

Überblick, Potenziale und Entwicklungsmöglichkeiten von Floating-Photovoltaik-Anlagen in Deutschland

Overview, potential and development opportunities for floating photovoltaic systems in Germany

Thomas Wachter und Benjamin Bleyhl

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der technischen und genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen wird im vorliegenden Beitrag das aktuelle Potenzial für schwimmende Solaranlagen bzw. Floating-Photovoltaik(PV)-Anlagen in Deutschland abgeschätzt und diskutiert, welche Möglichkeiten zu dessen Ausweitung bestehen. § 36 Abs. 3 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) beschränkt die Nutzung von Floating-PV-Anlagen auf künstliche oder erheblich veränderte Gewässer, auf eine maximale Bedeckung von 15 % der Wasseroberfläche und einen Uferabstand von mindestens 40 m. Mithilfe eines geographischen Informationssystems (GIS) wurde im Rahmen eines vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) betreuten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ein Potenzial für Floating-PV-Anlagen in Deutschland von 8,9 Gigawattpeak (GW_p) ermittelt. Da dieses Ergebnis auf bestimmten technischen und genehmigungsrechtlichen Setzungen beruht, ist es als Richtgröße und nicht als fester Wert zu verstehen. In Hinblick auf eine Erhöhung des nutzbaren Potenzials wird diskutiert, dass die genehmigungsrechtlichen Kriterien erst verändert werden sollten, wenn mehr belastbares Wissen über die Umweltauswirkungen von Floating-PV-Anlagen vorliegt und dabei auch die Gesamtentwicklung der Solarenergie in Deutschland einbezogen wird.

Floating-PV-Anlagen – Solarenergie – Photovoltaik – Potenzial – Umweltauswirkung – Wasserrahmenrichtlinie – erneuerbare Energie

Abstract

With due regard to both technical conditions and the requirements established by statutory permitting procedures, the article assesses the current potential for floating photovoltaic (PV) systems in Germany and discusses the options for expanding this potential. Section 36 para 3 of the German Federal Water Resources Act (WHG) restricts the use of floating PV systems to artificial or heavily modified water bodies, to a maximum coverage of 15 % of the water surface and a distance of at least 40 m from the shore. Applying a geographical information system (GIS), a research and development project supervised by the German Federal Agency for Nature Conservation (BfN) determined a potential for floating PV systems in Germany of 8.9 gigawatt peak (GW_p). As this finding is based on certain technical and permission-law requirements, it should be seen as indicative, not as an exact number. With regard to increasing the usable potential, the article sets out that the permission criteria should not be changed before more robust knowledge about the environmental impact of floating PV systems is available. Such a process will further need to take account of the overall development of solar energy in Germany.

Floating PV systems – Solar energy – Photovoltaics – Potential – Environmental impact – EU Water Framework Directive – Renewable energy

Double peer-reviewed, Einreichung: 20.6.2024, Annahme: 13.1.2025

DOI: 10.19217/NuL2025-04-01

1 Einleitung

Beim Ausbau der erneuerbaren Energien kommt der Solarenergie in Deutschland eine Schlüsselrolle zu. Nach § 4 Nr. 3 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2023 sollen Solaranlagen auf 215 Gigawatt (GW) im Jahr 2030 und auf 400 GW im Jahr 2040 ausgebaut werden. Im Jahr 2023 wurden 14,5 GW Solarkapazitäten errichtet, davon rund 4,8 GW in der freien Landschaft, sodass mittlerweile bundesweit rund 25 GW Leistung an Photovoltaik(PV)-Freiflächenanlagen installiert sind (unveröffentlichte Auswertungen des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg – ZSW im Jahr 2024 auf Basis des Marktstammdatenregisters).

Eine Sonderrolle kommt hier den schwimmenden Solaranlagen (Floating-PV-Anlagen) zu. Während Freiflächenanlagen üblicherweise an Land installiert sind, werden Floating-PV-Anlagen auf Binnen- und Küstengewässern oder auch auf dem Meer errichtet (siehe Abb. 1, S. 134). Im Jahr 2021, als die Förderung der Nutzung von Gewässerflächen für Floating-PV-Anlagen über das EEG startete, lag die weltweit installierte Leistung schwimmender Solaranlagen bei ca.

2,6 GW (Fraunhofer ISE 2024). Im Juni 2023 waren es nach eigenen Auswertungen ca. 3,5 GW – davon entfallen etwa 11 % auf den europäischen Markt, wohingegen Asien mit ca. 88 % das Marktgeschehen dominiert. Die größten europäischen Anlagen befinden sich in den Niederlanden mit Leistungen von 25 – 30 MW (Solarserver 2021).

In Deutschland wurde 2019 bei Renchen die erste schwimmende Solaranlage auf einem Baggersee in Betrieb genommen. Bis Juli 2023 waren hierzulande zehn Floating-PV-Anlagen in Betrieb, weitere waren geplant und bereits genehmigt waren eine Anlage auf dem Philippsee bei Bad Schönborn (15 MW) und eine Anlage auf dem künftigen Cottbuser Ostsee (21 MW). Die Leistung der betriebenen und genehmigten Anlagen betrug insgesamt 48,2 MW.

