

Schwimmende Photovoltaik-Anlagen

Literaturstudie zur Folgenabschätzung

Niklas Bosch, Konstanz, Juli 2023

Auftraggeber: LUBW, Institut für Seenforschung Langenargen

Inhalt

Allgemeine Informationen, Problemstellung und Überlegungen	2
Einflüsse von FPV-Anlagen.....	3
Physikalische Einflüsse	3
Windeinwirkung auf Gewässer, Wellen und Zirkulation der Wassersäule	3
Lichteinfall und Verschattung	3
Wärmehaushalt des Gewässers	4
Luftfeuchtigkeit, Verdunstung und Kleinklima an der Wasseroberfläche	4
Weitere physikalische Einflüsse	5
Biologische Interaktionen und chemische Auswirkungen	5
Phytoplankton, Zooplankton, Phytobenthos und Makrophyten.....	5
Veränderung chemischer Wasserparameter	5
Auswirkungen auf Vögel, Fische und sonstige Tiere	6
Betriebssicherheit & Verhalten im Fall von Havarien	7
Korrosion und Abgabe von Metallsalzen infolge von Korrosion	7
Brände	8
Stromunfälle	8
Sturm, Hagel und sonstige Elementarereignisse	8
Hochwassersicherheit.....	9
Vorbeugende Maßnahmen zur Unfallvermeidung	9
Auswirkungen auf Freizeitnutzungen, Fischerei und Schifffahrt.....	10
Sonstiges.....	10
Literatur	10

Schwimmende Photovoltaikanlagen

Literaturstudie zur Folgenabschätzung

Allgemeine Informationen, Problemstellung und Überlegungen

Um die Klimaerwärmung aufzuhalten oder wenigstens abzuschwächen, ist es nötig, die Stromerzeugung auf regenerative Quellen umzustellen. Ein Problem hierbei ist die Verfügbarkeit von Standorten. Auch wenn die Umweltbelastungen durch Photovoltaikanlagen deutlich geringer sind als bei Windkraftanlagen, müssen mögliche Umweltfolgen bedacht werden. Obwohl auch viele bereits bebaute und versiegelte Flächen (Gebäude, Verkehrswege, Parkplätze etc.) noch nicht zur Stromerzeugung mittels Sonne genutzt werden, geraten Gewässerflächen bei der Standortsuche in den Fokus.



Single-pile fixed system

Fixed system
Suitable for shallow water or small water level change



Dual-pile fixed system



Floating system with support

Floating system
Suitable for deep water or large water level change



Floating system without support

Abbildung 1: Verschiedene Verankerungstypen von aquatischen Photovoltaik-Anlagen (aus Liu et al. 2021).

Die Technologie der schwimmenden Photovoltaik-Anlagen (im Folgenden abgekürzt mit „FPV“ von engl. floating photovoltaic) findet seit ca. 2007 in der Praxis Verwendung, auch wenn der erste Prototyp bereits 1998 getestet wurde (OSAWA & MIYAZAK 2004). Studien zu Langzeiteffekten liegen daher noch nicht vor. Kurz- bis mittelfristige Folgen wurden dagegen bereits untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden hier im Auftrag der LUBW als stichpunktartige Auflistung wiedergegeben.

Beim Bau von FPV-Anlagen kommt es automatisch zu einer strukturellen und baulichen Veränderung der Gewässer, die veränderte Habitatbedingungen und daraufhin womöglich eine angepasste Artengemeinschaft nach sich ziehen können. Der Grad der Veränderung ist dabei anhängig von der Dimensionierung der Anlage und dem bebauten Gewässer. Für die Folgenabschätzung von FPV-Anlagen sollte unterschieden werden zwischen Gewässern, die künstlich angelegt oder bereits stark baulich verändert sind und natürlichen oder naturnahen Gewässern. Bei Letzteren wiegen die Folgen etwaiger Eingriffe ungleich schwerer. In künstlichen Gewässern, die ohnehin beschattet werden müssen (z. B. zur Senkung von Wasserverlust, Wassertemperatur oder Algenwachstum), ist eine Kombination der bisherigen Beschattung mit FPV-Anlagen dagegen naheliegend.

Einflüsse von FPV-Anlagen

Die im folgenden getroffenen Aussagen beziehen sich jeweils auf die zitierten Studien und gelten daher für die darin untersuchten FPV-Anlagen mit deren spezifischen Bauweisen und Eigenschaften. Die in den Studien untersuchten Gewässertypen sind im Kapitel „Literatur“ beschrieben.

Physikalische Einflüsse

Windeinwirkung auf Gewässer, Wellen und Zirkulation der Wassersäule

- In der Gewässermitte wurden höhere Windgeschwindigkeiten als an Land gemessen. Eine erhöhte Robustheit der Anlage ist demnach wichtig, um wetterbedingte Schäden zu vermeiden so Liu et al. (2018).
- Die Kombination aus Wind und Wellen übt erhebliche Kräfte auf die Statik sowie die Bewegung der Anlage aus. Die Berücksichtigung der Umstände ist laut CHOI & LEE (2015) essenziell zur Vermeidung von Gefahrensituationen.
- Schwimmende Strukturen könnten durch die Abschottung von Wind die Wellenbildung reduzieren (GORIJAN et al. 2021, ROSA-CLOT 2020), aber je nach Aufbau der Anlage herrscht nach wie vor ausreichend Wind unter den FPV-Anlagen (DE LIMA et al. 2021).
- Abhängig vom Design der FPV-Anlage wurde verringerte Durchmischung durch Wind und Wellen nachgewiesen (DE LIMA et al. 2021, YANG et al. 2022). Dies kann wiederum zu geringeren Konzentrationen von gelöstem Sauerstoff in tieferen Gewässerschichten führen. Vor allem auf kleinen Gewässern mit einer vergleichsweise großen FPV-Anlage könnte dies unter Umständen negative Auswirkungen auf die Lebewesen haben.

Lichteinfall und Verschattung

- Die Beschattung mit FPV-Anlagen kann zu einer um bis zu 85,4 % verminderten Lichtintensität unter den Modulen führen (LI et al. 2020).

- Vermutlich durch die FPV-Module wurde eine Reduzierung der energiereichen kurzwelligen Strahlung sowie ein starker Anstieg der langwelligen Strahlung in der Wassersäule darunter gemessen (YANG et al. 2022). Die hohen Messwerte der langwelligen Strahlung werden mit der entstehenden Wärmestrahlung der Module erklärt.
- Laut ROSA-CLOT (2020) haben FPV-Anlagen weder negative noch positive Auswirkungen auf den Albedo-Effekt.
- Durch halbtransparente Polymer Solarzellen (sog. ST-PSCs) kann die Verdunklung des Gewässers trotz großflächiger FPV-Anlagen verhindert (GORIJAN et al. 2021) oder reguliert (ZHANG et al. 2020) werden.

