



**NRW.ENERGY
4CLIMATE**

Landesgesellschaft
für Energie und Klimaschutz

Potenziale und Herausforderungen

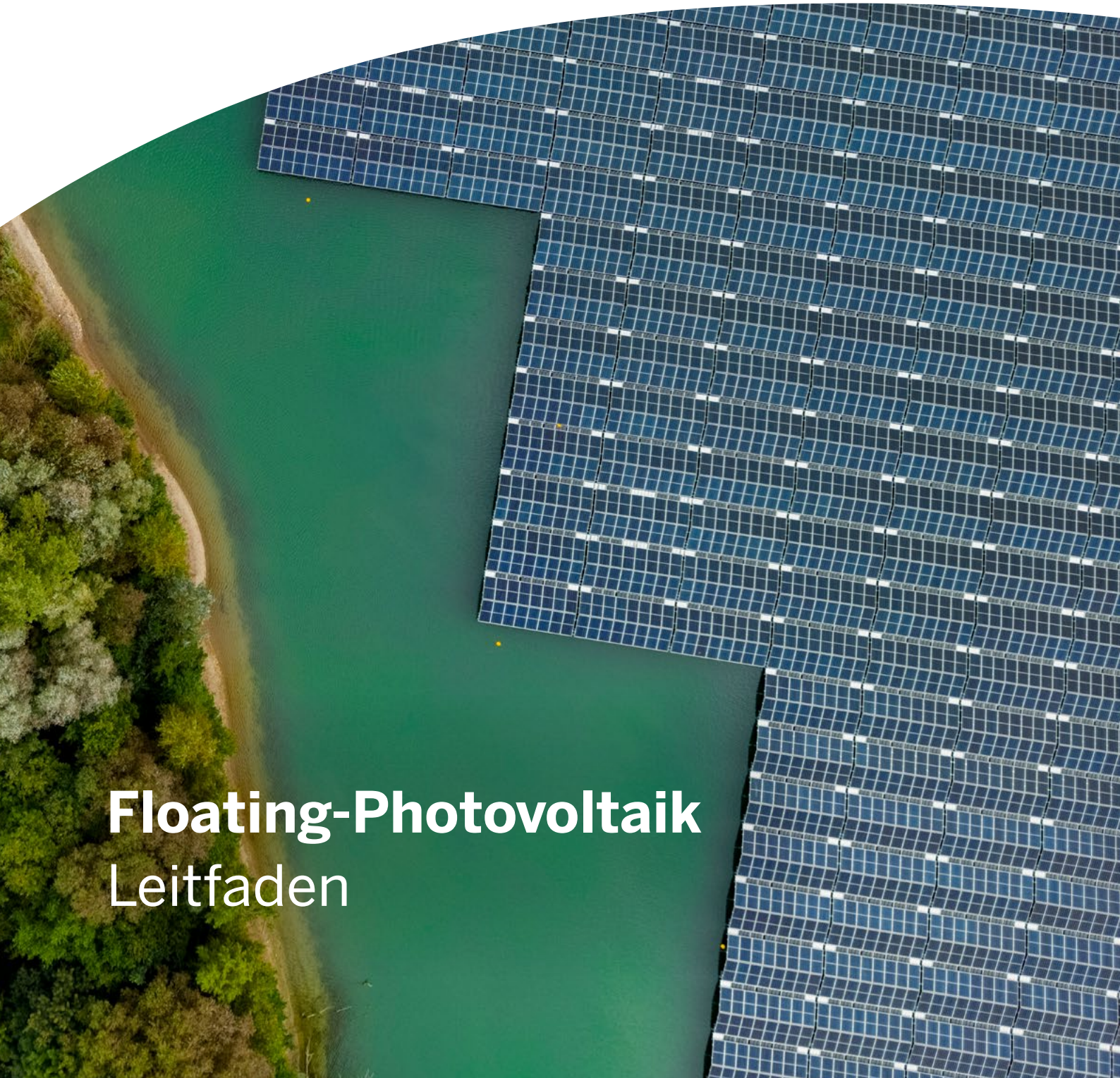
Welche Vorteile und welche Herausforderungen Floating-PV mit sich bringt

