

VAckerPower – Vertikale Agri-Photovoltaik im Ackerbau

PV-Dialog: Perspektiven und Projekte aus der Photovoltaikforschung
Lisa-Marie Bieber, Anna Heimsath, 08.01.2025

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE

Forschung für die Energiewende seit 1981

Das Institut in Zahlen

Institutsleitung

Prof. Dr. Hans-Martin Henning

Prof. Dr. Andreas Bett

Personal ca. 1500

Budget 2022

Betrieb €111.5 million

Investitionen € 9.1 million

Gesamt €120.6 million



Geschäftsfeld: Solarkraftwerke und Integrierte Photovoltaik



©Fraunhofer ISE/Dirk Mahler

Forschungsthemen

- Modulanalyse und Zuverlässigkeit
- Solarthermische Kraftwerke
- Integrierte Photovoltaik
- Photovoltaische Kraftwerke
- Solare Energiemeteorologie



02

—

Einführung in die Agri-PV

Einführung in die Agri-PV

Was ist Agri-PV?

Doppelnutzungssystem



Photovoltaik (PV) – Stromerzeugung

+

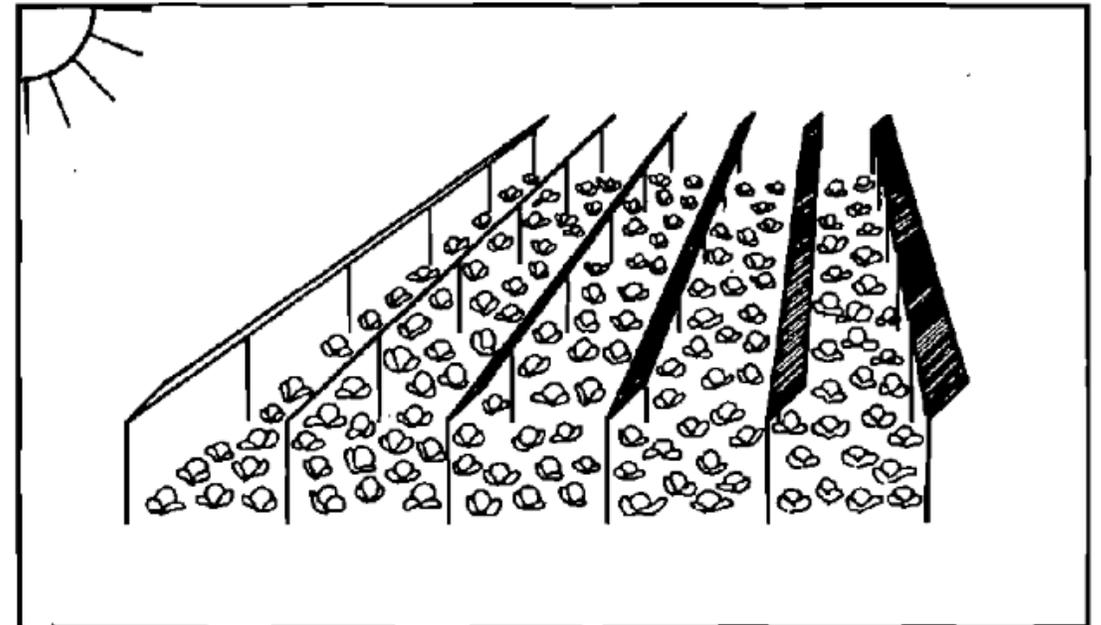


Photosynthese – landwirtschaftliche
Nahrungsmittelproduktion

- **Ziel: Ressourceneffiziente Landnutzung,
Nutzung von Synergieeffekten**

Neuer Vorschlag der Fraunhofer-Gesellschaft

Kartoffeln unter dem Kollektor

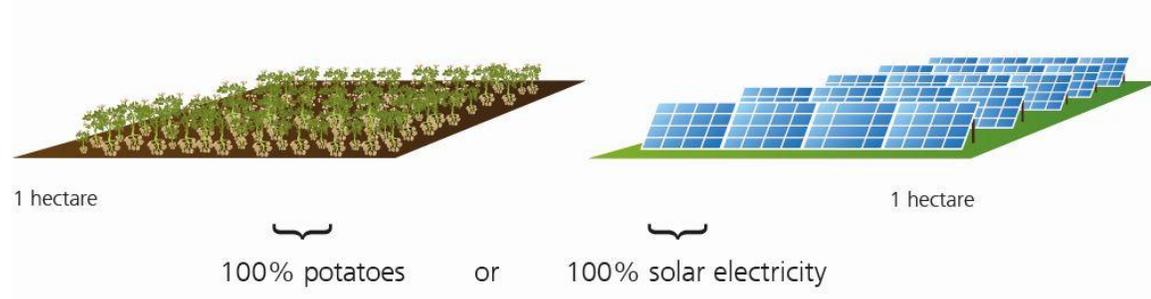


Bildnachweis: Darstellung aus Goetzberger und Zastrow 1982

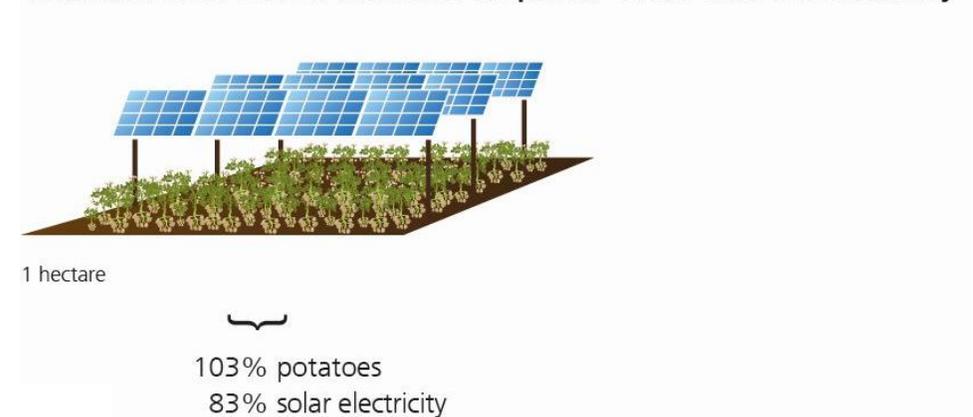
Einführung in die Agri-PV

Warum Agri-PV? - Steigerung der Landnutzungseffizienz

Separate Land Use on 1 Hectare Cropland: 100% Potatoes or 100% Solar Electricity



Combined Land Use on 1 Hectare Cropland: 186% Land Use Efficiency



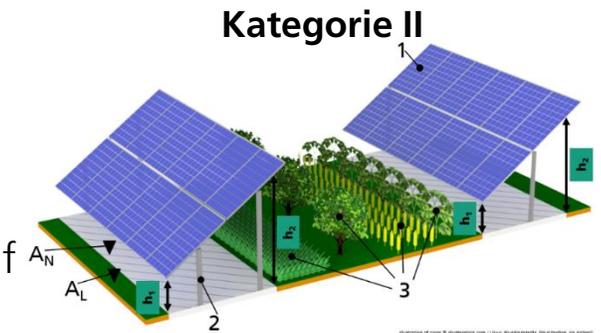
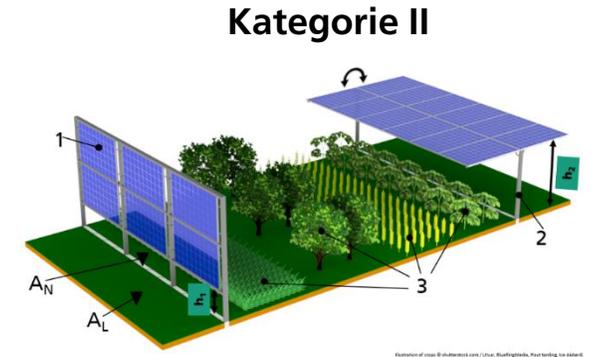
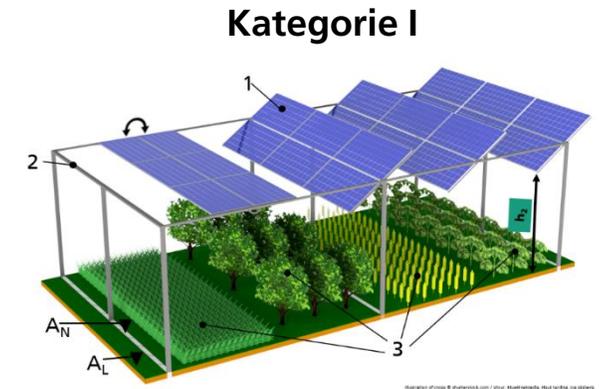
$$LER = \frac{yield_{c,dual}}{yield_{c,mono}} * \frac{area_{agri,dual}}{area_{agri,mono}} + \frac{yield_{e,dual}}{yield_{e,mono}}$$

- Erweiterung des potenziellen PV-Flächenangebots ohne Konflikte bei der Flächennutzung
- Verbesserung der Flächennutzungseffizienz zwischen 60 – 90 % möglich in Deutschland
