

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - Expertenkreis Seen

**Arbeitshilfe für die gewässerökologische
Beurteilung von Seen als Standorte für
schwimmende Photovoltaikanlagen („FPV-Anlagen“)**

beschlossen auf der 69. LAWA AO-Sitzung

am 25./26.01.2023

und durch die 165. LAWA-Vollversammlung am 20./21.03.2023

1 Einleitung

Der Expertenkreis Seen setzt sich im vorliegenden Papier mit den gewässerökologischen Aspekten einer Nutzung von Seen für FPV-Anlagen auseinander. Das Papier soll als behördeninterne Arbeitshilfe im wasserrechtlichen Vollzug bei fachlichen Fragen und in Wasserrechtsverfahren unterstützen. Die im Papier aufgeführten Empfehlungen zur Berücksichtigung ökologischer Kriterien bei Planung, Errichtung und Betrieb der Anlagen sowie zur ökologischen Überwachung basieren auf der derzeitigen Kenntnislage und können damit als eine Grundlage für die Prüfung und Beurteilung des Einzelfalls dienen. Die Empfehlungen sollen bei Vorliegen neuer Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis überprüft werden.

Durch die verstärkten Bestrebungen zur Energiewende rücken aktuell bislang kaum für die Solarenergiegewinnung genutzte Flächen in den Vordergrund. Neben der Nutzung von Agrar- und Parkplatzflächen wird derzeit auch eine Bestückung der Wasserflächen von Seen mit Modulen schwimmender Photovoltaikanlagen (auch FPV (floating photovoltaics) genannt) vorangetrieben.

Nach dem Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor vom 20. Juli 2022 wurde das EEG (§ 37) dahingehend erweitert, dass eine Fläche, die ein künstliches Gewässer im Sinn des § 3 Nummer 4 des WHG oder ein erheblich verändertes Gewässer im Sinn des § 3 Nummer 5 des WHG ist, bei Ausschreibungen für Solaranlagen berücksichtigt werden kann. Das WHG selbst wurde in der Weise angepasst, dass eine Solaranlage nicht auf einem oberirdischen Gewässer errichtet werden darf, dass kein künstliches oder erheblich verändertes Gewässer ist (§ 36 (3) WHG). Ausgeschlossen werden außerdem ein Abstand vom Ufer von weniger als 40 Metern sowie eine Bedeckung der Wasseroberfläche von mehr als 15 Prozent.

FPV-Anlagen werden auf schwimmenden, im Gewässerboden verankerten Plattformen installiert. Sie sind über Stromleitungen und z.T. über einen Steg mit dem Land verbunden, wo sich ggf. noch weitere feste Einrichtungen (Wechselrichter, Transformatoren etc.) befinden. Der terrestrische Flächenverbrauch bei diesen Anlagen ist somit gering, was neben der höheren Anlageneffizienz aufgrund der kühlenden Wirkung der Wasserfläche als großer Vorteil gesehen wird. Da die Investitionen zur Errichtung von FPV-Anlagen hoch sind, rentieren sich vor allem große Flächen.

Eine aktuelle Studie des Fraunhofer ISE beschäftigt sich mit dem Potenzial verschiedener Anlagenstandorte (Abb.1). Demnach haben die derzeit theoretisch nutzbaren Gewässerflächen ein energetisches Potenzial von 44 GW_{peak}. Das insgesamt in Deutschland sinnvoll nutzbare technische PV-Flächenpotenzial beträgt 3160 GW_{peak}. Davon befindet sich ein Potenzial mit einer Leistung von 1000 GW_{peak} als bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV) allein auf und an Gebäuden und ein Potenzial von 303 GW_{peak} integriert in ebenfalls bereits „verbaute“ Verkehrsflächen (RIPV). Angesichts dieses nutzbaren PV-Potenzials und der Tatsache, dass für eine regenerative PV-Vollversorgung Deutschlands davon zukünftig nur 446 GW_{peak} ($\cong 14\%$) realisiert werden müssten, sind die FPV-Flächen auf künstlichen Seen ($\cong 1,4\%$ des PV-Potenzials) von untergeordneter Bedeutung (siehe Abb. 2).

