhebungen im und am Gewässer. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 1/03: 1-388.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.4.6 Libellen

Tab. 24: Steckbrief/factsheet „Erfassung der Libellen“

Erfassung der Libellen

Methodische Grundlagen

Erfassung nach Albrecht et al. (2014)

Untersuchungsdesign

- Qualitative Erfassung der Libellen durch Sichtbeobachtung, Kescherfang und Exuviensuche
- Kleine Stillgewässer (< 0,5 ha) werden komplett erfasst (Uferbereiche)
- Größere Stillgewässer werden in Abschnitte mit mind. 100 m Uferlänge unterteilt
- mindestens 6 Begehungen von Ende April bis Ende September durchzuführen

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Kamera (Fotodokumentation, Nachbestimmung)
- Kescher
- Mobilgerät (Tablet/Handy) oder Papierkarte zur Erfassung der Beobachtungen
- (Beispiel für Digitalkartierung: Android-Tablet mit QField; Projekterstellung auf PC mit QGIS)
- Ggf. Aufbewahrungsgefäß für Exuvien

Zeitbedarf

- sehr variabel nach Größe (Anzahl zu klassifizierender Abschnitte) und Form des Sees
- Zeitbedarf von verschiedenen Faktoren abhängig und kann zwischen 0,25 und 0,5 Stunden je 100 Meter Uferlänge liegen.
- Pro Begehung und Probefläche wird folgender Zeitbedarf angegeben:
 - sehr strukturreiches Gelände (auch Moore): 2 Stunden;
 - Teiche (naturnahe Stillgewässer): 0,75 Stunde;
 - intensiv genutzte Teiche: 0,5 Stunden
- Zeit für An- und Abreise

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Kein Regen, viel Sonne, geringe Bewölkung
- Windstill (< 4 bft)
- Mind. 17 °C Außentemperatur
- Optimale Erfassungszeit am Tag zwischen 11 - 16 Uhr

Erfassung der Libellen

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- 6 Begehungen von Ende April bis Ende September (Beginn der Erfassung witterungsabhängig)

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Abgrenzung von Uferabschnitten und Strukturen, die ggf. für die Fortpflanzung relevant sind (Vegetation, Substrate, Gewässermorphologie etc.)
- Aufzeichnung der nachgewiesenen Arten mit Angabe der Individuenzahl und ggf. Exuvien
- Notieren von beobachtetem Fortpflanzungsverhalten (Kopula, Eiablage, Revierverteidigung oder Jungfernflug)
- Verortung der Funde auf Karte bzw. Tablet
- Fotodokumentation von Imagines und ggf. Exuvien und von den begangenen Uferbereichen

Büro/Labor

- Darstellung von Vorkommensnachweisen
- Abgrenzung nachgewiesener und potenzieller Fortpflanzungsbereiche von nachgewiesenen Arten
- Dokumentation in Form von Text und Karten

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

- der Erfassungszeitraum bei artspezifischen Untersuchungen sollten naturraum-, art- und jahresspezifisch angepasst werden (beispielsweise bei gezielter Suche nach einer FFH-Art)

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Lokalisation von Vorkommensbereichen der Libellen und von Fortpflanzungsbereichen
- Beurteilung der Bodenständigkeit und der Bedeutung des Untersuchungsgewässers für Libellen
- Nachweis von Veränderungen in der Artenzusammensetzung nach Errichtung der FPV-Anlage

Grenzen der Anwendbarkeit

- Nachweis von Imagines gibt noch keinen Hinweis auf potenzielles Fortpflanzungsgewässer
- Dafür Exuvienfunde oder direkte Nachweise (Kopula, Eiablage) erforderlich

Anwendungsgebiete

- flächendeckende Beurteilung des Uferbereichs hinsichtlich des Besiedlungspotenzials

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)
- Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-RL)

Fachliteratur (Methodik)

- Albrecht, K., T. Hör, F. W., Henning, G., Töpfer-Hofmann & Grünfelder, C. (2014): Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen im Zusammenhang mit landschaftsplanerischen Fachbeiträgen und Artenschutzbeitrag. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 02.0332/2011/LRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Schlussbericht 2014: 311 S.
- Landeck, I. (2007): Kartieranleitung Libellen für das naturschutzfachliche Monitoring im Naturparadies Grünhaus und im „Revier 55“. In: Landeck, I., Knoche, D. & Leiberg, C. (2007): Entwicklung und Erprobung eines Monitoringkonzeptes am Beispiel der Bergbaufolgelandschaft „Naturparadies

Erfassung der Libellen

Grünhaus“. Arbeitsbericht 2007. Forschungsinstitut für Bergbaufolge-landschaften e.V. Finsterwalde.

- Schilling, P. (2020): Bundestaxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands (BTL) – Stand Mai 2020. Im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (AO) und des Umweltbundesamtes (UBA). Elektronische Veröffentlichung auf gewaesser-bewertung.de (Letzter Zugriff: 17.05.2023).
- Trautner, J. (Hrsg) (1991): Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen. BVDL-Tagung Bad Wurzach: 254 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.4.7 Fische und Rundmäuler

Tab. 25: Steckbrief/factsheet „Erfassung Fische und Rundmäuler“

Erfassung Fische und Rundmäuler

Methodische Grundlagen

Die methodischen Grundlagen orientieren sich an der bundesweiten, WRRL-relevanten Zustandsbewertung der Qualitätskomponente Fische in Fließgewässern mittels fiBS-Verfahren nach Diekmann et al. (2005) und Dußling (2009) sowie in Seen mittels DeLFI-Verfahren nach Ritterbusch & Brämick (2015)

Untersuchungsdesign

Das Untersuchungsdesign ist auf eine möglichst vollständige Erfassung der Fischgemeinschaft im Gewässer ausgelegt inklusive der Abbildung von Dominanzen, Abundanzen und Altersklassenverteilungen sowie partiell auch Biomassen. Dazu ist eine Erfassung aller Besiedlungshabitate erforderlich, die wiederum die Anwendung unterschiedlicher Methodiken bedingt.

Uferrandbefischung mittels Elektrofischerei

- Abschnittsweise und repräsentative (alle relevanten Habitatstrukturen) Erfassung der Fischfauna mittels Elektrofischerei mit Gleichstrom (nach DIN EN 14011) in Uferbereichen der Gewässer
- Einsatz hinreichend leistungsstarker Elektrofischereigeräte und eines Bootes
- Erfassung und Bewertung gem. fiBS-Verfahren (Diekmann et al. 2005, Dußling 2009)
- Anpassung der Anzahl der Probestellen und entsprechender Streckenlänge unter Berücksichtigung der Gewässergröße (partiell gemäß fiBS-Verfahren, z. B. Streckenlänge bei Bootsbefischung = 100-fache der Gewässerbreite)
- Determination und Vermessung gefangener Tiere
- In Fließgewässern ist Anwendung der Elektrofischerei zur Bewertung nach fiBS hinreichend
- Auswertung mit entsprechender Güteklassenausweisung (fiBS-Verfahren)
- Elektrofischerei grundsätzlich genehmigungspflichtig und methoden- als auch sicherheitsbedingt mind. 2 Personen (DIN EN 14011)

Einsatz benthischer und pelagischer Multimaschen-Kiemennetze

- In Stillgewässern zusätzlich passive Fangmethoden erforderlich
- Vorab Einordnung des Gewässer-/Seentyps (u. a. Riedmüller et al. 2022) inkl. Ermittlung Seegröße und -tiefe
- Ableitung des Bewertungsmoduls (Site- oder Type-Modul) innerhalb DeLFI-Verfahrens (Ritterbusch & Brämick 2015)
- Site-Modul:
 - Seen > 1.000 ha und Maximaltiefen > 50 m
 - Seen der alpinen Regionen
 - Bewertung anhand von Datenrecherchen und Fischwissen

Erfassung Fische und Rundmäuler

- Elektrobefischung und Stellnetzfischerei bei hinreichenden Datengrundlagen nicht erforderlich
- Bei keiner Datengrundlage ist unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit (ggf. Reduzierung des Fangaufwand nach DIN EN 14011) entsprechend Type-Modul vorzugehen (vgl. Bader et al. 2021)
- Type-Modul:
 - Elektrofischerei in Uferbereichen unter Berücksichtigung der Gewässergröße und -tiefe und Untersuchung mittels standardisierten Multimaschen-Kiemennetzen
 - Anzahl (benthische und pelagische Netze) und Lage bzw. Verteilung gemäß DIN EN 14011 für Probennahme und Zeitreihen
 - Nach Vorplanung: Ausbringung der Netze in entsprechende Tiefenbereiche bzw. im Pelagial und Einholung der Netze nach 12 h Stelldauer über Nacht
 - Entleerung der Stellnetze: Stellnetz- und ggf. auf Maschenweiten bezogene Arttermination, Vermessung und Gewichtbestimmung (artbezogen)
 - Die Umsetzung als auch die gründliche Planung im Vorfeld (Netzstandorte, -anzahl etc.) bedarf eines geschulten und erfahrenen Personals
 - Auswertung unter Berücksichtigung bzw. in Anlehnung an das angewandte Modul innerhalb des DeLFI-Verfahrens (nach Ritterbusch & Brämick 2015, Brämick & Ritterbusch 2010)
 - Zuordnung der Fischgemeinschaften unter Berücksichtigung von MEHNER et al. 2004 und der Seentypologie
 - Bewertung lässt die Ausweisung einer Güteklasse zu

Hinweis: Die Durchführung der Stellnetzfischerei vom Boot bedarf den Einsatz von mindestens 2-3 Personen. Zudem ist die Anwendung der Stellnetzfischerei methodenbedingt mit dem Tod von Tieren verbunden, deren Verwertung oder Entsorgung im Vorhinein zu berücksichtigen ist. Zur Vermeidung einer erhöhten Sterblichkeit kleiner Fische ist ggf. ist auch der Einsatz von MOD-Netzen zu überdenken (vgl. BADER et al. 2021).

Gezielte Untersuchungen auf Habitatmeidung und -präferenzen

- Visuelle Untersuchungen, gezielte Befischung bestimmter Strukturen (z. B. an Sonnentagen)
- Dahingehende Interpretation anderer Untersuchungsergebnisse
- Besenderung von Fischen (im Rahmen der Elektro-Fischerei) und „Verfolgung“

Benötigte Arbeitsmaterialien

- leistungsstarke Elektrofischereigeräte
- benthische und pelagische Multimaschen-Kiemennetze
- Größerer Zusatz-/ Fangkescher
- Boot mit Sicherheitsausrüstung (u. a. Schwimmwesten), ggf. mit Antrieb und Winde
- GPS- Gerät (Probestellenverortung/ -länge)
- Messgeräte für abiotische Parameter (u. a. Temperatur, Leitfähigkeit, pH, Sauerstoff)
- Messbrett, ggf. Zollstock (Fischlängen)
- Waage (Genauigkeit 1 g)
- Ausreichende Behälter für die Zwischenhälterung
- Feldprotokolle und Fotoapparat zur Dokumentation
- EDV-Technik (Tablet)
- Bewertungssoftware fiBS und DeLFI
- GIS (z. B. ArcMap)

Zeitbedarf

Elektrofischerei

- Ca. 1 h je 100 m Befischungsstrecke (ohne Rüst-/Wegzeit) zzgl. ca. 1 h Vermessung der Fische und Protokollierung (mind. 2 Personen)
- Gesamtaufwand abhängig von Größe des Gewässers (Anzahl und Länge der Probestelle)

Stellnetzfischerei

- Ca. 4 - 6 h für das Ausbringen und Einholen von je 6 - 8 Kiemennetzen zzgl. ca. 6 - 8 h Netzleerung, Vermessung, Gewichtsbestimmung und Protokollierung entsprechend DIN EN 14757 (mind. 2 Personen)

Erfassung Fische und Rundmäuler

- Gesamtaufwand abhängig von Gewässergröße und -tiefe (Anzahl und Standort der Probestellen)

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- geringe Windstärken (Verdriftung des Bootes vermeiden)
- geringe Wellenhöhe
- geringe Wassertrübung
- geringe Leitfähigkeiten (kein Salz- oder Brackwasser) beim Einsatz der Elektrofischereigeräte

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

Elektrofischerei

- einmalige Frühjahrs- (Mitte Mai bis Anfang Juni) und/oder Herbstbefischung (Ende August bis Mitte Oktober)

Stellnetzfisherei

- einmalige Durchführung unter Berücksichtigung aller Tiefenbereiche
- bevorzugt zwischen dem 15. Juli und 31. August (max. bis 15. September) maßgeblich ist eine Oberflächentemperatur des Gewässers > 15 °C (nach DIN EN 14757)

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Führung von Feldprotokollen (Fischarten, -längen, -gewicht)
- Protokollierung der befischten Habitatstrukturen (prozentuale Verteilung, Häufigkeiten)
- Fotodokumentation

Büro/Labor

- Aufarbeitung der Fischlängen und Ableitung von Altersklassifikationen
- Kartografische Darstellung der Befischungstrecken
- Auflistung der Fischdaten und Berichterstellung

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

–

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Überblick über den Fischbestand bzw. das Artenspektrum inkl. Artdominanzen/-häufigkeiten
- Altersklassenverteilung, Reproduktionen, Diversität inklusive wertgebenden, gefährdeten oder geschützten Arten, Ableitung der Biotop-/Habitatqualität, ggf. Rückschlüsse auf Besatzmaßnahmen
- Auswertung mittel WRRL-Verfahren (fiBS, DeLFI) ermöglicht, durch den direkten Vergleich des Ist-Zustandes mit einem Leitbild, die Ausweisung eines Wertes (Score), der wiederum einer Güteklasse zugeordnet werden kann
- direkter Vergleich unterschiedlicher Monitoringjahre möglich
- Anzeige einer Verschlechterung oder Verbesserung im Hinblick auf Referenzzustand

Grenzen der Anwendbarkeit

- Elektrofischerei: hohe Leitfähigkeiten bzw. Brack- oder Salzwasser bei Elektrofischerei

Anwendungsgebiete

- Bewertung bzw. Überwachung des ichthyofaunistischen Zustandes der Gewässer nach WRRL
- Dokumentation der Entwicklung eines Fischbestandes (Monitoringprogramm)
- Bewertung der Gewässer als Lebensraum für geschützte Taxa (FFH-Monitoring)
- Bewertung möglicher Verschiebungen im Bereich Nahrungsketten und Habitate

Erfassung Fische und Rundmäuler

- Bewertung der möglichen Attraktivität von Habitaten (z. B. Unterständen unter FPV-Anlagen) sowie des möglichen Wegfalls/der Beeinträchtigung von Habitaten

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)
- Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV)

Fachliteratur (Methodik)

- Bader, S., Scholz, B., Vonlanthen, P. & Brinker, A. (2021): SeeWandel Projekt L12. Entwicklung und Anwendung einer Methode zur Erfassung der Fischbestände im Bodensee. Bericht für die IBKF. SeeWandel, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg. Langenargen: 106 S.
- Brämick, U. & Ritterbusch, D. (2010): Praxistest Seebewertung sowie Interkalibrierung Seebewertung für Fische. Projekt Nr. O 2.09. Endbericht, Institut für Binnenfischerei e. V. (IfB). Potsdam-Sacrow: 34 S.
- Diekmann, M., Dußling, U. & Berg, R. (2005): Handbuch zum fischbasierten Bewertungssystem für Fließgewässer (FiBS), Hinweise zur Anwendung. Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg, Langenargen: 71 S.
- Dußling, U. (2009): Handbuch zu fiBS. Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V. 15: 59 S.
- Mehner, T., Diekmann, M., Garcia, X.-F., Brämick, U. & Lemcke, R. (2004): Ökologische Bewertung von Seen anhand der Fischfauna. Berichte des IGB21. Heft 21/2004. Berlin: 201 S.
- Riedmüller, U., Mischke, U., Pottgiesser, T., Böhmer, J., Deneke, R., Ritterbusch, D., Stelzer, D. & Hoehn, E. (2022b): Begleittext zu den Steckbriefen der deutschen Seetypen. Umweltbundesamt (Hrsg.). Freiburg: 92 S.
- Ritterbusch, D. & Brämick, U. (2015). Verfahrensvorschlag zur Bewertung des ökologischen Zustandes von Seen anhand der Fische. Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. 41: 69 S.

Normen

- DIN EN 14011: 2003-07: Wasserbeschaffenheit - Probenahme von Fisch mittels Elektrizität; Deutsche Fassung EN 14011: 2003. Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). Beuth Verlag. Berlin: 18 S.
- DIN EN 14757: 2015-08: Wasserbeschaffenheit – Probennahme von Fischen mittels Multi-Maschen-Kiemennetzen. Deutsche Fassung EN 14757: 2015. Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). Beuth Verlag. Berlin: 34 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.4.8 Amphibien

Tab. 26: Steckbrief/factsheet „Erfassung von Amphibien“

Erfassung von Amphibien

Methodische Grundlagen

Erfassung nach Albrecht et al. (2014) und Schlüpmann & Kupfer (2009)

Untersuchungsdesign

- Sichtbeobachtung, Verhören, Kescher- und Reusenfang von adulten und subadulten Exemplaren, Laichschnüren und/oder Larven an Laichgewässern und deren Umfeld

Erfassung von Amphibien

- Nachtbegehung mit Ableuchten der Gewässerbereiche
- Zusätzlich Überprüfung von Verstecken (insb. Steine, Altholz, Vegetationsstrukturen)
- Ggf. Ausbringen und Kontrolle von künstlichen Verstecken (z. B. Schalbretter 1 m x 0,5 m) zum Nachweis von Kreuzkröte und Wechselkröte
- Einsatz von Wasserfallen (Reusen) zum Nachweis von Molchen

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Kopf- oder Taschenlampe
- Amphibienkescher
- Reusenfallen
- Ggf. Fangbehälter zur vorübergehenden Aufbewahrung der Tiere
- Kamera für Fotodokumentation
- Evtl. Handschuhe gegen aktive Verbreitung des Chytridpilzes
- Ggf. Wathose, Gummistiefel
- Klangattrappen (mp3-Player o. ä.) zur Animierung der Rufäußerungen
- Ggf. Hydrophon zur Erfassung der Knoblauchkröte
- Mobilgerät (Tablet/Handy) oder Papierkarte zur Erfassung der Beobachtungen (Beispiel für Digitalkartierung: Android-Tablet mit QField; Projekterstellung auf PC mit QGIS)

Zeitbedarf

- 2 h je Gewässer und Begehung für Verhören, Sichtbeobachtung und Handfang
- Je 2 h für 50 Schalbretter (Ausbringen und Einsammeln)
- Reusenfallen:
 - Ausbringen: 1 h je 15 Fallen
 - Kontrolle der Fallen und Bestimmen: 2 h pro 15 Fallen (abhängig von Besatz der Fallen)

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Erfassung in warmen Nächten (> 10 °C), nach Regennächten günstig (höhere Rufaktivität)

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- 4 Begehungen innerhalb der Laichzeit von März bis Juli
- eine zusätzliche Nachtbegehung, um gesamtes Arteninventar zu erfassen (Sonnenuntergang bis ca. Mitternacht)
- In Mittelgebirgslage Verschiebung des Zeitfensters um 1 - 2 Monate nach hinten (je nach Witterung und geografischer Lage)

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Dokumentation der Laichgewässer und der Nachweise mittels Feldprotokoll oder (besser) Tablet mit GPS-Verortung
- Anzahl der Rufe, Laichballen, -schnüre, Aufnahme der Habitatparameter
- Verortung der künstlichen Verstecke (kV) mittels GPS
- Erfassung von Nachweisen je kV (Arten, Anzahl)
- Reusenfallen: Art und Individuenzahl pro Gewässer

Büro/Labor

- Erstellung von Karten mit Nachweisen und Abgrenzung von Fortpflanzungshabitaten
- Erstellung Artenlisten
- Festhalten der Ergebnisse inkl. Fotos in Berichtsform
- Abschätzung der Bestandsgrößen
- Für Anhang-II-Arten in FFH-Gebieten: Bestimmung des Erhaltungszustandes gem. BfN (2017)

Erfassung von Amphibien

- Ableitung potenzieller Wanderbeziehungen und voraussichtlicher Landlebensräume im Umfeld der Laichgewässer

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

- Art- und geschlechtsspezifische Unterschiede sind zu beachten (Verhalten der einzelnen Arten divergiert stark), von daher sind Rückschlüsse auf ein geringeres Vorkommen von Arten nicht immer korrekt

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- s. notwendiger Dokumentationsumfang „Büro/Labor“
- Variation im Nutzungsverhalten verschiedener Gewässerbereiche (Ausweisung von Hotspots und weniger intensiv genutzter Bereiche)
- Beurteilung der Ergebnisse anhand potenzieller Veränderungen im Reproduktionsverhalten (Veränderung des Verhaltens im Bereich der FPV-Anlagen)

Grenzen der Anwendbarkeit

- Bei größeren/unübersichtlichen Gewässern sichere Ermittlung der Individuenzahl im Rahmen der Sichtbeobachtung nur eingeschränkt möglich
- Unzureichende Daten/Nachweise
- Bestandschätzungen ggf. unzureichend und unterbewertet
- Direkter Nachweis von Wanderwegen nicht möglich

Anwendungsgebiete

- Nutzung der Gewässer bzw. der Randstrukturen durch Amphibienarten
- Bevorzugte Nutzung bestimmter Gewässerbereiche
- Einfluss der FPV-Anlage auf Nutzung der Gewässerbereiche durch die Amphibien

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Fachliteratur (Methodik)

- Albrecht, K., T. Hör, F. W., Henning, G., Töpfer-Hofmann & Grünfelder, C. (2014): Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen im Zusammenhang mit landschaftsplanerischen Fachbeiträgen und Artenschutzbeitrag. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 02.0332/2011/LRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Schlussbericht 2014: 311 S.
- BfN & BLAK (2017b): Bewertungsschemata für die Bewertung des Erhaltungszustandes der Arten und Lebensraumtypen als Grundlage für ein bundesweites FFH-Monitoring. Teil I: Arten nach Anhang II und IV der FFH-Richtlinie (mit Ausnahme der marinen Säugetiere). BFN-Skripten 480. Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Bund-Länder-Arbeitskreis (BLAK) FFH-Monitoring und Berichtspflicht (Hrsg.). Bonn, Bad Godesberg: 375 S.
- Schlüpmann, M. & Kupfer, A. (2009): Methoden der Amphibienerfassung – eine Übersicht. In: Hachtel, M., Schlüpmann, M., Thiesmeier, B. & Weddelling, K. (Hrsg.): Methoden der Feldherpetologie. Supplement der Zeitschrift für Feldherpetologie 15. Bielefeld: 7-84.