- Großes Potenzial in Regionen mit Flächenknappheit und in ariden/semi-ariden Klimazonen

Aktueller Rechtsrahmen

Überblick

- **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)**
 - Agri-PV-Anlagen förderbar, bevorzugte Bezuschlagung im Untersegment, erhöhte Fördersätze für besondere Solaranlagen
 - Bezug auf DIN SPEC 91434:2021-05 über Festlegung nach §85c
- **Baugesetzbuch (BauGB)**
 - Privilegierung von Agri-PV-Anlagen nach § 35 Abs. 1 Nr. 9 BauGB, unter 2,5 ha, eine Anlage je Betrieb und im räumlich-funktionalen Zusammenhang
 - Bezug auf DIN SPEC 91434:2021-05 über Bezug auf EEG
- **Direktzahlungen-Durchführungsverordnung (GAPDZV)**
 - Beihilfeanspruch für 85 % der Fläche, Bezug auf DIN SPEC 91434:2021-05
- **Grundsteuer, der Erbschaft- und Schenkungsteuer sowie der Grunderwerbsteuer**
 - Agri-PV-Anlage wird dem land- und forstwirtschaftlichen Vermögen zugeordnet, Bezug auf DIN SPEC 91434:2021-05



Aktueller Rechtsrahmen

DIN SPEC 91434 und 91492

DIN SPEC 91434: Agri-Photovoltaik-Anlagen – Anforderungen an die landwirtschaftliche Hauptnutzung

- Erfolgreich implementiert
 - Aufgrund Festlegung BNetzA vom 01.10.2021 aufgegriffen in EEG und BauGB
 - Aufgegriffen GAP-Direktzahlungen-Verordnung
 - Aufgegriffen für Zuordnung Agri-PV-Anlagen zu land- und forstwirtschaftlichem Vermögen
- DIN SPEC 91492 ergänzt tierhaltungsspezifische Anforderungen
- Ergebnis der Überprüfung (06/2024): Überführung zur Norm angestrebt, Beginn Mitte 2025

DIN SPEC 91434

DIN SPEC 91492

Landnutzungsänderung

Keine Flächennutzungsänderung:
Mit Umbruchsverbot: Keine Flächennutzungsänderung beim Bau

Nutzungsänderung möglich:
bei Änderung zu Ackerland oder Dauerkulturen, gilt die DIN SPEC 91434

Flächenverlust

max. 10 % (Kat. I)
max. 15 % (Kat. II)

Max. 15 %
Spezifizierung Flächenverlust:
Zäune sind Flächenverlust, wenn nicht Teil der landwirtschaftlichen Praxis