Genehmigung und Bau

Was es beim Planungs- und Genehmigungsverfahren zu beachten gilt

Wirtschaftlichkeit und Betrieb

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz, Vergütung, Vermarktung und Betrieb



Floating-Photovoltaik Leitfaden

Inhalt

1 Einleitung 4



2 Potenziale und Herausforderungen 6

3 Genehmigungsrecht und Bauleitplanung 9



4 Förderung und Wirtschaftlichkeit

12



5 Errichtung und Betrieb

15





1 Einleitung

Die Photovoltaik (PV) leistet bereits heute einen wertvollen Beitrag zur klimaneutralen Energieversorgung in Nordrhein-Westfalen. Die Anwendungsfelder sind vielfältig: ob als Freiflächen- oder Dachanlage im Gewerbe oder auf Privathäusern – die Photovoltaik ist für den Strommix unverzichtbar.

PV spielt hier mit seinen flexiblen Möglichkeiten für eine klimaneutrale Energieversorgung eine zentrale Rolle. Die Transformation unseres Energiesystems von fossilen zu Erneuerbaren Energien ist eine der größten Aufgaben unserer Zeit und stellt Nordrhein-Westfalen mit seinen dicht besiedelten Ballungsräumen vor große Herausforderungen. Denn die Flächenverfügbarkeit im Energie- und Industrieland NRW ist begrenzt. Und doch: ohne einen deutlichen Ausbau der Erneuerbaren Energien ist das ehrgeizige Ziel der Klimaneutralität bis zum Jahr 2045 nicht zu erreichen.

Seit einigen Jahren entsteht eine neue Installationsvariante: schwimmende Photovoltaikanlagen, sogenannte Floating-PV (FPV) oder Floating-Solaranlagen. Der Vorteil gegenüber Solaranlagen auf Landflächen ist hierbei, dass mit der Nutzung von Wasserflächen zur Energieerzeugung Flächennutzungskonflikte umgangen werden können.

Seit 2019 die erste kommerzielle Anlage in Deutschland errichtet wurde, nimmt die Anzahl und Größe von schwimmenden PV-Anlagen in Deutschland stetig zu. Deutschlandweit sind bereits Anlagen mit einer Gesamtleistung von knapp fünf Gigawatt (GW) realisiert worden.

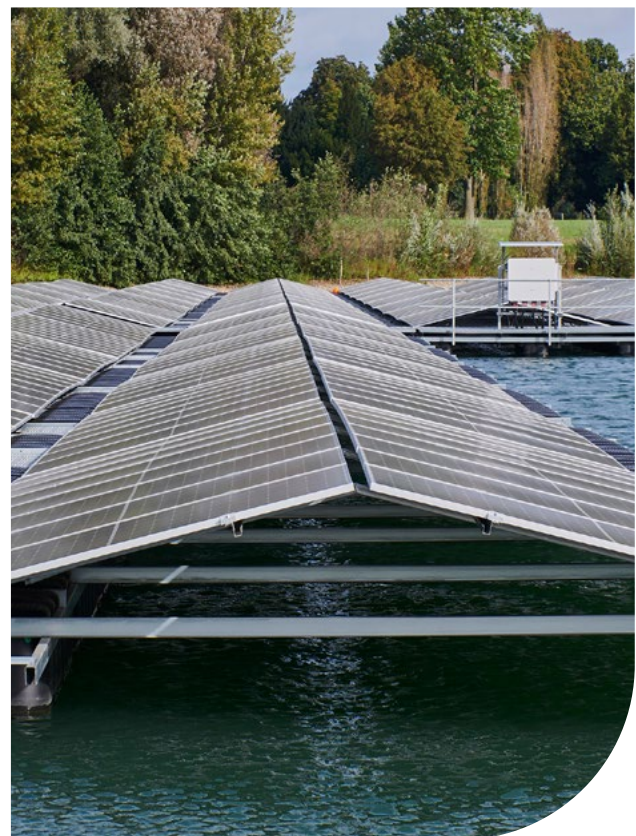
Weltweit befinden sich die größten Anlagen im asiatischen Raum mit installierten Anlagenleistungen bis zu 150 MW. In Europa werden vor allem in den Niederlanden zunehmend größere Parks errichtet.