Ggf. sonstiges Relevantes

- Nach den Feldarbeiten in aquatischen Lebensräumen sollen zur Verhinderung von Sporangien (Batrachochytrium) alle Utensilien vollständig durchtrocknen
- Zur Verhinderung der Ausbreitung austrocknungsresistenter Ranavirus-Virionen wird empfohlen die Ausrüstungsgegenstände mit 70 %-igem Ethanol zu reinigen

3.4.9 Aquatische Makrophyten und Phytobenthos

Tab. 27: Steckbrief/factsheet „Erfassung der Makrophyten“

Erfassung Makrophyten und Phytobenthos
Methodische Grundlagen
Schaumburg et al. (2021): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten & Phytobenthos, PHYLIB - Verfahren
Untersuchungsdesign
Erstuntersuchung des Seewasserkörpers: <ul style="list-style-type: none">• Übersichtskartierung des gesamten Litoralbereichs mit Krautanker (Anzahl der Hols abhängig von Gewässergröße), Beprobung innerhalb vorgegebener Tiefenstufen, Abschätzung der Pflanzenmengen nach Kohler (1978), Einmessung der Lage der Hols mittels GPS• Festlegung von Anzahl und Lage repräsentativer Transekte auf Basis der Ergebnisse der Übersichtskartierung in Kombination mit Informationen zu Seeoberfläche, Uferentwicklung, Ufermorphologie und Ufernutzung, Festlegung erfolgt vor Ort, Transekte außerhalb unmittelbarer Einflussbereiche von Zuflüssen, Transekte sollten möglichst alle charakteristischen Bereiche des Sees sowie alle wesentlichen Makrophytenhabitats abbilden Folgeuntersuchung des Seewasserkörpers: <ul style="list-style-type: none">• Beprobung der Transekte (Bandtransekt von 20 – 30 m Breite) vom Ufer aus in Richtung der tiefsten Stelle bis zur Makrophyten-Tiefengrenze (UMG)• Kartierung der Makrophytenvegetation (alle submersen sowie unter der Mittelwasserlinie wurzelnden makrophytischen Wasserpflanzen, Characeen, Wassermoose und Gefäßpflanzen), Erfassung der Wuchsform (aquatisch oder emers) und Häufigkeit jeder Art nach Kohler (1978), zugeordnet zu den vorgegebenen Tiefenstufen• Ausfüllen des Feldprotokolls
Benötigte Arbeitsmaterialien
<ul style="list-style-type: none">• Boot mit angemessener Sicherheitsausrüstung• GPS- Gerät mit geeignetem Kartenmaterial (z. B. Tiefenkarten und topographische Karten 1:25000 bzw. 1:50000)• Für Rechenmethode: Neoprenanzug bzw. Schnorchelausrüstung im Flachwasserbereich, Sichtkasten, beidseitiger mit einem Gewicht (z. B. Tauchblei) beschwerter Rechen (modifiziert nach Deppe & Lathrop 1993) und einer Wurfharke (Zinkenabstand ca. 1 cm); Ein am Rechenstiel befestigtes Seil mit Markierungen in Meterabständen erlaubt die Beprobung von definierten Tiefenbereichen.• Ergebnisse früherer Makrophytenkartierungen (falls vorhanden)• Kartierprotokolle und Bleistifte sowie Kurzanleitung• für Unterwasseraufnahmen geeigneter Fotoapparat; Unterwasserkamera• Kühlbox mit Gefrierakkus• Tüten, Etiketten, Klammern, Papier für Moos-Herbarbelege• Herbarpresse und Zubehör• Lupe (mind. 10-fache Vergrößerung, optimal ist 20-fache)
Zeitbedarf
<ul style="list-style-type: none">• Zeitbedarf für Bearbeitung Makrophytentranspekt abhängig von Ausdehnung und Besiedlungstiefe, ca. 1,5 h/Makrophytentranspekt (2 Personen)
Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen
<ul style="list-style-type: none">• Bevorzugt sonniges, windstilles Wetter

Erfassung Makrophyten und Phytobenthos

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- einmalig im Sommer (gewöhnlich Anfang Juli bis Ende August), ggf. weitere Untersuchungen in den Frühjahrsmonaten zur besseren wissenschaftlichen Absicherung der Ergebnisse

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Ausfüllen des Feldprotokolls, 1 Feldprotokoll pro Transekt
- Fotodokumentation

Büro/Labor

- Nachbestimmung kritischer Taxa im Labor
- Eingabe der Makrophytendaten in Datenbank
- Berechnung der Indizes mittels des Phylib-Tools
- Dokumentation in Form von Text (Bericht) und Karten

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

–

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Bewertung des ökologischen Zustandes/Potenzials der Teilkomponente Makrophyten bei Seen und Standgewässern, fachgutachterliche Ableitung von Defiziten und Schaffung von Datengrundlagen für Monitoringuntersuchungen

Grenzen der Anwendbarkeit

- Verfahren basiert auf Bewertung des ökologischen Zustandes/Potenzials definierter Seentypen, bei Sondertypen oder sehr kleinen Gewässern kann Bewertung nur näherungsweise erfolgen

Anwendungsgebiete

- Zustandserfassung nach WRRL und Monitoring von Standgewässern, bei Seen > 50 ha erfolgt Bewertung im Rahmen des regulären Monitorings, Bewertung kleinerer Gewässer mit o. g. Einschränkungen möglich

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Betrachtung im Rahmen der QK Makrophyten/Phytobenthos nach WRRL/OGewV

Fachliteratur (Methodik)

- Schaumburg, J., Stelzer, D., Schranz, C., Vogel, A. & van de Weyer, K. (2021): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos – Phylib. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA. Projekt-Nr. O 2.20: 159 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.4.10 Diatomeen

Tab. 28: Steckbrief/factsheet „Erfassung des Phytobenthos (benthische Diatomeen)“

Erfassung des Phytobenthos (benthische Diatomeen)
Methodische Grundlagen
Schaumburg et al. (2021): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten & Phytobenthos, PHYLIB - Verfahren
Untersuchungsdesign
Erstuntersuchung des Seewasserkörpers: <ul style="list-style-type: none">• Festlegung von 2 bis 4 Untersuchungspunkten je Wasserkörper im Gelände, Konkretisierung und Einmessung der Probestellen (Wassertiefen von 1 – 2 m), danach einmalige Probenahme und Bestimmung des relevanten Diatomeentyps Folgeuntersuchung des Seewasserkörpers: <ul style="list-style-type: none">• Wiederholungsuntersuchung durch einmalige Probenahme des Seelitorals (Entnahme des Mikrofilms auf der Sedimentoberfläche mit Sedimentstechrohr, bei Vorkommen größerer Steine Abkratzen des Diatomeenüberzugs), Protokollierung und Fotodokumentation• Ausfüllen des Feldprotokolls
Benötigte Arbeitsmaterialien
<ul style="list-style-type: none">• Boot mit angemessener Sicherheitsausrüstung• GPS-Gerät mit geeignetem Kartenmaterial (z. B. Tiefenkarten und topographische Karten 1:25000 bzw. 1:50000)• Neoprenanzug zur Beprobung im Flachwasserbereich, ggf. UVITEC-Corer, Sedimentschaber etc.• Kartierprotokolle und Bleistifte• für Unterwasseraufnahmen geeigneter Fotoapparat; Unterwasserkamera• Probegläschen und Transportbox, Ethanol zur Konservierung• Tüten, Etiketten
Zeitbedarf
<ul style="list-style-type: none">• Probennahme mit ca. 0,3 – 0,5 h/ Probestelle, zuzüglich Anfahrt per Boot oder Beprobung von Landseite
Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen
<ul style="list-style-type: none">• bevorzugt sonniges, windstilles Wetter
Erfassungszeitraum und -häufigkeit
<ul style="list-style-type: none">• einmalig im Sommer (gewöhnlich Anfang Juli bis Ende August)
Notwendiger Dokumentationsumfang
Gelände <ul style="list-style-type: none">• ein Feldprotokoll pro Transekt, Fotodokumentation Probestelle
Büro/Labor <ul style="list-style-type: none">• Oxidative Aufbereitung der Proben (Salzsäure, Schwefelsäure, Kaliumnitrat oder Wasserstoffperoxid [Abzug erforderlich]) zur Herstellung von Diatomeensuspensionen• Herstellung von Dauerpräparaten aus Diatomeensuspensionen (Einbettung in Naphrax)• Zählung und Eingabe der Makrophytendaten in Datenbank• Berechnung der Indizes mittels des Phylib-Tools

Erfassung des Phytobenthos (benthische Diatomeen)

- Dokumentation in Form von Text (Bericht) und Karten

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

–

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Typbezogene Bewertung ermöglicht eine Klassifizierung der messstellen- und wasserkörperbezogenen Ergebnisse nach Zustandsklassen gemäß WRRL
- Auswertung anhand weiterer Teilmodule bzw. Indizes (Trophie-, Saprobien-, Halobienindex bzw. Anteil Referenzarten) ist zusätzlich möglich, um den aktuellen Zustand bzw. Veränderungen von Einzelparametern zu charakterisieren

Grenzen der Anwendbarkeit

- Summenindikation mittels benthischer Diatomeen; diese basiert auf typabhängiger Klassifizierung der Module; Arteninventar aber z. T. nicht vollständig berücksichtigt; Taxonomie aktuell naturgemäß permanent im Fluss; bei nicht definierten Seentypen nur näherungsweise Bewertung möglich

Anwendungsgebiete

- Ökologische Bewertung des Seenlitorals und Ermittlung der Leitbildabweichung, Bewertung des trophischen Zustandes und möglicher Störeinflüsse (Versalzung)

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Rechtliche Grundlagen

- Betrachtung im Rahmen der QK Makrophyten/Phytobenthos nach WRRL/OGewV

Fachliteratur (Methodik)

- Schaumburg, J., Stelzer, D., Schranz, C., Vogel, A. & van de Weyer, K. (2021): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos – Phylib. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA. Projekt-Nr. O 2.20: 159 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

- Bewertung WRRL-relevanter Seen (> 50 ha) erfolgt im Rahmen des WRRL-Monitorings der Länder, Seen kleiner 50 ha bisher nicht berücksichtigt

3.4.11 Säuger

Tab. 29: Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässerabhängiger Säugetiere: Biber und Fischotter“

Erfassung gewässerabhängiger Säugetiere: Biber und Fischotter

Methodische Grundlagen

Kartierung entlang der Gewässerufer gemäß Schwab & Schmidbauer (2009) und Müller-Kroehling et al. (2006)

Untersuchungsdesign

Biber

- Zweimalige Spurensuche entlang der Gewässerufer

Erfassung gewässerabhängiger Säugetiere: Biber und Fischotter

- Erfassung und standortgenaue Verortung insbesondere von:
 - Erdbauten bzw. Burgen
 - Dämmen
 - (eingebrochenen) Erdröhren
 - Fraßspuren an Gehölzen
 - Nahrungsflößen
 - Ausstiegen
 - Biberrutschen
 - Wechseln
 - Markierungshügeln
 - Sichtungen von Individuen

Fischotter

- Viermalige Kontrolle der Gewässerufer, insbesondere aber exponierter Plätze (größere Steine, Baumstämme) im Untersuchungsbereich
- Erfassung und standortgenaue Verortung insbesondere von:
 - Losung
 - Trittsiegeln
 - Markierungshügeln
 - Fraßresten

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Fernglas
- Mobilgerät (Tablet/Handy) oder Papierkarte zur Erfassung der Beobachtungen (Beispiel für Digitalkartierung: Android-Tablet mit QField; Projekterstellung auf PC mit QGIS)
- Kamera
- bei unzugänglichem Uferbereich:
 - Kayak/Kanu/Boot ohne Motor
 - Einsatz einer Drohne (bei Biberkartierung)

Zeitbedarf

Biber

- ca. 1 Stunde je Kilometer Uferlinie

Fischotter

- ca. 30 Minuten je Kilometer Uferlinie

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- keine Kartierung bei zu hohem Schnee, da sonst Spuren übersehen werden könnten

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

Biber

- zweimalige Erfassung innerhalb der Wintermonate November bis März

Fischotter

- viermalige Erfassung während des gesamten Jahres möglich, die Wintermonate sind jedoch zu bevorzugen

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Erfassung wichtiger Habitatstrukturen
- Vermerk bei differenzierter Nutzung von Gewässerbereichen
- standortgenaue Verortung der Spuren in der Karte (digital oder analog)

Erfassung gewässerabhängiger Säugetiere: Biber und Fischotter

- Fotodokumentation

Büro/Labor

- Datensicherung und -aufbereitung
- Dokumentation in Form von Text (Bericht) und Karten
- Kartendarstellung zu den wesentlichen Habitatstrukturen und Nachweisen (Trittsiegel, Losungen etc.)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

Biber

Im Falle eines milden Winters nagen die Tiere kaum an den Gehölzen, da noch ausreichend Nahrung im Gewässer zu finden ist. Infolgedessen ist insbesondere auf Fraßplätze entlang der Ufer zu achten.

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Biber

- anhand von Anzahl, Art und Aktualität der Nachweise erfolgt eine Einschätzung zur Besatzstärke im Revier (Einzeltier, Familie mit/ohne Jungtiere)
- Bewertung des Habitats/Revieres hinsichtlich der (langfristigen) Biotopausstattung
- Darstellung der Kartierergebnisse in Karten
- Beurteilung der Veränderung der Besatzstärke nach Errichtung FPV

Fischotter

- Bewertung des Habitats hinsichtlich der Biotopausstattung
- Bestätigung von Wanderkorridoren, Aktionsräumen im Untersuchungsgebiet
- Darstellung der Kartierergebnisse in Karten
- Beurteilung der Veränderung der Besatzstärke nach Errichtung FPV

Grenzen der Anwendbarkeit

Fischotter

- Aufgrund der großen Raumannsprüche der Art sind Revierabgrenzungen nicht möglich

Anwendungsgebiete

- Bestätigung von Wanderrouten für Fischotter
- Revierabgrenzung Biber

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Fachliteratur (Methodik)

- Müller-Kroehling, S., Franz, C., Binner, V., Müller, J., Pechacek, P. & Zahner, V. (2006): Artenhandbuch der für den Wald relevanten Tier- und Pflanzenarten des Anhangs II der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und des Anhangs I der Vogelschutz-Richtlinie in Bayern. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 4.aktualisierte Fassung: 190 S.
- Reuther, C. (2001): Fischotterschutz in Schleswig-Holstein. Ministerium für Umwelt Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.). Iserlohn/Kalthof: 28 S.
- Schwab, G. & Schmidbauer, M. (2009): Kartieren von Bibervorkommen und Bestandserfassung. Eigenverlag: 23 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.4.12 Vögel

Tab. 30: Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Brutvögel)“

Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Brutvögel)
Methodische Grundlagen
Revierkartierung nach Südbeck et al. (2005)
Untersuchungsdesign
<ul style="list-style-type: none">• Aufnahme von Brutvögeln im Uferbereich und auf der Wasserfläche mittels Sichtbeobachtung und Verhören• Kartierroute entspricht Rundweg am Ufer des Gewässers• 6 Tagesbegehungen, 3 Nachtbegehungen (fußläufig oder wenn nötig mit Boot)• Zugangsstellen (Stege, Bootsrampen, Angelplätze) als Beobachtungspunkt nutzen• falls möglich erhöhte Aussichtspunkte mit Spektiv für den umfassenden Blick auf das Gewässer nutzen• Nachtkartierung mittels Klangattrappe (z. B. Rohrdommel)• bei vorhandenen FPV-Anlagen: PV-Strukturen auf Nutzung als Sitzwarte/Brutplatz untersuchen und ggf. Kollisionsmonitoring mittels Wildkameras
Benötigte Arbeitsmaterialien
<ul style="list-style-type: none">• Fernglas• bei größeren Gewässern: Spektiv• Mobilgerät (Tablet/Handy) oder Papierkarte zur Erfassung der Beobachtungen• (Beispiel für Digitalkartierung: Android-Tablet mit QField; Projekterstellung auf PC mit QGIS)• Kamera (Fotodokumentation, Nachbestimmung)• Bluetooth-Lautsprecher (Klangattrappe)• bei unzugänglichem Uferbereich: Kayak/Kanu/Boot ohne Motor
Zeitbedarf
<ul style="list-style-type: none">• je nach Länge Gewässerrundweg max. 5 km/Termin• je nach Größe des Gewässers ca. 1 bis 6 h/Termin (inkl. Beobachtungszeit von Aussichtspunkten)
Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen
<ul style="list-style-type: none">• Windstärke max. 3 Bft• kein oder nur wenig Niederschlag• gute Sicht, kein Nebel• eisfreie Wasserfläche
Erfassungszeitraum und -häufigkeit
<ul style="list-style-type: none">• zugeschnittene Verteilung der Kartierungstermine für Binnengewässer und Feuchtgebiete:<ul style="list-style-type: none">– Mitte April: 1. Tag- und 1. Nachtbegehung– Ende April: 2. Tagbegehung– Anfang Mai: 3. Tag- und 2. Nachtbegehung– Ende Mai: 4. Tagbegehung– Mitte Juni: 5. Tag- und 3. Nachtbegehung– Anfang Juli: 6. Tagbegehung• Zeitfenster Tagbegehung: ab Sonnenaufgang + 5 h• Zeitfenster Nachtbegehung: ab Sonnenuntergang + 3 h

Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Brutvögel)

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Aufnahme von Vogelarten im Uferbereich und auf der Wasserfläche mittels Sichtbeobachtung und Verhören
- Kernartenspektrum: Rallen, Schwäne, Enten, Taucher
- Aufnahme potenzieller Besiedler der FPV-Anlagen (z. B. Bachstelze)
- Punktgenaue Verortung in Karte (digital oder analog)
- Dokumentation der Witterung und Uhrzeit der Kartierung
- wenn möglich Fotodokumentation

Büro/Labor

- Datensicherung und -aufbereitung
- Dokumentation in Form von Text (Bericht) und Karten (u. a. Darstellung von Reviermittelpunkten, Artenlisten)
- Ggf. Hinzuziehen von Daten vom DDA (www.ornitho.de – Röhrichtbrüter und Binnengewässerarten)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

- Je nach jahreszeitlicher Entwicklung der Witterung (z. B. Kälteeinbruch im April mit Zufrieren des Sees) kann eine Verschiebung des Kartierbeginns (M4) notwendig sein.

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Bildung von Reviermittelpunkten nach Südbeck et al. (2005) anhand der Beobachtungsdaten
- Erstellung von Kartenmaterial
- Absoluter Brutbestand der ansässigen Vogelarten
- bei vorhandenen FPV-Anlagen: Betrachtung der Strukturen als Bruthabitat (z. B. Bachstelze)
- Erfassung der Veränderung im Brutbestand und der Artenzusammensetzung nach Errichtung der FPV-Anlage

Grenzen der Anwendbarkeit

- unzugängliche Seen ohne jeglichen anthropogenen Zugang

Anwendungsgebiete

- Erfassung des Brutbestandes und der Artenzusammensetzung der wassergebundenen Vögel des Stillgewässers

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Fachliteratur (Methodik)

- Südbeck, P., Andretzke, H., Fischer, S., Gedeon, K., Schikore, T., Schröder, K. & Sudfeldt, C. (2005): Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands. Im Auftrag der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten und des Dachverbandes Deutscher Avifaunisten. Radolfzell: 792 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

Tab. 31: Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Nahrungsgäste)“

Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Nahrungsgäste)
Methodische Grundlagen
Steckbriefe relevanter Arten in Südbeck et al. (2005)
Untersuchungsdesign
<ul style="list-style-type: none">• Aufnahme von Nahrungsgästen mit direktem Bezug zu Stillgewässern (z. B. Fischadler, Schwarzmilan, Seeadler) auf der freien Wasserfläche mittels Sichtbeobachtung• ein Anzitzpunkt mit freiem Blick auf den Großteil der Wasserfläche oder bei größeren Gewässern mehrere Anzitzpunkte• 1 Beobachtungspunkt/25 ha Gewässerfläche• zwei Zeitfenster: morgens/abends• Zugangsstellen (Stege, Bootsrampen, Angelplätze) als Beobachtungspunkt nutzen• falls nötig weiter entfernte erhöhte Aussichtspunkte mit Spektiv für den umfassenden Blick auf das Gewässer nutzen• bei vorhandenen FPV-Anlagen: PV-Strukturen auf Nutzung als Sitzwarte untersuchen; Kollisionsmonitoring mittels Wildkamera vor allem in den Abendstunden
Benötigte Arbeitsmaterialien
<ul style="list-style-type: none">• Fernglas• bei größeren Gewässern: Spektiv• Mobilgerät (Tablet/Handy) oder Papierkarte zur Erfassung der Beobachtungen• (Beispiel für Digitalkartierung: Android-Tablet mit QField; Projekterstellung auf PC mit QGIS)• Kamera (Fotodokumentation, Nachbestimmung)• Wildkamera (bei vorhandenen FPV-Anlagen)
Zeitbedarf
<ul style="list-style-type: none">• 3 h Anzitz/Beobachtungspunkt und Termin
Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen
<ul style="list-style-type: none">• Windstärke max. 3 Bft• kein oder nur wenig Niederschlag• gute Sicht, kein Nebel• eisfreie Wasserfläche
Erfassungszeitraum und -häufigkeit
<ul style="list-style-type: none">• Verteilung der Beobachtungstermine zur Zeit der Jungenaufzucht der Kernarten:<ul style="list-style-type: none">– 1. Termin: Mitte Mai– 2. Termin: Ende Mai– 3. Termin: Anfang Juni– 4. Termin: Mitte Juni– 5. Termin: Ende Juni– 6. Termin: Anfang Juli• Zeitfenster morgens: 8 – 12 Uhr• Zeitfenster abends: 16 Uhr bis Sonnenuntergang
Notwendiger Dokumentationsumfang
Gelände
<ul style="list-style-type: none">• Aufnahme von Nahrungsgästen mit direktem oder indirektem Bezug zu Stillgewässern

Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Nahrungsgäste)

- Kernartenspektrum: Fischadler, Seeadler, Schwarzmilan, Kormoran, Graureiher, Rohrweihe, Rotmilan
- Punktgenaue Verortung in Karte (digital oder analog)
- Dokumentation der Witterung und Uhrzeit der Kartierung
- wenn möglich Fotodokumentation
- Recherche bei Anwohnern oder Spaziergängern nach den Kernarten und deren regelmäßiges Auftreten am Gewässer

Büro/Labor

- Datensicherung und -aufbereitung
- Dokumentation in Form von Text (Bericht) und Karten
- Anfrage zum Brutbestand von Greifvögeln im Umkreis von 6 km (Abfrage beim zuständigen Landesamt)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

- mögliche Synergie mit Brutvogelkartierung (Ansitz morgens nach der Revierkartierung)

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Erstellung von Artkarten im Verlauf der Beobachtungstermine
- Grad der Nutzung des Gewässers durch die beobachteten Arten
- Vergleich der angefragten Brutplatz-Daten mit den tatsächlichen Beobachtungen (Wäre bei einer Art eine häufigere Frequentierung des Gewässers zu erwarten gewesen?)
- bei vorhandenen FPV-Anlagen: Betrachtung der Strukturen als Sitzwarte oder Störfaktor (Könnten die bestehenden Anlagen beim Ausbleiben einer laut Brutdaten zu erwartenden Art eine Rolle spielen? Gibt es Vergleichsdaten ohne die FPV-Anlagen oder Erfahrungsberichte der Anwohner / Naturschutzverbände?)

Grenzen der Anwendbarkeit

- unzugängliche Seen ohne jeglichen anthropogenen Zugang

Anwendungsgebiete

- Erfassung des Nutzungsgrades des Gewässers als Nahrungshabitat durch externe Nahrungsgäste innerhalb der Brutzeit
- mehrjähriges Monitoring vor und nach dem Bau von FPV-Anlagen als Grundlagenforschung für Auswirkungen der FPV-Anlagen auf nahrungssuchende externe Brutvögel

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Fachliteratur (Methodik)

- Südbeck, P., Andretzke, H., Fischer, S., Gedeon, K., Schikore, T., Schröder, K. & Sudfeldt, C. (2005): Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands. Im Auftrag der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten und des Dachverbandes Deutscher Avifaunisten. Radolfzell: 792 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

Tab. 32: Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Rastvögel)“

Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Rastvögel)

Methodische Grundlagen

Erfassung nach Albrecht et al. (2014)

Untersuchungsdesign

- Aufnahme von Rastvögeln im Uferbereich und auf der Wasserfläche mittels Sichtbeobachtung und Verhören
- 1 Beobachtungspunkt/50 ha (Orientierungswert; je nach Topologie, Bewuchs und Zugänglichkeit auch mehr notwendig)
- 18 Beobachtungstermine
- je morgens oder abends
- Zugangsstellen (Stege, Bootsrampen, Angelplätze) als Beobachtungspunkt nutzen
- falls möglich erhöhte Aussichtspunkte mit Spektiv für den umfassenden Blick auf das Gewässer nutzen
- bei vorhandenen PV-Anlagen: PV-Strukturen auf Nutzung als Sitzwarte untersuchen; Kollisionsmonitoring mittels Wildkamera vor allem in den Abendstunden

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Fernglas
- bei größeren Gewässern: Spektiv
- Mobilgerät (Tablet/Handy) oder Papierkarte zur Erfassung der Beobachtungen
- (Beispiel für Digitalkartierung: Android-Tablet mit QField; Projekterstellung auf PC mit QGIS)
- Kamera (Fotodokumentation, Nachbestimmung)
- bei schlecht zu überblickenden Gewässern: Kayak/Kanu/Boot ohne Motor
- Wildkamera (bei vorhandenen FPV-Anlagen)

Zeitbedarf

- 3 h Ansitz/Termin

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- gute Sicht, kein Nebel
- eisfreie Wasserfläche (Ausweichen der Vögel beim vollständigen Zufrieren des Gewässers; Begehung bei zugefrorenem Gewässer nicht sinnvoll)

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

- zugeschnittene Verteilung der Kartierungstermine:
 - 1. Termin: Ende August
 - 2. Termin: Anfang September
 - 3. Termin: Mitte September
 - 4. Termin: Ende September
 - 5. Termin: Anfang Oktober
 - 6. Termin: Mitte Oktober
 - 7. Termin: Ende Oktober
 - 8. Termin: Anfang November
 - 9. Termin: Mitte November
 - 10. Termin: Anfang Dezember
 - 11. Termin: Ende Januar
 - 12. Termin: Anfang Februar
 - 13. Termin: Mitte Februar

Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Rastvögel)

- 14. Termin: Ende Februar
- 15. Termin: Anfang März
- 16. Termin: Mitte März
- 17. Termin: Ende März
- 18. Termin: Anfang April
- Zeitfenster morgens: 1 h vor Sonnenaufgang + 2 h
- Zeitfenster abends: 2 h vor Sonnenuntergang + variabel (solange es das Licht zulässt)

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Erfassung der Arten und der Größe der Trupps, Verhaltensbeobachtung (Nahrung suchend, schwimmend, Hauptan- und Abflugrichtung)
- Kernartenspektrum: Gänse, Enten, Schwäne, Limikolen
- Aufnahme von auf, unter oder neben den PV-Anlagen rastenden Vögeln
- Punktgenaue Verortung in Karte (digital oder analog)
- Dokumentation der Witterung und Uhrzeit der Kartierung
- wenn möglich Fotodokumentation

Büro/Labor

- Datensicherung und -aufbereitung
- Dokumentation in Form von Text (Bericht) und Karten
- Ggf. Hinzuziehen von Daten vom DDA (www.ornitho.de – Winterwasserzählung)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

- bei Einsatz eines Boots zum besseren Überblick langsam fahrend nahe der Uferzone bleiben, bis die Sicht ausreichend ist (Scheuchwirkung auf einfliegende bzw. noch ruhende Vögel)

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Auswertung pro Beobachtungstag (18 Datensätze) sowie Auswertung der absoluten Raumnutzung (anzahlabhängige Kreisdarstellungen; 1 Datensatz)
- Erstellung von Kartenmaterial (Darstellung mit Hilfe von Richtungspfeilen und anzahlabhängigen Kreissymbolen)
- Ermittlung der 1 %-Schwelle („Flyway-Population“) nach den Populationszahlen in Wetlands International (2012) und Abgleich mit den Ergebnissen
- bei vorhandenen FPV-Anlagen: Wird ein Abstand zu den FPV-Anlagen eingehalten oder diese sogar als Ruheplatz/Sichtschutz genutzt?

Grenzen der Anwendbarkeit

- unzugängliche Seen ohne jeglichen anthropogenen Zugang
- Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Folgejahre oder Verallgemeinerung der Ergebnisse nicht möglich (zu hohe Dynamik der Zug- und Rastbestände); bei Näherung oder Überschreiten der 1 %-Schwelle sind Erfassungen von weiteren zwei Saisons angeraten

Anwendungsgebiete

- Eignung und Nutzung des Gewässers als Schlaf- und Rastplatz für durchziehende Wasservögel aller Arten

Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Rastvögel)

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Fachliteratur (Methodik)

- Albrecht, K., T. Hör, F. W., Henning, G., Töpfer-Hofmann & Grünfelder, C. (2014): Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen im Zusammenhang mit landschaftsplanerischen Fachbeiträgen und Artenschutzbeitrag. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 02.0332/2011/LRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Schlussbericht 2014: 311 S.
- Wetlands International (2012): Excel-Tabelle „Waterbird Population Estimates 5 (2012)“. URL: <http://downloads.wpp.wetlands.org/WPE5.xls> (16.05.2023).

