

# 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

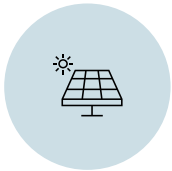
—

**Einführung in die Agri-PV**

# Einführung in die Agri-PV

Was ist Agri-PV?

## Doppelnutzungssystem



Photovoltaik (PV) – Stromerzeugung

+

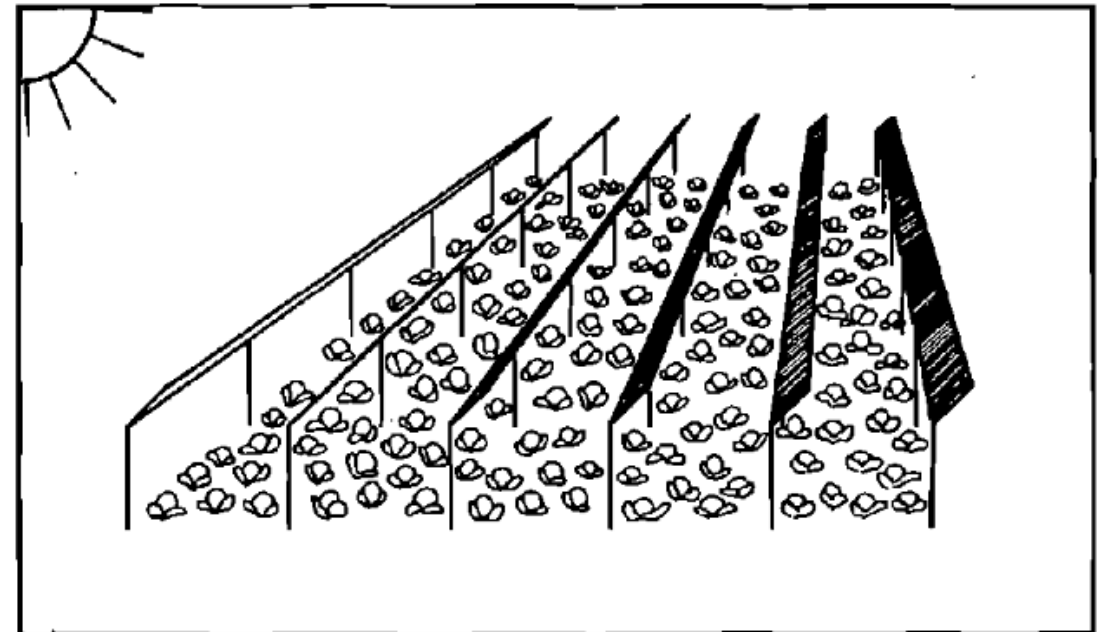


Photosynthese – landwirtschaftliche  
Nahrungsmittelproduktion

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

Neuer Vorschlag der Fraunhofer-Gesellschaft

# Kartoffeln unter dem Kollektor

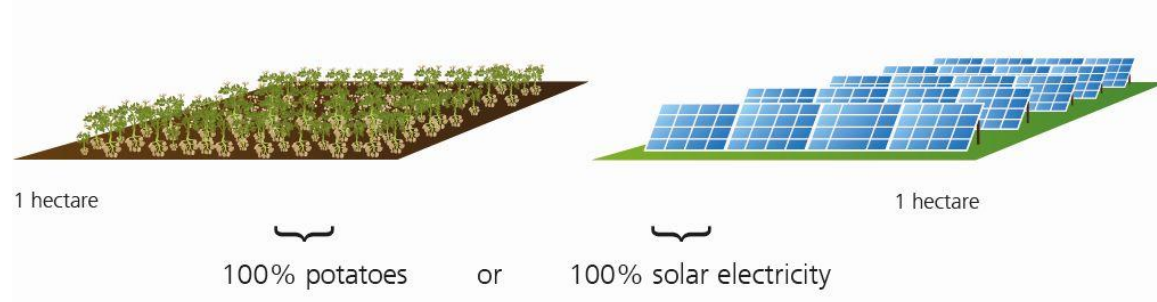


Bildnachweis: Darstellung aus Goetzberger und Zastrow 1982

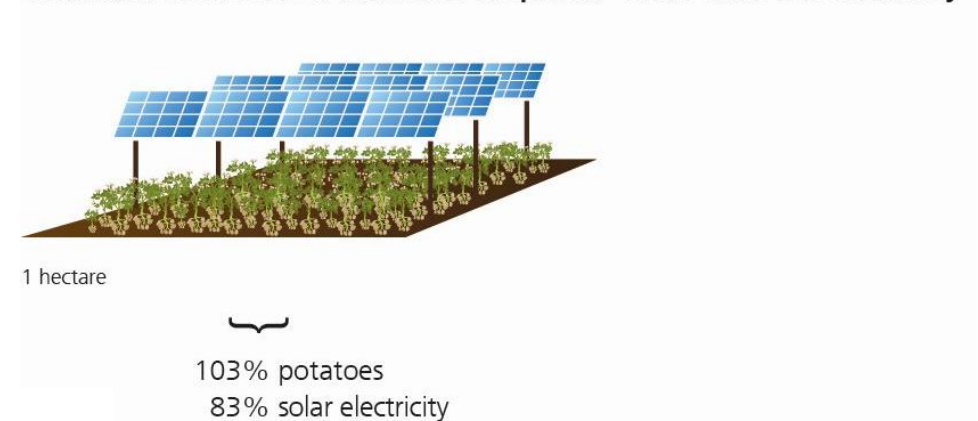