Die Installation einer Floating-PV-Anlage ist in der Regel unkompliziert. Eine Besonderheit ist, dass der Kühleffekt des Wassers die Leistung der Module verbessert. Zudem kann eine schwimmende PV-Anlage zu einer reduzierten Verdunstungsrate und Algenbildung im Gewässer beitragen. Trotz dieser Vorteile sind in NRW bisher nur wenige Floating-Anlagen errichtet worden. Das lässt sich vor allem auf die hohen baurechtlichen Hürden zurückführen. Neben der Anforderung des Baugesetzes zur Bauleitplanung gilt es auch Vorgaben aus dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) zu beachten. Aktuell dürfen schwimmende PV-Anlagen nicht mehr als 15 Prozent der Gewässeroberfläche bedecken und müssen einen Mindestabstand von 40 Metern vom Ufer des Gewässers einhalten.

Das WHG gibt dabei auch vor, dass in Deutschland Floating-PV bisher ausschließlich auf künstlichen oder erheblich veränderten Gewässern (z. B. durch Kiesabbau entstandene Seen) installiert werden dürfen. Diese Gewässer bieten oft den Vorteil, dass die vorhandene elektrische Infrastruktur genutzt und der dezentral produzierte Strom vor Ort verbraucht werden kann.

Großes Flächenpotenzial für die Umsetzung von Floating-PV bietet das Rheinische Revier mit seinen ehemaligen Tagebaugeländen, aber auch andere Regionen in NRW wie der Niederrhein sind für die Errichtung von schwimmenden Anlagen geeignet.

Der folgende Leitfaden gibt einen Überblick über den Stand der Technologie und was beim Bau und Betrieb einer Floating-PV-Anlage beachtet werden muss.



Stahlunterkonstruktion mit Schwimmkörpern und Ost-West-Ausrichtung der Module

2

Potenziale und Herausforderungen

Um die Auswirkungen von Floating-PV auf die Gewässer und die sich darin und darum herum befindende Flora und Fauna zu verstehen und zu untersuchen, werden weltweit Floating-Solaranlagen in Form von wissenschaftlichen Langzeitstudien begleitet oder in Modellstudien erforscht.



Die Forschungsliteratur zu Floating-PV ist vielfältig, wissenschaftliche Publikationen gibt es z. B. zu Anlagen aus Brasilien, den Niederlanden oder Großbritannien (zu den Studien s. S. Seite 13)

Da die Technologie in Deutschland noch vergleichsweise neu ist, liegen für Anlagen in deutschen Gewässern kaum Langzeitstudien vor. Es gibt aber bereits erste Forschungsprojekte und wissenschaftliche Begleitungen. Das auf vier Jahre angelegte Projekt „PV2Float“ des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme ISE etwa erforscht die Potenziale und Herausforderungen von Floating-Solaranlagen unter anderem in einer Versuchsanlage. Die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg hat ebenfalls zwei Studien zu „Modellierungen zur

Folgenabschätzung von schwimmenden Photovoltaikanlagen“ in Auftrag gegeben. Hierbei wurden verschiedene Modulbedeckungsgrade eines Sees simuliert und die dabei ohne und mit Floating-PV entstehenden Veränderungen erfasst und ausgewertet (2022, 2023).

Auch bei Großprojekten wie der aktuell größten Floating-PV-Anlage Nordrhein-Westfalens in Wesel-Ellerdonk gibt es eine wissenschaftliche Begleitung durch die Fachhochschule Groningen in Zusammenarbeit mit einem spezialisierten deutschen Ingenieurbüro.

Die folgende Darstellung gibt auf Grundlage des aktuellen Forschungsstandes einen Überblick über die Potenziale von und möglichen Herausforderungen für Floating-PV.