Der in Deutschland relativ geringe Anlagenbestand ist zum einen auf höhere Investitionskosten gegenüber landbasierten Anlagen zurückzuführen, zum anderen auf die bisher begrenzte Förderung im EEG 2021 und die Regelungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG). Seit Januar 2023 darf nach § 36 Abs. 3 WHG eine Solaranlage 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 m beträgt.“ Nach § 37 Abs. 1 Nr. 2 Buchstabe j) und § 48 Abs. 1 Nr. 4 EEG 2023 sind schwimmende Solaranlagen nur vergütungsfähig, wenn die Anforderungen des WHG erfüllt sind.

Der Gesetzgeber entspricht damit dem bisherigen Leitgedanken des EEG, vorrangig bereits umweltseitig beeinträchtigte oder vorbelastete Standorte für die Solarstromerzeugung vorzusehen. In dem Gesetzesentwurf zum EEG 2023 wurden die Bestimmungen auch damit begründet, dass die gewässerökologischen Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen derzeit noch weitgehend unbekannt sind (Bundesregierung 2022). Vor diesem Hintergrund hat das Bundesamt für Naturschutz (BfN) das Autorenteam beauftragt, im Rahmen des vom BfN betreuten Forschungs- und Entwicklungsvorhabens „Zukünftige Solar-Anlagen: Technologien, Auswirkungen, räumliche Steuerungsmöglichkeiten“, auch einen Überblick über diesen Anlagentyp zu geben (Günnewig et al. 2024).

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Vorhabens vorgestellt. In Abschnitt 2 wird kurz auf die möglichen Auswirkungen schwimmender Solaranlagen auf Gewässer sowie Natur und Landschaft auf der Basis bereits vorliegender Erkenntnisse eingegangen. In Abschnitt 3 werden mögliche Flächenpotenziale in Deutschland diskutiert. In Abschnitt 4, S. 137, folgen Überlegungen zur weiteren Entwicklung von Floating-PV-Anlagen in Deutschland.

2 Übersicht über die Umweltauswirkungen von Floating-PV-Anlagen

Die meisten Veröffentlichungen über die Umweltauswirkungen von Floating-PV-Anlagen basieren auf Hypothesen und Experteneinschätzungen. Vereinzelt wurden empirische Untersuchungen durchgeführt (z. B. de Lima et al. 2021; Ilgen et al. 2023). Unter den gewässerökologischen Auswirkungen kommt der Veränderung abiotischer Standortfaktoren eine zentrale Rolle zu. Indem die Wasseroberfläche durch die schwimmende PV-Anlage überbaut wird, verringert sich die Seefläche, die direkt durch Sonneneinstrahlung und Wind beeinflusst wird. Dadurch hat die Floating-PV-Anlage Auswirkungen auf die chemischen und physikalischen Verhältnisse des Gewässers. Dies kann zu einem verringerten Sauerstoffeintrag führen (de Lima et al. 2021), wodurch ggf. anaerobe Bedingungen geschaffen werden und Methan freigesetzt wird (Exley et al. 2021). Wird die Windgeschwindigkeit verringert, verändert dies ggf. das Schichtungsverhalten von Seen (Ilgen et al. 2023; LAWA 2023). Als Folge kann die Wassertemperatur im Sommer sinken und im Winter steigen, was wiederum die winterliche Eisbedeckung vermindert (Abdelal 2021). Von besonderer Bedeutung ist die Verschattung, die sich ungünstig auf die Standorte von Wasserpflanzen, auf Phytoplankton und die davon abhängigen Nahrungsketten auswirken kann. Durch die Verschattung heizt sich zudem der Wasserkörper weniger stark auf und die Verdunstung nimmt ab (Almeida et al. 2022). Durch die Anlage kann auch die nutzbare Seefläche für Wasservögel, Fledermäuse und Insekten eingeschränkt werden (Horvat et al. 2010; Mehl et al. 2024). Als vorteilhafte Umweltauswirkungen werden die verminderte Inanspruchnahme von Landflächen für PV-Freiflächenanlagen angeführt wie auch die Verminderung der Verdunstung und des Algenwachstums (Fraunhofer ISE 2020; de Lima et al. 2021).



Abb. 1: Floating-Photovoltaik-Anlage in einem Baggersee bei Leimersheim nordwestlich Karlsruhe. (Foto: Erdgas Südwest)

Fig. 1: Floating photovoltaic system in a quarry pond near Leimersheim, northwest of Karlsruhe.

Für belastbare Aussagen über die Umweltauswirkungen großflächiger Floating-PV-Anlagen sind weitere empirische Untersuchungen erforderlich wie auch ein Monitoring bei geplanten Anlagen (LAWA 2023: 5). In diesem Sinne begann Anfang 2021 das Vorhaben „PV2Float“ beim Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE (Fraunhofer ISE 2024), in dessen Rahmen im Jahr 2024 die ersten Maßnahmen umgesetzt wurden. Eine systematische Übersicht zu potenziellen Auswirkungen von Floating-PV-Anlagen sowie bestehenden Forschungsdefiziten veröffentlichten Mehl et al. (2024). In einem Folgevorhaben werden seit August 2024 neben ausgewählten Parametern der Gewässerqualität (z. B. Temperatur, Licht- und Sauerstoffverhältnisse) auch die Auswirkungen auf Artengruppen wie Phyto- und Zooplankton, Vögel und Fledermäuse untersucht (BfN 2024).

