

Die schwimmende PV in Forschung und Entwicklung

Dialogforum nachhaltige Gewässerbewirtschaftung

Stefan Wieland
Gruppe *PV-Kraftwerke*
Fraunhofer ISE
25.10.2024
www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE



Photovoltaik

Silicium-Photovoltaik
III-V- und Konzentrator-Photovoltaik
Perowskit- und Organische Photovoltaik
Photovoltaische Module und Kraftwerke

Energieeffiziente Gebäude

Solarthermische Kraftwerke und
Industrieprozesse

Wasserstofftechnologien und Elektrische
Energiespeicher

Leistungselektronik, Netze und Intelligente
Systeme

Institutsleiter: Prof. Dr. Hans-Martin Henning
Prof. Dr. Andreas Bett

Mitarbeitende: rund 1400
Budget 2022: 120,6 Mio. EUR
Gegründet: 1981

Abteilung *Analyse, Module und Kraftwerke* (AMK)



Christian Schill

Karolina Baltins

PV-Kraftwerke

Agri-PV



Max Trommsdorff



Anna Heimsath
Abteilungsleitung

Energiemeteorologie

Elke Lorenz



Fraunhofer ISE – Abteilung Analyse Module und PV-Kraftwerke

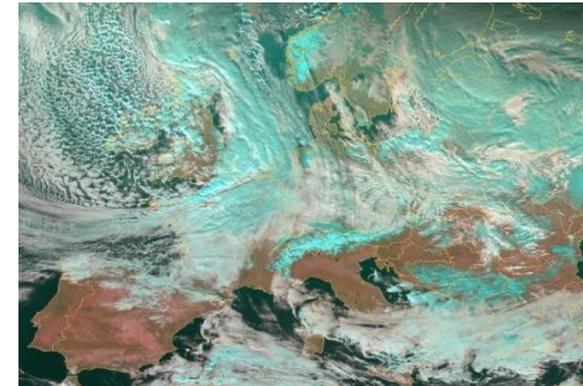
Forschung zu PV-Kraftwerken, Integrierter PV und neuen Technologien