Ggf. sonstiges Relevantes

Änderungen und Ergänzungen bei Gewässern mit bereits vorhandenen PV-Anlagen sind rot markiert.

3.4.13 Fledermäuse

Tab. 33: Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässergebunden jagende Fledermausarten“

Erfassung gewässergebunden jagender Fledermausarten

Methodische Grundlagen

Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen im Zusammenhang mit landschaftsplanerischen Fachbeiträgen und Artenschutzbeitrag (Albrecht et al. 2014)

Untersuchungsdesign

Stationäre Erfassung mit Horchboxen

- Untersuchung an mind. einem Standort je Gewässer bzw. je km Uferlänge
- bei deutlich abgegrenzten oder morphologisch abweichenden Gewässerbereichen: 1 Standort je Gewässerbereich bzw. je km Uferlänge
- eine Erfassungsphase à 3 Tage je Monat von Mai bis August mit Fokussierung auf die Wochenstundenzeit
- Beginn der Erfassung 15 min. vor Sonnenuntergang
- Aufzeichnungsende 15 min. nach Sonnenaufgang
- Verwendung von Echtzeiterfassungsgeräten
- Mikrofonpositionierung am Ufer bzw. bei breiteren Verlandungszonen ggf. vor der Röhrichtkante mit ausreichendem Abstand zur Vegetation; ggf. auch Mikrofone in höherem Abstand zum Ufer

Sichtbeobachtung am Gewässerufer

- Sichtbeobachtung vom Ufer mit Fledermausdetektor und Nachtsicht- bzw. Wärmebildgerät
- Mind. ein Standort je Gewässer; bei größeren Gewässern oder nicht einsehbaren Gewässerbereichen sind zusätzliche Beobachtungspunkte erforderlich (Gewässer sollte komplett eingesehen werden können)
- Dauer der Erfassung: 2 h ab Sonnenuntergang je Beobachtungspunkt

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Ultraschallerfassungsgerät
- Stativ/Stab zur Mikrofonbefestigung
- Nachtsichtgerät/Wärmebildkamera
- Ggf. Wathose, Boot
- Mobilgerät (Tablet/Handy) oder Papierkarte zur Erfassung der Beobachtungen (Beispiel für Digitalkartierung: Android-Tablet mit QField; Projekterstellung auf PC mit QGIS)

Erfassung gewässergebunden jagender Fledermausarten

Zeitbedarf

Stationäre Erfassung mit Horchboxen

- Auf- und Abbau: 30 - 60 min/Horchbox und Aufnahmephase

Sichtbeobachtung am Gewässerufer

- 2 h je Standort/Nacht

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Windstärke < 6,5 m/s
- Temperatur > 10 °C
- Kein Niederschlag unmittelbar vor oder während der Untersuchung (Sichtbeobachtung)
- Prognostiziert stabile Wetterphase während der stationären Erfassung mittels Horchbox

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

Stationäre Erfassung mit Horchboxen

- 1 Erfassungsphase à 3 Tage je Monat von Mai bis August, optimal dauerhafte (zeitlich stetige) Erfassung (mindestens über die Vegetationsperiode)

Sichtbeobachtung am Gewässerufer

- Mindestuntersuchung: 1 Begehung je Monat von Mai bis August

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Sichtbeobachtung
 - Differenzierung in Jagd-/Trinkverhalten, Über-/Transferflüge entlang von Uferstrukturen
 - Erfassung arttypischer Flug- und Verhaltensmuster zur Ergänzung der akustischen Artansprache
 - Vermerk bei differenzierter Nutzung von Gewässerbereichen

Büro/Labor

- Bestimmung der aufgezeichneten Fledermausrufe auch unter Verwendung automatisierter Analysesoftware in Verbindung mit manueller Plausibilitätskontrolle, u. a. entsprechend den Hinweisen in Marckmann & Pfeiffer (2020, 2022)
- Ausweisung des Arten- bzw. Rufgruppenspektrum
- Auswertung und Darstellung der nächtlichen Aktivität
- Normierung der aufgezeichneten Rufsequenzen auf Zeiteinheiten mit Rufaktivität (Runkel et al. 2018)
- Datensicherung und -aufbereitung
- Dokumentation in Form von Text (Bericht) und Karten (u. a. Horchboxstandorte und Artenspektrum je Horchbox, differenzierte Ergebnisdarstellung zur Sichtbeobachtung)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

- um eine hohe Bestimmungssicherheit zu gewährleisten, dürfen ausschließlich Ultraschallereferenzgeräte verwendet werden, die eine Aufzeichnung in Echtzeit ermöglichen
- die stationären Erfassungsstandorte sind so zu wählen bzw. das Mikrofon ist so zu positionieren, dass Reflexionen von umgebener Vegetation oder der Wasseroberfläche vermieden/reduziert werden

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

- Arten- und Rufgruppenspektrum
- Ermittlung der Aktivitätsdichte und der Aktivitätsmuster

Erfassung gewässergebunden jagender Fledermausarten

- Variation im Nutzungsverhalten verschiedener Gewässerbereiche (Ausweisung von Hotspots und weniger intensiv genutzter Bereiche)
- Beurteilung der Ergebnisse anhand potenzieller Veränderungen in Aktivitätsdichte und Aktivitätsmuster (Veränderung des Verhaltens im Bereich der FPV-Anlagen)

Grenzen der Anwendbarkeit

- Einschränkungen in der sicheren Artansprache aufgrund von Frequenzüberschneidungen der Rufe, ggf. nur Ausweisung von Rufgruppen möglich (s. a. Marckmann & Pfeiffer 2020, 2022)
- Bei größeren/unübersichtlichen Gewässern sichere Verhaltensansprache und Ermittlung der Individuenzahl im Rahmen der Sichtbeobachtung nur eingeschränkt möglich (auch abhängig von der Qualität der verwendeten Nachtsicht-/Wärmebildtechnik)
- Leise rufende Arten können insbesondere im Rahmen der stationären Erfassung unterrepräsentiert sein

Anwendungsgebiete

- Nutzung der Gewässer bzw. der Randstrukturen durch Fledermausarten
- Bevorzugte Nutzung bestimmter Gewässerbereiche
- Einfluss der FPV-Anlage auf Nutzung der Gewässerbereiche durch die Fledermausarten

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Fachliteratur (Methodik)

- Albrecht, K., T. Hör, F. W., Henning, G., Töpfer-Hofmann & Grünfelder, C. (2014): Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen im Zusammenhang mit landschaftsplanerischen Fachbeiträgen und Artenschutzbeitrag. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 02.0332/2011/LRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Schlussbericht 2014: 311 S.
- Marckmann, U. & Pfeiffer, B. (2020): Bestimmung von Fledermausrufaufnahmen und Kriterien für die Wertung von akustischen Artnachweisen. Teil 1 - Gattung Nyctalus, Eptesicus, Vespertilio, Pipistrellus (nyctaloide und pipistrelloide Arten), Mopsfledermaus, Langohrfledermäuse und Hufeisennasen Bayerns. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) Augsburg: 87 S.
- Marckmann, U. & Pfeiffer, B. (2022): Bestimmung von Fledermausrufaufnahmen und Kriterien für die Wertung von akustischen Artnachweisen. Teil 2 - Gattung Myotis. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) Augsburg: 46 S.
- Runkel, V., Gerding, G. & Marckmann, U. (2018): Handbuch: Praxis der akustischen Fledermauserfassung. Tredition GmbH. Hamburg: 260 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.5 Ermittlung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild

3.5.1 Erläuterung

Zwei Faktoren bestimmen den Grad der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes. Zum einen die Bedeutung des Landschaftsbildes selbst und zum anderen die Intensität der negativen Auswirkungen einer FPV-Anlage (KNE 2020).

Um die Bedeutung des Landschaftsbildes zu bestimmen, müssen die Nutzung des Gewässers für Erholungszwecke, das Potenzial für Vorbelastungen sowie die Nähe zu anderen Schutzgebieten oder besonderen kulturhistorischen Gebieten klar definiert werden. Dabei ist es wichtig zu erfassen, ob der Erholungszugang für Aktivitäten im Wasser selbst, entlang der Uferlinie

oder auf Wanderwegen rund um das Gewässer vorgesehen ist. Der Grad der Vorbelastung wird darüber hinaus bei der Bestimmung der Intensität der negativen Auswirkungen ermittelt.

Die Intensität hängt von verschiedenen Wirkfaktoren (beispielsweise Flächeninanspruchnahme, Einzäunung, erkennbare Anlageelemente, Spiegelung/Reflexionen, Vergleich zur Horizontlinie) und der Empfindlichkeit ab, die wiederum von Wiederherstellbarkeit, Vorbelastungen und Sichtbarkeit abhängig ist. Dabei sind in der Untersuchung die Wirkfaktoren räumlich und sachlich differenziert zu bewerten, indem der Sichtraum der FPV-Anlage detailliert adressiert wird und die eventuelle technische Überprägung im Landschaftsbild in Abhängigkeit von Landschaftselementen bzw. -einheiten definiert wird (Schmidt et al. 2018a).

Um diese Faktoren zu evaluieren, wird hier ein Untersuchungskonzept für bestehende und neu zu bauende FPV-Anlagen erstellt und beschrieben. Im Folgenden wird der Aufbau der Untersuchungsmethoden nach den Parametern Eigenart, Vielfältigkeit und Erholungseignung und Schönheit und Akzeptanz differenziert. Die Darstellung erfolgt nach einheitlichen Kriterien steckbriefhaft („factsheets“), in gleicher Art und Weise, wie dies bereits in den vorherigen Abschnitten erfolgt ist. Mit Hilfe der folgenden Untersuchungen wird die Art und Weise, wie sich die FPV-Anlage auf die Landschaftsqualität auswirkt (d. h. die Intensität der Wirkung), mit der gegenwärtig bestehenden Qualität der Landschaft verglichen (d. h. die Bedeutung des Landschaftsbildes). Daher muss zunächst der Ausgangszustand der Landschaftsqualität definiert werden, gefolgt von einer strukturierten und umfassenden Untersuchung der Auswirkungen, um die Beeinträchtigung transparent zu erfassen. Die folgenden Untersuchungen betreffen bestehende FPV-Anlagen; im Abschnitt 3.5.4 werden Hinweise für neu zu bauende Anlagen gegeben.

3.5.2 Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung

Um die Intensität der negativen Auswirkungen auf die Eigenart und Vielfalt der Landschaft sowie die Erholungseignung zu erfassen, sollte eine GIS-unterstützte Sichtraumanalyse herangezogen werden, damit optische Störreize möglichst gut erfasst werden können (Tab. 34). Dabei können sowohl die Überprägung der FPV-Anlage der Landschaft als auch mögliche Vorbelastungen im betroffenen Sichtraum qualitativ festgestellt werden. In Bezug auf die Erholungseignung muss eine qualitative Analyse der Beeinträchtigung der Erholungsmöglichkeiten erfolgen. Vor allem Erholungsseen (z. B. mit öffentlichem Zugang), Seen in Naturschutzgebieten oder Seen, die sich in historisch bedeutsamen Kulturlandschaften befinden, sollten von potenziellen FPV-Standorten ausgeschlossen werden. Die Berücksichtigung solcher Landnutzungstypen ist ein wichtiges Kriterium bei der Untersuchung und gilt als Ausschlusskriterium. Im Gegensatz zu diesem Ausschlusskriterium sind bei der Untersuchung von Freiflächenphotovoltaikanlagen verschiedene Gunstmerkmale anzunehmen, wie die direkte Anbindung an Gewerbe- und Industriegebiete, die Möglichkeit der Kombination mit anderen technischen Einrichtungen oder Bauwerken, die für eine geringe Wahrnehmbarkeit sorgen und stark vorbelastete Flächen, die bereits eine stark beeinträchtigte Landschaftsqualität aufweisen (Regionale Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel 2021).

Tab. 34: Steckbrief/factsheet „Landschaftsbild: Erfassung von Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung“

Erfassung Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung

Methodische Grundlagen

Vorortbesichtigung und Sichttraumanalyse mit einer qualitativen Bewertung der Kriterien für den Ausgangszustand sowie für den Zustand nach der Errichtung der FPV-Anlage anhand von Wertstufen nach Schmidt et al. (2018a) und Roth et al. (2021)

Untersuchungsdesign

Vorortbesichtigung und Datenerhebung

- Mindestens 3 Landschaftsfotos pro Nahzone mit insgesamt 4 Nahzonen in unterschiedlichen Entfernungen (max. 1.100 m)
- Koordinaten der Standorte der Landschaftsfotos erfassen
- Bewertung der Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung mit Hilfe von digitalen Geländemodellen und Landnutzungskarten (Sichttraumanalyse)

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Kamera
- EDV-Technik
- Apparat für die Erhebung der Koordinaten (Beispiel für Digitalkartierung: Android-Tablet mit QField; Projekterstellung auf PC mit QGIS)
- Geodaten (mindestens: Digitales Geländemodell, Tiefenlinien, Luftbilder, Landnutzungsdaten (z. B. ATKIS Basis DLM, Corine Landcover, BNTK), optional: Geologische Karte, Abgrenzung Wasserkörper, historische Karten, Kartierung von Uferverbau, Topographische Karte)

Zeitbedarf

- Kampagne für die Vorortbesichtigung und Landschaftsfotos um den See in unterschiedlichen Entfernungen vom See (mehrere Tage)
- Auswertung der Sichträume anhand von Geodaten (2 Monate)

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Bei den Fotoaufnahmen sollte möglichst ein sonniger Tag ausgesucht werden, damit eventuelle Störreize durch Blendwirkungen erfasst werden können.
- Fotoaufnahmen von unterschiedlichen Blickwinkeln ermöglichen die Erfassung der Auswirkung in Abhängigkeit von Faktoren wie Relief, Bebauungen oder Vegetation.
- Falls sich in der Nähe des Standorts Aussichtspunkte oder historisch und kulturell bedeutsame Sehenswürdigkeiten befinden, sind möglicherweise weitere Sichttraumanalysen erforderlich, um festzustellen, ob Auswirkungen in der Nähe dieser Elemente zu erwarten sind.

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

Einmalige Erfassung im Frühling oder Herbst (geringere Winkel der Sonneneinstrahlung)

Notwendiger Dokumentationsumfang

Gelände

- Fotoaufnahmen
- Koordinaten der Standorte bei der Fotoaufnahmen
- Aufnahme der blickstörenden Elemente im Bild (z. B. Bebauungen, Art und Höhe der Vegetation)

Büro/Labor

- Datensicherung und -aufbereitung

Erfassung Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung

- Dokumentation in Form von Text (Bericht) und Karten
- Sichtraumanalyse

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

–

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Die Fotos, die an den Standorten der aktuellen FPV-Anlagen aufgenommen wurden, unterstützen die Durchführung der Sichtraumanalyse. Die Sichtraumanalyse liefert eine Differenzierung der Reichweite der visuellen Wirkungen von FPV-Anlagen sowie der Auswirkungen auf die Eigenart und Vielfalt. Mittels Landnutzungskarten und der Vorortbesichtigung bzw. der Landschaftsfotos können Aussagen über die eventuelle Beeinträchtigung der Erholungseignung qualitativ getroffen werden.

Grenzen der Anwendbarkeit

–

Anwendungsgebiete

- Bestimmung der Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung im Rahmen des Landschaftsbildes

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

Fachliteratur (Methodik)

- Roth, M., Hildebrandt, S., Roser, F., Schwarz-von Raumer, H. G., Borsdorff, M., Peters, W., Weingarten, E., Thylmann, M. & Bruns, E. (2021). Entwicklung eines Bewertungsmodells zum Landschaftsbild beim Stromnetzausbau: BfN-Skripten 597: 352 S.
- Schmidt, C., von Gagern, M., Lachor, M., Haghe, G., Schuster, L., Hoppenstedt, A., Kühne, O., Rossmeyer, A., Weber, F., Bruns, D., Münderlein, D. & Bernstein, F. (2018a): Landschaftsbild & Energiewende, Band 2: Handlungsempfehlungen. Ergebnisse des gleichnamigen Forschungsvorhabens FKZ 3515 82 3400 im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. https://www.natur-und-erneuerbare.de/fileadmin/Daten/Download_Dokumente/02_Abschlussberichte_anderer_Form/Landschaftsbild-Energiewende-Bd-2-Handlungsempfehlungen-2018.pdf, Letzter Zugriff : 29.03.2022.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.5.3 Schönheit und Akzeptanz

Zur Ermittlung des subjektiven Schönheitsempfindens und somit auch zur Akzeptanz von FPV-Anlagen innerhalb der Bevölkerung, wird empfohlen bundesweite Umfragen bei der Bevölkerung durchzuführen. Anhand von Landschaftsfotos der FPV kann hierbei die Bevölkerung ihre Meinungen zur Schönheit (mit unterschiedlichen Begriffen und auf einheitlichen Skalen) und generellen Akzeptanz gegenüber FPV äußern (Roth & Fischer 2020).

Obwohl in anderen Ländern, wie z. B. in den Niederlanden, Studien zur Akzeptanz von FPV durchgeführt wurden (Bax et al. 2022), gibt es bisher offenkundig keine derartigen Studien in der deutschen Bevölkerung. Von daher werden zunächst grundsätzliche Untersuchungen zur allgemeinen Wahrnehmung von FPV-Anlagen benötigt. Tab. 35 beschreibt die methodischen Komponenten der Untersuchung der Parameter Schönheit und Akzeptanz für die Bewertung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild.

Tab. 35: Steckbrief/factsheet „Landschaftsbild: Erfassung von Schönheit und Akzeptanz“

Erfassung Schönheit und Akzeptanz

Methodische Grundlagen

Umfrage-basierte Bewertung der Schönheit und Akzeptanz mit einer qualitativen Bewertung der Kriterien für den Ausgangszustand sowie für den Zustand nach der Errichtung einer FPV-Anlage anhand von Wertstufen nach Roth (2006) und Roth et al. (2022)

Untersuchungsdesign

Datenerhebung

- Online-Umfrage mit einer bundesweiten repräsentativen Stichprobe
- Design des Fragebogens anhand von Landschaftsfotos aus der Untersuchung in 3.5.2
- Statistische Ermittlung der Bewertung von Schönheit und genereller Akzeptanz für FPV

Benötigte Arbeitsmaterialien

- Landschaftsfotos aus der Untersuchung entsprechend Abschnitt 3.5.2
- EDV-Technik
- Panel-Anbieter für eine bundesweite Stichprobe
- Umfrage-Anbieter (z. B. SoSci Survey)
- Auswertungssoftware für die Datenverarbeitung

Zeitbedarf

- Design des Fragebogens (1-2 Monate)
- Durchführung der Umfrage (3 Monate)
- Datenauswertung und -aufbereitung (2 Monate)

Ggf. notwendige Erfassungsbedingungen

- Möglichst große Stichprobe, um bundesweit repräsentativ zu befragen

Erfassungszeitraum und -häufigkeit

Einmalige Durchführung der Umfrage

Notwendiger Dokumentationsumfang

Büro/Labor

- Datensicherung und -aufbereitung
- Statistische Auswertung der Daten
- Dokumentation in Form von Text (Bericht)

Ggf. zu berücksichtigende Besonderheiten

–

Auswertungsmethodik/Erkenntnisgewinn

Durch repräsentative Stichproben lässt sich durch solche Umfragen das relativ subjektive Kriterium „Schönheit“ besser ermitteln. Anhand dieser Erkenntnisse wird eine empirische Datenbasis verschafft, um die Beeinträchtigung der Schönheit des Landschaftsbildes zu erfassen. Darüber hinaus können verschiedene Fragen und Arten von Fragen gestellt werden, um die generelle Akzeptanz für FPV zu bestimmen.

Erfassung Schönheit und Akzeptanz

Grenzen der Anwendbarkeit

Bewertung einer Momentaufnahme (d. h. als Bild)

Anwendungsgebiete

- Bestimmung der Kriterien Schönheit und Akzeptanz im Rahmen einer Landschaftsbildbewertung

Rechtliche Grundlagen, Normen, Fachkonventionen, Fachliteratur (Methodik)

- Roth, M. (2006). Validating the use of Internet survey techniques in visual landscape assessment – An empirical study from Germany. *Landscape and Urban Planning*, 78 (3): 179-192.
- Roth, M., Hildebrandt, S., Roser, F., Schwarz-von Raumer, H. G., Borsdorff, M., Peters, W., Weingarten, E., Thylmann, M. & Bruns, E. (2021). Entwicklung eines Bewertungsmodells zum Landschaftsbild beim Stromnetzausbau: BfN-Skripten 597: 352 S.

Ggf. sonstiges Relevantes

–

3.5.4 Untersuchungshinweise für neu zu bauende FPV-Anlagen

Das oben beschriebene Untersuchungskonzept bezieht sich auf bestehende FPV-Anlagen. Für die Bewertung der Auswirkungen neu zu bauender FPV-Anlagen auf das Landschaftsbild müssen einige kleinere Anpassungen in der Vorgehensweise vorgenommen werden.

Für Auswirkungen auf Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung sind die Landschaftsfotos mit 3D-Visualisierungen der geplanten FPV-Anlagen zu kombinieren. Ein solches Vorgehen wurde bereits in der Literatur zu Bewertungen von Freiflächenphotovoltaikanlagen beschrieben (Schmidt et al. 2018b). Auf diese Weise kann die Bewertung der Dimensionierung der geplanten FPV-Anlagen ähnlich wie bei bestehenden Anlagen weiter ermittelt werden. Die Ergebnisse der Bewertung der Auswirkungen auf die Schönheit können aufgrund der Ähnlichkeit der Dimensionen zu bestehenden Anlagen auch auf zukünftige Anlagen übertragen werden.

3.6 Ermittlung der Auswirkungen durch die technischen Komponenten von Floating-PV-Anlagen

3.6.1 Erläuterung

Auch die Auswirkungen infolge der technischen Komponenten von FPV-Anlagen sollten in den Blick genommen werden, und zwar Wirkungen:

- der Netzanbindung,
- der Verankerung und
- der Schwimmkörper der Anlagen auf Arten und Lebensräume.

Der Eintrag von Stoffen ins Gewässer steht im besonderen Fokus, wobei die gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Vor- und Nachteile unterschiedlicher verwendeter Materialien sowie unterschiedliche Möglichkeiten und Zeiträume der Montage zu betrachten sind (Abschnitt 3.6.2). Außerdem sollte eine Differenzierung unterschiedlicher Modultypen nach der Gefährdung für gewässerbewohnende Arten mitberücksichtigt werden.

Hier sollte auch ein spezifischer Untersuchungsansatz auf die Einschätzung der Gefährdung und Beeinträchtigung von Arten und Lebensräumen im Havariefall (u. a. durch den Eintrag von Stoffen ins Gewässer) ausgerichtet sein; der Aspekt wird ebenfalls im Abschnitt 3.6.2 mit behandelt.

Außerdem sollen speziell die Auswirkungen von Wechselrichteranlagen (auf dem Gewässer/an Land) in den Blick genommen sowie Kriterien zur Ableitung der aus Naturschutzsicht optimalen Standorte der Wechselrichter abgeleitet werden (Abschnitt 3.6.3).

3.6.2 Untersuchungskonzept für potenzielle stoffliche Beeinträchtigungen

Potenzielle stoffliche Beeinträchtigungen sind insbesondere für die Wasserqualität der Seen von hohem Belang. Stoffliche Untersuchungen sollten generell hauptsächlich in Richtung einer potenziellen Gefährdungsanalyse durchgeführt werden. Es empfiehlt sich, hierfür separate Laboruntersuchungen zu beauftragen oder Vergleichsstudien heranzuziehen. In Frage kommen Labore für Materialprüfungen, Materialprüfanstalten oder entsprechende Prüforganisationen.

Viele Stoffe werden in einem See nur sehr schwer mess- bzw. nachweisbar sein. Zudem ist der zeitliche Aspekt (langfristiges Stoffverhalten und entsprechende Freisetzungsmengen) von hohem Belang, den man mit kurzen Monitoringzeiten nicht oder kaum fassen kann, der sich jedoch wiederum unter Laborbedingungen gut simulieren lässt. Umweltsimulationen für einzelne Materialien oder ganze Bauteile können z. B. mechanische Belastungen, Alterung, Korrosion, photochemische Veränderungen oder Wirkungen von Feuern und von Stoffen/Chemikalien umfassen.

Relevante Stoffe müssen im Ergebnis von Laboruntersuchungen ökotoxikologisch und auch ökologisch eingeordnet werden; hier kann auch auf die Ergebnisse der Untersuchungskonzepte nach den Abschnitten 3.3 und 3.4 zurückgegriffen werden. Für Öl-, Treib- und Schmierstoffe ist deren grundsätzlich wassergefährdende und ökotoxikologische Wirkung als bekannt vorauszusetzen. Hier wäre im Rahmen wissenschaftlicher Arbeiten eher die Anforderung zu stellen, dass systematische Vermeidungs- und Verminderungsstrategien aufgezeigt werden, z. B.

- ein Einsatz von Trocken- statt Öltransformatoren in Wechselrichtern,
- ein Einsatz von Akku-/Elektrogeräten statt Maschinen mit Verbrennungsmotoren bei Bau- und Montagearbeiten sowie
- das Vorsehen von Auffangeinrichtungen für Öl-, Treib- und Schmierstoffen bei Havariefällen.

Auf jeden Fall muss auch eine Einschätzung der Gefährdung und Beeinträchtigung von Arten und Lebensräumen im Havariefall vorgenommen werden, explizit auch für den Brandfall, ausgehend von der stofflichen Belastung durch eingesetzte Stoffe und deren thermische Umwandlungsprodukte sowie relevante Löschmittel. Der Havariefall kann technisch bedingt sein oder durch ein äußeres Ereignis hervorgerufen werden, z. B. Sturm (Wind, Wellengang) oder Unwetter mit Hagelschlag.