3 Flächenpotenziale von Floating-PV-Anlagen auf Seen in Deutschland

Vor dem Hintergrund des beschleunigten Ausbaus der erneuerbaren Energien befindet sich die Genehmigung schwimmender Solaranlagen in einem Spannungsverhältnis zwischen einer möglichst hohen Stromerzeugung und den Anforderungen des Gewässer- und Naturschutzes. In der PV-Strategie des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWK) wird ein maßvolles Nachjustieren der Kriterien des WHG benannt, um die Entwicklung von Floating-PV-Anlagen zu ermöglichen (BMWK 2023: 11). Das BfN formuliert im Positionspapier „Eckpunkte für einen naturverträglichen Ausbau der Solarenergie“ in Bezug auf Floating-PV-Anlagen, dass die Regelungen zum Schutz von Ufer- und Flachwasserbereichen sowie zur maximal nutzbaren Gewässerfläche pro Gewässer weiterentwickelt werden sollten (BfN 2022: 8). Hierfür ist v. a. mehr Wissen zu den ökologischen Auswirkungen erforderlich, es müssen aber auch die zur Verfügung stehenden Flächen- und Leistungspotenziale für Floating-PV-Anlagen in Deutschland bekannt sein.

3.1 Vorgehensweise und Ergebnisse

Mithilfe einer Auswertung durch ein geographisches Informationssystem (GIS) wurde im BfN-Vorhaben untersucht, welche technisch und rechtlich nutzbaren Potenziale an Fläche und Leistung für schwimmende Solaranlagen vorhanden sind. Hierfür wurde das theoretisch verfügbare Flächenpotenzial ermittelt (1. Schritt) und suk-

Tab. 1: Flächenpotenziale von Seen in Deutschland für Floating-Photovoltaik-Anlagen (nur Seen ≥ 0,05 km²), unterschieden nach Daten von BfG (2023) und BKG (2023).

Table 1: Area potential of lakes in Germany for floating photovoltaic systems (only lakes ≥ 0.05 km²), differentiated according to data from BfG (2023) and BKG (2023).

	Lake-Water-Body-Datensatz (BfG 2023, nur Deutschland)	DLM250-Datensatz (BKG 2023)
Anzahl der Seen	738	8.431
Gesamtseefläche	2.215 km²	3.492 km²
Durchschnittliche Seefläche	3,00 km²	0,41 km²
Anteil der Seeflächen an der Landesfläche Deutschlands	0,62 %	0,98 %
DLM250 = Digitales Landschaftsmodell 1 : 250.000		

zessive um die natürlichen Seen (2. Schritt), um bestimmte Schutzgebiete nach Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) (3. Schritt) und um Überschwemmungsgebiete (4. Schritt) verringert. Anschließend wurden – entsprechend § 36 Abs.3 WHG – 15 % der verbleibenden Seeflächen als Potenzial abgeleitet (5. Schritt); alternativ wurde auch ein Szenario von 25 % Bedeckungsgrad der Seen mit Floating-PV-Anlagen angenommen.

Der Mindestabstand von 40 m zum Ufer wurde nicht angewandt, weil sich der Bedeckungsgrad von 15 % in der Regel stärker auf die verfügbare Fläche auswirkt. Im Falle eines kreisrunden Sees ≤ 1,3 ha drehen sich die Verhältnisse um: Bei 1,3 ha unterschreitet bei 40 m Uferabstand die für Floating-PV-Anlagen verfügbare Fläche von 0,187 ha die von 0,195 ha alleine bei Anwendung des 15 %-Bedeckungsgrades. Insbesondere bei langgestreckten, sehr schmalen Seen liegt der genannte „Grenzwert“ von 1,3 ha deutlich höher.

1. Schritt: Theoretisch verfügbares Flächenpotenzial für Floating-PV-Anlagen

Nach dem Bericht „Die Wasserrahmenrichtlinie. Gewässer in Deutschland 2021“ gibt es in Deutschland 738 Seen mit einer Fläche von 2.423 km² (BMUV, UBA 2022: 21). Die Daten werden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG 2023) als Lake-Water-Body-Datensatz bereitgestellt und wurden für die Berichterstattung Deutschlands zur Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) an die EU-Kommission verwendet. Aus diesem Grund unterscheidet der Datensatz natürliche, erheblich veränderte und künstliche Wasserkörper voneinander und beinhaltet bis auf acht Seen nur solche, die eine Mindestfläche von 0,5 km² aufweisen. Floating-PV-Anlagen werden gegenwärtig in Deutschland jedoch v.a. auf Seen installiert, die nicht der Berichtspflicht an die EU unterliegen und häufig kleiner als 0,5 km² sind. Daher wurde ergänzend der Datensatz des Digitalen Landschaftsmodells 1 : 250.000 (DLM250) des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG 2023) herangezogen. Dieser Datensatz weist keine Größenbeschränkung auf, unterscheidet

aber nicht nach natürlichen, erheblich veränderten und künstlichen Seen.

Der DLM250-Datensatz umfasst für Deutschland 14.642 Seen und Standgewässer mit 3.693 km². Werden nur Gewässer mit mind. 0,05 km² bzw. 5 ha verwendet, ergeben sich 8.431 Seen mit einer Fläche von 3.492 km² (für genauere Ausführungen siehe BfN 2024). Kleinere Gewässer wurden nicht berücksichtigt, weil dort unter den rechtlichen Rahmenbedingungen der wirtschaftliche Betrieb einer Anlage aller Voraussicht nach nicht möglich ist. Demnach umfasst das Flächenpotenzial für Floating-PV-Anlagen 738 Seen mit 2.215 km² Gesamtoberfläche (Lake-Water-Body-Datensatz für Deutschland; der Bodensee wird hierbei nur anteilig berücksichtigt) bzw. 8.431 Seen mit 3.492 km² Gesamtoberfläche (DLM250-Datensatz) (siehe Tab. 1). Beim DLM250-Datensatz stehen 7.693 Seen mit 1.277 km² Oberfläche mehr zur Verfügung als beim Lake-Water-Body-Datensatz, der v. a. die nicht berichtspflichtigen Kleingewässer zwischen 0,05 und 0,5 km² umfasst.