PV-Kraftwerke



Agri-PV



Meteorologie und PV-Prognose



Integrierte PV



Outdoor Performance Lab

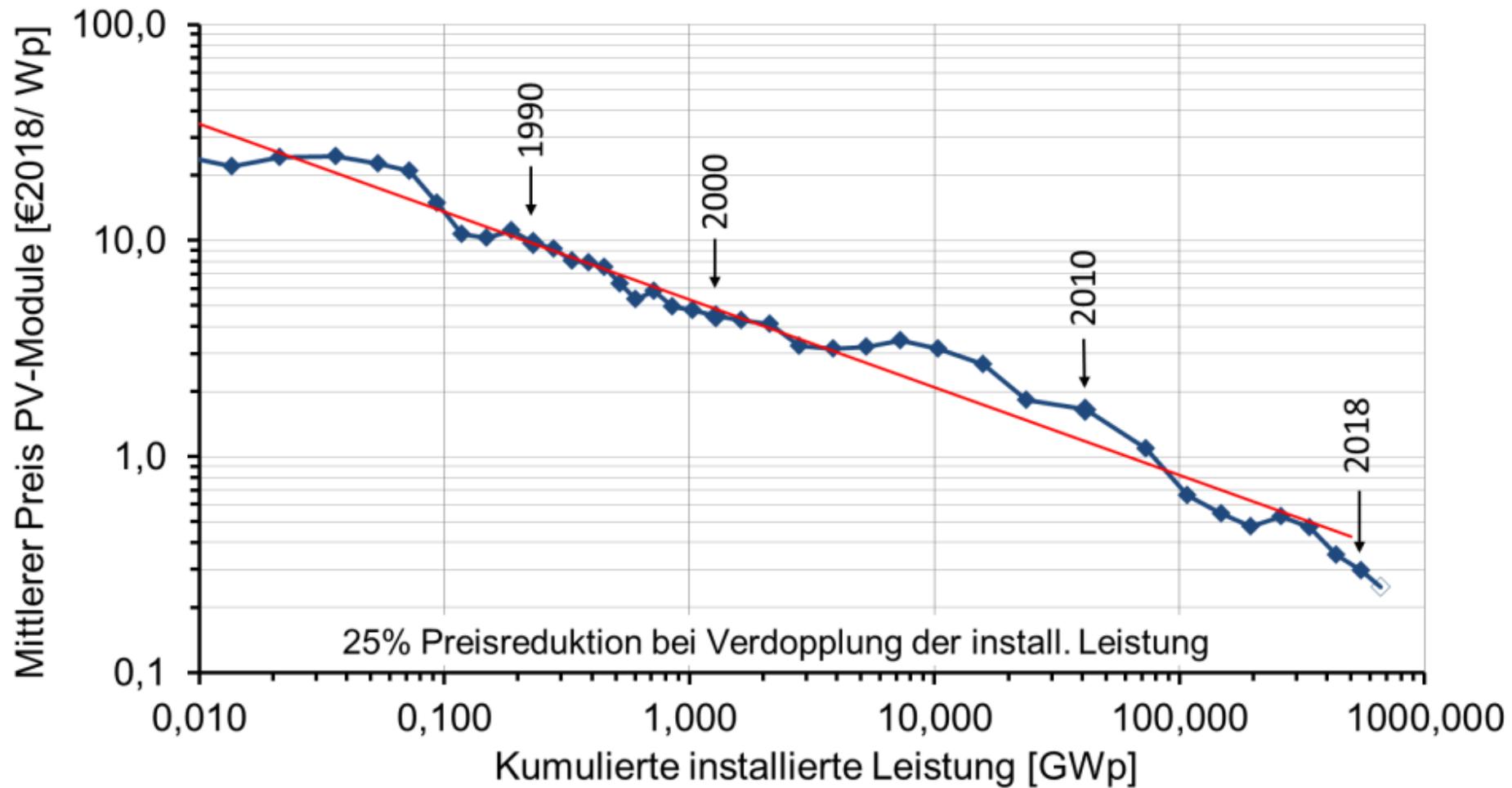


Digitalisierung und Sensorik



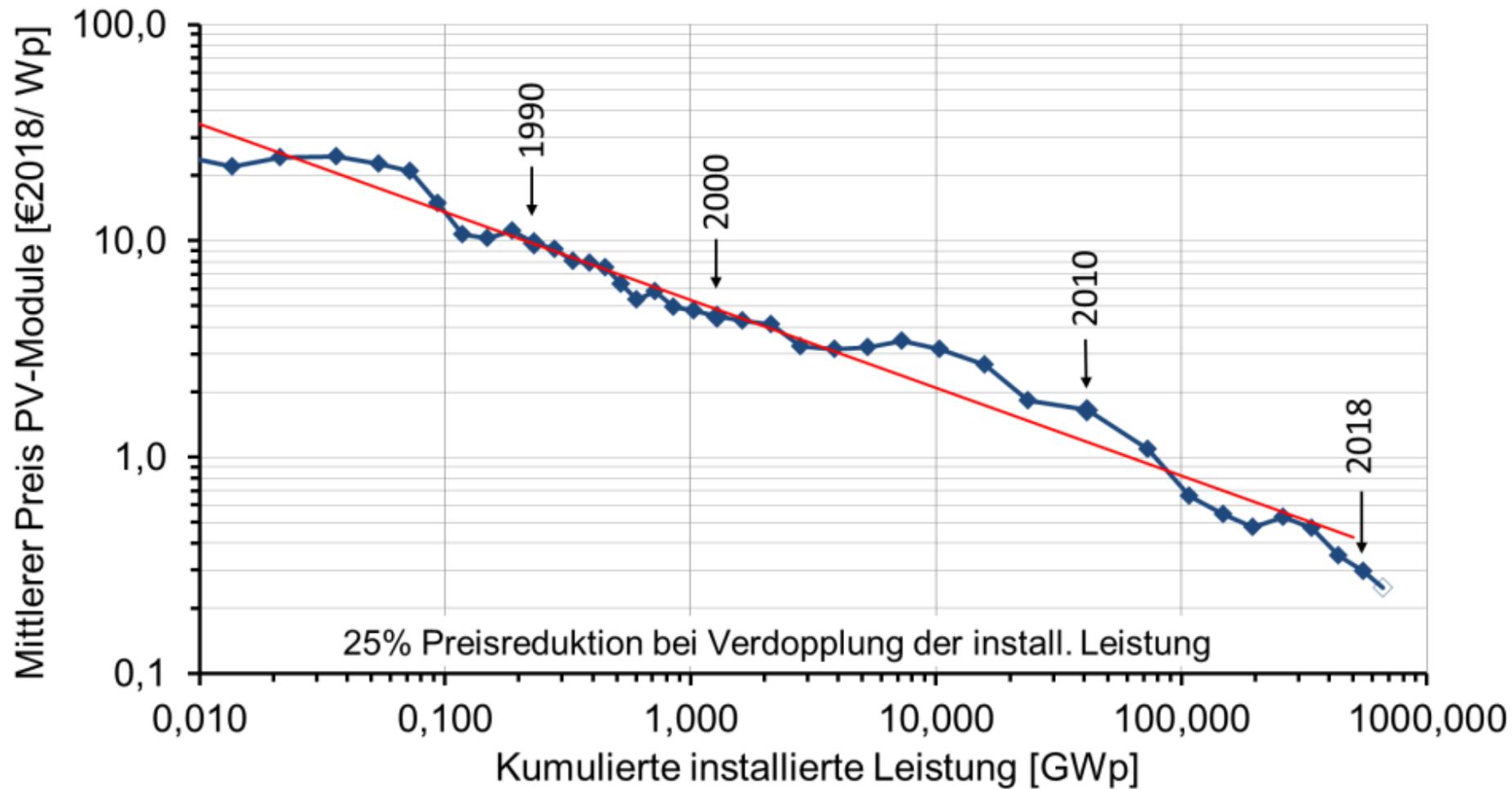
Nachhaltigkeit und
Klimaresilienz

Preisentwicklung PV-Module



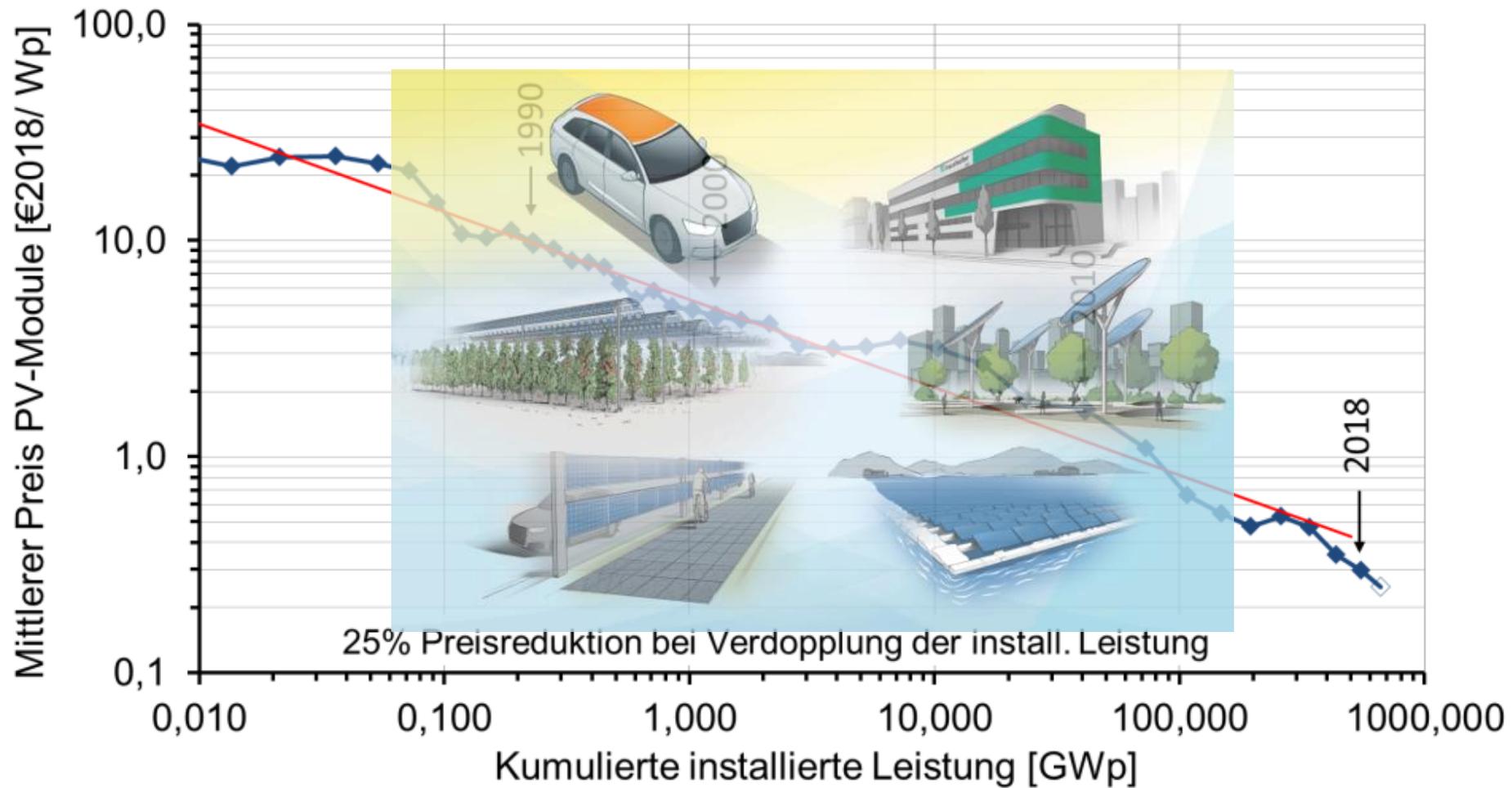
Preisentwicklung PV-Module

Aber Landverknappung!



Preisentwicklung PV-Module

Aber Landverknappung!



Energetische Seennutzung nichts Neues

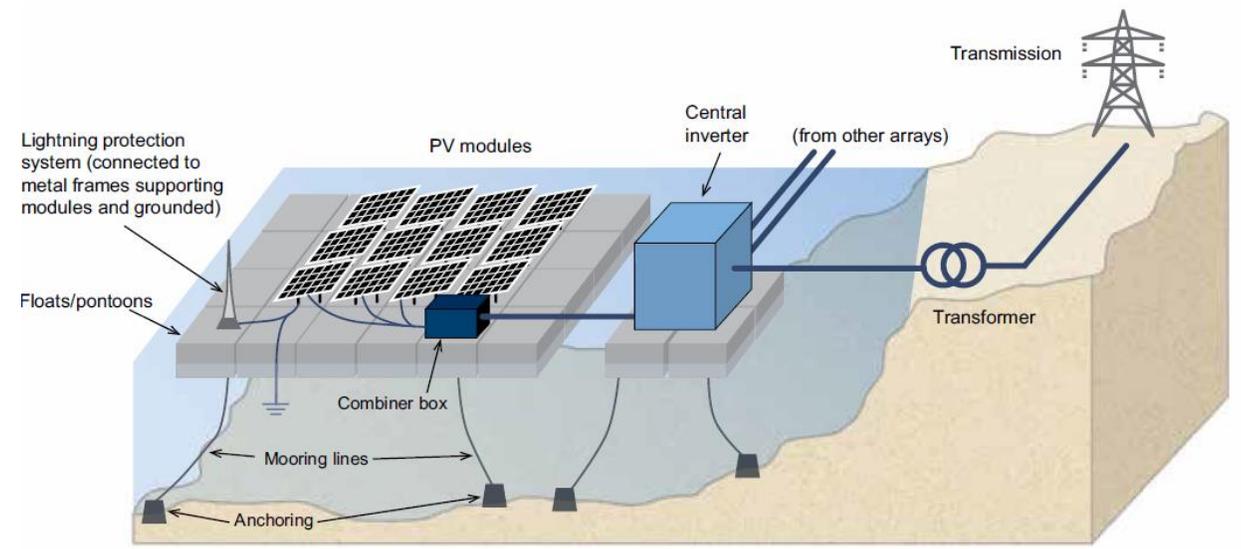
Seen fungieren jetzt schon als ...

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

Nun auch Aufständerungsfläche für PV-Anlagen.

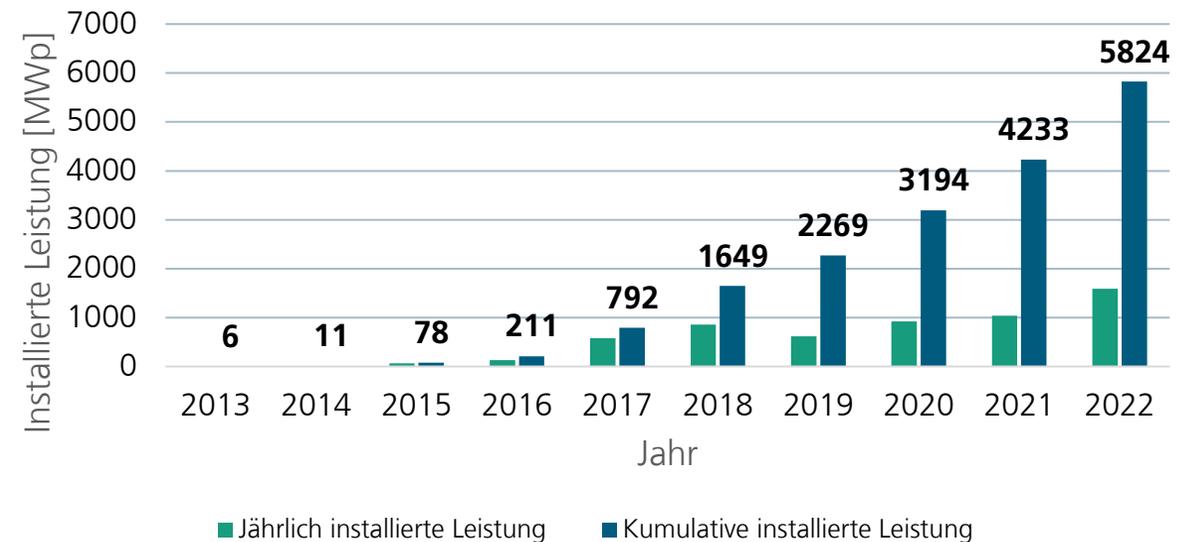
Was ist schwimmende PV?

- 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



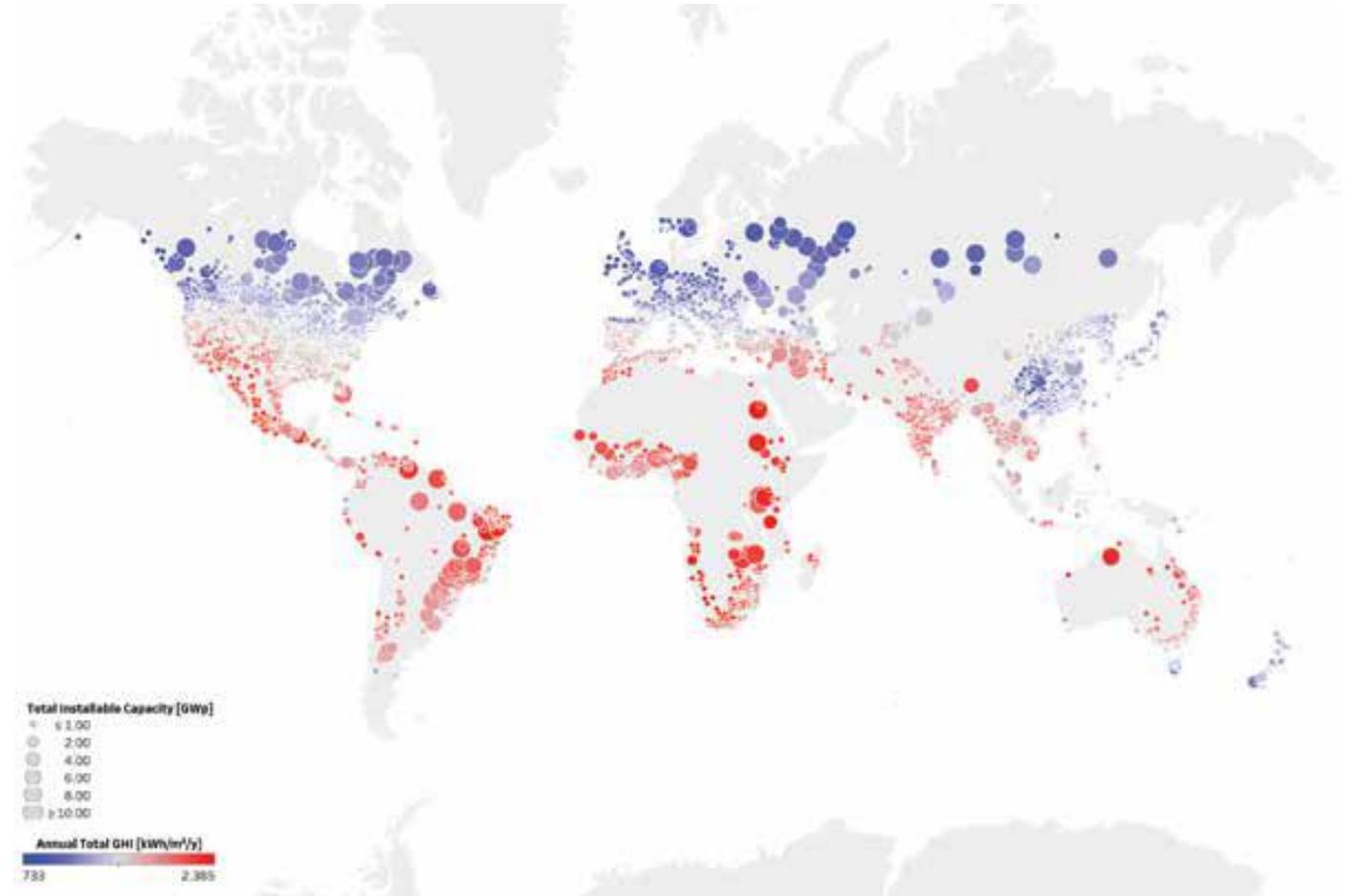
Beispielanlage



OMEGA1 Projekt in Frankreich nahe der Stadt Avignon (Akuo Energy, 2019).