Die bei FPV-Anlagen überwiegend eingesetzten Stoffe bzw. Materialien, differenziert nach den FPV-Anlagenteilen, sind in Tab. 36 im Überblick zusammengetragen.

3.6.3 Untersuchungskonzept für Standorte/Auswirkungen von Wechselrichtern und weiteren FPV-Anlagenbestandteilen

Neben dem Aspekt zur Bewertung eines insgesamt möglichst umweltverträglichen Standortes für die Wechselrichteranlagen sollten auch entsprechende Wirkungen anderer Teile hier im Blickpunkt stehen. Während sich Aspekte der Lage und Größe bzw. Seeabdeckung der FPV-Module aus den Schlussfolgerungen der Abschnitte 3.3 bis 3.5 ergeben sollten, wären hier Anlagenteile wie insbesondere Gewichte, Verankerungen, Spannungen etc. von Belang.

Ein eigenständiges (wirklich unabhängiges) Untersuchungskonzept macht allerdings nur bedingt Sinn, da grundsätzlich alle erforderlichen Daten vor allem durch das Untersuchungskonzept zur Ermittlung der Auswirkungen auf Arten und Lebensräume erfasst werden könnten (Abschnitt 3.4).

Es erscheint zielführender, die Auswirkungen von Wechselrichteranlagen und weiteren relevanten FPV-Anlagenbestandteilen direkt als Fragestellungen in die Untersuchungen entsprechend der Abschnitte 3.4 und 3.5 zu integrieren. So können z. B. durch die gezielte Wahl von biologischen Untersuchungsstandorten (z. B. Verankerungen) oder Zusatzbetrachtungen (z. B. bodenkundliche Untersuchungen im Hinblick auf Verdichtung, Suche nach mechanischen Schäden etc.) die Fragestellungen sinnvoll mitbehandelt werden, um letztlich profunde, wissenschaftlich begründete Schlüsse zu ziehen.

Generell sollten vor allem folgende Fragestellungen im Sinne potenzieller Auswirkungen untersucht werden:

- Beeinträchtigung/Schädigung der Seeuferstruktur
- Störende Lärmemissionen (auf dem See oder im Seeumfeld)
- Mechanische Schäden (Verdichtungen des Seebodens, mechanische Schäden des Ufers, der Litoral- und Ufervegetation)
- Sicht-/Landschaftsbildbeeinträchtigungen
- Beeinträchtigungen durch elektrische Kabel (Magnetfelder)
- Stofffreisetzung (Abschnitt 3.6.2)

Tab. 36: Bei FPV-Anlagen überwiegend eingesetzte Stoffe/Materialien, differenziert nach Anlagenteilen

Material/Stoff	Schwimmkörper, Unterkonstruktion	Solarmodul	Verankerung	Befestigungsleine/Ankerleine	Einfassung der Solarmodule	Wechselrichter	Stromkabel
Metalle							
Edelstahl (rostfrei/korrosionsbeständig, Gruppe der Austenite bestehend aus Eisen, Chrom, Nickel, Molybdän und Kohlenstoff), V2A, V4A				x	x		
Stahl (im Regelfall noch farbbeschichtet); Legierungszusätze: Kupfer, Phosphor, Silizium, Nickel und Chrom	x					x	
Aluminium (Nichteisenmetall)					x		
Kupfer (kein direkter Kontakt mit der Umgebung, durch Isolation mit PE oder PVC)							x
Weitere Metalle in PV-Elementen, u. a.: Silber oder Kupfer für elektrische Kontakte an den Siliziumplättchen, Indium als Spurenstoff in den Solarzellen (elektrisch leitend und durchsichtig), Blei oder Cadmium in den Solarzellen (Cadmium in Dünnschichtmodulen), Blei kann ggf. durch Zinn ersetzt werden, Selen (in Dünnschichtmodulen)		x					
Kunststoffe							
PE (Polyethylen)-HD (High density), -LD (Low density)	x						x
Polyvinylchlorid (PVC)	x						x
Polystyrol (kein direkter Kontakt mit Wasser durch Ummantelung mit einer PE-Schicht)	x						
3-schäftiger Polyester (als Tau: auch "Festmacherleine")				x			

Material/Stoff	Schwimmkörper, Unterkonstruktion	Solarmodul	Verankerung	Befestigungsleine/Ankerleine	Einfassung der Solarmodule	Wechselrichter	Stromkabel
Solarmodul (bestehend aus mehreren Solarzellen, spröde und zerbrechlich), eingebettet in zusätzliches Material							
Polykristallines Modul (Rohstoff Silizium, geschmolzen, Halbleitermaterial); verschiedene Siliziumkristalle		x					
Monokristallines Modul (geschmolzenes Silizium, einkristalline Stäbe, Zusammenschluss zu Wafern)		x					
Dünnschichtmodul (Trägermaterial, bedampft mit einer dünnen Schicht aus amorphem oder kristallinem Silizium)		x					
Boden/-schicht aus Kunststoff oder Gießharz zur Stabilisierung unter Solarzellen auf der der Sonne abgewandten Seite bzw. Rückseitenfolie (Kunststoffolie aus Polyvinylfluorid), bekannt als Tedlar oder ICOSOLAR		x					
Einbettungsfolie (EVA, Ethylenvinylacetat) bzw. Gießharzschicht als Feuchtigkeitssperre über und unter dem Solarmodul		x					
Glasscheibe (ESG, Einscheibensicherheitsglas), auf der der Sonne zugewandten Seite als Witterungsschutz		x					
Öl- und Schmierstoffe	(x)					x	

3.7 Berücksichtigung von Untersuchungsvarianten

3.7.1 Neu zu bauende Anlage

Als eine Untersuchungsvariante soll eine Untersuchung für eine neu zu bauende FPV-Anlage konzipiert werden. Hier bietet es sich an, die diversen Kriterien/Parameter des Untersuchungskonzeptes nach den Abschnitten 3.3 bis 3.5 im Vorfeld eines Baues, im Sinne des Ist-Zustandes (Referenz) zu erfassen und dann mit den Auswirkungen nach dem Bau bzw. im Betrieb zu vergleichen und auf die Veränderungen zu schließen sowie die dafür maßgebenden Einflussfaktoren zu identifizieren. Das entspräche einem BACI-Design („Before-After-Control-Impact“). Da davon auszugehen ist, dass für den Teil 2 des Forschungsprojektes finanzielle Beschränkungen bestehen werden, wird hier auf den Vorschlag zur Priorisierung entsprechend Kapitel 5 verwiesen.

Auf das eigentliche Untersuchungskonzept und -design hätte das grundsätzlich keinen Einfluss. Schwierig werden kann der Faktor „Zeit“ bei zeitnaher FPV-Anlagenrealisierung. So würden Untersuchungsergebnisse aus z. B. nur einer einjährigen Ist-Zustandserfassung vielen Zufälligkeiten unterliegen, insbesondere witterungsbedingt und insofern nur bedingt als Vergleich dienen können. Im Mindesten ist das wissenschaftlich angemessen bei der Interpretation zu berücksichtigen. Hier kann der Rückgriff auf zeitparallele Daten aus anderen Seenuntersuchungen oder biologischen Untersuchungen (beides möglichst in räumlicher Nähe bzw. im gleichen Landschaftsraum) helfen, die Interpretationsmöglichkeiten durch begründete Analogieschlüsse vorteilhaft zu erweitern.

Ohnehin wäre eine zeitparallele Untersuchung eines benachbarten, nicht FPV-Anlagen-beeinträchtigten (künstlich bzw. erheblich veränderten) Sees im wissenschaftlichen Sinne sehr hilfreich. Das gilt insbesondere bei den folgenden Voraussetzungen:

- Gleicher Natur-/Landschaftsraum, insbesondere in Bezug auf geologische/hydrogeologische Verhältnisse
- Gleiche Genese bzw. aktuelle Nutzung bzw. gleicher nutzungsbedingter Subtyp künstlicher oder erheblich veränderter Seen
- Gleicher Seetyp nach OGewV, soweit relevant
- Möglichst ähnliche Größe und hydromorphologische Struktur (Seevolumen, Seefläche, Tiefen- bzw. bathymetrische Verhältnisse, Uferlinie, Seeuferstruktur)
- Vergleichbare hydrologische Prägung
- Ggf. ist sogar ein vergleichbarer natürlicher See geeignet

Bei der Untersuchungsvariante „Neubau einer FPV-Anlage“ kann aber ggf. eine längerfristige Beobachtung, ggf. auch nur für als prioritär bewertete Faktoren (Kapitel 5), realisiert werden, um so auch mittel- und langfristige Veränderungen infolge von FPV-Anlagenbau und -betrieb bewerten zu können.

Daneben bietet diese Variante die Möglichkeit, die baubedingten Auswirkungen direkt beobachten und beurteilen zu können, was nahezu vollständig übertragbare Rückschlüsse auch für den Rückbau erlauben sollte.

3.7.2 Bestehende Anlage

Als weitere Untersuchungsvariante soll eine bestehende FPV-Anlage betrachtet werden. Das Untersuchungsprogramm nach den Abschnitten 3.3 bis 3.5 kann dementsprechend vollumfänglich umgesetzt werden. Da davon auszugehen ist, dass für den Teil 2 des Forschungsprojektes finanzielle Beschränkungen bestehen werden, wird hier auf den Vorschlag zur Priorisierung entsprechend Kapitel 5 verwiesen.

Die bei dieser Variante grundsätzlich bestehende Schwierigkeit bildet der erforderliche Verbzw. Abgleich mit einem Referenzzustand. Dieser für Rückschlüsse und Bewertungen notwendige Vergleich geht nur mit folgenden Ansätzen:

- Parallele Untersuchungen an einem vergleichbaren Gewässer ohne FPV-Anlage, s. o.
- Heranziehung von bereits vorliegenden Ergebnissen, die an anderen vergleichbaren Seen (ggf. auch nur einzelfaktorenbezogen vergleichbar) gewonnen wurden (unter Einbeziehung von wissenschaftlicher Fachliteratur, von Studien und Gutachten)
- Rückgriff auf empirisches Wissen (Erfahrungswissen, anerkannte wissenschaftliche Lehrmeinungen etc.)

3.8 Aktualisierung der bundesweit vorhandenen oder geplanten Floating-PV-Anlagen

Im Rahmen des Vorhabens wurde mit Hilfe einer Internetrecherche eine Liste mit bundesweit bereits errichteten oder geplanten Floating-PV-Anlagen erstellt (Tab. 37). Ergänzend zeigt Abb. 6 die relevanten FPV-Anlagen in einer deutschlandweiten Kartenansicht.

Tab. 37: Bundesweit vorhandene oder geplante Floating-PV-Anlagen entsprechend Recherche, Stand: September 2023

Nr.	Standort	Bundesland	Inbetriebnahme	Spitzenleistung (kWp oder MWp) bzw. Jahresertrag (kWh oder MWh)	Anmerkungen
1	Ostrach	BW	2022	750 kWh, etwa 2.500 Module	Auf Baggersee der Kies- und Schotterwerke Müller GmbH & Co. KG (ca. 13 ha groß), Ende 2022 gebaut, ca. 5 % Gewässerbedeckung
2	Renchen (Ortsteil Maiwald)	BW	2019	749 kWh, 2.304 Module	Auf Baggersee des Kieswerks Ossola, Maiwaldsee (37 ha, bis zu 70 m tief, Anlage bedeckt ca. 2% des Sees), Ausbau auf 1,2 MWh geplant
3	Iffezheim	BW	In Planung	6 MWh	Auf dem Kühlsee, am und im See tätiges Kieswerk EKS Eugen Kühl und Söhne, Baubeginn frühestens Sommer 2023
4	Niederrimsingen	BW	In Planung	1,1 MWh	Auf Baggersee des Baustoffherstellers und Kieswerkbetreibers Hermann Peter KG
5	Langenbrücken	BW	In Planung, soll 2023 realisiert werden	geplant 15 MWp bzw. ca. 15 MWh	8,7 ha, Abbaufäche Philipp-See beträgt 58 ha; Anlage mit ca. 15 % Gewässerbedeckung)
6	Stürmlinger See/Durmshheim	BW	in Planung bis Frühjahr 2024	12 MWh auf 6 ha, 21.000 Solarpanels	Kiesbaggersee
7	Eppelsee in Rheinstetten	BW	Abstimmungsge-spräche mit Ver-waltungen	Keine Angabe	Heidelberger Sand und Kies, noch keine weiteren Informationen
8	Waghäusel (Stadtteil Wiesental)	BW	Pläne existieren, noch keine Detail-planung, Verweis auf 2023	Keine Angabe	Heidelberger Cement AG plant die Anlage
9	Haltern	NRW	Mai 2022	3 MW, 5.800 Module	Auf Silbersee III, 75 % des Stroms für Quarzwerke

Nr.	Standort	Bundesland	Inbetriebnahme	Spitzenleistung (kWp oder MWp) bzw. Jahresertrag (kWh oder MWh)	Anmerkungen
10	Vorselaer, Nähe Weeze	NRW	2020	750 kWh, etwa 2.500 Module	Hülskens-Gruppe/Rheinland Solar, Neigung von 10 Grad in Ost- und Westrichtung, 1.872 Module, Fläche: 4.800 m ² (40 m x 120 m)
11	Issum	NRW	2023	514 kWh, 960 Module	Kieswerk Hochfeld, 0,3 ha
12	Wesel-Bislich	NRW	2023	4,9 MWh, 10.000 Module	etwas mehr als 3 ha, auf Ellerdonksee, Kiesunternehmen Holemans
13	Hückelhoven	NRW	2023	750 kWp	Kieswerk Laprell Kaphof GmbH & Co KG, 143 Pontons, 10 m tiefer See, 1.716 bifaziale Glas-Glas-Module, 4 Wechselrichter und ein Trafo
14	Asbach-Bäumenheim	BY	2016	89 MWh	32 PV-Inseln, Kiesgrube, 85 % des Stroms durch Kieswerk verbraucht, 15 % eingespeist
15	Sengenthal	BY	2022	1,6 MWh, 3.700 Module	Firmengruppe Max Bögl, Baggersee
16	Dettelbach	BY	2020	739 kWh	im Auftrag der Heidelberger Sand und Kies GmbH, nur 2 % der ca. 30 ha großen Seefläche benötigt, 4.000 Schwimmkörper
17	Kläranlage in Eching am Ammersee	BY	In Planung	1,5 MWh	Nutzung Eigenbedarf Kläranlage, Reststrom-Einspeisung
18	Babenhausen (Darmstadt-Dieburg)	HE	2011	Keine Angabe	Kiesbaggersee Familienunternehmen Andreas Bludau, 24 Solarpanels
19	Riedstadt-Crumstadt (Groß-Gerau)	HE	In Planung bis Aug/Sept. 2023 Baubeginn Sommer 2023	950 MWh, 1.660 Solarmodule, 0,4 ha Belegung	Energie-Versorger Entega mit Tochterunternehmen Energy Portect Solutions (EPS) kündigt an, die Anlage noch 2023 ans Netz zu bringen; 65 % für Strombedarf des Kieswerks, Rest wird eingespeist. Baggersee der Waschkieswerk Crumstadt GmbH & Co. KG
20	Kiebertsee in Trebur (Groß-Gerau)	HE	In Planung	Keine Angabe	3 ha Belegung, Versorgung von etwa 1.180 Haushalten, notwendige Gutachten stehen noch aus
21	Leimersheim	RP	2020/2021	2 x 750 kW, 4.165 Module	Baggersee eines Kieswerks, 1,4 ha FPV-Anlage

Nr.	Standort	Bundesland	Inbetriebnahme	Spitzenleistung (kWp oder MWp) bzw. Jahresertrag (kWh oder MWh)	Anmerkungen
22	Speyer	RP	2023 (geplant)	750 kWp, 2272 Solarpaneele	Auf Kiessee, Fa. W. Rohr, ca. 8.000 m ² Abdeckung
23	Gerstedt	ST	2020	729 kWh	Wasserzweischenspeicher
24	Nobitz	TH	2020/2021	2 x 750 kWh	Kieswerk, Eigenversorgung Kieswerk, mit Pfalzsolar umgesetzt
25	Cottbus	BBG	in Planung	21 MWh	Tagebaurestsee, Fa. LEAG; 18 ha große FPV-Anlage (auf 1.900 ha Seefläche)
26	Saarwellingen	Saarland	2022	5,3 kWp	Schwimmende Anlage (16 Schwimmkörper, 15° Neigung der Module) mit Solarpumpe auf Teich, Überpumpen in eine höher gelegenes Rückhaltebecken (rd. 10.000 m ³) für Obstplantagenbewässerung (10 ha)
27	Asperden (Goch)	NRW	2024	2,9 MWp	Stillgelegter Baggersee, Stadtwerke Goch, 3,7 ha bedeckte Fläche
28	Düsseldorf	NRW	2024	-	Stillgelegter Baggersee, 6 ha Größe mit geplantem Bedeckungsgrad von 0,6 ha

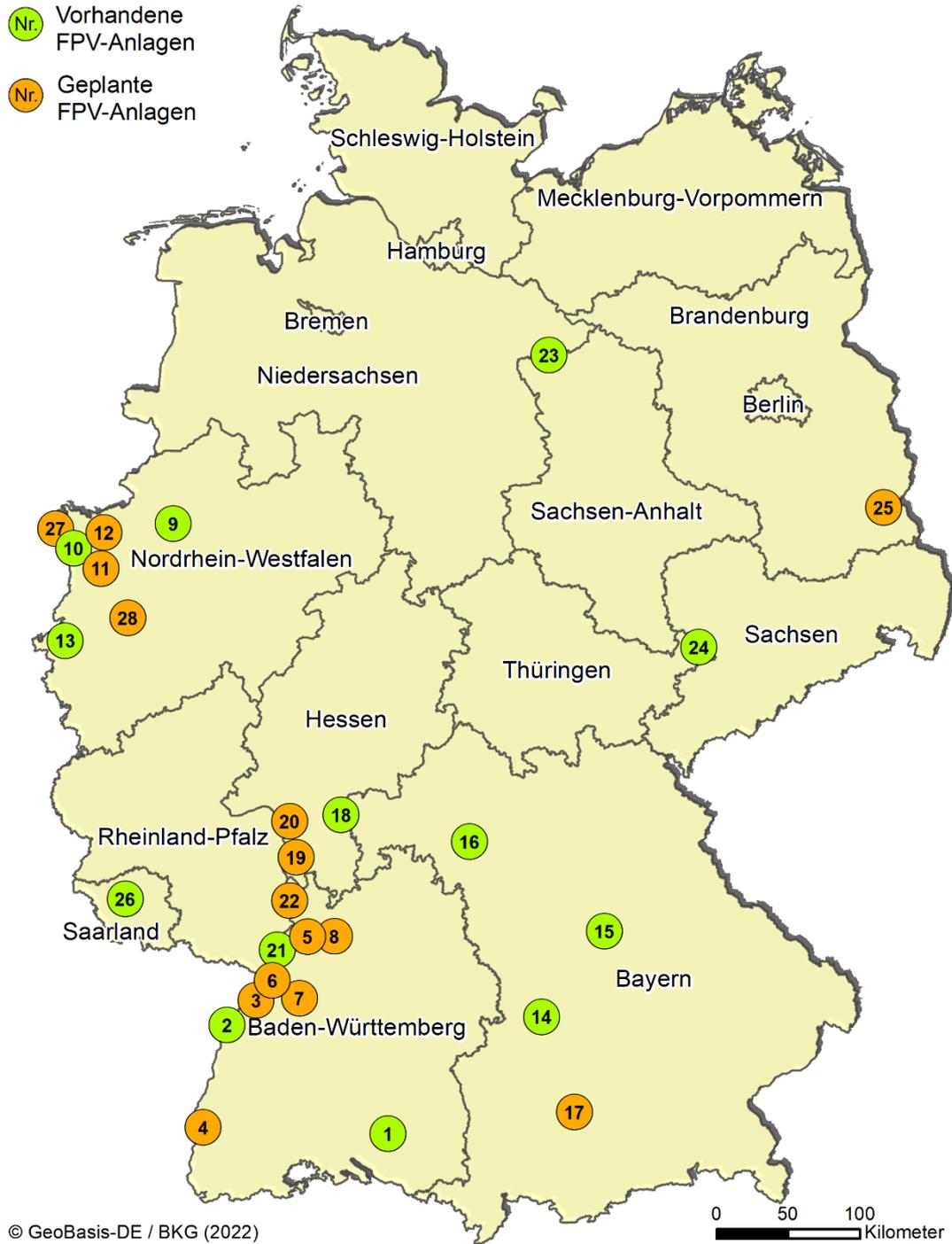


Abb. 6: Kartografische Darstellung der bundesweit vorhandenen oder geplanten Floating-PV-Anlagen entsprechend Tab. 37, Stand: September 2023

4 Vorschlag einer Methodik zur zusammenfassenden Bewertung der gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen

4.1 Zielstellung

Das Forschungsvorhaben soll wesentliche Grundlagen dafür liefern, dass die umweltrelevanten Auswirkungen von FPV-Anlagen wissenschaftlich fundiert bewertet bzw. eingeschätzt werden können. Zudem sollte eine Methodik zur Synthese der Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungsbereiche entwickelt werden. Diese Methodik ist auf die zusammenfassende Bewertung der Wirkungen von Floating-PV-Anlagen auf Arten, Lebensräume und das Landschaftsbild auszurichten, um darauf aufbauend ggf. für die Errichtung von FPV-Anlagen geeignete Gewässer zu identifizieren oder den Ausschluss bestimmter Gewässer fachlich zu begründen; sie steht inhaltlich zunächst nur im Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben und ersetzt nicht naturschutzrechtlich (wasserrechtlich) vorgeschriebene bzw. übliche naturschutzfachliche (gewässerökologische) Methoden im Rahmen von Genehmigungsverfahren.

Bei der Interpretation der Forschungsergebnisse ist zu beachten, dass sie trotz aller Systematisierung gewisse Unsicherheiten in sich tragen, insbesondere bei der Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse (vgl. hierzu auch Abschnitt 3.2). Hierfür steht vor allem die Individualität von Untersuchungsobjekten,

- zum einen diejenige der im Forschungsvorhaben zu untersuchenden Seen sowie
- diejenige der im Rahmen umweltrechtlicher Genehmigungsverfahren zu untersuchenden, zu beurteilenden Seen, aber
- auch die Anfälligkeit der Untersuchungen und ihrer Ergebnisse in Bezug auf die hohe jährliche und unterjährliche meteorologische bzw. hydrologische Variabilität.

4.2 Methodik

Aus dem Vorstehenden erwächst als eine anspruchsvolle, aber für die Praxis unerlässliche Aufgabe, unter Berücksichtigung der Untersuchungsvarianten (Abschnitt 3.7), trotz aller Herausforderungen möglichst typisierte Aussagen abzuleiten. Das Typensystem dient der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Seen.

Entsprechend der im Kapitel 3 differenziert dargestellten Faktoren (abiotisch, biotisch, Landschaftsbild) sollten für (typische) Ursache-Wirkungs-Pfade bzw. -ketten am Ende praxisrelevante Aussagen bzw. Schlussfolgerungen abgeleitet werden. Hierzu müssen die Forschungsergebnisse unbedingt auf Merkmale wie vor allem Eindeutigkeit (Kausalität, Objektivität), Belastbarkeit/Reliabilität (Reproduzierbarkeit, Signifikanz) sowie Plausibilität/Validität hin abgestuft bzw. eingeschätzt werden.

Um die erwartbaren Unsicherheiten wissenschaftlicher Aussagen im Sinne der Praxisrelevanz beherrschbar zu machen, wird empfohlen auf geeignete Methoden der Umweltverträglichkeitsprüfung (im Sinne des UVPG) zurückzugreifen. Einen in dieser Hinsicht bewährten Ansatz stellt die „ökologische Risikoanalyse“ (vgl. auch UVPVwV) dar; sie wird auch als zusammenfassender methodischer Rahmen zur Bewertung der gewässerökologischen und naturschutzfachlichen Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen empfohlen.

Das Grundprinzip der ökologischen Risikoanalyse basiert auf der Kombination der beiden Beurteilungsfaktoren (1) Empfindlichkeit und (2) Beeinträchtigungs- bzw. Belastungsintensität. Durch Kombination beider Faktoren kann das Risiko (der Risikograd) für aus umweltfachlicher Sicht mögliche negative Veränderungen eingeschätzt werden; in einer visuell orientierten Darstellung haben sich matrizenhafte Formen („Risikomatrix“) bewährt.

Eine zentrale Bedeutung hat, wie bereits mehrfach ausgeführt, der Umgang mit Unsicherheiten bei der Analyse und Prognose von möglichen Wirkungen. Insbesondere eine sachgerechte und möglichst fundierte Bestimmung von Eintrittswahrscheinlichkeiten (abhängig von Empfindlichkeit und Belastungsintensität) ist dabei von ausschlaggebender Bedeutung für die Abstufung des ökologischen Risikos. Hierfür liegt ein Vorschlag der EFSA (2018) vor (Tab. 38) der in Betracht gezogen werden sollte, mindestens im Hinblick auf eine statistische Einordnung (Wertebereich).