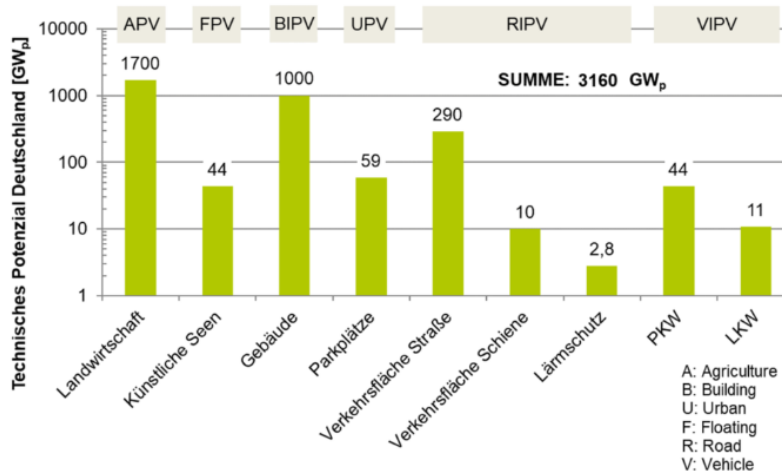


Abb.1: Das Potenzial von FPV-Anlagen im Vergleich zu anderen Anlagestandorten (zu beachten ist die logarithmische Skalierung der Ordinatenachse) - Quelle: Fraunhofer ISE /1/

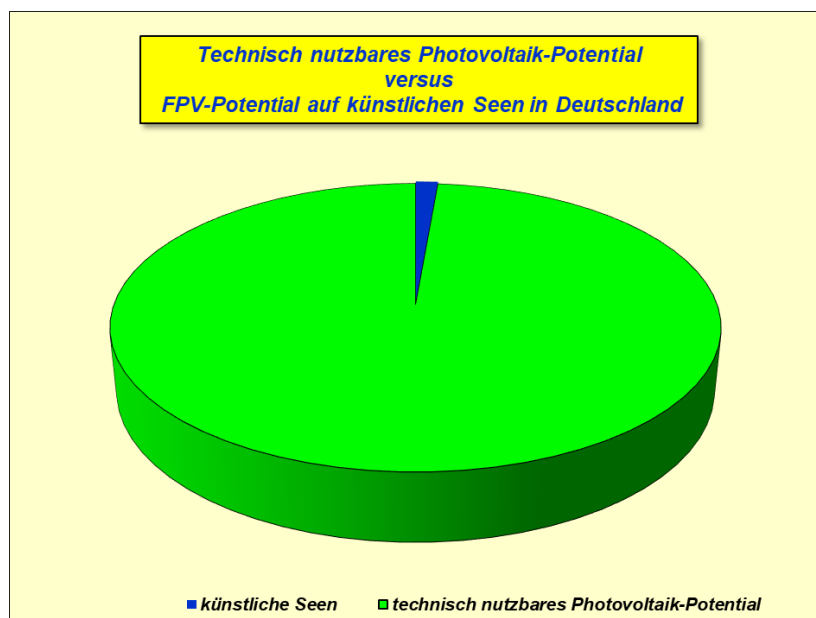


Abb. 2: Das Potenzial von FPV-Anlagen im Vergleich zum technisch nutzbaren Photovoltaik-Potential in Deutschland - eigene Grafik gemäß Studie Fraunhofer ISE (1/)

Neben einigen Aspekten zur technischen Umsetzung der Errichtung (z.B. der Montage der Module oder deren Verankerung bei veränderlichen Wasserständen) sind noch Fragen zum Einfluss der FPV-Anlagen auf gewässerökologische Prozesse ungeklärt. Für die Auswahl von geeigneten Seeflächen müssen auch die vielfältigen Nutzungen von Seen für Freizeitaktivitäten, den Natur- und Landschaftsschutz Berücksichtigung finden.

2 Einflüsse von FPV-Anlagen auf Seen

2-1 Änderung der Lichtverhältnisse durch Beschattung

Durch die Abschattung sind sämtliche Photosynthese treibenden und damit auf Licht angewiesenen Organismen direkt betroffen. Die Hemmung des Wasserpflanzenaufwuchses im Litoral hat dabei die ökologisch bedeutsamsten Konsequenzen. Die partielle Abschattung

des Pelagials kann bei Anlagen mit sehr großen Flächen die Biomasseentwicklung des Phytoplanktons hemmen. Da durch eine Lichtlimitierung die Phytoplanktonbiomasse grundsätzlich reduziert und die Gefahr von Algenblüten vermindert wird, können diese additiven Effekte von FPV-Anlagen mit den Zielen der EG-WRRL übereinstimmen. Zudem wird die Verdunstung unter der direkt belegten Fläche reduziert und auch dadurch möglichen Effekten des Klimawandels (sinkenden Wasserständen) entgegengewirkt.