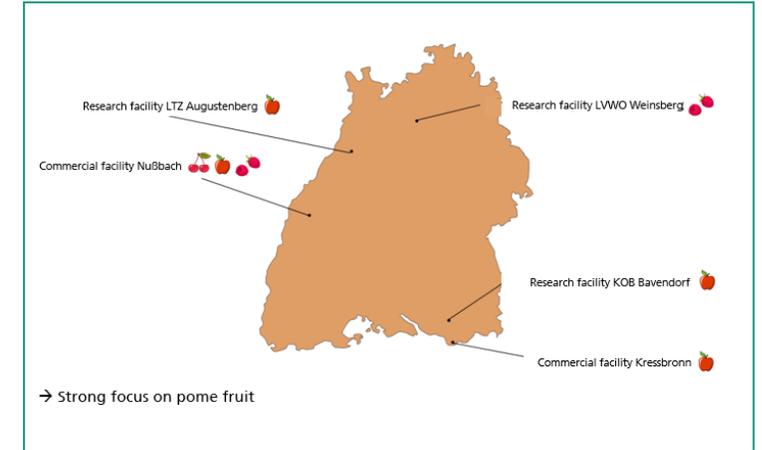
Landnutzungseffizienz

Min. 66 % Referenzertrag

85 % der möglichen Tieranzahl muss erreicht werden können

Beispielprojekt: Modellregion Agri-PV Baden-Württemberg

Agri-PV im Obstbau



Versuchsaufbau

- 5 Pilotanlagen
 - Bavendorf
 - Kressbronn
 - Heuchlingen
 - Augustenberg
 - Nussbach

Technische Daten

- 1700 kW_p Installierte Leistung verteilt auf
 - 5 Anlagen
 - von 132 kW_p bis 700kW_p
- Lichte Höhe: bis zu 3,5 m
- Durchfahrtsbreite: unterschiedlich, 3,5 m in Kressbronn

Projekt

- Laufzeit: 2021 - 2024
- Budget: 4,6 Mio. €
- Forschungsziele
 - Prüfung der Eignung von regional relevanten Sonderkulturen
 - Wirtschaftsmodelle
 - Leitlinien für Landwirte und Behörden



03

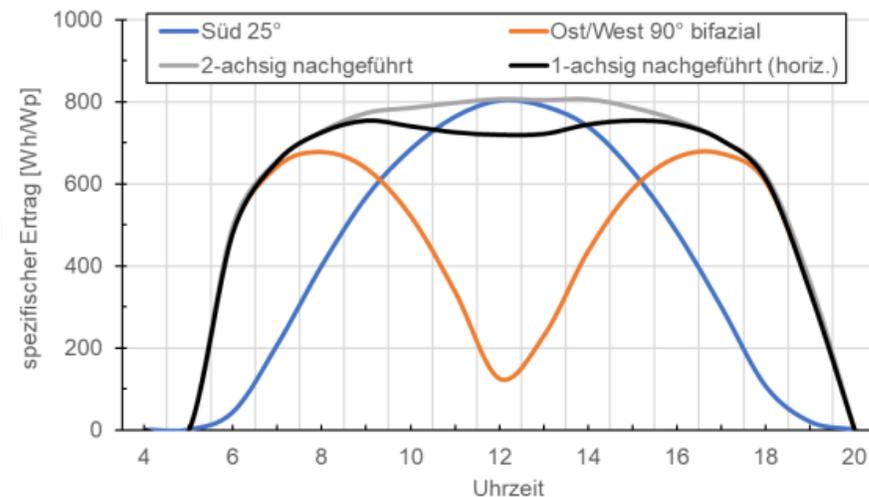
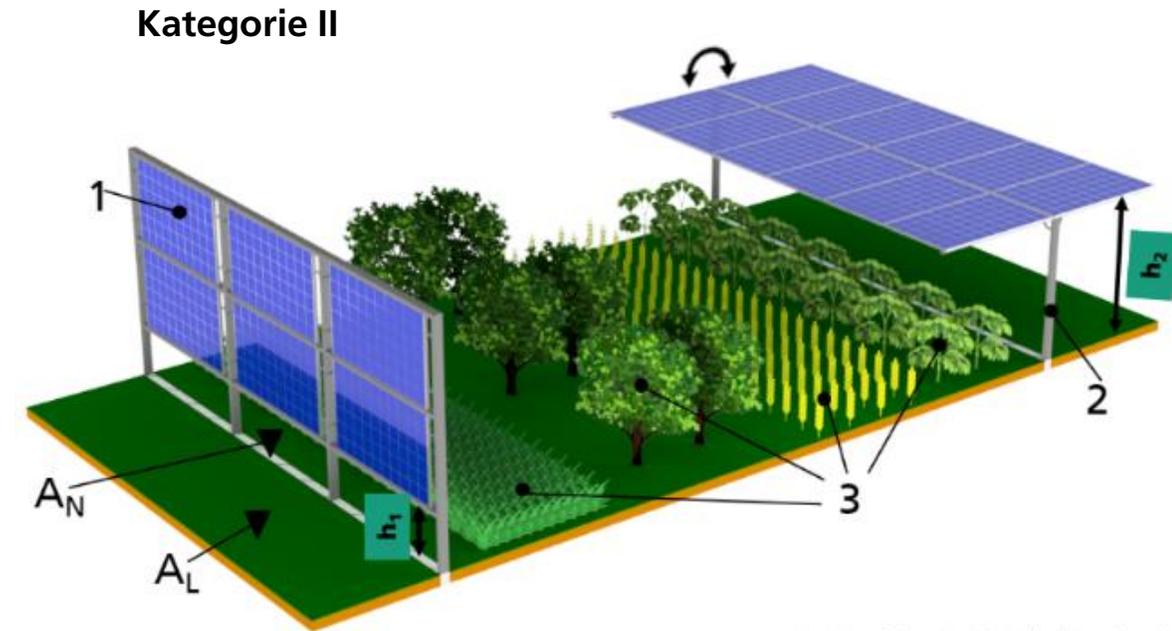
—