Wärmehaushalt des Gewässers

- Eine Beschattung mit FPV-Anlagen kann die Wassertemperatur senken (ABDELAL 2021, DE LIMA et al. 2021, ELSHAFEI et al. 2021, LI et al. 2020, WANG et al. 2020).
- Im Vergleich zu nicht beschatteten Gewässerbereichen wurden unter FPV-Anlagen verzögerte Erwärmung sowie eine um durchschnittlich 3,3 % niedrigere Wassertemperatur gemessen. Tiefere Bereiche der Wassersäule waren davon nicht beeinflusst (DE LIMA et al. 2021).
- Weniger Sonneneinstrahlung unter der Anlage kann zu einer kälteren Oberflächenschicht führen, was die Wassertemperatur im in verschiedenen Studien im Durchschnitt um ca. 1 °C senkte (EXLEY et al. 2021, LI et al. 2020, ZIAR et al. 2021).
- Ein beschattetes Gewässer war zu jedem Messzeitpunkt kälter als ein nicht beschattetes. Durch die ausbleibende Erwärmung der Oberflächenschicht war die Differenz zwischen Oberfläche und Gewässerboden auch stets geringer (ABDELAL 2021, WANG et al. 2020).
- Im Gegensatz zu den meisten Studien wiesen YANG et al. (2022) nach, dass unter gewissen Bedingungen (geringe Wassertiefe und tropisches Klima) die Wassertemperatur durch die Wärmestrahlung der FPV-Anlagen auch ansteigen kann. Die durchschnittliche gemessene Wassertemperatur war höher, je größer die mit FPV-Anlagen bedeckte Fläche war. Dementsprechend war der Temperaturunterschied zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser auch größer. Ebenso wurden unter den Paneelen sowohl tagsüber als auch nachts höhere Lufttemperaturen gemessen als in nicht mit FPV-Anlagen bedeckten Gewässerbereichen (YANG et al. 2022).

Luftfeuchtigkeit, Verdunstung und Kleinklima an der Wasseroberfläche

- Die gemessene Luftfeuchtigkeit unter FPV-Anlagen war höher als an Land (LIU et al. 2018).
- Je nach Design und relativer Abdeckung der Wasserfläche ist eine Reduktion der Verdunstung um bis zu 80 % möglich (EXLEY et al. 2021). Abhängig vom Abdeckungsgrad wurden auch in anderen Studien Reduktionen um bis zu 50 % (AL-WIDYAN et al. 2021) oder 60 % (ABDELAL 2021) nachgewiesen.

- Pro Jahr könnten so ca. 15.000 m³ Wasser pro Hektar FPV-Anlage vor Verdunstung geschützt werden (Rosa-Clot 2020).
- Durch wasserfreie Reinigungsverfahren der Module kann noch mehr Wasser eingespart werden (Zahedi et al. 2021).

Weitere physikalische Einflüsse

- Ein weiterer potentieller Einfluss auf das Ökosystem könnte von den unter Wasser liegenden Kabeln und den damit verbundenen elektromagnetischen Feldern und der lokalen Erwärmung ausgehen (GORIJAN et al. 2021).

Biologische Interaktionen und chemische Auswirkungen

Phytoplankton, Zooplankton, Phytobenthos und Makrophyten

- Die Schattierung mit FPV-Anlagen resultierte oft in geringeren Wachstumsraten bei Phytoplankton sowie unterdrücktem Algenwachstum (BARADEI & SADEQ 2020, ELSHAFEI et al. 2021, LI et al. 2020, WANG et al. 2020, ZIAR et al. 2021).
- Mindestens 40 % des Gewässers müssten bedeckt sein, um diesen Effekt zu erzielen (Baradei & Sadeq 2020, Haas et al. 2020, Karpouzoglou 2020).
- Laut AL-WIDYAN et al. (2021) zieht die 50%ige Bedeckung durch FPV-Anlagen minimierte Photosyntheseraten nach sich, was durch absterbende und verrottende Algen wiederum zu mehr Orthophosphat sowie mehr gelöstem Kohlenstoff im Wasser führen kann.
- In Gewässern mit regelmäßig auftretender Eutrophierung kann die Beschattung mit FPV-Anlagen zur Problemlösung beitragen (GORIJAN et al. 2021).
- Durch die Verwendung von ST-PSCs (halbtransparente Polymer Solarzellen) kann die einfallende Lichtintensität und das damit verbundene Algenwachstum reguliert werden (ZHANG et al. 2020).

Veränderung chemischer Wasserparameter

- Eine großflächige Beschattung resultiert wahrscheinlich in geringerer Konzentration gelösten Sauerstoffs (BARADEI & SADEQ 2020, WANG et al. 2020, YANG et al. 2022, ZIAR et al. 2021).
- Die untersuchte Sauerstoffsättigung unter FPV-Anlagen ist potenziell geringer, aber trotz Fluktuationen stets im annehmbaren Bereich (DE LIMA et al. 2021, DE LIMA et al. 2022).
- Mit steigendem Beschattungsgrad durch FPV-Anlagen sinkt der pH-Wert des Gewässers. Grund ist die inhibierte Photosynthese-Aktivität (AL-WIDYAN et al. 2021, LI et al. 2020).
- Ein geringerer pH-Wert und schwächere Gewässertrübung wurden gemessen, wenn mindestens 30 % der Wasserfläche mit FPV-Anlagen bedeckt waren. Der Salzgehalt war in dieser Studie nicht beeinflusst (AL-WIDYAN et al. 2021).

- Erhöhte man die prozentuale Beschattung eines Gewässers bis auf 100 %, so stieg die Konzentration von Nitrit-Stickstoff und die Konzentration von Phosphat und organischem Stickstoff sanken (BARADEI & SADEQ 2020, LI et al. 2020).
- Bezüglich der Ammoniumstickstoffkonzentration gibt es widersprüchliche Ergebnisse: LI et al. (2020) kamen zu dem Schluss, dass die Konzentration mit gesteigerter Beschattung sinkt wohingegen BARADEI & SADEQ (2020) gestiegene Werte gemessen hatten.
- Die Messwerte der elektrischen Leitfähigkeit (Konzentration von gelösten Salzen) waren unter FPV-Anlagen signifikant höher, laut den Forschenden durch die Abschirmung und Pufferung von Wetterveränderungen (DE LIMA et al. 2021).
- Eine Beschattung von 50 % führte zu stagnierenden Orthophosphat-Werten im Gegensatz zu sinkenden Werten bei Nichtbeschattung oder nur 30 % Beschattung (AL-WIDYAN et al. 2021).
- Die Beschattung mit FPV-Anlagen kann zu niedrigerer Konzentration von Nitrat und Chlorophyll a führen (ABDELAL 2021, YANG et al. 2022).
- Erhöhte Ozonwerte führen unter Umständen zur vermehrten Bildung von sauerstoffhaltigen Funktionsgruppen an den Auftriebskörpern (LIU et al. 2021).
- Im Gegensatz zu den meisten Studien wurden durch YANG et al. (2022) in flachen tropischen Reservoirs erhöhte Mengen von Stickstoff und Phosphor sowie geringere Mengen von organischem Kohlenstoff unter FPV-Anlagen gemessen. Gleich wie in anderen Studien waren die Ergebnisse, dass die Mengen an Chlorophyll-a und gelöstem Sauerstoff durch eine Beschattung mit FPV-Anlagen sinken.

Auswirkungen auf Vögel, Fische und sonstige Tiere

- Die Veränderungen der einzelner Wasserparameter (durch ansteigende Beschattung sinkende Wassertemperatur und pH-Werte) wirken sich ebenfalls auf das Algen- und Fischwachstum aus (LI et al. 2020). Die Fischproduktion einer Fischzucht war bei 50 % Beschattung am geringsten und bei 75 % Beschattung am höchsten.
- Bei einer Abdeckung mit FPV-Modulen von 40 % der Wasseroberfläche und den damit verbundenen stabileren Temperatur- und Sauerstoffwerten wurden in einer Aquakultur höhere Erträge von Garnelen und Milchfischen erzielt (WANG et al. 2021).
- Bewuchs (sog. Biofouling) (LIU et al. 2018) sowie Besiedelung der Unterseiten mit diversen Muscheln und Schnecken wurden beobachtet (DE LIMA et al. 2021).
- Fische suchten Schutz unterhalb der Anlagen (DE LIMA et al. 2022, ROSA-CLOT 2020) und fraßen darauf wachsende Algen (ROSA-CLOT 2020).
- Vögel nisteten auf bzw. unter den Anlagen (GORIJAN et al. 2021, LIU et al. 2018, ROSA-CLOT 2020).

