

**PV2Float**



**RWE**

**b-tu**

Brandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus - Senftenberg

# Willkommen

## zum Festakt zur Einweihung der Forschungsanlage PV2Float

am 15. November 2024  
in Lohsa

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Programm

## Einweihung Forschungsanlage

---

### **Begrüßung und Eröffnung (10:00 - 10:15)**

- Bürgermeister Thomas Leberecht, Lohsa: Offizielle Eröffnung und Willkommen.
- Mai Tu, RWE: Begrüßung und Zielsetzung der Veranstaltung

### **Grußwort von Staatsminister Wolfgang Günther (SMEKUL) (10:15 - 10:25)**

### **Fachvorträge (10:25 - 11:45)**

- Einführung in die schwimmende PV (Stefan Wieland, Fraunhofer ISE)
- Vorstellung der Forschungsanlage, deren Funktionen und Ziele (Mai Tu, RWE)
- Spezifische technische Forschungsfragestellungen (Stefan Wieland, Fraunhofer ISE)
- PV-Anlagen aus gewässerökologischer Sicht (Dieter Lessmann, BTU)

### **5. Implementierung und Fertigstellung (11:45 - 12:10)**

- Präsentation zum Bauprozess und der Schritte (Mai Tu, RWE)
- Fragen und Antworten

### **6. Informeller Teil mit Getränken und Snacks (12:10 - 13:00)**

## Einführung in die schwimmende PV

*Einweihungsfeier des PV2Float-Projekts*

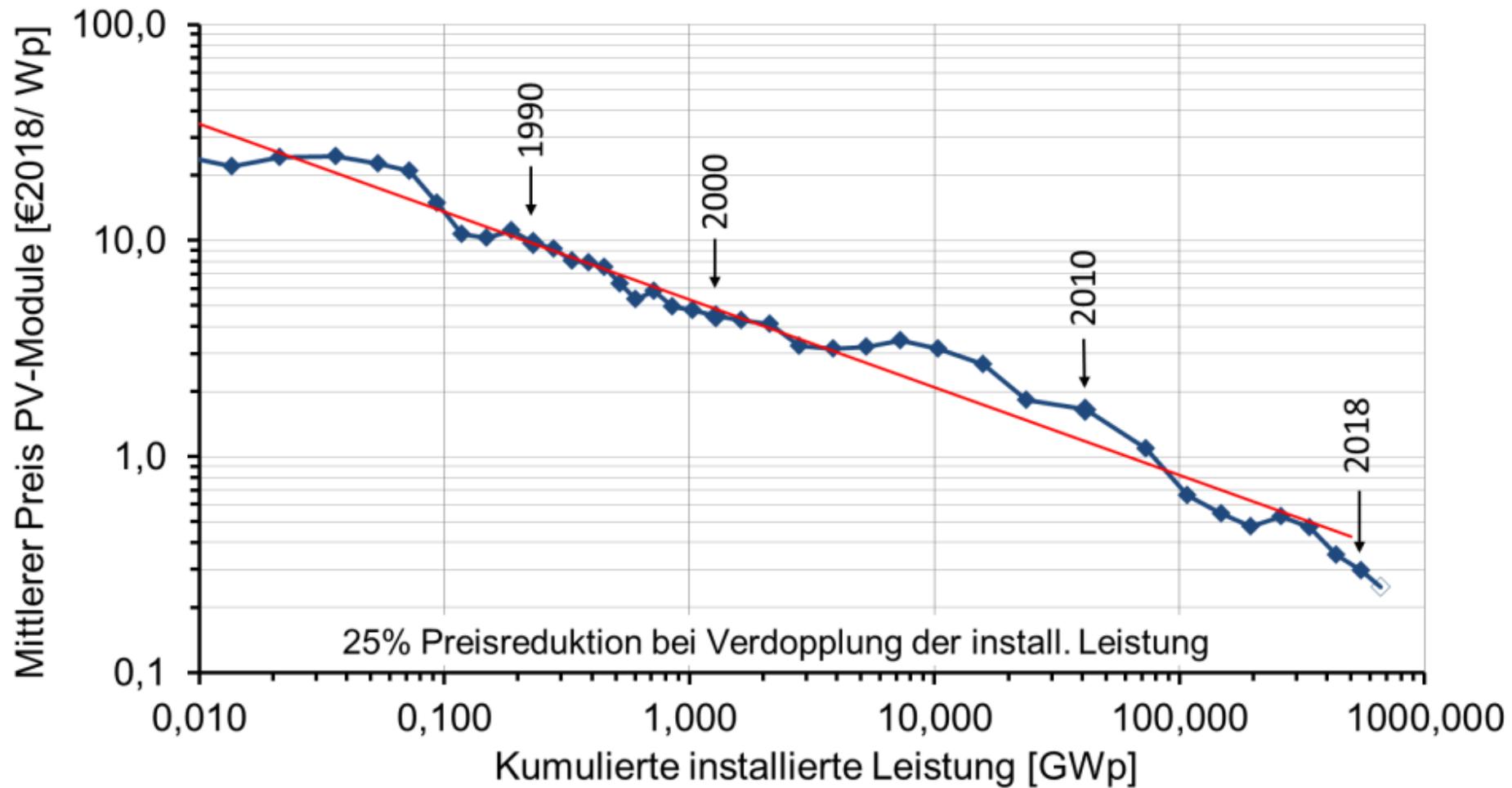
Stefan Wieland  
Gruppe *PV-Kraftwerke*  
Fraunhofer ISE  
15.11.2024, Lohsa  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

Gefördert durch:



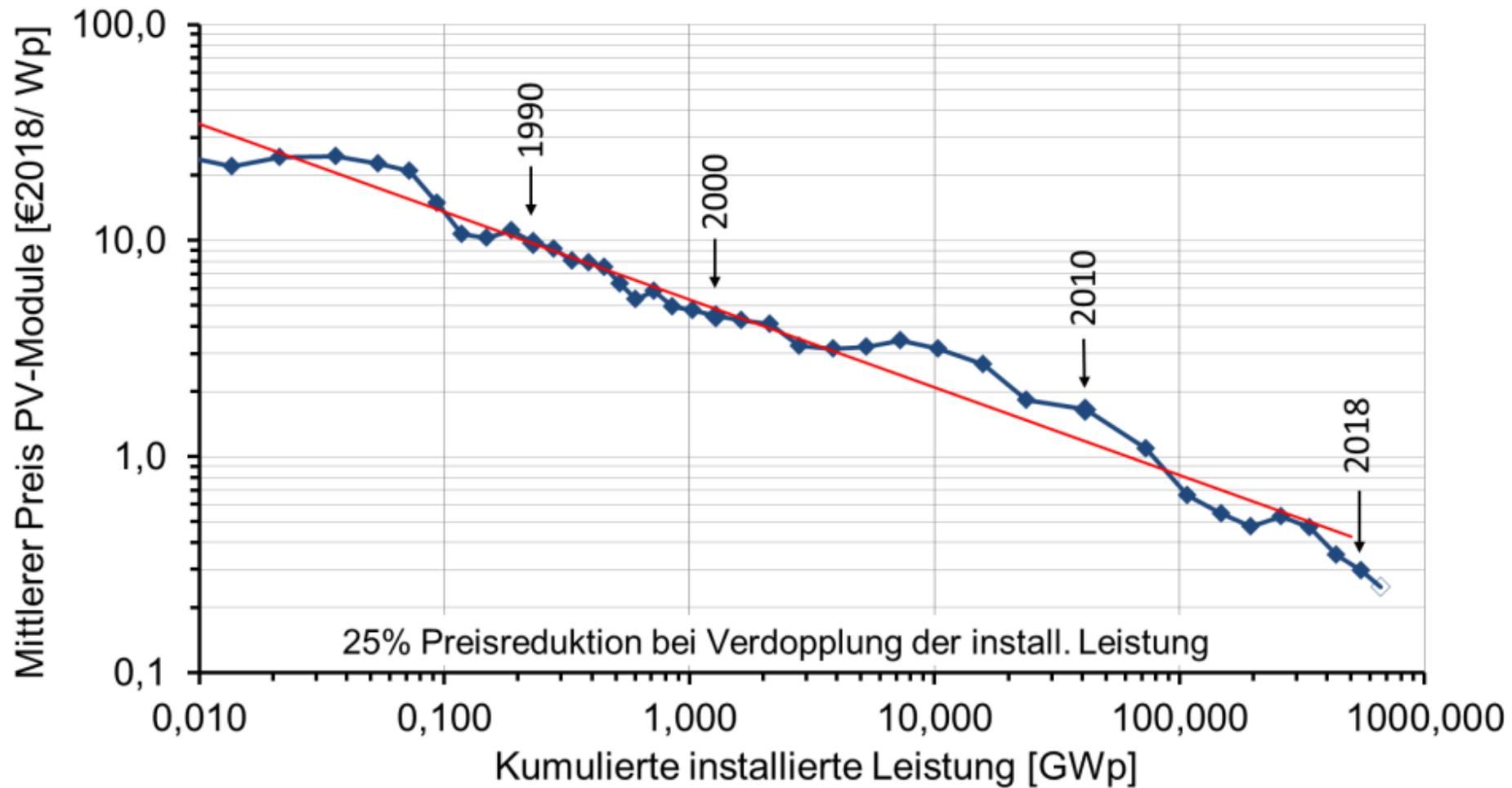
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Preisentwicklung PV-Module



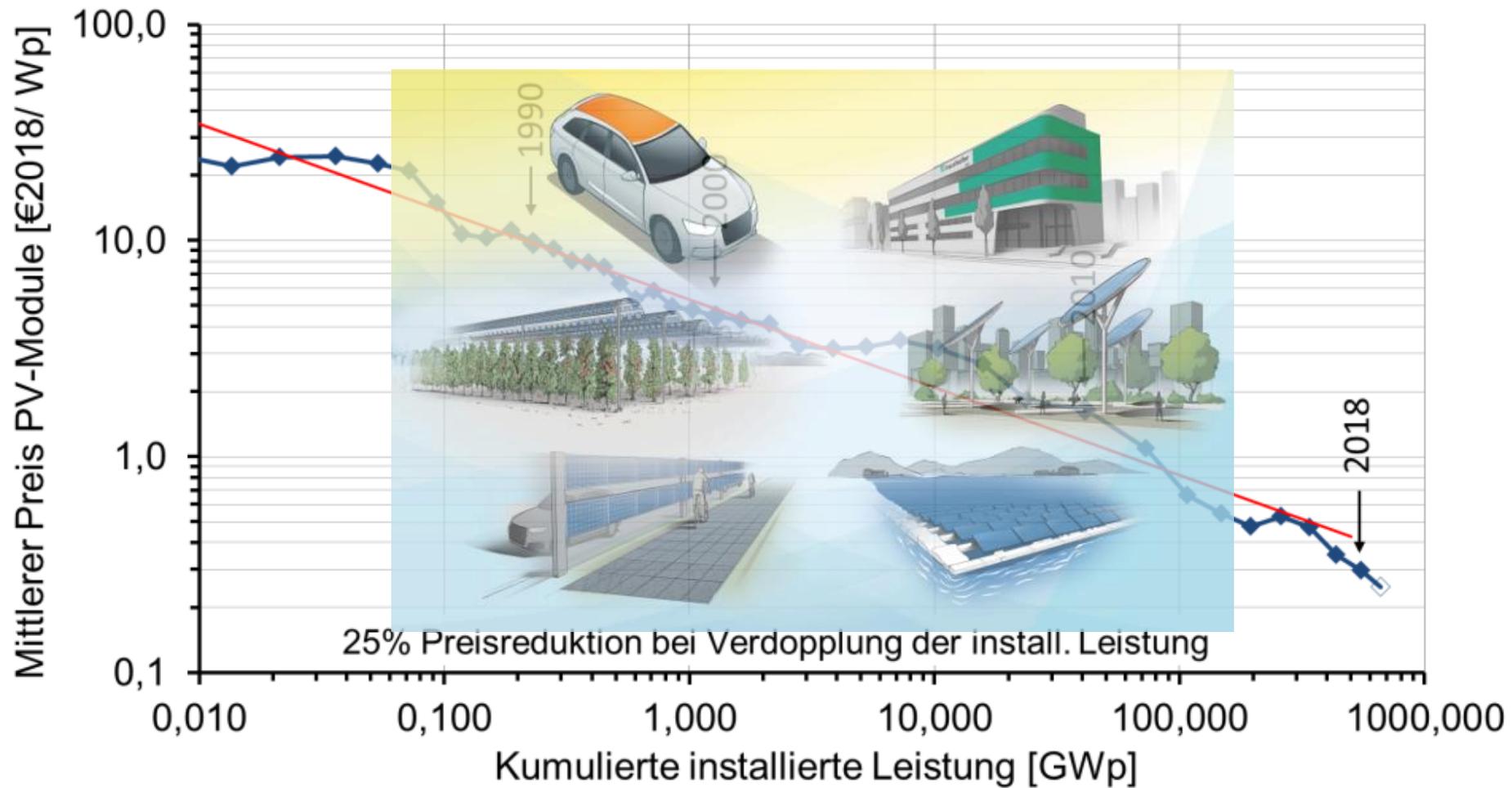
# Preisentwicklung PV-Module

**Aber Landverknappung!**



# Preisentwicklung PV-Module

**Aber Landverknappung!**



# Energetische Seennutzung nichts Neues

---

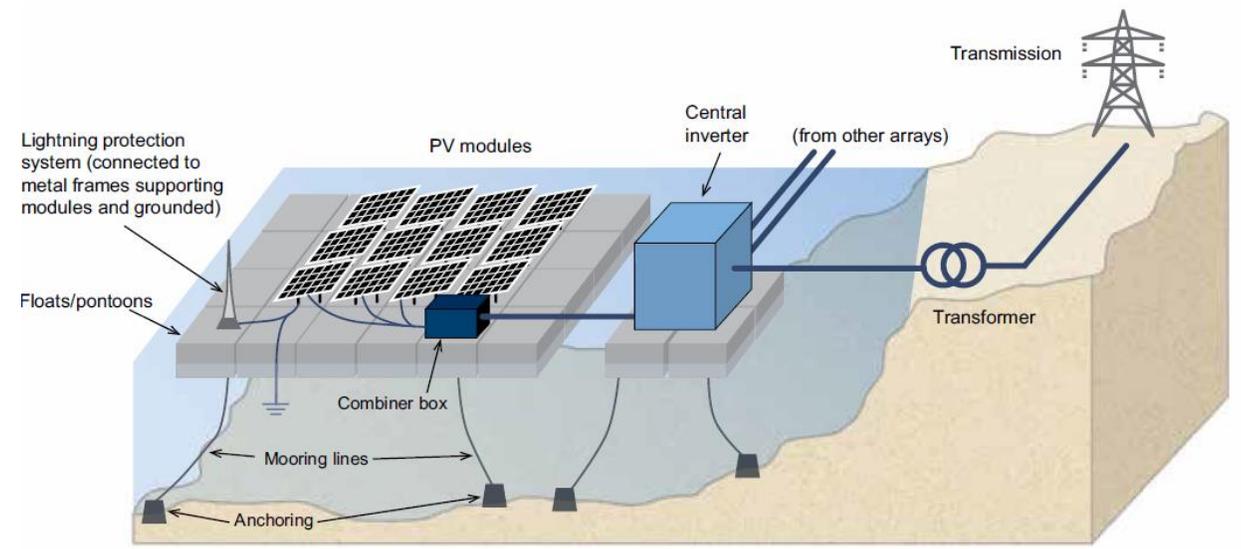
## Seen fungieren jetzt schon als ...

- Biomasselieferant
- Heizung (über Wärmepumpen)
- Kühlmittel für Kraftwerke/Großrechenanlagen

*Nun auch Aufständerungsfläche für PV-Anlagen.*

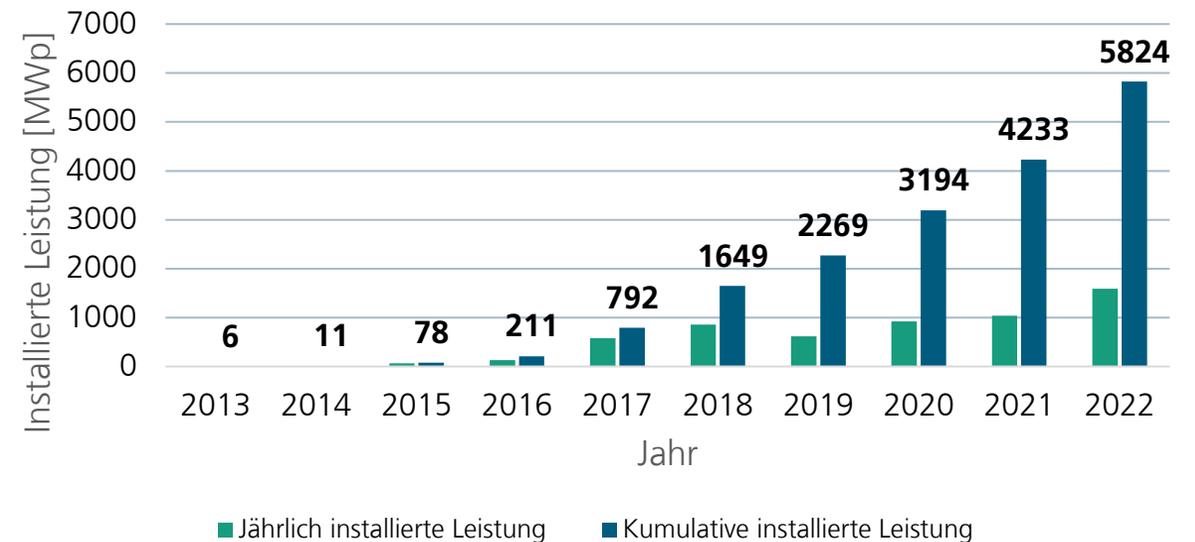
# Was ist schwimmende PV?

- Module befinden sich auf schwimmender Unterkonstruktion
- kann auf Binnengewässern oder auf dem Meer errichtet werden
- Verankerung am Ufer oder dem Gewässergrund
- Wechselrichter und Trafos direkt auf der Anlage oder am Ufer
- Strom wird über schwimmende Kabel an Land geleitet



Source: Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS) at the National University of Singapore.