# Einführung in die Agri-PV

## 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



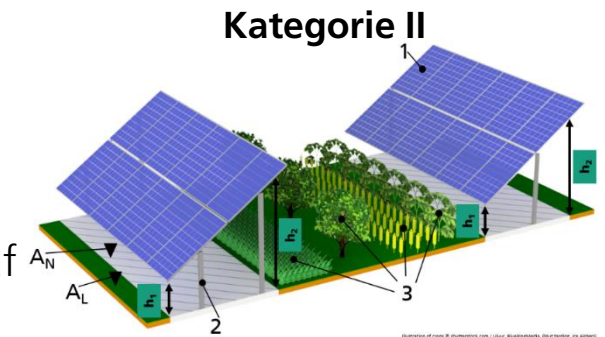
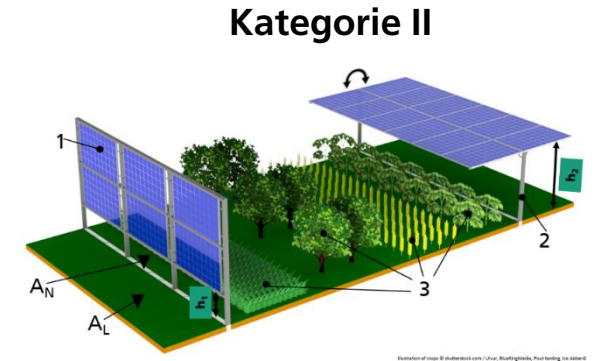
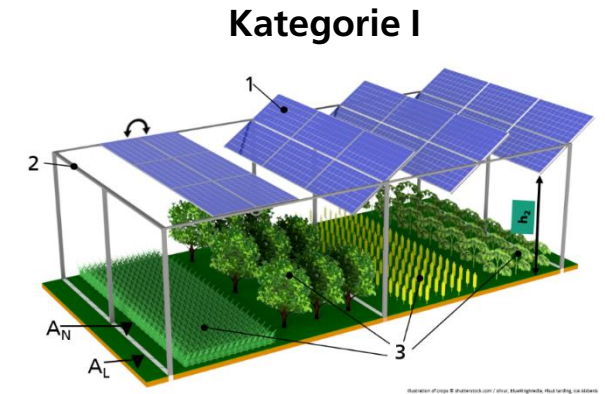
$$LER = \frac{yield_{c,dual}}{yield_{c,mono}} * \frac{area_{agri,dual}}{area_{agri,mono}} + \frac{yield_{e,dual}}{yield_{e,mono}}$$

- 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

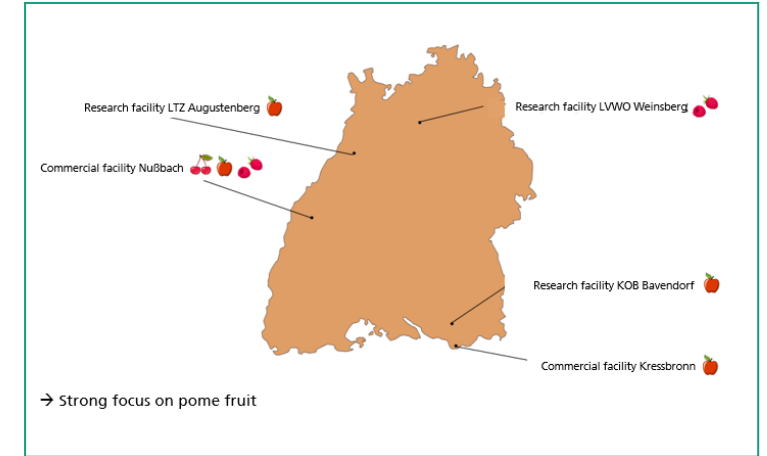
Min. 66 % Referenzertrag

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<sub>p</sub> Installierte Leistung verteilt auf
  - 5 Anlagen
  - von 132 kW<sub>p</sub> bis 700kW<sub>p</sub>
- 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