- Terrestrische Anlagen führten zu einer Veränderung der Artengemeinschaft von Vögeln indem Offenlandarten in ihrer Abundanz abnahmen und Waldarten sich dafür bevorzugt an den Anlagen ansiedelten (VISSER et al. 2019).
- Vögel können durch Kollision mit den Anlagen verletzt oder getötet werden (VISSER et al. 2019, WALSTON et al. 2016).
- Vogelkot kann durch Abschattung den Ertrag um bis zu 10 % minimieren (LIU et al. 2018, ZIAR et al. 2021). Eine zur Oberflächenkühlung teilweise ohnehin nötige Beregnung könnte beide Probleme lösen (ROSA-CLOT 2020).
- Je nach Beschichtung der FPV-Module führt das reflektierte, polarisierte Licht dazu, dass wassersuchende Insekten darauf landen und ggf. verenden und/oder die Eiablage an nicht geeigneten Orten stattfindet (BLACK & ROBERTSON 2020, FRITZ et al. 2020, SZÁZ et al. 2016).
- Dies kann wiederum Vögel anziehen, was die Verletzungsraten von Vögeln erhöhen könnte (Visser et al. 2019).
- Mit Hilfe von verschiedenen Modifikationen der Moduloberfläche ist es möglich, die Zahl der landenden Insekten zu verringern (Black & Robertson 2020, Fritz et al. 2020, Száz et al. 2016).
- Natürliche Gewässer könnten auf Grund der Tatsache, dass sie über ein ursprüngliches Ökosystem verfügen, was sich über die Zeit entwickelt hat, von der Ausstattung mit FPV-Anlagen mehr beeinflusst sein als neu angelegte Gewässer (KUMAR et al. 2021).

Betriebssicherheit & Verhalten im Fall von Havarien

Korrosion und Abgabe von Metallsalzen infolge von Korrosion

- Kleine Mengen an Metallsalzen können durch Regen und/oder Wellenschlag ausgewaschen werden (GORIJAN et al. 2021).
- Die Kontamination des Wassers durch auslaufende Betriebsstoffe sowie giftige Chemikalien sollte nach Möglichkeit verhindert werden (GORIJAN et al. 2021).

Sicherheit von Betriebsstoffen und Baumaterialien

- Mögliche Risiken (LIU et al. 2018):
 - Zersetzung der Module
 - Korrosion der metallischen Strukturen
 - Biofouling und Korrosion der Auftriebskörper
 - Zerfall der Auftriebskörper durch UV-Strahlung
 - Materialermüdung der Verankerungen und Verbindungen
 - Sinkende FPV-Anlagen

- Frei herumtreibende Module durch beschädigte Verankerung
- Kontamination des Wassers durch langfristige Zersetzung und Degradierung der Strukturen
- Klimatisch warme Bedingungen erhöhen das Risiko von eintretender Feuchtigkeit in sensiblen Bauteilen. Als Folge ist von erhöhter Korrosion, dem Austreten von Gefahrenstoffen und der Beschädigung der PV-Module auszugehen (ACUR et al. 2020).
- Zur Reinigung der Anlagen von Staub und anderen Ablagerungen kann entweder Wasser aus den entsprechenden Gewässern oder wasserlose Alternativen verwendet werden (ZAHEDI et al. 2021).

Brände

- Beschädigte, zuvor unzureichend isolierte und gewartete Kabel sind in der Lage, durch Kurzschlüsse Brände zu verursachen (LEE 2020). Um gefahrlose Löscharbeiten zu ermöglichen, ist es laut BEYER (2022) essenziell die Anlage vom Stromnetz trennen zu können.
- Durch einen Unfall übereinander gelagerte Module können durch die so entstehende Überhitzung Brandherde verursachen (ACUR et al. 2020, BELLINI 2019).

Stromunfälle

- Bei Bauarbeiten kann es auf Grund mangelnder Isolation der Leitungen zu Stromunfällen kommen (PIMENTEL DA SILVE & BRANCO 2018).
- Stromunfälle bei Reinigungsarbeiten können durch entsprechende Schutzkleidung verhindert werden (ZAHEDI et al. 2021).

Sturm, Hagel und sonstige Elementarereignisse

- Durch einen Sturm und die damit verbundene Wellenbildung wurden Kabel und Verbindungselemente einer französischen FPV-Anlage beschädigt (BEYER 2022).
- Durch starken Wind verursachte Wellen sind in der Lage Verankerungen zu lösen. Hierdurch können neue Angriffsflächen für den Wind entstehen und die weitere Zerstörung der Module ist möglich (BELLINI 2019, WILLUHN 2020). Ähnliches passierte bei einem Taifun in Japan im Jahr 2018 (ACUR et al. 2020).
- ACUR et al. (2020) raten dazu ein funktionierendes Blitzableiter-System zwingend zu installieren.
- Die mechanische Stabilität oder strukturelle Integrität von PV-Anlagen, um Regen, Schnee, Wind und Hagel standzuhalten, ist essenziell so ORESKI et al. (2021). Spezielle Schutzbeschichtungen bieten darüber hinaus entsprechende Sicherheit.
- Immer dünner werdende Module ohne notwendigen Schutz erhöhen das Risiko von Hagelschäden (JORDAN et al. 2022).

Hochwassersicherheit

- Wenn durch Hochwasser die Ankerseile ohnehin schon gespannt sind, können zusätzlicher starker Wind und hoher Wellengang die Verankerungen lösen (ACUR et al. 2020, WILLUHN 2020). Daher sollten die Verankerung und Pontons entsprechend gegen Hochwasser, damit verbundene starke Schwankungen des Wasserstands, starke Strömung sowie Ansammlungen von Treibgut geschützt sein (ACUR et al. 2020, GALDINO & DE ALMEIDA OLIVIERI 2017).

Vorbeugende Maßnahmen zur Unfallvermeidung

- Es wird empfohlen eine umfangreiche Risikoanalyse vor dem Bau durchzuführen, damit die FPV-Anlagen und alle verbauten Teile für den schlimmstmöglichen Fall ausgerichtet sind (ACUR et al. 2020).
- Nach der Studie von ACUR et al. (2020) sollten, wenn möglich, folgende umweltschädliche Baumaterialien nicht oder nur unter bestimmten Sicherheitsvorkehrungen verwendet werden: Aluminium, HDPE, PE100, Zink (in hoher Konzentration), Fiberglas (wegen Entstehung von Mikroplastik), Polystyren und PVC.
- Konstante Bewegung der Teile macht laut LIU et al. (2018) regelmäßige Wartung notwendig.
- Um für Eis und Schnee gewappnet zu sein, sei es wichtig, dass Material mit entsprechenden Eigenschaften verbaut wird. Darüber hinaus sei das zusätzliche Gewicht von Schnee und Eis, das Heben und Senken der Eisdecke sowie das etwaige Zufrieren von beweglichen Bauteilen zu berücksichtigen (BELLINI 2021).
- Um Gefahren für das Ökosystem zu minimieren raten GORIJAN et al. (2021) und ZAHEDI et al. (2021) dazu umweltverträgliche Reinigungsmittel zu verwenden.
- Für den Fall eines Feuers muss eine Notabschaltung unkompliziert möglich und der gefahrlose Zugang der gesamten Anlage muss gewährleistet sein (ACUR et al. 2020, RAMALI et al. 2022). Darüber hinaus werden folgende Sicherheitsmaßnahmen empfohlen:
 - Da Solarzellen bei Lichteinwirkung automatisch Strom erzeugen, kann eine überspannende Abdeckung der Anlage kann dabei helfen, die Stromerzeugung zu unterbrechen.
 - Warn- und Hinweisschilder, Wegweiser und entsprechende Signale sparen im Notfall wertvolle Zeit.
 - Die Ausbildung von Elektrizitäts-Experten für FPV-Anlagen.
 - Darüber hinaus müssen die Einsatzkräfte mit entsprechender Kleidung vor Elektrizität und mit Atemschutz vor entstehenden giftigen Gasen geschützt sein.
- Vor erstmaliger Nutzung bzw. nach der Herstellung kann es von Vorteil sein, alle Plastikmaterialien in einem geschlossenen Umfeld abzuwaschen, damit sich noch lösende Stoffe nicht ins Wasser gelangen (ACUR et al. 2020).

