

Einführung in die Agri- Photovoltaik

Carl Pump

5. Fachforum Solar – Doppelnutzung von landwirtschaftlichen oder
naturschutzrelevanten Flächen mit Solaranlagen

Energieagentur Schleswig-Holstein

25. April 2024

www.ise.fraunhofer.de

Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Inhaltsverzeichnis

1. Fakten & aktuelle Herausforderungen
2. Agri-Photovoltaik: Konzept
3. Wirtschaftlichkeit & Geschäftsmodelle
4. Potentiale der Agri-PV
5. Entwicklung und Status Quo in Deutschland
6. Agri-PV am Beispiel Heggelbach
7. Vielfältigkeit der Systemdesigns und Anschauungsbeispiele aus der Praxis

1. FAKTEN UND AKTUELLE HERAUSFORDERUNGEN

Welche konkreten politischen Ziele werden adressiert und wo genau liegen momentan die Herausforderungen?

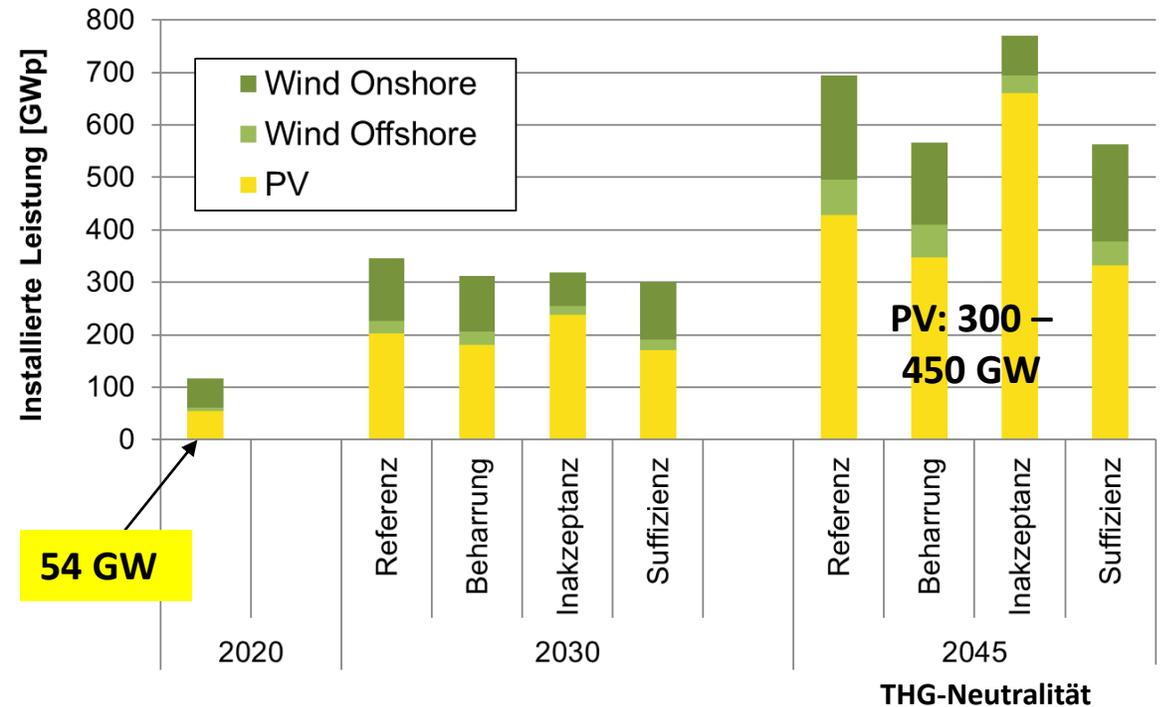
Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Politische Ziele, Fakten und Nachfrage

- Klimaschutzgesetz: THG-Neutralität bis 2045
- THG-Neutralität Stromproduktion ca. 2040
- Strombedarf ca. 1000 TWh/a
- PV-Ausbaubedarf 300 – 450 GW
- PV-Zubaubedarf (Zieljahr 2040) 13 – 21 GW/a

Wohin mit den Modulen (12.000 – 20.000 ha/a)?
Wohin mit dem volatilen PV-Strom?

Flächen- und Sektorenintegration



Kumulativ installierte Leistung von PV- und Windkraft für vier Szenarien. ©
Fraunhofer ISE (November 2021)

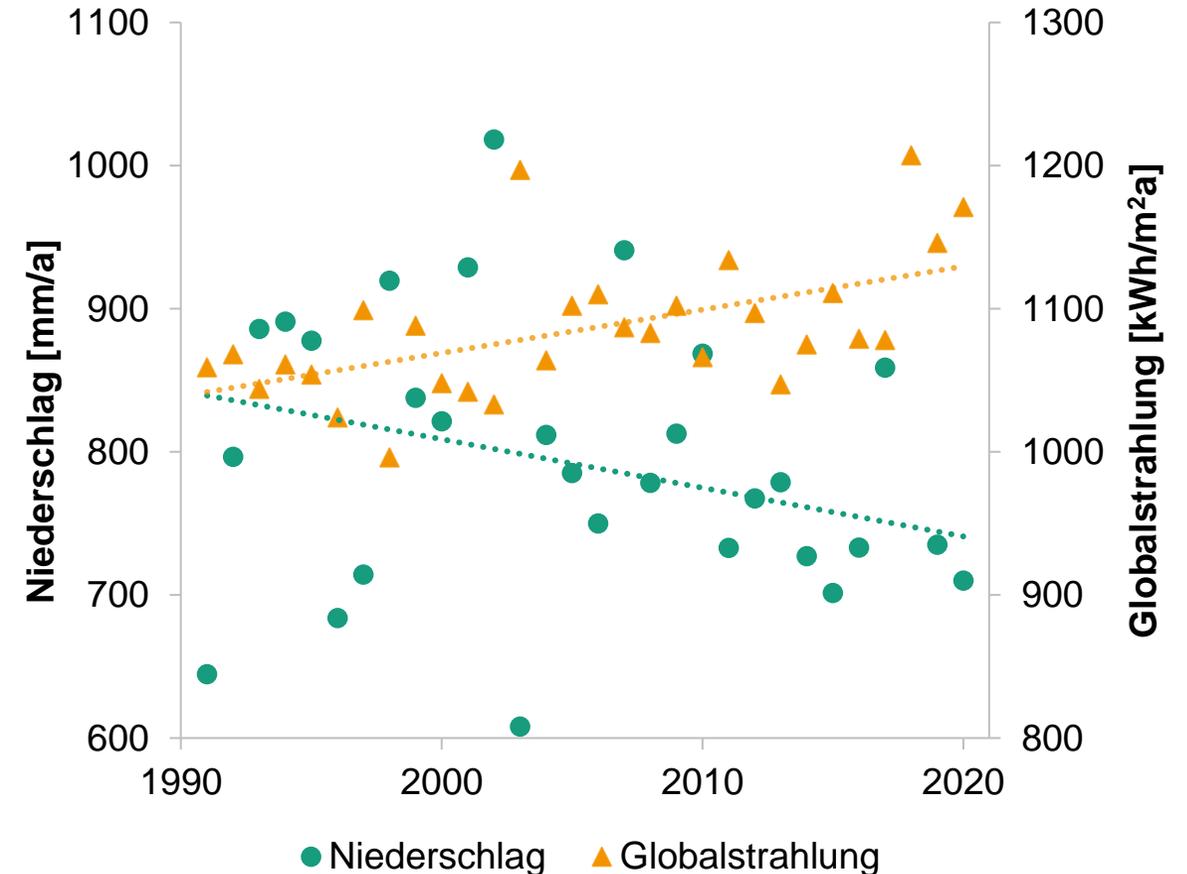
Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Aktuelle Herausforderungen

- Flächennutzungskonflikte
- Klimawandel
 - Steigende Temperaturen, Globalstrahlung und Sonnenstunden
 - Abnehmender Niederschlag (Reduzierter Niederschlag im Frühling)
 - Wetterextreme
 - Häufigere und lange Trockenperioden
 - Heftige Regenereignisse, z. T. Hagel

→ Pflanzen brauchen Schutz vor Regen und Sonne.