## Kumulative installierte FPV-Leistung weltweit



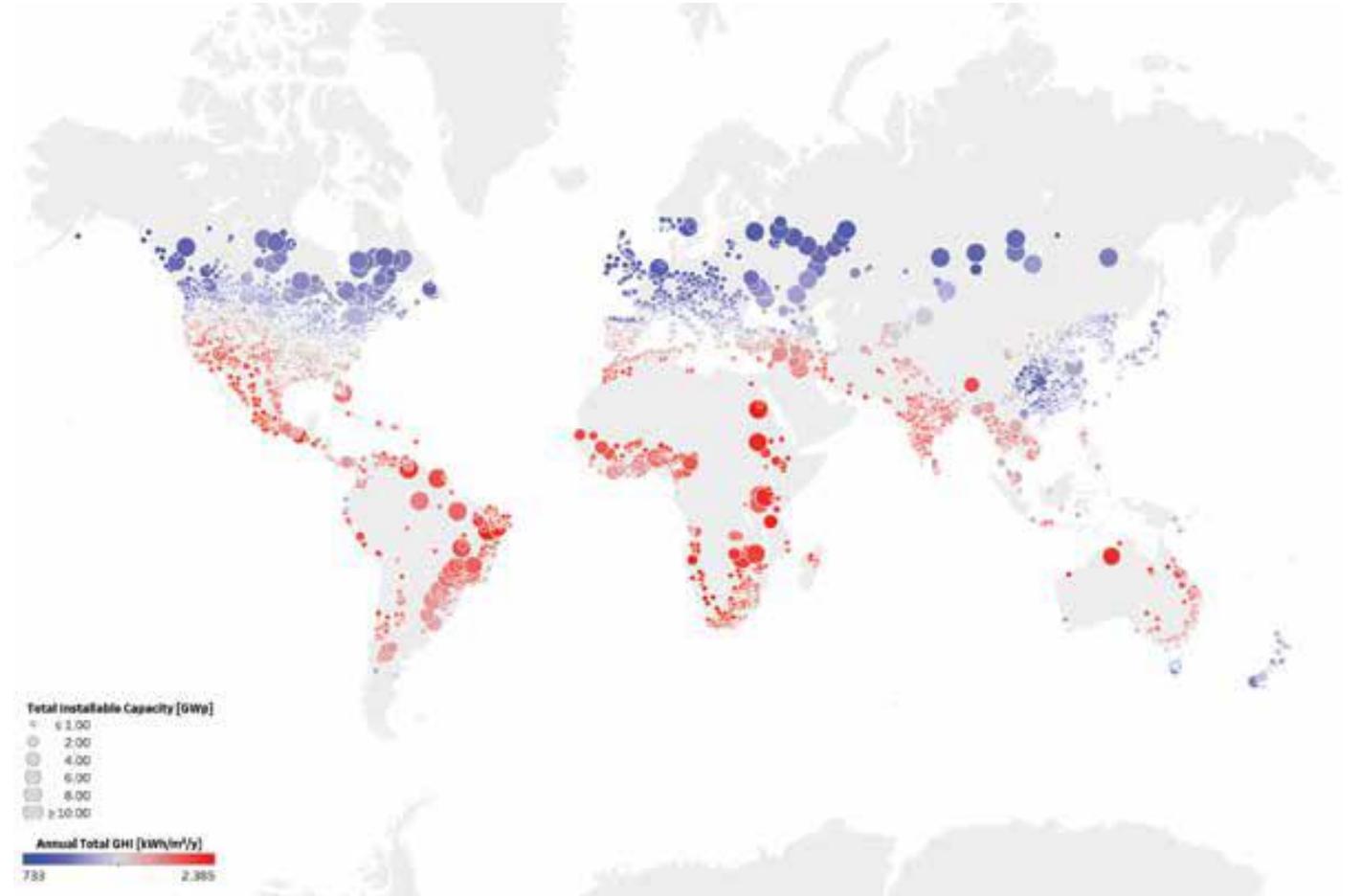
# Beispielanlage



*FPV-Anlage im Amer-Projekt, Geertruidenberg, NL (RWE, 2021).*

# Potenzielle Standorte

- **künstliche Standgewässer**
  - Tagebaulöcher
  - Stauseen
  - Rückhaltebecken
- **natürliche Standgewässer**
- **maritime Standorte**
  - Brackwasser, Buchten, Lagunen
  - Windkraftanlagen auf offener See
  - *Einschränkende Faktoren:*  
Tidenhub, Wellen, Salzgehalt, Strömungen, Biofouling



SERIS and the GRand database, © Global Water System Project (2011)  
, based on the Global Solar Atlas. © World Bank Group (2019)

# FPV-Daten und Fakten

## Design

### Marktübliche Designoptionen:

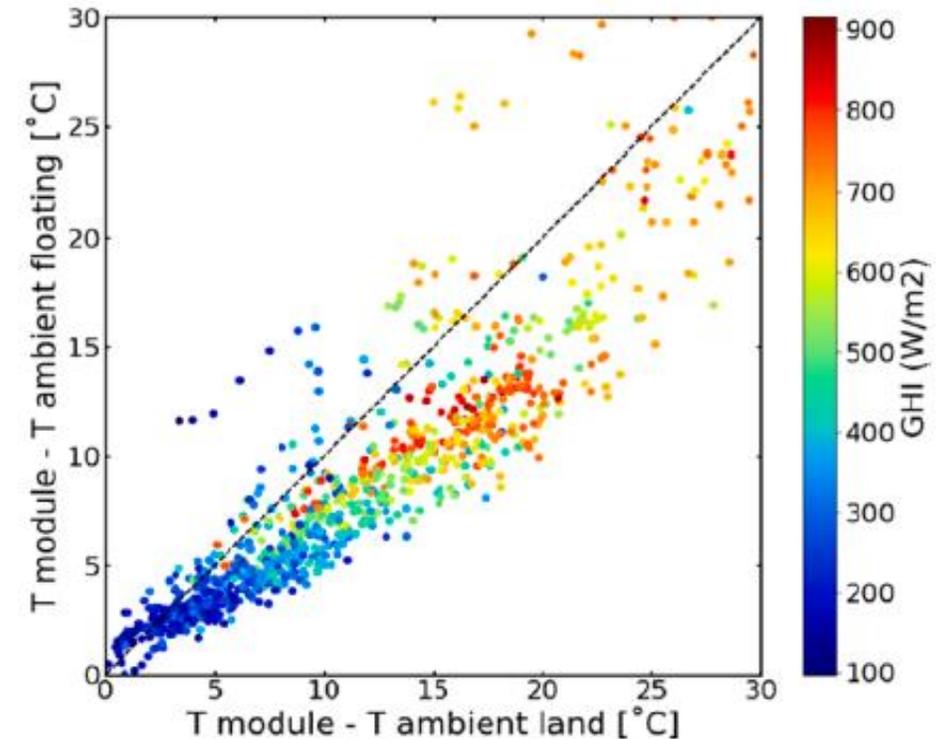
- Statische Südaufständerung auf Pontons (oben links)
- Planare Anbringung auf Membranen (oben rechts)
- Nachgeführte Lösungen (unten links)
- Statische Ost-West-Aufständerung (Stahlkonstruktion) auf Pontons (unten rechts)



# Chancen und der Herausforderungen der FPV-Technologie

## Chancen

- Entschärfung Landnutzungskonkurrenz: Landwirtschaft, Infrastruktur, Wohnbebauung
- Günstige Standortvorbereitung für die Installation der Anlage
- Meist erhöhte Stromproduktion durch Kühleffekt des Gewässers ( Ertragssteigerung 3%-15%)
- Reduzierte Verdunstungsverluste
- Geringere Wassertemperatur durch partielle Verschattung -> Hemmung Algenwachstum
- Synergieeffekte bei Hybridbetrieb mit Wasserkraftwerken, Pumpspeicherkraftwerken oder Offshore-Windkraftanlagen

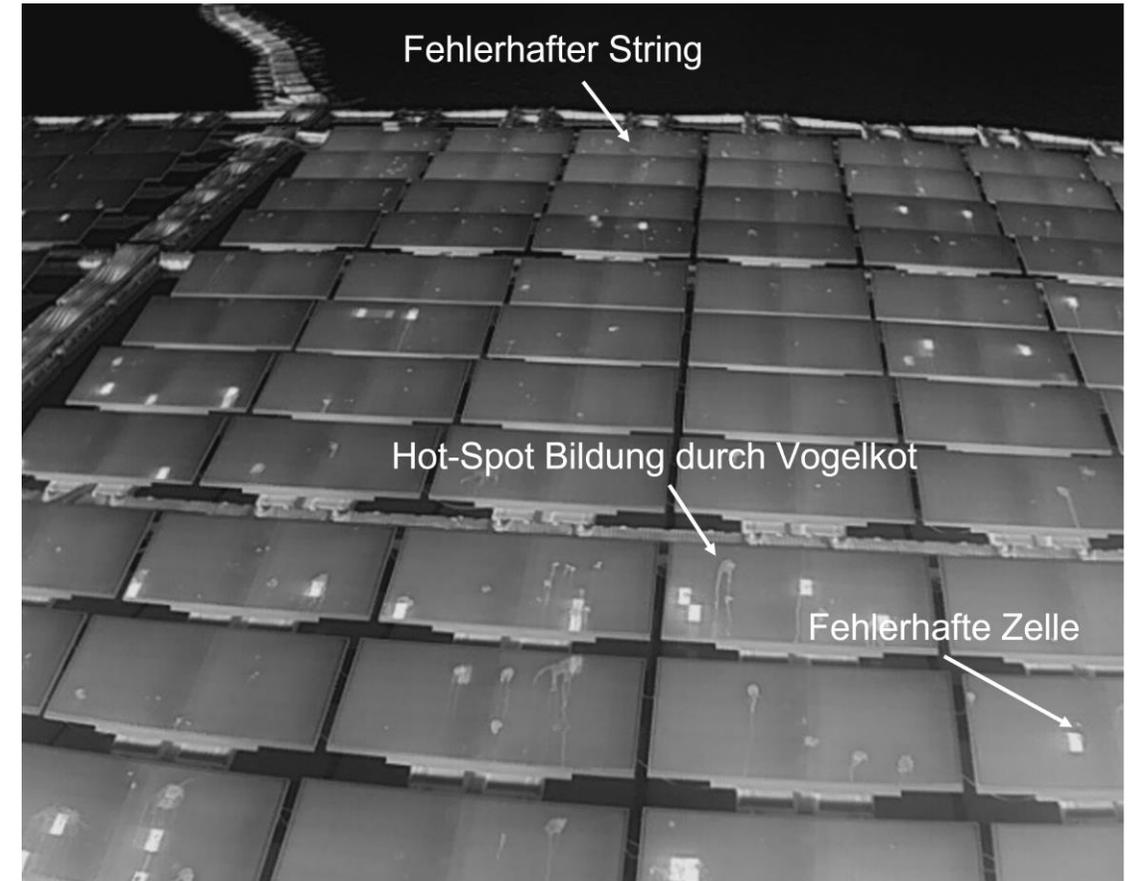


**Abb 1.** Vergleich der Modultemperaturen einer FPV-Anlage mit denen einer konventionellen Anlage. Es ist zu beobachten, dass mit zunehmender horizontaler Einstrahlung (GHI) die Temperaturen der schwimmenden Anlage deutlich geringer sind als diese der konventionellen Anlagen. Die geringeren Modultemperaturen versprechen höhere Stromerträge bei FPV-Anlagen (Dörenkämper et al., 2021).

# Chancen und der Herausforderungen der FPV-Technologie

## Herausforderungen

- Verankerung kann kostenintensiv sein, kaum Standardkomponenten
- höhere CAPEX und OPEX als Freiflächenanlage
  - Erhöhter Montageaufwand
  - Höherer Serviceaufwand durch:
    - Mechanischer Stress (durch Wasserspiegelschwankungen, Wind, Strömung, Wellen)
    - Feuchtigkeitseinträge und Korrosion
    - Biofouling und Vogelkot
- Materialanforderungen: Wasserbeständigkeit; ökologische Verträglichkeit
- Ökologische Auswirkungen (nur in Teilen erforscht)

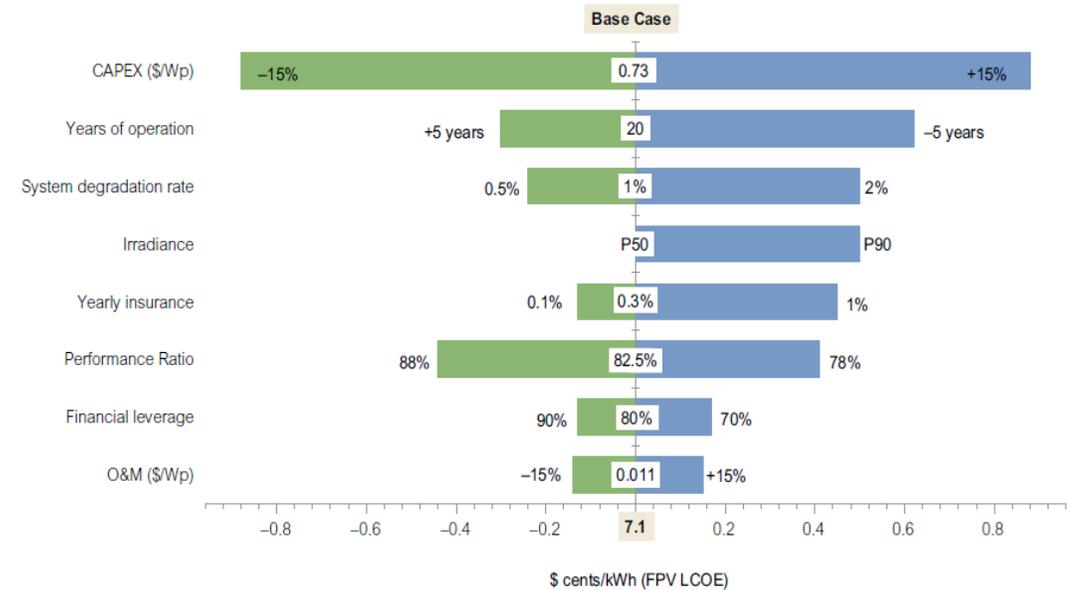


**Abb 1.** Drohnen-thermographie einer FPV-Anlage: Hot-Spot-Bildung und kleinere Beschädigungen der PV-Modulen (Fraunhofer ISE)

# Kosten im Vergleich zu Freiflächenanlagen

## Weltweiter Durchschnitt    Abschätzung für Deutschland

- CAPEX: 10 % höher
- CAPEX: 15 % höher
- OPEX: gleich
- OPEX: 5 % höher
- LCOE: 5 % höher
- LCOE: 10 %-15 % höher



Source: SERIS calculations.

Note: CAPEX = capital expenditure; FPV = floating photovoltaic; LCOE = levelized cost of electricity; O&M = operation and maintenance; \$/Wp = U.S. dollar per watt-peak; \$ cents/kWh = U.S. dollar cents per kilowatt-hour.

# Herausforderungen: Umweltauswirkungen

## Effekte der FPV

- Abschirmung des Strahlungseintrages (Licht, Energie)
- Abschirmung gegenüber Windeinwirkungen
- Minderung des Gasaustausches (Grenzschicht Wasser/Luft)
- Optische Störwirkung auf (Vergrämung) oder Attraktivitätserhöhung für (Ruheplatz) Tiere

## Folgen für die Seeökologie

- Einfluss auf Wassertemperatur, Minderung der Photosynthese
- Veränderte Zirkulation, Einfluss auf Uferstruktur
- Veränderter Gashaushalt (z.B. Sauerstoff und CO<sub>2</sub>)
- Habitatsverlust oder -erweiterung

## Ausprägung der Folgen abhängig von:

- Seegröße und- tiefe
- Trophie des Gewässers
- Biodiversität im Gewässer
- Uferstruktur
- Systemdesign
- Anlagengröße

# FPV-Daten und Fakten

## FPV: Entwicklung weltweit



© *Trapani, et.* "A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013."