Auswirkungen auf Freizeitnutzungen, Fischerei und Schifffahrt

- Durch großflächige Beschattung herbeigeführte Reduzierung an organischem Material könnte einen negativen Einfluss auf das Nahrungsangebot und somit die Bestände von Fischen haben (KUMAR et al. 2021).
- Im Vergleich zu fehlender Beschattung konnte bei einer relativen Beschattung von 75 % die vergleichsweise größte Fischproduktion erzielt werden (LI et al. 2020).
- Die Existenz von 40 % beschattenden FPV-Anlagen steigerte in Aquakulturen den Ertrag von Shrimps, Tilapia und Milchfisch um das 1,1- bis 1,4-Fache (WANG et al. 2021).
- Die mit dem Bau einer FPV-Anlage verbundenen Einschränkungen für die Freizeitnutzung sollten offen kommuniziert und die Öffentlichkeit mit eingebunden werden (ACUR et al. 2020). Des Weiteren sollten ungenutzte Wasserflächen bevorzugt werden, um Konflikte zu vermeiden.
- In der frühen Planungsphase sind ein offener Diskurs, positive Publicity und Einbeziehung der betroffenen Anlieger wichtig (SAHU et al. 2016).

Sonstiges

- Mit dem Bau und damit verbundenen Bodenbegradigungen können Störungen des Ökosystems in Form des Einsatzes von schweren Maschinen sowie hohen Lärmpegeln einhergehen (ELSHAFEI et al. 2021, GORIJAN et al. 2021).
- Da die FPV-Anlagen gegenüber terrestrischen Anlagen weniger gekühlt werden müssen, sind sie um 11 % effektiver, allerdings sind auch die Investitionen höher (SAHU et al. 2016).

Literatur

ABDELAL, Q. (2021). FLOATING PV; AN ASSESSMENT OF WATER QUALITY AND EVAPORATION REDUCTION IN SEMI-ARID REGIONS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LOW-CARBON TECHNOLOGIES*, 16(3), 732–739.
[HTTPS://DOI.ORG/10.1093/IJLCT/CTAB001](https://doi.org/10.1093/ijlct/ctab001)

Die Nutzung von landwirtschaftlichen Teichen zur Stromproduktion durch FPV sowie die Auswirkungen auf die Wasserqualität wurden untersucht. Wasserparameter wurden in einem beschatteten Versuchsbecken gemessen und mit denen aus einem unbeschatteten Kontrollbecken verglichen. Eine Verbesserung von Wasserparametern durch um 60 % verringerte Verdunstung sowie verbesserte Nitrat- und Chlorophyllwerte konnten festgestellt werden.

ACUR, S., ALLEN NDUMNU, N., ELBESS, A. M. A., GERSDORF, D. S., & GUGG, P. D. (2020). *FLOATING PV TECHNOLOGY AND ITS POSSIBLE APPLICATIONS*.

[HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION/344714482_FLOATING_PV_TECHNOLOGY_AND_ITS_POSSIBLE_APPLICATIONS](https://www.researchgate.net/publication/344714482_FLOATING_PV_TECHNOLOGY_AND_ITS_POSSIBLE_APPLICATIONS)

Ziel dieser Arbeit war es die relevanten Themen, Techniken und Probleme von FPV-Anlagen zusammenzutragen. Dazu gehören ein Überblick und eine detaillierte Analyse der einzelnen Komponenten, Materialien, sozialen und umwelttechnischen Auswirkungen, historischen Unfällen, Techniken, Betriebssicherheiten sowie wirtschaftlichen Aspekten.

AL-WIDYAN, M., KHASAWNEH, M., & ABU-DALO, M. (2021). POTENTIAL OF FLOATING PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY AND THEIR EFFECTS ON ENERGY OUTPUT, WATER QUALITY AND SUPPLY IN JORDAN. *ENERGIES*, 14(24), 8417.

[HTTPS://DOI.ORG/10.3390/EN14248417](https://doi.org/10.3390/en14248417)

Monatliche Messungen an einem künstlichen See mit Regen- und Abwasser zeigten, dass durch verhinderte Evaporation zwischen 30 % und 50 % des vorhandenen Wassers zurückgehalten wurde. Darüber hinaus konnten eine Senkung des pH-Wertes sowie reduzierte Trübung des Gewässers dokumentiert werden. Erhöhte Werte an organischem Kohlenstoff deuteten auf eine Verbesserung von Wasserparametern sowie einen Rückgang des Algenwachstums hin. Weniger Algen führten jedoch zu geringeren Sauerstoffkonzentrationen sowie mehr Phosphat, das durch den Abbau freigesetzt wurde.

BARADEI, S. E., & SADEQ, M. A. (2020). EFFECT OF SOLAR CANALS ON EVAPORATION, WATER QUALITY, AND POWER PRODUCTION: AN OPTIMIZATION STUDY. *WATER*, 12(8), 2103. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/W12082103](https://doi.org/10.3390/w12082103)

Diese Studie beschäftigte sich mit sog. Solarkanälen (Abwasserkanälen, die mit Solaranlagen beschattet sind) und den Auswirkungen auf Verdunstung und Werte der Wasserqualität. Sowohl ein mathematisches Modell als auch im Feld gemessene Daten sollten zeigen, welcher der optimale Prozentsatz für die Beschattung eines Gewässers ist, um maximalen Stromertrag und minimale Verdunstung zu erzielen, ohne die Wasserqualität negativ zu beeinflussen. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass hierfür 33 – 50 % Beschattung vorhanden sein müssten.

BELLINI, E. (2019). JAPAN'S LARGEST FLOATING PV PLANT CATCHES FIRE AFTER TYPHOON FAXAI IMPACT. *PV-MAGAZINE*. [HTTPS://WWW.PV-MAGAZINE.COM/2019/09/09/JAPANS-LARGEST-FLOATING-PV-PLANT-CATCHES-FIRE-AFTER-TYPHOON-FAXAI-IMPACT/](https://www.pv-magazine.com/2019/09/09/JAPANS-LARGEST-FLOATING-PV-PLANT-CATCHES-FIRE-AFTER-TYPHOON-FAXAI-IMPACT/)

Durch Windböen von bis zu 120 m/h kam es durch den Taifun „Faxai“ am 9. September 2019 zu einem Brand der größten japanischen FPV-Anlage. Die Kombination aus Wind und Wellen riss mehrere Module aus der Verankerung und stapelte sie übereinander. Dies führte zu einer Überhitzung der Module und schließlich zum Brand.

BELLINI, E. (2021). WHAT HAPPENS TO FLOATING PV WHEN THE WATER SURFACE FREEZES? *PV-MAGAZINE*. [HTTPS://WWW.PV-MAGAZINE.COM/2021/01/15/WHAT-HAPPENS-TO-FLOATING-PV-WHEN-THE-WATER-SURFACE-FREEZES/](https://www.pv-magazine.com/2021/01/15/WHAT-HAPPENS-TO-FLOATING-PV-WHEN-THE-WATER-SURFACE-FREEZES/)

Dieser Artikel erläutert, worauf beim Bau einer FPV-Anlage in Regionen mit kalten Wintern geachtet werden muss. Das verbaute Material sollte kälteresistent sein und das zusätzliche Gewicht von Schnee und Eis aushalten können. Bei der Verankerung sei es ebenfalls wichtig, dass das Heben und Senken der Eisdecke ausgehalten werden kann. Generell sollten keine beweglichen Bauteile zufrieren können.