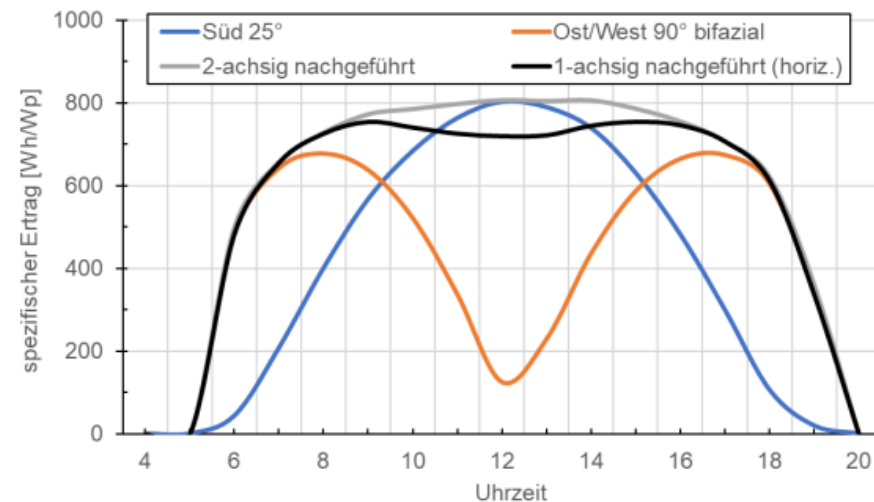
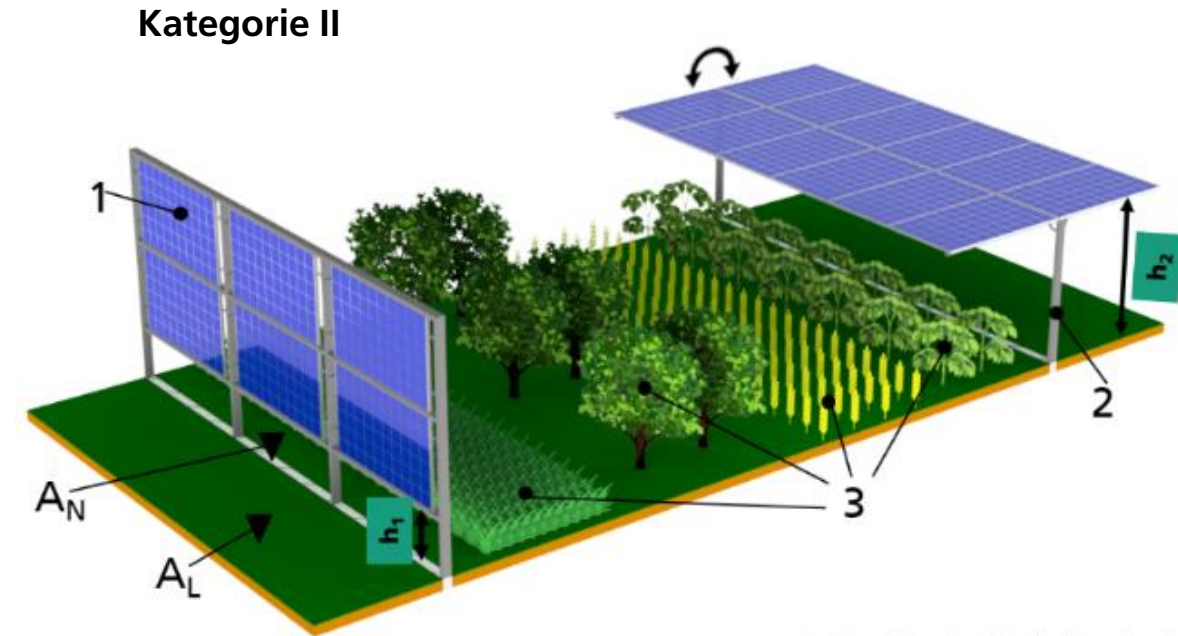
—

**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<sub>p</sub>
- 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<sub>p</sub>
- 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



