FORSCHUNGSNETZWERKE ENERGIE

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

SWOT-Analyse FN EE Solar- Photovoltaik AG Nachhaltigkeit

15.10.2025

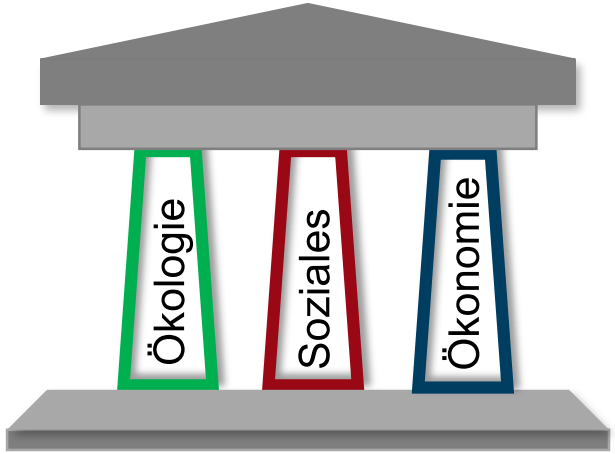
PV Dialog des FNEE

Jann Binder (jann.binder@zsw-bw.de)

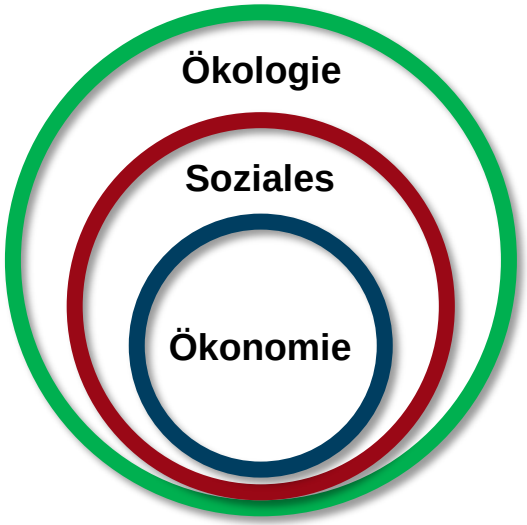
Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien

FORSCHUNGSNETZWERKE ENERGIE

- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Innovation
- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Produktion
- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Performance
- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Integration
- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Nachhaltigkeit
- Arbeitsgruppe Solarthermische Kraftwerke und thermische Speicher



Drei-Säulen-Modell
der Nachhaltigkeit

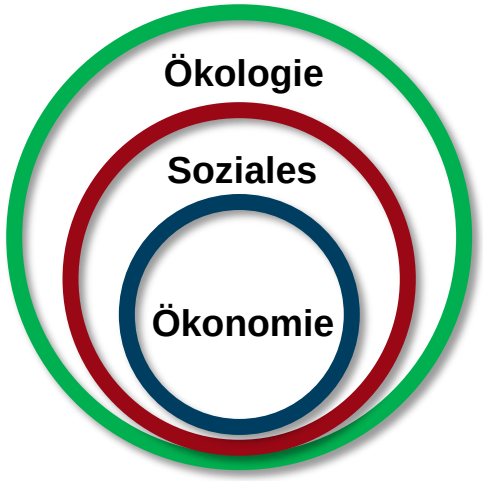


Vorrangmodel
der Nachhaltigkeit

- **AG Nachhaltigkeit**
  - 32 Mitglieder (außer PtJ Mitarbeiter)
  - 20 beteiligt bei SWOT Analyse
  - plus Input aus PV Kraftwerkspapier genutzt für SWOT Analyse
- **Ansprechpartner AG Nachhaltigkeit**
  - **Jann Binder, ZSW**
    Fachgebiet PV-Module und Systeme
    jann.binder@zsw-bw.de
  - **Peter Dold, FhG IWKS**
    Geschäftsführender Institutsleiter
    peter.dold@iwks.fraunhofer.de
- **Ansprechpartner des PtJ für AG Nachhaltigkeit**
  - **Kambulakwao Chakanga**
    k.chakangan@ptj.de
  - **Philipp Wedding**
    p.wedding@ptj.de