Eine Beschattung von bestehenden einheimischen Wasserpflanzenbeständen oder potenziellen Wasserpflanzenstandorten, die z.B. durch seentherapeutische Maßnahmen wieder zurückgewonnen werden, ist aus gewässerökologischer und naturschutzfachlicher Sicht unbedingt zu vermeiden (siehe Kap. 4).

Konsequenzen für die Zulassungsverfahren:

Auf Grundlage einer kompletten Tiefenvermessung wird empfohlen alle Litoralbereiche zwischen Ufer und potenzieller unterer Makrophytengrenze zu ermitteln und von einer Beschattung durch die Anlage auszuschließen.

Die potenzielle untere Makrophytengrenze wird typspezifisch abgeleitet aus der jeweils strengeren Sichttiefe (Saisonmittel) im Grenzbereich sehr gut/gut nach OGeWV (2016), Anlage 7, multipliziert mit dem Faktor 2,5, welcher allgemein zur Ermittlung der euphotischen Tiefe aus der Sichttiefe mittels Secchi-Scheibe verwendet wird (siehe z. B. /2/). Je nach Typ und Ausprägung des Gewässers ergeben sich somit spezifische Tiefen. Diese liegen zwischen 6 Metern bei flachen und im Referenzzustand leicht planktontrüben Seen und z.T. mehr als 20 Metern bei sehr klaren und tiefen Seen. Anlage 1 gibt für die potenzielle untere Makrophytengrenze Werte zur groben Orientierung an, im Genehmigungsverfahren ist der Wert jedoch für jeden See individuell zu prüfen.

Neben den so abzugrenzenden Litoralbereichen sollte auch der Bereich des maximalen Schattenwurfes der FPV-Anlage auf die Sedimentoberfläche bei schräg stehender Sonne während der Vegetationszeit von März bis Oktober für die angegebenen Tiefenbereiche angemessen zu berücksichtigen und durch Modellierung ermittelt werden.

Es wird empfohlen die pauschale Vorgabe durch das WHG, die Freihaltung im Abstand von 40 Meter zum Ufer, im Rahmen der Zulassungsverfahren um die im Einzelfall darüber hinaus gehenden flachen Bereiche mit potenziellem Makrophytenaufwuchs zu erweitern.

Die potenziellen Beeinträchtigungen der Beschattung auf das Phyto- und Zooplankton im Pelagial unterhalb der FPV-Anlage und deren Auswirkungen auf das gesamte Nahrungsnetz im See sollte durch ein gezieltes Monitoring (s. Kap. 4) überwacht werden.

2-2 Temperaturhaushalt des Gewässers

FPV-Anlagen auf Seen können je nach Größe und Flächenanteil sowohl zu mildereren Oberflächentemperaturen im Winter als auch zu kühleren Temperaturen im Sommer führen. Die Wintereinschichtung kann verkürzt oder ganz verhindert werden und damit auch die Intensität (Eisdicke), zeitliche Dauer und der Flächenanteil einer Eisbedeckung. Im Frühjahr und Sommer wird insbesondere die Epilimniontemperatur beeinflusst und damit die Biomasse und Zusammensetzung des Planktons. Insgesamt kann das Schichtungsverhalten verändert werden, was sich auf den Sauerstoff- und Nährstoffhaushalt auswirken kann und damit auch wieder die Lebewelt beeinflusst. Inwieweit das Zusammenspiel dieser und der oben genannten Änderungen der Lichtverhältnisse die Biologie beeinflussen, ist in einem Monitoring (Kap. 6) zu klären.

2-3 Windenergie

FPV-Anlagen auf Seen vermindern den Eintrag an Windenergie ins Gewässer. Dies kann abhängig von der Morphometrie und der landschaftlichen Lage von Seen, z.B. Uferüberhöhung, durchaus zu 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. Besonders gefährdet sind Seen, deren Schichtungsverhalten schon in diese Richtung neigt (zeitweises Monimolimnion, Übergang vom di- zum monomiktischen Gewässer) oder vom See abgegrenzte Teilbereiche (z.B. Buchten).