Potenziale und Herausforderungen von Floating-PV	Potenziale	Herausforderungen
	○ Entschärfung von Nutzungskonkurrenzen um Landflächen ○ Hohe Flächeneffizienz: So lässt sich auf einem Hektar Gewässer Oberfläche ungefähr eine Leistung von rund 1,3 MW installieren ○ durch die Verschattung des Gewässers kann die Verdunstungsrate vermindert werden (weniger Wasserverluste) ○ Verminderung von Algenbildung, gerade in heißen Sommern ○ Begrenzung des Sauerstoffentzugs sowie die Aufheizung des Gewässers (geringe Wassertemperatur) ○ keine Flächenaufbereitung oder -pflege notwendig ○ erhöhte Leistungsfähigkeit der Module durch Kühleffekte des Gewässers (leicht erhöhter Ertrag im Vergleich zu herkömmlichen Freiflächen-Anlagen) ○ Potenzial von Ruhezonen für Fischbestände ○ Effekt von kürzeren Schichtungsdauern im Gewässer, die den Sauerstoffgehalt im Tiefengewässer erhöhen	○ erhöhter Montage- und Serviceaufwand ○ Einsatz von wasserbeständigen Komponenten notwendig ○ Anker- und Verbindungssysteme erforderlich, um die Anlage bei Wellengang oder Wasserspiegelschwankungen stabil zu halten ○ Verwendung von möglichst ökologisch unbedenklichen Materialien zum Schutz des Gewässers ○ mögliche Einschränkungen des Sauerstoff- und Gasaustausches zwischen der Wasseroberfläche und der Umgebung

Info!

Die Erforschung der Auswirkungen von Floating-PV steht erst am Anfang. Daher müssen durch Forschungsvorhaben noch weitere Daten gesammelt und ausgewertet werden, um die positiven und negativen Aspekte von Floating-PV besser und zuverlässiger beurteilen zu können.



Vor- und Nachteile einer Floating-PV-Anlage



Pro

- + Wasserverfügbarkeit zur Reinigung der Anlage
- + Kompatibilität mit der Stromnetzinfrastruktur
- + Weniger Wasserverdunstung
- + Schnelles und einfaches Einrichten
- + verbesserter Wirkungsgrad der Module durch Kühleffekt des Wassers
- + Keine Bodenbearbeitung notwendig
- + Geringeres Algenwachstum aufgrund geringerer Lichtintensität



Contra

- Elektrotechnische Sicherheit der Anlagenkomponenten
- Mögliche Verunreinigungen durch Vögel
- Wartung kann Taucharbeiten erfordern
- Komplexe Verankerung der Anlage
- Mögliche Auswirkungen auf die Umwelt durch geringere Lichteinstrahlung

3 Genehmigungsrecht und Bauleitplanung

Floating-Solaranlagen im Außenbereich sind – anders als Dachanlagen – keine privilegierten Vorhaben nach § 35 Abs. 1 BauGB. Daher herrscht zunächst ein Bauverbot im Außenbereich. Damit eine Anlage errichtet werden darf, bedarf es eines gültigen Bebauungsplans.



Besteht für die entsprechende Fläche bereits ein Bebauungsplan, muss das Vorhaben den Festsetzungen entsprechen. Ist das nicht der Fall oder liegt für die Fläche noch kein Bebauungsplan vor, muss der Plan entsprechend im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung überarbeitet beziehungsweise neu aufgestellt werden und ein „Sondergebiet Floating-Photovoltaik“ (nach § 11 Abs. 2 BauNVO) festgesetzt werden.

Verfügt die Gemeinde über einen Flächennutzungsplan, muss sie zusätzlich prüfen, ob dieser den Festlegungen des Bebauungsplans entspricht oder ob daraus ein Bebauungsplan mit einem „Sondergebiet Floating-Photovoltaik“ (oft auch „Sondergebiet Solar“ genannt) entwickelt werden kann. Ist das nicht der Fall, muss die Gemeinde auch den Flächennutzungsplan ändern. Die parallele Aufstellung von Bauungs- und Flächennutzungsplan durch die Gemeinde ist dabei häufig die Regel.