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 GGrND 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

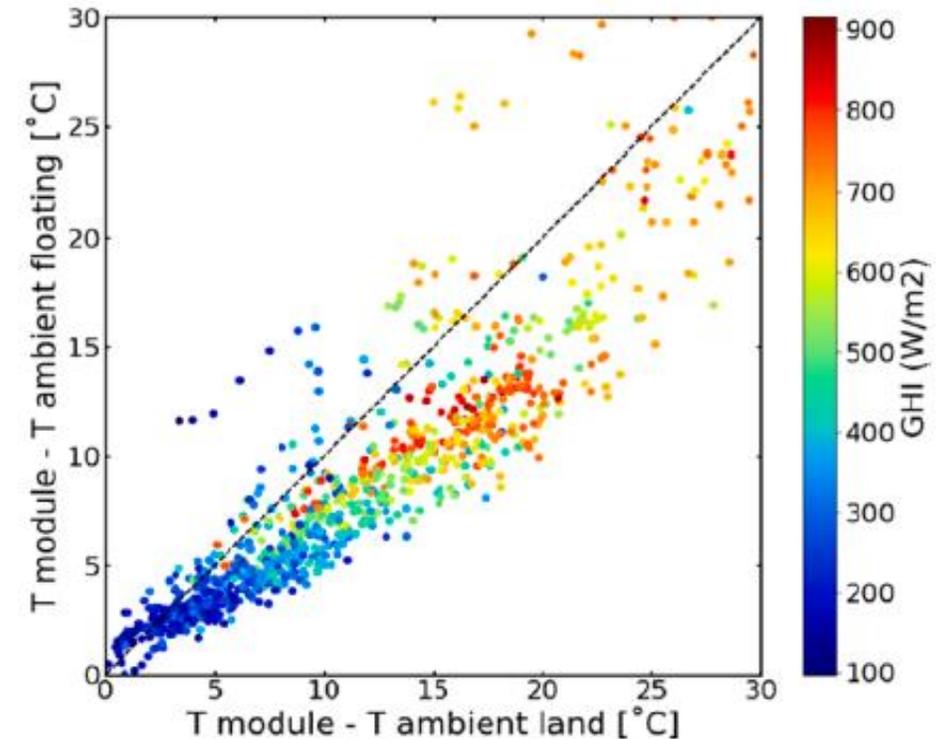


Abb 1. Vergleich der Modultemperaturen einer FPV-Anlage mit denen einer konventionellen Anlage. Es ist zu beobachten, dass mit zunehmender horizontaler Einstrahlung (GHI) die Temperaturen der schwimmenden Anlage deutlich geringer sind als diese der konventionellen Anlagen. Die geringeren Modultemperaturen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

Chancen und der Herausforderungen der FPV-Technologie

Herausforderungen

- Verankerung kann kostenintensiv sein noch keine 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)
- Langlebigkeit kann beeinträchtigt werden:

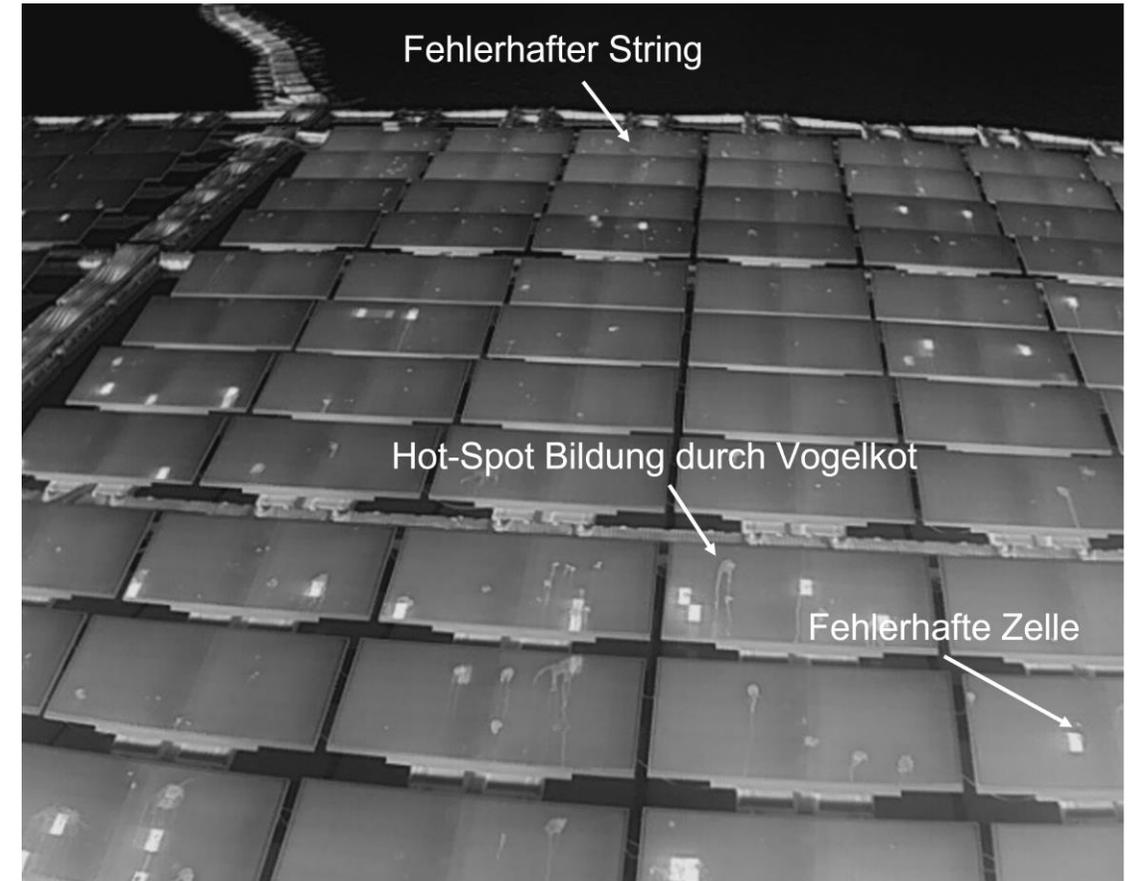
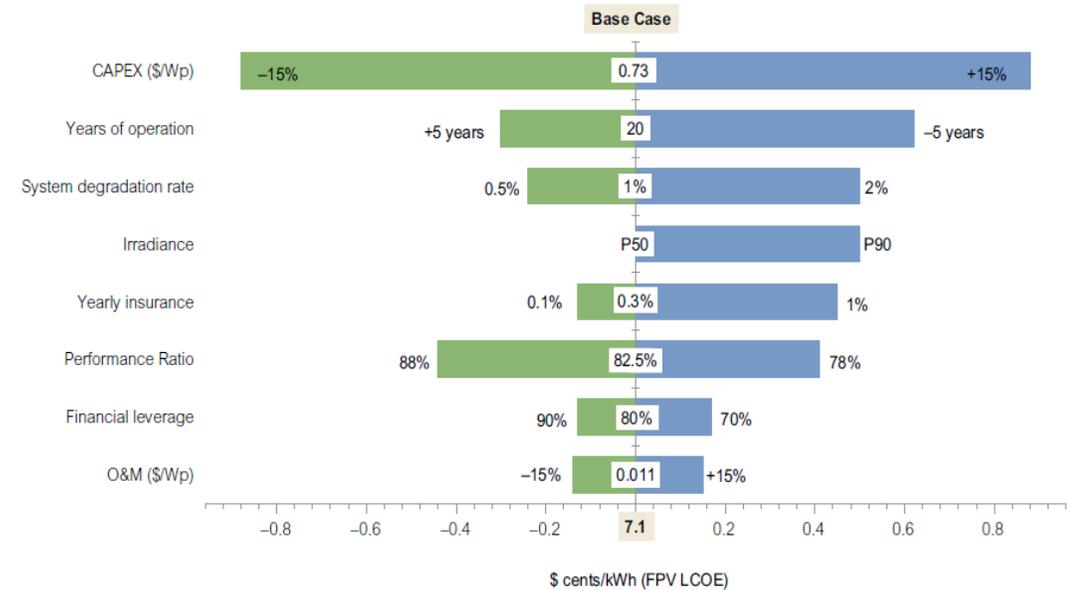


Abb 1. Drohnen-thermographie einer FPV-Anlage: Hot-Spot-Bildung und kleinere Beschädigungen der PV-Modulen (Fraunhofer ISE)

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 CO₂)
- 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

Noch Neuland, aber hier ein paar Daumenregeln

- auf künstlichen Standgewässern, besonders ehemalige Tagebaue
- Mindestseefläche: 1ha
- Mindestdiefe: 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)

Summe	82,7 MWp
In Betrieb	20,69 MWp
In Konstruktion	2,13 MWp
In Genehmigung	59,85 MWp

- Wie hoch ist das technische Potenzial in Deutschland in Bezug auf Umwelt- und Regulierungskontexte?
- Welche Regionen in Deutschland sind für die FPV-Technologie besonders gut geeignet?

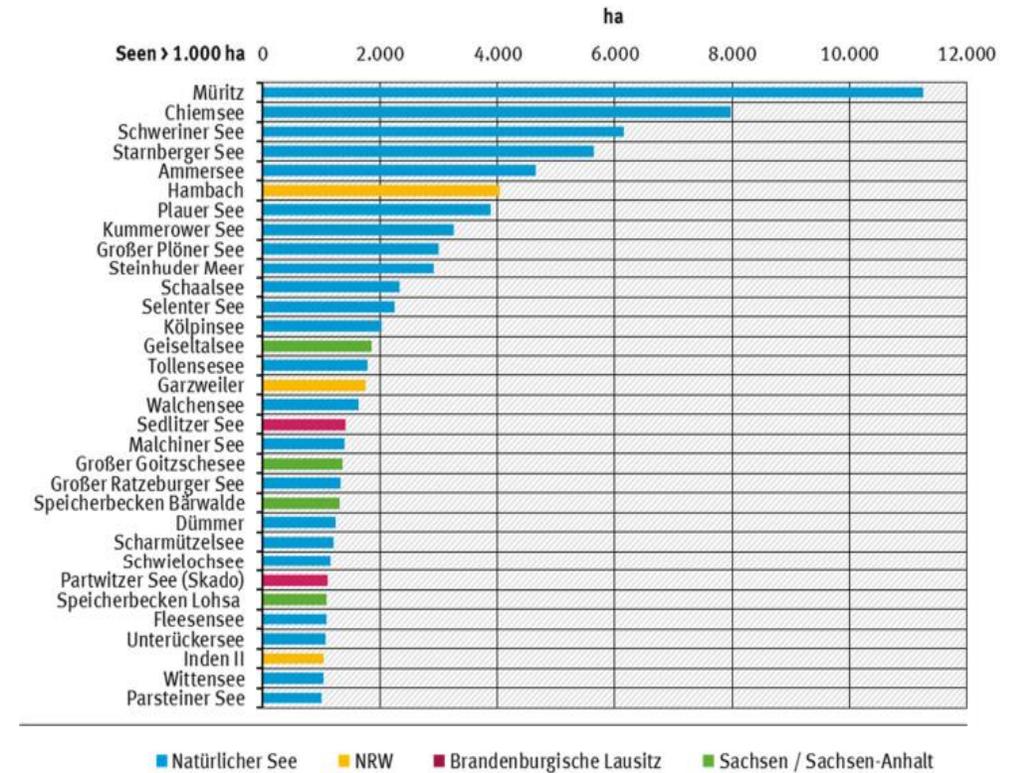
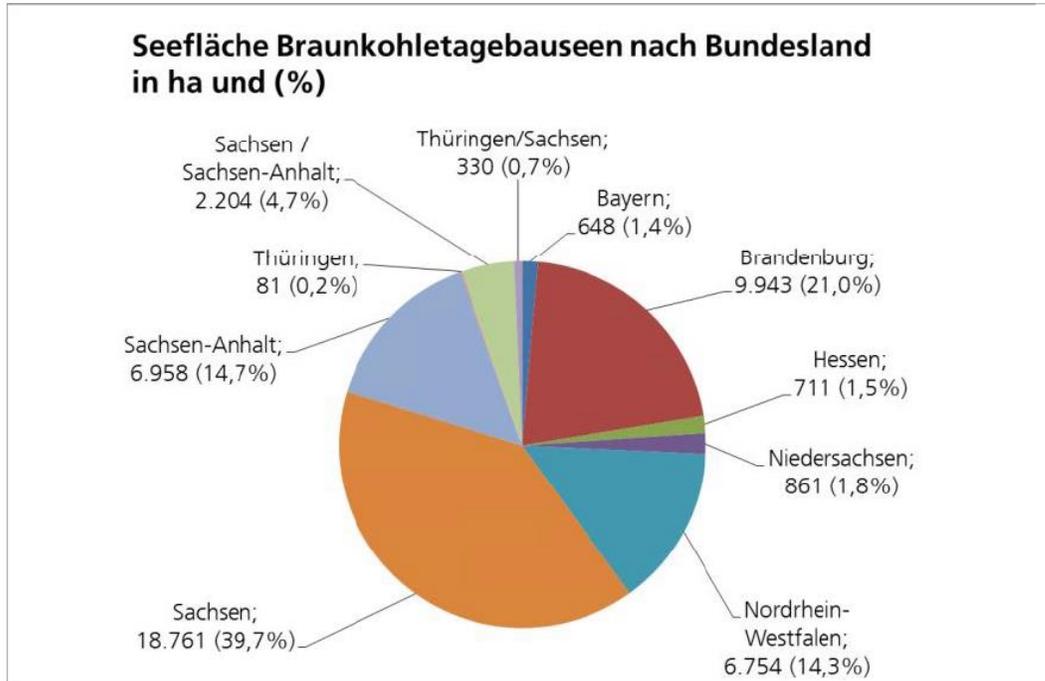
FPV deployment sites