BEYER, M. (2022). AKUO SPEAKS OUT ON RECENT FIRE ACCIDENT AT ITS 17MW FLOATING PV PLANT IN FRANCE. *PV-MAGAZINE*. [HTTPS://WWW.PV-MAGAZINE.COM/2022/03/01/AKUO-SPEAKS-OUT-ON-RECENT-FIRE-ACCIDENT-AT-ITS-17MW-FLOATING-PV-PLANT-IN-FRANCE/](https://www.pv-magazine.com/2022/03/01/akuo-speaks-out-on-recent-fire-accident-at-its-17mw-floating-pv-plant-in-france/)

Nach dem Brand der 17 MW FPV-Anlage in Piolenc in Frankreich wurde nach den Ursachen gesucht. Am 30. Januar 2022 kam es in Folge eines Sturms zu einem Brand der Anlage. Über mehrere Tage hinweg herrschte starker Wind mit Böen von bis zu 80 km/h. Auf Grund des starken Wellengangs und damit verbundener Reibung lösten sich einige Kabel und es kam zu einem Kurzschluss. Die betroffenen Wechselrichter fielen aus und es brach Feuer aus. Die gefährliche Kombination aus Elektrizität, Feuer und Wasser hatte zur Folge, dass die komplette Anlage vom Netz genommen werden musste, um das Feuer zu löschen.

BLACK, T. V., & ROBERTSON, B. A. (2019). HOW TO DISGUISE EVOLUTIONARY TRAPS CREATED BY SOLAR PANELS. *JOURNAL OF INSECT CONSERVATION*, 24(2), 241–247. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10841-019-00191-5](https://doi.org/10.1007/s10841-019-00191-5)

Polarisierte Lichtverschmutzung ist ein Problem von PV-Anlagen, da wassersuchende Insekten diese fälschlicherweise anfliegen, weil ein natürliches Gewässer vorgetäuscht wird. Dieser Effekt kann durch das Auftragen eines weißen, nicht polarisierenden Gitters abgeschwächt werden. Dieses Paper befasst sich mit den nötigen technischen Eigenschaften eines solchen Gitters.

CHOI, Y.-K., & LEE, J.-H. (2015). STRUCTURAL SAFETY ASSESSMENT OF OCEAN-FLOATING PHOTOVOLTAIC STRUCTURE MODEL. *ISRAEL JOURNAL OF CHEMISTRY*, 55(10), 1081–1090. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/IJCH.201400197](https://doi.org/10.1002/IJCH.201400197)

Mithilfe eines Computermodells wurde eine Sicherheitsprüfung von marinen FPV-Anlagen durchgeführt. Bei schwimmenden Photovoltaikanlagen ist zusätzlich die Wellenbelastung sowie die Verankerungslast zu berücksichtigen. Des Weiteren ist es wichtig, gegen Schwankungen des Wasserstandes sowie Strömungen abgesichert zu sein. Auf Grund dieser Studie wurde eine 20 kW FPV-Anlage im Ozean errichtet.

DE LIMA, R. L. P., PAXINOU, K., C. BOOGAARD, F., AKKERMAN, O., & LIN, F.-Y. (2021). IN-SITU WATER QUALITY OBSERVATIONS UNDER A LARGE-SCALE FLOATING SOLAR FARM USING SENSORS AND UNDERWATER DRONES. *SUSTAINABILITY*, 13(11), 6421. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/SU13116421](https://doi.org/10.3390/su13116421)

Der großflächige Bau von FPV-Anlagen hat Auswirkungen auf die Wasserqualität und die betroffenen Ökosysteme. Die Einflüsse hängen dabei von den Gewässereigenschaften sowie dem Design und der relativen Größe der FPV-Anlage ab. In dieser Studie wurden in einem Baggersee Wasserparameter unter und neben FPV-Anlagen gemessen und verglichen. Die Ergebnisse zeigten insgesamt nur geringe Unterschiede. Unter den Sonnenkollektoren war die Temperatur

in den oberen Wasserschichten niedriger und es wurden weniger Temperaturschwankungen festgestellt. Eine Biofouling-Schicht auf dem Schwimmkörper war einige Monate nach dem Bau des Parks auf den Unterwasserbildern sichtbar.

DE LIMA, R. L. P., DE GRAAF-VAN DINTHER, R. E., & BOOGAARD, F. C. (2022). IMPACTS OF FLOATING URBANIZATION ON WATER QUALITY AND AQUATIC ECOSYSTEMS: A STUDY BASED ON IN SITU DATA AND OBSERVATIONS. *JOURNAL OF WATER AND CLIMATE CHANGE*, 13(3), 1185–1203. [HTTPS://DOI.ORG/10.2166/WCC.2022.325](https://doi.org/10.2166/wcc.2022.325)

Die Auswirkungen von schwimmenden Infrastrukturen im Allgemeinen wurde mit einer Unterwasserdrohne untersucht. An insgesamt 18 verschiedenen Strukturen in 13 verschiedenen Gewässern (Teiche, Polder, Flüsse, Seen) wurde der Sauerstoffgehalt und die Temperatur unterhalb der Struktur mit dem freien Gewässer verglichen. Unter Strukturen wurden ein geringerer Sauerstoffgehalt sowie höhere Temperaturen gemessen.

ELSHAFEI, M., IBRAHIM, A., HELMY, A., ABDALLAH, M., ELDEIB, A., BADAWY, M., & ABDELRAZEK, S. (2021). STUDY OF MASSIVE FLOATING SOLAR PANELS OVER LAKE NASSER. *JOURNAL OF ENERGY*, 2021, 1–17. [HTTPS://DOI.ORG/10.1155/2021/6674091](https://doi.org/10.1155/2021/6674091)

In letzter Zeit hat die Technologie schwimmender Photovoltaikmodule mehrere Vorteile gegenüber Landinstallationen gezeigt, darunter schnellere Bereitstellung, geringere Wartungskosten und höhere Effizienz. Es wurde gezeigt, dass es möglich wäre, am Nassersee (kostbares Süßwasserreservoir) viel Solarenergie zu generieren und gleichzeitig den Wasserverlust durch Verdampfung zu reduzieren.

EXLEY, G., HERNANDEZ, R. R., PAGE, T., CHIPPS, M., GAMBRO, S., HERSEY, M., LAKE, R., ZOANNOU, K.-S., & ARMSTRONG, A. (2021). SCIENTIFIC AND STAKEHOLDER EVIDENCE-BASED ASSESSMENT: ECOSYSTEM RESPONSE TO FLOATING SOLAR PHOTOVOLTAICS AND IMPLICATIONS FOR SUSTAINABILITY. *RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 152, 111639. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RSER.2021.111639](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111639)

Ein Austausch internationaler Wissenschaftler*innen zeigte, dass reduzierte Wasserverdunstung der größte Vorteil von FPV-Anlagen sein kann. Hingegen bergen chemische Veränderungen wie Nitrifikation und Sauerstoffentzug große Gefahren. Neun Ökosystemfunktionen sind von FPV Anlagen betroffen – ob und wie positiv bzw. negativ diese Auswirkungen seien, hänge von Design und Gewässer ab.