Hier können Modellierungen bzw. ein Monitoring Aufschlüsse über die Auswirkungen geben, pauschale Vorgaben sind fachlich nicht sinnvoll.

2-4 Eintrag von Stoffen ins Gewässer

Durch sich ständig bewegende Anlagenteile sowie durch Oberflächenbehandlung und Reinigung können Stoffe und Mikroplastik ins Gewässer gelangen.

2-5 Wasservogelbestand

An der Anlagenfläche kann es zur Ansammlung von Wasservögeln kommen. So könnten etwa Kormorane durch neue Ansitz- und Trockenplätze angelockt werden. U.U. ist dies mit einer Anreicherung von Nährstoffen durch den Wasservogelkot verbunden. In der Nähe von Badestellen ist in diesem Zusammenhang auch eine erhöhte Keimzahl im Wasser zu beachten. Andererseits können Schwimmvögel (Enten, Taucher etc.) bei großen Anlagen durch die nicht nutzbare Seefläche eher eingeschränkt wären.

2-6 Nahrungskette und Nährstoffeintrag

Alle oben genannten Einflüsse können sich auf die Nahrungskette auswirken. Insbesondere die im See ablaufenden Umsetzprozesse (Photosynthese, Sedimentation, Rücklösung etc.) beeinflussen die Besiedlung und damit letztendlich den ökologischen Zustand. Während die direkten (negativen) Auswirkungen der Beschattung auf die Wasserpflanzen offensichtlich sind und vermieden werden sollten (siehe 2-1), sind die Auswirkungen der übrigen Größen auf die Besiedlung und den ökologischen Zustand weniger klar. Sie sind stark vom konkreten Gewässer und der Anlagengröße abhängig und können Entwicklungen sowohl hinsichtlich einer Verschlechterung als auch einer Verbesserung induzieren. So könnte beispielsweise der Bewuchs an schwimmenden Anlagenbestandteilen mit Muscheln und in geringerem Umfang auch mit Periphyton durch Filtration und Nährstoffbindung positive Effekte zur Verbesserung der Wasserbeschaffenheit und Sichttiefe hervorrufen. Andererseits gelangen die Algen und Muscheln bei der Reinigung der Anlage ins Gewässer und erhöhen dort die Sauerstoff-Zehrung.

Da eine exakte Voraussage der gewässerökologischen Entwicklungen schwer möglich ist, wird empfohlen den See bei derartigen Projekten generell mittels eines begleitenden mehrjährigen Monitorings zu überwachen (s. Kap. 6).

3 Auswahlkriterien für Zulassungsverfahren

Hinsichtlich der Auswahl von geeigneten Seen für die Installation einer FPV-Anlagen sind grundsätzlich eine entsprechend große Seeoberfläche und eine Mindestwassertiefe erforderlich.

Dies resultiert sowohl aus den gewässerökologischen Anforderungen als auch aus der Wirtschaftlichkeit einer FPV-Anlage. Mit Blick auf die seetypspezifische euphotische Tiefe

(siehe 2-1) sollte weder der Litoralbereich eines Sees vom Schattenwurf der FPV-Anlage beeinträchtigt werden, noch die windinduzierte (insbesondere saisonale) Durchmischung des Sees durch eine großflächige Überbauung signifikant beeinträchtigt werden.

Da es gemäß §30 BNatSchG keine Zerstörung oder erhebliche Beeinträchtigung von „natürlichen oder naturnahen Bereichen fließender und stehender Binnengewässer“ geben darf, sind insbesondere Naturschutzgebiete oder andere Schutzgebiete, in denen besonders geschützten Arten vorkommen, vom Bau von FPV-Anlagen auszuschließen. In der Anlage 2 sind Gewässer aufgeführt, die zu den besonders geschützten Lebensraumtypen zählen.