→ Agri-PV als Strategie um Ertragsverluste/schwankungen zu reduzieren



Entwicklung der Niederschläge und der Globalstrahlung in Deutschland seit 1991.
Daten: Deutscher Wetterdienst, Darstellung Fraunhofer ISE

2. AGRI-PV IM KONTEXT INTEGRIERTER PHOTOVOLTAIK-MODELLE

Wie ordnet sich Agri-PV in den Kontext integrierter Photovoltaik-Modelle ein und wie genau funktioniert das Konzept?

Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

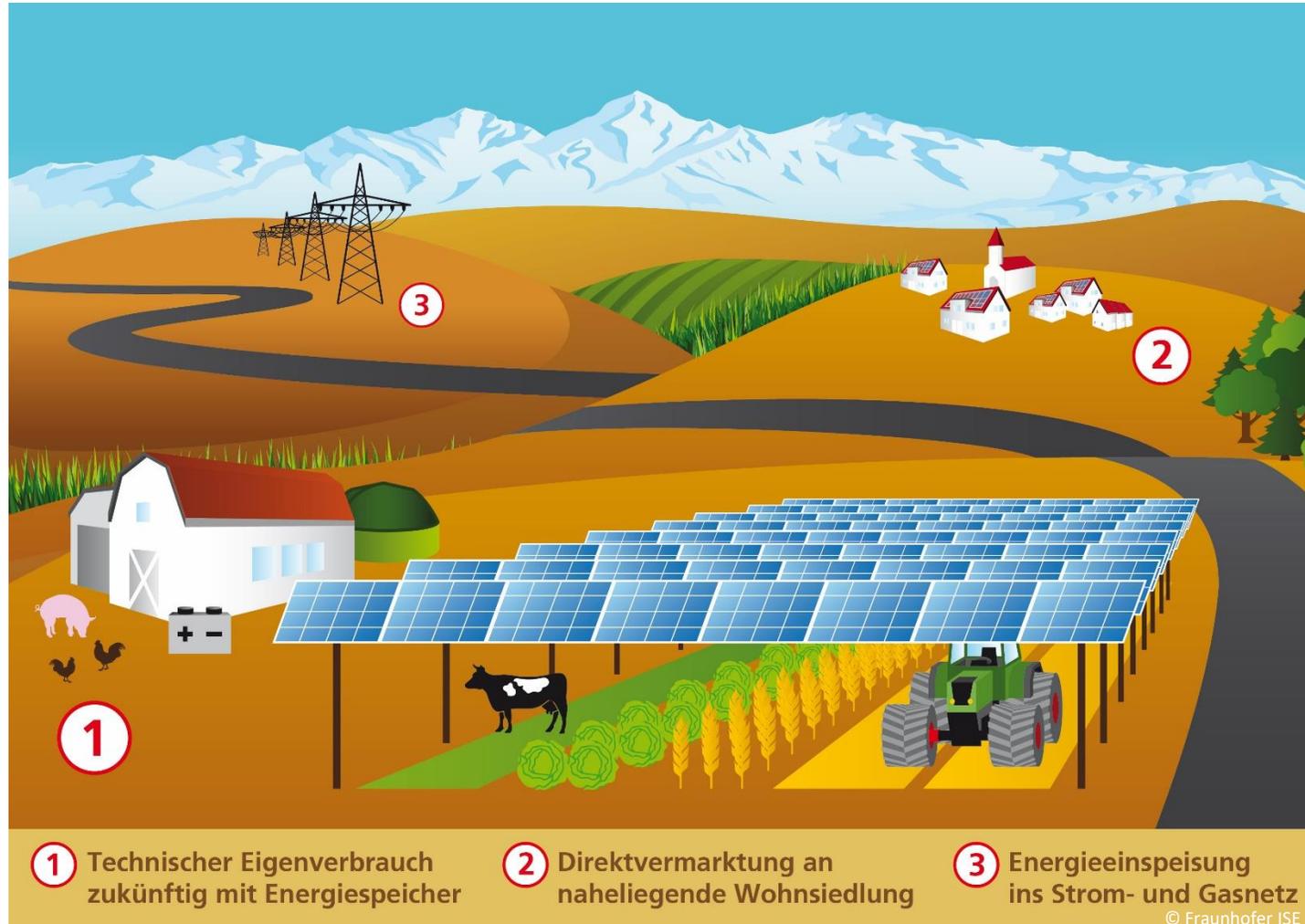
Integrierte PV



Anwendungen für die Integration von Photovoltaik. © Fraunhofer ISE

Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Das Konzept



Definitionen, Klassifizierung und Standards

DIN SPEC 91434

Fraunhofer ISE

„Agri-Photovoltaik bedeutet kombinierte Nutzung einer Fläche für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion (Photosynthese) und die PV-Stromproduktion (Photovoltaik).“

DIN SPEC 91434

“Agrivoltaics is the combined use of the same land area for agricultural production as the primary use and for electricity PV production as the secondary use.”

Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Kategorisierung – Kategorie I

Agri-PV-Systeme	Nutzung	Beispiele
Kategorie I: Aufständigung mit lichter Höhe >2,1m Bewirtschaftung unter der Agri-PV-Anlage	1A: Dauerkulturen und mehrjährige Kulturen	Obstbau, Beerenobstbau, Weinbau, Hopfen
	1B: Einjährige und überjährige Kulturen	Ackerkulturen, Gemüsekulturen, Wechselgrünland, Ackerfutter
	1C: Dauergrünland mit Schnittnutzung	Intensives Wirtschaftsgrünland, extensiv genutztes Grünland
	1D: Dauergrünland mit Weidenutzung	Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)

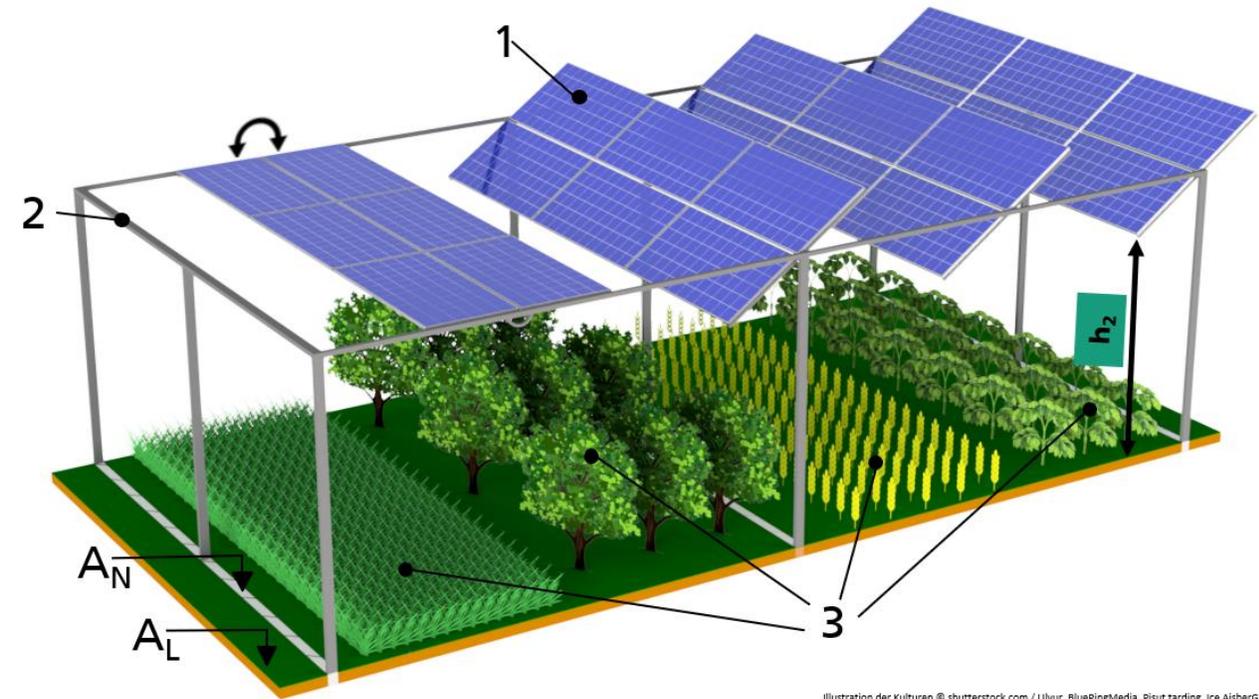


Illustration der Kulturen © shutterstock.com / Ulvur, BlueRingMedia, Pisut tarding, Ice Aisberg

Legende:

- A_L Landwirtschaftlich nutzbare Fläche
- A_N Landwirtschaftlich nicht nutzbare Fläche
- h_1 Lichte Höhe unter 2,10 m
- h_2 Lichte Höhe über 2,10 m
- 1 Beispiele zu Solarmodulen
- 2 Aufständigung
- 3 Beispiele landwirtschaftlicher Kulturen

Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Kategorisierung – Kategorie II

Agri-PV-Systeme	Nutzung	Beispiele
Kategorie II: Bodennahe Aufständigung <2,1m Bewirtschaftung zwischen den Agri-PV-Anlagenreihen	2A: Dauerkulturen und mehrjährige Kulturen	Obstbau, Beerenobstbau, Weinbau, Hopfen
	1B: Einjährige und überjährige Kulturen	Ackerkulturen, Gemüsekulturen, Wechselgrünland, Ackerfutter
	1C: Dauergrünland mit Schnittnutzung	Intensives Wirtschaftsgrünland, extensiv genutztes Grünland
	1D: Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)	Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)

Legende:

- A_L Landwirtschaftlich nutzbare Fläche
- A_N Landwirtschaftlich nicht nutzbare Fläche
- h_1 Lichte Höhe unter 2,10 m
- h_2 Lichte Höhe über 2,10 m
- 1 Beispiele zu Solarmodulen
- 2 Aufständigung
- 3 Beispiele landwirtschaftlicher Kulturen

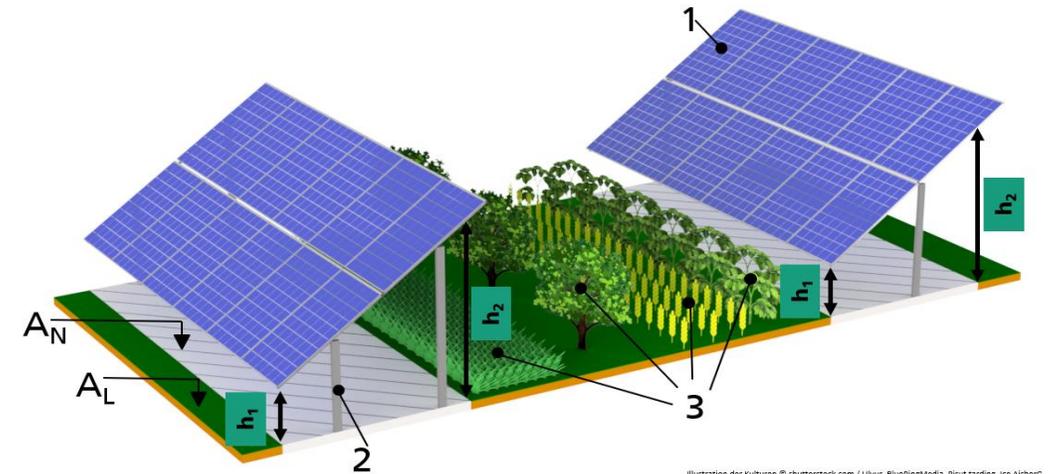


Illustration der Kulturen © shutterstock.com / iStock, BlueRingMedia, Pius tarding, ice Alsborg

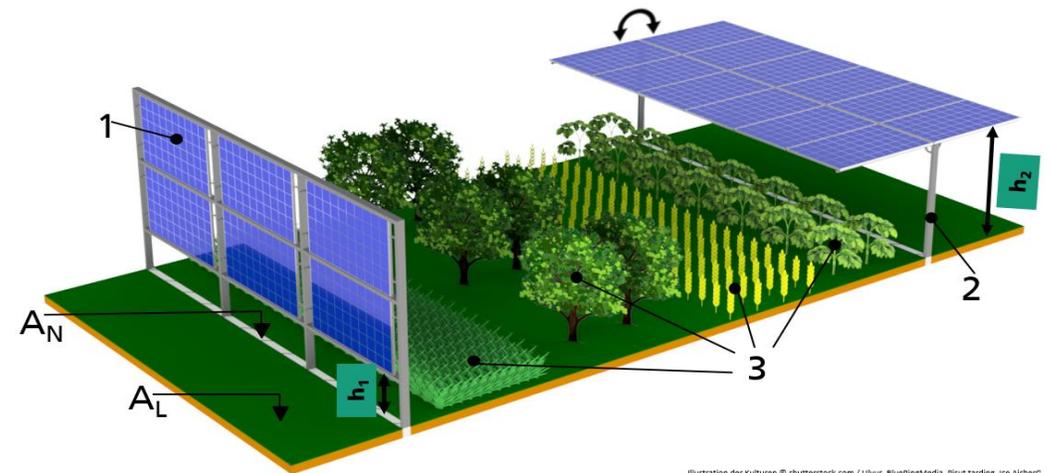


Illustration der Kulturen © shutterstock.com / Ulvur, BlueRingMedia, Pius tarding, ice Alsborg

Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Kernanforderungen und Kriterien

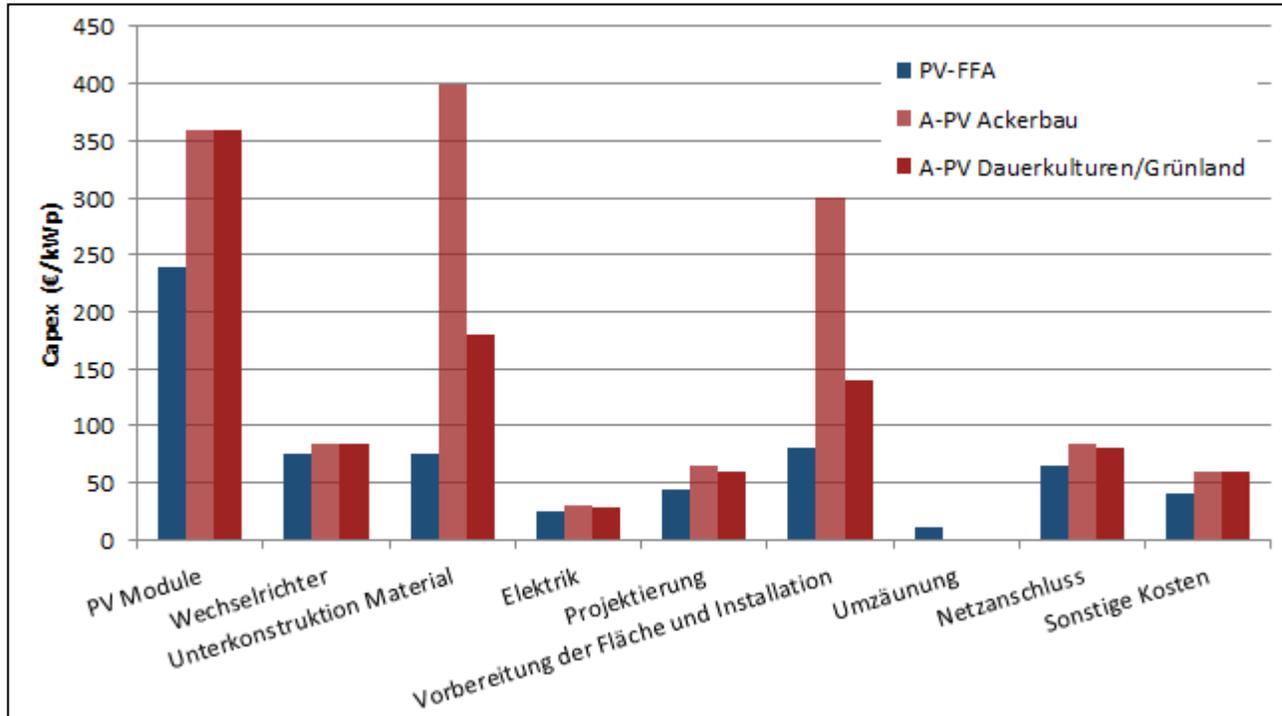
- **Landwirtschaftliche Nutzbarkeit** der Fläche muss gewährleistet sein (landwirtschaftliches Nutzungskonzept).
- **Flächenverlust** durch Installation der Anlage **maximal 10%** (Kat. I) bzw. **15%** (Kat. II)
- Geprüfte **Lichtverfügbarkeit und -homogenität** sowie **Wasserverfügbarkeit**
- Angepasst an **landwirtschaftliche Bedürfnisse**
- **Bodenerosion und -schäden vermeiden** (Aufbau, Verankerung, Wassermanagement)
- **Landwirtschaftlicher Ertrag** bei **mindestens 66%** zum Referenzertrag
- Viele weitere Empfehlungen

3. WIRTSCHAFTLICHKEIT UND GESCHÄFTSMODELLE

Welche Erfahrungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit wurden bislang gesammelt und wie können Geschäftsmodelle aussehen?