FRITZ, B., HORVÁTH, G., HÜNIG, R., PERESZLÉNYI, Á., EGRI, Á., GUTTMANN, M., SCHNEIDER, M., LEMMER, U., KRISKA, G., & GOMARD, G. (2020). BIOREPLICATED COATINGS FOR PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS NEARLY ELIMINATE LIGHT POLLUTION THAT HARMS POLAROTACTIC INSECTS. *PLOS ONE*, 15(12), E0243296. [HTTPS://DOI.ORG/10.1371/JOURNAL.PONE.0243296](https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0243296)

Viele Insekten sind auf die polarisierenden Eigenschaften von Objekt-reflektierendem Licht angewiesen. Typische Glas-ummantelte PV-Module erzeugen fälschlicherweise den optischen Eindruck einer Wasseroberfläche, weswegen sie von wassersuchenden Insekten angefliegen

werden. Die Oberflächenstruktur eines PV-Moduls hat einen Einfluss darauf, wie viele Insekten auf ihr landen und ggf. verenden und/oder ihre Eier an ungeeigneten Plätzen ablegen.

GALDINO, M. A. E. & DE ALMEIDA OLIVIERI, M. M. (2017). SOME REMARKS ABOUT THE DEPLOYMENT OF FLOATING PV SYSTEMS IN BRAZIL. J. OF ELECTRICAL ENGINEERING, 5(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.17265/2328-2223/2017.01.002](https://doi.org/10.17265/2328-2223/2017.01.002)

Ob und unter welchen Umständen FPV-Anlagen in Brasilien möglich sind, wird in diesem Artikel abgewogen. Zusammenfassend kommen die Autoren zu dem Schluss, dass zuerst Pilotprojekte realisiert werden sollten, um verbleibende Kritikpunkte zu untersuchen und um eine abschließende Entscheidung fällen zu können.

GORJIAN, S., SHARON, H., EBADI, H., KANT, K., SCAVO, F. B., & TINA, G. M. (2021). RECENT TECHNICAL ADVANCEMENTS, ECONOMICS AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF FLOATING PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONVERSION SYSTEMS. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 278, 124285. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124285](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124285)

Diese Studie gibt einen vergleichenden Überblick über technische Neuheiten, sowie ökonomische und ökologische Auswirkungen von FPV-Anlagen. Schwimmende Anlagen können konventionell aufgebaut sein oder in Verbindung mit Fischzuchten zweierlei Zweck erfüllen. Die Investitionsausgaben von aquatischen Projekten seien höher als bei terrestrischen, jedoch wäre auch mit höherer Effizienz zu rechnen.

HAAS, J., KHALIGHI, J., DE LA FUENTE, A., GERBERSDORF, S. U., NOWAK, W., & CHEN, P.-J. (2020). FLOATING PHOTOVOLTAIC PLANTS: ECOLOGICAL IMPACTS VERSUS HYDROPOWER OPERATION FLEXIBILITY. ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, 206, 112414. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ENCONMAN.2019.112414](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112414)

Schwimmende Module sind effizienter als Land-basierte und können obendrein noch die Verdunstung eines Gewässers minimieren. Diese Studie untersuchte einen Stausee und es wurde aus den erhobenen Daten ein Computermodell entwickelt. Dieses ermöglichte die Modellierung verschiedener Abdeckungsgrade und daraus veränderter Algenwachstumsraten und konnte zeigen, dass FPV-Anlagen, die weniger als 40 % der Wasserfläche abdeckten, quasi keinen Einfluss auf das Algenwachstum hätten.

JORDAN, D. C., HAEGEL, N., & BARNES, T. M. (2022). PHOTOVOLTAICS MODULE RELIABILITY FOR THE TERAWATT AGE. PROGRESS IN ENERGY, 4(2), 022002. [HTTPS://DOI.ORG/10.1088/2516-1083/AC6111](https://doi.org/10.1088/2516-1083/ac6111)

Dieser Review trägt Informationen über PV-Beständigkeit zusammen; von dem historischen Kontext, über technische Herausforderungen bis hin zu den Voraussetzungen für eine lange Laufzeit.

KARPOUZOGLOU, T., VLASWINKEL, B., & VAN DER MOLEN, J. (2020). EFFECTS OF LARGE-SCALE FLOATING (SOLAR PHOTOVOLTAIC) PLATFORMS ON HYDRODYNAMICS AND PRIMARY PRODUCTION IN A COASTAL SEA FROM A WATER COLUMN MODEL. OCEAN SCIENCE, 16(1), 195–208. [HTTPS://DOI.ORG/10.5194/OS-16-195-2020](https://doi.org/10.5194/os-16-195-2020)

Durch die steigende Nachfrage von erneuerbaren Energien, insbesondere FPV-Anlagen, ist ein verbessertes Verständnis der ökologischen Auswirkungen wichtig. In dieser Arbeit wurden die potenziellen Effekte von schwimmenden Modulen in marinen Küstenregionen auf die Primärproduktion sowie weitere Wasserparameter untersucht. Die Modelle und Messungen zeigten, dass der Bedeckungsgrad sowie der Standort einen großen Einfluss hatten. Darüber hinaus war das Lichtdefizit der entscheidende Faktor für die Primärproduktion.

KUMAR, M., MOHAMMED NIYAZ, H., & GUPTA, R. (2021). CHALLENGES AND OPPORTUNITIES TOWARDS THE DEVELOPMENT OF FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS. *SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS*, 233, 111408. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SOLMAT.2021.111408](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111408)

Die rauen Bedingungen, denen schwimmende PV-Anlagen ausgesetzt sind, stellen die Effektivität und Zuverlässigkeit vor eine Herausforderung. Über einen langen Zeitraum gesehen spielen der Verfall, die ökologischen Auswirkungen sowie der Nutzen eine große Rolle. Der ökonomische Nutzen sowie die ökologischen Auswirkungen werden in diesem Paper diskutiert.

LEE, AN. (2020). FIRE HITS BP VENTURE'S FLAGSHIP FLOATING SOLAR PLANT IN UK. RECHARGE. [HTTPS://WWW.RECHARGENEWS.COM/TRANSITION/FIRE-HITS-BP-VENTURES-FLAGSHIP-FLOATING-SOLAR-PLANT-IN-UK/2-1-877293](https://www.rechargenews.com/transition/fire-hits-bp-ventures-flagship-floating-solar-plant-in-uk/2-1-877293)

Durch einen technischen Effekt kam es in einer der größten FPV-Anlagen Europas (London, GB) zu einem Brand. Dieser beschädigte den Verbindungsbereich zweier Modulreihen, wodurch einige Module sanken.

LI, P., GAO, X., JIANG, J., YANG, L., & LI, Y. (2020). CHARACTERISTIC ANALYSIS OF WATER QUALITY VARIATION AND FISH IMPACT STUDY OF FISH-LIGHTING COMPLEMENTARY PHOTOVOLTAIC POWER STATION. *ENERGIES*, 13(18), 4822. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/EN13184822](https://doi.org/10.3390/en13184822)

Die Auswirkungen einer FPV-Anlage auf die Lichtverhältnisse unter Wasser und somit auf das Algen- und Fischwachstum wurden in 2 m² großen Versuchsbecken untersucht. Unter den nachgebauten Paneelen wurde eine bis zu 85,4 % geringere Lichtintensität gemessen. Temperatur, Sauerstoffkonzentration und pH-Werte nahmen mit steigender Beschattung ab. Bei einer Beschattung von 75 % war die Anzahl an Algenarten, die Algenbiomasse und die Fischproduktion am höchsten.

LIU, H., KRISHNA, V., LUN LEUNG, J., REINDL, T., & ZHAO, L. (2018). FIELD EXPERIENCE AND PERFORMANCE ANALYSIS OF FLOATING PV TECHNOLOGIES IN THE TROPICS. *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS*, 26(12), 957–967. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/PIP.3039](https://doi.org/10.1002/pip.3039)

Diese Studie untersuchte in einem Stausee die technische und ökonomische Umsetzung sowie ökologische Einflüsse der zu diesem Zeitpunkt weltweit größten FPV-Anlage. Es wurden acht unterschiedlich designte Systeme untersucht und qualitativ hochwertige Felddaten aufgenommen.