Durch die genannten Ausschlusskriterien entfallen in der Regel alle flachen Seen, weil auf der gesamten Seebodenfläche potentiell Unterwasservegetation aufwachsen kann. Das betrifft auch die künstlichen und erheblich veränderten polymiktischen Flachseen, z. B. polymiktische Teiche und Talsperren, die nach neuer Gesetzeslage durch das Erneuerbare-Energien-Beschleunigungs-Gesetz teilweise mit FPV-Anlagen (15% der Fläche, 40 m Abstand zum Ufer) bestückt werden könnten. Bei tiefen Seen wird es in der Regel möglich sein, die zulässigen 15 % Überbauung mit FPV auf die Seebereiche zu bringen, die eine ausreichende Tiefe besetzen, ohne dass die Unterwasservegetation beeinträchtigt wird.

Innerhalb von Natura 2000-Gebieten ist gemäß §34 BNatSchG die Verträglichkeit mit den jeweiligen Erhaltungszielen zu überprüfen.

Daraus ergibt sich, dass sich die Auswahl für die Installation von FPV-Anlagen auf große, tiefe, künstliche oder bereits erheblich veränderte Seen (z.B. Ausgrabungsgewässer, Talsperren) begrenzen sollte, auf denen ein gewässerökologisch vertretbarer geeigneter Teilbereich schadfrei überbaut werden kann.

Baggerseen (auch kleinere), in denen laufende Abbauarbeiten noch in Umsetzung sind und die noch nicht abschließend gemäß Bergrecht fertiggestellt wurden, bieten sich für die Errichtung von FPV-Anlagen an, sofern die neuen Anforderungen nach § 36 Abs. 3 WHG eingehalten werden. Aufgrund der aktiven Abgrabungsprozesse kommt es kontinuierlich zu Störeinflüssen wie Lichtlimitation durch Gewässereintrübung, Substratumlagerungen etc. Zudem verfügen diese Seen in der Regel noch nicht über ein ausreichendes gewässerökologisches Entwicklungspotential. Die Abgrabungen laufen zumeist über mehr als ein Jahrzehnt. Eine dezentrale Bereitstellung regenerativer Energien für die Deckung des Strombedarfs der fortlaufenden Abbauarbeiten (Elektromotoren von Förderbändern, Pumpen etc.) ist sinnvoll und zeitgemäß. Die Genehmigung der FPV-Anlage sollte dabei maximal bis zum Ende der Abbauarbeiten erteilt werden und ein potentieller Weiterbetrieb anschließend mittels der oben genannten Kriterien erneut geprüft werden.

Die im Kap. 2 formulierten Anforderungen gelten je nach örtlichen Gegebenheiten nicht bzw. nur einschränkend für Seen die noch aktiv ausgeküstet werden bzw. in die noch Spülsand eingetragen wird. Durch die mineralische Trübung ist bereits vorhandene submerse Vegetation zumeist eingeschränkt und somit anhand der klassischen trophischen Herleitung keine Untere Makrophytengrenze berechenbar. Aus diesem Grund greifen hier keine erweiterten Vorgaben als ausschließlich die des § 36 Abs. 3 WHG (Bedeckung der Gewässerfläche bis 15 Prozent / Abstand der Solaranlage zum Ufer mindestens 40 Meter).

Der Bau und Betrieb von FPV ist grundsätzlich genehmigungspflichtig. Grundlage sind die jeweiligen Landesbauordnungen sowie das WHG § 36 oder § 8 in Verbindung mit den Landeswassergesetzen (Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern; wasserrechtliche Erlaubnis zur Benutzung eines Gewässers).