*NIKKEI*, 2013, 1.2 MWp floating PV system at the Okegawa in Japan



*EDP S.A.*, photo by Pixbee – Floating solar on Alto Rabagão hydro dam in Portugal



© *Ciel & Terre International*  
<https://www.ciel-et-terre.net/>



© BayWa r.e.  
<https://www.baywa-re.com/de/news/details/groesste-floating-pv-anlagen-ausserhalb-asiens-in-betrieb>

# FPV in Deutschland

## Ein paar Daumenregeln

- auf künstlichen Standgewässern, besonders ehemalige Tagebaue
- Mindestseefläche: 1ha
- Mindesttiefe: 5m
- **Seebelegung: max. 15% (MUSS)**
- **Abstand zum Ufer: min. 40m (MUSS)**
- schwach schwankender Wasserspiegel akzeptabel



© Ossola GmbH, photo: Jörg Wilhelm

# Floating-PV: Daten und Fakten

## Überblick FPV in Deutschland

### Installierte Leistung (Feb. 2024)

<b>Summe</b>	<b>82,7 MWp</b>
In Betrieb	20,69 MWp
In Konstruktion	2,13 MWp
In Genehmigung	59,85 MWp

- entspricht **weit weniger als 1%** des dt. FPV-Potenzials

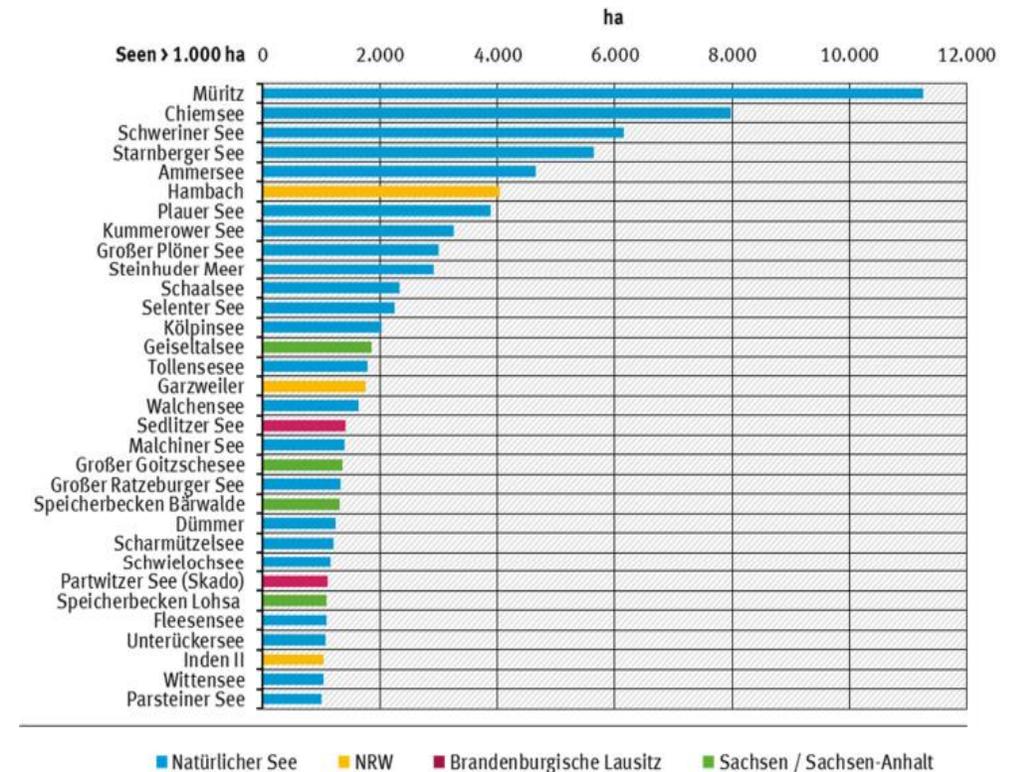
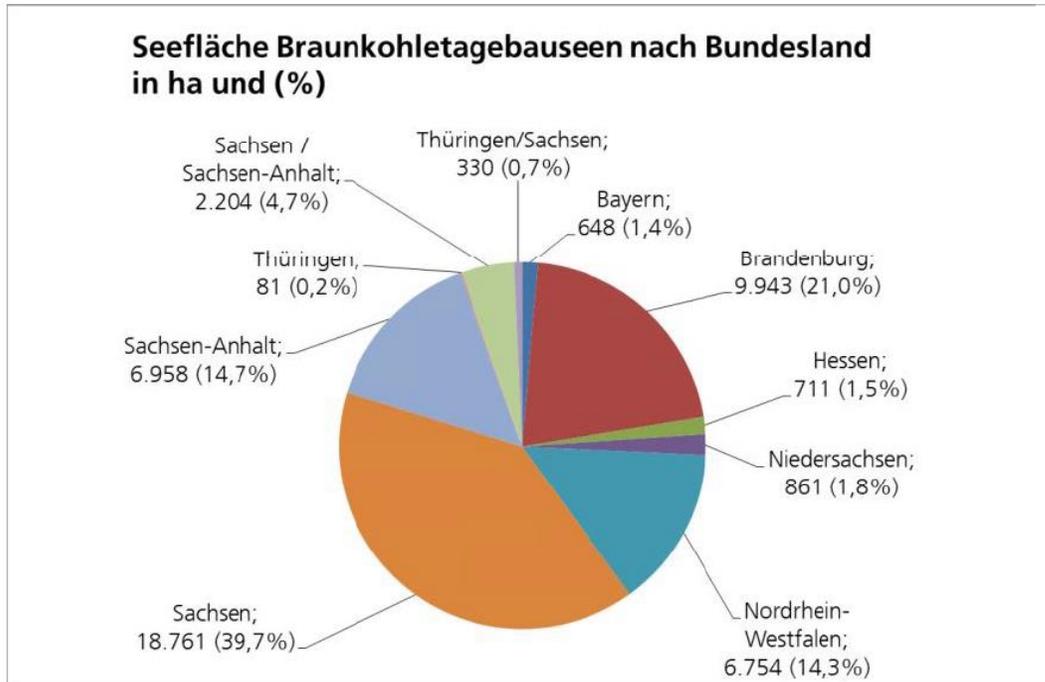
### FPV deployment sites

- P-Project
- Permitting
- Planning
- Construction
- Running



# FPV in Deutschland

- Großes Potenzial durch Braunkohletagebauseen, insbesondere in Sachsen und Brandenburg



# FPV Daten und Fakten

## Überblick FPV in Deutschland

Pilotanlage Renchen (Maiwald) (750 kWp) Leimersheim (2x 750 kWp)



© Jan oelker

- Erdgas Südwest GmbH
- Baggersee (Kieswerk)
- Pontonlösung (Ciel&Terre)
- Süd-Aufständerung
- Uferverankerung



©Erdgas Südwest GmbH

- Erdgas Südwest GmbH
- Baggersee (Kieswerk)
- Pontonlösung (Ciel&Terre)
- Süd-Aufständerung
- Verankerung am Seegrund (Betonfundamente)

Haltern am See (3,1 MWp)



©BayWa r.e.

- BayWa r.e.
- Baggersee (Quarzwirk)
- Stahlkonstruktion auf Schwimmkörpern (Zimmermann)
- Ost-West-Aufständerung

# Rahmenbedingungen für Machbarkeit einer FPV-Anlage



# Chancen und der Herausforderungen der FPV-Technologie

---

## Warum gibt es in Ländern wie Deutschland bisher kaum FPV-Anlagen?

- Austausch mit den Behörden und der Industrie brachte folgende Erkenntnisse hervor:
  1. Industrieverbände stehen der Technologie offen gegenüber und möchten schnellstmöglich große Anlagen umsetzen
  2. Für die Behörden sind die Genehmigungsprozesse weitestgehend unklar
  3. Umweltauswirkungen von FPV spielen eine Schlüsselrolle bei der Genehmigung, sind jedoch bisher kaum erforscht

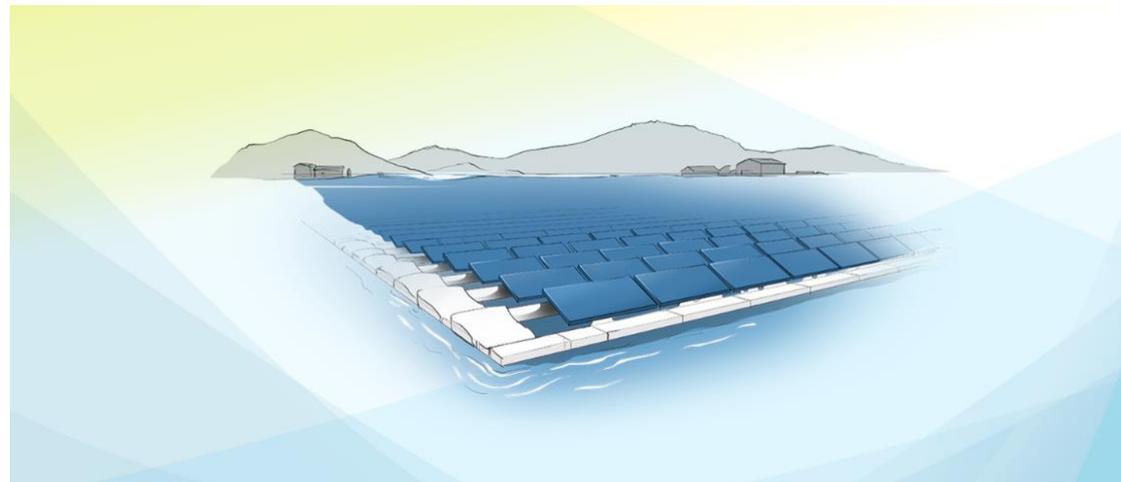
# Offene Forschungsfragen

Was sind die Umweltauswirkungen von FPV?



Was sind optimale Seeflächenbelegungen – und FPV-Designs?

Kann FPV den Auswirkungen des Klimawandels entgegenwirken?



Durch welche Faktoren werde Stromerträge wie beeinflusst?

Welche Materialien und Komponenten sind besonders geeignet?



Wie kann FPV mit anderen Formen der erneuerbaren Energien gekoppelt werden?



Um wie viel werden die Verdunstungsverluste reduziert?

# Kontakt

---

[pvmmod.fpv@ise.fraunhofer.de](mailto:pvmmod.fpv@ise.fraunhofer.de)

Fraunhofer ISE  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

# RWE

# PV2Float

## Forschungsprojekt

November 2024



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Forschungsprojekt PV2Float

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## PV2Float

- **Förderung:** Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
- **Projektpartner:** Fraunhofer ISE, RWE, BTU Cottbus-Senftenberg
- **Dauer:** 2021-2027
- **Beschreibung:** PV2Float widmet sich der Weiterentwicklung schwimmender PV-Anlagen mit Blick auf Kostenreduktion, Integration in die Raumplanung und nachhaltige Umsetzung im MW-Maßstab.
- **Ziel:** Untersuchung der Chancen und Herausforderungen von FPV, um die technischen, ökologischen und sozioökonomischen Voraussetzungen zur Erschließung dieses Potenzials zu schaffen.

### Highlight:

Bau, Betrieb und Rückbau eines FPV-Demonstrators auf einem Tagebausee sowie einer Referenzanlage an Land



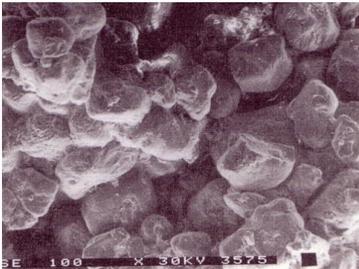
+



# Geotechnische Herausforderungen am Mortkasee

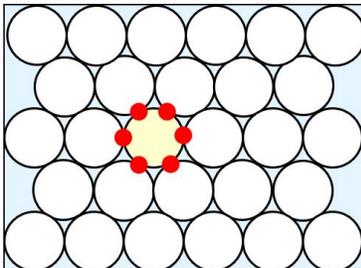
- Der Mortkasee bei Lohsa, einst ein Tagebau, zeichnet sich heute durch besondere geotechnische Herausforderungen aus.
- Der Seegrund ist unverdichtet. Die Uferbereiche sind eher instabil.
- Der Mortkasee ist teilweise im Sperrgebiet und ist aus Sicherheitsgründen nicht für die Öffentlichkeit zugänglich.
- Für die Installation der PV-Anlagen war eine präzise Planung der Verankerung erforderlich, um das Risiko einer Bodenverflüssigung zu minimieren.

**dicht gelagerter Sand**  
(Gewachsenes / verdichtete Kippe)



mikroskopische Aufnahme

stabile, belastbare Struktur:  
 - viele Kontakte zwischen Körnern  
 - geringer Porenanteil  
 - kaum Bewegungsraum der Körner

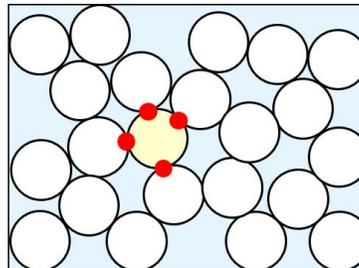


schematische Darstellung

**locker gelagerter Sand**  
(unverdichtete Kippe)

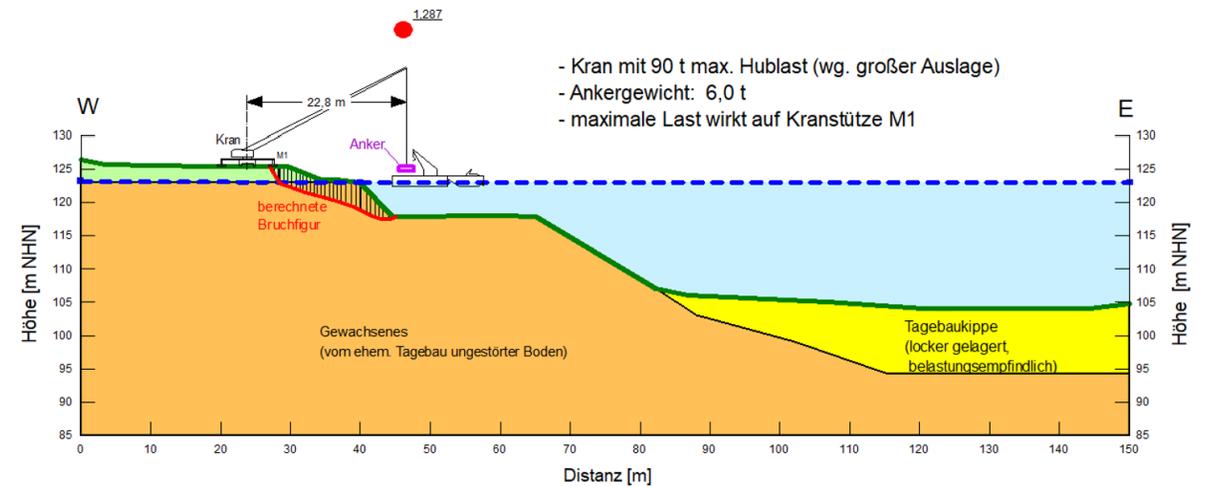


belastungsempfindliche Struktur:  
 - weniger Kontakte zwischen Körnern  
 - größerer Porenanteil  
 - mehr Bewegungsraum der Körner



**BIUG** Beratende Ingenieure für  
 Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH  
 Freiberg · Senftenberg · Zeltz

**PV2Float @ Mortkasee**  
**Westböschung - Bereich der Fischzuchtanlage**  
 Beispiel: Kraneinsatz zum Ein-/Ausheben eines Ankers



# Verankerung der PV-Inseln

- Totlastanker aus Beton werden aufgrund der schwierigen Bedingungen am Seegrund eingesetzt.
- Mit einem schwimmenden Lastkahn wurden die Anker anhand von GPS-Koordinaten positioniert und vorsichtig auf dem Meeresboden abgesenkt.



# Ankerleine der PV-Inseln

- Die Ankerleinen für die PV-Inseln bestehen aus Polyesterseilen und elastischen Bauteilen.
- Die Zimmermann-Insel hat 8 reine Seil-Ankerleinen (Bild 1 und 2), und die Profloating- und Floating Solar-Inseln haben jeweils 4 Seil- und elastische Ankerleinen (Bild 3).
- Ankerleine werden an Anker und Boje befestigt.



Bild 1



Bild 2



Bild 3

# Zimmermann

## Deutschland

- Geflößte Lösung aus HDPE\*-Würfeln, die Auftrieb erzeugen
- Stahlkonstruktion, die PV-Module und Laufstege trägt
- PV-Module in Ost-West-Ausrichtung mit Modulen im Hochformat
- Integrierte Wechselrichterplattform und Bootsanlegestelle



\* Hochdichtes Polyethylen



# Profloating

## Niederlande

- Modulare Lösung aus Kunststoff
- HDPE\*-Schwimmkörper, die PV-Module und Laufstege tragen
- PV-Module in Ost-West-Ausrichtung mit Modulen in Querformatstellung
- Integrierte Wechselrichterplattform und Bootsanlegestelle



\* Hochdichtes Polyethylen

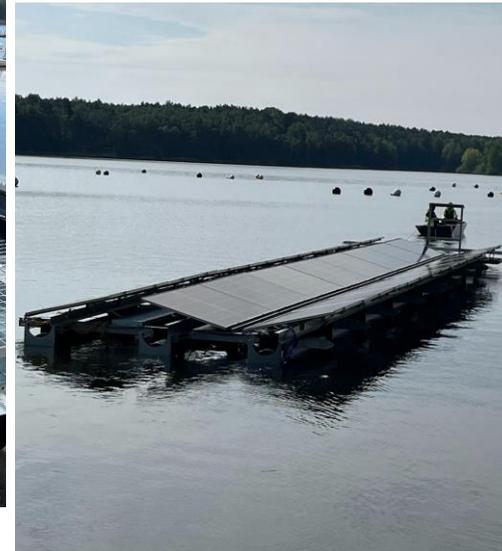




# Floating Solar BV

## Niederlande

- Geflößte Lösung aus HDPE\*-Rohren
- Stahlkonstruktion, die PV-Module und Laufstege trägt
- PV-Module in Ost-West-Ausrichtung mit Modulen in Querformatstellung
- Integrierte Wechselrichterplattform und Bootsanlegestelle



\* Hochdichtes Polyethylen

# Ocean Sun

(wird in PV2Float nicht verwendet)

- Die schwimmende PV-Folien-Technologie von Ocean Sun wurde im Rahmen des Projekts in Betracht gezogen.
- Laut Hersteller ist die Technologie jedoch eher für den Offshore-Bereich geeignet und weniger für ruhige Onshore-Gewässer.



# Floating Solar Tracking PV

(wird in PV2Float nicht verwendet)

- Die Tracking-Technologie von Floating Solar BV wurde im Rahmen des Projekts in Betracht gezogen.
- Die Tracking-Technologie ist im MW-Maßstab jedoch weniger geeignet.
- Stattdessen wurde die statische Technologie von Floating Solar BV verwendet.



# Schwimmende und bodenmontierte AC-Kabel

- Die AC-Kabel liegen auf Profloating Schwimmkörpern, um zu verhindern, dass sie im Wasser sinken.
- Kleine Anker werden genutzt, um die Kabel in den gewünschten Positionen zu fixieren.
- An Land werden die Kabel in herkömmlichen Kabelrinnen verlegt. Kabelbrücken kommen dort zum Einsatz, wo die Kabel Fußgänger- oder Fahrzeugwege kreuzen.
- Alternative: Unterseekabel – jedoch kostspieliger und schwieriger zu warten.



# Landreferenzanlage auf dem Fraunhofer ISE Testgelände in Merdingen

- Das schwimmende System von Zimmermann wird an Land am Standort Merdingen gespiegelt.
- So kann ein direkter Vergleich zwischen dem schwimmenden System und dem an Land durchgeführt werden.
- Eines der Hauptziele ist es, die kühlende Wirkung des Wassers auf die Energieerzeugung zu vergleichen.



# RWE

## Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Forschungsfragestellungen in PV2Float

*Einweihungsfeier des PV2Float-Projekts*

---

Stefan Wieland  
Gruppe *PV-Kraftwerke*  
Fraunhofer ISE  
15.11.2024, Lohsa  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Wie groß ist das deutsche FPV-Potenzial?