LIU, C.-K., KONG, Z.-R., KAO, M.-J., & WU, T.-C. (2021). A NOVEL ACCELERATED AGING TEST FOR FLOATS IN A FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEM. *COATINGS*, 11(11), 1283. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/COATINGS11111283](https://doi.org/10.3390/coatings11111283)

Die Umweltbedingungen einer FPV-Anlage sind deutlich harscher als bei terrestrischen Anlagen, weshalb bisherige Standards und Auflagen nicht ausreichend sind. Aus diesem Grund befasste sich diese Studie mit der langfristigen Strapazierfähigkeit und wendete verschiedene Stress-Tests an. Hitze in Kombination mit Feuchtigkeit führte zu keiner Minimierung der untersuchten Parameter. Im Gegensatz zu UV-Strahlung führten erhöhte Ozonwerte zur vermehrten Bildung von sauerstoffhaltigen Funktionsgruppen. UV-Strahlung hatte allerdings zur Folge, dass die Materialien aushärteten und leichter brachen.

MA, C., & LIU, Z. (2022). WATER-SURFACE PHOTOVOLTAICS: PERFORMANCE, UTILIZATION, AND INTERACTIONS WITH WATER ECO-ENVIRONMENT. *RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 167, 112823. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RSER.2022.112823](https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112823)

In diesem Paper wird ein Überblick über die Entwicklung, Errungenschaften, Herausforderungen und Auswirkungen von FPV-Anlagen gegeben. Es dient als Grundlage für zukünftige Forschung, indem der aktuelle Status und Trend dokumentiert werden.

ORESKI, G., STEIN, J., EDER, G., BERGER, K., BRUCKMAN, L., VEDDE, J., WEISS, K.-A., TANAHASHI, T., FRENCH, R., & RANTA, S. (2021). *DESIGNING NEW MATERIALS FOR PHOTOVOLTAICS: OPPORTUNITIES FOR LOWERING COST AND INCREASING PERFORMANCE THROUGH ADVANCED MATERIAL INNOVATIONS* (SAND--2021-4837R, 1779380, 695676; S. SAND--2021-4837R, 1779380, 695676). [HTTPS://DOI.ORG/10.2172/1779380](https://doi.org/10.2172/1779380)

Dieser technische Report bietet eine Zusammenfassung der technischen Aspekte bezüglich der Qualität, Performance, Zuverlässigkeit und Lebensdauer von PV-Anlagen aus verschiedenen Umgebungen und Regionen. Der Inhalt soll der Industrie als Vorlage zur Produktverbesserung dienen.

OSAWA, H., & MIYAZAKI, T. (2004). WAVE-PV HYBRID GENERATION SYSTEM CARRIED IN THE OFFSHORE FLOATING TYPE WAVE POWER DEVICE „MIGHTY WHALE“. *OCEANS '04 MTS/IEEE TECHNO-OCEAN '04 (IEEE CAT. NO.04CH37600)*, 4, 1860–1866. [HTTPS://DOI.ORG/10.1109/OCEANS.2004.1406427](https://doi.org/10.1109/OCEANS.2004.1406427)

Der sog. „Mighty Whale“ der japanischen JAMSTEC war ein erstes schwimmendes Kraftwerk zur Erzeugung von erneuerbarer Energie durch Meeresströmungen. Zur Ergänzung der Wellenturbinen wurde das Schiff mit Photovoltaik-Modulen ausgestattet, um auch bei ruhiger See Energie zu generieren.

PIMENTEL DA SILVA, G. D., & BRANCO, D. A. C. (2018). IS FLOATING PHOTOVOLTAIC BETTER THAN CONVENTIONAL PHOTOVOLTAIC? ASSESSING ENVIRONMENTAL IMPACTS. *IMPACT ASSESSMENT AND PROJECT APPRAISAL*, 36(5), 390–400. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/14615517.2018.1477498](https://doi.org/10.1080/14615517.2018.1477498)

Diese Studie verglich aquatische mit terrestrischen PV-Anlagen und nennt Vor- und Nachteile. Von der Planung bis zur Wartung wurden alle Aspekte berücksichtigt und es wurde gezeigt, dass FPV-Anlagen im direkten Vergleich besser abschneiden.

RAMALI, M. R., MOHD NIZAM ONG, N. A. F., MD SAID, M. S., MOHAMED YUSOFF, H., BAHARUDIN, M. R., THARIMA, A. F., AKASHAH, F. W., & MOHD TOHIR, M. Z. (2022). A REVIEW ON SAFETY PRACTICES FOR FIREFIGHTERS DURING PHOTOVOLTAIC (PV) FIRE. *FIRE TECHNOLOGY*. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s10694-022-01269-4](https://doi.org/10.1007/s10694-022-01269-4)

Dieser Review fasst die wichtigsten Gesichtspunkte und Strategien in Bezug auf den Löscheinsatz brennender PV-Anlagen zusammen.

ROSA-CLOT, P. (2020). FPV AND ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY. IN *FLOATING PV PLANTS* (S. 101–118). ELSEVIER. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/B978-0-12-817061-8.00009-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817061-8.00009-9)

Dieses Kapitel befasst sich mit den Auswirkungen von FPV-Anlagen auf Gewässer, analysiert den Umwelteinfluss und die Vorteile einer solchen Struktur. Besonderes Augenmaß wurde auf Verdunstung, Albedo- und Glashauseffekt, verschiedene technische Gesichtspunkte aber auch ökologische Auswirkungen gelegt.

SAHU, A., YADAV, N., & SUDHAKAR, K. (2016). FLOATING PHOTOVOLTAIC POWER PLANT: A REVIEW. *RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 66, 815–824. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RSER.2016.08.051](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051)

Die Installation einer FPV-Anlage hilft dabei, kostbares Land und Wasser zu schonen. Gewässer wie Ozeane, Seen, Lagunen, Stauseen, Bewässerungsteiche, Kläranlagen, Fischteiche, Dämme und Kanäle können eine attraktive Option sein. Schwimmende Photovoltaikmodule haben im Vergleich zu über Land installierten Solarmodulen zahlreiche Vorteile, einschließlich direkterer Sonneneinstrahlung ohne Hindernisse, günstige Energieeffizienz sowie höhere Effizienz der Stromerzeugung aufgrund der niedrigeren Temperatur unter den Paneelen. Zusätzlich profitiert die aquatische Umwelt von der Solaranlage, denn die Beschattung der Anlage verhindert eine übermäßige Wasserverdunstung, schränkt das Algenwachstum ein und verbessert so potenziell die Wasserqualität.

SZÁZ, D., MIHÁLYI, D., FARKAS, A., EGRI, Á., BARTA, A., KRISKA, G., ROBERTSON, B., & HORVÁTH, G. (2016). POLARIZED LIGHT POLLUTION OF MATTE SOLAR PANELS: ANTI-REFLECTIVE PHOTOVOLTAICS REDUCE POLARIZED LIGHT POLLUTION BUT BENEFIT ONLY SOME AQUATIC INSECTS. *JOURNAL OF INSECT CONSERVATION*, 20(4), 663–675. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s10841-016-9897-3](https://doi.org/10.1007/s10841-016-9897-3)

Durch das globale Wachstum von installierten Solaranlagen steigt auch die Gefahr, dass die polarisierte Lichtverschmutzung zur immer größeren Gefahr für Insektenpopulationen wird. Experimente unter verschiedenen Lichtverhältnissen mit speziellen Beschichtungen von PV-Modulen zeigten, dass weniger Insekten darauf landeten.