Agri-PV – Chance für die Landwirtschaft und die Energiewende

Wirtschaftlichkeit

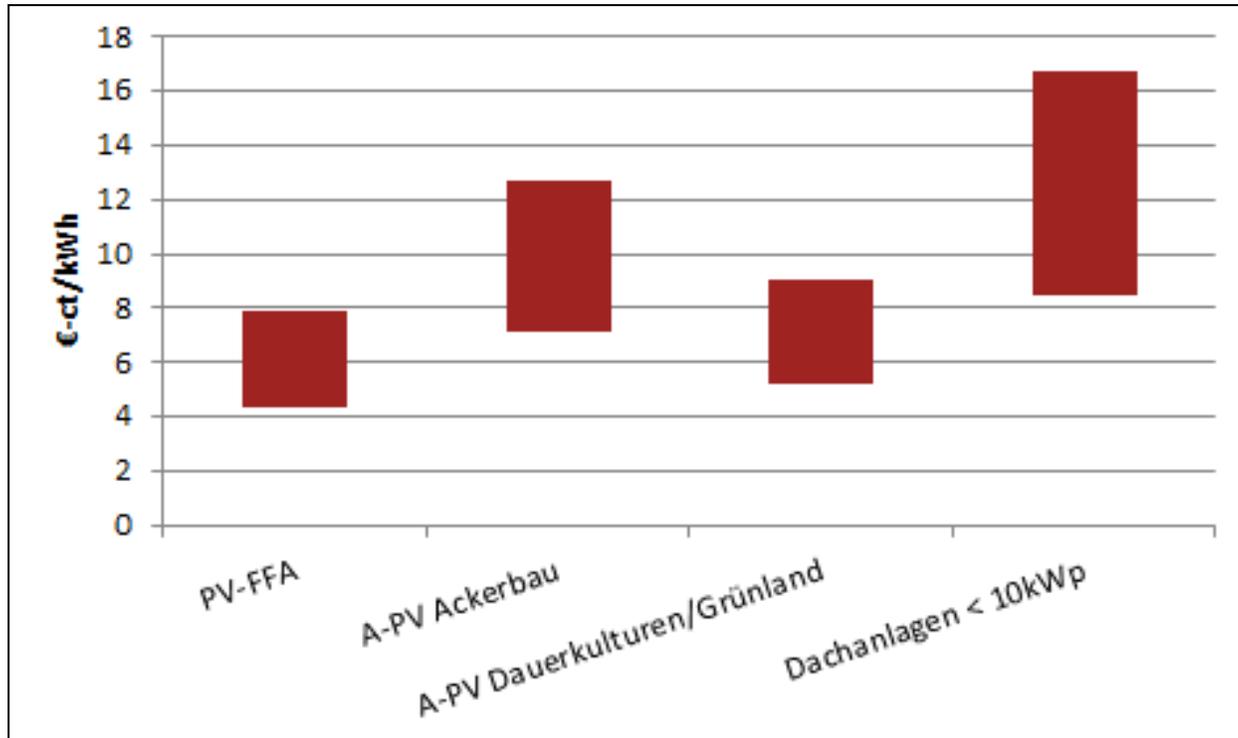


Investitionskosten [€/kWp] © Fraunhofer ISE

- Wirtschaftlichkeit als wichtiger Parameter für die Landwirtschaft
- Die Unterschiede der Investitionskosten lassen sich im Wesentlichen auf **drei Kostenstellen** zurückführen:
 - Modulpreis
 - Kosten Unterkonstruktion
 - Kosten Standortvorbereitung und Installation
- Kosten für elektronische Komponenten und Projektierung in den meisten Fällen **vergleichbar zu PV-FFA**

Agri-PV – Chance für die Landwirtschaft und die Energiewende

Wirtschaftlichkeit

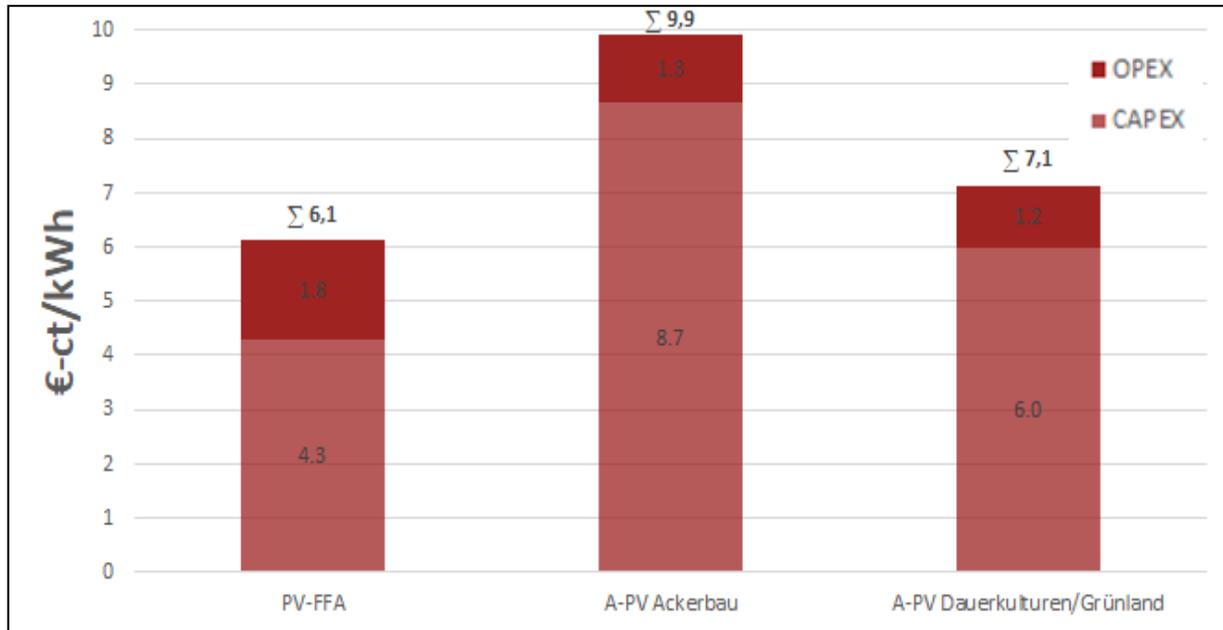


Stromgestehungskosten [€/ct/kWh] © Fraunhofer ISE

- Strom aus Agri-PV **ca. 20 % günstiger** als bei durchschnittlichen kleinen Dachanlagen
- Im Ackerbau im Schnitt **20 % teurer** als Dauerkulturen /Grünland (ohne Skaleneffekte)
- Nicht berücksichtigt wird bei der Kostenabschätzung:
 - Skalierungseffekte im Ackerbau durch tendenziell höhere Schlaggrößen
 - Skalierungseffekte in den Fixkosten der Projektierung bei großen Anlagen
- Jedoch können **kleine Anlagen auch Vorteile** für die Wirtschaftlichkeit mit sich bringen → Eigenverbrauch Strom

Agri-PV – Chance für die Landwirtschaft und die Energiewende

Wirtschaftlichkeit



Investitions- und Betriebskosten [€/kWh] © Fraunhofer ISE

- Im Gegensatz zu den Investitionskosten können bei den Betriebskosten tendenziell **leichte Einsparungen** gegenüber PV-FFA erzielt werden.
- Verantwortlich für die Kostenvorteile sind im Wesentlichen:
 - Niedrigere Kosten für die Bereitstellung der Fläche
 - Entfall der Flächenpflege durch die Bewirtschaftung
- Höhere Kosten entstehen hingegen voraussichtlich für die **Reinigung oder Reparaturen** in großer Höhe

Forschungsergebnisse APV-RESOLA

Frage 2: PV-Stromgestehungskosten

Wie viel kostet die Kilowattstunde APV-Strom?