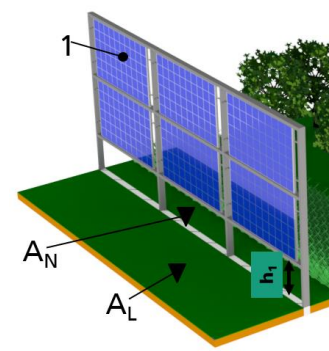
Foto: Uni Hohenheim



Foto: Next2Sun

# Vertikale Agri-PV im Ackerbau

## PV-Perspektive

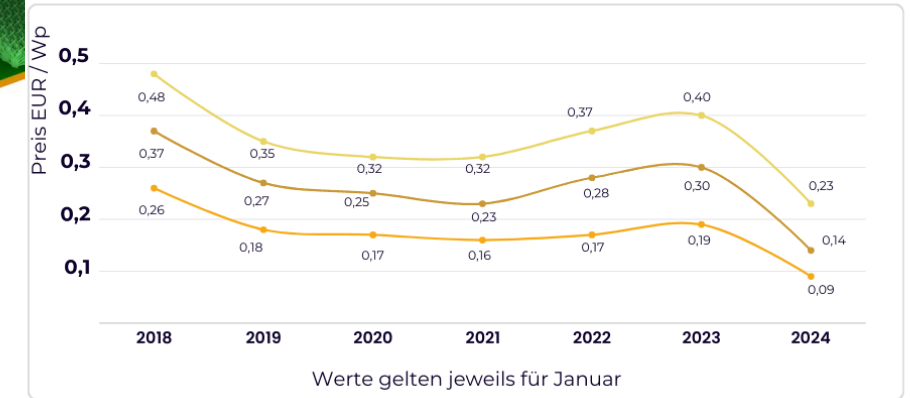


- Steigendes Interesse an dualer Landnutzung statt konventioneller Freiflächen-PV
- Modulentwicklung: zunehmende Bifazialitäten und abnehmende Modulpreise insb. im High Efficiency Bereich
- Aber: geringere installierbare Leistung je Hektar
  - Vertikal: 300-500 kWp/ha
  - FF-PV: 1000-1400 kWp/ha

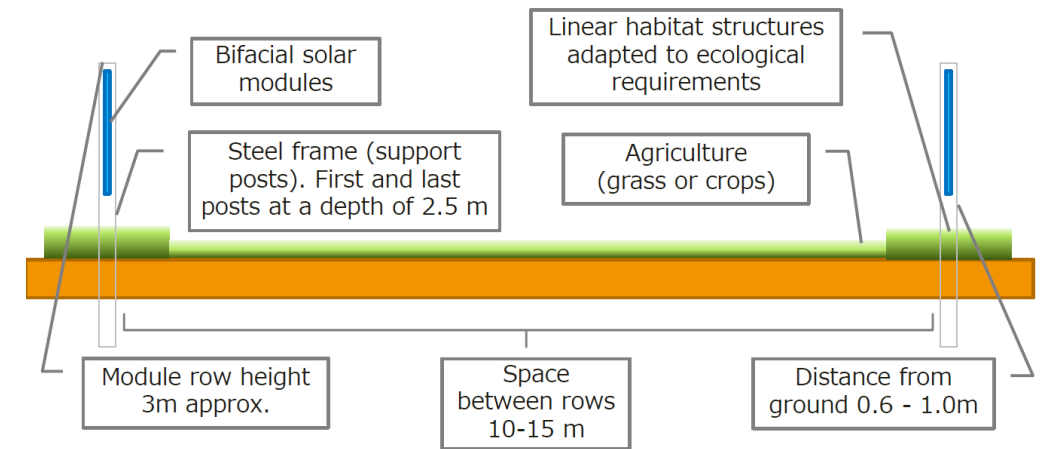
### Fallbeispiel Wellingen:

- **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

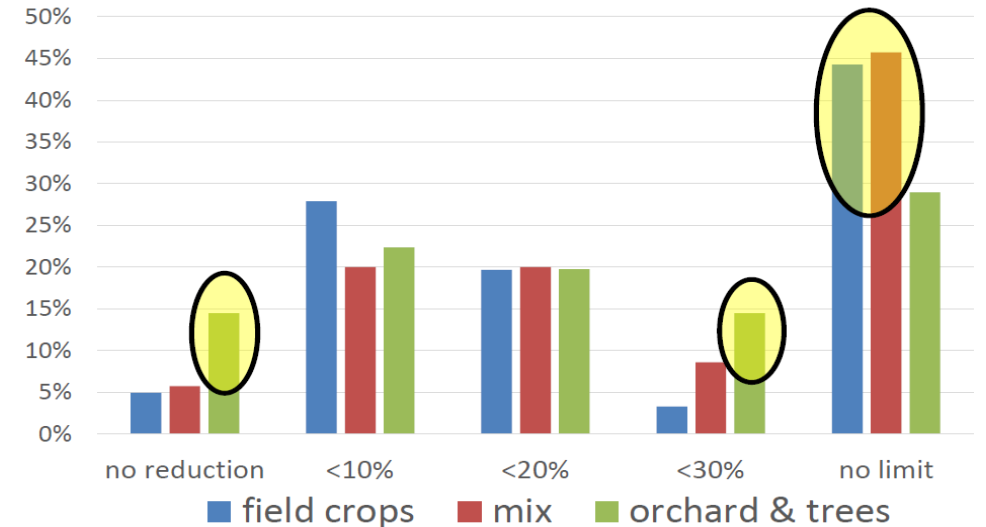


# Vertikale Agri-PV im Ackerbau

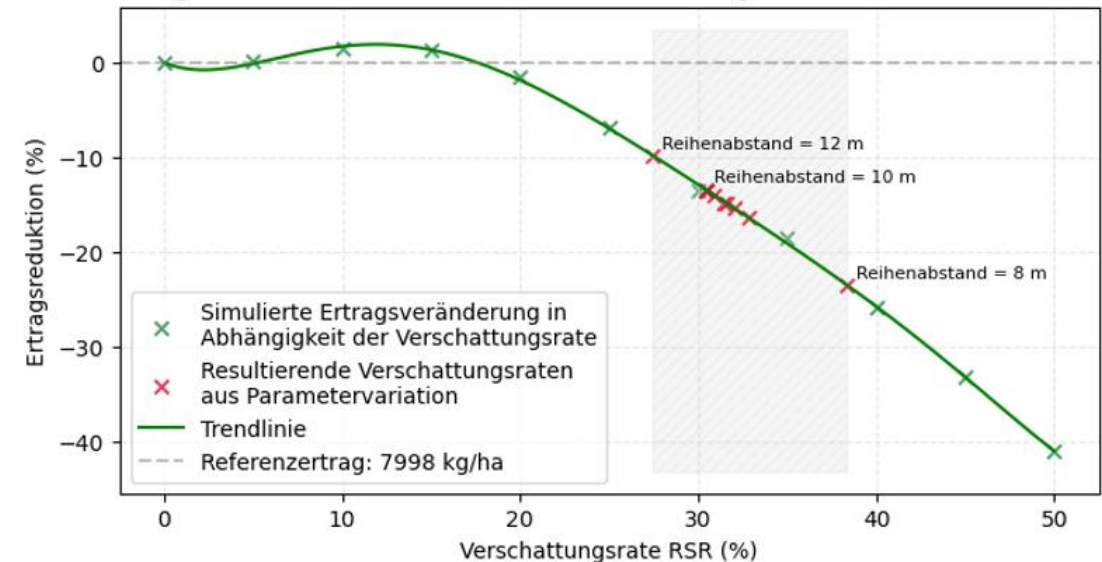
## Landwirtschaftliche Sicht

- 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

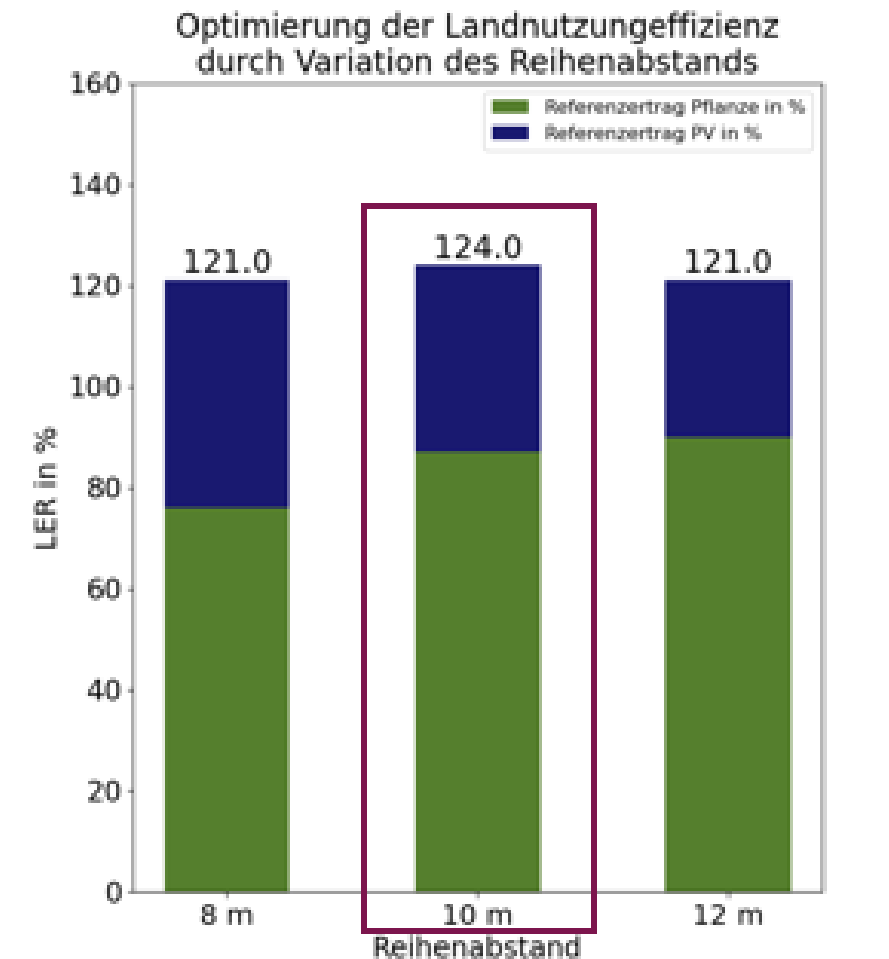
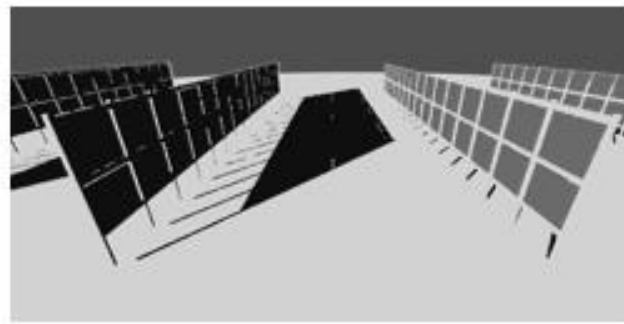




# Vertikale Agri-PV im Ackerbau

## 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.



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

<sup>18</sup> Links: Uni Hohenheim, Rechts: Eigene Darstellung mithilfe Raytracing-Algorithmus