VISSER, E., PEROLD, V., RALSTON-PATON, S., CARDENAL, A. C., & RYAN, P. G. (2019). ASSESSING THE IMPACTS OF A UTILITY-SCALE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY FACILITY ON BIRDS IN THE NORTHERN CAPE, SOUTH AFRICA. *RENEWABLE ENERGY*, 133, 1285–1294. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RENENE.2018.08.106](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.106)

Diese Studie untersuchte die Folgen von terrestrischen Photovoltaik-Anlagen auf den Gesundheitszustand sowie die Artengemeinschaft von Vögeln. Da sich die Habitatbedingungen in

Bezug auf Futter, Wasser, Vegetation und Nistmöglichkeiten veränderten, konnten auch andere Vogelarten nachgewiesen werden.

WANG, T., LAI, T., TUNG, C., KUO, S., LAI, H., & CHEN, C. (2020). THE EFFECTS OF FLOATING PHOTOVOLTAIC BUOYS ON WATER QUALITY AND PLANKTONIC COMPOSITION IN MILKFISH (*CHANOS CHANOS*) CULTURE POND. *J. FISH. SOC. TAIWAN*, 47 (2), 121-128. [HTTPS://DOI.ORG/10.29822/JFST.202006_47\(2\).0006](https://doi.org/10.29822/JFST.202006_47(2).0006)

Eine Aquakultur, die zu 40 % mit einer FPV-Anlage bedeckt ist, wurde über drei Monate in Bezug auf Wassertemperatur, gelöstem Sauerstoff und Planktonzusammensetzung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die genauen Messwerte als auch die Schwankungen von Wassertemperatur und Sauerstoff in dem mit FPV-Anlagen beschatteten Teich niedriger als in den Kontrollgewässern waren. Darüber hinaus war das Planktonwachstum eingeschränkt.

WANG, T., CHANG, P., HUANG, Y., LIN, T., YANG, S., YEH, S., TUNG, C., KUO, S., LAI, H., & CHEN, C. (2021). EFFECTS OF FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ON WATER QUALITY OF AQUACULTURE PONDS. *AQUACULTURE RESEARCH*, 53(4), 1304–1315. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/ARE.15665](https://doi.org/10.1111/ARE.15665)

Diese Studie untersuchte den Einfluss von FPV-Anlagen (40 % der Gewässeroberfläche abdeckend) auf die Wasserqualität und Produktivität von Aquakulturen. Die Wassertemperatur, der pH-Wert sowie die Sauerstoffkonzentration waren geringer als in nicht beschatteten Kontrollteichen. Die Erträge an Shrimps, Tilapia und Milchfisch waren zwischen 1,1 und 1,4-mal so hoch.

WILLUHN, M. (2020). THE WEEKEND READ: DON'T THROW CAUTION TO THE WIND. *PV-MAGAZINE*. [HTTPS://WWW.PV-MAGAZINE.COM/2020/02/22/THE-WEEKEND-READ-DONT-THROW-CAUTION-TO-THE-WIND/](https://www.pv-magazine.com/2020/02/22/the-weekend-read-dont-throw-caution-to-the-wind/)

Auf Grund eines Taifuns kam es zu schweren Zerstörungen der japanischen FPV-Anlage auf dem Stausee am Yamakura Damm. Der Sturm mit Böen von bis zu 207 km/h riss sieben der insgesamt 420 Anker aus der Verankerung. Dies war wahrscheinlich nur möglich, da durch einen außergewöhnlich hohen Wasserstand die Verankerungsseile ohnehin unter Spannung standen und dann Wind und Wellen das Fass zum Überlaufen brachten. Nach dem Versagen der Anker wurde eine Art Kettenreaktion ausgelöst, da die inneren Reihen von Modulen nicht mehr gesichert waren und nacheinander umklappten und sich lösten. Die FPV-Anlage war nicht für einen Taifun dieser Stärke ausgelegt.

YANG, P., CHUA, L. H. C., IRVINE, K. N., NGUYEN, M. T., & LOW, E.-W. (2022). IMPACTS OF A FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEM ON TEMPERATURE AND WATER QUALITY IN A SHALLOW TROPICAL RESERVOIR. *LIMNOLOGY*, 23(3), 441–454. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s10201-022-00698-y](https://doi.org/10.1007/s10201-022-00698-y)

Mit Hilfe eines Computermodells sowie zur Validierung in einem Stausee gesammelte Felddaten wurden die Auswirkungen einer FPV-Anlage auf die Hydrodynamik sowie die Wasserqualität eines flachen, tropischen Reservoirs in Singapur untersucht. Sowohl die Modellierung als auch die Felddaten bestätigten unter den Paneelen verringerte Wassertemperatur, Zirkulation der Wassersäule, Konzentration von Chlorophyll-a, gelöstem Kohlenstoff sowie gelöstem Sauerstoff.

Die Menge an Stickstoff und Phosphor in der gesamten Wassersäule war hingegen höher als in nicht bedeckten Gewässerbereichen.

ZAHEDI, R., RANJBARAN, P., GHAREHPETIAN, G. B., MOHAMMADI, F., & AHMADIAHANGAR, R. (2021). CLEANING OF FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A CRITICAL REVIEW ON APPROACHES FROM TECHNICAL AND ECONOMIC PERSPECTIVES. *ENERGIES*, 14(7), 2018. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/EN14072018](https://doi.org/10.3390/en14072018)

Trotz des immer weiter verbreiteten Wachstums von FPV-Anlagen sind die möglichen Reinigungstechniken erst wenig untersucht. Die Wasserqualität der jeweiligen Gewässer kann die Verwendung des Wassers zur Reinigung ausschließen. Aus diesem Grund untersuchte diese Studie verschiedene Reinigungssysteme, die teilweise auch ohne Wasser auskommen.

ZHANG, N., JIANG, T., GUO, C., QIAO, L., JI, Q., YIN, L., YU, L., MURTO, P., & XU, X. (2020). HIGH-PERFORMANCE SEMITRANSSPARENT POLYMER SOLAR CELLS FLOATING ON WATER: RATIONAL ANALYSIS OF POWER GENERATION, WATER EVAPORATION AND ALGAL GROWTH. *NANO ENERGY*, 77, 105111. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.NANOEN.2020.105111](https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105111)

Halbtransparente Polymer Solarzellen (engl. ST-PSCs) könnten herkömmliche FPV-Anlagen revolutionieren, da der Anteil des nicht absorbierten Lichts variiert werden kann. So kann gleichzeitig minimale Wasserverdunstung mit optimalen Lichtverhältnissen für ein kontrolliertes Algenwachstum kombiniert werden.

ZIAR, H., PRUDON, B., LIN, F. (VICKY), ROEFFEN, B., HEIJKOOP, D., STARK, T., TEURLINCX, S., SENERPONT DOMIS, L., GOMA, E. G., EXTEBARRIA, J. G., ALAVEZ, I. N., TILBORG, D., LAAR, H., SANTBERGEN, R., & ISABELLA, O. (2021). INNOVATIVE FLOATING BIFACIAL PHOTOVOLTAIC SOLUTIONS FOR INLAND WATER AREAS. *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS*, 29(7), 725–743. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/PIP.3367](https://doi.org/10.1002/pip.3367)

In dieser Studie werden zwei innovative FPV-Anlagen in Bezug auf Modellierung, Design und Leistung vorgestellt. Beobachtungen zeigten, dass die Anwesenheit der Vögel kurzfristig einen starken Einfluss auf die Leistung schwimmender PV-Anlagen hatte. Das ökologische Monitoring zeigte keine erkennbaren Auswirkungen auf die Wasserqualität, jedoch erhebliche Auswirkungen auf Wasserpflanzenbiomasse und Zeiten niedriger Sauerstoffkonzentrationen.