Tab. 38: Vorschlag für eine Wahrscheinlichkeitsskala für die wissenschaftliche Unsicherheitsanalyse, ergänzt und leicht verändert nach EFSA (2018)

Wahrscheinlichkeit	Begriffe (probability term) nach EFSA (2018)	Wahrscheinlichkeitsbereich, leicht geändert nach EFSA (2018)
Fast sicher	Almost certain	99...100 %
Extrem wahrscheinlich	Extremely likely	95...< 99 %
Sehr wahrscheinlich	Very likely	90...< 95 %
Wahrscheinlich	Likely	66...< 90 %
Sowohl wahrscheinlich als auch unwahrscheinlich	As likely as not	33...< 66 %
Unwahrscheinlich	Unlikely	10...< 33 %
Sehr unwahrscheinlich	Very unlikely	5...< 10 %
Extrem unwahrscheinlich	Extremely unlikely	1...< 5 %
Fast unmöglich	Almost impossible	0...< 1 %

Für die Anwendung einer ökologischen Risikoanalyse werden in Erweiterung von UVP-Gesellschaft (2023) folgende Abstufungen bzw. Klassifizierungen vorgeschlagen:

- Empfindlichkeit: sensibel und nicht ersetzbar, sensibel und schwer ersetzbar, sensibel und bedingt ersetzbar, elastisch, resistent, nicht abschätzbar
- Beeinträchtigungs- bzw. Belastungsintensität: zerstörend, schädigend, gefährdend, belastend/ausgleichbar, belästigend, vermeidbar, verträglich/unerheblich, nicht bewertbar
- Eintrittswahrscheinlichkeit: sicher, sehr wahrscheinlich, wahrscheinlich, möglich, unwahrscheinlich, unmöglich, unwägbar
- Ökologisches Risiko: sehr hoch (Zerstörung), hoch (Schaden), deutlich (Gefahr/gefahren-gleiches Risiko), gering (Gefahrenverdacht, Risikomöglichkeit), sehr gering (Restrisiko), nicht gegeben, Forschungsbedarf

Alle Bewertungen sollten primär auf naturwissenschaftlicher Grundlage erfolgen. Etwaige Vor- oder Zusatzbelastungen (bestehende Belastungen) müssen in ihren Auswirkungen vorab beurteilt werden und sind sachgerecht zu berücksichtigen.

Weitergehende naturschutzfachliche Interpretationen, z. B. im Hinblick auf die Schutzwürdigkeit bzw. Schutzkategorien nach Naturschutzrecht (VSchRL, FFH-RL, BArtSchV), Vorkommen und Gefährdungsgrade (Rote Listen) usw. sollten erst sekundär erfolgen.

Für die zusammenfassende Bewertung mittels Risikoanalyse empfiehlt es sich ferner, einen konzeptionellen Ansatz im Sinne von Prozesshierarchien bzw. Ebenen zu verfolgen. Einen solchen, ganzheitlichen und konzeptionellen Ansatz zur Analyse der Auswirkungen von FPV-Anlagen, auch im Sinne der Erhaltung der Ökosystemleistungen der Gewässer, kann man aus Sicht von Armstrong et al. (2020) über hierarchische Entscheidungswege bzw. -bäume realisieren. Die Autor*innen setzen in ihren Wirkungshierarchien dabei auf Fuzzy-Ansätze bzw. Fuzzy-Logic (Unschärfen, „Wahrheitsgrade“), was mit der oben ausgeführten Eintrittswahrscheinlichkeit bereits abgedeckt werden könnte.

Armstrong et al. (2020) unterscheiden folgende, durch FPV hervorgerufene Veränderungen im Sinne eines von ihnen entwickelten Hierarchie- bzw. Ebenenansatzes:

- Auswirkungen auf die Luft-Wasser-Grenzfläche (Ebene 1), die durch die physische Präsenz der FPV als Effekt erster Ordnung zu konstatieren ist,
- nachfolgende Auswirkungen auf die Oberflächenmeteorologie (Ebene 2),
- Veränderungen der Luft-Wasser-Ströme (Ebene 3) und
- Auswirkungen auf die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Gewässers (Ebene 4)

Aus einer übergreifenden Perspektive fehlen bei Armstrong et al. (2020) aber noch weitere wesentliche Betrachtungsebenen (vgl. Abschnitt 2.4):

- Auswirkungen auf die biologischen Eigenschaften des Gewässerumlandes (Ebene 5) sowie
- Auswirkungen auf das Landschaftsbild sowie auf sozioökonomische Faktoren (andere Nutzungen, insbesondere Erholung und Tourismus) (Ebene 6).

Wollte man ergänzend die sich durch FPV-Anlagen ergebenden Veränderungen zusammenfassend oder nach wichtigen Teilkomponenten (Qualitätskomponenten) klassifizieren bzw. bewerten, könnte man neben dem Rückgriff auf Skalen und Begriffe aus dem Wasserrecht (ökologische Zustands- bzw. Potenzialklassen nach WRRL bzw. OGewV) oder alternativ auch auf andere geeignete Abstufungen/Skalen zurückgreifen. Damit könnte zudem eine ergänzende fachliche Interpretation der Risikostufen/-skalen erfolgen.

So hat beispielsweise in den USA eine große Zahl von Experten der Einrichtungen, Behörden und Hochschulen der Bundesstaaten sowie von Bundesbehörden und -einrichtungen (z. B. EPA, USGS) vor einigen Jahren ein deskriptives (konzeptionelles) Modell für die Interpretation von Veränderungen in Ökosystemen auf der Basis eines Gradienten der biologischen Bedingungen ausgearbeitet (the „Biological Condition Gradient“, vgl. Davies & Jackson 2006). Kern des Modells ist eine Abstufung in sechs Schritten:

Stufe 1: Natürlicher bzw. nativer Zustand: die ursprüngliche strukturelle, funktionale und taxonomische Integrität ist gewahrt; die Ökosystemfunktion bewegt sich im Bereich natürlicher Variabilität

Stufe 2: Minimale (geringfügige) Veränderungen in der Struktur der Lebensgemeinschaft und minimale Veränderungen in der Ökosystemfunktion: Nahezu alle einheimischen Arten weisen nur geringfügige Veränderungen in der Biomasse und/oder der Abundanz auf; die Ökosystemfunktionen bewegen sich voll im Bereich der natürlichen Variabilität

Stufe 3: Offenkundige Veränderungen in der Struktur der Lebensgemeinschaft und minimale Veränderungen in der Ökosystemfunktion: Sichtbare Veränderungen in der Struktur durch den Verlust von einigen seltenen einheimischen Taxa; Verschiebungen in der relativen Häufigkeit von Taxa, aber empfindliche, ubiquitäre Arten sind häufig und in hoher Abundanz vertreten; die Ökosystem-Funktionen sind vollständig durch redundante Prozesse des Systems aufrechterhalten

Stufe 4: Moderate Veränderungen in der Struktur der Lebensgemeinschaft mit minimalen Änderungen in der Ökosystemfunktion: Moderate Veränderungen in der Struktur durch Austausch einiger empfindlicher ubiquitärer Arten durch tolerante Arten; die Populationen der toleranten Arten sind stabil; insgesamt ausgewogene Verteilung der zu erwartenden größeren Gruppen; die Ökosystem-Funktionen sind weitgehend durch redundante Prozesse des Systems aufrechterhalten

Stufe 5: Wesentliche Änderungen in der Struktur der Lebensgemeinschaft und moderate Veränderungen in der Ökosystemfunktion: Sensitive Taxa sind deutlich vermindert; auffällig unsymmetrische Verteilung der wichtigsten erwarteten Gruppen; der Zustand von Organismen zeigt Anzeichen von physiologischem Stress; die Ökosystemfunktion zeigt reduzierte Komplexität und Redundanz an; erhöhter Aufbau oder Export von ungenutzten Nährstoffen.

Stufe 6: Schwere Veränderungen in der Struktur der Lebensgemeinschaft und gravierender Verlust der Ökosystemfunktion: Extreme Veränderungen in der Struktur; massenhafte Veränderungen in der Artenzusammensetzung; extreme Veränderungen von normalen (Populations-) Dichten und Verteilungen; der physiologische Zustand der Organismen ist schlecht, die Ökosystemfunktionen sind stark verändert.

5 Mögliche Schwerpunktsetzung und Priorisierung im zweiten Teilvorhaben

Im Hinblick auf die drängende Beantwortung von Fragen, die insbesondere mit dem aktuellen Rechtsrahmen gemäß § 36 WHG zu tun hat, erscheint es ratsam, zunächst den größten Fokus auf die Frage nach dem ökologisch noch akzeptablen Bedeckungsgrad zu richten. Der Uferabstand ist wegen der hohen ökologischen Bedeutung des Litorals demgegenüber ein Parameter, der eher nicht im Zentrum von möglichen Abschwächungen gesetzlicher Regelungen liegen sollte, vgl. Abschnitt 2.4 und Anhang A. Zum Schutz von Litoralbereichen sollte aber auch dem Aspekt einer möglichst generellen Freihaltung von Seeteilen in Bezug auf FPV-Anlagen Rechnung getragen werden. Eine mindestens notwendige Wassertiefe sollte daher bei den späteren Auswertungen und Schlüssen, im Sinne von akzeptablen Grenzwerten (vor allem in Abhängigkeit von der Trophie), im Fokus stehen.

Insofern wird zunächst bei der Priorisierung die Fragestellung „Bedeckungsgrad“ implizit relativ hoch gewichtet. Außerdem wird davon ausgegangen, dass aktuell eher jünger entstandene, künstliche Seen im Interesse des FPV-Anlagenbaus stehen. Derzeit befinden sich nahezu alle der in Deutschland bereits installierten oder in Planung befindlichen Anlagen (vgl. Abschnitt 3.8, Tab. 37) auf Kies-/Sandtagebauseen, bei häufig noch aktiver Nassbaggerung. Für andere nutzungsbezogene Seentypen (Abschnitt 3.2.2) gibt es praktisch kaum oder keine Untersuchungsobjekte.

Für die Priorisierung der Untersuchungskriterien und zur abschließenden Empfehlung der zu untersuchenden Gewässer wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Expertive Einschätzung dazu, welche Untersuchungsparameter zu untersuchen sind, damit man erkenntnisdienliche Ergebnisse in Bezug auf die Fragestellungen erhält
- Weitestgehendes Abstellen auf die biologischen Qualitätskomponenten für Seen nach Anhang V WRRL bzw. Anlage 3 OGewV (außer Fischfauna wegen potenziell hoher Überprägung durch Besatz und hohen Aufwand) für Seen mit FPV-Anlagen nach erfolgter Auskiesung (Seen nach Rekultivierung), weil damit die Chance besteht, über eine Zuordnung zu Seentypen nach Anlage 1 OGewV einen systematischen Vergleich mit „Referenzgewässern“ durchführen zu können (Nutzung von Daten und Bewertungen zu anderen, typgleichen Gewässern, auch unter Einbeziehung limnologischen Fachwissens). Um eine sichere typologische Zuordnung nach WRRL-Vorgaben zu ermöglichen, muss eine gewisse Stabilität ökologischer Prozesse erreicht werden. Dies ist erst möglich, wenn die betriebsbedingten Störungen durch den Auskiesungsprozess eingestellt wurden.

Tab. 39 enthält die expertive Einschätzung der zu untersuchenden Parameter, die von den in Kapitel 3 dargestellten Grundlagen ausgeht. Bei der Priorisierung wird zwischen aktiven Auskiesungsseen und Seen nach nacherfolgter Auskiesung unterschieden. Die Unterscheidung ist notwendig, weil in aktiven Auskiesungsgewässern nach wie vor betriebsbedingte Störungen bestehen, die Effekte der FPV-Anlagen überlagern können, während dies nach erfolgter Auskiesung nicht der Fall ist. Aktive Auskiesungsseen können jedoch auch so groß sein, dass die betrieblichen Auswirkungen in einzelnen Seeteilen bereits relativ gering sind. Dann könnten Untersuchungsparameter, die eigentlich nur für Seen nach aktiver Auskiesung vorgesehen waren, eventuell auch für diese, kaum noch durch Nassbaggerung gestörten, Bereiche angewandt werden (ggf. als fakultative Untersuchungen in Tab. 39 gekennzeichnet).

Tab. 39: Priorisierung der Untersuchungsparameter je zu untersuchendem Gewässer; X* = Erfassung obligat, X = Erfassung fakultativ

Untersuchungsparameter	Seen mit aktiver Auskiesung	Seen nach aktiver Auskiesung	Begründung bzw. Beschreibung
Abiotische Parameter			
Allgemeine physikalisch-chemische Qualitätskomponenten	X*	X*	Grundlagenerfassung für die abiotischen Parameter und der Gewässerschichtung
Lichtverhältnisse	X*	X*	Direkte Messung der Auswirkungen des Überdeckungsgrades auf die Lichtverhältnisse im Gewässer
Windgeschwindigkeit	X*	X*	Direkte Messung der Auswirkungen des Überdeckungsgrades auf die Windgeschwindigkeit oberhalb der Gewässeroberfläche. Grundlage für die Ermittlung der Gewässerschichtung
Strömungsverhalten	X	X*	Direkte Messung der Auswirkungen des Überdeckungsgrades auf das Strömungsverhalten im Gewässer; Grundlage für die Ermittlung der Gewässerschichtung; bei aktiver Auskiesung ist eine Untersuchung nicht sinnvoll, da Störungen durch aktiven Betrieb (Baggerphasen) keine eindeutigen Ergebnisse zulassen
Gewässerschichtung	X	X*	Rückgriff auf Ergebnisse zur Windgeschwindigkeit, Strömungsverhalten und allg. physikalisch-chemische Qualitätskomponenten
Sedimente		X	Untersuchung nur sinnvoll bei Seen ohne aktive Auskiesung; optimalerweise Untersuchung eines Vergleichsseen ohne FPV-Anlage
Windinduzierte Wellenausbreitung und -höhe		X	Untersuchung nur sinnvoll bei Seen ohne aktive Auskiesung; optimalerweise mit Untersuchung eines Vergleichsseen ohne FPV-Anlage
Seeuferstruktur	X	X*	Untersuchung nur sinnvoll bei Seen ohne aktive Auskiesung; optimalerweise mit Untersuchung eines Vergleichsseen ohne FPV-Anlage
Biotische Parameter			
Biotoptypen im Verlandungs- und Litoralbereich	X	X*	Untersuchung nur sinnvoll bei Seen ohne aktive Auskiesung; optimalerweise mit Untersuchung eines Vergleichsseen ohne FPV-Anlage
Phytoplankton	X*	X*	Indirektes Detektieren der Einflüsse des Überdeckungsgrades

Untersuchungsparameter	Seen mit aktiver Auskiesung	Seen nach aktiver Auskiesung	Begründung bzw. Beschreibung
Zooplankton	X*	X*	Indirektes Detektieren der Einflüsse des Überdeckungsgrades (Nahrungskette); Probennahme zeitgleich zum Phytoplankton (Synergieeffekt).
Makrozoobenthos	X	X*	Erfassung bezieht sich auf Wirkungen auf das Litoral; Auswirkungen auf juvenile Stadien erfassbar; Änderungen in der Artzusammensetzung je Überdeckungsgrad; bei aktiver Auskiesung ist nur mit geringer Makrozoobenthosdichte zu rechnen; eine Erfassung wäre dort vermutlich nicht zielführend; zusätzlich ist eine Erfassung des Aufwuchses auf den Schwimmkörpern zielführend (Arten, Abschätzung Biomasse und ökologische Funktion)
Libellen		X	Erfassung bezieht sich auf Wirkungen auf das Litoral; juvenile Stadien der Libellenfauna werden bei der Erfassung des Makrozoobenthos miterfasst
Fische und Rundmäuler	X	X	Aufwendige Erfassungen wären notwendig bei geringer Aussagekraft der Ergebnisse; viele Gewässer wurden und werden mit Fischen besetzt (künstlicher Besatz); feststellbar wären ggf. Veränderungen im Verhalten über eine Besenderung; aktive Auskiesungsgewässer sind vermutlich noch ohne relevante Fischfauna
Amphibien	Erfassung bezieht sich auf Wirkungen auf das Litoral. Die Aktivität der Amphibien im Litoral erlaubt wenig Rückschlüsse auf den FPV-Bedeckungsgrad.		
Aquatische Makrophyten und Phytobenthos	X	X*	Erfassung zielt auf Wirkungen für das Litoral; Makrophyten (Übersichtserfassung) werden bei der Biotoptypenkartierung im Verlandungs- und Uferbereich kartiert; Synergien mit Biotopkartierung
Benthische Diatomeen		X*	Erfassung bezieht sich auf Wirkungen auf das Litoral, Erfassung zeitgleich mit Makrophyten und Phytobenthos
Biber und Fischotter	Ein Vorkommen dieser Arten bei aktiven Auskiesungsgewässern ist unwahrscheinlich. Eine Erfassung erlaubt keine differenzierten Rückschlüsse auf die Wirkung des Überdeckungsgrades der FPV-Anlage auf die Arten.		
Brutvögel	X	X*	Erfassung der Veränderungen im Verhalten und Bewertung der Kollisionsgefahr in Abhängigkeit vom Überdeckungsgrad; bei aktiver Auskiesung ist eine Untersuchung nicht sinnvoll, da Störungen durch aktiven Betrieb keine eindeutigen Ergebnisse zulassen

Untersuchungsparameter	Seen mit aktiver Auskiesung	Seen nach aktiver Auskiesung	Begründung bzw. Beschreibung
Nahrungsgäste (Vögel)	X	X*	Erfassung der Veränderungen im Verhalten und Bewertung der Kollisionsgefahr in Abhängigkeit vom Überdeckungsgrad; einzelne Erfassungstermine können zeitgleich mit der Brutvogelerfassung durchgeführt werden (Synergieeffekt); bei aktiver Auskiesung ist eine Untersuchung aber nicht sinnvoll, da Störungen durch aktiven Betrieb keine eindeutigen Ergebnisse zulassen
Rastvögel	X	X*	Erfassung der Veränderungen im Verhalten und Bewertung der Kollisionsgefahr in Abhängigkeit vom Überdeckungsgrad; bei aktiver Auskiesung ist eine Untersuchung aber nicht sinnvoll, da Störungen durch aktiven Betrieb keine eindeutigen Ergebnisse zulassen
Fledermäuse	X	X*	Erfassung von Veränderungen in der Aktivität in Abhängigkeit vom Überdeckungsgrad; bei aktiver Auskiesung ist eine Untersuchung aber nicht sinnvoll, da Störungen durch aktiven Betrieb keine eindeutigen Ergebnisse zulassen
Landschaftsbild			
Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung		X	Zugänglichkeit der Gewässer fraglich; Eignung als Erholungsgewässer ebenso; eine generelle Bewertung der Gewässer ohne aktive Auskiesung hinsichtlich Eigenart und Vielfalt ist aber möglich
Schönheit und Akzeptanz		X*	Umfrage-basierte Bewertung der Schönheit und Akzeptanz mit einer qualitativen Bewertung der Kriterien für den Ausgangszustand sowie für den Zustand nach der Errichtung einer FPV-Anlage anhand von Wertstufen nach Roth (2006) und Roth et al. (2022)
Technische Komponenten			
Schadstofffreisetzung	Untersuchungen nach Möglichkeit schwerpunktmäßig im Labor, aber obligat, und nicht im/am Gewässer.		

Eine Festlegung auf konkrete Gewässer kann erst erfolgen, wenn die erforderlichen Rahmenbedingungen geklärt sind (z. B. Zustimmung des Rechteinhabers des Bergrechts, Vorliegen behördlicher Genehmigungen, etc.). Um bestmögliche Ergebnisse zu potenziellen Folgewirkungen von FPV-Anlagen auf die abiotischen und biotischen Parameter zu erhalten, wäre die Erfassung aller obligat und fakultativ genannten Untersuchungsparameter für möglichst viele Gewässer verschiedenen Typus (vgl. Ausführungen in Abschnitt 3.2) sinnvoll. Der Untersuchungsumfang unterliegt jedoch dem gegebenen finanziellen Rahmen.

Es empfiehlt sich, zumindest auf ein Untersuchungsprogramm abzustellen, das die wesentlichsten, obligaten Untersuchungskriterien (Tab. 39) an drei bis fünf Gewässern mit verschiedenen Überdeckungsgraden erfasst (Art „Basisuntersuchung“). Dabei sollten beide Varianten abgebildet werden:

- A. neu zu bauende Anlage (Untersuchungen vor und nach der Errichtung der Anlage),
- B. bestehende Anlage (Untersuchungen nach der Errichtung sowie möglichst parallele Untersuchungen an einem vergleichbaren Gewässer ohne PV-Anlage – „Referenzgewässer“).

Seen mit aktiver Auskiesung könnten und sollten ebenso im Fokus stehen wie Seen mit bereits erfolgter Auskiesung (nach Rekultivierung).

Literaturverzeichnis

- Abdelal, Q. (2021): Floating PV; an assessment of water quality and evaporation reduction in semi-arid regions. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 16 (3): 732-739.
- Acharya, M. & Devraj, S. (2019): Floating Solar Photovoltaic (FSPV): A Third Pillar to Solar PV Sector? The Energy and Resources Institute. <https://www.teriin.org/sites/default/files/2020-01/floating-solar-PV-report.pdf> (Letzter Zugriff: 25.05.2023).
- Adler (2004): Funktion und Anwendung von akustischen Doppler Geräten. Vortrag auf Seminar der TU München. 11./12. März 2004.
- Albrecht, K., T. Hör, F. W., Henning, G., Töpfer-Hofmann & Grünfelder, C. (2014): Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen im Zusammenhang mit landschaftsplanerischen Fachbeiträgen und Artenschutzbeitrag. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 02.0332/2011/LRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Schlussbericht 2014: 311 S.
- Almeida, R. M., Schmitt, R., Grodsky, S. M., Flecker, A. S., Gomes, C. P., Zhao, L., Liu, H., Barros, N., Kelman, R. & McIntyre, P. B. (2022): Floating solar power evaluate trade-offs. *Nature* 606: 246-249.
- Al-Widyan, M., Khasawneh, M. & Abu-Dalo, M. (2021): Potential of Floating Photovoltaic Technology and Their Effects on Energy Output, Water Quality and Supply in Jordan. *Energies* 14 (24), 8417, <https://doi.org/10.3390/en14248417>.
- Andini, S., Suwartha, N., Setiawan, E. & Ma'arif, S. (2022): Analysis of Biological, Chemical, and Physical Parameters to Evaluate the Effect of Floating Solar PV in Mahoni Lake, Depok, Indonesia: Mesocosm Experiment Study. *Journal of Ecological Engineering* 23 (4): 201-207.
- Arle, J., Mohaupt, V. & Kirst, I. (2016): Monitoring of Surface Waters in Germany under the Water Framework Directive—A Review of Approaches, Methods and Results. *Water* 2016 (8). 217, doi:10.3390/w8060217.
- Armstrong, A., Page, T., Thackeray, S. J., Hernandez, R. R. & Jones, I. D. (2020): Integrating environmental understanding into freshwater floatovoltaic deployment using an effects hierarchy and decision trees. *Environ. Res. Lett.* 15, 114055, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbf7b>.
- Bader, S., Scholz, B., Vonlanthen, P. & Brinker, A. (2021): SeeWandel Projekt L12. Entwicklung und Anwendung einer Methode zur Erfassung der Fischbestände im Bodensee. Bericht für die IBKF. SeeWandel, Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg. Langenargen: 106 S.
- Baldrich, G. (2021): 36. PV-Symposium/BIPV-Forum. 18.-26. Mai 2021. Pforzheim (Conexio GmbH): 3 S.
- BArtSchV: Bundesartenschutzverordnung vom 16. Februar 2005 (BGBl. I S. 258; 896), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 21. Januar 2013 (BGBl. I S. 95).
- Bax, V., van de Lageweg, W. I., van den Berg, B., Hoosemans, R. & Terpstra, T. (2022). Will it float? Exploring the social feasibility of floating solar energy infrastructure in the Netherlands. *Energy Research & Social Science* 89. 102569.
- Bax, V., van de Lageweg, W. I., Hoosemans, R. & van den Berg, B. (2023): Floating photovoltaic pilot project at the Oostvoornse lake: Assessment of the water quality effects of three different system designs. *Energy Reports* 9 (2023): 1415-1425.

- BfN & BLAK (2017a): Bewertungsschemata für die Bewertung des Erhaltungszustandes der Arten und Lebensraumtypen als Grundlage für ein bundesweites FFH-Monitoring. Teil II: Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie (mit Ausnahme der marinen und Küstenlebensräume). BFN-Skripten 481. Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Bund-Länder-Arbeitskreis (BLAK) FFH-Monitoring und Berichtspflicht (Hrsg.). Bonn, Bad Godesberg: 243 S.
- BfN & BLAK (2017b): Bewertungsschemata für die Bewertung des Erhaltungszustandes der Arten und Lebensraumtypen als Grundlage für ein bundesweites FFH-Monitoring. Teil I: Arten nach Anhang II und IV der FFH-Richtlinie (mit Ausnahme der marinen Säugetiere). BFN-Skripten 480. Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Bund-Länder-Arbeitskreis (BLAK) FFH-Monitoring und Berichtspflicht (Hrsg.). Bonn, Bad Godesberg: 375 S.
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2023): Naturschutz und erneuerbare Energie. Forschung am BfN. <https://www.natur-und-erneuerbare.de/projektdatenbank/zukuenftige-solar-anlagen-technologien-auswirkungen-raeumliche-steuerungsmoeglichkeiten/> (Letzter Zugriff: 15.05.2023).
- BNatSchG: Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 8. Dezember 2022.
- Böhmer, J. (2017): Methodisches Handbuch zur WRRL-Bewertung von Seen mittels Makrozoobenthos gemäß AESHNA. Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Stehgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) und Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): 78 S.
- Böx, S., Eberts, J. & Mehl, D. (2015a): Praxistest zur „Verfahrensanleitung für eine uferstrukturelle Gesamtsekklassifizierung (Übersichtsverfahren)“ und „Verfahrensanleitung zur Prognose makrozoobenthos-relevanter Habitattypen an Seeufern“. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern). Bützow: 73 S.
- Böx, S., Eberts, J., Gottelt, C. & Mehl, D. (2017): Seenmorphologie. Erfassung der Qualitätskomponentengruppe Morphologie zur unterstützenden Bewertung sächsischer WRRL-Standgewässer. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) [Hrsg.], <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/28171/documents/40270>, 103 S.
- Böx, S., Mehl, D. & Eberts, J. (2015b): Verfahrensanleitung zur Prognose makrozoobenthos-relevanter Habitattypen an Seeufern. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall (Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern). Bützow: 86 S.
- Brämick, U. & Ritterbusch, D. (2010): Praxistest Seenbewertung sowie Interkalibrierung Seenbewertung für Fische. Projekt Nr. O 2.09. Endbericht, Institut für Binnenfischerei e. V. (IfB). Potsdam-Sacrow: 34 S.
- Brauns, M., Miler, O., Garcia, X.-F. & Pusch, M. (2012): Vorschrift für die standardisierte Probenahme des biologischen Qualitätselementes „Makrozoobenthos“ im Litoral von Seen. Bericht im Auftrag Senatsentwicklung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin und der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. Berlin: 23 S.
- Brunet, D., Valipour, R. & Rao, Y. R. (2022): Wind variability over a large lake with complex topography: Lake of the Woods. *Journal of Great Lakes Research* 49: 112–121.
- Büche, T. & Vetter, M. (2014a): Influence of groundwater inflow on water temperature simulations of Lake Ammersee using a one-dimensional hydrodynamic lake model. *Erdkunde* 68 (1): 19-31.