Eigene Darstellung der Modellierungsergebnisse



03



## Kosten und Markthochlauf

# Bodennahe Agri-PV-Systeme

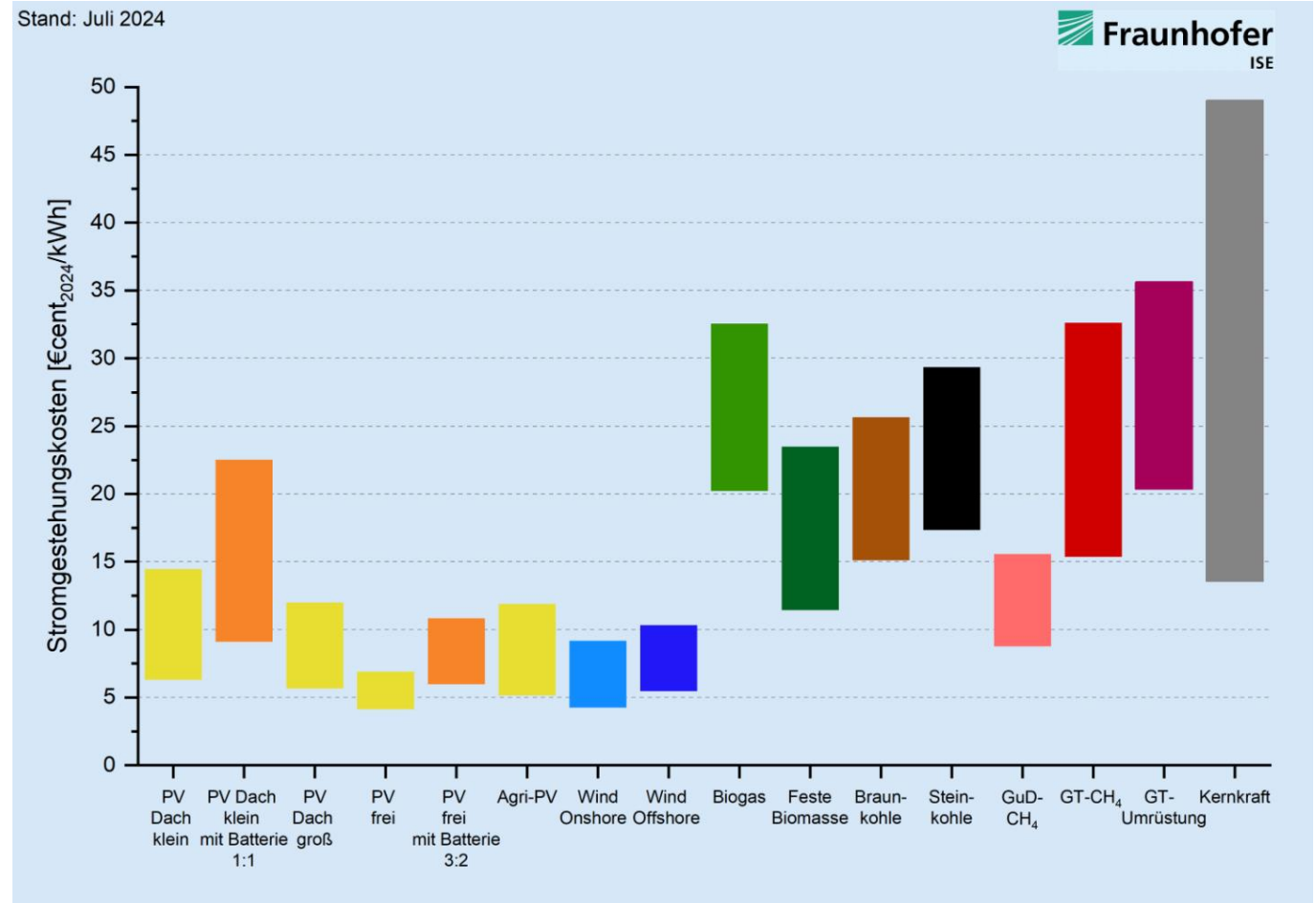
## Stromgestehungskosten im Vergleich

### Agri-PV-Anlagen sind...

...grundsätzlich konkurrenzfähig mit Aufdachanlagen

...unter bestimmten Umständen konkurrenzfähig zu PV-FFA

...deutlich günstiger als fossile Alternativen



# Markthochlauf

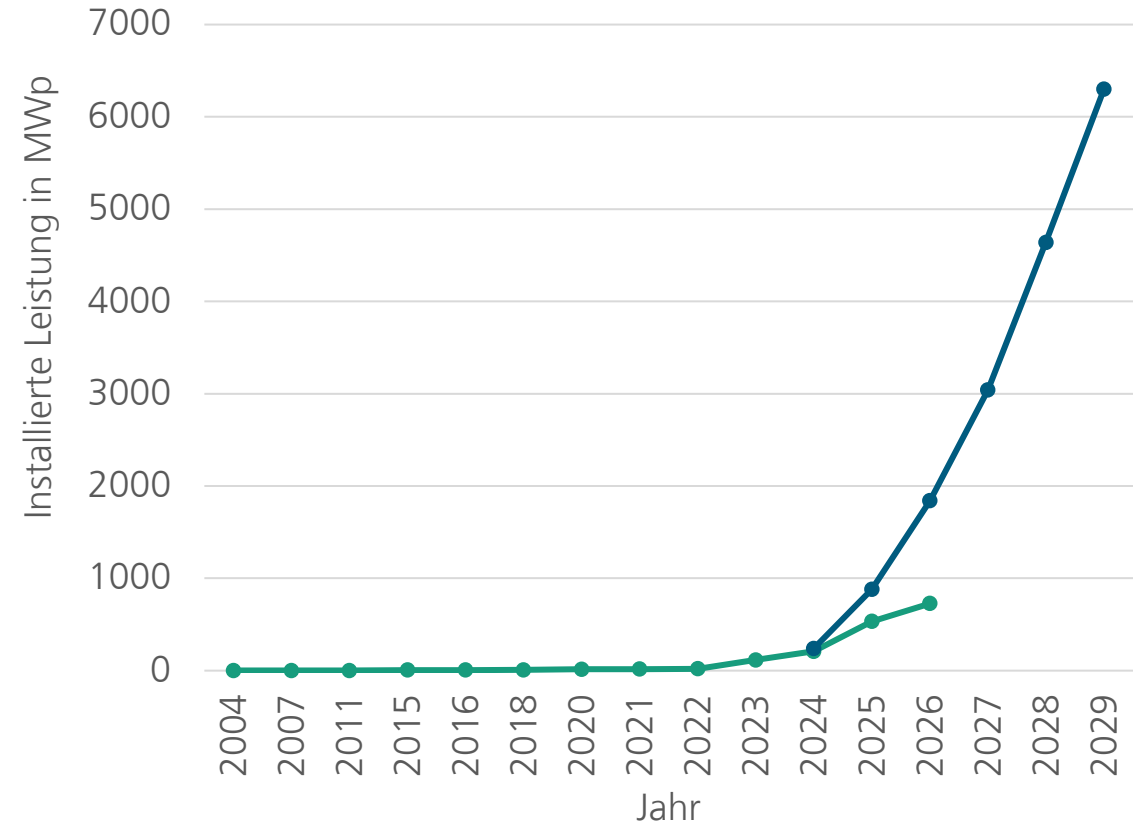
Möglicher Ausbau auf Basis des EEG-Ausbaupfades