In Zusammenhang mit den Genehmigungsverfahren wird empfohlen unter anderem folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Nach einem Urteil des Europäischen Gerichtshofes zur Weservertiefung (EUGH 2015) sind die Auswirkungen von Neuvorhaben auf Gewässer im Hinblick auf die Zielerreichung der EG-WRRL zu prüfen und zu dokumentieren. Für die Errichtung einer FPV-Anlage sollte ein Fachbeitrag WRRL als Bestandteil des wasserrechtlichen Genehmigungsverfahrens erarbeitet werden.
- Nach Stilllegung bzw. Außerbetriebnahme der FPV 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 in der wasserrechtlichen Genehmigung geregelt sein.
- Durch die Fachbehörden der Länder werden in vielen Fällen Messnetze zur Überwachung der Wasserqualität in Seen betrieben. Zu diesem Zweck wurden in der Regel Dauer-Messstellen eingerichtet. Im Zuge der Planung von FPV-Anlagen sollte sichergestellt werden, dass die Bootseinsatzstellen und Zuwegungen im Uferbereich erhalten bleiben. Die Monitoring-Messstellen auf dem See dürfen nicht überbaut werden. Ein ausreichend bemessener Sicherheitsabstand muss eingehalten werden.
- Für den Fall einer Havarie/Zerstörung, z.B. nach Abreißen der Verankerung bei Sturm und Auflaufen der Anlage im Röhrichtgürtel oder Versinken sowie Brände, sind Notfallpläne zu erstellen.
- Zuleitungen und Bauten in der Flachwasserzone sollten so gestaltet werden, dass Beeinträchtigungen der Fischhabitate zur Vermehrung und für den Jungfischaufwuchs ausgeschlossen sowie Nährstofffreisetzungen aus dem Litoralsediment vermieden werden.
- Gewässerschädliche Materialien/Stoffe sind nicht zu verwenden. Bei fehlenden Daten zur Freisetzung und zur Wirkung sind entsprechende Studien vorzunehmen. Der Einsatz von High Density Polyethylen sowie die Anwendung von speziellen Stahlzink-Beschichtungsverfahren für Anlagenteile können die Einträge in den Wasserkörper langfristig minimieren. Die Wartung und Reinigung der Module muss 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.
- Beim Umsetzen von Anlagen(teilen) sollte darauf geachtet werden, dass invasive Arten nicht in davon noch unbesiedelte Gewässer verschleppt werden.

Auf weitere Nutzungen mit einem möglichen Konfliktpotenzial wird verwiesen, z.B. Berufsfischerei, Wassersport und Erholung. Das betrifft auch wasserwirtschaftliche Funktionen der Seen. Bei Talsperren ist u. U. die Anlagensicherheit im Hochwasserfall gefährdet. Die FPV-Anlagen können zu einer Verklausung der Hochwasserentlastung, zur Beschädigung der Betriebseinrichtungen und im Extremfall zum Überströmen der Krone und zum Anlagenversagen führen. Auch im Unterlauf von Talsperren kann der Hochwasserschutz gefährdet werden. Auf Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen, ist das Errichten derartiger Anlagen lt. Trinkwasserverordnung ausgeschlossen.

4 Fachliche Hinweise zum Monitoring

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. Das Monitoring sollte sich in 2 Untersuchungsphasen gliedern:

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

Sollten bereits aktuelle detaillierte Untersuchungsergebnisse über den betroffenen See vorliegen, welche nicht länger als drei Jahre zurückliegen, können diese zur Beurteilung des Ist-Zustandes herangezogen werden. In diesem Falle sind in den folgenden zwei Jahren die potenziellen Effekte mit installierter FPV-Anlage zu untersuchen. Grundsätzlich sollten zur Beurteilung der Auswirkungen neben aktuellen weitere, auch ältere Untersuchungsergebnisse einbezogen werden.

Um für die fachliche Beurteilung sekundäre Effekte auf den See auszuschließen, sollten zwischen den beiden Untersuchungsphasen keine wesentlichen sonstigen Änderungen am See (Bewirtschaftung, Hochwasserereignisse, Einträge etc.) stattgefunden haben.

Falls eine Zuordnung zu einem Gewässertyp nach EG-WRRL möglich ist, sollte auf der Grundlage der biologischen Qualitätskomponenten Phytoplankton und Makrophyten / Diatomeen zusätzlich eine Bewertung des ökologischen Zustandes/Potenzials erfolgen.

Tab. 1: Zu erfassende Parameter und Methoden bei der Prüfung der Auswirkungen einer FPV-Anlage auf ein Gewässer

	Parameter	Methode
1	Wassertemperatur + Schichtungsverhalten	Temperaturlogger (div. Tiefen, mind. 3)
2	Sauerstoffversorgung	Vorzugsweise: monatliche Erfassung des Sauerstoffprofils über die gesamte Wassersäule alternativ: O ₂ -Logger grundnah
3	pH-Wert, Leitfähigkeit	monatliche Erfassung der Vor-Ort-Parameter idealerweise Profile über die gesamte Wassersäule oder Gütemessboje (evtl. mit Chl a- + Cyano-Sensor)
4	Lichtverhältnisse	Secchi-Scheibe (alternativ: Licht-Sensoren)
5	Windgeschwindigkeit	Meteostation mit Datenlogger auf der FPV / Gütemessboje
6	Chlorophyllgehalt	Chl a-Messung nach DIN, mind. 6 Messungen pro Saison (März-Oktober)
7	Phytoplankton	Phytoplankton, mind. 6 Messungen pro Saison (März-Oktober)
8	Zooplankton	Zooplankton, mind. 6 Messungen pro Saison
9	Nährstoffkonzentrationen insbesondere Phosphor	Im Epilimnion (6 Messungen) und grundnah (P-Rücklösung)
10	Makrophyten/Phytobenthos	vollflächige Makrophyten-Kartierung nach /3/ und Transektbewertung nach Phylib /4/ im Jahr vor und drei Jahre nach Errichtung der Anlage