ZSW

FN EE Solar- Photovoltaik AG Nachhaltigkeit



Ökologie

- **Nachhaltigkeitsbewertung von Materialien**
  - Komponenten und System, Lebenszyklus- und Stoffstromanalysen
- **Ressourceneffizientes Design von PV-Kraftwerken und Recycling**
  - Herstellung (incl. neue Modultypen), Aufbau, Betrieb, Recycling oder Re-Use
  - Umfassende Rückgewinnung von Rohstoffen und Up-Cycling
- **Nachhaltige Flächennutzung**
  - Doppelnutzung von Flächen, Einfluss auf Fläche und Biotope

Soziales

- **Akzeptanz** (Information), **Teilhabe** (Beteiligungsmodelle) → **120.000 Arbeitsplätze**

Ökonomie

- **Finanzielle und volkswirtschaftliche Nachhaltigkeit des PV Ausbaus** → **20 Mrd/a Invest**
  - benötigt geeignete Regulatorik des Energiemarkts (mit gesicherten Vergütungsstrukturen), Minimierung des notwendigen Netzausbaus
  - sowie angepassten Betrieb von PV (Hybrid-) Kraftwerken.

  bei 20 GW/a Solarausbau
- **Standardisierung und Bau-Normen**

SWOT: Ökologie (Resourceneffizienz und Recycling)

STÄRKEN

- Expertise in PV Produktions-technologien
- Know-How in Recycling
- viele Recycling Unternehmen
- D war PV Vorreiter - große Mengen PV mit nahe EoL vorhanden

SCHWÄCHEN

- fehlender Produktpass
- Große Mengen, geringer Material-wert; Recyclingquote nach Gewicht
- ➢ ohne Regulierung, kein Recycling

CHANCEN

- Frühzeitige Recyclingplanung bei neuen Zelltypen (Tandem, VI-PV)
- Sekundärrohstoffnutzung – reduziert Primärrohstoffbedarf
- Internationale Nachfrage nach Recycling Know-How ist groß

RISIKEN

- fehlende Bewertungsmethoden und Richtlinien → erlaubt Greenwashing
- ungeregelter Second-Use im Ausland, verhindert Recycling
- End-of-Life bei >30 Jahre Lebens-dauer nicht im Planungsprozess

Maßnahmen (Forschung, Technologien)

- ➢ Bewertungssysteme einführen
- ➢ Förderung „Design-for-Circularity“
- ➢ Erhöhung der Modullebensdauer > 30 a
- ➢ Forschungsinitiative „PFAS-freie-Module“
- ➢ großtechnisches Recycling entwickeln mehr upcycling statt downcycling !

Flankierend

- ➢ Frühzeitig Regulierung für neue Modultypen und Systeme entwickeln
- ➢ Regulierung für Recycling schärfen
- ➢ Verunreinigungsgrenzwerte für Glas festlegen (Getränkeflaschen, Fensterglas)
- ➢ fundierte Geschäftsmodelle für zentrales und dezentrales Recycling entwickeln

SWOT: Ökologie (nachhaltige Flächennutzung)

siehe auch SWOT-Analyse der AG Integration

FORSCHUNGSNETZWERKE ENERGIE

STÄRKEN

- Pilotprojekte zu Agri-PV in D
- Innovationskraft bei Flächen-Doppelnutzung
- fördert positives Image PV

SCHWÄCHEN

- Komplexe Genehmigungsverfahren
- geringe Datenlage zu langfristigen ökologischen Effekten

CHANCEN

- Synergien Water-Energy-Food Nexus nutzen; Biodiversität fördern
- Mehrfachnutzung von Flächen
- BIPV als GEG Beitrag
- Integration von PV in kommunale Versorgungskonzepte

RISIKEN

- Flächenkonkurrenz (Landwirtschaft, Naturschutz)

Maßnahmen (Forschung, Technologien)

- Wissenschaftliche Untersuchung zu Wechselwirkungen PV-Anlagen und Biodiversität, Boden, Wasser, Pflanzen, Tieren
- Systementwicklung für optimierten Agrar- und Stromertrag, Pflanzenschutz und Wassermanagement
- BIPV stärken, PV als GEG Beitrag nutzen, Nachhaltigkeitsbewertungen einführen

Flankierend

- evidenzbasierte Festlegung von Anforderungen, Grenzwerten (Agri-PV, schwimmende PV, ...) und ökologischen Zielwerten
- Reallabore zur ökologischen Wirkungsforschung

ZSW

SWOT: soziale Aspekte und Akzeptanz

Veränderungsprozess „Energiewende“ moderieren

STÄRKEN

- Breite Zustimmung zu Energiewende und PV
- Bürgerenergieprojekte zur PV

SCHWÄCHEN

- lokale Widerstände gegen PV-FFA
- fehlende Transparenz über Kosten und Nutzen für Kommunen