VAckerPower

Vertikale Agri-PV im Ackerbau

Bodennahe Agri-PV-Systeme

- Senkrecht montierte, bifaziale Module mit Ost-West-Ausrichtung oder 1-achsig nachgeführt
- Höhere Stromerzeugung bei direkter Sonneneinstrahlung am Vormittag und Nachmittag.
- Optimale Ergänzung zum überwiegend nach Süden ausgerichteten Bestand an PV-Kraftwerken.
- Erste Analysen deuten auf geringere Betroffenheit von negativen Spotmarktpreisen hin
- Geringe Einschränkung der landwirtschaftlichen Nutzung der Flächen durch senkrechte und bewegliche Module



VackerPower

Vertikale Agri-PV im Ackerbau



Projekt

- Laufzeit: 11.2022 – 10.2025
- Budget: ca. 1 Mio
- Partner:



Versuchsaufbau

- 4 Anlagen
 - Pilotanlage Testfeld Fraunhofer ISE
 - Praxisstandort Wellingen-Merzig
 - Praxisstandort Donaueschingen-Asen
 - Forschungsanlage Universität Hohenheim

Forschungsschwerpunkte

- Technische Analyse: Performanceprüfung vertikaler Agri-PV-Systeme in der Praxis
- Vergleichende Modulanalysen im Feld und im Labor
- Nachhaltigkeitsbewertung, Sozialverträglichkeitsanalyse und Potenzialanalyse

VackerPower

Forschungsschwerpunkte – APV-Lab

Modulares Testlabor Merdingen

- Forschungsschwerpunkte:
 - Modularer Aufbau erlaubt Untersuchung verschiedener Konfigurationen
 - Mikroklimaerfassung
 - PV-Ertragsanalysen auf Modulebene
 - Analyse landwirtschaftlicher Ertragsentwicklung im Gefäßversuch
 - Analyse alternativer Module
- Kulturen: Ackerbohne, Soja, Winterweizen, Wintergerste



VackerPower

Forschungsschwerpunkte – Praxisanlagen



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Praxisanlage Donaueschingen-Aasen

- 14 ha (1 ha Forschung); 4,1 MW_p
- Forschungsschwerpunkte:
 - Untersuchung technischer Zuverlässigkeit, u.a. Analyse des Einflusses von Spritz- und Düngemitteln
 - Analyse des PV-Ertrags
 - Landwirtschaftlichen Ertragsentwicklung und Mikroklimaerfassung im Rahmen von VackerBio
 - Analyse des Einflusses von Wachstumsverkürzern auf Landwirtschaft und PV
- Kulturen: Wintergerste (2024), Triticale (2025)

Praxisanlage Wellingen-Merzing

- 13 ha (1,7 ha Forschung); 5,2 MW_p
- Forschungsschwerpunkte:
 - Untersuchung technischer Zuverlässigkeit, u.a. Analyse des Einflusses von Spritz- und Düngemitteln
 - Analyse des PV-Ertrags
 - Landwirtschaftlichen Ertragsentwicklung und Mikroklimaerfassung im Rahmen von VackerBio
 - Untermodulnutzungsstreifen: Blühstreifen vs. Weidelgras
- Kulturen: Hafer, Winterweizen, Winterroggen, Erbse



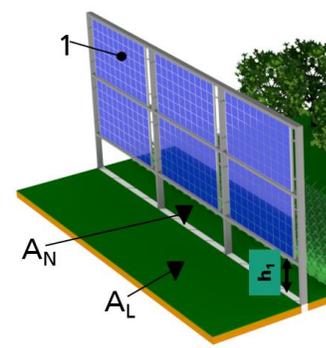
Foto: Uni Hohenheim



Foto: Next2Sun

Vertikale Agri-PV im Ackerbau

PV-Perspektive

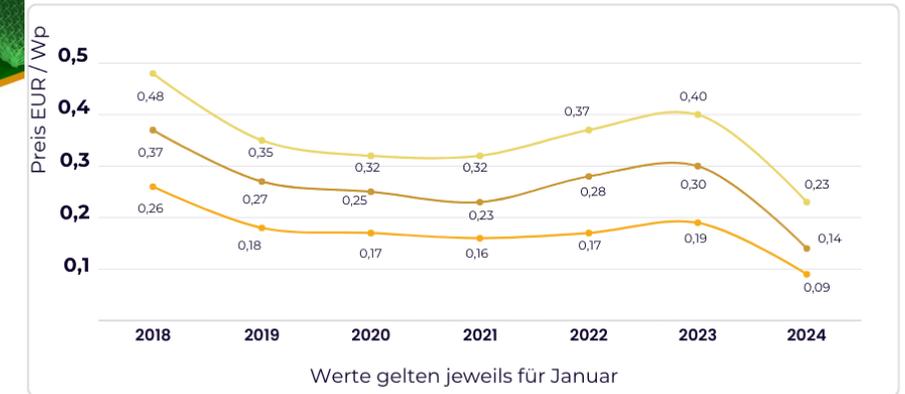


- Steigendes Interesse an dualer Landnutzung statt konventioneller Freiflächen-PV
- Modulentwicklung: zunehmende Bifazialitäten und abnehmende Modulpreise insb. im High Efficiency Bereich
- Aber: geringere installierbare Leistung je Hektar
 - Vertikal: 300-500 kWp/ha
 - FF-PV: 1000-1400 kWp/ha