Bei dieser Auswertung ist zu berücksichtigen, dass es nach einer aktuellen Erfassung des Umweltbundesamtes (UBA) in Deutschland mehr als 300.000 stehende Gewässer mit einer Gesamtfläche von 4.200 km² gibt (UBA 2024). Der Unterschied zu dieser Studie dürfte sich aus den verwendeten Datensätzen und dem Einbezug von Kleinstgewässern erklären.

2. Schritt: Ausschluss der natürlichen Seen

Um nach § 36 Abs.3 Nr.1 WHG die nicht natürlichen Gewässer zu identifizieren, wurde der Lake-Water-Body-Datensatz verwendet, da er diese Information beinhaltet. Im Ergebnis verbleiben von 738 Seen 218 erheblich veränderte und künstliche Seen mit einem Flächenpotenzial von 405,3 km² (siehe Tab. 2). Werden diese den 520 natürlichen Seen mit 1.810 km² Gesamtoberfläche gegenübergestellt, ergibt sich ein Ausschluss von ca. 78 % der Seeoberfläche Deutschlands für Floating-PV-Anlagen. Der Ausschluss natürlicher Seen mit einer Fläche kleiner 0,5 km² erfolgte über eine Abschätzung zum DLM250-Datensatz (5. Schritt).

Tab. 2: Abschätzung des nutzbaren Potenzials der nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) berichtspflichtigen Seen für Floating-Photovoltaik-Anlagen in Deutschland nach Lake-Water-Body-Datensatz (BfG 2023) differenziert nach Kategorien des Wasser- und Naturschutzrechts.

Table 2: Estimation of the usable potential of lakes subject to reporting under the European Union Water Framework Directive (WFD) for floating photovoltaic systems in Germany based on data of the Lake Water Body dataset (BfG 2023) differentiated according to categories of water and nature conservation law.

		Bedeckungsgrad der Seen mit Floating-PV-Anlagen					
		100 %		15 % (WHG)		25 % (erweitertes Szenario)	
		Fläche [km²]	Leistung [GW _p]	Fläche [km²]	Leistung [GW _p]	Fläche [km²]	Leistung [GW _p]
Potenzial der nach WRRL berichtspflichtigen Seen	Anzahl Seen						
Gesamt	738	2.215,4	310,1	332,3	46,5	553,7	77,5
Potenzial ohne natürliche Seen (WHG)	218	405,3	56,7	60,8	8,5	101,2	14,1
Potenzial ohne natürliche Seen (WHG), ohne Seen in Nationalparks, Naturschutzgebieten, Nationalen Naturmonumenten und Überschwemmungsgebieten, mit Abzug eines Drittels der Fläche der Seen in weiteren Schutzgebietskategorien*	173	191,0	26,7	28,7	4,0	47,8	6,6

GW_p = Gigawattpeak, PV = Photovoltaik, WHG = Wasserhaushaltsgesetz
* Biosphärenreservate, Landschaftsschutzgebiete, Fauna-Flora-Habitat-Gebiete, Vogelschutzgebiete und Ramsar-Gebiete

Tab. 3: Abschätzung des nutzbaren Potenzials von Seen für Floating-Photovoltaik-Anlagen in Deutschland, unterschieden nach Seen, die nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) berichtspflichtig sind, und nach Seen, die nach WRRL nicht berichtspflichtig sind.

Table 3: Estimation of the usable potential of lakes for floating photovoltaic systems in Germany, differentiated according to lakes subject to reporting under the Water Framework Directive (WFD) and lakes not subject to reporting under the WFD.

Potenzial*	Bedeckungsgrad der Seen mit Floating-PV-Anlagen					
	100 %		15 % (WHG)		25 % (erweitertes Szenario)	
	Fläche [km²]	Leistung [GW _p]	Fläche [km²]	Leistung [GW _p]	Fläche [km²]	Leistung [GW _p]
Nach WRRL berichtspflichtige Seen	191,0	26,7	28,7	4,0	47,8	6,6
Nach WRRL nicht berichtspflichtige Seen	233,0	32,6	35,0	4,9	58,2	8,1
Summe	424,0	59,3	63,7	8,9	106,0	14,7

GW_p = Gigawattpeak, PV = Photovoltaik, WHG = Wasserhaushaltsgesetz

* Potenzial jeweils ohne natürliche Seen nach § 36 Abs. 3 Wasserhaushaltsgesetz – WHG, ohne Seen in Nationalparks, Naturschutzgebieten, Nationalen Naturmonumenten, Überschwemmungsgebieten und mit Abzug eines Drittels der Fläche der Seen in weiteren Schutzgebietskategorien (Biosphärenreservate, Landschaftsschutzgebiete, Fauna-Flora-Habitat-Gebiete, Vogelschutzgebiete und Ramsar-Gebiete)