Ausnahme: Der Eigenverbrauch

Floating-PV-Anlagen können auch im Außenbereich ein privilegiertes Vorhaben darstellen, wenn der produzierte Strom überwiegend zur Eigenversorgung des unmittelbar ortsgebundenen gewerblichen Betriebes dient (§ 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB). Diese Privilegierung kommt bei Floating-PV-Projekten oft zum Tragen, da an den zulässigen künstlich oder erheblich geänderten Gewässern häufig gewerbliche Betriebe wie Kieswerke angesiedelt sind und der produzierte Strom direkt vor Ort verbraucht werden kann. Eine Bauleitplanung ist in diesem Fall nicht mehr erforderlich, während weiterhin eine Baugenehmigung beantragt werden muss. Eine solche Baugenehmigung ist in diesem Fall jedoch nur zeitlich befristet und verliert normalerweise ihre Gültigkeit nach Beendigung der betrieblichen Arbeiten.

Vorgaben durch das Wasserhaushaltsgesetz

Da Floating-PV-Projekte im Bereich eines Gewässers umgesetzt werden, müssen neben den bauleitplanerischen Bestimmungen auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen des Wasserhaushaltsgesetzes eingehalten werden. Zur Errichtung einer Floating-Solaranlage bedarf es einer wasserrechtlichen Genehmigung nach § 36 WHG, die bei der Unteren Wasserbehörde eingeholt werden muss.

Das WHG (§ 36 Absatz 3) gibt vor, dass eine Solaranlage nicht in und über einem oberirdischen Gewässer errichtet und betrieben werden darf, das kein künstliches oder erheblich verändertes Gewässer ist. Außerdem darf eine solche Anlage nicht in und über einem künstlichen oder erheblich veränderten Gewässer errichtet und betrieben werden, wenn ausgehend von der Linie des Mittelwasserstandes die Anlage mehr als 15 Prozent der Gewässerfläche bedeckt oder der Abstand zum Ufer weniger als 40 Meter beträgt.

Bei Vorhaben, die innerhalb ehemaliger Tagebaugelände realisiert werden sollen, muss gegebenenfalls ein besonderes Planverfahren nach dem Bundesberggesetz durchlaufen werden. Ein solches Verfahren hat dabei immer Vorrang gegenüber anderen Verfahren (z. B. nach Bauplanungsrecht).

Info!



„Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern sind so zu errichten, zu betreiben, zu unterhalten und stillzulegen, dass keine schädlichen Gewässerverunreinigungen zu erwarten sind und die Gewässerunterhaltung nicht mehr erschwert wird, als den Umständen nach unvermeidbar ist.“ (§ 36 Abs. 1 Nr. 1 WHG)