## 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

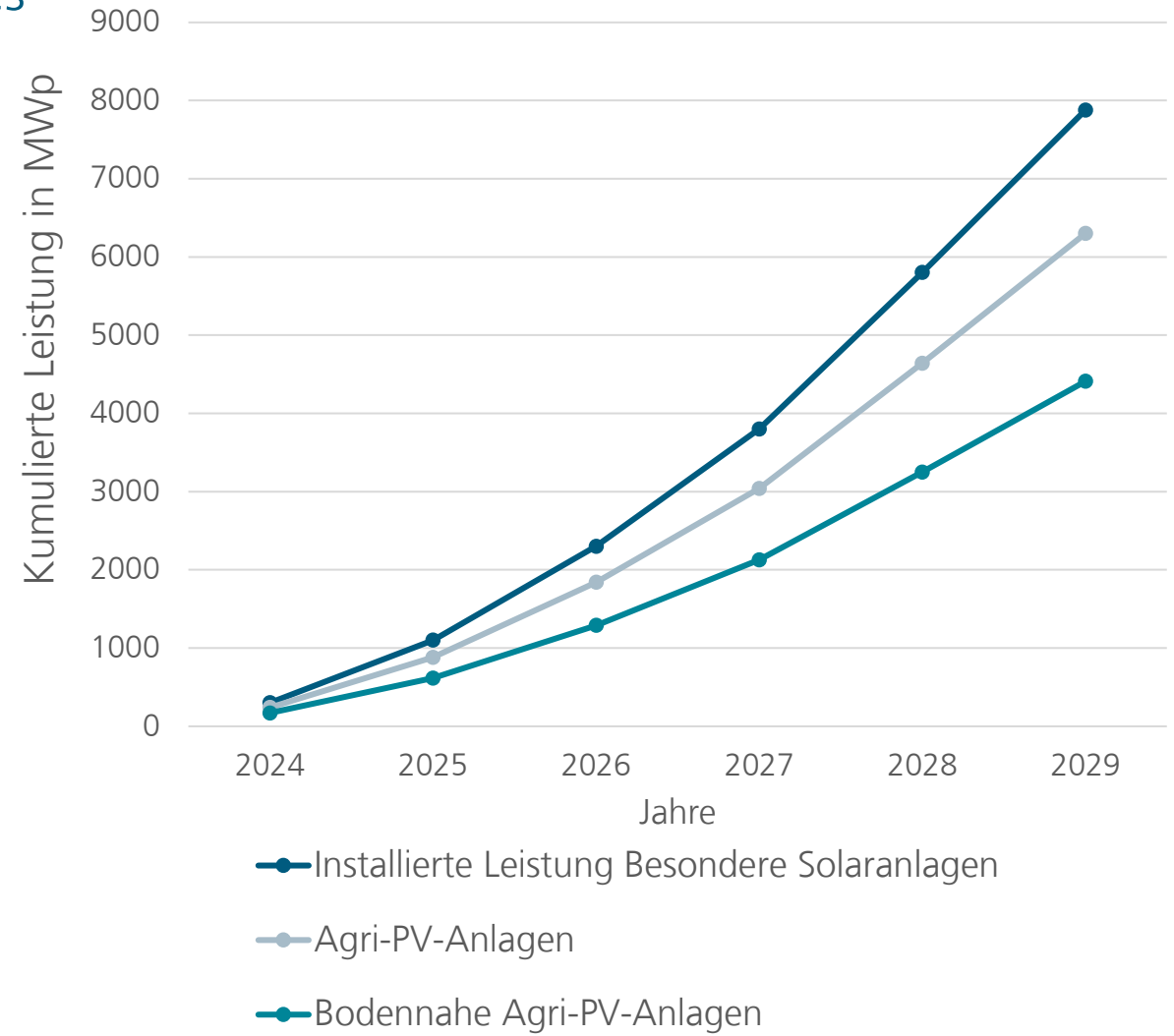
# Markthochlauf

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](mailto:Anna.Heimsath@ise.fraunhofer.de)  
[Lisa-Marie.Bieber@ise.fraunhofer.de](mailto:Lisa-Marie.Bieber@ise.fraunhofer.de)

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