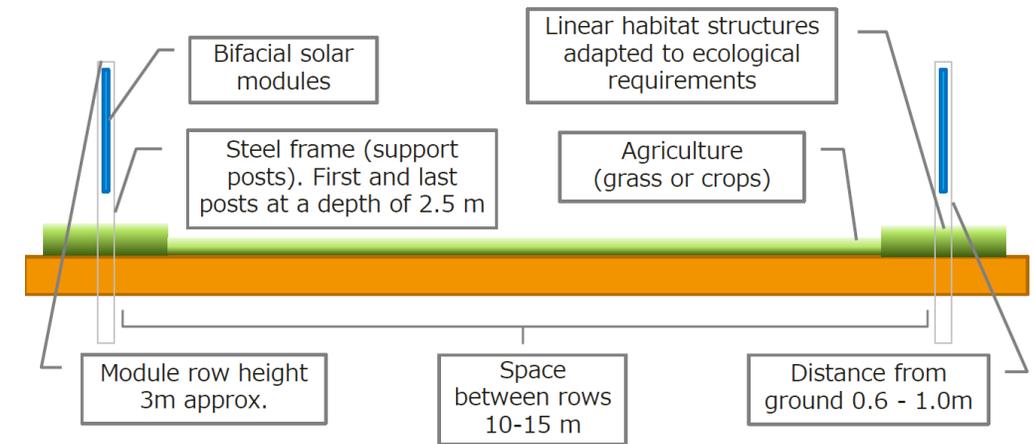
Fallbeispiel Wellingen:

- **Agri-PV:** spez. PV-Ertrag: 1 170 kWh/kWp, 300 kWp/ha, 350 MWh/ha
- **PV-FFA:** spez. PV-Ertrag: 1 100 kWh/kWp, 1200 kWp/ha, 1320 MWh/ha

Solarmodul: Preisentwicklung im Rückblick



● High Efficiency ● Mainstream ● Low Cost

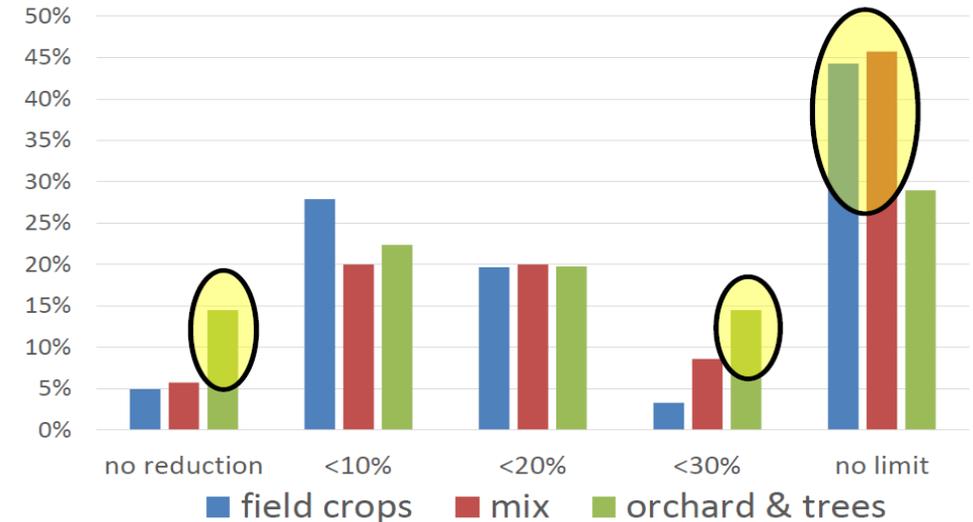


Vertikale Agri-PV im Ackerbau

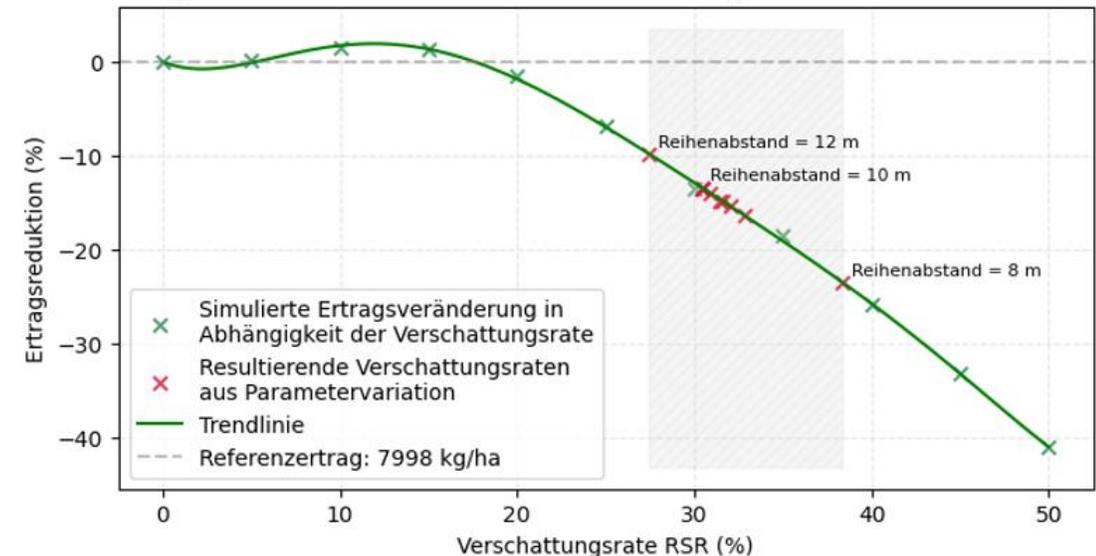
Landwirtschaftliche Sicht

- Ackerbau hat größtes Flächenpotenzial: **70 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen in DE** (ca. 11.700 ha)
- Akzeptanzvorteil im Ackerbau
 - Geringe Einschränkung bei der Bewirtschaftung
 - Höhere Bereitschaft Ertragseinbußen zu tolerieren, z.B. 30% RSR bei 10 m = 15 % Ertragsreduktion
- Reihenabstände je nach Landnutzung 8 m (eher im Grünland) bis 12 m, inzwischen erste Systeme mit 13,5 m
- **Optimierung der Reihenbreite auf Basis der Bedürfnisse der Anbaukultur möglich**

Maximum agriculture productivity reduction you will accept in APV as long it is more profitable?