Ablaufschema Genehmigungsprozess Floating-PV

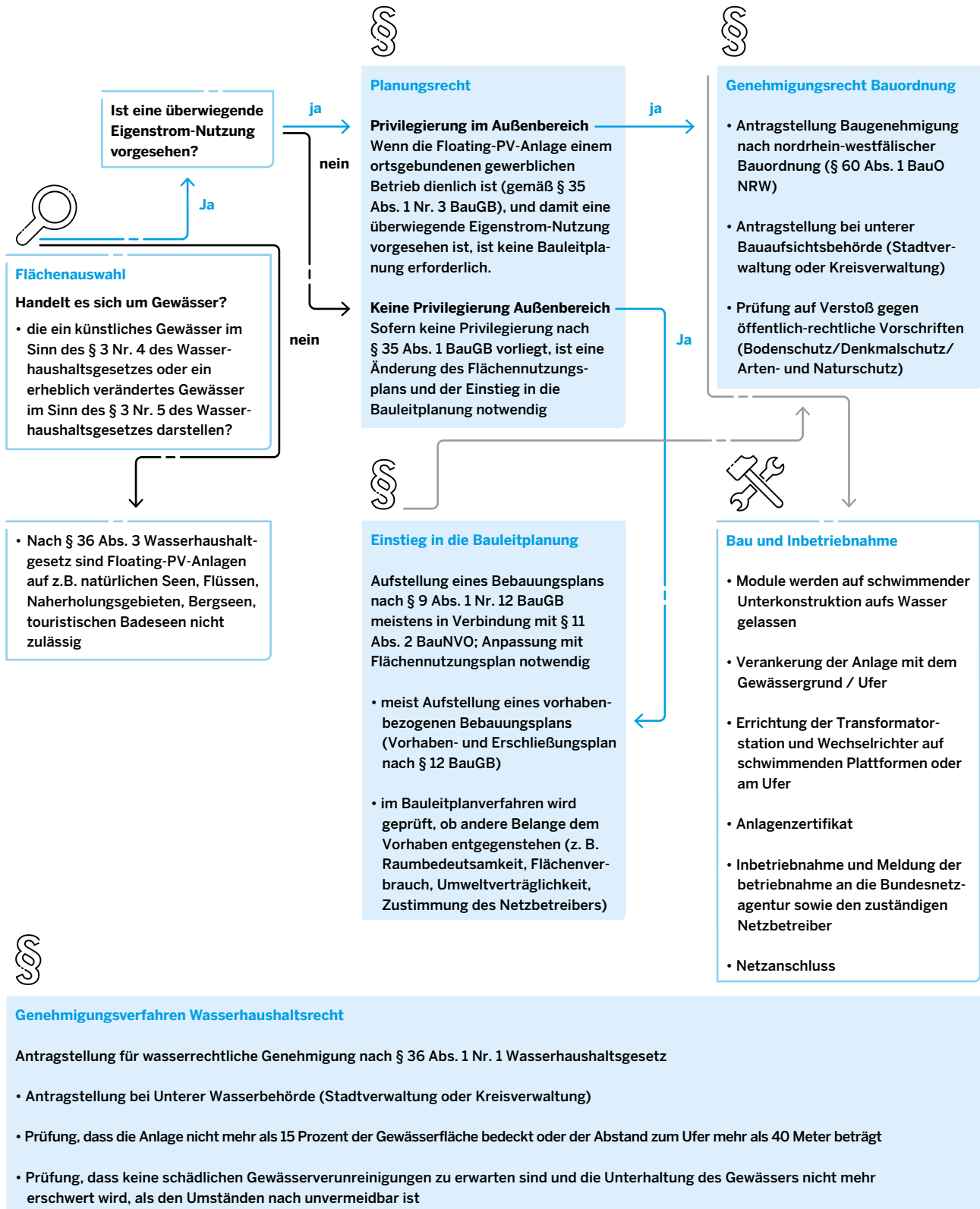


Abbildung 1: Darstellung des Ablaufprozesses zur Genehmigung einer FPV-Anlage

4 Förderung und Wirtschaftlichkeit

Grundsätzlich kann Strom aus Floating-Solaranlagen im Rahmen des EEG gefördert, vor Ort direkt genutzt oder durch die sonstige Direktvermarktung am freien Markt verkauft werden.



Bei der sonstigen Direktvermarktung wird der Strom an Dritte, beispielsweise an Energieversorger oder größere Verbraucher, veräußert. Diese Veräußerungsform bietet die Möglichkeit, zusätzlich Herkunftsnachweise für grünen Strom zu erhalten und diese zu vermarkten. Besonders für größere Freiflächenanlagen hat der Verkauf an Dritte in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen.

Floating-Solaranlagen mit weniger als 1.000 kW_p installierter Leistung

Betreiber von Anlagen mit weniger als 1.000 Kilowattpeak (kW_p) installierter Leistung müssen nicht am Ausschreibungsverfahren der Bundesnetzagentur teilnehmen. Sie erhalten eine gesetzlich festgelegte Vergütung. Anlagen bis 100 kW_p erhalten eine feste Einspeisevergütung und Anlagen über 100 kW_p erhalten eine feste Mindestvergütung im Marktprämienmodell. In diesem Modell erhält der Betreiber einen gesetzlich definierten anzulegenden Wert, der sich aus dem Marktwert des verkauften Stroms zuzüglich einer aus dem EEG-Konto finanzierten Marktprämie zusammensetzt. Die Monatsmarktwerte sind mengengewichtete Durchschnittspreise der Strombörse für den jeweiligen Energieträger und werden im Internet veröffentlicht (www.netztransparenz.de).