- a) weniger als die einer PV-Freiflächenanlage
- b) mehr als die einer durchschnittlichen PV-Dachanlage
- c) mehr als die einer PV-Freiflächenanlage, aber weniger als eine durchschnittliche PV-Dachanlage

Annahmen:

Stromertrag pro Jahr:

PV-FFA: 1.209 kWh/kWp

APV: 1.284 kWh/kWp

Fläche: 2 ha

PV-FFA: 1,38 MWp

APV: 1,04 MWp

Kosten und Erträge der Landwirtschaft nicht eingerechnet

Agri-PV – Chance für die Landwirtschaft und die Energiewende

Landwirtschaft – Geschäftsmodelle

Je nach Konstellation der Projektpartner sind bei der Umsetzung verschiedene Parteien mit unterschiedlichen Funktionen involviert.

Geschäftsmodell	Funktion			
	Bereitstellung Fläche	Landwirtschaftliche Bewirtschaftung	Bereitstellung PV-System	Betrieb PV-System
1. Basisfall	Landwirtschaftsbetrieb			
2. Externes Landeigentum	Landeigentümer	Landwirtschaftsbetrieb		
3. Externes PV-Investment	Landwirtschaftsbetrieb		PV-Investor	Landwirtschaftsbetrieb
4. Nur Bewirtschaftung und Betrieb	Landeigentümer	Landwirtschaftsbetrieb	PV-Investor	Landwirtschaftsbetrieb
5. Nur Bewirtschaftung	Landeigentümer	Landwirtschaftsbetrieb	PV-Investor	PV-Betreiber

4. POTENTIALIA DER AGRI-PV

Welche Potentiale gehen mit der Agri-PV in Deutschland einher?

Das Konzept der Agri-PV

Potenziale der Flächendoppelnutzung für die Landwirtschaft

■ **Überdachung** kann Schutz bieten vor

- Hagelschlag
- Starkregen



■ **Verschattung** kann sich positiv auswirken auf

- Regulierung der Sonneneinstrahlung/ Hitze
- Verdunstung und damit Wasserbedarf



■ Zusätzliche, stabile **Einkommensquelle** kann geschaffen werden, durch

- Stromvermarktung
- Zahlungen durch PV-Anlagenbesitzer

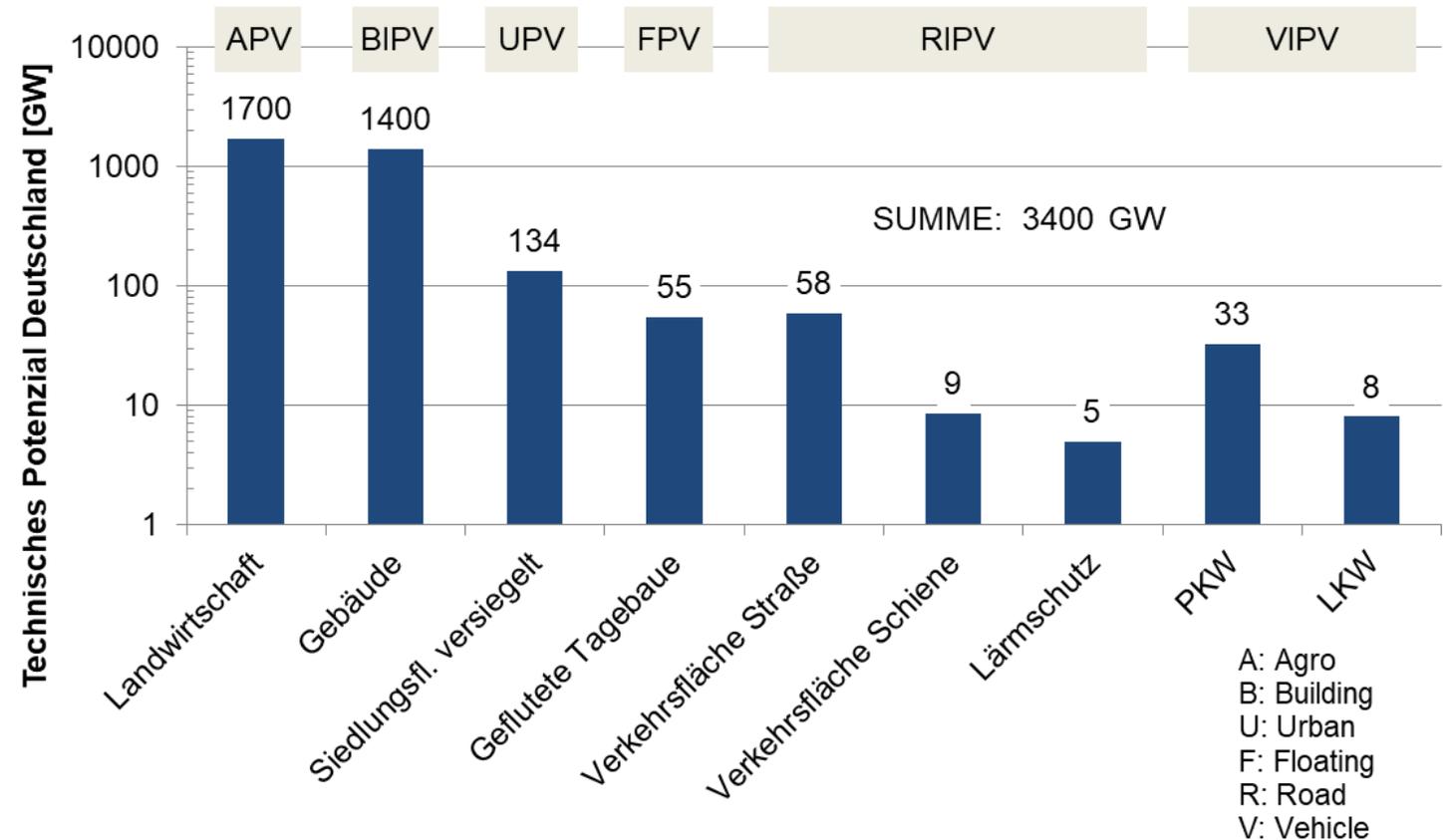


Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Flächenpotentiale

Technisches Potenzial berücksichtigt:

- technische,
- infrastrukturelle und
- ökologische Grenzen

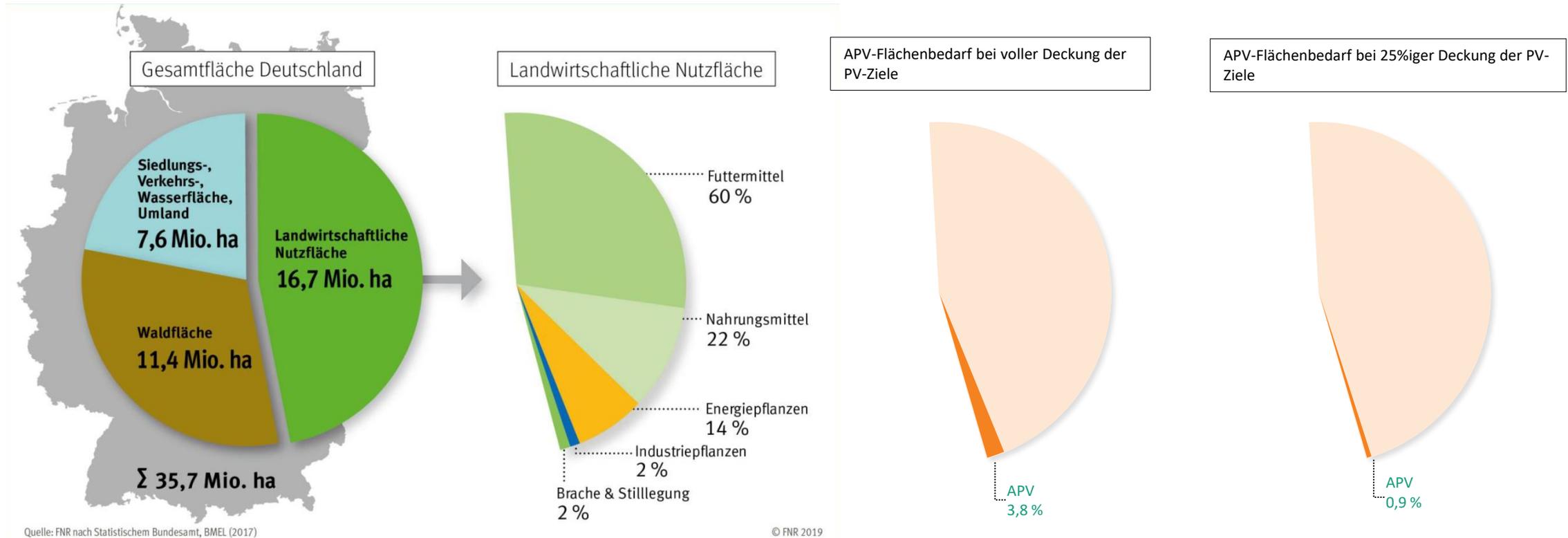


Technisches Potential der Photovoltaik in Deutschland. © Fraunhofer ISE

*entspricht ca. 17 % der landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland

Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

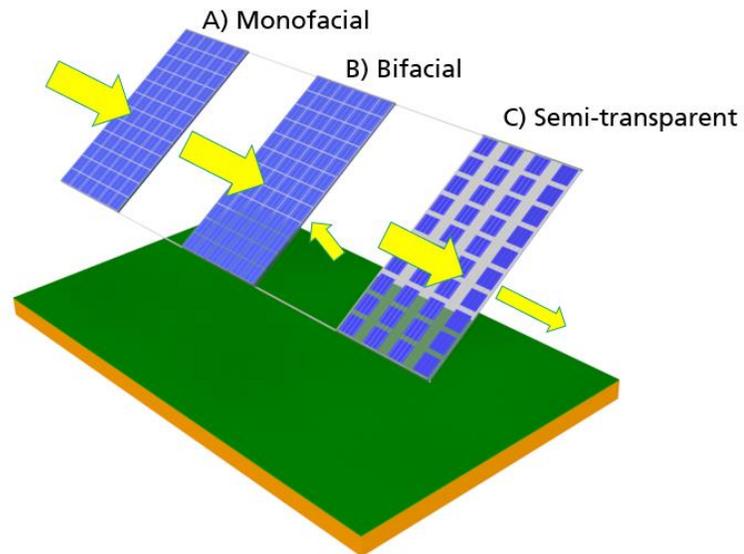
Flächenpotentiale



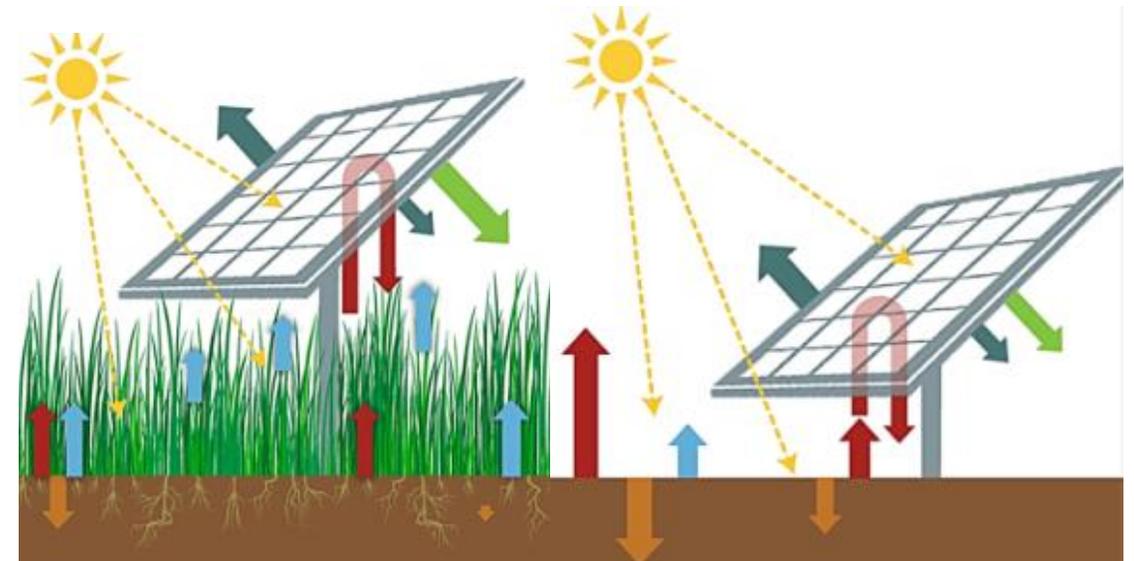
Agri-Photovoltaik – Chance für Landwirtschaft und Energiewende

Weitere Vorteile und Synergieeffekte

- Das **Mikroklima** unterhalb der Module führt zur **Transpirationskühlung**.
 - Oberhalb einer Temperatur von 25°C sinkt der PV-Wirkungsgrad um 0,4% pro 1°C Anstieg
- **Albedo Wirkung**
 - bei nachgeführten Systemen / bifazialen Modulen kann der PV-Wirkungsgrad durch größeren Abstand zum Boden oder weiteren Reihenabstand erhöht werden



© Fraunhofer ISE



Agri-Photovoltaik – Chance für Landwirtschaft und Energiewende

Weitere Vorteile und Synergieeffekte

Weniger direkte Strahlung reduziert

- Transpiration
- Evaporation
- Sonnenbrandschäden
- Trockenstress

Möglicher Ersatz für Kunststoff Pflanzenschutzmaßnahmen

- Folientunnel für Beeren und Gemüse
- Hagel-, Regen- & Sonnenschutz
- Niederschlagsverteilung adressieren



5. ENTWICKLUNG DER AGRI-PV UND STATUS QUO IN DEUTSCHLAND SOWIE ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Wie hat sich die Agri-PV in Deutschland entwickelt und wo steht sie momentan?

Wie entwickelt sich der Markthochlauf der Technologie in Deutschland?

Agri-Photovoltaik – von der Idee zur Umsetzung

Die Idee

- A. Goetzberger, Gründer des Fraunhofer ISE (1981): manche Pflanzen brauchen gar nicht „volle Sonne“
- Geringerer Flächenverbrauch bei dualer Nutzung



Prof. Adolf Goetzberger

Neuer Vorschlag der Fraunhofer-Gesellschaft

Kartoffeln unter dem Kollektor

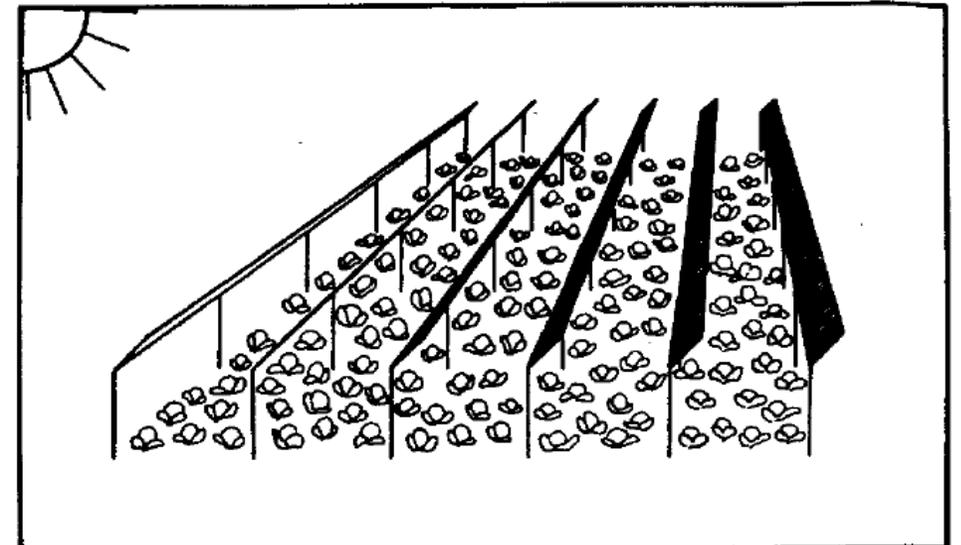


ABB. 1 SKIZZE EINES KOLLEKTORFELDES mit angehobenen Kollektoren

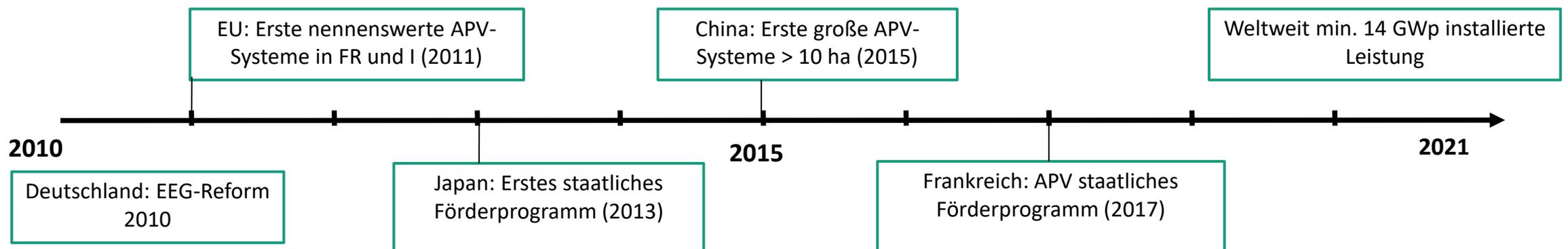
aus: Sonnenenergie 3/1981

Agri-Photovoltaik – von der Idee zur Umsetzung

Historischer Abriss

- Ab 2000 EEG Einspeisevergütung für EE
- PV „Revolution“
- Erste große PV-Freiflächenanlagen (PV-FFA)
- EEG-Reform 2010: PV-FFA nur noch in Ausnahmefällen auf Ackerflächen
- Zeit reif für APV