- Büche, T. & Vetter, M. (2014b): Simulating water temperatures and stratification of a pre-alpine lake with a hydrodynamic model: calibration and sensitivity analysis of climatic input parameters. *Hydrological Processes* 28 (3): 1450-1464.
- Büche, T. & Vetter, M. (2015): Future alterations of thermal characteristics in a medium-sized lake simulated by coupling a regional climate model with a lake model. *Climate Dynamics* 44 (1-2): 371-384.
- Büche, T. (2015): Numerische Modellierung des Wärme- und Stoffhaushaltes des Ammersees. Kumu-
lative Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München, Fakultät für Geowissenschaften.
München: 32 S. + Anhang.
- Burdick, D. & Short, F. (1999): The Effects of Boat Docks on Eelgrass Beds in Coastal Waters of Massa-
chusetts. *Environmental Management* 23 (2): 231-240.
- Cazzaniga, R., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P. & Tina, G. (2019): Integration of PV floating with hydroelec-
tric power plants. *Heliyon* 5 (6): e01918.
- Choi, Y.-K. (2014): A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environ-
mental Impact. *International Journal of Software Engineering and Its Applications* 8 (1): 75-84.
- Cole, V., Glasby, T. & Holloway, M. (2005): Extending the generality of ecological models to artificial
floating habitats. *Marine Environmental Research* 60 (2): 195-210.
- Costa, S. G. (2017): Impactes ambientais de sistemas fotovoltaicos flutuantes. Dissertação. Univer-
sidade des Lisboa. Faculdade de Ciências. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e En-
ergia: 146 S.
- Cuce, E., Cuce, P., Saboor, S., Ghosh, A. & Sheikhnejad, Y. (2022): Floating PVs in Terms of Power
Generation, Environmental Aspects, Market Potential, and Challenges. *Sustainability* 14 (5): 2626.
- da Silva, G. D. P. & Branco, D. A. C. (2018): Is floating photovoltaic better than conventional photovol-
taic? Assessing environmental impacts. *Impact Assessment and Project Appraisal* 36 (5): 390-400.
- Davies, S. P. & Jackson, S. K. (2006): The biological condition gradient: a descriptive model for inter-
preting change in aquatic ecosystems. *Ecological Applications* 16: 1251-1266.
- de Lima, R. L., de Graaf-van Dinther, R. E. & Boogaard, F. C. (2022): Impacts of floating urbanization
on water quality and aquatic ecosystems: a study based on in situ data and observations. *Journal
of Water and Climate Change* 13 (3): 1185-1203.
- de Lima, R. L., Paxinou, K., C. Boogaard, F. C., Akkerman, O. & Lin, F.-Y. (2021): In-Situ Water Quality
Observations under a Large-Scale Floating Solar Farm Using Sensors and Underwater Drones. *Sus-
tainability* 13 (11): 6421.
- de Lima, R. L., Boogaard, F. C. & Sazonov, V. (2020): Assessing the influence of floating constructions
on water quality and ecology. Paving the Waves. WCFS 2020, 2nd World Conference on floating
solutions 2020, Conference Book: 11 S.
- Deneke, R., Maier, G. & Mischke, U. (2015): Das PhytoLoss-Verfahren. Berücksichtigung des
Zooplanktons in der Seenbewertung nach EU-WRRL durch die Ermittlung der Grazing-Effektstärke
und anderer Indizes. Ausführliche Verfahrensvorschrift. Stand: März 2015, Version 2.0. Im Auf-
trag der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Expertenkreis Seen, Projekt O8.12. Projektmodul
PhytoLoss. Berlin: 130 S.
- Deneke, R., Maier, G. & Mischke, U. (2018): Berechnung der Grazing-Effekt-Stärke des Metazooplank-
tons. PhytoLoss Access-Auswertetool Version 3.0, Stand 30.11.2018.
- Diekmann, M., Dußling, U. & Berg, R. (2005): Handbuch zum fischbasierten Bewertungssystem für
Fließgewässer (FiBS), Hinweise zur Anwendung. Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg,
Langenargen: 71 S.

- DIN 38409-620: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H) – Teil 60: Photometrische Bestimmung der Chlorophyll-a-Konzentration in Wasser (H 60). Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). Beuth Verlag. Berlin: 29 S.
- DIN EN 14011:2003-07: Wasserbeschaffenheit - Probenahme von Fisch mittels Elektrizität; Deutsche Fassung EN 14011:2003. Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). Beuth Verlag. Berlin: 18 S.
- DIN EN 14757:2015-08: Wasserbeschaffenheit - Probenahme von Fischen mittels Multi-Maschen-Kiemennetzen. Deutsche Fassung EN 14757:2015. Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN). Beuth Verlag. Berlin: 34 S.
- Dußling, U. (2009): Handbuch zu fiBS. Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V. 15: 59 S.
- DWA-M 504-2: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Teil 2: Berechnungsverfahren der Landverdunstung. Entwurf April 2023. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Merkblatt. April 2023: 171 S.
- DWA-M 615: Gestaltung und Nutzung von Baggerseen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Merkblatt Juni 2017: 68 S.
- Eeder, M., Kobus, H. & Helmig, R. (2008): Dreidimensionale Modellierung der Hydrodynamik im Bodensee. *WasserWirtschaft* 10/2008: 16-21.
- EEG 2023: Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 6).
- EFSA (European Food Safety Authority) (2018): Guidance on Uncertainty Analysis in Scientific Assessments. Scientific Committee: Benford, D., Halldorsson, T., Jeger, M. J., Knutsen, H. K., More, S., Naegeli, H., Noteborn, H., Ockleford, C., Ricci, A., Rychen, G., Schlatter, J. R., Silano, V., Solecki, R., Turck, D., Younes, M., Craig, P., Hart, A., von Goetz, N., Koutsoumanis, K., Mortensen, A., Ossendorp, B., Martino, L., Merten, C., Mosbach-Schulz, O. & Hardy, A. *EFSA Journal* 16 (1): 5123, 39 S. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5123>.
- Ernst R. (2023): Baywa re nimmt größte schwimmende Photovoltaik-Anlage Mitteleuropas in Betrieb. <https://www.pv-magazine.de/2023/02/21/baywa-re-nimmt-groesste-schwimmende-photovoltaik-anlage-mittleuropas-in-betrieb/> (Letzter Zugriff: 15.03.2023)
- Essak, L. & Ghosh, A. (2022): Floating Photovoltaics: A Review. *Clean Technologies* 4 (3): 752-769.
- Exley, G., Armstrong, A., Page, T. & Jones, I. D. (2021a): Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification. *Solar Energy* 219: 24-33, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.076>.
- Exley, G., Hernandez, R. R., Page, T., Chipps, M., Gambro, S., Hersey, M., Lake, R., Zoannou, K.-S. & Armstrong, A. (2021b): Scientific and stakeholder evidence-based assessment: Ecosystem response to floating solar photovoltaics and implications for sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 152, 111639, DOI: 10.1016/j.rser.2021.111639.
- Farfan, J. & Breyer, C. (2018): Combining Floating Solar Photovoltaic Power Plants and Hydropower Reservoirs: A Virtual Battery of Great Global Potential. *Energy Procedia* 155: 403-411.
- Feldbauer, J., Hegewald, T., Berendonk, T. U. & Petzoldt, T. (2023): Nicht nur Temperatur – wie der Klimawandel Trinkwassertalsperren beeinflusst. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 16 (4): 244-248.
- Ferrer-Gisbert, C., Ferrán-Gozálvez, J., Redón-Santafé, M., Ferrer-Gisbert, P., Sánchez-Romero, F. & Torregrosa-Soler, J. (2013): A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs. *Renewable Energy* 60: 63-70.

- FFH-RL: Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (ABl. L 206, 22.7.1992, p. 7), zuletzt geändert durch RL 2013/17/EU des Rates vom 13. Mai 2013.
- Flade, M. (1994): Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands. Grundlagen für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in der Landschaftsplanung. IHW-Verlag. Eching: 879 S.
- Foka, E. (2014): Water quality Impact of floating Houses: A study on the effects of dissolved oxygen levels. Master Thesis. TU Delft. Faculty of Civil Engineering. Department of Water Management: 126 S.
- Galdino, M. & Olivieri, M. (2017): Some Remarks about the Deployment of Floating PV Systems in Brazil. *J. of Electrical Engineering* 5 (1).
- Gamarra C. & Ronk J. J. (2019): Floating solar: an emerging opportunity at the energy-water nexus. *Texas Water Journal* 10 (1): 32-45.
- Gorjian, S., Sharon, H., Ebadi, H., Kant, K., Scavo, F. & Tina, G. (2021): Recent technical advancements, economics and environmental impacts of floating photovoltaic solar energy conversion systems. *Journal of Cleaner Production* 278: 124285.
- Grund, C. J., Banta, R. M., George, J. L., Howell, J. N., Post, M. J., Richter, R. A. & Weick-Mann, A. M. (2001): High-Resolution Doppler Lidar for Boundary Layer and Cloud Research. *J. Atmos. Oceanic Technol.* 18: 376–393.
- Haas, J., Khalighi, J., La Fuente, A. de, Gerbersdorf, S., Nowak, W. & Chen, P.-J. (2020): Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. *Energy Conversion and Management* 206: 112414.
- Haase, P., Sundermann, K. & Schindehütte, K. (2010): Informationstext zur Operationellen Taxaliste als Mindestanforderung an die Bestimmung von Makrozoobenthosproben aus Fließgewässern zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland. Forschungsinstitut Senckenberg. Gelnhausen: 23 S.
- Hansen, H. P. & Koroleff, F. (1999): Determination of nutrients. In: Grasshoff, K., Kremling, K. & Ehrhardt, M. (Hrsg.). *Methods of seawater analysis*. 3. Ausgabe, Wiley-VCH Verlag GmbH: 159–228.
- Härtwich H. (2016): The impact of floating platforms on the benthic community structure in Dutch freshwater ecosystems. Master Thesis. Universiteit van Amsterdam: 42 S.
- Hermes, J., Albert, C. & von Haaren, C. (2018): Assessing the aesthetic quality of landscapes in Germany. *Ecosystem Services* 31: 296-307.
- Hess, M. & Heckes, U. (2012): Bewertungsverfahren für Makrozoobenthos in Seen zur Umsetzung der WRRL, Überarbeitung bzw. Ausarbeitung für die deutschen Alpen- und Alpenvorlandseen. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt, Referat 84: Ökologie der Seen. Wielenbach. München: 100 S.
- Hess, M. & Heckes, U. (2017): Bewertungsverfahren für Makrozoobenthos in Seen zur Umsetzung der WRRL, Fortführung der Untersuchung von 2014. Im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt, Referat 84: Ökologie der Seen. Wielenbach. München: 100 S.
- Hofmann, H., Lorke, A. & Peeters, F (2008): The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. *Limnology and Oceanography* Volume 53. Issue 1: 368-380.
- Holloway, M. & Connell, S. (2002): Why do floating structures create novel habitats for subtidal epibionta? *Marine Ecology Progress Series* 235: 43-52.
- Hooper, T., Armstrong, A. & Vlaswinkel, B. (2021): Environmental impacts and benefits of marine floating solar. *Solar Energy* 219: 11-14.
- <https://gewaesser-bewertung.de> (Letzter Zugriff: 14.04.2023)

- Hübner, G., Pohl, J., Warode, J., Gotchev, B., Ohlhorst, D., Krug, M., Salecki, S. & Peters, W. (2020): Akzeptanzfördernde Faktoren erneuerbarer Energien. BfN-Skripten 551: 81 S.
- Hubrich, H. (1976): Typisierung in der Landschaftsforschung. Petermanns Geographische Mitteilungen 120: 136-140.
- Ilgen, K., Schindler, D., Wieland, S. & Lange, J. (2023): The impact of floating photovoltaic power plants on lake water temperature and stratification. Scientific Reports (2023) 13:7932.
- ISE (2020): Fraunhofer ISE analysiert Potenzial für Solarkraftwerke auf Braunkohle-Tagebauseen. Pressemitteilung. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2020/fraunhofer-ise-analysiert-potenzial-fuer-solarkraftwerke-auf-braunkohle-tagebauseen.html> (Letzter Zugriff: 15.04.2023).
- ISE (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme) (2020): Presseinformation. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2020/fraunhofer-ise-analysiert-potenzial-fuer-solarkraftwerke-auf-braunkohle-tagebauseen.html> (Letzter Zugriff: 11.04.2023)
- Jaster, D.; Perez, A. S., Porte-Agel, F. & Stefan, H. (2007): Wind velocity profiles and shear stresses on a lake downwind from a canopy: Interpretation of three experiments in a wind tunnel. University of Minnesota. St. Anthony Falls Laboratory. Minneapolis: 63 S.
- Jenkins A. R., Ralston, S. & Smit-Robinson H. A. (2015): Birds and solar energy best practice guidelines. BirdLife South Africa. https://eapan.org/sites/default/files/u18/BL%20Solar%20Energy%20BP%20Guidelines_Nov%202015_%20for%20comment.pdf (Letzter Zugriff: 15.04.2023).
- Ji, Q., Li, K., Wang, Y., Feng, J., Li, R. & Liang, R. (2022): Effect of floating photovoltaic system on water temperature of deep reservoir and assessment of its potential benefits, a case on Xiangjiaba Reservoir with hydropower station. Renewable Energy 195 (2022): 967-956.
- Kelley, P. D., Jonkman, B. J., Scott, G.N. & Pichugina, Y. L. (2007): Comparing Pulsed Doppler LIDAR with SODAR and Direct Measurements for Wind Assessment. American Wind Energy Association. WindPower 2007 Conference and Exhibition Los Angeles. Los Angeles: 25 S.
- Kienel, U., Kirillin, G., Brademann, B., Plessen, B., Lampe, R., & Brauer, A. (2017): Effects of spring warming and mixing duration on diatom deposition in deep Tiefer See, NE Germany. Journal of Paleolimnology 57 (1): 37-49.
- Kirillin, G., & Shatwell, T. (2016): Generalized scaling of seasonal thermal stratification in lakes. Earth-Science Reviews 161: 179-190.
- Kirillin, G., Hochschild, J., Mironov, D., Terzhevik, A., Golosov, S. & Nützman, G. (2011): Software, Data and Modelling News: FLake-Global: Online lake model with worldwide coverage. Environmental Modelling & Software 26: 683-684.
- Kitazawa, D., Tabeta, S., Fujino, M. & Kato, T. (2010): Assessment of environmental variations caused by a very large floating structure in a semi-closed bay. Environmental Monitoring and Assessment 165 (1-4): 461-474.
- KNE (2020): Auswirkungen von Solarparks auf das Landschaftsbild. Methoden zur Ermittlung und Bewertung. Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE). Berlin: 24 S.
- KNE (2022): Anfrage Nr. 239 zu schwimmenden Solaranlagen ("Floating solar"). Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE). Berlin: 7 S.
- Kriechhammer, S. (2017): Technikfolgenabschätzung von schwimmenden Solaranlagen. Eine energetische und ökologische Betrachtung. Master Thesis. Universität für Bodenkultur Wien: 99 S.
- Kryeziu, S. (2014): Grundlagen der ADCP-Messtechnik und Auswertung von Messdaten. Masterarbeit. Technische Universität Graz. Dekanat für Bauingenieurwissenschaften. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft: 127 S.

- Kulat, M. I., Tosun, K., Karaveli, A. B., Yucel, I. & Akinoglu, B. G. (2023): A sound potential against energy dependency and climate change challenges: Floating photovoltaics on water reservoirs of Turkey. *Renewable Energy* 206 (2023):691-709.
- Kumar, M., Niyaz, H. M. & Gupta, R. (2021): Challenges and opportunities towards the development of floating photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 233: 111408.
- Landeck, I., (2007): Kartieranleitung Libellen für das naturschutzfachliche Monitoring im Naturparadies Grünhaus und im „Revier 55“. In: Landeck, I., Knoche, D. & Leiberg, C. (2007): Entwicklung und Erprobung eines Monitoringkonzeptes am Beispiel der Bergbaufolgelandschaft „Naturparadies Grünhaus“. Arbeitsbericht 2007. Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. Finstertal.
- Lavery, P. S., Oldham, C. E. & Ghisalberti, M. (2001): The use of Fick's First Law for predicting porewater nutrient fluxes under diffusive conditions. *Hydrological Processes* 15 (13): 2435–2451.
- LAWA (2001): Tagebaurestseen. Anforderungen an die Wasserqualität. Empfehlungen. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), LAWA-Arbeitskreis „Zielvorgaben“: 11 S.
- LAWA (2002): AQS-Merkblatt P-8/4 zu den Rahmenempfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die Qualitätssicherung bei Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen. Probenahme von Schwebstoffen und Sedimenten. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): 19 S.
- LAWA (2014): Trophieklassifikation von Seen: Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Berlin: 34 S.
- LAWA (2015a): Trophieklassifikation von Seen. Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), LAWA-Expertenkreis „Seen“ [Hrsg.]. Kulturbuchverlag. Berlin: 34 S.
- LAWA (2015b): AQS-Merkblatt P-8/5 zu den Rahmenempfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die Qualitätssicherung bei Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchungen. Probenahme aus Seen. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): 19 S.
- LAWA (2017): Handlungsempfehlung Verschlechterungsverbot, beschlossen auf der 153. LAWA-Vollversammlung am 16./17. März 2017 in Karlsruhe (unter nachträglicher Berücksichtigung der Entscheidung des Bundesverwaltungsgerichts vom 9. Februar 2017, Az. 7 A 2.15 „Elbvertiefung“). – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA): 42 S.
- LAWA (2018): Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder Pegelhandbuch. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). 5. Aufl.: 160 S.
- LAWA EK Seen (2023): Arbeitshilfe für die gewässerökologische Beurteilung von Seen als Standorte für schwimmende Photovoltaikanlagen („FPV-Anlagen“). Stand 17.01.2023. Entwurf. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), LAWA-Expertenkreis Seen, 11 S.
- LAWA-AO (2016): Rahmenkonzeption Monitoring. Teil B. Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen. Arbeitspapier IV.4. Empfehlung für Schwebstoff- und Sedimentuntersuchungen an Überblicksmessstellen nach der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373). Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Ständiger Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO): 26 S.
- Layden, A., Maccallum, S. N., & Merchant, C. J. (2016): Determining lake surface water temperatures world-wide using a tuned one-dimensional lake model (FLake, v1). *Geoscientific Model Development* 9 (6): 2167-2189.
- Le Moigne, P., Colin, J., & Decharme, B. (2016): Impact of lake surface temperatures simulated by the FLake scheme in the CNRM-CM5 climate model. *Tellus A*, 68.

- Leßmann, D. (2023): Mündliche Informationen.
- LfU Baden-Württemberg (2004): Kiesgewinnung und Wasserwirtschaft. Empfehlungen für die Planung und Genehmigung des Abbaues von Kies und Sand. Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg, Schriftenreihe „Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie“ 88: 104 S.
- Li, W., Guo, Y. & Fu, K. (2011): Enclosure Experiment for Influence on Algae Growth by Shading Light. *Procedia Environmental Sciences* 10: 1823-1828.
- Li, Y.-H. & Gregory, S. (1974): Diffusion of ions in seawater and in deep-sea sediments. *Geochim et Cosmochimica Acta* 38 (5): 703–714.
- Lindegarh, M. (2001): Assemblages of animals around urban structures: testing hypotheses of patterns in sediments under boat-mooring pontoons. *Marine Environmental Research* 51 (4): 289-300.
- Liu, D., Li, C., Sun, M. & Zeng, W. (2020): Assessment model of economic and environmental synergies for water surface photovoltaic projects based on spectral analysis. *Renewable Energy* 145: 937-950.
- Liu, H., Krishna, V., Lun Leung, J., Reindl, T. & Zhao, L. (2018): Field experience and performance analysis of floating PV technologies in the tropics. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 26 (12): 957-967.
- Liu, L., Wang, Q., Lin, H., Li, H., Sun, Q. & Wennersten, R. (2017): Power generation efficiency and prospects of floating photovoltaic systems. *Energy Procedia* 105: 1136-1142.
- LM M-V (2018): Hinweise zur Eingriffsregelung Mecklenburg –Vorpommern (HzE). Neufassung 2018. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (LM M-V): 88 S.
- Long, M. H., Rheuban, J. E., Berg, P. & Zieman, J. C. (2012): A comparison and correction of light intensity log-gers to photosynthetically active radiation sensors. *Limnol. Oceanogr. Methods* 10: 402-463.
- Lyman, T. P., Elsmore, K., Gaylord, B., Byrnes, J. E. K. & Miller, L. P. (2020): Open Wave Height Logger: An o-pen source pressure sensor data logger for wave measurement. *Limnol Oceanogr Methods* 18: 335-345.
- Marckmann, U. & Pfeiffer, B. (2020): Bestimmung von Fledermausrufaufnahmen und Kriterien für die Wertung von akustischen Artnachweisen. Teil 1 - Gattung *Nyctalus*, *Eptesicus*, *Vespertilio*, *Pipistrellus* (nyctaloide und pipistrelloide Arten), Mopsfledermaus, Langohrfledermäuse und Hufeisennasen Bayerns. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) Augsburg: 87 S.
- Marckmann, U. & Pfeiffer, B. (2022): Bestimmung von Fledermausrufaufnahmen und Kriterien für die Wertung von akustischen Artnachweisen. Teil 2 - Gattung *Myotis*. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) Augsburg: 46 S.
- Martinsen, K. T., Kragh, T., Sand-Jensen, K., Madsen-Østerbye, M., Kristensen, E. & Søb, J. S. (2022): Wind drives fast changes of light climate in large, shallow re-established lake. *Science of the Total Environment* 806 (3):151354.
- Mascarenhas, V. & Keck, T. (2018): Marine Optics and Ocean Color Remote Sensing. YOUMA-RES 8 – Oceans Across Boundaries: Learning from each other. Conference paper: 41 – 54.
- Mathes, J., Plambeck, G. & Schaumburg, J. (2002): Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. In: Deneke, R. & Nixdorf, B. (Hrsg.) (2002): Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. BTUC-AR 5/2002: 15-23.
- Mathijssen, D., Hofs, B., Spierenburg-Sack, E., van Asperen, R., van der Wal, B., Vreeburg, J. & Ketelaars, H. (2020): Potential impact of floating solar panels on water quality in reservoirs; pathogens and leaching. *Water Practice and Technology* 15 (3): 807-811.

- Mauch, E., Maetze, A. & Schmedtje, U. (2003): Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands zur Erfassung und Kodierung biologischer Erhebungen im und am Gewässer. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 1/03: 1-388.
- Mehl, D. (2019): Strukturdefizite und Bewertung von (künstlichen) Seen, Konsequenzen für die Gewässerentwicklung. Natur in NRW 4/2019: 14-19.
- Mehl, D., Eberts, J., Böx, S. & Krauß, D. (2019a): Fortschreibung der „Verfahrensanleitung für eine uferstrukturelle Gesamtseeklassifizierung mit einem bundesweit einheitlichen Übersichtsverfahren“ (Projekt-Nr. O 6.18). Hintergrunddokument. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall: 69 S.
- Mehl, D., Böx, S., Eberts, J. & Schönrock, S. (2019b): Fortschreibung der „Verfahrensanleitung für eine uferstrukturelle Gesamtseeklassifizierung mit einem bundesweit einheitlichen Übersichtsverfahren“ (Projekt-Nr. O 6.18). Technischer Bericht. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall: 62 S.
- Mehl, D., Böx, S. & Eberts, J. (2019c): Fortschreibung der „Verfahrensanleitung für eine uferstrukturelle Gesamtseeklassifizierung mit einem bundesweit einheitlichen Übersichtsverfahren“ (Projekt-Nr. O 6.18). Kartieranleitung. Erarbeitet im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO) im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall: 69 S.
- Mehl, D., Böx, S., Eberts, J., Plambeck, G., Köhler, A. & Schaumburg, J. (2017a): Erstellung einer LAWA-Verfahrensanleitung für eine Klassifizierung der Seeuferstruktur als Übersichtsverfahren. Teil 1: Hintergrund, Zielstellung, Grundlagen. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 10 (1): 16-21.
- Mehl, D., Böx, S., Eberts, J., Plambeck, G., Köhler, A. & Schaumburg, J. (2017b): Erstellung einer LAWA-Verfahrensanleitung für eine Klassifizierung der Seeuferstruktur als Übersichtsverfahren. Teil 2: Methodik, Praxistest. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 10 (1): 22-27.
- Mehner, T., Diekmann, M., Garcia, X.-F., Brämick, U. & Lemcke, R. (2004): Ökologische Bewertung von Seen anhand der Fischfauna. Berichte des IGB21. Heft 21/2004. Berlin: 201 S.
- Meier, C., Haase, P., Rolauuffs, P., Schindehütte, K., Schöll, F., Sundermann, A. & Hering, D. (2006): Methodisches Handbuch Fließgewässerbewertung – Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie: 79 S. + Anhänge.
- Mignone, A., Inghirami, G., Rubini, F., Cazzaniga, R., Cicu, M. & Rosa-Clot, M. (2021): Numerical simulations of wind-loaded floating solar panels. Solar Energy 219: 42-49.
- Mischke, U., Riedmüller, U., Hoehn, E., Nixdorf, B. (2017): Handbuch Phyto-See-Index -Verfahrensbeschreibung für die Bewertung von Seen mittels Phytoplankton. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall". Stand 15. Dezember 2017: 79 S.
- Müller-Kroehling, S., Franz, C., Binner, V., Müller, J., Pechacek, P. & Zahner, V. (2006): Artenhandbuch der für den Wald relevanten Tier- und Pflanzenarten des Anhangs II der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und des Anhangs I der Vogelschutz-Richtlinie in Bayern. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 4.aktualisierte Fassung: 190 S.
- Neef, E. (1967): Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. Hermann Haack. Geographisch-Kartographische Anstalt. Gotha, Leipzig: 152 S.