3. Schritt: Ausschluss ausgewählter Schutzgebiete

Als weiteres Kriterium für die Standortwahl einer Floating-PV-Anlage wurde untersucht, ob ein See ganz oder teilweise als Schutzgebiet nach § 23 ff. BNatSchG ausgewiesen ist. Als Kategorien wurden Naturschutzgebiete (NSG), Nationalparke (NLP) und Nationale Naturmonumente (NNM), Biosphärenreservate (BR; Kern- und Pflegezone), Landschaftsschutzgebiete (LSG), Fauna-Flora-Habitat-Gebiete (FFH-Gebiete), Vogelschutzgebiete (Special Protection Areas – SPA) sowie Feuchtgebiete internationaler Bedeutung (Ramsar-Gebiete) ausgewählt und in unterschiedlichem Umfang als Restriktion gesetzt. Während die ersten drei Schutzgebietskategorien als Tabuflächen gewertet wurden, ermöglicht die Prüfung der spezifischen Verbotstatbestände für FFH-Gebiete, SPA, Ramsar-Gebiete, BR und LSG vielfach eine Zulassung von Vorhaben. Daher wurde zur späteren Berechnung des technisch und rechtlich nutzbaren Potenzials angenommen, dass bei diesen Schutzgebieten Zweidrittel der Seefläche für die Nutzung von Floating-PV-Anlagen zur Verfügung steht (siehe Tab. 2, S. 135). Es handelt sich um einen fiktiven Wert, der auf der persönlichen Einschätzung der Forschungsnehmerinnen und -nehmer beruht, da deutschlandweite Daten zur Genehmigung von Vorhaben in den betreffenden Schutzgebieten nicht vorlagen.

4. Schritt: Ausschluss von Überschwemmungsgebieten

Als weiteres Ausschlusskriterium wurde in Hinblick auf das technisch und rechtlich nutzbare Potenzial das Kriterium Überschwemmungsgebiete verwendet. Hier lautete die Annahme, dass in diesen Gebieten aus Sicherheitsgründen keine schwimmenden Solaranlagen installiert werden. Bei Überflutung könnten die Anlagen durch Treibgut beschädigt werden. Dies betrifft 83 Seen mit einer Seeoberfläche von zusammen 127 km² (Lake-Water-Body-Datensatz). Somit verbleiben 689 Seen mit 2.088 km² als Potenzial für Floating-PV-Anlagen außerhalb von Überschwemmungsgebieten.

5. Schritt: Ableitung des technisch und rechtlich nutzbaren energetischen Potenzials von Seen für Floating-PV-Anlagen

Das technisch und rechtlich nutzbare Flächenpotenzial von Seen für schwimmende Solaranlagen in Deutschland ergibt sich rechnerisch durch eine sukzessive Verringerung der Gesamtseefläche um die oben genannten Kategorien und – entsprechend den Vorgaben des § 36 WHG – durch die Ermittlung von 15 % der verbleibenden Fläche der einzelnen Seen. Anschließend wurde das energetische Potenzial der Anlagen in Mega- bzw. Gigawattpeak (MW_p/GW_p) berechnet. Hierfür wurde angesetzt, dass 1 ha Seefläche eine Leistung von 1,4 MW_p erzeugt. Dieser Wert ergibt sich als flächenspezifischer Mittelwert der Leistungen bereits realisierter oder in Planung befindlicher Anlagen in Deutschland (Günnewig et al. 2024: 99). Um

den Einfluss einer erhöhten Flächenbedeckung auf das Potenzial einschätzen zu können, wurde auch ein erweitertes Szenario mit 25 % Bedeckungsgrad verwendet.

Tab. 2, S. 135, zeigt die Vorgehensweise für berichtspflichtige Seen. Während die 738 berichtspflichtigen Seen ein maximales Leistungspotenzial von 310,1 GW_p aufweisen, reduziert sich das Leistungspotenzial nach Ausschluss aller natürlichen Seen auf 56,7 GW_p. Werden 15 % der verbleibenden Seeflächen für die Bedeckung durch Floating-PV-Anlagen angerechnet, ergibt dies ein Leistungspotenzial von 8,5 GW_p. Bei Bedeckung von 25 % der Seeflächen resultiert ein Leistungspotenzial von 14,1 GW_p. Wenn zusätzlich zu den natürlichen Seen auch die Bereiche ausgeschlossen werden, die als NLP, NSG oder NNM ausgewiesen sind, und wenn für FFH-Gebiete, SPA, Ramsar-Gebiete, BR und LSG pauschal ein Drittel der verbleibenden Seefläche aufgrund von Restriktionen bei der Zulassung als nicht nutzbar eingestuft wird, vermindert sich die verfügbare Fläche auf 191,0 km². Daraus ergibt sich bei Anrechnung von 15 % Bedeckungsgrad ein wirtschaftlich nutzbares Leistungspotenzial von 4,0 GW_p für schwimmende Solaranlagen auf berichtspflichtigen Seen. Das erweiterte 25 %-Bedeckungsszenario für Seen ergibt ein Potenzial in Höhe von 6,6 GW_p (siehe Tab. 2, S. 135).

Im nächsten Schritt wurden die ergänzend mit dem DLM250-Datensatz ermittelten Seen kleiner 0,5 km² hinzugenommen und deren Potenzial berechnet. Da diese Daten keine Information zur menschlichen Beeinflussung enthalten, wurde der Anteil der natürlichen Seen mit 50 % eingeschätzt. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die nicht berichtspflichtigen Seen deutlich mehr künstliche Tagebau- und Baggerseen enthalten als die berichtspflichtigen Seen.