Das vom BMWi geförderte und vom Fraunhofer ISE und der BTU Cottbus bearbeitete Projekt „PV2Float“ beschäftigt sich aktuell mit der Wirtschaftlichkeit, den ökologischen Auswirkungen, den Potenzialen und der Akzeptanz von schwimmenden Photovoltaikanlagen auf künstlichen Gewässern in Deutschland (Projektsteckbrief unter /5/). Es wäre wünschenswert, wenn die oben genannten Vorschläge im Projekt aufgenommen, geprüft und abschließend geeignete Monitoringempfehlungen formuliert werden.

Es wird ausdrücklich empfohlen, die in diesem Papier zusammengestellten fachlichen Hinweise bei der Anlagenplanung- und der Genehmigung zu berücksichtigen.

5 Literatur

/1/ <https://www.pv-magazine.de/2021/08/06/fuer-100-prozent-erneuerbare-und-klimaneutralitaet-braucht-deutschland-bis-zu-446-gigawatt-photovoltaik/>

/2/ NIXDORF, B., HOEHN, E., RIEDMÜLLER, U., MISCHKE, U. & I. SCHÖNFELDER (2010): Probenahme und Analyse des Phytoplanktons in Seen und Flüssen zur ökologischen Bewertung gemäß der EU-WRRL. In: Handbuch angewandte Limnologie – 27. Erg.Lf. 4/10

/3/ 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: 20-22

/4/ SCHAUMBURG, J., SCHRANZ, C., STELZER, D., VOGEL, A., (2015): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos – Phylib. Stand Februar 2014. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Im Auftrag der LAWA (Projekt Nr. O 10.10), 137 S., Augsburg/Wielenbach

/5/ <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv2float.html>

Anlagen

Anlage 1: Potenzielle untere Makrophytengrenze – unbeschattete Mindesttiefe

Bis zur Tiefe der potenziellen unteren Makrophytengrenze sollte der Seegrund bei der Errichtung von FPV-Anlagen mindestens unbeschattet bleiben. Die Angaben stellen einen Richtwert dar, der im Einzelfall anhand von Makrophytenuntersuchungen zu überprüfen ist.

Gewässertyp bzw. Phytoplankton-Subtyp	Bezeichnung	Unbeschattete Mindesttiefe (m)
4	Geschichteter Alpensee	17,5
7, 9	Geschichtete Mittelgebirgsseen mit relativ kleinem Einzugsgebiet	15
5, 8	Geschichtete Mittelgebirgsseen mit relativ großem Einzugsgebiet	13,75
13	Geschichteter Tieflandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	13,75
1, 2, 3	Alpenvorlandseen	12,5
10.1	Geschichteter Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet, VQ < 15	12,5
10.2	Geschichteter Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet, VQ > 15	10
14	Polymiktischer Tieflandsee mit relativ kleinem Einzugsgebiet	10
6.1	Polymiktischer Mittelgebirgssee mit relativ kleinem Einzugsgebiet, VTQ < 2	8,75
6.2	Polymiktischer Mittelgebirgssee mit mäßig großem Einzugsgebiet, VTQ > 2, < 6	7,5
11	Polymiktischer Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet	7,5
6.3	Polymiktischer Mittelgebirgssee mit relativ großem Einzugsgebiet, VTQ > 6	6,25
12	Flusssee im Tiefland	6,25

Anlage 2: Gewässer, die zu den besonders geschützten FFH-Lebensraumtypen zählen

- Oligotrophe Stillgewässer des Flach- und Hügellandes mit Vegetation der Littorelletalia uniflorae (In Deutschland kommt dieser Seentyp fast ausschließlich im nordwestdeutschen Tiefland z. B. auf armen Sandböden in Heidegebieten der Staader 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