CHANCEN

- Ausbau von Beteiligungsmodellen
- Bildungskampagnen zur Nutzung nachhaltiger PV-Anlagen

RISIKEN

- PV Stromüberschuss und neg. Preise werden als Fehlplanung interpretiert
- populistischen Gegenbewegung zum EE-Ausbau
- not-in-my-backyard Mentalität

Maßnahmen: Forschung fördern und Inhalte generieren

- zur Moderation des Veränderungs-prozesses „Energiewende“
  - Change Story, Stakeholder Mapping, Kommunikationsplan, Sense of Urgency, Change-Readiness; Widerstandsmgmt., Partizipation
- für Schulung und Informationskampagnen auf Kommunalebene
- Akzeptanzforschung und Begleitung zu FF-PV, Agri-PV

Flankierend

- Reallabore einrichten und moderieren

SWOT: Ökonomie

stabile Rahmenbedingungen für Finanzierbarkeit, Recycling und ökologisch wertvolle PV

STÄRKEN

- Erprobte Fördermechanismen für EE-Ausbau
- hoher Anteil PV und Wind
- Pläne für EE-Ausbau laut EEG 2021 für Energiewende zielführend

SCHWÄCHEN

- Marktversagen bei PV Direkt-vermarktung (neg. Strompreise)
- Marktversagen bei Speicherausbau
- lange Ammortisationszeiten & un-sicherer Erlös im volatilen Markt
- hohe EEG Kosten

CHANCEN

- volkswirtschaftliche Optimierung von Ökonomie und Ökologie
- lokale Solarstromnutzung
  - erhöht Bereitschaft für Invest
  - entlastet die Netze
- Digitalisierung für bessere Vermarktung und Netznutzung

RISIKEN

- PV Ausbau stockt wegen finanzieller Unsicherheit
- volkswirtschaftliche Kosten der Solarstromnutzung steigen

Maßnahmen: Finanzierbarkeit von PV Ausbau, Recycling und von ökologisch besonders wertvollen PV Kraftwerken durch geeignete und stabile Regulierung absichern

- ➢ datengetrieben Entscheidungsfindung, Stakeholder-Beteiligung, Evaluation & Feedbackschleifen beim Design von Regulierung unterstützen
- ➢ Varianten von dynamischen Netzentgelten, flexiblen Energietarifen und Anreiz-systemen entwickeln und evaluieren
- ➢ ökologischen Zielwerte und Anforderungen evidenzbasiert ableiten

Flankierend

- ➢ Reallabore und regulatorische Innovationszonen schaffen
- ➢ Roll-Out des IMSys beschleunigen

FN EE Solar- Photovoltaik AG Nachhaltigkeit

Plädoyer für die Entwicklung evidenzbasierter Regulierung und Zielwerten

Regulierung ist entscheidend für Technologieauswahl, Markterfolg und Nachhaltigkeit

→ evidenzbasiert: datengetriebene Entscheidungsfindung, mit Stakeholderbeteiligung, Evaluation & Feedbackschleifen, interdisziplinär, modelbasiert

(1) Ohne verbesserte Regulierung kein hochwertiges Recycling

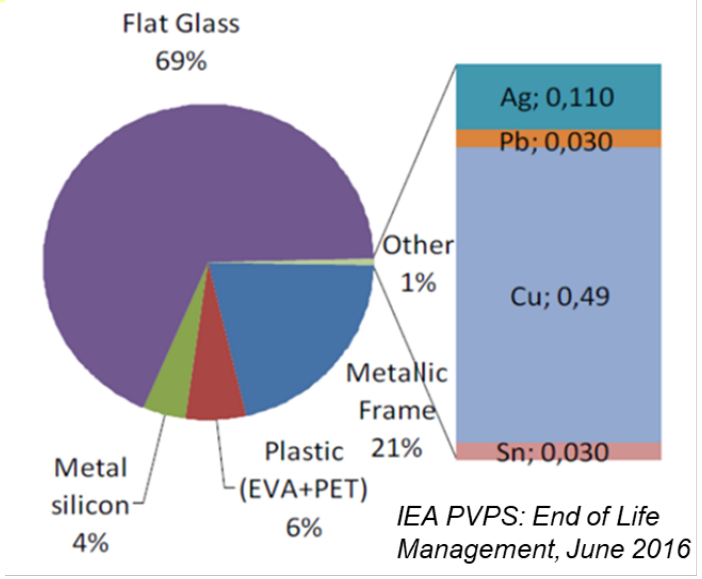
- eine Tonne End-of-Life Module haben lediglich rund 500 € Materialwert
- derzeit ist Recycling nach Gewicht reguliert → zuviel Down-Cycling
- > 30 Jahre Lebensdauer für Module verhindern langfristiges Denken