Entwicklung der APV von 2010 bis heute



Existierend: 21

Geplant: 13

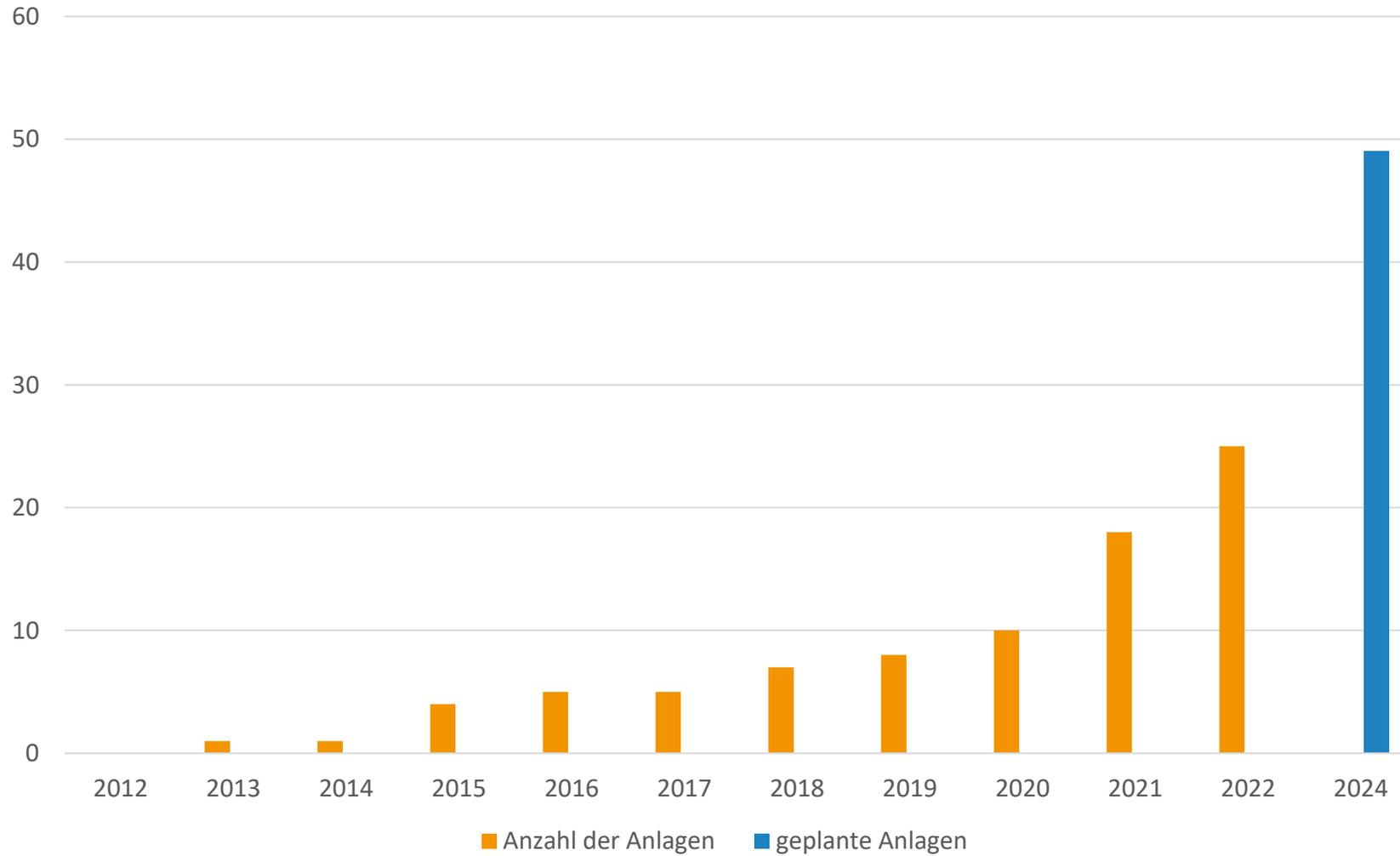
Geplant (InnAus): 11

Aus der Nutzung: 3

Stand: 02/2023



Agri-PV in Deutschland



Anlage einer Datenbank für Agri-PVAs:

zu finden unter:

<https://agri-pv.org/de/community/agri-pv-anlagen-in-deutschland/>

Mitmachen?:

<https://survey.ise.fhg.de/index.php/65215?lang=de>



[Startseite](#) - [Community](#) - Agri-PV-Anlagen in Deutschland

Agri-PV-Anlagen in Deutschland

Entdecken Sie auf unserer interaktiven Karte die Vielfalt der Agri-PV in Deutschland.

Falls Sie eine Agri-PV-Anlage besitzen oder betreiben, die Sie zur Karte hinzufügen möchten, klicken Sie bitte auf den unten aufgeführten Link und füllen Sie unseren Fragebogen aus.