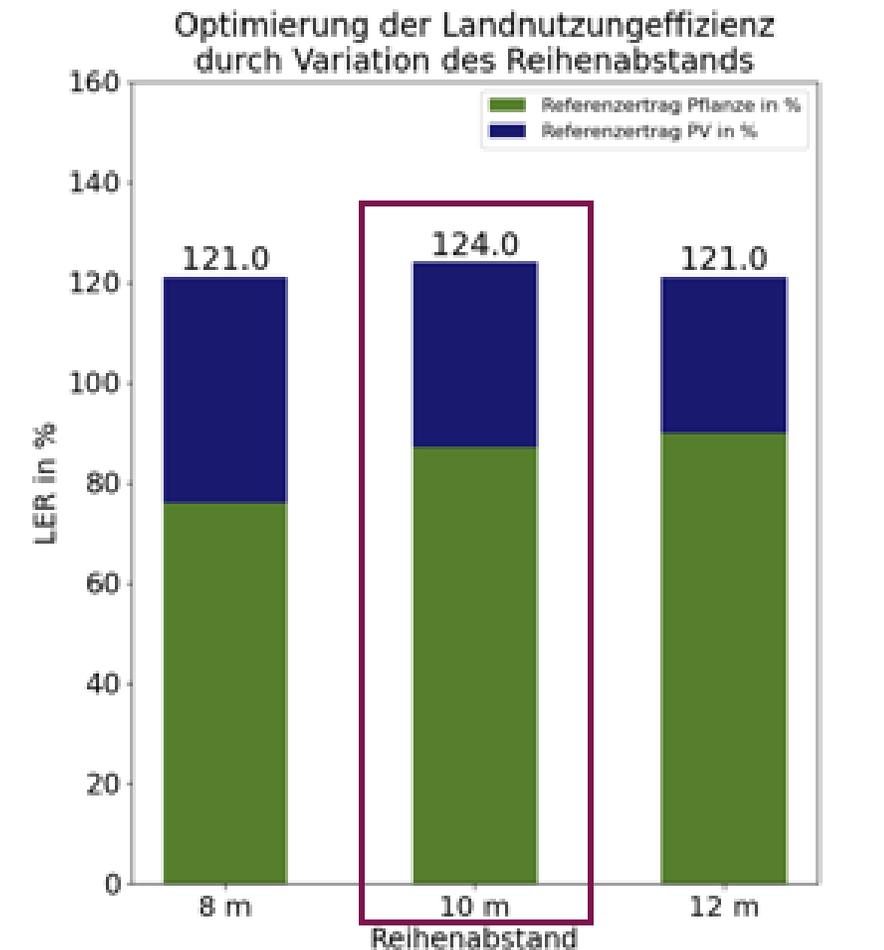
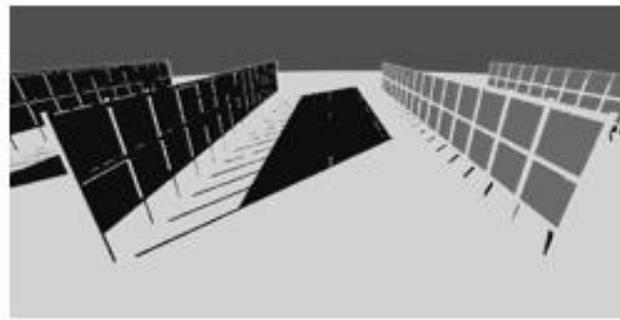
Ertragsreduktion von Luzerne unter Beschattung am untersuchten Standort



Vertikale Agri-PV im Ackerbau

Optimierung der Landnutzungseffizienz

- Je nach Einzelfall Optimierung der Landnutzungseffizienz
- Verschattungsanalyse des Systems und Untersuchung der Schattentoleranz vorgesehener Kulturen
- In diesem Fall beste Landnutzungseffizienz bei 10 m Reihenabstand, Lichte Modulhöhe von 1,1 m, O-W-Ausrichtung
- Berücksichtigung von Auswirkung auf Abreife der Kultur, etc.



$$LER = \frac{yield_{c,dual}}{yield_{c,mono}} * \frac{area_{agri,dual}}{area_{agri,mono}} + \frac{yield_{e,dual}}{yield_{e,mono}}$$

¹⁸ Links: Uni Hohenheim, Rechts: Eigene Darstellung mithilfe Raytracing-Algorithmus

Eigene Darstellung der Modellierungsergebnisse



03



Kosten und Markthochlauf

Bodennahe Agri-PV-Systeme

Stromgestehungskosten im Vergleich

Agri-PV-Anlagen sind...