Das insgesamt nutzbare Leistungspotenzial der Seen für Floating-PV-Anlagen ergibt sich durch Addition der Werte des Leistungspotenzials der berichtspflichtigen und der nicht berichtspflichtigen Seen. Die Auswertung kommt zu dem Ergebnis, dass unter Berücksichtigung der Vorgaben des § 36 Abs. 3 Nr. 2 lit. a) WHG mit 15 % Bedeckung der Seen ein technisch und rechtlich nutzbares Leistungspotenzial von 8,9 GW_p für Floating-PV-Anlagen auf deutschen Seen existiert (siehe Tab. 3). Ein erweitertes Bedeckungsszenario von 25 % der Seeoberfläche ergibt ein Potenzial von 14,7 GW_p. Mitte 2023 betrug die Leistung der installierten und genehmigten Floating-PV-Anlagen 48,2 MW_p und damit 0,54 % des errechneten Potenzials gemäß § 36 WHG.

Die genannte Vorgehensweise ist mit einer Studie von Wirth et al. (2021) vergleichbar. Dort wurde für künstliche Seen in Deutschland ein Leistungspotenzial von 44 GW_p ermittelt, während sich in der Berechnung der vorliegenden Studie für künstliche und erheblich veränderte Seen bei Nutzung von 100 % der Fläche 59,3 GW_p ergeben.

Wird das aktuelle 15 %-Potenzial von 8,9 GW_p für Floating-PV-Anlagen in Relation zu dem geplanten Ausbau der PV-Freiflächenanlagen mit 200 GW_p im Jahr 2040 gesetzt, läge der Anteil bei rund 4,5 %. Beim 25 %-Szenario würde der Anteil 14,4 % betragen. Hierbei ist zu beachten, dass das ermittelte „Potenzial“ für Floating-PV-Anlagen in Deutschland auf zwei Datensätzen sowie auf bestimmten technischen und genehmigungsrechtlichen Annahmen beruht. Daher ist

das Potenzial von 8,9 GW_p nicht als exakter Wert zu verstehen, sondern vielmehr als eine Richtgröße, die je nach Variation der Annahmen etwas höher oder niedriger ausfallen kann.

Ein höheres Potenzial von 11,6 GW_p ergibt sich, wenn bspw. Überschwemmungsgebiete nicht per se als Ausschlussgebiete für Floating-PV-Anlagen gewertet werden und wenn eine flächenspezifische Leistung von 1,7 MW_p/ha Seefläche angenommen wird – wie bei der derzeit effektivsten Anlage – anstatt 1,4 MW_p/ha. Umgekehrt ergibt sich ein geringeres Potenzial von 4,3 GW_p, wenn die Annahme getroffen wird, dass der Anteil der natürlichen Seen bei den Seen < 0,5 km² 60 % (anstatt 50 %) beträgt und dass nur ein Drittel (anstatt zwei Drittel) der Seefläche von FFH-Gebieten, SPA, Ramsar-Gebieten, BR und LSG als verfügbar für Floating-PV-Anlagen gilt. Hier zeigt sich zum einen der Einfluss der Genehmigungsverfahren nach Naturschutzrecht auf das Potenzial für Floating-PV-Anlagen in Deutschland, zum anderen der Einfluss der zugrunde gelegten Anzahl und Fläche der natürlichen Seen bundesweit.

4 Überlegungen zur weiteren Entwicklung von Floating-PV-Anlagen in Deutschland

Vor dem Hintergrund der vorhandenen Flächenpotenziale stellt sich die Frage, wie die weitere Entwicklung von Floating-PV-Anlagen in Deutschland aussehen könnte. In Hinblick auf § 36 Abs. 3 WHG werden folgende Ansatzpunkte diskutiert:

- den Mindestabstand der Floating-PV-Anlage zum Ufer zu verringern,
- den ökologischen Zustand bzw. das Potenzial eines Sees bei der Standortfindung zu berücksichtigen und
- die Bedeckung von höchstens 15 % der Wasserfläche für erheblich veränderte und künstliche Gewässer zu erhöhen.

4.1 Verringerung des Mindestabstands der Floating-PV-Anlage zum Ufer

Die Verringerung des Mindestabstands zum Ufer von derzeit 40 m bei gleichzeitiger Begrenzung der Bedeckung von 15 % eignet sich kaum als Einflussgröße zur Ausweitung des Potenzials für Floating-PV-Anlagen. In der Regel wirkt sich der Bedeckungsgrad von 15 % stärker auf die verfügbare Fläche aus (siehe Einleitung in [Abschnitt 3.1](#), S. 134 f.). Es besteht zudem Einigkeit in der naturschutzfachlichen Diskussion, dass der Seegrund mindestens bis zur Tiefe der potenziellen unteren Makrophytengrenze von Floating-PV-Anlagen unbeschattet bleiben muss. Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) empfiehlt, alle flachen Seen, auf deren Gewässergrund potenziell Unterwasservegetation aufwachsen kann, von einer Nutzung für Floating-PV-Anlagen auszuschließen (LAWA 2023: 4).