## Südausrichtung



## Ost-West-Ausrichtung



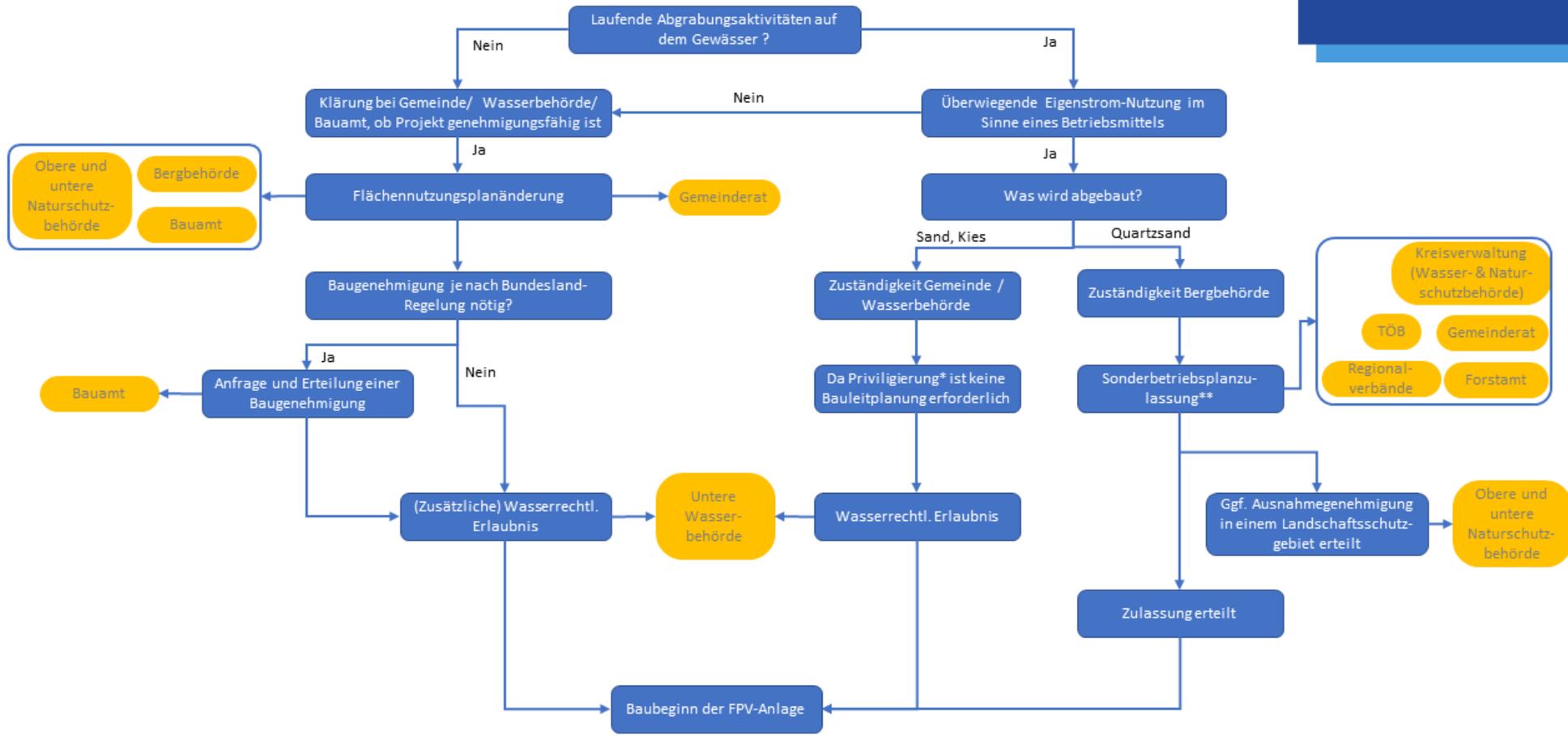
### Legende

- Technisches Potenzial mit 20m Uferabstand
- 35% Belegung
- 25% Belegung
- 15% Belegung
- Potenzial nach gesetzlichen Vorgaben
- Wirtschaftlich-praktisch erschließbares Potenzial

# Wie sehen Genehmigungsprozesse aus?



Ablauf Genehmigungsprozess einer schwimmende PV-Anlage



\* §35(1), 3, BauGB: Versorgung mit Elektrizität für ortsgebundenen gewerblichen Betrieb d Erteilung einer Baugenehmigung

\*\* nach §2 (1) Nr. 3 BbergG, vereinfachtes Verfahren ohne Öffentlichkeitsbeteiligung

# Wie hoch ist die Akzeptanz für FPV?

## Aktive Braunkohletagebaue, weil

- Großes Flächenpotenzial
- Aktueller Diskurs um Nachnutzungen der Braunkohletagebaue

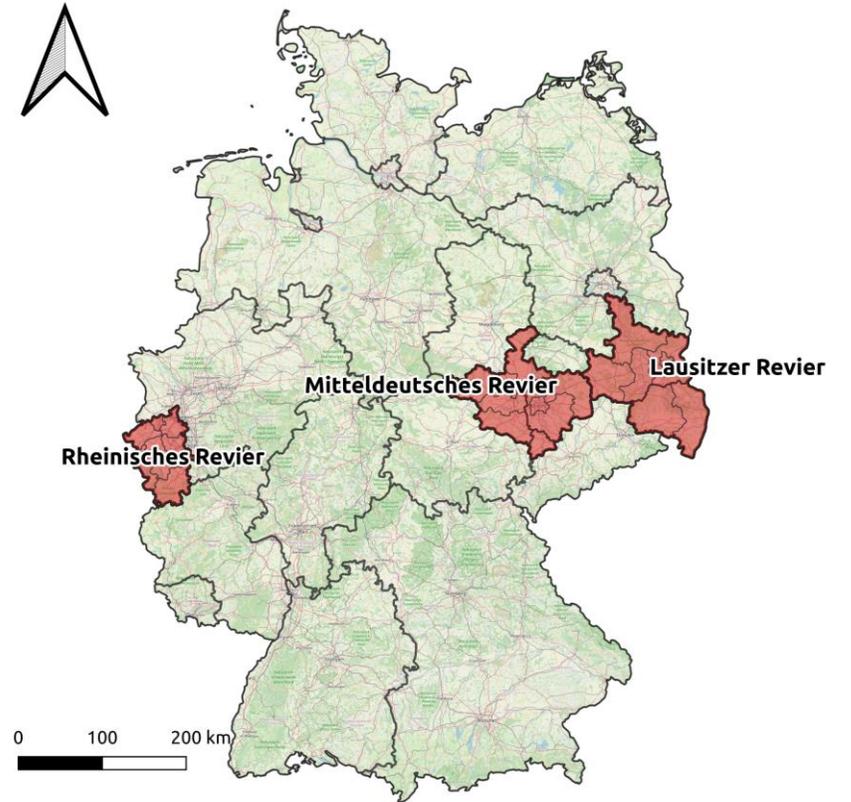
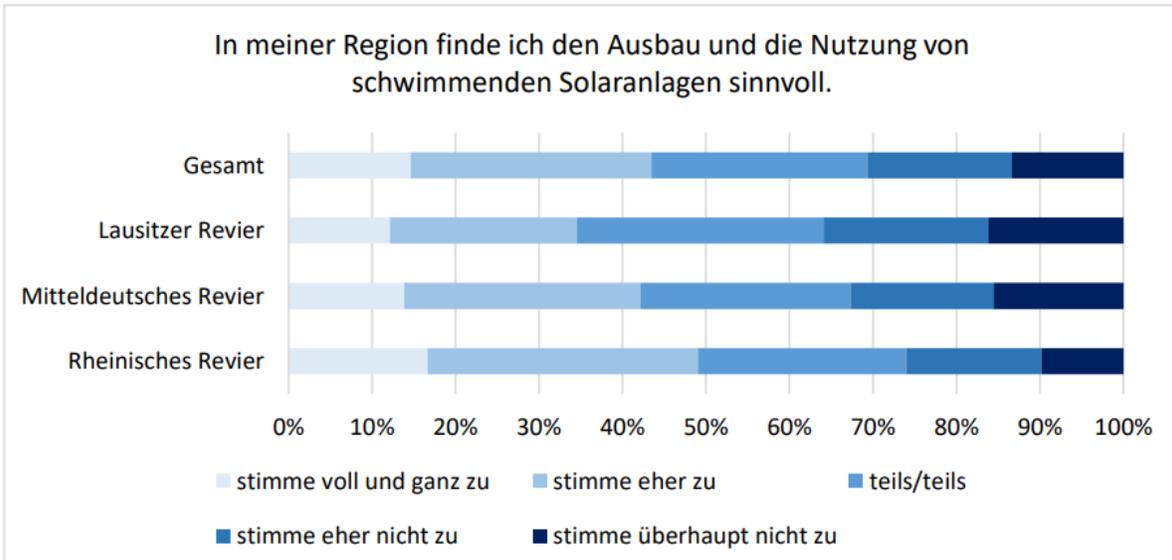
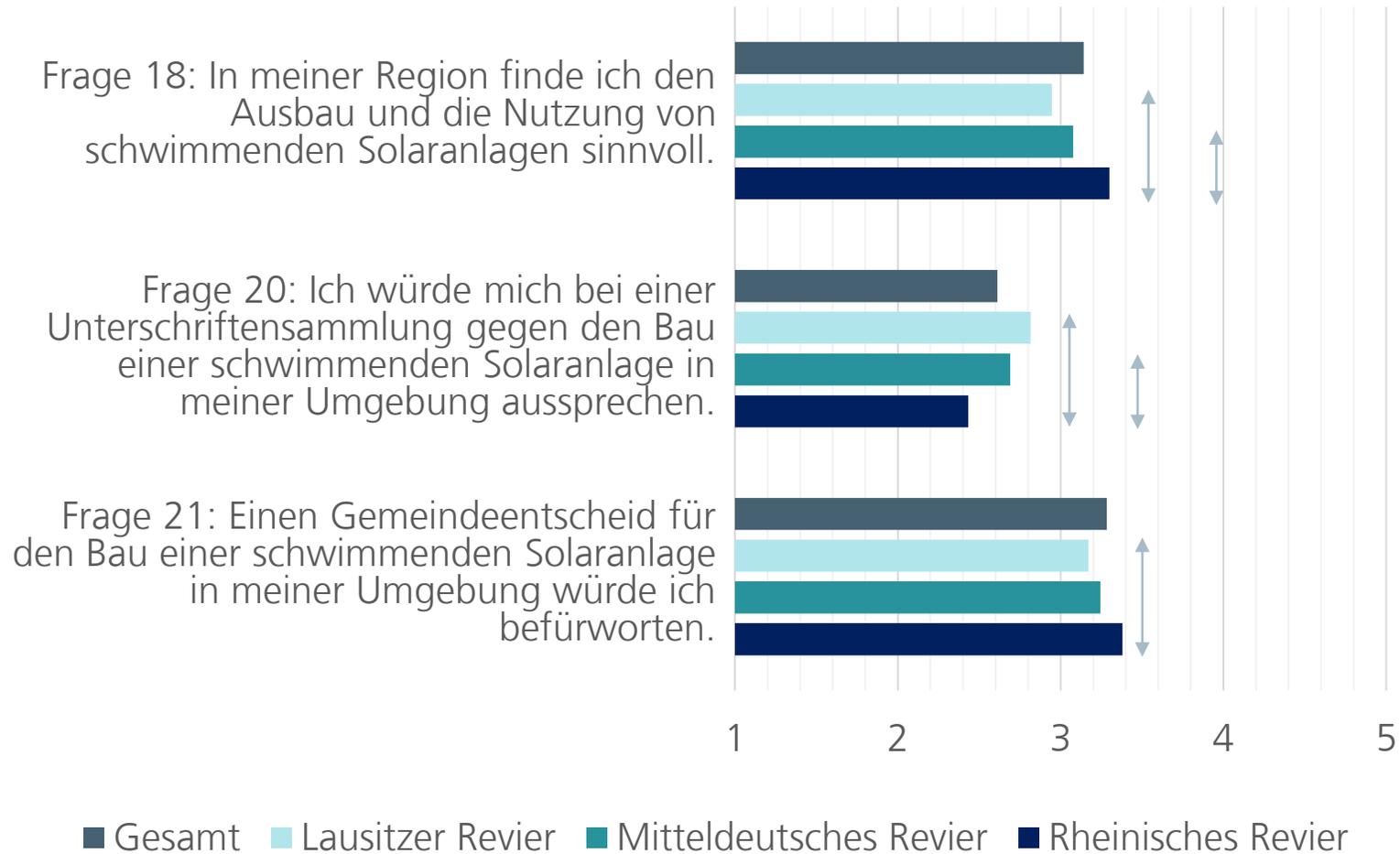


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet – aktive Tagebaureviere.

Quelle: Eigene Darstellung mit OSM-Hintergrundkarte

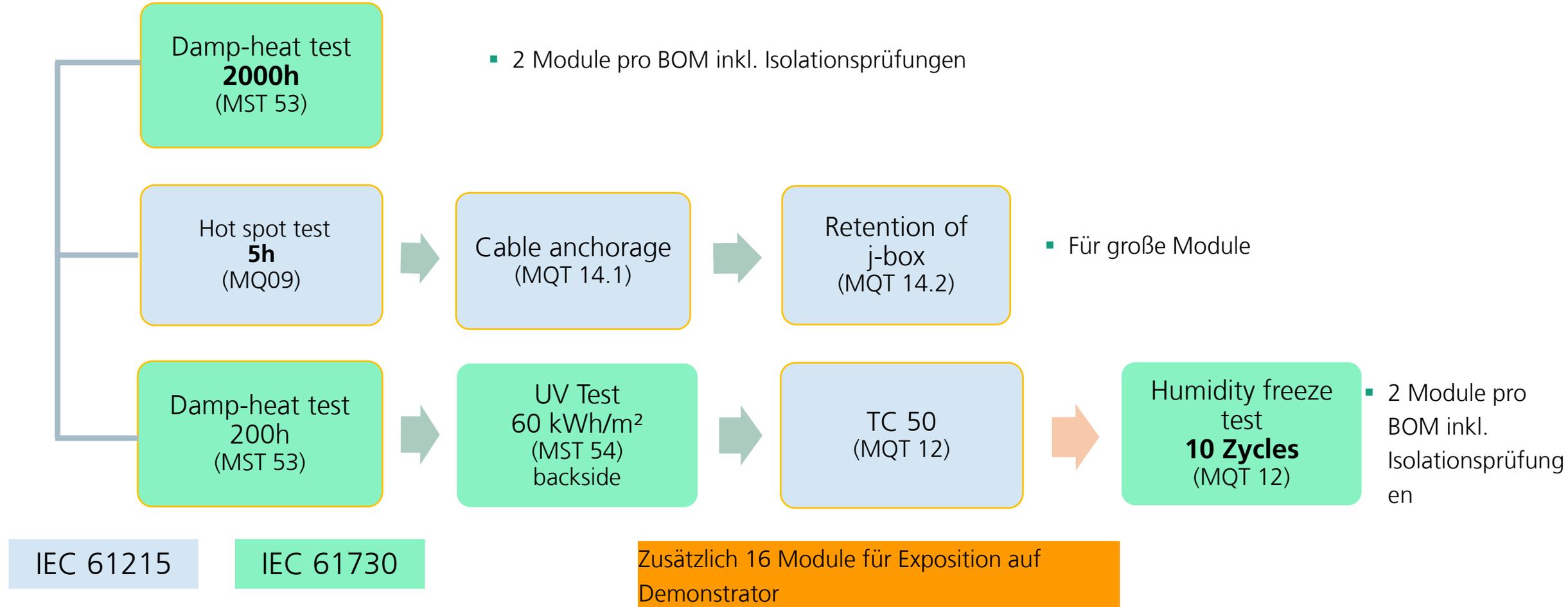
# Wie hoch ist die Akzeptanz für FPV?



**Abbildung 17: Bewertung Floating Photovoltaik – Arithmetische Mittelwerte.**

- Fragen 18, 20 & 21 der Onlinebefragung
- Strichprobengröße:
  - Gesamte Stichprobe n = 1196
  - Lausitzer Revier n = 223
  - Mitteldeutsches Revier n = 477
  - Rheinisches Revier n = 496
- Legende
  - 1 = „stimme überhaupt nicht zu“
  - 5 = „stimme voll und ganz zu“
  - $\updownarrow$  = Signifikanzniveau  $p < 0,05$
- Quelle: Fraunhofer ISE.