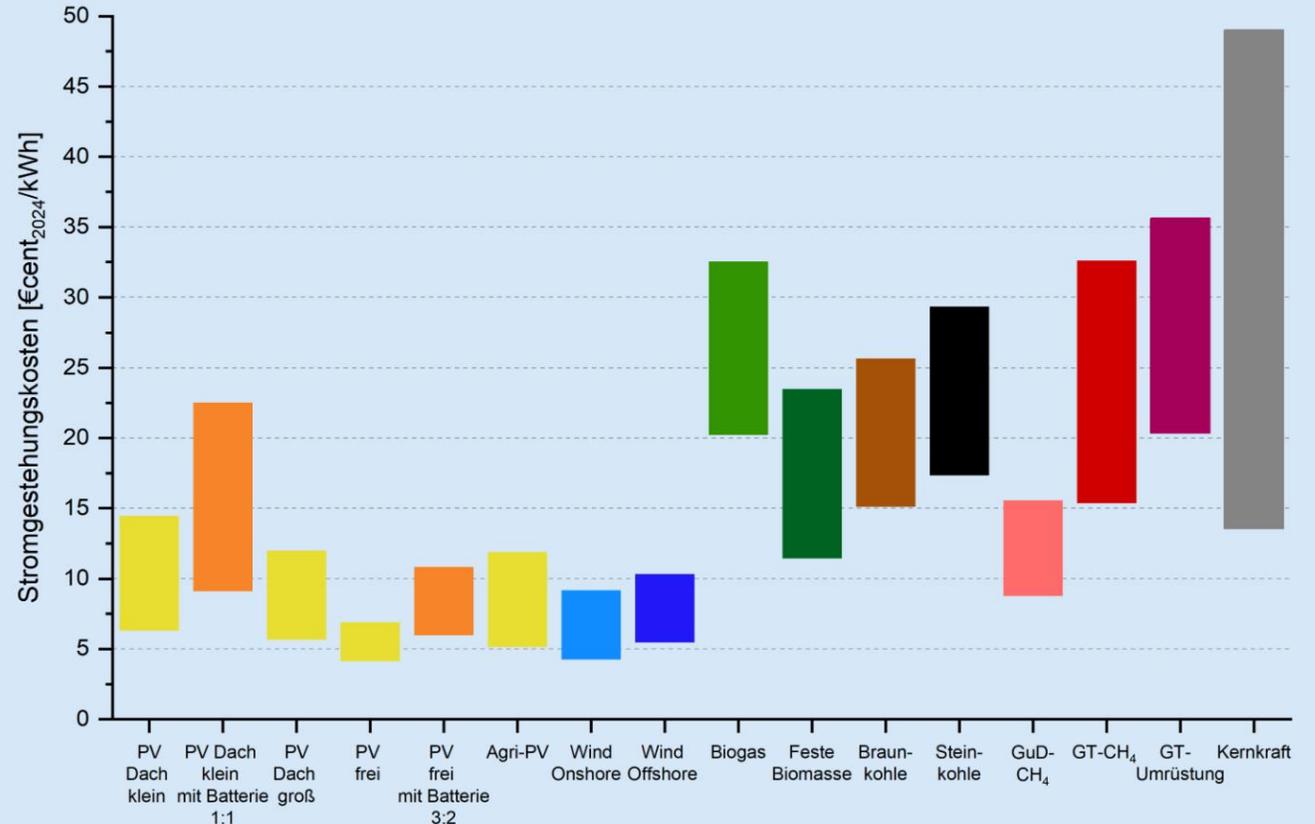
...grundsätzlich konkurrenzfähig mit Aufdachanlagen

...unter bestimmten Umständen konkurrenzfähig zu PV-FFA

...deutlich günstiger als fossile Alternativen

Stand: Juli 2024

Fraunhofer ISE



Markthochlauf

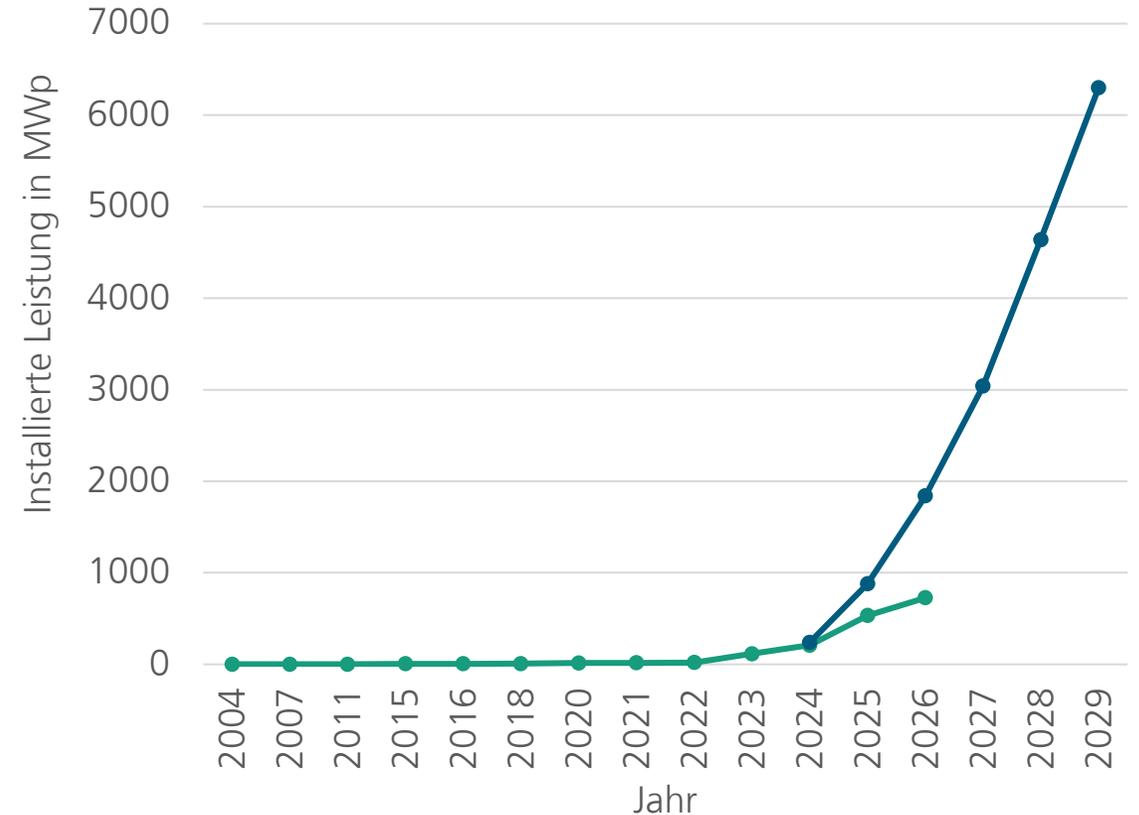
Möglicher Ausbau auf Basis des EEG-Ausbaupfades

Entwicklung der Agri-PV-Anlagen in Deutschland

- Erste größere Anlagen gehen 2022/2023 ans Netz
- 2023: ca. 115 MWp installiert
- 2024/25: ca. 400 MWp Zubau in Planung