4.2 Berücksichtigung des ökologischen Zustands bzw. des Potenzials eines Sees

78 % der deutschen Seen des Lake-Water-Body-Datensatzes sind als natürlich eingestuft und damit nach § 36 Abs. 3 WHG von einer Bedeckung durch Floating-PV-Anlagen ausgeschlossen. Das Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE) weist darauf hin, dass es aus fachlicher Sicht wünschenswert wäre, diese Grundannahme zu überprüfen, da auch künstliche Gewässer eine hohe ökologische Bedeutung aufweisen können, während sich natürliche Gewässer in einem schlechten ökologischen Ausgangszustand befinden können (KNE 2022: 4). Tatsächlich bildet die Einstufung des ökologischen Zustands oder Potenzials eines Wasserkörpers nach § 5 Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) die gewässerökologische Wertigkeit besser ab, als es die Einstufung als natürliches, erheblich verändertes oder künstliches Oberflächenge-

wässer nach § 3 WHG vermag. Einer Auswertung des UBA zufolge befanden sich 2021 24,7 % der deutschen Seen in einem sehr guten oder guten ökologischen Zustand/Potenzial und 36,1 % in einem mäßigen Zustand/Potenzial; bei 25,8 % wurden der ökologische Zustand/das ökologische Potenzial als unbefriedigend und bei 9,4 % als schlecht eingestuft ([UBA 2021](#)).

Der Überlegung, natürliche Seen für Floating-PV-Anlagen zu öffnen, wenn sie einen schlechten ökologischen Ausgangszustand aufweisen, steht jedoch das zentrale Ziel der WRRL entgegen: Nach Art. 4 Abs. 1a ii und iii WRRL bzw. § 29 Abs. 3 WHG sollen alle Oberflächengewässer (Flüsse, Seen, Übergangsgewässer, Küstengewässer) und das Grundwasser bis spätestens 2027 in einen guten ökologischen und chemischen Zustand bzw. in ein gutes ökologisches Potenzial überführt werden. Bei einem Wasserkörper in einem mäßigen bis schlechten Zustand müssen daher die Entwicklungsmaßnahmen ausgeweitet und der Schutz vor Beeinträchtigungen muss verstärkt werden, um eine gewässerökologische Verbesserung zu erreichen.

4.3 Bedeckung von mehr als 15 % der Wasserfläche für erheblich veränderte und künstliche Seen

Gemäß der Marktübersicht wird mehr als die Hälfte der Anlagen auf aktiven Baggerseen errichtet und dient größtenteils dem Betrieb der Förderanlagen zum Kiesabbau. Hierbei handelt es sich um künstliche Gewässer, die sich im Entstehungsprozess befinden und in denen sich meist noch keine hochwertige Gewässerfauna und -flora entwickelt hat. Aus diesem Grund wertet die LAWA die Deckung des Strombedarfs der fortlaufenden Abbauarbeiten auf Baggerseen durch Floating-PV-Anlagen als sinnvoll und zeitgemäß, sofern die Anforderungen nach § 36 Abs. 3 WHG eingehalten werden (LAWA 2023: 6).

Handelt es sich bei den künstlichen Seen hingegen um nährstoffarme, klare Gewässer, ist eine Bedeckung bis 15 % durch Floating-PV-Anlagen kritisch zu sehen. In einer Studie des UBA erreichten unter 36 Tagebauseen über die Hälfte ein gutes ökologisches Potenzial ([Nixdorf et al. 2016](#)).

In jedem Fall ist es erforderlich, dass mehr belastbare wissenschaftliche Untersuchungen und ein Monitoring aktiver Anlagen durchgeführt werden. Dann besteht ggf. die Möglichkeit, das Potenzial der Stromerzeugung durch Floating-PV-Anlagen moderat zu erhöhen und gleichzeitig eine gewässer- und naturschutzverträgliche Genehmigung der Anlagen zu gewährleisten.

5 Literatur

- [Abdelal Q. \(2021\)](#): Floating PV; an assessment of water quality and evaporation reduction in semi-arid regions. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 2021(3): 1 – 8. DOI: 10.1093/ijlct/ctab001
- [Almeida R.M., Schmitt R. et al. \(2022\)](#): Floating solar power: Evaluate trade-offs. *Nature* 606(7.913): 246 – 249. DOI: 10.1038/d41586-022-01525-1
- BfG/Bundesanstalt für Gewässerkunde (2023): Datensatz Waterbody-DE. 3. Zyklus (AM_lakeWaterBody_DE). <https://geoportal.bafg.de/inspire/download/AM/waterBodyForWFD/datasetfeed.xml>
- BfN/Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2022): Eckpunkte für einen naturverträglichen Ausbau der Solarenergie. Positionspapier. BfN, Bonn: 13 S.
- BfN/Bundesamt für Naturschutz (2024): Häufig gefragt: Auswirkungen von schwimmenden PV-Anlagen auf Natur und Landschaft. <https://www.bfn.de/haeufig-gefragt-auswirkungen-von-schwimmenden-pv-anlagen-auf-natur-und-landschaft> (aufgerufen am 13.12.2024).
- BKG/Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2023): Digitales Landschaftsmodell 1:250.000 (DLM250, Ebene: gew01_f - Gewässerflächen, Objektart: 44006 AX_StehendesGewasser). <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitales-landschaftsmodell-1-250-000-kompakt-dlm250-kompakt.html>.