- 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)

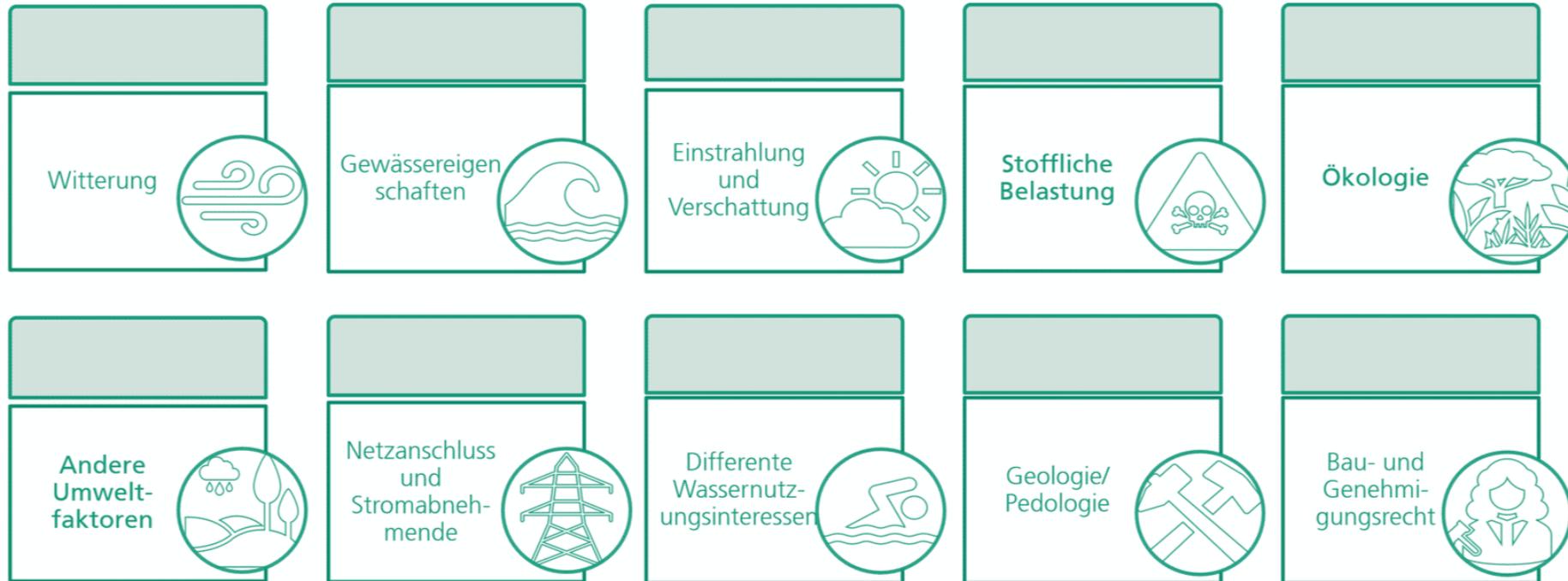
Haltern am See (3,1 MWp)



©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

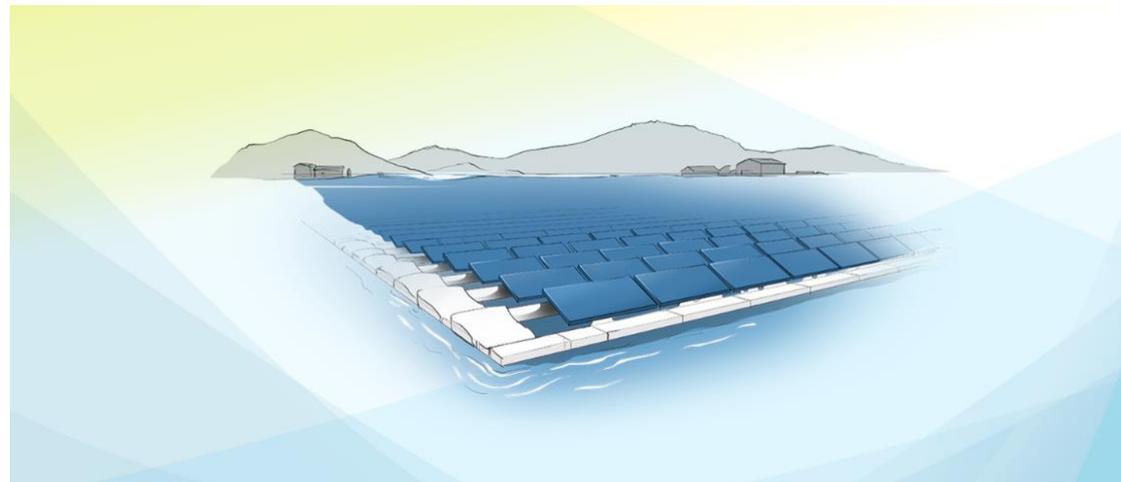
Offene Forschungsfragen

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?



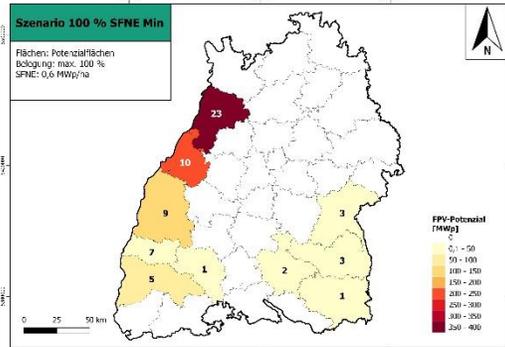
Wie kann FPV mit anderen Formen der erneuerbaren Energien gekoppelt werden?



Um wie viel werden die Verdunstungsverluste reduziert?

Schwimmende PV am ISE

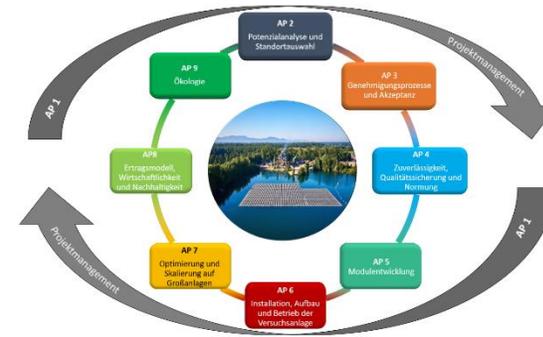
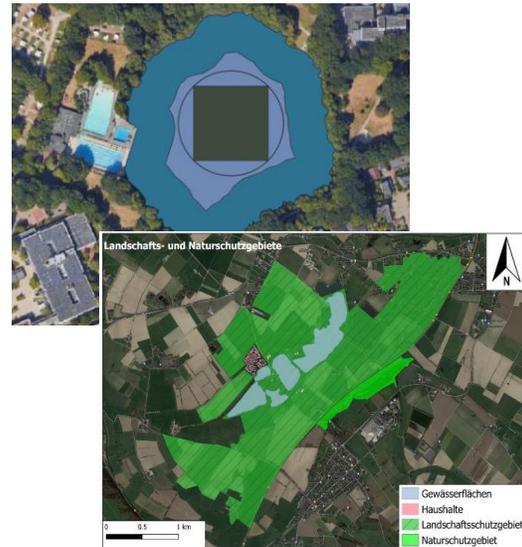
Referenzprojekte



Solarpotenzialstudien Baggerseen in Baden- Württemberg

Machbarkeitsstudien FPV

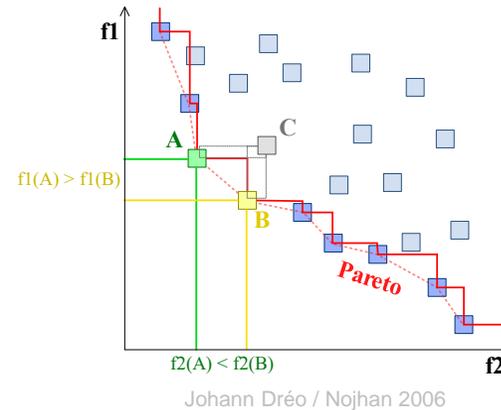
- Für den Eigenverbrauch eines Schwimmbads in Niedersachsen
- Mit gekoppelter Wasserstoffherzeugung in Nordrhein-Westfalen



PV2Float

Wirtschaftliche FPV-Nutzung im MW-Maßstab

<https://www.pv2float.net>



FPV4Resilience

Klimaresilienz durch FPV

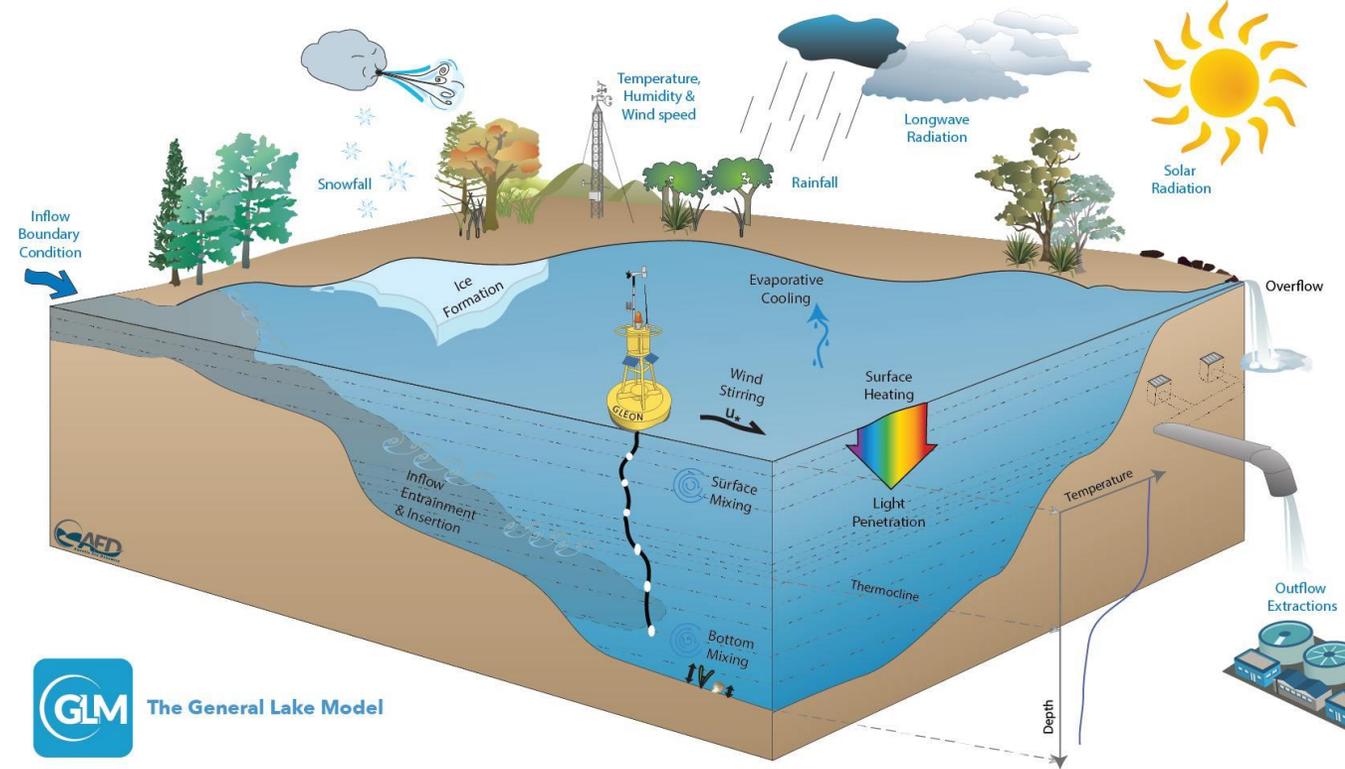
<https://www.leistungszentrum-nachhaltigkeit.de/index.php?id=115>