- Nguyen, D. (2017): The global evolution of floating solar PV. Working Paper. https://www.researchgate.net/publication/321461989_The_global_evolution_of_floating_solar_PV?enrichId=rgreq-84ae7cb3e7e6028ffa28a420a3f92109-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyMTQ2MTk4OTtBUzo1NjcwMzcwMjc1OTgzMzZAMTUxMjIwMzU3MDEzNg%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publication-CoverPdf (Letzter Zugriff: 01.04.2023)
- Nixdorf, B., Hemm, M., Schlundt, A., Kapfer, A. & Krumbeck, H. (2000): Braunkohlentagebauseen in Deutschland. Gegenwärtiger Kenntnisstand über wasserwirtschaftliche Belange von Braunkohlentagebausrestseen. Abschlussbericht, F&E Vorhaben FKZ 29822240, BTU Cottbus im Auftrag des Umweltbundesamtes: 519 S.
- OGewV: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom Juni 2016 (BGBl. I S. 1373).
- Ostendorp, W., Ostendorp, J. & Dienst, M. (2008): Hydromorphologische Übersichtserfassung, Klassifikation und Bewertung von Seeufnern. *Wasserwirtschaft 1-2*: 8-12.
- Piana, V., Kahl, A., Saviozzi, C. & Schumann, R. (2021): Floating PV in mountain artificial lakes: a checklist for site assessment. *Renewable Energy and Environmental Sustainability 6*: 4.
- Piątek, Ł., Lim, S., Wang, C. & Graaf-van Dinther, R. de (Hrsg.) (2022): WCFS2020. *Lecture Notes in Civil Engineering*. Singapore (Springer Singapore).
- Regionale Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel. (2021): Arbeitshilfe Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Regionale Planungsgemeinschaft Prignitz-Oberhavel. Neuruppin.
- Reichel, F. & Uhlmann, W. (1995): Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen. *Landesumwelt Brandenburg, Studien und Tagungsberichte 6*: 86 S.
- Reuther, C. (2001): Fischotterschutz in Schleswig-Holstein. Ministerium für Umwelt Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.). Iserlohn/Kalthof: 28 S.
- Riedmüller, U., Mischke, U., Hoehn, E. (2022a): Verfahrensanleitung PhytoSee Online –Bewertung von Seen mit Phytoplankton – Version 8.0.x. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2021. LAWA-Projekt Nr. O3.21. Stand 31. März 2022. Freiburg: 57 S.
- Riedmüller, U., Mischke, U., Pottgiesser, T., Böhmer, J., Deneke, R., Ritterbusch, D., Stelzer, D. & Hoehn, E. (2022b): Begleittext zu den Steckbriefen der deutschen Seetypen. Umweltbundesamt (Hrsg.). Freiburg: 92 S.
- Ritterbusch, D. & Brämick, U. (2015). Verfahrensvorschlag zur Bewertung des ökologischen Zustandes von Seen anhand der Fische. *Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V.* 41: 69 S.
- Rosa-Clot, M. & Tina, G. (Hrsg.) (2020): *Floating PV plants*. London, United Kingdom (Academic Press): 130 S.
- Rosa-Clot, M., Tina, G. M. & Nizitec, S. (2017): Floating photovoltaic plants and wastewater basins: an Australian project. *Energy Procedia 134*: 664-674.
- Rosa-Clot, P. (2020): FPV and Environmental Compatibility. In: Rosa-Clot, M., Tina, G. (Hrsg.): *Floating PV plants*. London, United Kingdom (Academic Press): 101-118.
- Roth, M. & Bruns, E. (2016): Landschaftsbildbewertung in Deutschland – Stand von Wissenschaft und Praxis. Ergebnisse eines Sachverständigengutachtens im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. *BfN-Skripten 439*: 112 S.
- Roth, M. & Fischer, C. (2020): Vorstudie zur Erstellung eines sachlichen Teilplans „Landschaftsbild“ für die Fortschreibung des Landschaftsprogramms Brandenburg. Endbericht September 2020. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg.
- Roth, M. (2006). Validating the use of Internet survey techniques in visual landscape assessment—An empirical study from Germany. *Landscape and Urban Planning, 78 (3)*: 179-192.

- Roth, M., Hildebrandt, S., Roser, F., Schwarz-von Raumer, H. G., Borsdorff, M., Peters, W., Weingarten, E., Thylmann, M. & Bruns, E. (2021). Entwicklung eines Bewertungsmodells zum Landschaftsbild beim Stromnetzausbau: BfN-Skripten 597: 352 S.
- Runkel, V., Gerding, G. & Marckmann, U. (2018): Handbuch: Praxis der akustischen Fledermauserfassung. Tredition GmbH. Hamburg: 260 S.
- Sahu, A., Yadav, N., Sudhakar, K. (2016): Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66: 815-824.
- Schaumburg, J., Schranz, C. & Stelzer, D. (2011): Bewertung von Seen mit Makrophyten & Phyto-benthos gemäß EG-WRRL – Anpassung des Verfahrens für natürliche und künstliche Gewässer sowie Unterstützung der Interkalibrierung. – Endbericht im Auftrag der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Projekt Nr. O 10.09. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg/Wielenbach: 161 S.
- Schaumburg, J., Stelzer, D., Schranz, C., Vogel, A. & van de Weyer, K. (2021): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos – Phylib. Stand August 2021. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Projekt O 2.20: 159 S.
- Schilling, P. (2020): Bundestaxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands (BTL) – Stand Mai 2020. Im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (AO) und des Umweltbundesamtes (UBA). Elektronische Veröffentlichung auf gewaesser-bewertung.de (Letzter Zugriff: 17.05.2023).
- Schmidt, C., von Gagern, M., Lachor, M., Haghe, G., Schuster, L., Hoppenstedt, A., Kühne, O., Rossmeyer, A., Weber, F., Bruns, D., Münderlein, D. & Bernstein, F. (2018a): Landschaftsbild & Energiewende. Band 1: Grundlagen. Ergebnisse des gleichnamigen Forschungsvorhabens FKZ 3515 82 3400 im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. https://www.natur-und-erneuerbare.de/fileadmin/Daten/Download_Dokumente/02_Abschlussberichte_anderer_Form/landschaftsbildundenergiewende_band1.pdf, (Letzter Zugriff: 29.03.2023).
- Schmidt, C., von Gagern, M., Lachor, M., Haghe, G., Schuster, L., Hoppenstedt, A., Kühne, O., Rossmeyer, A., Weber, F., Bruns, D., Münderlein, D. & Bernstein, F. (2018b): Landschaftsbild & Energiewende. Band 2: Handlungsempfehlungen. Ergebnisse des gleichnamigen Forschungsvorhabens FKZ 3515 82 3400 im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. https://www.natur-und-erneuerbare.de/fileadmin/Daten/Download_Dokumente/02_Abschlussberichte_anderer_Form/landschaftsbildundenergiewende_band2.pdf, Letzter Zugriff: 29.03.2022.
- Schwab, G. & Schmidbauer M. (2009): Kartieren von Bibervorkommen und Bestandserfassung. Eigenverlag: 23 S.
- Schwefel, R., Jordan, S., Köhler, A. & Hupfer, M. (2023): Wie reagieren Seen auf den Klimawandel? Prognosen und mögliche Anpassungsstrategien. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 16 (5): 293-300.
- Schlüpmann, M. & Kupfer, A. (2009): Methoden der Amphibienerfassung – eine Übersicht. In: Hachtel, M., Schlüpmann, M., Thiesmeier, B. & Weddeling, K. (Hrsg.): Methoden der Feldherpetologie. Supplement der Zeitschrift für Feldherpetologie 15. Bielefeld: 7-84.
- Schwoerbel, J. (1993): Einführung in die Limnologie. 7. Auflage. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Jena: 397 S.
- Sharma, P., Muni, B. & Sen, D. (2015): Design parameters of 10 kW floating solar power plant. *IARJSET* 2 (Special Issue 1): 85-89.

- Shoushtarizadeh, A., Allahyar, M., Kebriaee, A. & Tajalibakhsh, T. (2010): Analytical Comparison Among Oceanographic Instruments Operations. In: Sundar, V.; Srinivasan, K.; Murali, K.; Sudheer, K.P. (Hrsg.): ICHE2010. Proceedings of the 9th International Conference on Hydro-Science & Engineering. August 2-5. 2010. Chennai: 9 S.
- Sinke, A., Cornelesen, A., Keizer, P., Van Tongeren, O. & Cappenberg, T. (1990): Mineralization, pore water chemistry and phosphorus release from peaty sediments in the eutrophic Lossdrecht lakes, The Netherlands. *Freshwater Biology* 23 (3): 587–599.
- SLE (Stiftung Lebensraum Elbe) (2023): Schwimmende Landschaften im Hamburger Hafen und in hafenahen Gebieten. <https://www.stiftung-lebensraum-elbe.de/fbfiles/Printmedien/Broschuere-Schwimmende-Landschaften-web.pdf> (Letzter Zugriff: 18.05.2023)
- SMUL (2017): Verschlechterungsverbot nach § 27 Abs. 1 Nr. 1 und Abs. 2 Nr. 1 und nach § 47 Abs. 1 Nr. 1 WHG. Vollzugshinweise. Erlass des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) vom 12. April 2017.
- Šorf, M., Brandl, Z., Znachor, P. & Vašek, M. (2013): Floating large-volume mesocosms as a simple, low-cost experimental design suitable for the variety of lakes and reservoirs. *Fundamental and Applied Limnology* 183/1: 41-48.
- Staehr, P., Christensen, J., Batt, R. & Read, J. (2012): Ecosystem metabolism in a stratified lake. *Limnology and Oceanography* 57 (5): 1317-1330.
- STOWA (2018): Handreiking voor Vergunningverlening drijvende Zoneparken op Water (Leitfaden für eine Genehmigung von schwimmenden Solarparks). – Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (Stiftung für angewandte Wasserforschung), Rapport 73/2018, 110 S.
- Südbeck, P., Andretzke, H., Fischer, S., Gedeon, K., Schikore, T., Schröder, K. & Sudfeldt, C. (2005): Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands. Im Auftrag der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten und des Dachverbandes Deutscher Avifaunisten. Radolfzell: 792 S.
- The World Bank (2019): Where Sun Meets Water. Floating Solar Market Report. International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank (Hrsg.): 122 S.
- Thiele, J., Albert, C., Hermes, J. & von Haaren, C. (2020): Assessing and quantifying offered cultural ecosystem services of German river landscapes. – *Ecosystem Services*, DOI: 10.1016/j.ecoser.2020.101080.
- Thienemann, A. (1932): Schwankungen des Grundwasserstandes in Norddeutschland während der letzten Jahrzehnte, ihre Ursachen und ihre limnologische, geologische und wirtschaftliche Bedeutung. *Arch. f. Hydrobiol.* Band XXIV. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart: 428 S.
- Thiery, W., Stepanenko, V. M., Fang, X., Jöhnk, K. D., Li, Z., Martynov, A., Perroud, M., Subin, Z. M., Darchambeau, F., Mironov, D. & Van Lipzig, N. P. M. (2014): LakeMIP Kivu: evaluating the representation of a large, deep tropical lake by a set of one-dimensional lake models. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography* 66: 1.
- Thrane, J. E., Hessen, D. O. & Andersen, T. (2014): The Absorption of Light in Lakes: Negative Impact of Dissolved Organic Carbon on Primary Productivity. *Ecosystems* 17: 1040–1052.
- Torma, P. & Krámer, T. (2016): Wind Shear Stress Interpolation over Lake Surface from Routine Weather Data Considering the IBL Development. *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 61 (1): 14-26.
- Trapani, K., Redón Santafé, M. (2015): A review of floating photovoltaic installations: 2007-2013. *Progress in Photovoltaics. Research and Applications* 23 (4): 524-532.
- Trautner, J. (Hrsg) (1991): Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen. BVDL-Tagung Bad Wurzach: 254 S.

- Trautner, J., Attinger, A. & Dörfel, T. (2022): Umgang mit Naturschutzkonflikten bei Freiflächensolaranlagen in der Regionalplanung. Orientierungshilfe zum Arten- und Biotopschutz für die Region Bodensee-Oberschwaben. Arbeitsgruppe für Tierökologie und Planung GmbH im Auftrag des Regionalverbandes Bodensee-Oberschwaben: 56 S.
- Trösch, J. (1984): Schichtungs- und Strömungsprobleme in Seen: Teilprogramm eines nationalen Forschungsprogrammes. Schweizer Ingenieur und Architekt 102 (40): 777-781.
- Uhlmann, D. (1988): Hydrobiologie. Ein Grundriss für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 3. Auflage. Gustav Fischer Verlag. Jena: 298 S.
- UVPG: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2021 (BGBl. IS. 540), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88).
- UVP-Gesellschaft (2023): Forschungsprojekt Ökologische Risikoanalyse: Kurzfassung. UVP-Gesellschaft (Gesellschaft für die Prüfung der Umweltverträglichkeit) e.V. <https://www.uvp.de/de/service/uvp-spezial?id=389> (Letzter Zugriff: 30.05.2023)
- UVPVwV: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausführung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung vom 18. September 1995 (GMBI S. 671).
- Valipour, R., Fong, P., Mccrimmon, C., Zhao, J., Van Stempvoort, D. R., Rao, Y. R. (2023): Hydrodynamics of a large lake with complex geometry and topography: Lake of the Woods. Journal of Great Lakes Research 49: 82–96.
- van de Weyer, K. & Hamann, U. (2007): Eine einfache und kosteneffiziente Methode zur flächenhaften Erfassung von submersen Pflanzenbeständen in Seen. Wasser und Abfall 1-2/2007: 20-22.
- Vaschetti, G., Bacchelli, M. & Tronel, F. (2022): Using reservoirs for floating PV plants. E3S Web Conf. 346, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234602001>.
- VSchRL: Richtlinie 2009/147/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30.11.2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (ABl. L 020, 26.1.2010, p.7), zuletzt geändert durch RL2013/17/EU des Rates vom 13. Mai 2013.
- Walker, D., Lukatelich, R., Bastyan, G. & McComb, A. (1989): Effect of boat moorings on seagrass beds near Perth, Western Australia. Aquatic Botany 36 (1): 69-77.
- Wetlands International (2012): Excel-Tabelle „Waterbird Population Estimates 5 (2012)“. URL: <http://downloads.wpp.wetlands.org/WPE5.xls> (16.05.2023).
- WHG: Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 5).
- Windelbrand, U. (1973): Typologisierung städtischer Siedlungen. Erkenntnistheoretische Probleme in der ökonomischen Geographie. Hermann Haack. Geographisch-Kartographische Anstalt. Gotha, Leipzig: 116 S.
- Wirth, H, (2022): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik. www.pv-fakten.de (Letzter Zugriff: 01.04.2023)
- World Bank Group; ESMAP; SERIS (2019): Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report - Executive Summary (English). Washington, D. C. World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/579941540407455831/Floating-Solar-Market-Report-Executive-Summar> (Letzter Zugriff: 01.04.2023)
- WRRL (Europäische Wasserrahmenrichtlinie): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der EG Nr. L 327/1 vom 22.12.2000.

- Yang, P., Chua, L. H. C., Irvine, K. N., Nguyen, M. T. & Low, E.-W. (2022): Impacts of a floating photovoltaic system on temperature and water quality in a shallow tropical reservoir. *Limnology* 23: 441-454.
- Yang, R.-Y. & Yu, S.-H. (2021): A Study on a Floating Solar Energy System Applied in an Intertidal Zone. *Energies* 2021, 14, 7789: 32 S.
- Yeh T. Y., Wu m. H., Cheng C. Y. & Hsu Y. H. (2014): A study and analysis on the physical shading effect of water quality control in constructed wetlands. *Journal of Civil & Environmental Engineering* 4 (3). DOI: 10.4172/2165-784X.1000147.
- Ziar, H., Prudon, B., Lin, F.-Y., Roeffen, B., Heijkoop, D., Stark, T., Teurlincx, S., Senerpont Domis, L., Goma, E., Extebarria, J., Alavez, I., Tilborg, D., Laar, H., Santbergen, R. & Isabella, O. (2021): Innovative floating bifacial photovoltaic solutions for inland water areas. *Progress in Photovoltaics. Research and Applications* 29 (7): 725-743.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Wesentliche Einflüsse und mögliche Veränderungen infolge von Floating-Photovoltaik-Anlagen auf das Ökosystem eines Sees; eigene Darstellung, auf der Basis einer Darstellung von de Lima et al. (2022), grafisch deutlich verändert und inhaltlich ergänzt	13
Abb. 2:	Anzahl der relevanten Literaturquellen im Hinblick auf wesentliche methodische Ansätze, differenziert nach FPV-Anlagen-Bezug und Bezug zu anderen schwimmenden-Konstruktionen; teilweise Mehrfachzuordnung bei Methodenkombination	20
Abb. 3:	Anzahl der Literaturquellen mit Bewertungsaussagen im Hinblick auf wichtige potenzielle Auswirkungskategorien (negativ: Verschlechterung nachgewiesen oder prognostiziert, positiv: Verbesserung nachgewiesen oder prognostiziert).....	21
Abb. 4:	Wichtige, exemplarische Wirkungen und Zusammenhänge von FPV-Anlagen im landschaftsräumlichen Bezug (eigene Darstellung).....	30
Abb. 5:	Wichtige primäre Wirkungen von FPV-Anlagen und potenzielle Folgen (eigene Darstellung)	31
Abb. 6:	Kartografische Darstellung der bundesweit vorhandenen oder geplanten Floating-PV-Anlagen entsprechend Tab. 37, Stand: September 2023.....	126

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Analyse für die recherchierten Literaturquellen (in alphabetischer Reihenfolge) im Hinblick auf die Hauptgruppen der potenziellen Wirkungen (Abschnitte 2.4.1 bis 2.4.9), dem methodischen Grundansatz und die betrachtete Gewässerart für Untersuchungen an FPV-Anlagen, bewertete positive Wirkung (+), negative Wirkung (-); Betrachtete Gewässerart bei den Literaturquellen, wo praktische Untersuchungen durchgeführt wurden: KG = Küstengewässer, FG = Fließgewässer, KW = Künstliche Wasserbecken.....	22
Tab. 2:	Analyse für die recherchierten Literaturquellen (in alphabetischer Reihenfolge) im Hinblick auf die Hauptgruppen der potenziellen Wirkungen (Abschnitte 2.4.1 bis 2.4.9), dem methodischen Grundansatz und die betrachtete Gewässerart für Untersuchungen an anderen, Wasserfläche bedeckenden Strukturen, bewertete positive Wirkung (+), negative Wirkung (-); Betrachtete Gewässerart bei den Literaturquellen, wo praktische Untersuchungen durchgeführt wurden: KG = Küstengewässer, FG = Fließgewässer, KW = Künstliche Wasserbecken	28
Tab. 3:	Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der möglichen Änderungen der Lichtverhältnisse (teilweise Mehrfachzuordnung).....	32
Tab. 4:	Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Abschirmung gegenüber Windeinwirkung und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)	34
Tab. 5:	Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Abschirmung des Strahlungseintrages und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung).....	35
Tab. 6:	Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich des Eintrages von Stoffen in das Gewässer und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)	38
Tab. 7:	Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Einflüsse auf Nahrungsketten und Nährstoffflüsse und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)	41
Tab. 8:	Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der mechanischen Abschirmung für Tiere und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung).....	42
Tab. 9:	Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Störwirkung oder Attraktivitätserhöhung bei Tieren und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)	43
Tab. 10:	Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Erholungseignung und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)	44

Tab. 11:	Verteilung der Literaturquellen auf die Formen des methodischen Grundansatzes bezüglich der Gefährdung durch Havarien und der umweltfachlichen Auswirkungen (teilweise Mehrfachzuordnung)	47
Tab. 12:	Steckbrief/factsheet „Erfassung der allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten“	58
Tab. 13:	Steckbrief/factsheet „Erfassung der Lichtverhältnisse“	61
Tab. 14:	Steckbrief/factsheet „Erfassung der Windgeschwindigkeit“	63
Tab. 15:	Steckbrief/factsheet „Erfassung des Strömungsverhaltens“	66
Tab. 16:	Steckbrief/factsheet „Erfassung der Gewässerschichtung“	68
Tab. 17:	Steckbrief/factsheet „Sedimentuntersuchungen“	71
Tab. 18:	Steckbrief/factsheet „Erfassung der (windinduzierten) Wellenausbreitung und -charakteristika“	75
Tab. 19:	Steckbrief/factsheet „Klassifizierung der Seeuferstruktur“	77
Tab. 20:	Steckbrief/factsheet „Erfassung der Biotoptypen“	80
Tab. 21:	Steckbrief/factsheet „Erfassung des Phytoplanktons“	82
Tab. 22:	Steckbrief/factsheet „Erfassung des Zooplanktons“	84
Tab. 23:	Steckbrief/factsheet „Erfassung des Makrozoobenthos“	85
Tab. 24:	Steckbrief/factsheet „Erfassung der Libellen“	89
Tab. 25:	Steckbrief/factsheet „Erfassung Fische und Rundmäuler“	91
Tab. 26:	Steckbrief/factsheet „Erfassung von Amphibien“	94
Tab. 27:	Steckbrief/factsheet „Erfassung der Makrophyten“	97
Tab. 28:	Steckbrief/factsheet „Erfassung des Phytobenthos (benthische Diatomeen)“	99
Tab. 29:	Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässerabhängiger Säugetiere: Biber und Fischotter“	100
Tab. 30:	Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Brutvögel)“	103
Tab. 31:	Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Nahrungsgäste)“	105
Tab. 32:	Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässerabhängiger Vogelarten (Rastvögel)“	107
Tab. 33:	Steckbrief/factsheet „Erfassung gewässergebunden jagende Fledermausarten“	109
Tab. 34:	Steckbrief/factsheet „Landschaftsbild: Erfassung von Eigenart, Vielfalt und Erholungseignung“	113
Tab. 35:	Steckbrief/factsheet „Landschaftsbild: Erfassung von Schönheit und Akzeptanz“	115

Tab. 36:	Bei FPV-Anlagen überwiegend eingesetzte Stoffe/Materialien, differenziert nach Anlagenteilen	119
Tab. 37:	Bundesweit vorhandene oder geplante Floating-PV-Anlagen entsprechend Recherche, Stand: September 2023.....	123
Tab. 38:	Vorschlag für eine Wahrscheinlichkeitsskala für die wissenschaftliche Unsicherheitsanalyse, ergänzt und leicht verändert nach EFSA (2018)	128
Tab. 39:	Priorisierung der Untersuchungsparameter je zu untersuchendem Gewässer; X* = Erfassung obligat, X = Erfassung fakultativ	132
Tab. A1:	Vorläufige Empfehlungen für zu erfassende Kriterien und Methoden bei der Prüfung der Auswirkungen einer FPV-Anlage auf einen künstlichen oder erheblich veränderten See	162

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AP	Arbeitspaket entsprechend der Leistungsbeschreibung des Vorhabens
BACI	Before-After-Control-Impact
BArtSchV	Bundesartenschutzverordnung
BBG	Brandenburg
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BNTK	Biotop- und Nutzungstypenkartierung
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
Ca	Calcium
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DDA	Dachverband Deutscher Avifaunisten
DGM	Digitales Geländemodell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EVA	Ethylenvinylacetat
F+E	Forschung und Entwicklung
Fe	Eisen

Abkürzung	Erklärung
FFH (-Art oder-Gebiet)	Flora-Fauna-Habitat (-Art oder -Gebiet), geschützte Art oder geschütztes Gebiet nach FFH-RL
FFH-LRT	Flora-Fauna-Habitat-Lebensraumtyp, geschützt nach FFH-RL bzw. BNatSchG
FFH-RL	Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie
FKZ	Förderkennzeichen
FPV-Anlage(n)	Floating-Photovoltaik-Anlage(n) bzw. schwimmende Photovoltaik-Anlage(n) im Sinne technischer Umwandlung solarer in elektrische Energie
GGB	Gebiet gemeinschaftlicher Bedeutung
HD	High density
HE	Hessen
kV	Künstliche Verstecke
LD	Low density
Mg	Magnesium
Mn	Mangan
NAN _{org}	Anorganischer Stickstoff als Summenparameter
NH ₄ -N	Ammonium-Stickstoff
nm	Nanometer
NO ₂ -N	Nitrit-Stickstoff
NO ₃ -N	Nitrat-Stickstoff
NRW	Nordrhein-Westfalen
OGewV	Oberflächengewässerverordnung
O-PO ₄ -P	Gelöster Ortho-Phosphat-Phosphor
PE	Polyethylen
PO ₄ -P	Phosphat-Phosphor
PPFD	Photosynthetische Photonenstromdichte

Abkürzung	Erklärung
PV	Photovoltaik (Fotovoltaik): direkte Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie; im Kontext dieser Veröffentlichung ist solare Energie als Quelle gemeint
PVC	Polyvinylchlorid
RP	Rheinland-Pfalz
SiO ₂	Silikat
ST	Sachsen-Anhalt
TH	Thüringen
TN	Gesamtstickstoff
TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff
TP	Gesamtphosphor
UQN	Umweltqualitätsnormen
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPVwV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausführung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung
VSchRL	Vogelschutzrichtlinie
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

A Anhang: Arbeitshilfe/Empfehlungen für einen vorläufigen Untersuchungsrahmen einer naturschutzfachlichen Beurteilung von Floating-PV im Rahmen von Genehmigungsverfahren

A.1 Zielstellung

FPV-Anlagen können eine Störung der Prozesse und Funktionen in einem See und darüber hinaus bewirken und dadurch erhebliche naturschutz- und umweltrelevante Auswirkungen haben. Der aktuell noch geringe Kenntnisstand über FPV-Anlagen erfordert eine Planung und auch eine Folgenabschätzung individuell für jedes einzelne System bzw. jeden einzelnen See, um als Basis belastbarer behördlicher Entscheidungen dienen zu können (s. a. Exley et al. 2021).