Um die Vergütung gemäß des EEG zu erhalten, müssen bestimmte Bedingungen erfüllt sein (§ 48 (1) 4. EEG 2023). So muss die PV-Anlage auf einer Fläche errichtet werden, die ein künstliches Gewässer im Sinn des § 3 Nummer 4 WHG oder ein erheblich verändertes Gewässer im Sinn des § 3 Nummer 5 WHG darstellt.

Floating-Solaranlagen mit mehr als 1.001 kW_p installierter Leistung

Für Anlagen mit einer installierten Leistung von mehr als 1.001 kW_p wird die Mindestvergütung im Marktprämienmodell, also der anzulegende Wert, in einem Ausschreibungsverfahren ermittelt. Die Bundesnetzagentur führt das Ausschreibungsverfahren durch und gibt den Termin zur Abgabe der Gebote bekannt. Zum Gebotstermin gibt jeder Bieter einen Gebotswert ab (in Cent pro kWh). Die Bundesnetzagentur prüft die einzelnen Gebote und erteilt den Bietern mit den niedrigsten Gebotswerten einen Zuschlag. Aufsteigend nach Höhe der Gebotswerte erhalten weitere Gebote einen Zuschlag, bis die ausgeschriebene Menge erreicht ist.

Das Ausschreibungsvolumen wird im EEG geregelt (§ 28a Abs. 1 S. 1 bis 3 EEG 2023). Es finden drei Gebotstermine pro Jahr statt. Die Ergebnisse der abgeschlossenen Ausschreibungsrunden veröffentlicht die Bundesnetzagentur auf ihrer Internetseite (www.bundesnetzagentur.de).

Info!



Floating-Solaranlagen, die einen Zuschlag im Ausschreibungsverfahren erhalten, müssen seit dem 01. Januar 2023 den erzeugten Strom nicht mehr vollständig verkaufen und somit auch nicht zwingend in das öffentliche Stromnetz einspeisen. Der Eigenverbrauch dieses Stroms ist seit der Novellierung des EEG 2023 erlaubt.



Floating-PV-Anlagen können bei hohen Eigenverbrauchsquoten auch ohne EEG-Förderung wirtschaftlich sein

Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten von Floating-PV-Anlagen sind in der Regel noch höher als die klassischer Freiflächen-Anlagen. Grund dafür ist die benötigte Wasserresistenz der Bauteile, der vergleichsweise komplexere Aufbau und die längeren Leitungen der Anlage. Darüber hinaus haben Skaleneffekte aufgrund der vergleichsweise jungen Technologie noch nicht so stark eingesetzt wie bei klassischen PV-Systemen. Gleichzeitig ist der Ertrag bei Floating-PV höher und die Bauzeiten erheblich kürzer.

Gute Voraussetzungen und Ertragsmargen für Floating-PV bieten aktive Kiesabbaugebiete, da typischerweise bei diesen Betrieben der Strombedarf und die -erzeugung im Gleichklang sind. Besonders energieintensive Produktionszeiten können durch hohe Eigenverbrauchsquoten in den sonnenreichen Sommermonaten bedient und aufgefangen werden.

Bei hohen Eigenverbrauchsquoten können Floating-Solaranlagen auch ohne Förderung über das EEG wirtschaftlich sein. Die FPV-Anlage in Haltern am See mit einer installierten Leistung von 3,7 MW wurde in NRW erstmals ohne EEG-Förderung realisiert.



5 Errichtung und Betrieb

Für die Installation werden die Solarmodule auf Schwimmkörpern montiert. Diese müssen für genügend Auftrieb sorgen, um das Gewicht der Anlage zu tragen und die Begehrbarkeit für die Wartung zu gewährleisten. Gleichzeitig müssen sie ausreichend Flexibilität bieten, um den Windkräften und dem Wellengang standzuhalten.

Installationsmöglichkeiten von Floating-PV

Pontons aus langlebigen Kunststoffen

- Dieses System wurde bereits international häufig als Unterkonstruktion für Floating-PV-Anlagen eingesetzt. Die Pontons sind aus langlebigen Kunststoffen (HDPE) gefertigt und sehr beständig. Je nach Variante können unterschiedlich viele Solarmodule auf einem einzelnen Ponton angebracht werden, häufig mit Süd-Ausrichtung. Wartungszugänge können einfach berücksichtigt werden. Die Errichtung der Gesamtanlage kann einfach und effizient durch das Verbinden der einzelnen Pontons erfolgen.