General Lake Model (GLM)

- 1D vertikales hydrodynamisches Modell [1]
- Daten der Wetterstation → Input
- Daten der Wassertempersensoren → Kalibrierung

Ziele

1. Nachbildung des gemessenen Einflusses im GLM
2. Simulation verschiedener FPV-Flächenbelegungen & veränderte klimatische Bedingungen (extreme year 2018)



Blue variables = Input

Black variables = calculated by GLM

[1] Hipsey, M.R. *et al.* A General Lake Model (GLM 3.0) for linking with high-frequency sensor data from the Global Lake Ecological Observatory Network (GLEON). *Geosci. Model Dev.* 12, 473–523. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-473-2019> (2019).

gefördert im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms des BMWK

Laufzeit: 2021-2024

Projektpartner: Fraunhofer ISE, RWE, BTU Cottbus, IWB Dresden

FPV-Demonstrator auf dt. Tagebausee

Hauptziel: wirtschaftliche FPV im Megawatt-Maßstab

Teilziele: Ausschöpfung Kostensenkungspotenzial, Steigerung Wirkungsgrad/Flächeneffizienz, Produktionsreife neuer Materialien/Technologien, zuverlässige Ertragsprognostik, Abbau Markt-/Diffusionsbarrieren, Reduktion umweltschädlicher Materialien, Abschätzung ökolog. Auswirkung

Methoden: Markt-/Lebenszyklus-/Wirtschaftlichkeitsanalysen, Prüfprogramme, Ertragssimulationen, limnophysikalische Modellierungen

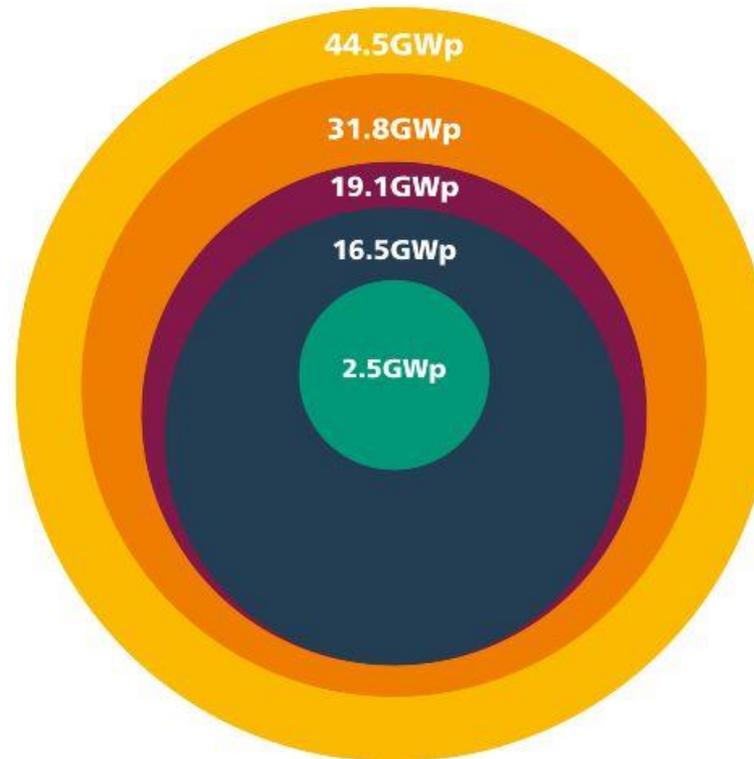
Floating-PV: Daten und Fakten

Überblick FPV in Deutschland

Südausrichtung



Ost-West-Ausrichtung



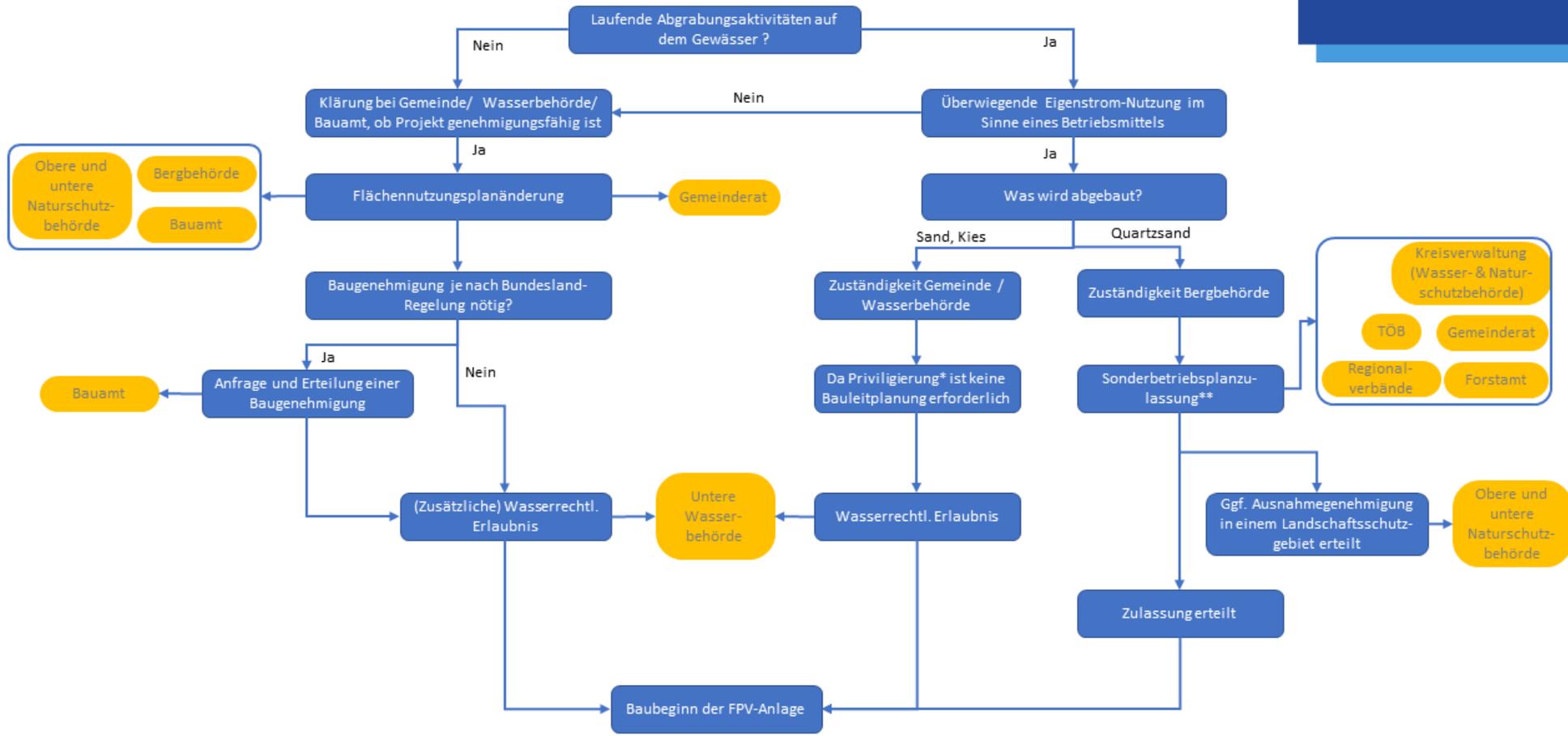
Legende

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

Ablaufschema FPV-Genehmigungsverfahren



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

Akzeptanz der FPV

Untersuchungsgebiet

Aktive Braunkohletagebaue, weil

- Großes Flächenpotenzial
- Aktueller Diskurs um Nachnutzungen der Braunkohletagebaue

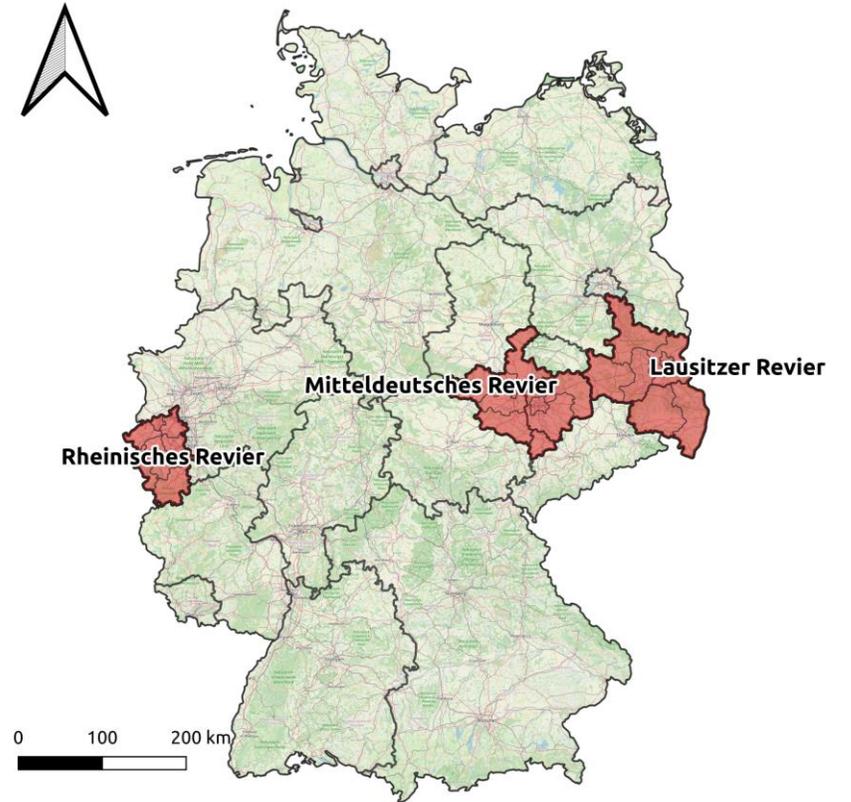
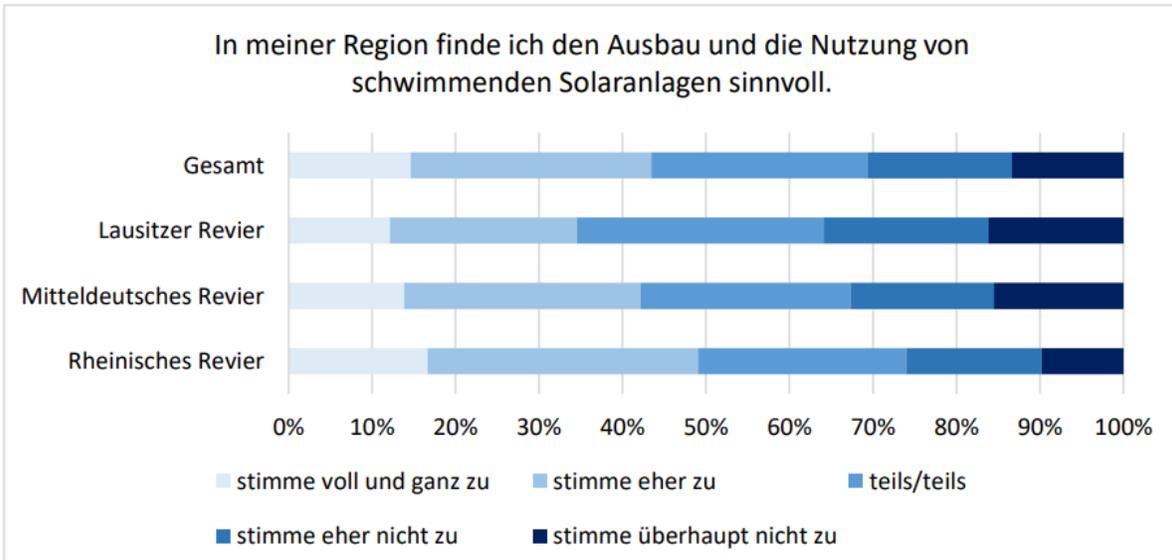


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet – aktive Tagebaureviere.