Nachfolgend sollen aus diesem Grund ergänzend zu den gewässerökologisch ausgerichteten Anforderungen nach LAWA EK Seen (2023) entsprechende Empfehlungen für einen (vorläufigen) Untersuchungsrahmen für die Bestandserhebung und -bewertung der Schutzgüter von Naturschutz und Landschaftspflege gegeben werden. Diese Darstellungen können als behördeninterne Arbeitshilfe für den naturschutzrechtlichen Vollzug bei fachlichen Fragen und rechtlichen Verfahren dienen. Sie basieren auf der derzeitigen Kenntnislage bzw. auf Erfahrungen mit vergleichbaren Eingriffen bzw. potenziellen Auswirkungen. Von daher werden auch explizit die Schlussfolgerungen aus Abschnitt 2.4 aufgegriffen.

Gleichfalls stellen die Empfehlungen, korrespondierend mit der (inoffiziellen) Arbeitshilfe des LAWA-Expertenkreises Seen (LAWA EK Seen 2023), (vorläufige) Fachempfehlungen für den Untersuchungsumfang der Schutzgüter Tiere, Pflanzen, biologische Vielfalt, Wasser sowie Landschaft einer Umweltverträglichkeitsprüfung nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) dar, soweit durch die Ausbaugröße (elektrische Leistung) und/oder weitere Aspekte bei der Errichtung von FPV-Anlagen hier Relevanz erreicht wird. Diese ist gegeben, soweit nach § 6 i. V. m. Anlage 1 UVP ein Vorhaben UVP-pflichtig ist oder ein Vorhaben im Ergebnis einer UVP-Vorprüfung gemäß § 7 i. V. m. Anlage 1 UVP als UVP-pflichtig eingestuft wird.

Die Empfehlungen sollten bei Vorliegen neuer Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis konsequentermaßen angepasst werden.

A.2 Hinweise für Genehmigungsverfahren

Der Bau und der Betrieb von FPV-Anlagen sind grundsätzlich genehmigungspflichtig. Grundlage sind die jeweiligen Landesbauordnungen sowie § 36 WHG oder § 8 WHG in Verbindung mit den Landeswassergesetzen (Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern; wasserrechtliche Erlaubnis zur Benutzung eines Gewässers), vgl. LAWA EK Seen (2023); hier werden die Naturschutzbehörden (möglichst frühzeitig) beteiligt und müssen die Sach- und Rechtslage prüfen. In Zusammenhang mit naturschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren wird empfohlen, unter anderem folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Für die Installation von FPV-Anlagen sollten grundsätzlich nur künstliche oder erheblich veränderte Seen in Frage kommen, die eine entsprechend große Seeoberfläche und eine Mindestwassertiefe aufweisen. Außerdem müssen die Auswirkungen gewässerökologisch und naturschutzfachlich vertretbar sein, was grundsätzlich nur Spielraum für

Teilüberbauungen von Seen lässt (s. a. LAWA EK Seen 2023).

- Überdeckungen und auch Beeinflussungen durch Schattenwurf sollte für die Litoralbereiche (die Flachwasserzone) von Seen ausgeschlossen werden; die Vermeidung von Beeinträchtigungen der Litoral- und der Uferzone bzw. der gesamten Seeuferstruktur sollte in Verfahren höchstes Augenmerk zuteilwerden (Ostendorp et al. 2008, Mehl et al. 2017a, b, DWA-M 615, Mehl 2019, LAWA EK Seen 2023). Zu betonen ist naturschutzfachlich zudem die hohe ökologische Bedeutung des Uferbereiches als Ökotonstruktur, auch bereits im Sukzessionsstadium z. B. nach einer Auskiesung bzw. ggf. sogar als Teil einer ohnehin rechtlich fixierten Rekultivierung (DWA-M 615, Böx et al. 2017, Mehl 2019).
- Flache Seen mit ausgeprägter euphotischer bzw. litoraler Zone sollten möglichst frei von FPV-Anlagen gehalten werden, weil auf großen Teilen der Seebodenfläche potenziell Unterwasservegetation aufwachsen kann; auch eine Beeinträchtigung der windinduzierten (insbesondere saisonalen) Durchmischung von Seen durch eine ungeeignete Überbauung mit FPV-Anlagen ist zu vermeiden (vgl. LAWA EK Seen 2023); hierbei sollten bei entsprechender Bedeutung auch Seeteile, z. B. Buchten, in den Blick genommen werden.
- Grundsätzlich eignen sich aus limnologischer Perspektive daher für FPV-Anlagen nur Seen mit hohen Anteilen an tiefem, nicht oder kaum durchlichtetem Seeboden.
- Seen in Schutzgebieten gemäß §§ 22 ff. BNatSchG sollten möglichst für FPV-Anlagen ausgeschlossen werden, da hier die Schutzziele und -bestimmungen im Vordergrund stehen sollten.
- Die Verträglichkeit und Unzulässigkeit von FPV-Anlagen-Projekten im Zusammenhang mit ihrer Verträglichkeit mit den Erhaltungszielen eines Natura-2000-Gebiets gemäß § 34 BNatSchG ist strikt zu beachten; das gilt ggf. auch bei möglichen Wechselwirkungen mit benachbarten Natura-2000-Gebieten.
- Nach Stilllegung bzw. Außerbetriebnahme von FPV-Anlagen oder nach Ablauf der wasserrechtlichen Genehmigung müssen alle Anlagen und Anlagenbestandteile im und am Gewässer vollständig zurückgebaut werden. Die dafür notwendigen rechtlichen und finanziellen Voraussetzungen sollten auch in der naturschutzrechtlichen Genehmigung geregelt sein.
- Beim Umsetzen von Anlagen(teilen) von einem See in einen anderen sollte darauf geachtet werden, dass invasive Arten nicht in davon noch unbesiedelte Gewässer verschleppt werden. Hierfür sollten Vorkehrungen getroffen werden.
- Zuleitungen und Bauten in der Flachwasserzone sollten so gebaut bzw. gestaltet werden, dass Beeinträchtigungen der Fischhabitats zur Vermehrung und für den Jungfischaufwuchs ausgeschlossen sowie Nährstofffreisetzungen aus dem Litoralsediment vermieden werden (vgl. LAWA EK Seen 2023).
- Gewässerschädliche Materialien bzw. Stoffe dürfen generell nicht verwendet werden. Bei fehlenden Daten zur Freisetzung von Stoffen und zur Wirkung sollten entsprechende Nachweise geführt werden (spezielle Untersuchungen, Studien, Nachweise). Durch den Einsatz von High Density Polyethylen (HDP) sowie die Anwendung von speziellen Stahlzink-Beschichtungsverfahren für Anlagenteile können die Einträge in die Seen und vor allem die kumulativen Einträge über längere Zeit verringert werden (vgl. LAWA EK Seen 2023).
- Die Wartung und Reinigung der Module muss zudem so erfolgen, dass keine Schad- und

Nährstoffe in das Gewässer gelangen. Dies gilt auch für die Verwendung von Stoffen zum Löschen in Brand geratener Anlagenteile. Im Hinblick auf zukünftig häufiger auftretende Hagelereignisse (Klimawandel) sollten bei den für die Anlagenoberfläche verwendeten Materialien hohe Standards gewählt werden (vgl. LAWA EK Seen 2023).

- Aktive (und tiefe) Baggerseen eignen sich mutmaßlich am ehesten für eine FPV-Nutzung. In Baggerseen kommt es während der Auskiesungsphase zur Eintrübung des Wassers, was mit der Baggertätigkeit und der damit verbundenen Freisetzung von überwiegend mineralischen Stoffen zusammenhängt (LAWA 2015a, DWA-M 615). Damit ist während der Auskiesungsphase eine erhebliche, betriebsbedingte Lichtlimitation gegeben, die das Aufkommen gewässertypischer Phytho- und Zooplanktongemeinschaften sowie auch der benthischen Unterwasservegetation deutlich erschwert. Auch die sonst übliche sommerliche Schichtungsstabilität von tiefen Seen wird auf Grund dieser Prozesse, aber auch in Folge der Baggertätigkeit häufig nicht erreicht (LfU Baden-Württemberg 2004). Dies hat Folgen für alle darauf basierenden Nahrungsketten. Auch sind in aktiven Baggerseen weitere betriebsbedingte Störungen zu konstatieren (Lärm, Bewegung), welche selbst schon betriebsfreie Wasserflächen in ihrer Attraktivität, z. B. für Wasservögel und Säuger, deutlich mindern. Bei Makrophyten und benthischen Kieselalgen ist bekannt, dass Baggerseen selbst nach Abschluss der Nutzung noch einen Zeitraum von mindestens 15 Jahren benötigen, bis sich die seentypgemäße Organismengruppen etabliert haben (Schaumburg et al. 2011). Die Abgrabungen laufen zumeist über längere Zeit (häufig mehr als ein Jahrzehnt).
- Technische Vorbelastungen des Landschaftsbildes sind in aktiven Tagebauen ferner relevant, so dass zu vermuten ist, dass aus einer FPV-Anlagennutzung keine allzu große zusätzliche Belastung für das landschaftliche Erscheinungsbild resultiert.
- Eine ortsnahe Bereitstellung regenerativer Energien für die Deckung des Strombedarfs der fortlaufenden Abbauarbeiten (Elektromotoren von Förderbändern, Pumpen etc.) ist aus Klimaschutzgründen grundsätzlich sinnvoll; die Genehmigung einer FPV-Anlage sollte aber maximal bis zum Ende der Abbauarbeiten erteilt werden und ein potenzieller Weiterbetrieb erneut geprüft werden (LAWA EK Seen 2023), s. im Weiteren.
- Weiterhin geeignet für FPV-Anlagen erscheinen auch je nach angestrebter Nutzung Tagebaurestseen, die häufig einen sehr großen Flächenumfang erreichen. In vielen Tagebaurestseen sind hydrochemische und limnologische Probleme zu konstatieren, so dass ohnehin viele Nutzungen auf Grund schwieriger Wasserqualität (insbesondere infolge von Versauerung) kaum möglich sind oder erst über längere Zeit entwickelt werden können (Reichel & Uhlmann 1995, Nixdorf et al. 2000, LAWA 2001).

A.3 Fachliche Hinweise zu Untersuchungsinhalten (genehmigungsrelevante Fachgutachten, Wirkungsmonitoring)

Die Untersuchungsinhalte naturschutzfachlicher Gutachten im Zusammenhang mit notwendigen Genehmigungsverfahren von FPV-Anlagen sollten zunächst konsequent mit dem Inhalt und der Ausrichtung paralleler gewässerökologischer/limnologischer Gutachten abgestimmt werden. Gewässerschutzfachliche und naturschutzfachliche Betrachtungen sollten sich ergänzen und wo dies möglich ist, sollte auf Synergien bezüglich der Untersuchungsmethoden und -auswertungen gesetzt werden.

Die Mindestinhalte entsprechender Gewässerschutzgutachten (im Hinblick auf Wasserrecht) sind in der (inoffiziellen) „Arbeitshilfe für die gewässerökologische Beurteilung von Seen als Standorte für schwimmende Photovoltaikanlagen („FPV-Anlagen“). Stand 17.01.2023“ des Expertenkreises Seen der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser dargestellt (LAWA EK Seen 2023). Gewässerökologische/limnologische Gutachten werden im Regelfall auch für naturschutzfachliche Bewertungen viele Grundlagen liefern, u. a. zu trophischen Faktoren, seeinternen Nahrungsketten sowie Artvorkommen (z. B. Makrophyten, ggf. Makrozoobenthos).

Besonders fundierte Grundlagen bzw. wasserwirtschaftlich-gewässerökologische Grundlagen werden im Regelfall dann erarbeitet werden müssen, wenn es sich um FPV-Anlagen-Projekte auf WRRL-berichtspflichtigen Seen handelt. Dies betrifft Seen mit mindestens 50 ha Seefläche entsprechend der Festlegungen nach Anhang V WRRL bzw. OGewV. Künstliche oder erheblich veränderte Seen sind im Hinblick auf ihr „ökologisches Potenzial“ zu bewerten (§ 5 OGewV). Dafür sind die in Anlage 5 OGewV aufgeführten Verfahren und Werte für die Qualitätskomponenten entsprechend Anlage 3 und die Einstufungsvorgaben nach Anlage 4 OGewV zu verwenden.

Aus der WRRL folgen für berichtspflichtige Gewässer (sogenannte „Wasserkörper“) insbesondere ein wasserrechtliches Verschlechterungsverbot und ein wasserrechtliches Verbesserungsgebot (vgl. Grundsätze in Artikel 1 a und Artikel 4 WRRL). Das Verschlechterungsverbot ergibt sich nach dem WHG bei oberirdischen Gewässern, die nach § 28 WHG als künstlich oder erheblich verändert eingestuft sind, aus § 27 Abs. 2 Nr. 1. Das Verbesserungsgebot fußt bei oberirdischen Gewässern, die nach § 28 WHG als künstlich oder erheblich verändert eingestuft sind, auf § 27 Abs. 2 Nr. 2.

Verschlechterungsverbot und Verbesserungsgebot gelten damit für alle wasserrechtlichen Zulassungsverfahren, „darüber hinaus auch für andere öffentlich-rechtliche Zulassungsverfahren, soweit sie wasserrechtliche Entscheidungen umfassen oder ersetzen oder wasserrechtliche Vorschriften als sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften Zulassungsvoraussetzung sind“ (SMUL 2017).

Rechtlich entscheidend ist die Einhaltung des Verschlechterungsverbotes, für das es auch Ausnahmen gibt und für das entsprechende Fach- und Rechtsgrundlagen bei LAWA (2017) bereitgestellt werden. Zur Umsetzung bzw. Prüfung werden entsprechende Fachbeiträge („WRRL-Fachbeiträge“) ausgearbeitet und bilden dann für relevante Vorhaben bzw. Gewässer Teil der wasserfachlichen Antragsunterlagen. Im Kern muss in einem WRRL-Fachbeitrag geprüft und bewertet werden, ob bei den maßgeblichen biologischen Qualitätskomponenten entsprechend Anhang V WRRL bzw. Anlage 3 OGewV eine vorhabenbedingte Verschlechterung eintreten kann. Daher sind zu betrachten: Phytoplankton, Makrophyten/Phytobenthos, benthische wirbellose Fauna sowie Fischfauna; hieran kann bei naturschutzfachlichen Bewertungen teilweise angeknüpft werden.

Bezüglich eines naturschutzfachlichen Wirkungsmonitorings wird in gleicher Weise wie bei LAWA EK Seen (2023) argumentiert, d. h. um die Auswirkungen einer FPV-Anlage auf einen See fachlich beurteilen zu können, wird ein verpflichtendes begleitendes Monitoring über eine Dauer von mindestens 3 Jahren empfohlen. Dabei sollte sich das Monitoring in zwei Untersuchungsphasen gliedern:

- A. 1 Jahr vor der Installation der FPV-Anlage und
- B. für die Dauer von 2 Jahren nach Installation der FPV-Anlage

Für den Fall, dass bereits aktuelle detaillierte Untersuchungsergebnisse über den betroffenen See vorliegen sollten, welche nicht älter als drei Jahre sind, können diese zur Beurteilung des Ist-Zustandes herangezogen werden. Auf Kartierungen im Ist-Zustand könnte dann ggf. verzichtet werden. Auf jeden Fall sollten nach erfolgter Installation der FPV-Anlage in den folgenden zwei Jahren die potenziellen Auswirkungen der Anlage untersucht werden (vgl. auch LAWA EK Seen 2023).

Daneben ist es fachlich sinnvoll, zur Beurteilung der Auswirkungen auch weitere, d. h. ältere Untersuchungsergebnisse zum konkreten See oder anderorts gewonnene, räumlich bzw. fachlich übertragbare Ergebnisse und Erkenntnisse mit einzubeziehen. Hilfreich ist die Heranziehung der wissenschaftlichen Fachliteratur.

Um Artefakte bzw. Fehlinterpretationen auszuschließen, müssen mögliche sekundäre Effekte auf die ökologischen Bedingungen zwischen der Ist-Zustandsuntersuchung und der Untersuchung nach FPV-Anlageninstallation ausgeschlossen werden. Hierzu zählen im See insbesondere eine ggf. veränderte Gewässerbewirtschaftung, Einflüsse von Hochwasserereignissen, besondere Stoffeintragsereignisse (z. B. Schad-/Nährstoffeinträge infolge von Havarien) etc. Im Seeumfeld sind diesbezügliche Effekte ebenfalls ggf. von Relevanz, z. B. gravierende Veränderungen der Flächennutzung bzw. der Habitatbedingungen, ggf. Störungen von Arten und/oder Lebensräumen auf Grund von sonstigen Projekten/Maßnahmen und dergleichen.

Die Empfehlungen zu den Untersuchungskriterien in Tab. A1 basieren auf den wesentlichen, primären Wirkungen von FPV-Anlagen und deren potenziellen Folgen. Die Kriterien werden zum einen durch den im Kapitel 3 behandelten Rahmen bestimmt. Es wurden aber auch vorliegende Fachempfehlungen, z. B. für die Planung und Genehmigung von Kies- und Sandabbau in Nassbaggerverfahren (LfU Baden-Württemberg 2004), sowie übliche Ansätze zur Beurteilung von naturschutzfachlichen Eingriffen und entsprechenden Kartierempfehlungen (z. B. LM M-V 2018) zur Kriterienableitung mit herangezogen.

Je nach Landschaftsraum, Seecharakter und Projektcharakteristik sollte der empfohlene Untersuchungsrahmen ggf. modifiziert werden (Ergänzungen und oder Untersetzungen, ggf. auch Anpassung von Methoden), vgl. hierzu auch Abschnitt 3.2.

Tab. A1: Vorläufige Empfehlungen für zu erfassende Kriterien und Methoden bei der Prüfung der Auswirkungen einer FPV-Anlage auf einen künstlichen oder erheblich veränderten See

Kriterium	Methodik	Ggf. Datenübernahme aus gewässerökologischen Fachgutachten	Auswertungsschwerpunkte
Aquatische Makrophyten	Biotopkartierung der Verlandungs- und Gewässervegetation (Abgrenzung und Einstufung nach Landesvorgaben), Erfassung submerser Makrophyten im Rahmen einer Überblickskartierung (Grundlage für Abgrenzung und Zuordnung der Biotoptypen) des gesamten Litoralbereichs mit Krautanker (Anzahl der Hols abhängig von Gewässergröße), Zusätzlich Beprobung repräsentativer Makrophyten transekte (Uferlinie bis Vegetationsgrenze), Durchführung von Vegetationsaufnahmen entlang der Tiefenstufen, Erfassung des vorkommenden Arteninventars	Übernahme von Landesdaten der gesetzlich geschützten Biotoptypen und FFH-LRT, Übernahme von Transektdaten bzw. Daten der Überblickskartierung im Rahmen des Seemonitorings der Länder (z. B. Makrophytenkartierung nach van de Weyer & Hamann (2007)), Transektbewertung nach PHYLIB entsprechend Anlage 5 OGewV (aktuelle Version: Schaumburg et al. 2021), Methodendokumentationen auch unter https://gewaesserbewertung.de	Tiefe/Ausbreitung des Litorals, Dominanz/Häufigkeit, Diversität, wertgebende Arten, Biotop-/Habitatqualität, Gefährdungsstatus, Schutzstatus, Einfluss Wellenschlag, stoffliche Belastung, Veränderungen Licht- und Temperaturhaushalt, ggf. Bedeutung von Neozoen
Makrozoobenthos, insbesondere Wasserinsekten, Muscheln, Großmuscheln, Würmer, Gewässerkäfer, Krebstiere	Habitatbezogene Erfassung und Bewertung des Makrozoobenthos im Eulitoral entsprechend des „Bewertungsverfahren für Makrozoobenthos in Seen zur Umsetzung der WRRL“ (Hess & Heckes 2017, aktuelle Anpassungen für die unterschiedlichen Naturräume sind in Bearbeitung), Verwendung der bundesweit einheitlichen taxonomischen Liste nach Schilling (2020); Bestimmungsliteratur entsprechend wissenschaftlichen Standards, bei Sonderfragestellungen zu ausgewählten Artengruppen (z. B. Wasserkäfer, Libellen und Mollusken) sind bei Trautner (1991) methodische Standards zur Erfassung von unterschiedlichen Tierartengruppen aufgeführt	AESHNA-Bewertungsverfahren für das eulitorale Makrozoobenthos in Seen (Böhmer 2017) zur Umsetzung der WRRL entsprechend Anlage 5 OGewV, Makrozoobenthos erfassung nach Brauns et al. (2012); Methodendokumentationen auch unter https://gewaesserbewertung.de	Dominanz/Häufigkeit, Diversität, wertgebende Arten, Biotop-/Habitatqualität, Gefährdungsstatus, Schutzstatus, Einfluss Wellenschlag, stoffliche Belastung, Veränderungen Licht- und Temperaturhaushalt, ggf. Bedeutung von Neozoen

Kriterium	Methodik	Ggf. Datenübernahme aus gewässerökologischen Fachgutachten	Auswertungsschwerpunkte
Fische	Abschnittsweise, repräsentative Uferandbefischungen mittels Elektrofischerei nach DIN EN 14011:2003-07 sowie Einsatz benthischer und pelagischer Multimaschennetze in Anlehnung an DIN EN 14757:2015-08	Fischbasierte Klassifizierung von Fließgewässern gemäß WRRL mittels FIBS-Verfahren nach Diekmann et al. 2005 bzw. Dußling (2009) entsprechend Anlage 5 OGewV; Methodendokumentationen auch unter https://gewaesser-bewertung.de	Aktuelles und künftiges Fischartenspektrum, Dominanz/Häufigkeit, Diversität, ggf. fiBS-Bewertung nach Diekmann et al. (2005) oder DeLFI-Bewertung nach Ritterbusch & Brämick (2015), Bedeutung von Besatzmaßnahmen, Biotop-/Habitatqualität, wertgebende Arten, Gefährdungsstatus, Schutzstatus, Veränderungen Licht- und Temperaturhaushalt, stoffliche Belastung, ggf. Bedeutung von Neozoen
Vögel	Erfassung des Rast- und Zugeschehens mittels Begehungen/Kartierungen, Erfassung der Brutvögel des Uferbereiches und der Wasserflächen, Revierkartierung nach Südbeck et al. (2005)	-	Revierauswertung gemäß Südbeck et al. (2005), Dominanz/Häufigkeit, Diversität, wertgebende Arten, Biotop-/Habitatqualität, Gefährdungsstatus, Schutzstatus, Einflüsse von FPV auf Rastgeschehen sowie Nahrungs- und Bruthabitate, auch Nahrungsgewässer, insbesondere für Greifvögel, ggf. Feststellungen zu Vergrämung oder ggf. Attraktivität
Gewässergebunden jagende Fledermausarten	Erfassung der Fledermausaktivität an Dauermonitoringstandorten unter Verwendung von Echtzeiterfassungsgeräten, Mindestuntersuchung 1 Standort je Gewässer bzw. je km Uferlänge und 1 Erfassungsphase à 3 Tage pro Monat von Mai-August, Bestimmung der aufgezeichneten Rufe, Auswertung und Darstellung der nächtlichen Aktivität und des Artenspektrums, Normierung der Rufe auf Aktivität in Minuten; zusätzlich Erfassung der Fledermausaktivität durch detektorgestützte Sichtkontrolle am Gewässerufer, ggf. unter Verwendung von Nachtsichtgeräten, Mindestuntersuchung 1 Begehung pro Monat von Mai-August (Dauer 2 h ab Sonnenuntergang), Ermittlung des Artenspektrums und Anzahl jagender Individuen	-	Ermittlung von Artenspektrum und Aktivitätsdichte und der Bedeutung des Gewässers/Gewässerbereiches als Jagdgebiet im Jahresverlauf Abschätzung der funktionalen Bedeutung des Gewässers für Lokalpopulationen von Fledermausarten insbesondere während der Wochenstubezeit

Anhang: Arbeitshilfe/Empfehlungen für einen vorläufigen Untersuchungsrahmen einer naturschutzfachlichen Beurteilung von Floating-PV im Rahmen von Genehmigungsverfahren

Kriterium	Methodik	Ggf. Datenübernahme aus gewässerökologischen Fachgutachten	Auswertungsschwerpunkte
Weitere gewässerabhängige Säugetiere (z. B. Biber, Fischotter)	Begehung und Kontrolle des Gewässerufers; gezieltes Absuchen exponierter Plätze; Erfassung der Biber- und Fischotterspuren gemäß Schwab & Schmidbauer (2009) und Müller-Kroehling et al. (2006)	-	Biber: Revierauswertung hinsichtlich Besatzstärke (Einzeltier/Familienverband) und (langfristiger) Habitatausstattung, Fischotter: Biotop-/Habitatqualität, Nahrungsangebot, Wasserqualität; Nachweis von Fortpflanzungs- und Ruhestätten
Landschaftsbild	Sichttraumanalyse mit GIS-unterstützten Modellen (z. B. Schmidt et al. 2018a), Bewertung von Visualisierungen (KNE 2020, Schmidt et al. 2018a)	-	Auswertung im Hinblick auf die Auswirkungen für Vielfalt, Eigenart, Erholungseignung, Wirkfaktoren und Empfindlichkeit der Landschaft; dabei Bestimmung der Art und Intensität der Vorbelastungen

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

DOI 10.19217/skr685