# Wie prüft man beschleunigt die Zuverlässigkeit von FPV-Komponenten?

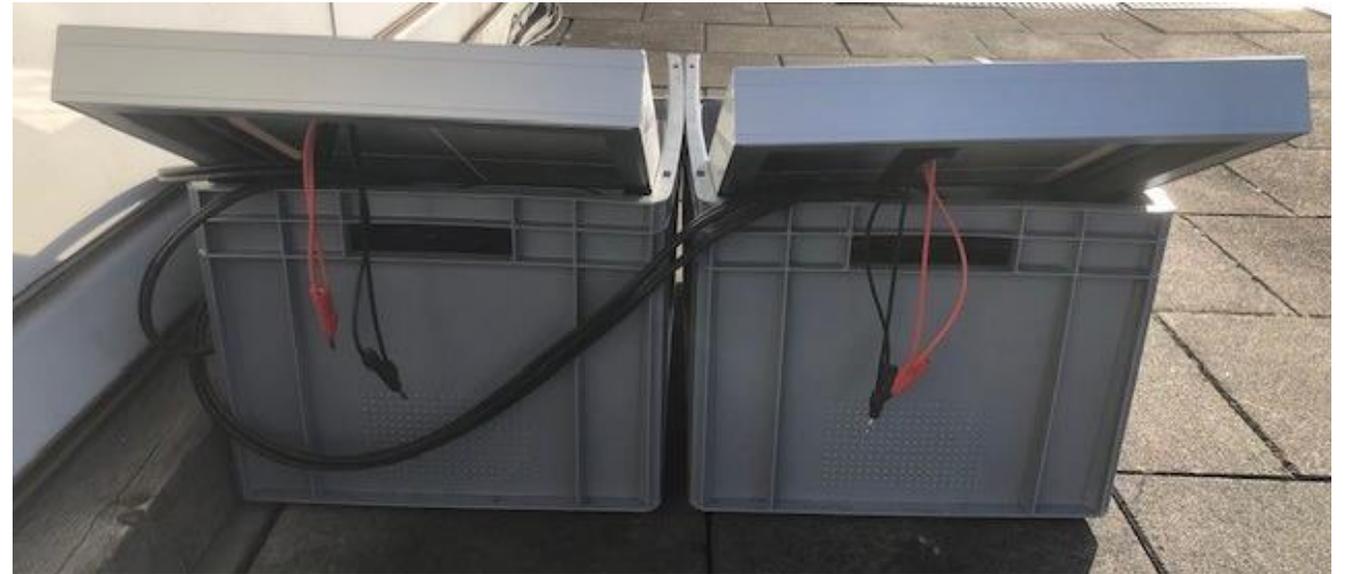


# Welche Schadstoffe werden in welchen Mengen abgeschieden?

# PV2Float



- Beginn Exposition 15.11.2023
- jeweils angeschlossen an elektronische Last
- Betrieb im MPP-Modus
- Datenerfassung mit Intervall von 2 min



# Wie müssen Prognosetools für PV-Erträge angepasst werden?



Analyse und Auswertung von meteorologischen Bedingungen in FPV-Datensätzen



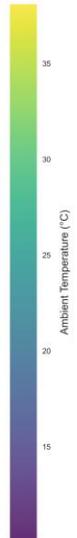
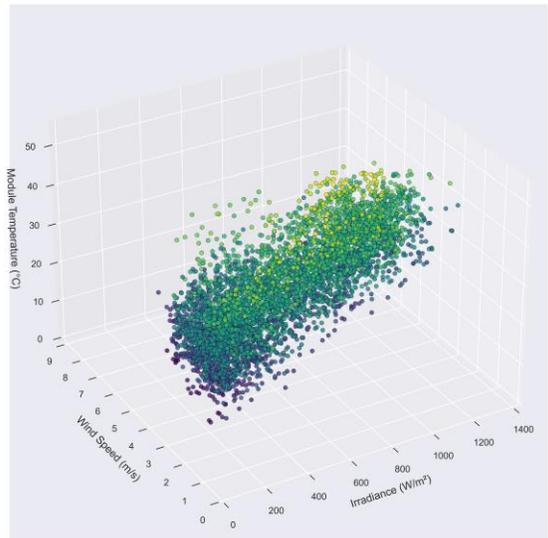
Vergleich der Modelle aus der Literatur



Neukalibrierung der Modellkoeffizienten



Validierung der neuen Parameter



- Faiman**  $T_{mod} = T_{amb} + \left( \frac{G_T}{U_0 + U_1 \cdot Ws} \right)$

---

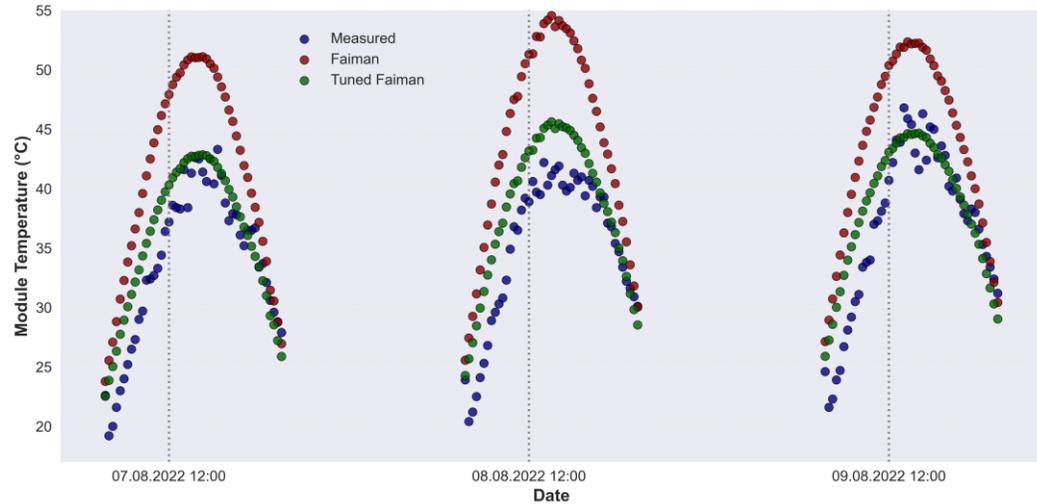
- Zenit**  $T_{mod} = T_{amb} + T_s \frac{G_T}{1000 \left( \frac{W}{m^2} \right)}$

---

- Sandia**  $T_{mod} = T_{amb} + G_T \cdot e^{a + b \cdot Ws}$

---

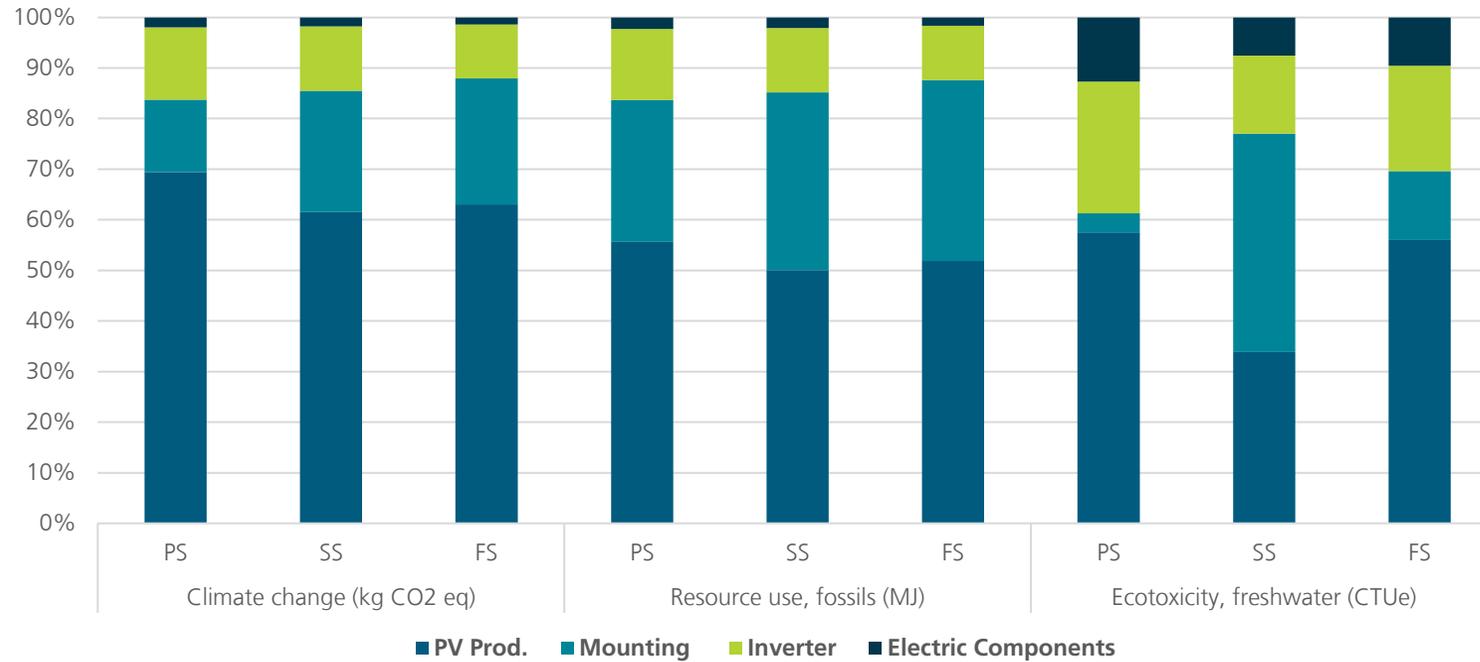
- Risser & Fuentes**  $T_{mod} = 3.81 + 1.31 T_{amb} + 0.0282 G_T - 1.65 Ws$



# Wie hoch ist der ökolog. Fußabdruck von FPV?



Component Breakdown Impact per kWh



PS: Pontoon Solution

SS: Steel Construction Solution

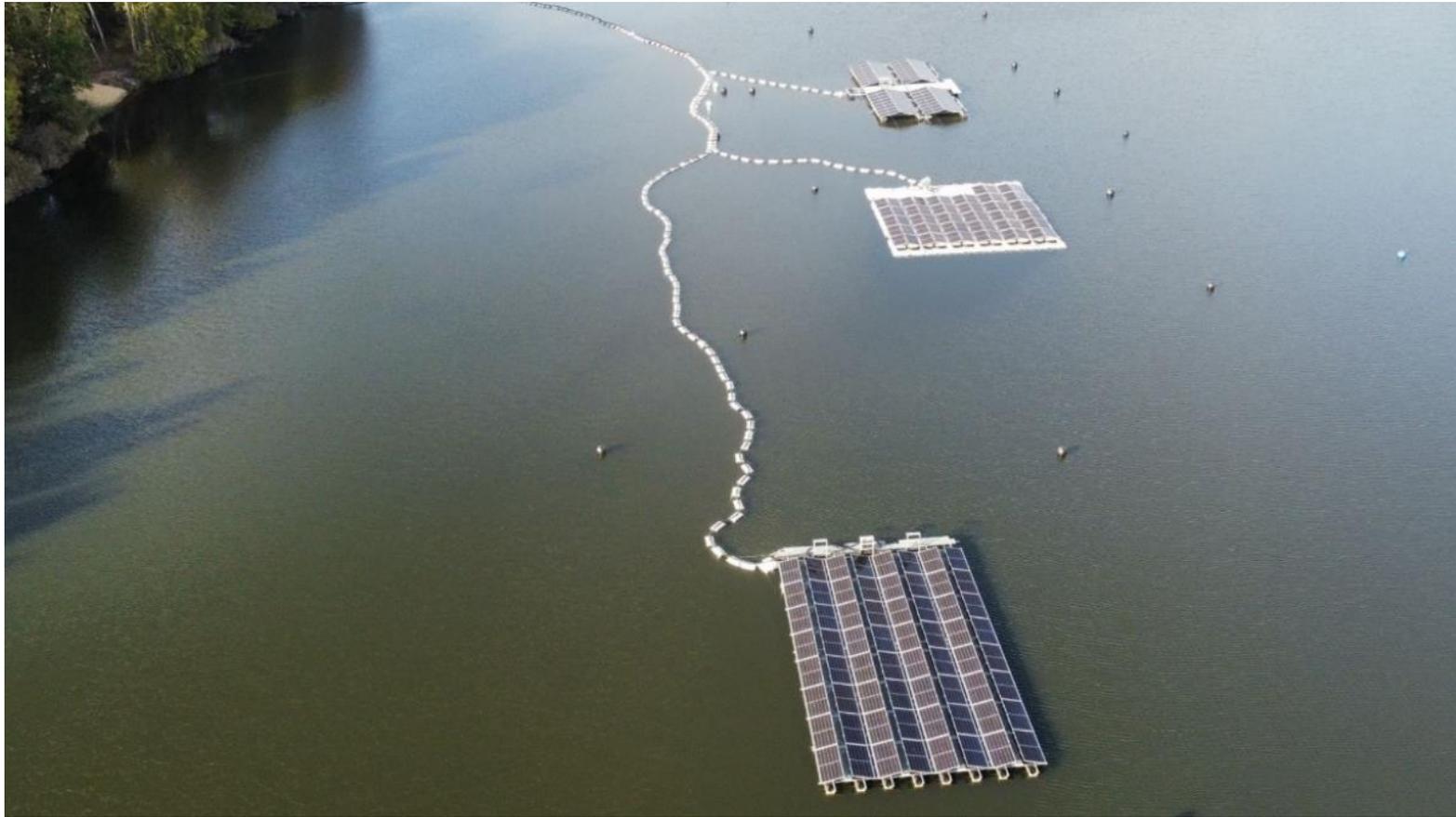
FS: Foil/ Membrane Solution

**P1 Product Phase (A1-A3)**

**P2 Construction Phase (A4+A5)**

# Welchen Einfluss hat das Systemdesign auf Stromerträge und Degradation?

# PV2Float



**Demnächst!**

# Welchen Einfluss hat das Wasser auf Stromerträge und Degradation?

PV2Float



**Demnächst!**

# Welchen Einfluss hat FPV auf das Gewässer?

# PV2Float



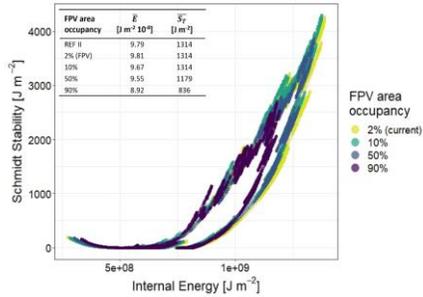
**Floating-PV-Anlagen – Teil 2:** Untersuchung von naturschutzfachlichen Auswirkungen von schwimmenden PV-Anlagen auf Stillgewässern

**FPV4Resilience:** Gesteigerte Klimaresilienz von Standgewässern durch ertragsoptimierte schwimmende PV



# Schwimmende PV am ISE

## Publikationen



- Ilgen, K., Schindler, D., Wieland, S. et al. **The impact of floating photovoltaic power plants on lake water temperature and stratification.** Sci Rep 13, 7932 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34751-2>

- Jung, D., Schöneberger, F., Moraga, F., Ilgen, K., Wieland, S. **Floating PV in Chile: Potential for Clean Energy Generation and Water Protection.** Sustainable Energy Technologies and Assessment 63, 103647 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103647>

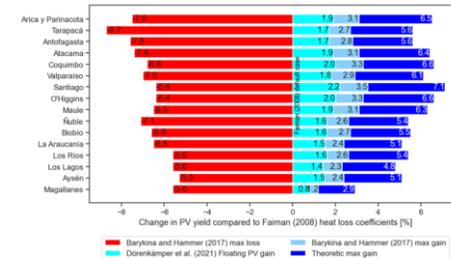
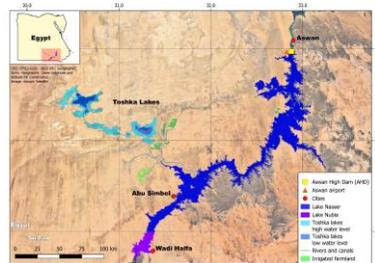
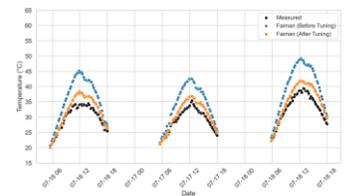


Figure 7: Sensitivity of PV yield in Chilean regions to combinations of heat loss factors.



- Ilgen, K., Schindler, D., Armbruster, A., Ladwig, R., Eppinger Ruiz de Zarate, I., Lange, J. **Evaporation Reduction and Energy Generation Potential using Floating Photovoltaic Power Plants on the Aswan High Dam Reservoir.** Hydr. Sci. Journal, 69(6), 709–720. <https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2332625> (2023, im Review)

- Nicola, M.; Berwind, M. **Improving Module Temperature Prediction Models for Floating Photovoltaic Systems: Analytical Insights from Operational Data.** Energies 2024, 17, 4289. <https://doi.org/10.3390/en17174289>



# Kontakt

---

[pvmod.fpv@ise.fraunhofer.de](mailto:pvmod.fpv@ise.fraunhofer.de)

Fraunhofer ISE  
Heidenhofstraße 2  
79110 Freiburg  
[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Photovoltaikanlagen auf Seen aus gewässerökologischer Sicht

**Dr. Dieter Leßmann**

BTU Cottbus-Senftenberg, Fachgebiet Gewässerökologie  
lessmann@b-tu.de

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## FPV-Anlage auf dem Cottbuser Ostsee



Quelle: cottbuser-ostsee.de (21.10.2024)

„Mit Floating-PV steht uns eine Technologie mit viel Potenzial zur Verfügung, die auf künstlichen Gewässern konfliktarm errichtet werden kann. Wir vereinen mit dem Projekt die CO<sub>2</sub>-neutrale Energieerzeugung mit dem Schutz des Ökosystems und den Interessen der Öffentlichkeit. In der Lausitz stehen viele weitere Braunkohle-Tagebauseen zur Verfügung, die wir für schwimmende Solaranlagen nutzen möchten.“

*LEAG-EPNE-Geschäftsführer Dominique Guillou*

Seefläche: 1.900 ha  
FPV-Fläche: 16 ha (51.000 Solarmodule)  
Leistung: 29 MWp, ca. 29.000 MWh/a  
= Jahresstrombedarf von ca. 8.250 Haushalten



## FPV-Anlagen auf Seen



Quelle: cottbuser-ostsee.de (21.10.2024)

### PV2Float

- Konfliktarme Errichtung von FPV
- Wahrung der Interessen der Öffentlichkeit
- **Schutz des Seeökosystems**



## Gesetzliche Grundlage für FPV-Anlagen seit 2021

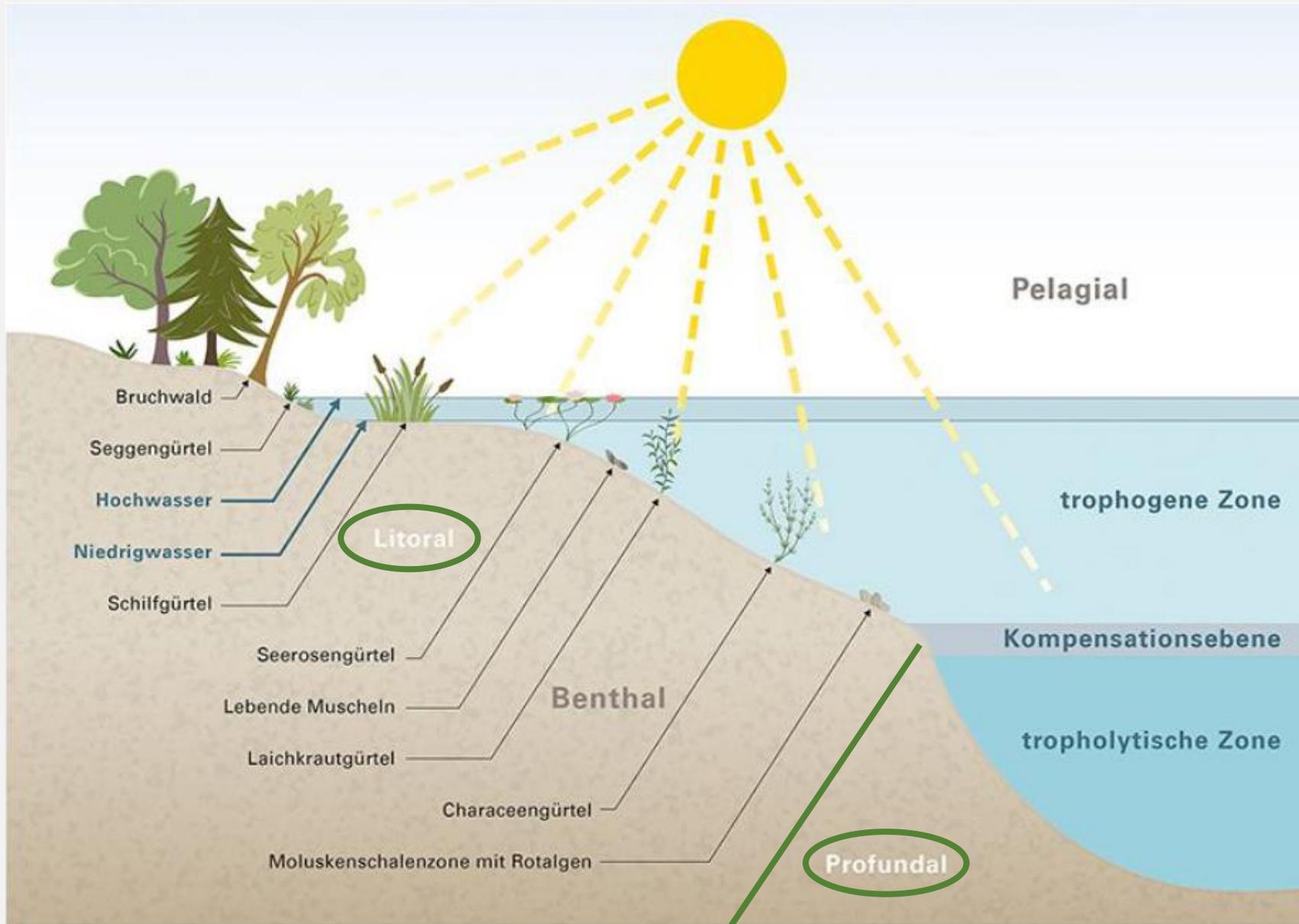
### Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG)

#### § 36 Anlagen in, an, über und unter oberirdischen Gewässern

...