Quelle: Eigene Darstellung mit OSM-Hintergrundkarte

Onlinebefragung

Ergebnisse: Akzeptanz zu Floating-Photovoltaik

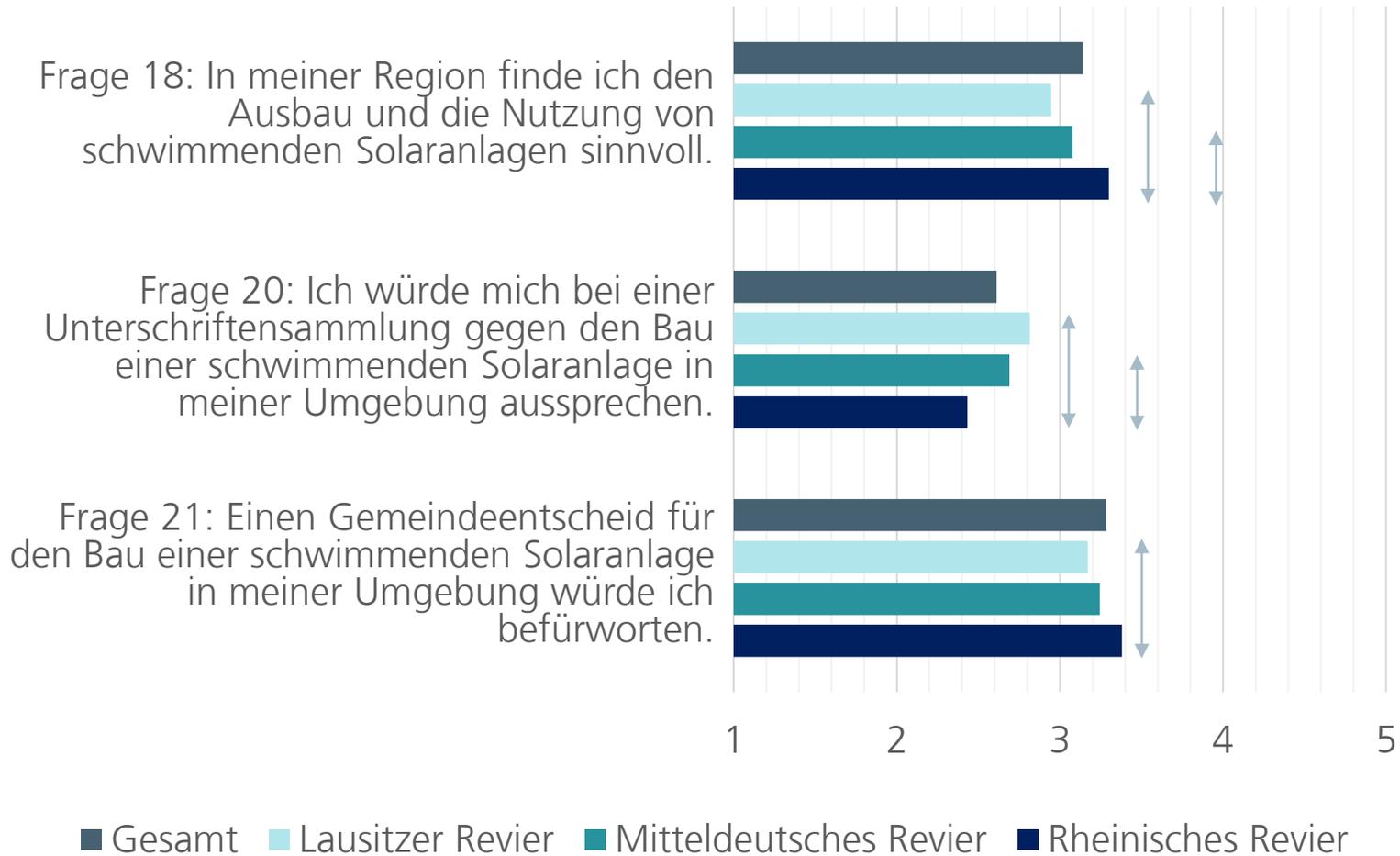


Abbildung 17: Bewertung Floating Photovoltaik – Arithmetische Mittelwerte.

- 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.

PV2Float: Die Demonstratoren



3 schwimmende Anlagen in der Lausitz



1 Landreferenzanlage in BW



Reliability Tests for Floating PV

AP4.4 Leaching/Auswaschung von Schadstoffen



- Setup @FHG-ISE



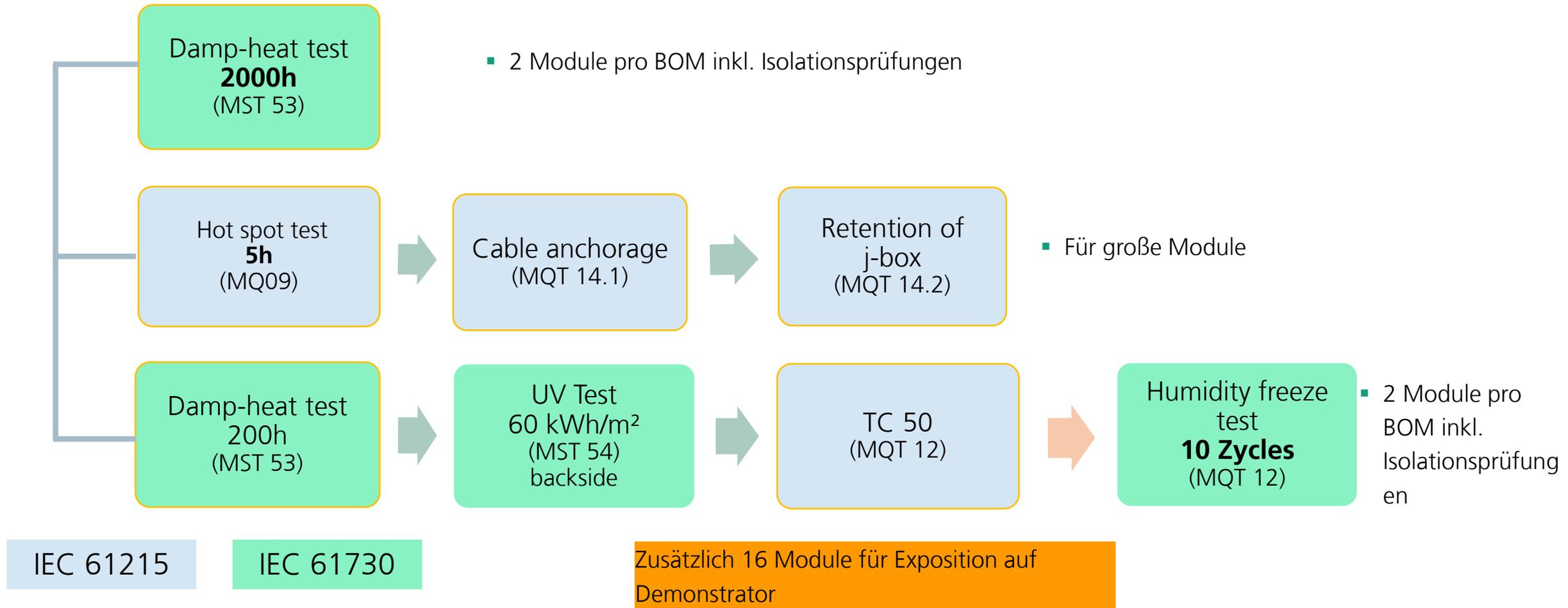
- Beginn Exposition 15.11.2023
- jeweils angeschlossen an elektronische Last
- Betrieb im mpp Modus
- Datenerfassung mit Intervall von 2 min



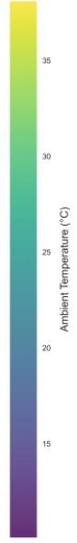
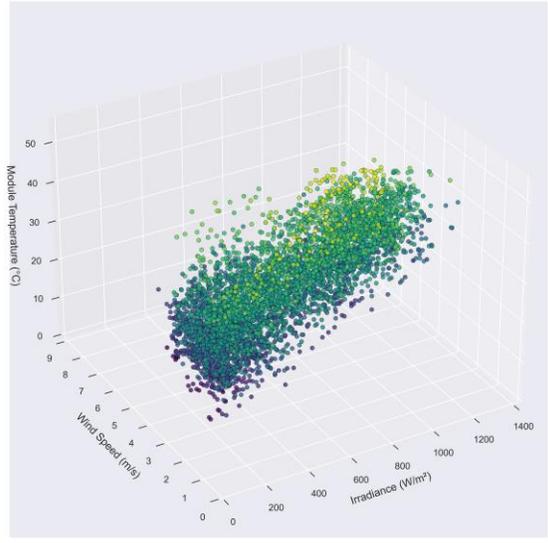
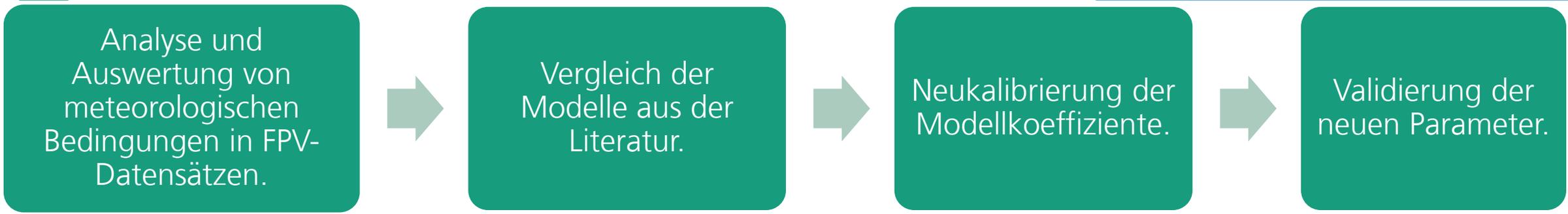
Reliability Tests for Floating PV