- BMUV, UBA/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, Umweltbundesamt (2022): Die Wasserrahmenrichtlinie. Gewässer in Deutschland 2021. Fortschritte und Herausforderungen. BMUV, UBA. Bonn, Dessau-Roßlau: 120 S.
- BMWK/Bundesministerium für Wirtschaft und Klima (Hrsg.) (2023): Photovoltaik-Strategie. Stand 5.5.2023. BMWK. Berlin: 42 S.
- Bundesregierung (2022): Gesetzentwurf der Bundesregierung. Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor. Bundesregierung. Berlin: 322 S.
- De Lima P., Rui L. et al. (2021): In-situ water quality observations under a large-scale floating solar farm using sensors and underwater drones. Sustainability 13(11): e6421. DOI: 10.3390/su13116421
- EEG/Erneuerbare-Energien-Gesetz (2021): Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1.066), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1.353) geändert worden ist.
- EEG/Erneuerbare-Energien-Gesetz (2023): Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1.066), das durch Artikel 6 des Gesetzes vom 20. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2.512) geändert worden ist.
- Exley G., Hernandez R.R. et al. (2021): Scientific and stakeholder evidence-based assessment: Ecosystem response to floating solar photovoltaics and implications for sustainability. Renewable and Sustainable Energy Reviews 152: e111639. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111639
- Fraunhofer ISE/Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (2020): Presseinformation. Fraunhofer ISE analysiert Potenzial für Solarkraftwerke auf Braunkohle-Tagebauseen. 3. Februar 2020. Fraunhofer ISE. Freiburg i. Br.: 3 S.
- Fraunhofer ISE/Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (2024): Herzlich willkommen auf der Website des Forschungsprojekts „PV2Float“! <https://www.pv2float.net/> (aufgerufen am 29.2.2024).
- Günnewig D., Johannwerner E. et al. (2024): Zukünftige Solar-Anlagen: Technologien, Auswirkungen, räumliche Steuerungsmöglichkeiten. Endbericht. BfN-Schriften 712. Bundesamt für Naturschutz. Bonn: 280 S. DOI: 10.19217/skr712
- Horvath G., Egri A. et al. (2010): Reducing the maladaptive attractiveness of solar panels to polarotactic insects. Conservation Biology 24(6): 1.644 – 1.653. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2010.01518.x
- Ilgen K., Schindler D. et al. (2023): The impact of floating photovoltaic power plants on lake water temperature and stratification. Scientific Reports 13(1): e7932. DOI: 10.1038/s41598-023-34751-2
- KNE/Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende gGmbH (2022): Anfrage Nr. 239 zu schwimmenden Solaranlagen („Floating Solar“). Aktualisierung am 28. November 2022. KNE. Berlin: 7 S.
- LAWA/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser – Expertenkreis Seen (2023): Arbeitshilfe für die gewässerökologische Beurteilung von Seen als Standorte für schwimmende Photovoltaikanlagen („FPV-Anlagen“). LAWA: 10 S.
- Mehl D., Mehl C. et al. (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. BfN-Schriften 685. Bundesamt für Naturschutz. Bonn: 164 S. DOI: 10.19217/skr685.
- Nixdorf B., Ramm J. et al. (2016): Übersicht zur ökologischen Situation ausgewählter Tagebauseen des Braunkohlebergbaus in Deutschland. UBA-Texte 68/2016. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau: 57 S.
- Solarserver (2021): Schwimmende Photovoltaik: Baywa baut die größten europäischen Floating-PV-Anlagen. <https://bit.ly/Schwimm-PV-baywa> (aufgerufen am 28.8.2023).
- UBA/Umweltbundesamt (2021): Zustand der Seen. https://bit.ly/UBA_Zustand_Seen (aufgerufen am 6.7.2023).
- UBA/Umweltbundesamt (2024): Zahl des Monats: 300.000. UBA. Dessau-Roßlau: 2 S.
- Wirth H., Kost C. et al. (2021): Solaroffensive für Deutschland. Wie wir mit Sonnenenergie einen Wirtschaftsboom entfesseln und das Klima schützen. Fraunhofer ISE/Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Greenpeace e.V. Hamburg: 62 S.

Förderung und Dank

Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Zukünftige Solar-Anlagen: Technologien, Auswirkungen, räumliche Steuerungsmöglichkeiten“ (FKZ 3521 86 0200) wurde gefördert vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesumweltministeriums (BMUV). Unser Dank gilt den Betreuerinnen und Betreuern des BfN, insbesondere Kathrin Ammermann, Friedhelm Igel und Dr. Katja Bunzel.

Dr. Thomas Wachter
Korrespondierender Autor
Bosch & Partner GmbH
Lortzingstraße 1
30177 Hannover
E-Mail: t.wachter@boschpartner.de



Jahrgang 1963; bis 1992 Studium der Landespflege (Landschaftsökologie) an der Technischen Universität (TU) München-Weihenstephan; bis 1997 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Hamburg-Harburg; 2001 Promotion an der TU Berlin (Wissensmanagement in der Umweltplanung); seit 2002 bei der Bosch & Partner GmbH: Projektbearbeitung in Hinblick auf Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie, Fauna-Flora-Habitat-Verträglichkeitsprüfung, Artenschutzprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung; Forschungsvorhaben zu erneuerbaren Energien, Netzausbau, Naturschutz und Klimawandelanpassung.

Dr. Benjamin Bleyhl
Bosch & Partner GmbH
Kantstraße 63a
10627 Berlin
E-Mail: b.bleyhl@boschpartner.de

Anzeige

Energiewende jetzt!

Wir machen uns für den Ausstieg aus fossilen Energien stark. Bitte unterstützen Sie uns dabei! Geschenk-Urkunde zum selbst Drucken:

www.duh.de/spenden/geschenk

Deutsche Umwelthilfe e.V.

07732 9995-0 | info@duh.de | www.duh.de

umwelthilfe

138

Natur und Landschaft — 100. Jahrgang (2025) — Ausgabe 4