(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.

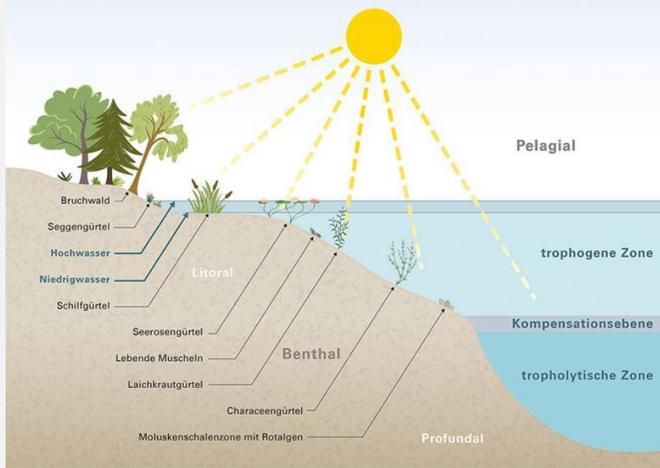


## Aspekt „Schutz der Litoralbereiche“

### Makrozoobenthos in oligotrophen tiefen Seen

Litoral: > 100 Arten

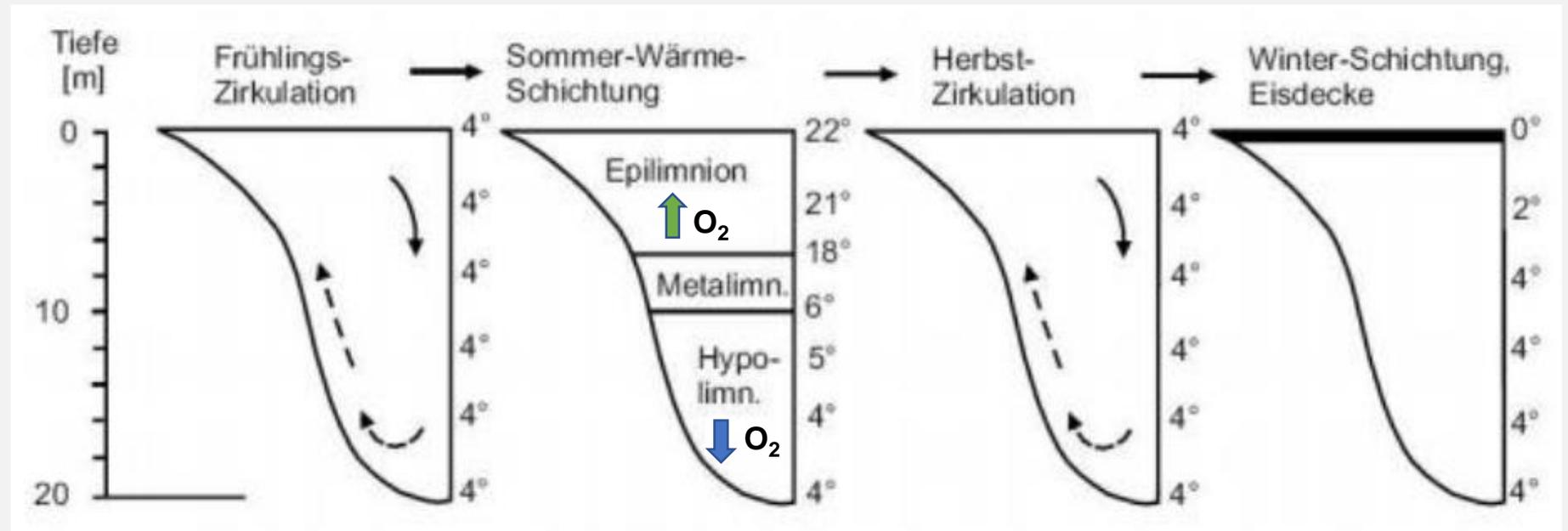
Profundal: ca. 10 Arten



LfU Bayern 2021

## Aspekt „Schutz des natürlichen Durchmischungsverhaltens“

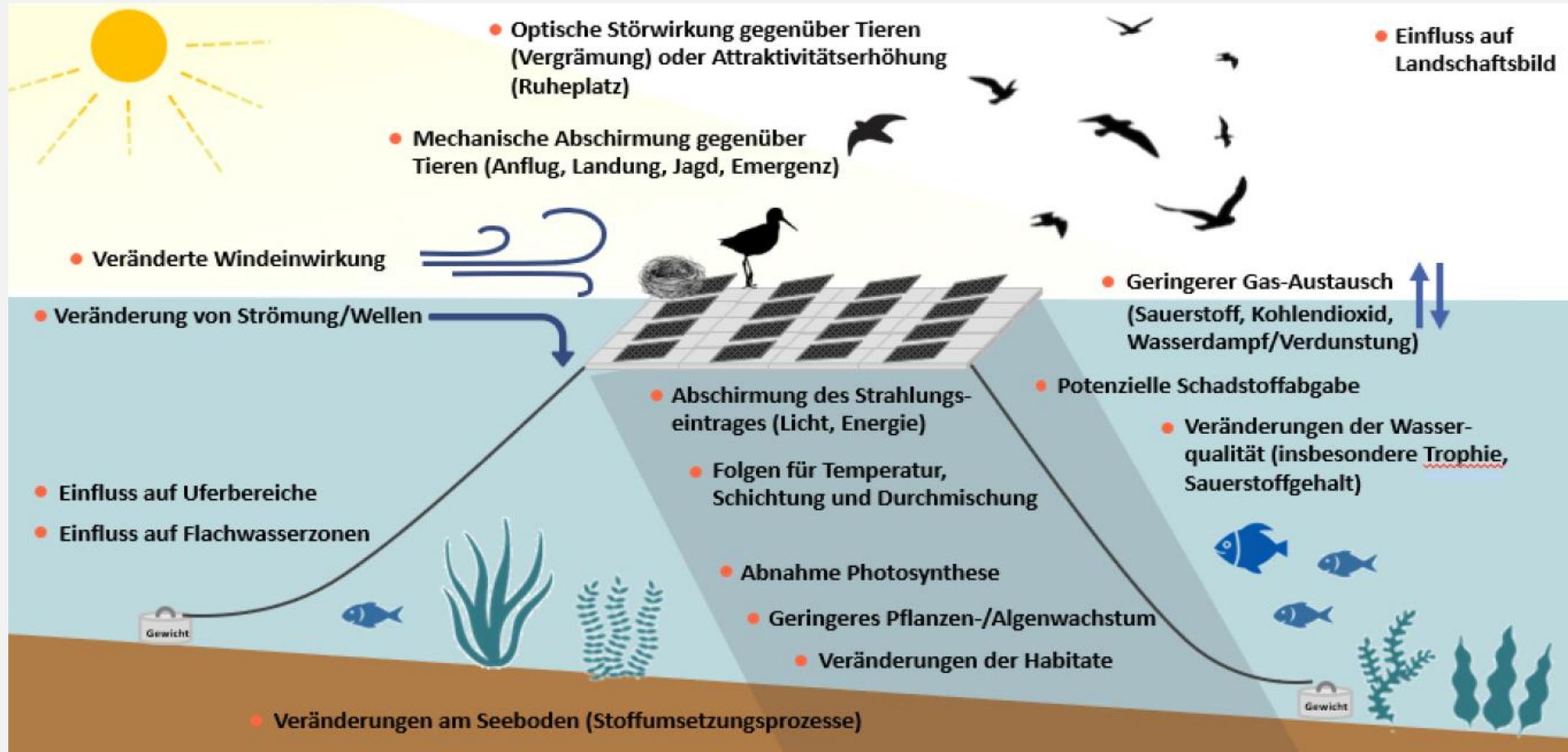
### Saisonales Durchmischungsverhalten tiefer, dimiktischer Seen



Schwoerbel und Brendelberger 2013

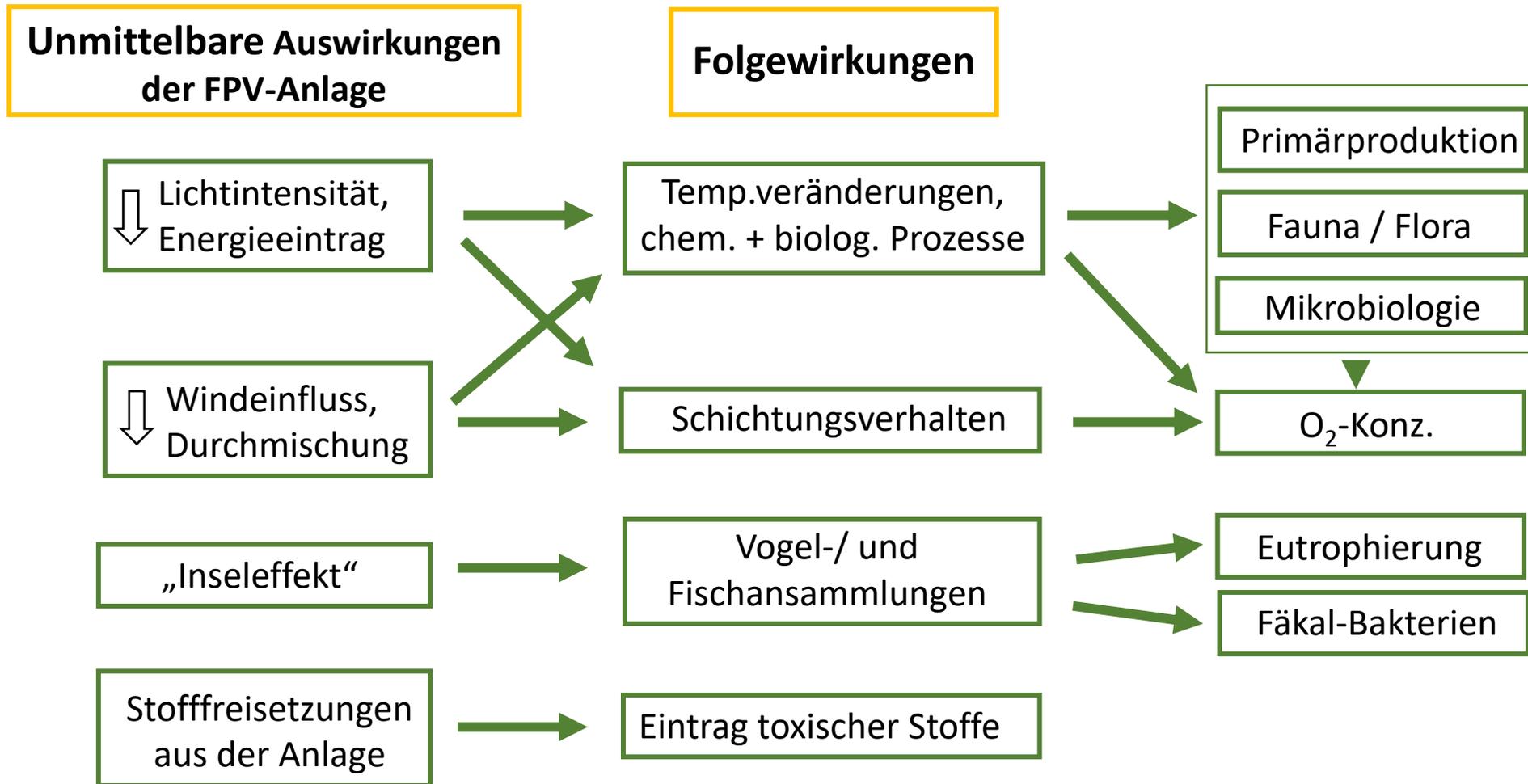
→ wichtigste steuernde Faktoren für Durchmischungsverhalten: Sonneneinstrahlung, Wind

# Einflüsse und mögliche Veränderungen infolge von FPV-Anlagen auf Seeökosysteme



Mehl et al. (2024): Schwimmende PV-Anlagen: Auswirkungen auf Arten, Lebensräume und Landschaftsbild (und Ansätze zur Vermeidung). BfN-Schriften 685.

# Potentielle Auswirkungen von Floating-PV auf Gewässerökosysteme



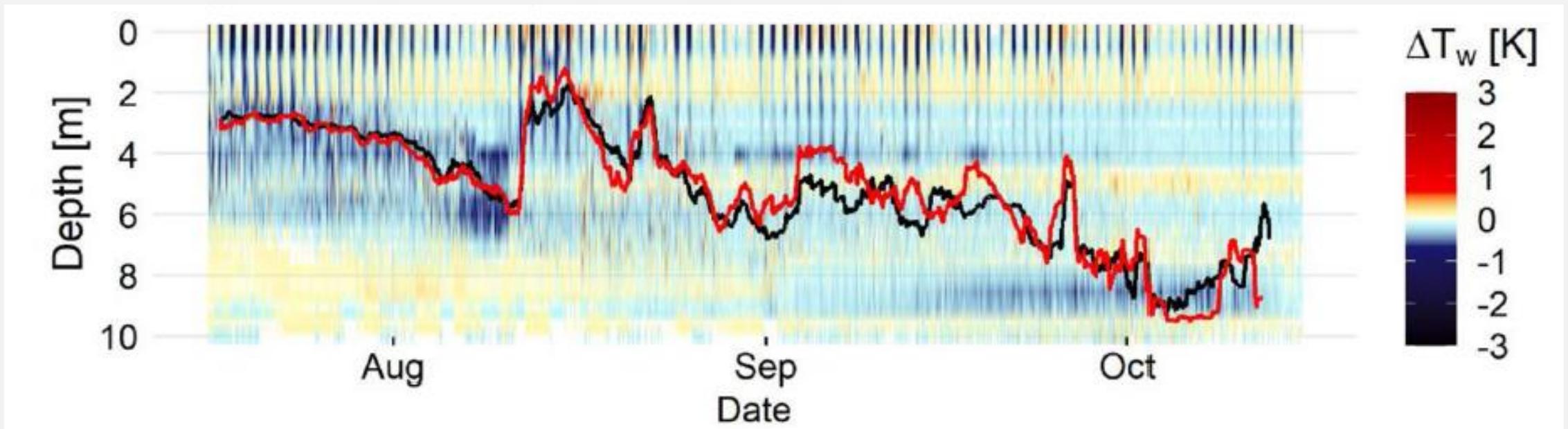
Leßmann 2023 in Anlehnung an Pires & Loos 2020

# Limnophysikalische Auswirkungen einer FPV-Anlage



## Maiwaldsee, Renchen/BW

FPV: 2.300 Module,  
7.700 m<sup>2</sup> (2 % der Seefläche),  
Leistung: 750 kWp  
Ertrag: ca. 860.000 kWh/a



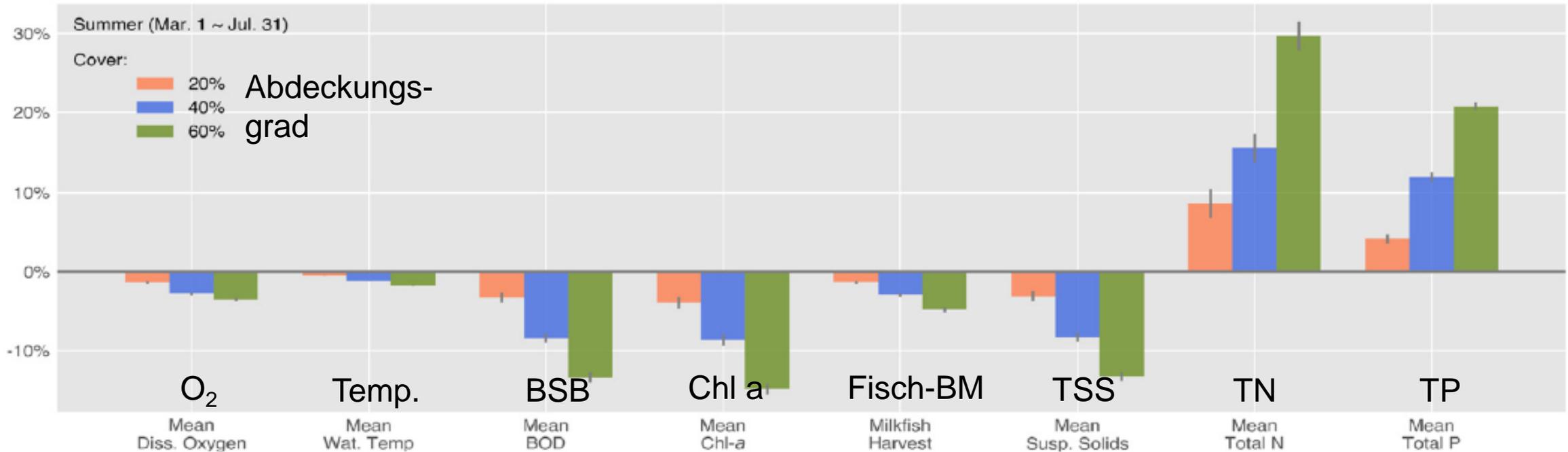
## FPV Bomhofsplas/NL – erste Ergebnisse



- Keine Auswirkungen auf die Tiefenlage der Thermokline während Sommerstagnation.
- Nur geringe Verminderung der O<sub>2</sub>-Konzentrationen unter der Anlage.
- Lichtverfügbarkeit unter der Anlage „noch gut“.
- Keine Eutrophierungsanzeichen.
- Erhöhung der Biodiversität (insbes. Fische, Wirbellose).