(2) Verbesserte Regulierung nötig, um z.B. negativen Strompreisen zu begegnen

- zu wenig Abregelung, wegen unökonomischem Verhalten von Direktvermarktern (erzwungen von Herkunftsnachweis bei PPAs)[1]
- zu wenig Flexibilität durch Speicher; Verzögerungen bei Netzanschlussbegehren
- negative Preise ermöglichen populistisches Agieren gegen weiteren EE-Ausbau

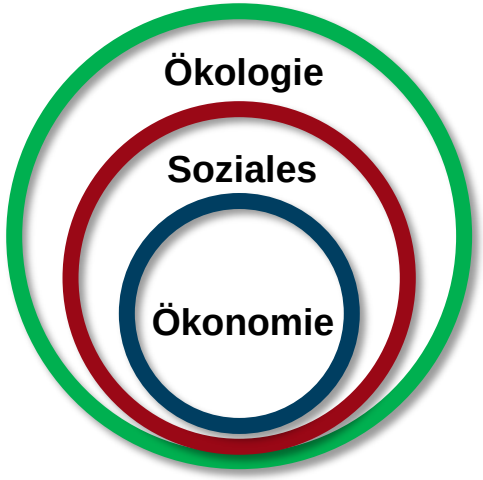
(3) ökologischen Zielwerte sollten wissensbasiert begründet werden

- wieso die Begrenzung der PV auf Gewässern auf 15% der Fläche
- Entwicklung von Kriterien für das „Agri-PV“ Segment notwendig



[1] Energy-Chart Talks vom 2.6.2025
Leonhard Probst, Fraunhofer ISE
https://www.youtube.com/watch?v=G4jV1-YCZCc

FN EE Solar- Photovoltaik AG Nachhaltigkeit Zusammenfassung der Maßnahmen



Ökologie

- Recycling hochfahren: up-cycling und Re-Use, dezentral und großtechnisch
- Forschungsinitiative „PFAS-freie-Module“, Modullebensdauer > 30a
- Bewertungssysteme für (neue) Modultypen einführen, Technologie-Souveränität erhalten
- Synergie zwischen Wasser-, Energie und Ernährungssystemen darstellen und ausschöpfen
    - Agri-PV, Moor-PV, schwimmende PV

Soziales

- den Veränderungsprozess „Energiewende“ beschreiben, Change Story (was ändert sich und wie) & Kommunikation (soziale Medien) entwickeln, Akzeptanz und (finanzielle) Beteiligung fördern

Ökonomie

- **Forschungsinstitute fördern und Kompetenz nutzen in Regulierungsfragen** (datengetrieben Entscheidungsfindung, Stakeholder-Beteiligung, Evaluation & Feedbackschleifen fördern)
- Strommarktdesign entwickeln und modellieren für Anreizsysteme (flexible Netz- und Energietarife)
- ökologische Zielwerte und Anforderungen evidenzbasiert ableiten

➢ **Reallabore einrichten und moderieren**

Forschungsnetzwerk Erneuerbare Energien

FORSCHUNGSNETZWERKE ENERGIE

- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Innovation
- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Produktion
- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Performance
- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Integration
- Arbeitsgruppe Photovoltaik – Nachhaltigkeit
- Arbeitsgruppe Solarthermische Kraftwerke und thermische Speicher

Vielen Dank !

- **Ansprechpartner AG Nachhaltigkeit**
  - **Jann Binder, ZSW**
    Fachgebiet PV-Module und Systeme
    jann.binder@zsw-bw.de
  - **Peter Dold, FhG IWKS**
    Geschäftsführender Institutsleiter
    peter.dold@iwks.fraunhofer.de
- **Ansprechpartner des PtJ für AG Nachhaltigkeit**
  - **Kambulakwao Chakanga**
    k.chakangan@ptj.de
  - **Philipp Wedding**
    p.wedding@ptj.de