Prognose für die weitere Entwicklung der Agri-PV-Anlagen in Deutschland basierend auf aktuellem EEG Ausbaupfad

Installierte Leistung Agri-PV: Aktueller Stand und Prognose



- Summe der Installierten Leistung - aktueller Stand und Prognose
- Geschätzter Ausbaupfad des EEG für Agri-PV-Anlagen

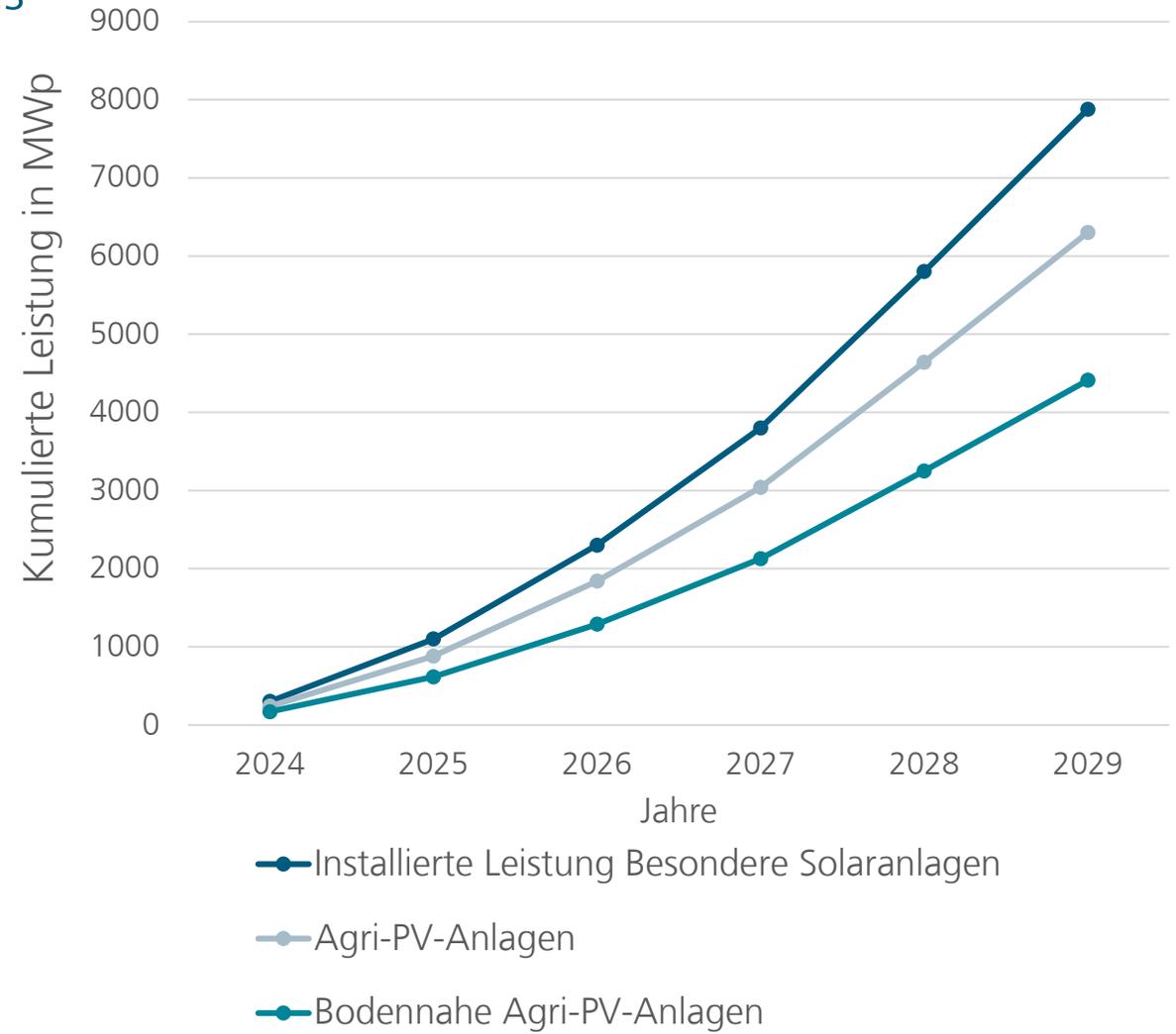
Markthochlauf

Möglicher Ausbau auf Basis des EEG-Ausbaupfades

Annahmen:

- 80% der Anlagen aus dem Sondersegment für besondere Solaranlagen wird von Agri-PV-Anlagen beansprucht
- 70% der Agri-PV-Anlagen werden bodennah (vertikal, nachgeführt oder statisch) ausgeführt
- Im Jahr 2029 ca. 4,4 GWp bodennahe Agri-PV-Anlagen

Prognostizierter Ausbau Agri-PV-Anlagen in Deutschland



Forschen für die Energiewende – PV-Kraftwerke und Integrierte PV



Bis 2030: 80% der Energieversorgung Deutschlands aus Erneuerbaren Energien

Bis 2040 kann Deutschland 100% klimaneutral sein

Nach dem Pareto-Prinzip werden die ersten 80% mit deutlich weniger Aufwand erreicht als die letzten 20%



Wichtiger Baustein: Entwicklung von akzeptanzsteigernden, effizienten und kostengünstigen Kraftwerkskonzepten der Zukunft

→ Unabhängige Methoden, Standards und Studien entwickeln

→ Innovationen mit der deutschen Industrie entwickeln

[www: Solarkraftwerke und Integrierte Photovoltaik - Fraunhofer ISE](http://www.fraunhofer-ise.de)

Geschäftsfeld Solarkraftwerke und Integrierte Photovoltaik

Anna.Heimsath@ise.fraunhofer.de
Lisa-Marie.Bieber@ise.fraunhofer.de

Internet Links:
[Solarkraftwerke und Integrierte Photovoltaik -
Fraunhofer ISE](#)