WP4 Zuverlässigkeit, Qualitätssicherung, Normung

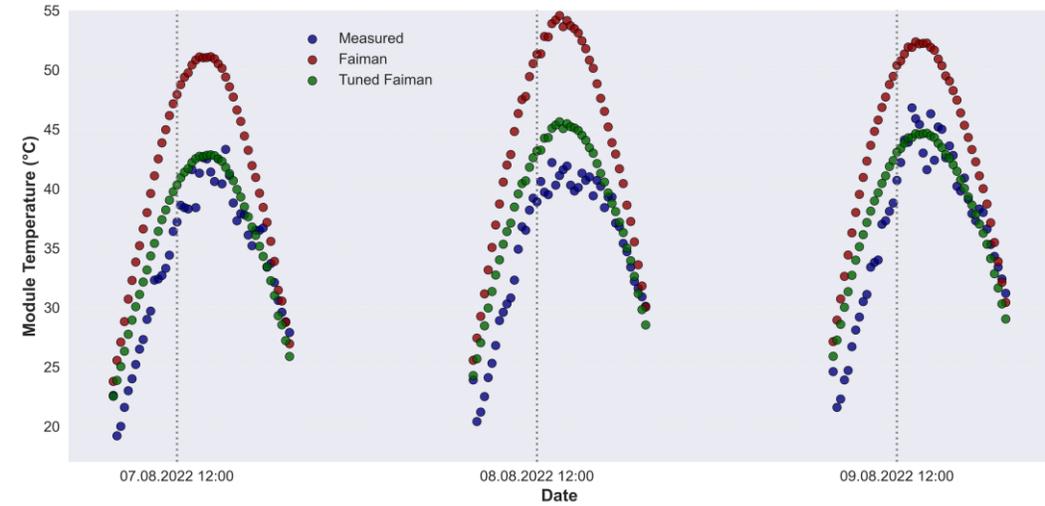
Prüfschema PV2Float



Neue Modultemperaturmodelle für FPV



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	$T_{mod} = 3.81 + 1.31 T_{amb} + 0.0282 G_T - 1.65 Ws$

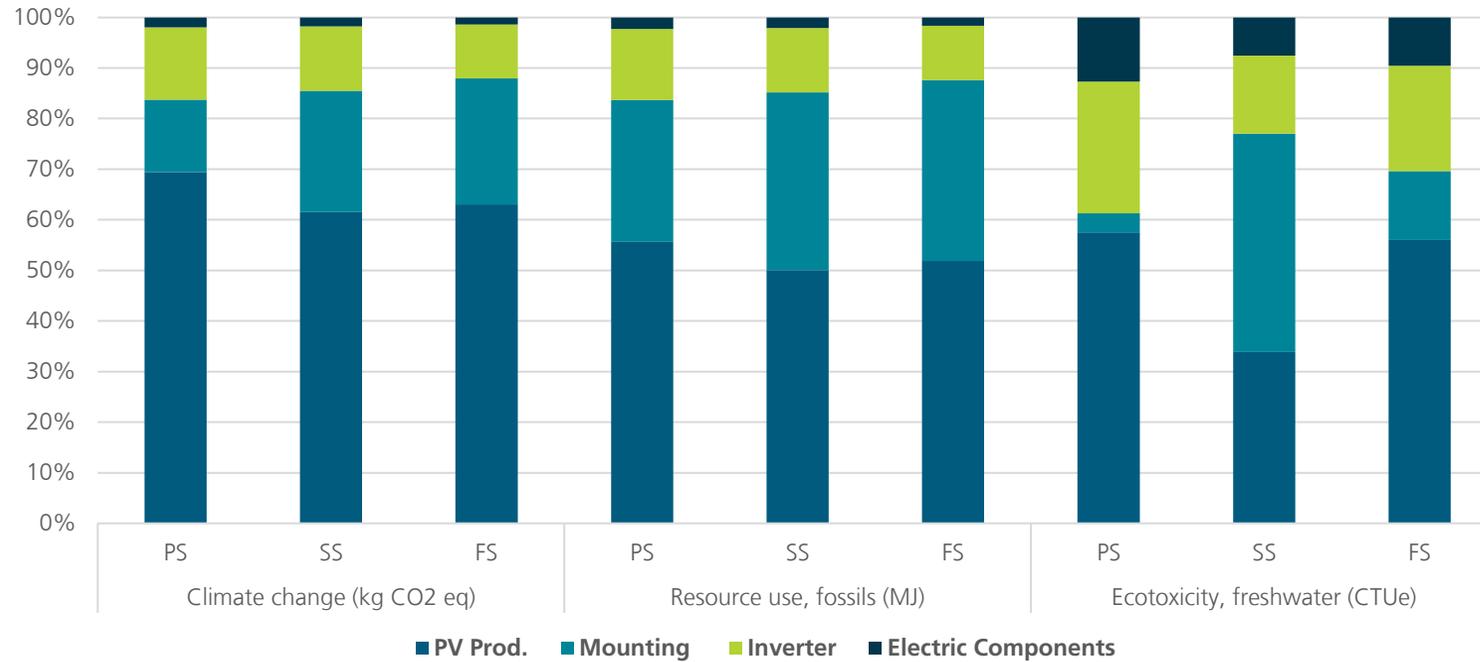


Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Component Breakdown



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)

FPV-Portfolio des ISE

Standortebene:

- Potenzialanalysen/Standortwahl
- Partizipationsverfahren
- Analyse Genehmigungsprozesse
- Netzintegration

Anlagenebene:

- FPV-spezifisches Monitoring
- digitale Zwillinge
- Licht- und Ertragssimulationen
- Wirtschaftlichkeitsanalyse mit Rückbaubetrachtung, Lebenszyklusanalyse
- FEM-Unterstützung für Unterkonstruktionsentwicklung
- Fehlererkennung und vorausschauenden Wartung

Modulebene:

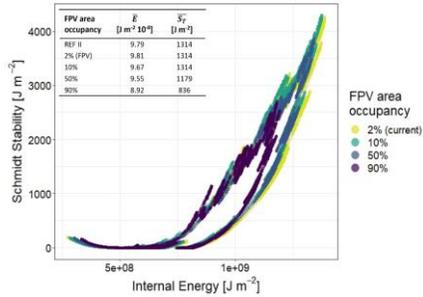
- FPV-spezifische Zuverlässigkeitsprüfung
- Bewertung Leaching/Auswaschung von Schadstoffen
- FEM für Wind- und Wellenlasten

Gewässerebene:

- hydrologisches Monitoring
- Modellierung von Verdunstung, thermischer Schichtung und Stoffkreisläufen des Gewässers

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>

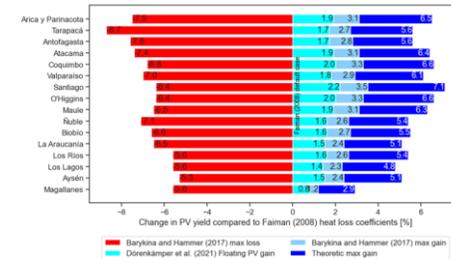
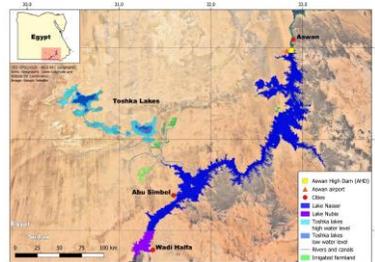
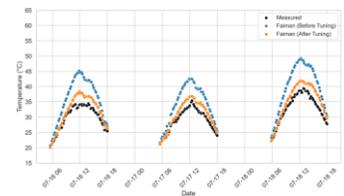


Figure 7: Sensitivity of PV yield in Chilean regions to combinations of heat loss factors.



- 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>



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>

Kontakt

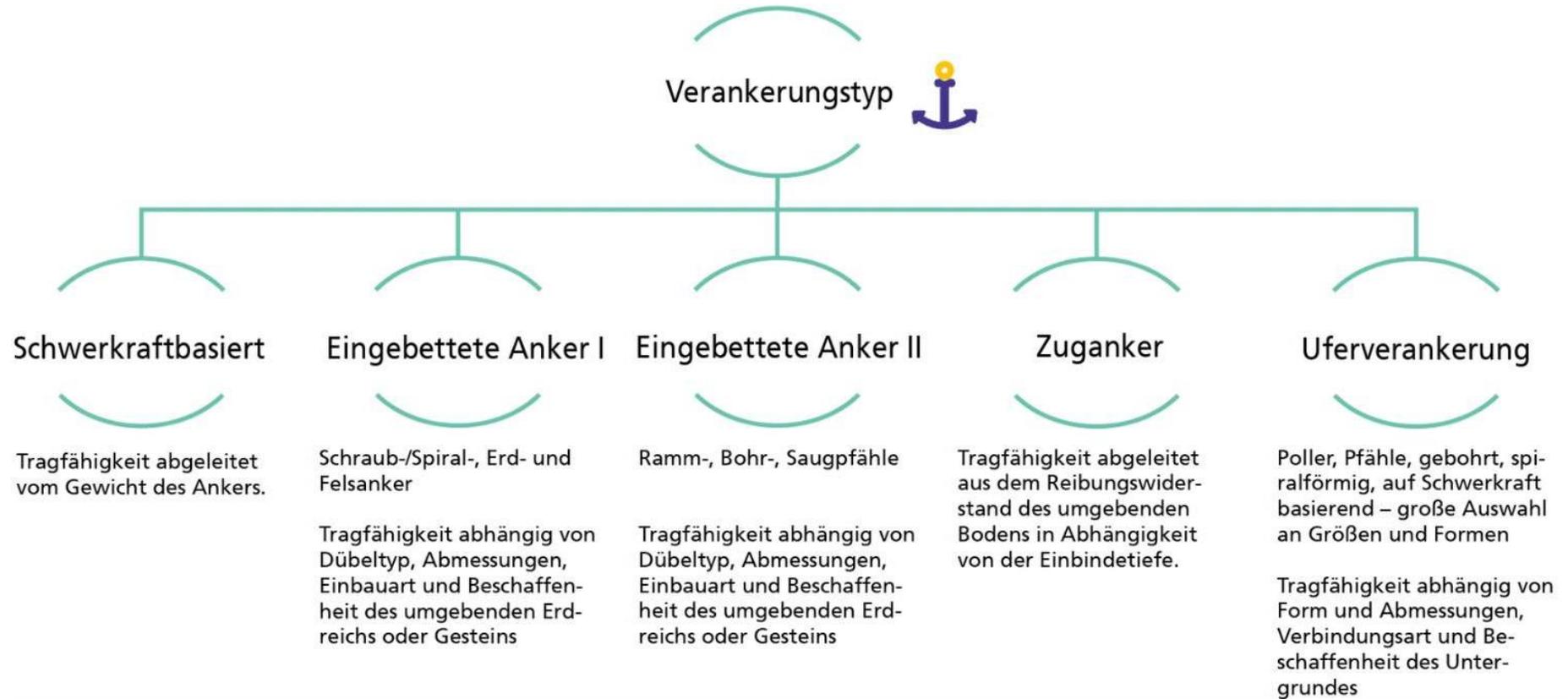
pvmmod.fpv@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE
Heidenhofstraße 2
79110 Freiburg
www.ise.fraunhofer.de

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

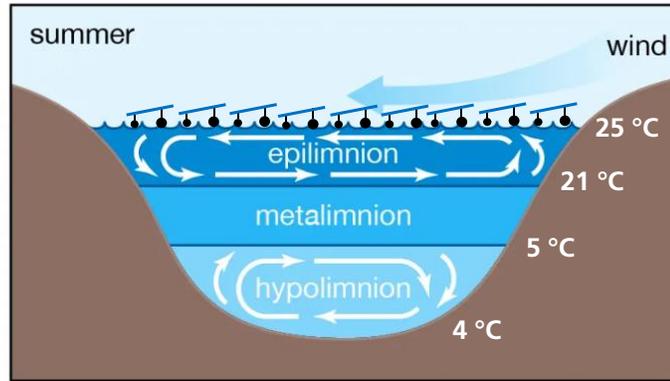
Circumstance specific for FPV	System or component	Failure modes
Mechanical loads from waves, wind, water currents, and water-level variations	System	Lost mechanical system and/or mooring integrity
	Plastic components	Rubbing damage
	Plastic and metal components	Mechanical-stress induced damage
	PV panels	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
Humidity and corrosion	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
Marine pollution and fouling	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)