Quelle: Fa. ATKB-Bakker & FH Hanze/NL

# Untersuchung und Modellierung gewässerökologischer Veränderungen durch FPV-Anlagen auf Fischteichen in Taiwan



→ deutlicher Effekt auf Primärproduktion,  
nur geringer Rückgang der Fischbiomasse

Château P., Wunderlich R.F., Wang T., Lai H., Chen C., Chang F. (2019): Mathematical modeling suggests high potential for the deployment of floating photovoltaic on fish ponds. *Science of the Total Environment* 687: 654–666.

## Fazit

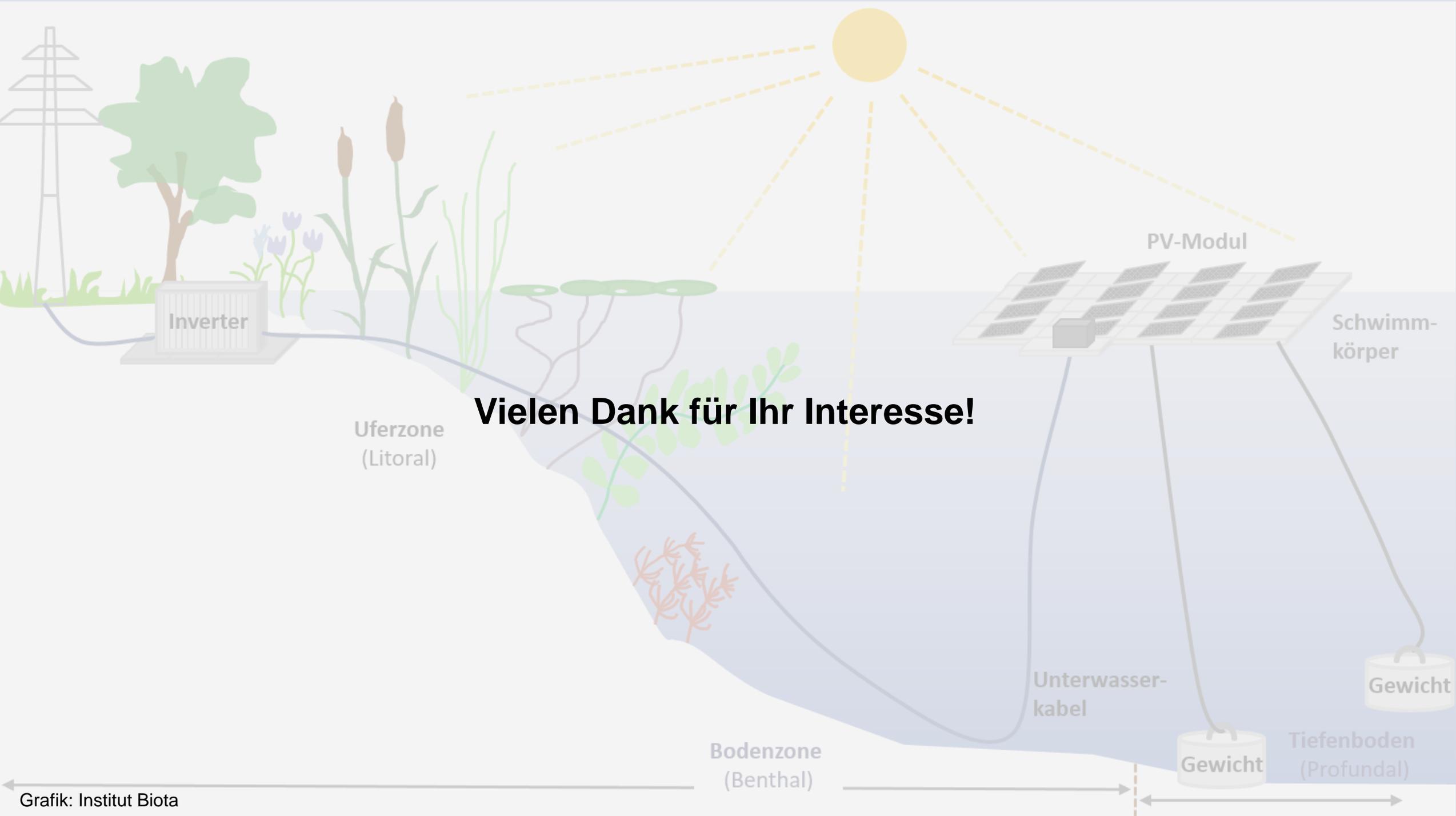
### **Bisher nur relativ geringe Kenntnisse über gewässerökologische Auswirkungen von FPV**

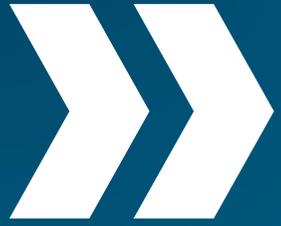
Wichtige offene Fragen betreffen die Auswirkungen auf

- Struktur der Planktonzönosen (Arten, Biomasse und Dominanzstrukturen)
- Einfluss auf die Trophie / Intensität der Primärproduktion (Algenwachstum)
- (Nähr-)Stoffkreisläufe im See, insbes. Phosphor und Stickstoff (mikrobielle Aktivität)
- Sauerstoffhaushalt (Schichtungsdauer, Primärproduktion, mikrobielle Aktivität)
- Wirbellosen-Besiedlung unter den Anlagen und auf den Schwimmkörpern
- Sedimentbildung unter den Anlagen (Nährstoffanreicherungen)
- Verhalten von Fischen und Wasservögeln (Rast, Nahrungsaufnahme, Fortpflanzung)

## Gewässerökologische Ziele und Untersuchungen im Rahmen des PV2Float-Projekts

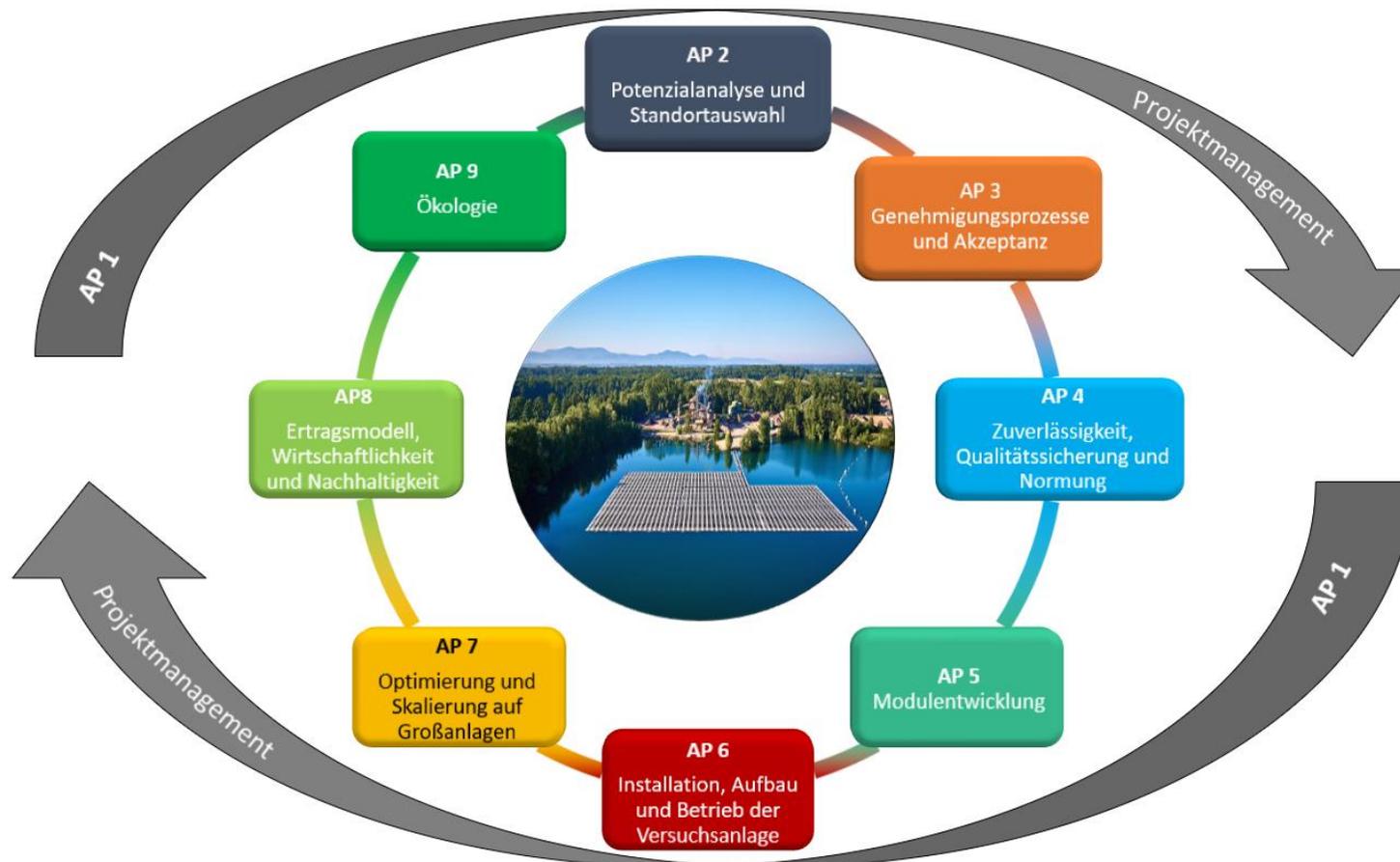
- Erfassung der Veränderung limnophysikalischer Eigenschaften des Seewasserkörpers durch hoch aufgelöste Messungen von Wassertemperatur (Datenlogger) und Sauerstoffkonzentration sowie der Lichtverfügbarkeit im Tiefenprofil unter den FPV-Anlagen im Vergleich mit einer Referenzmessstelle
- Untersuchung von chemischen Veränderungen der Wasserbeschaffenheit (u.a. Nährstoffe)
- Untersuchung des Einflusses der FPV-Anlagen auf Phyto- und Zooplankton (Fluoreszenzmessungen und Planktonproben)
- Nutzung der FPV-Anlagen durch Vögel
- Besiedlung der FPV-Schwimmkörper durch Organismen
- Limnophysikalische Modellierungen der Auswirkungen unterschiedlicher FPV-Anlagendesigns und –dimensionierungen
- Bereitstellung von Entscheidungshilfen zur Nutzung von FPV-Anlagen für Vorhabenträger und Genehmigungsbehörden





# Fragen & Antworten

# Arbeitspakete des Forschungsprojekts PV2Float



## Detaillierter Inhalt vom Forschungsprojekt PV2Float

- Bau, Betrieb und Rückbau eines Demonstrators für FPV auf einem Tagebausee
- Forschung zur wirtschaftlichen Umsetzung von FPV im MW-Maßstab mit Schwerpunkt auf den Gegebenheiten in Deutschland
  - Identifikation und Abbau von Marktbarrieren
  - Vermeidung umweltschädlicher Materialien
  - Steigerung der Erkenntnisse der Auswirkungen von FPV auf Gewässerökosysteme
  - Steigerung des Wirkungsgrads und der Flächeneffizienz
  - Effizientere Projektabwicklung
  - Vergleich von FPV-Technologien
  - Produktionsreife neuer Materialien/Technologien
- Zusammenarbeit mit Behörden und Akteuren vor Ort
  - Entwicklung eines Prozessmodells zur Genehmigung von FPV
  - Partizipation und Forschung zu Akzeptanz und Interessenskonflikten

## Seien Sie grüner Vorreiter in Sachen Klimaschutz & Innovation

### Vorteile des Gewässers

- Ehemaliges Braunkohleabbaugebiet
  - Übertragbarkeit auf weitere rekultivierte Braunkohleabbaugebiete
- Eine vollständige Abdeckung des Gewässers ist nicht geplant/erwünscht (weder im Forschungsprojekt, noch zukünftig)
- Uferbereiche des Gewässers werden höchstens für einen Steg und die Verankerung genutzt

### Perspektiven des Standorts

- Imagegewinn
- Beitrag zur Energiewende
- Ggf. lokale Energieversorgung der Gemeinde durch ein Folgeprojekt
- Ggf. positive Beeinflussung des Gewässers durch Verschattung (Kühlung des Gewässers, geringeres Algenwachstum)
  - Beeinflussbar durch Panelabstand, Paneltyp und Abdeckungsgrad

### Vorteile Unterstützung

- Qualitätssicherung/ Vereinheitlichung des Genehmigungsprozesses
- Beitrag zur Identifizierung von zukünftigen Projekten, die mit Natur und Mensch im Einklang stehen (Akzeptanz von erneuerbaren Energien)

# E-Learning vom Fraunhofer ISE

Workshop / 24. Januar 2024

## Workshop: Solarkraftwerke lernen schwimmen

Nachhaltige Ansätze für Floating PV-Anlagen

**Welche Auswirkungen haben Floating PV-Anlagen (FPV) auf die Gewässerökologie?**

**Kann ökologische FPV dauerhaft profitabel sein?**

**Welche ökologischen Mindestanforderungen gelten in Deutschland?**

Mit diesen und weiteren Fragen beschäftigt sich der Workshop »Solarkraftwerke lernen schwimmen: Nachhaltige Ansätze für Floating PV-Anlagen«.

Neben spannenden Impulsvorträgen verschiedener Akteure aus Industrie, Forschung und Planung, ist eine Podiumsdiskussion mit dem Titel: »Ist eine ökologische FPV möglich?« geplant. Außerdem erhalten Sie einen Überblick zu aktuellen Entwicklungen und der Marktsituation von Floating PV-Anlagen in Deutschland sowie Informationen zur aktuellen Genehmigungslage für FPV aus der Praxis.

Während des Workshops haben Sie durch interaktive Elemente und zwischen den Themenblöcken Gelegenheiten zum Informations- und Erfahrungsaustausch - auch mit den Referentinnen und Referenten.



© Jan Oelker

### Workshop: Solarkraftwerke lernen schwimmen

Datum: Mittwoch, 24.01.2024

Zeit: 09:00 bis 14:00 Uhr

Ort: Humboldt-Saal im Freiburger Hof, Freiburg im Breisgau

**Anmeldefrist: 20.12.2023**

**JETZT ANMELDEN!**

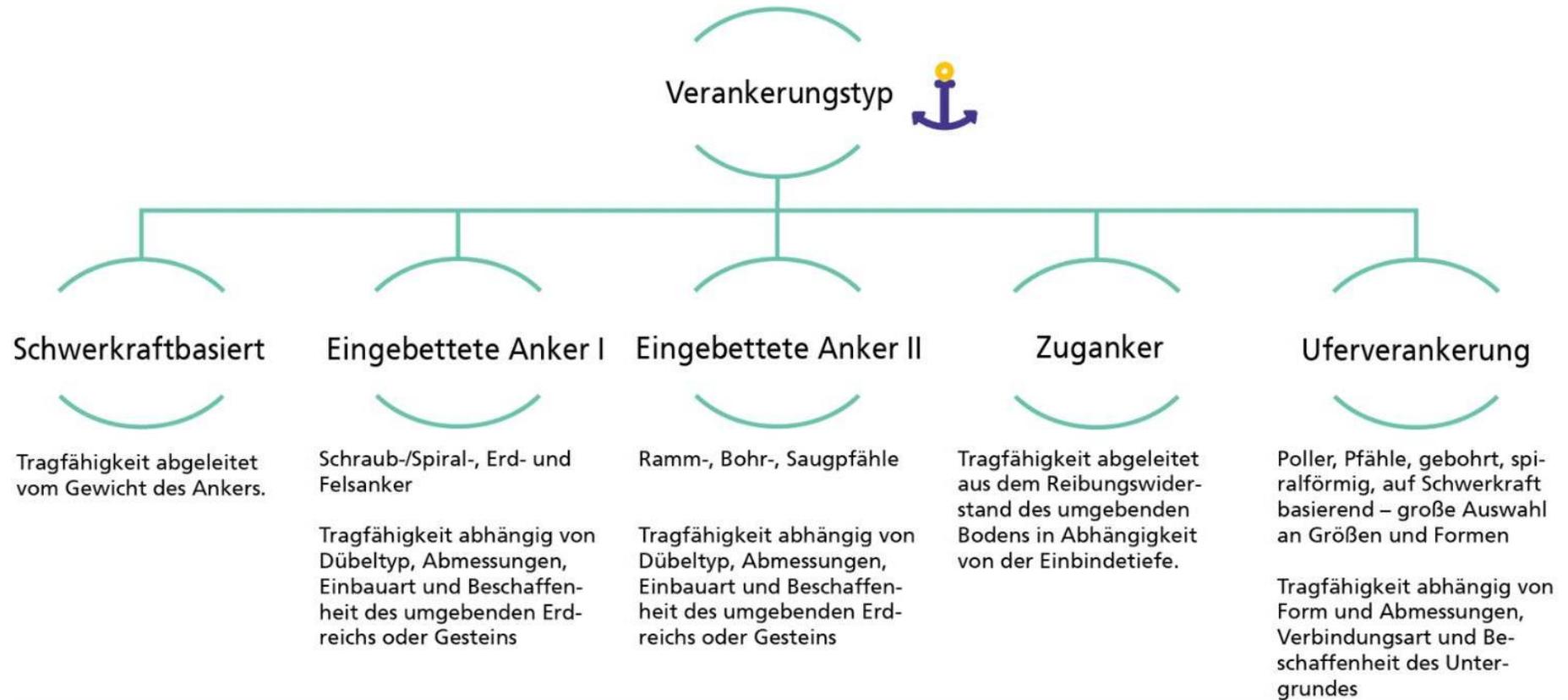
Anmeldung unter:

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/veranstaltungen/workshop-floating-pv.html>

# Befestigungslösungen

## Designfaktoren:

- Bodenbeschaffenheit
- Wind- und Wellenlasten
- Zusätzliche lokale Einflussfaktoren (z. B. Wasserablass)



# Mögliche FPV-Synergien

---

## 1. Installation mit Offshore-WKA

- gemeinsamer Netzanschluss
- Glättung Netzspitzen
- mehr Verankerungsoptionen
- keine zusätzliche Blockade von Schifffahrtsrouten
- Synergien bei Logistik/Wartung

## 2. Installation an Pumpspeicherkraftwerken

- gemeinsamer Netzanschluss, Glättung Netzspitzen
- Reduktion Verdunstung

## 3. kleine Standgewässer allgemein

- Steigerung Klimaresilienz

# Herausforderungen: Stressoren/Belastungsfaktoren

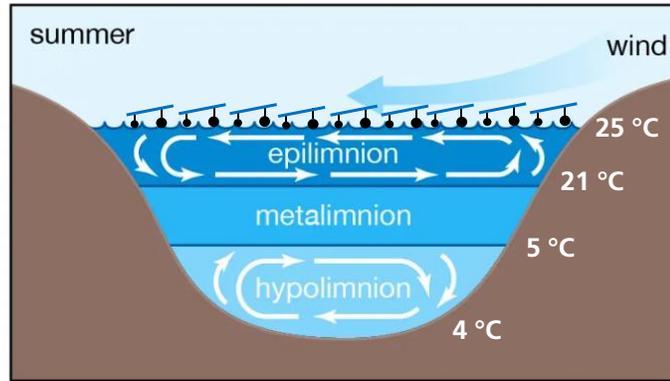
Circumstance specific for FPV	System or component	Failure modes
<b>Mechanical loads from waves, wind, water currents, and water-level variations</b>	System	Lost mechanical system and/or mooring integrity
	Plastic components	Rubbing damage
	Plastic and metal components	Mechanical-stress induced damage
	PV panels	Glass cracking or deformation PV cell cracking
	Interconnectors	Accelerated materials fatigue, connectors breakage
	Inverter	Internal electrical disconnect (“electrical open”) induced by continuous movements
	Cables	Accelerated wear of cable mantles induced by continuous movements
<b>Humidity and corrosion</b>	Steel and aluminum parts	Accelerated corrosion
	PV panels	Moisture ingress in the panel; accelerated potential induced degradation
	Inverter	Corrosion induced defects
	Electrical system	Enlarged leakage currents, inverter shutdown
<b>Marine pollution and fouling</b>	PV panels	Hot spot induced failures: diode failures, local melting, microcracks
	PV panels	Accelerated output loss from (in)organic fouling

aus IEA-Task-13-Bericht „Reliability of FPV Plants“ unter ISE-Führung (in Vorbereitung)

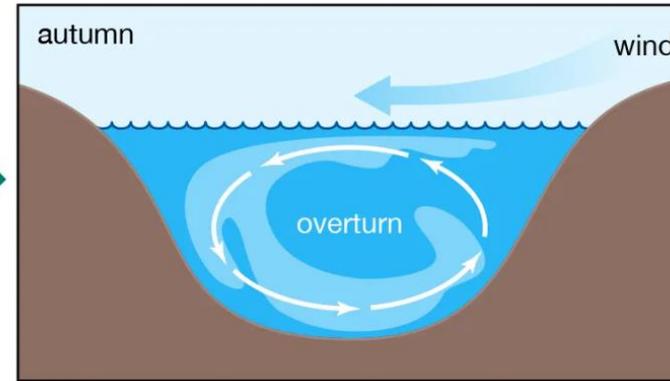
# Limnologie

## Dimiktische Seen

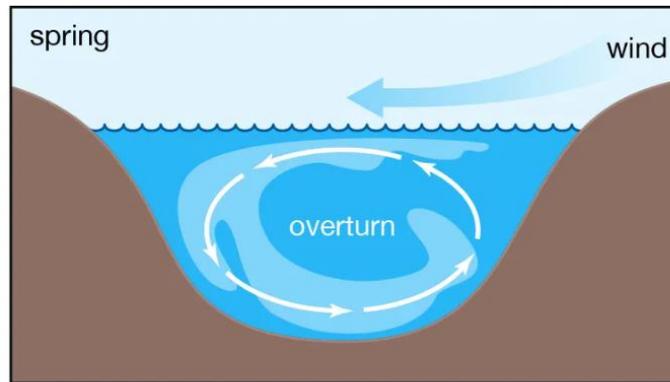
**Thermische Schichtung (Sommerstagnation)**



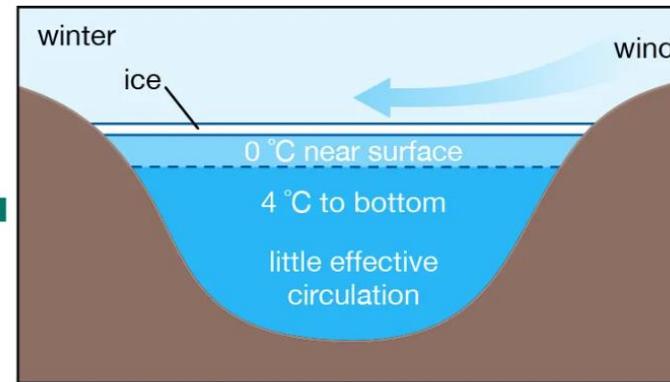
**Zirkulation**



**Zirkulation**



**Inverse Schichtung**



© Encyclopædia Britannica, Inc.

# Interaktion zwischen Systemdesign und Gewässer

## Möglicher Einfluss von FPV:

- Einfluss auf die Einstrahlung in den See
  - **Instabilere Schichtung**
- Einfluss auf die oberflächennahen laterale Windströmung
  - Weniger Windscherung an der Oberfläche
  - **Stabilere Schichtung**
- Einfluss auf die Umgebungstemperatur und Luftfeuchte
  - Abwärme der Anlage
  - Veränderter Gasaustausch an Grenzschicht



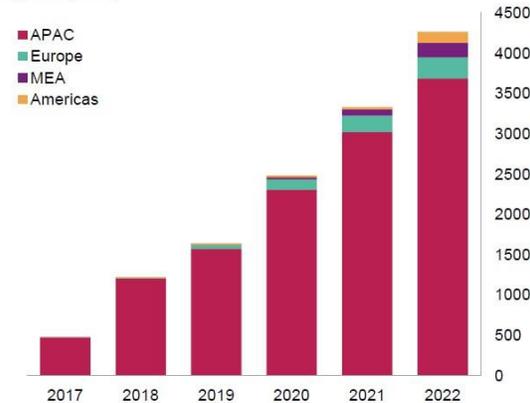
# FPV: Daten und Fakten

## Marktübersicht

### Weltweit installierte schwimmende PV-Kapazität:

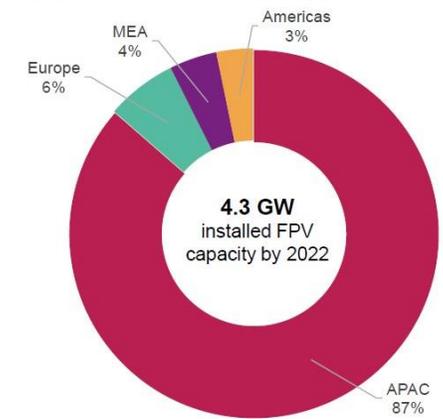
- Schätzungen zufolge zwischen 3,3 und 4,3 GWp bis Ende 2022
- Auf Asien entfallen 87 % der gesamten installierten Kapazität (China, Indien, Taiwan)
- Seit 2022 wachsender Markt außerhalb Asiens: Europa 6%, Naher Osten und Afrika 4%
- Der viertgrößte Markt sind die Niederlande (EU-Führer mit 200 MW kumulativer FPV-Installation von 265 MW im Jahr 2022)

Evolution of global cumulative FPV installations, by region (MW)



Data compiled June 2023.  
Notes: APAC = Asia Pacific, MEA = Middle East and Africa.  
Source: S&P Global Commodity Insights.

Cumulative installed FPV, 2022 (MW)

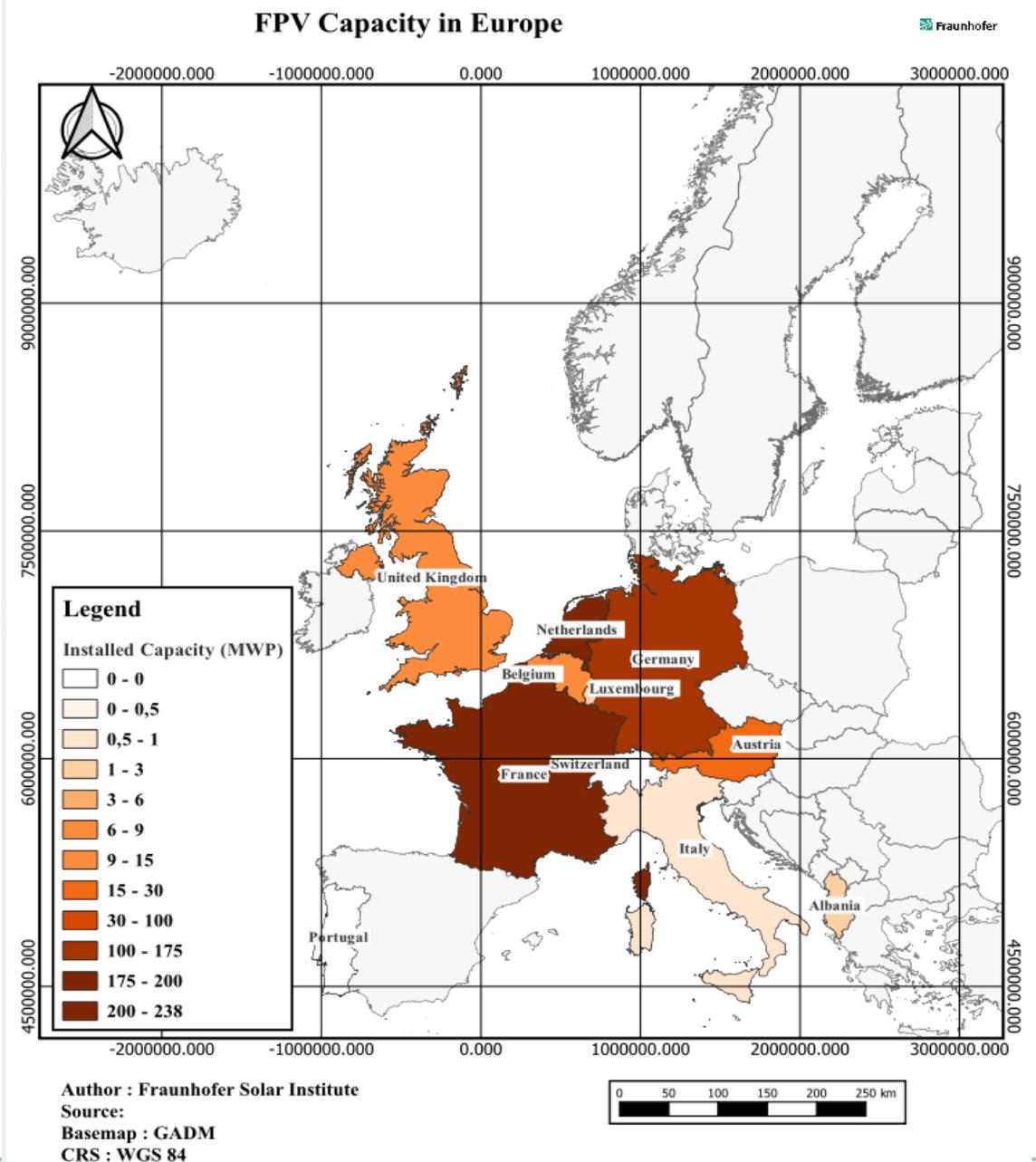


# FPV: Daten und Fakten

## Marktübersicht

### Weltweit installierte schwimmende PV-Kapazität:

- Schätzungen zufolge zwischen 3,3 und 4,3 GWp bis Ende 2022
- Auf Asien entfallen 87 % der gesamten installierten Kapazität (China, Indien, Taiwan)
- Seit 2022 wachsender Markt außerhalb Asiens: Europa 6%, Naher Osten und Afrika 4%
- Der viertgrößte Markt sind die Niederlande (EU-Führer mit 200 MW kumulativer FPV-Installation von 265 MW im Jahr 2022)

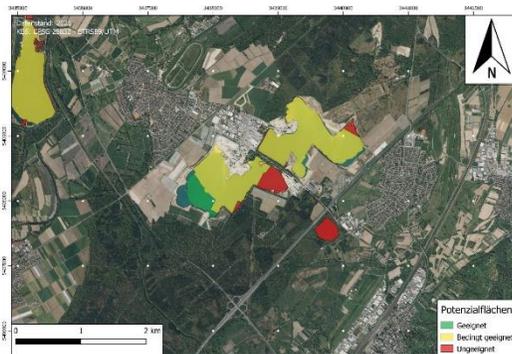


# Vorgehen bei Solarpotenzialanalysen

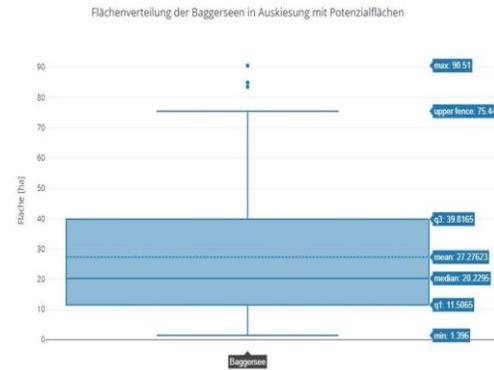
- Erfassung und Klassifizierung Nutzungsrandbedingungen

	Harte Restriktionskriterien	Weiche Restriktionskriterien
Morphologische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>Andere Gewässer als Baggerseen</li> <li>Gewässerfläche kleiner 1 ha</li> <li>Gewässertiefe kleiner 5 m</li> <li>Begonnene oder vollzogene Renaturierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biosphärengebiete: Pflege- und Entwicklungszonen</li> <li>FFH-Gebiete</li> <li>RAMSAR-Gebiete</li> <li>Verbundräume: trocken, mittel, feucht</li> </ul>
Kriterien zum Schutz von Flora und Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biosphärengebiete: Kernzonen</li> <li>Biotope: Offenland, Wald</li> <li>Flächenhafte Naturdenkmäler</li> <li>Nationalparks</li> <li>Naturschutzgebiete</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Landschaftschutzgebiete</li> <li>Quellschutzgebiete</li> <li>Vogelschutzgebiete</li> <li>Heilquellenschutzgebietszone III</li> <li>Wasserschutzgebietszone III</li> </ul>
Hydrologische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hochwasserrückhalteräume (bestehend, geplant)</li> <li>H2100-Überschwemmungsflächen</li> <li>Heilquellenschutzgebietszonen I und II</li> <li>Wasserschutzgebietszonen I und II</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ökologische Probleme (fehlende Durchmischung, stoffliche Belastung, korrespondierendes Grundwasser oder Oberflächengewässer)</li> <li>Touristische und Freizeitliche Nutzung</li> </ul>

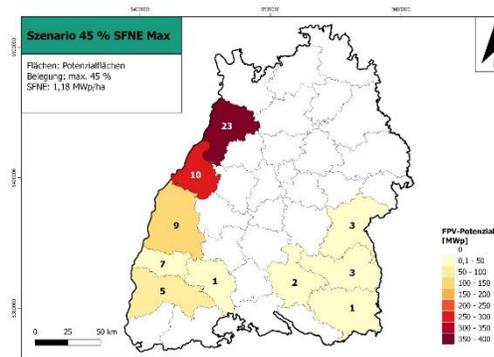
- Lokalisierung und Einstufung Eignungsflächen



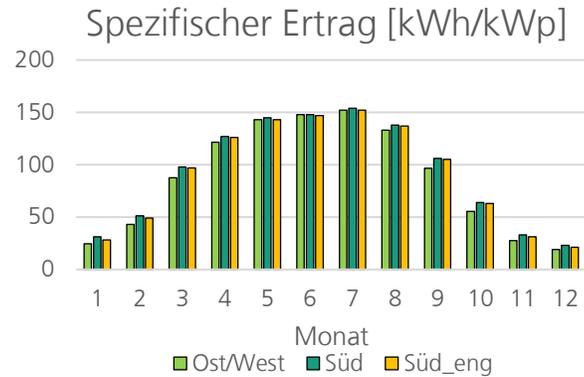
- Charakterisierung Gewässerstandorte



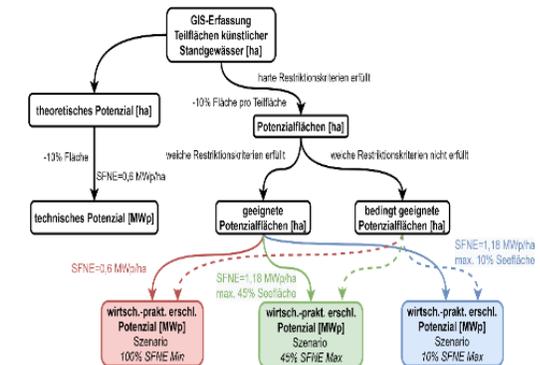
- Räumlich aufgelöste Solarpotenziale



- Flexible Ertragssimulationen



- Szenarienbasierte Solarpotenziale



# FPV-Monitoring