Stahlkonstruktion mit Schwimmkörpern

- Bei dieser Art von Unterkonstruktion werden die Solarmodule auf einer – häufig giebelartigen - Stahlunterkonstruktion montiert und durch Schwimmkörper aus Stahl oder Kunststoff getragen. Die Errichtung der Gesamtanlage erfolgt in der Regel durch eine temporäre Fertigungsstraße am Ufer. Dort werden die einzelnen Solarinseln vormontiert und im Gewässer an der endgültigen Position zusammengefügt.

Die Solarinseln werden zu großen, flexiblen Verbünden zusammengeführt und auf der Wasseroberfläche platziert. Zusätzlich werden Zugänge sowie Wege für die Wartung, die Verkabelung und gegebenenfalls die Platzierung der Wechselrichter geschaffen.

Möglich ist jedoch auch die Aufstellung eines Zentralwechselrichters an Land. Gesichert werden die schwimmenden Anlagen durch ein Verankerungssystem entweder am Grund des Gewässers oder durch Befestigungen am Ufer, damit auch bei stürmischem Wetter die Anlage an Ort und Stelle bleibt.

Damit der Ertrag konstant bleibt, sollte der Betreiber die PV-Anlage regelmäßig, z. B. einmal jährlich, warten und säubern. Dazu gehört die Überprüfung der Module, der Wechselrichter, der Anschlüsse und der Verkabelungen, um eine sichere und zuverlässige Stromübertragung zu gewährleisten.

Die Lebenserwartung von Floating-Anlagen liegt, wie bei herkömmlichen Freiflächen-Anlagen auch, bei 25 Jahren und mehr. Jedoch nimmt die Leistungsfähigkeit der Anlage mit ihrer Nutzungsdauer ab. Diese sogenannte Degradation beträgt im ersten Jahr bis zu zwei Prozent, danach etwa 0,5 Prozent pro Jahr. Dementsprechend ist nach 20 Jahren noch eine Nennleistung von über 90 Prozent zu erwarten.

Literaturverzeichnis

Bax, Vincent et al. 2023: Floating photovoltaic pilot project at the Oostvoornse lake: Assessment of the water quality effects of three different system designs. In: Energy Reports 9, S. 1415-1425.

Exley, Giles et al. 2021: Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification. In: Solar Energy 219, S. 24-33.

Koumar, Manish et al. 2021: Challenges and opportunities towards the development of floating photovoltaic systems. In: Solar Energy Materials and Solar Cells 233.

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg-Institut für Seenforschung 2022: Modellierungen zur Folgenabschätzung von schwimmenden Photovoltaikanlagen. Langenargen.

Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg-Institut für Seenforschung 2023: Modellierung von weiteren Bedeckungsgraden zur Folgenabschätzung von schwimmenden Photovoltaikanlagen. Langenargen.

Oliviera-Pinto, Sara; Stokkermans, Jasper 2020: Assessment of the potential of different floating solar technologies – Overview and analysis of different case studies. In: Energy Conversion and Management 211.

Pouran, Hamid M. et al. 2022: Environmental and technical impacts of floating photovoltaic plants as an emerging clean energy technology. In: iScience 25 (11), S.1-16.

Impressum:

NRW.Energy4Climate GmbH
Kaistraße 5
40221 Düsseldorf
0211 822 086-555
kontakt@energy4climate.nrw
www.energy4climate.nrw
© NRW.Energy4Climate / B23006

Stand:
11/2023

Bildnachweis:

Titel: NRW.Energy4Climate
Seite 4: NRW.Energy4Climate
Seite 5: NRW.Energy4Climate
Seite 6: NRW.Energy4Climate
Seite 8: NRW.Energy4Climate
Seite 9: NRW.Energy4Climate
Seite 12: NRW.Energy4Climate
Seite 14: Förderung-pixabay.com
Seite 15: Pattanaphong-Khuankaew-iStock.com