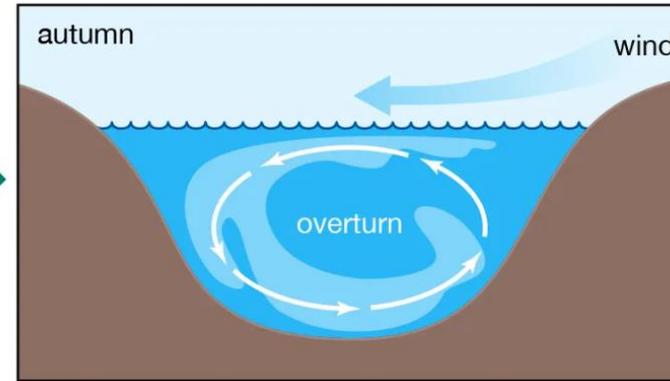
Limnologie

Dimiktische Seen

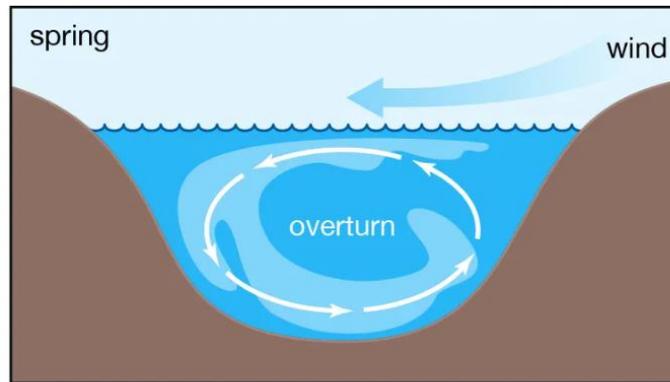
Thermische Schichtung (Sommerstagnation)



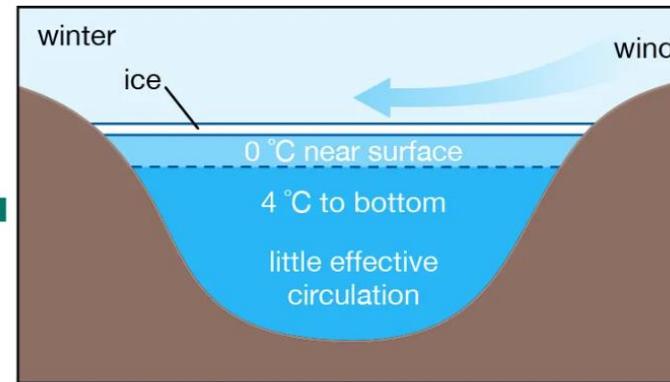
Zirkulation



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



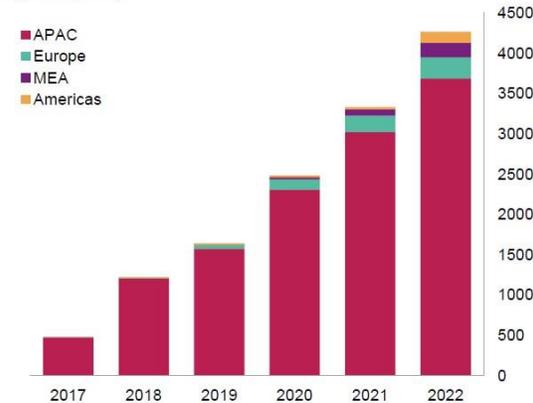
FPV: Daten und Fakten

Marktübersicht

Weltweit installierte schwimmende PV-Kapazität:

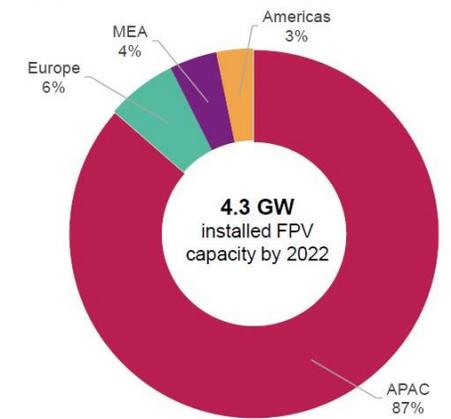
- Schätzungen zufolge zwischen 3,3 und 4,3 GWp bis Ende 2022
- Auf Asien entfallen 87 % der gesamten installierten Kapazität (China, Indien, Taiwan)
- Seit 2022 wachsender Markt außerhalb Asiens: Europa 6%, Naher Osten und Afrika 4%
- Der viertgrößte Markt sind die Niederlande (EU-Führer mit 200 MW kumulativer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

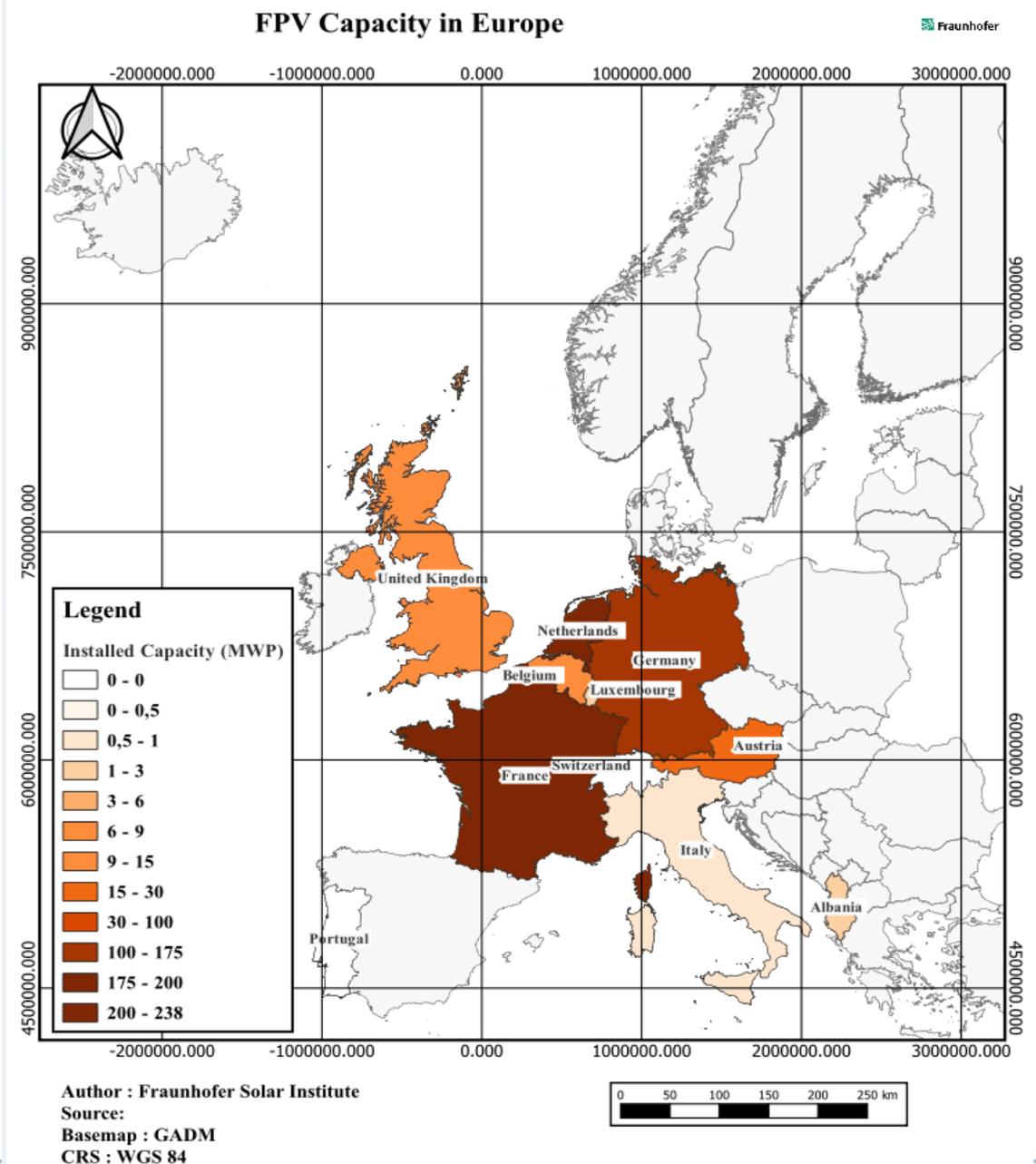


FPV: Daten und Fakten

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)

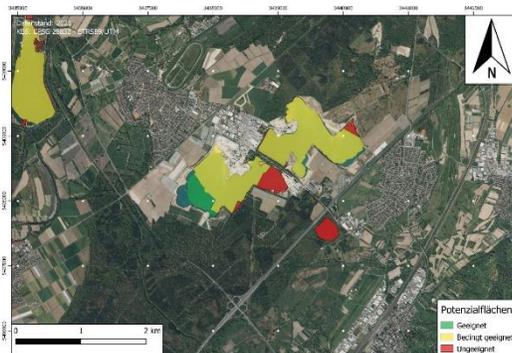


Vorgehen bei Solarpotenzialanalysen

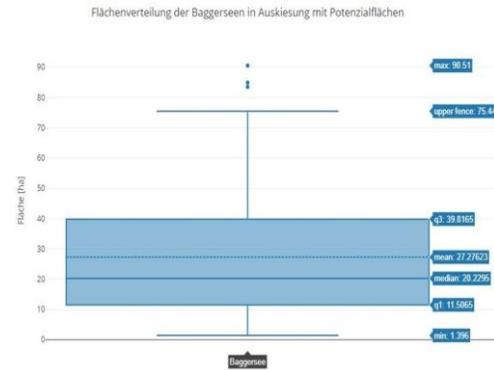
- Erfassung und Klassifizierung Nutzungsrandbedingungen

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

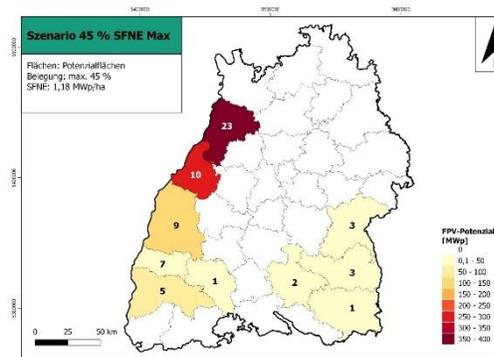
- Lokalisierung und Einstufung Eignungsflächen



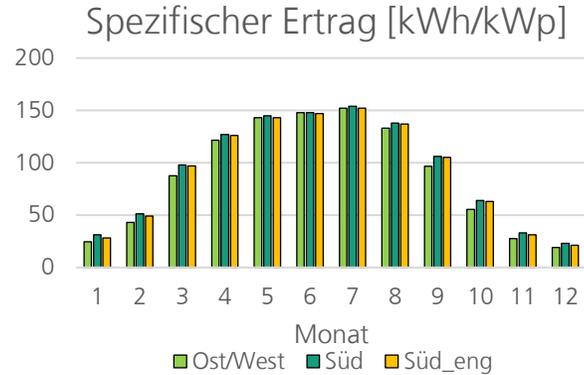
- Charakterisierung Gewässerstandorte



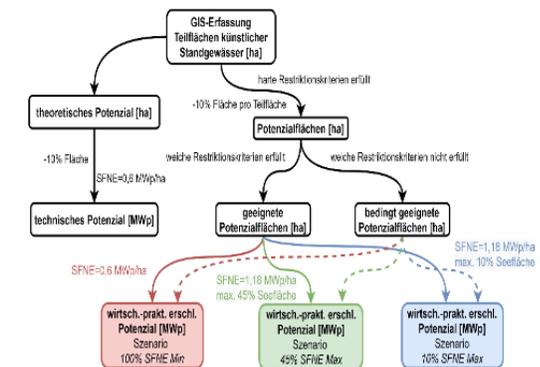
- Räumlich aufgelöste Solarpotenziale



- Flexible Ertragssimulationen



- Szenarienbasierte Solarpotenziale



FPV-Monitoring