<https://survey.ise.fhg.de/index.php/65215?lang=de>

AgriVoltaics Konferenz

AiDO: Agrivoltaics International Discussion Group

Veranstaltungen

Erfahrungsberichte

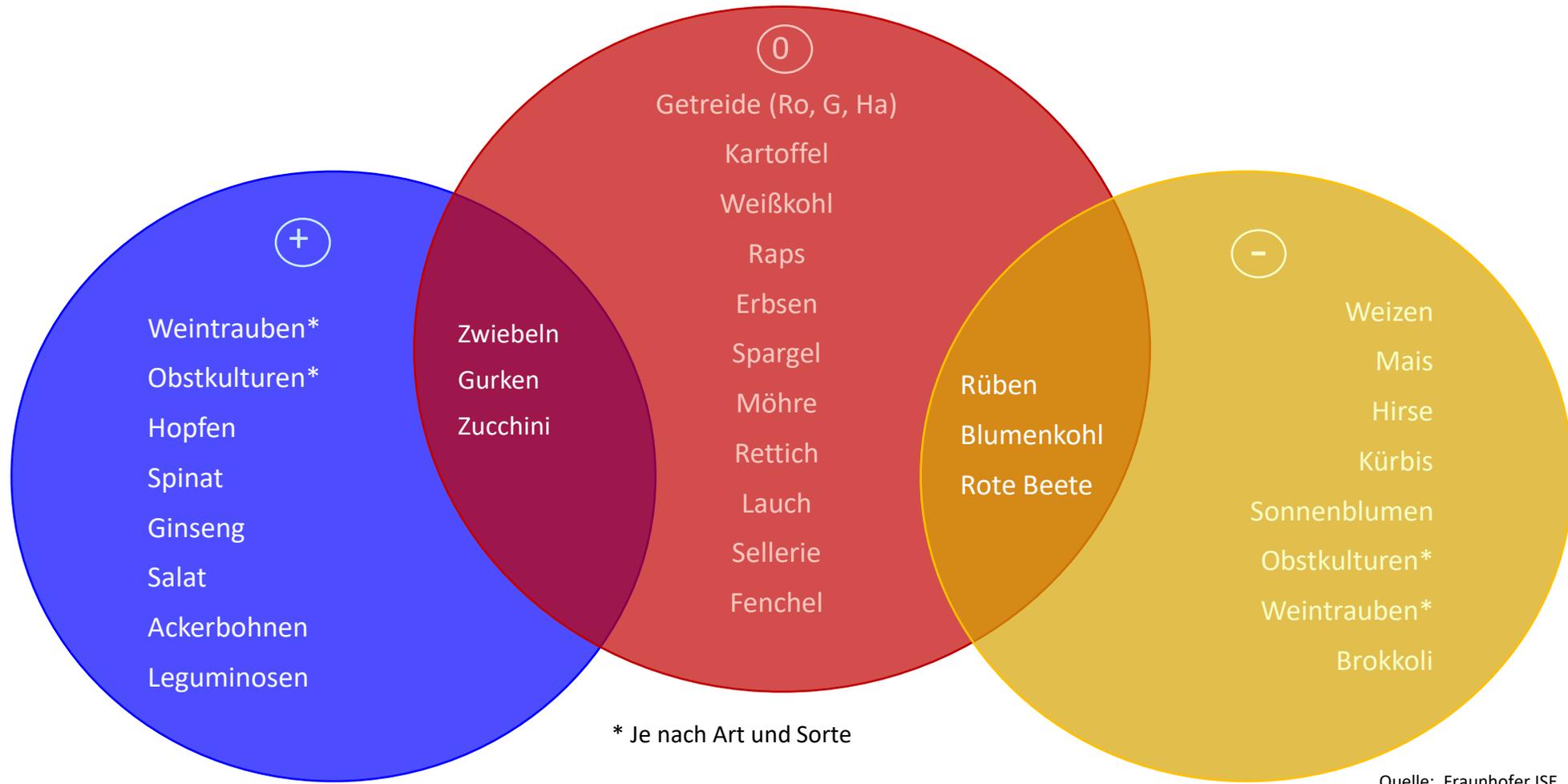
Agri-PV-Anlagen in Deutschland

Start of Operation	2020
City/Town	Altheim
Region/Province	Bavaria
Projectname	
Location	48.23908;11.05246
Capacity (kWp)	1890
Land (ha)	4,7
Category	Interspace
Crop	Mais, Hafer, Dinkel, Kleegras

6. PROJEKTVORSTELLUNG HEGGELBACH

Wie kann Agri-PV in der Praxis aussehen?

Schattentoleranzen: Kategorisierung der wichtigsten Kulturen in Deutschland



Quelle: Fraunhofer ISE

Forschungsprojekt APV-RESOLA

Versuchsaufbau

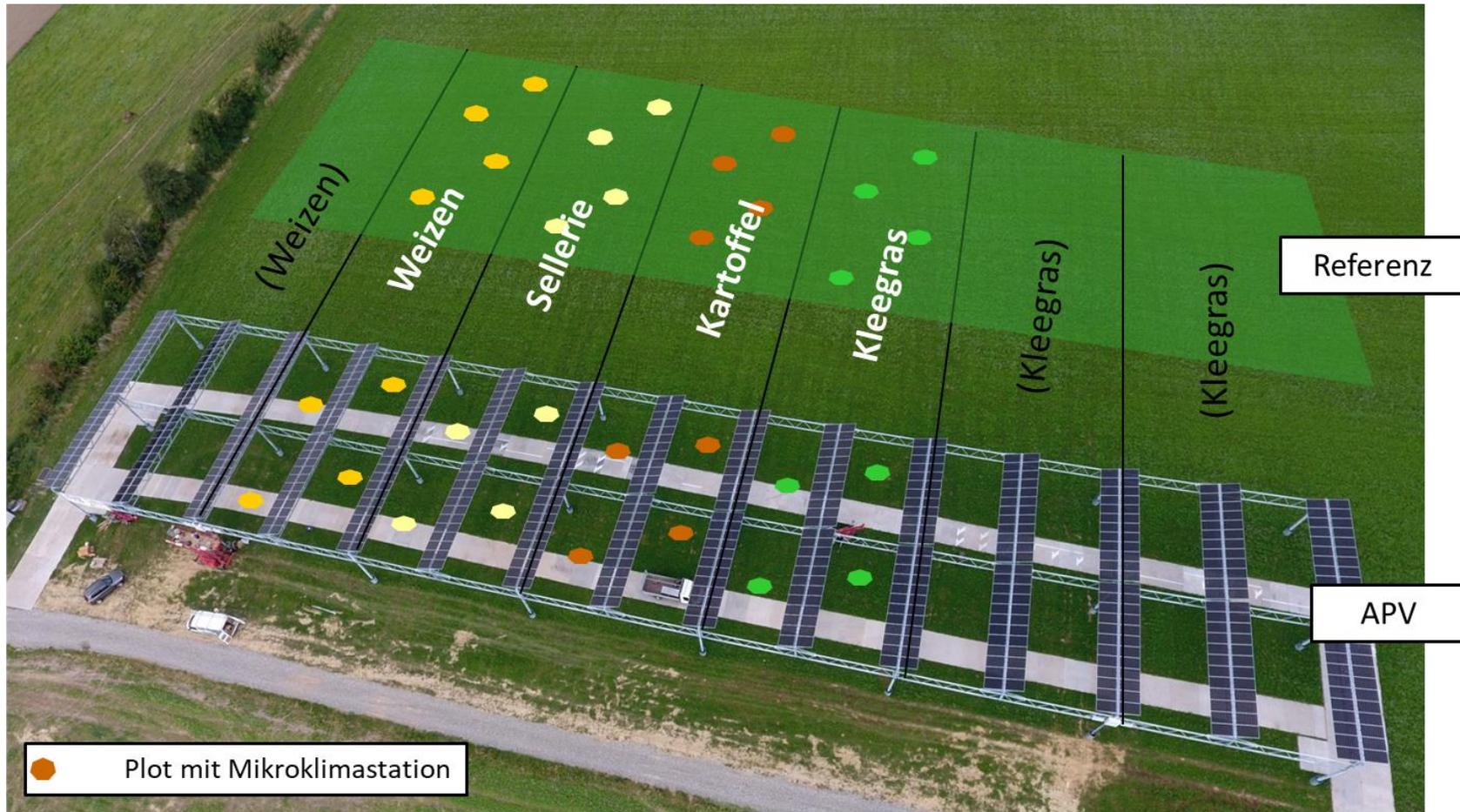
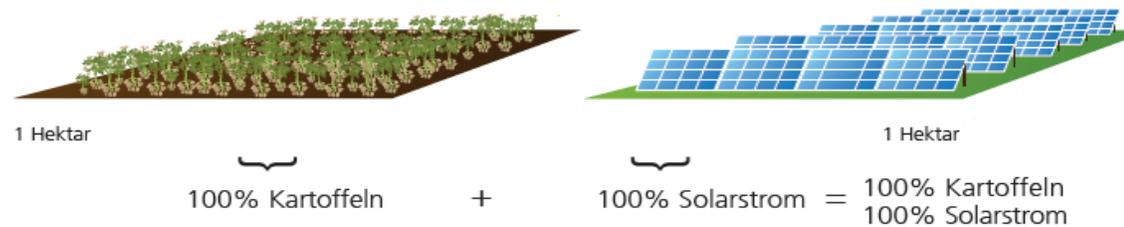


Bild: BayWa (verändert)

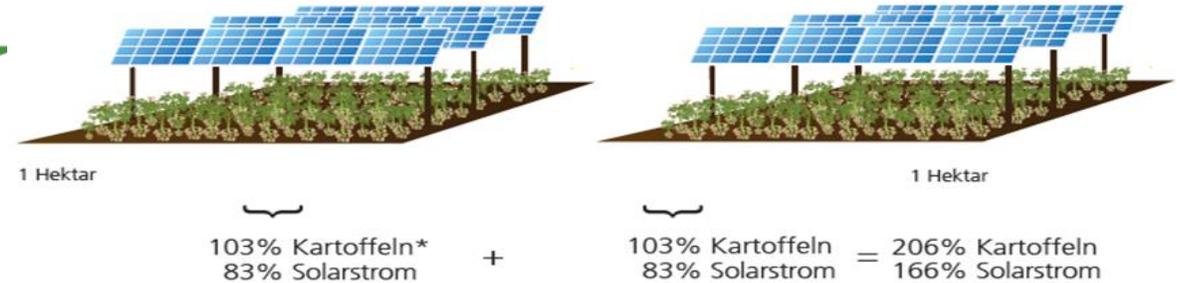
Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Versuchsergebnisse Heggelbach – Steigerung der Landnutzungseffizienz

Getrennte Flächennutzung auf 2 Hektar Ackerland



Gemischte Flächennutzung auf 2 Hektar Ackerland: Effizienz > 86% gesteigert



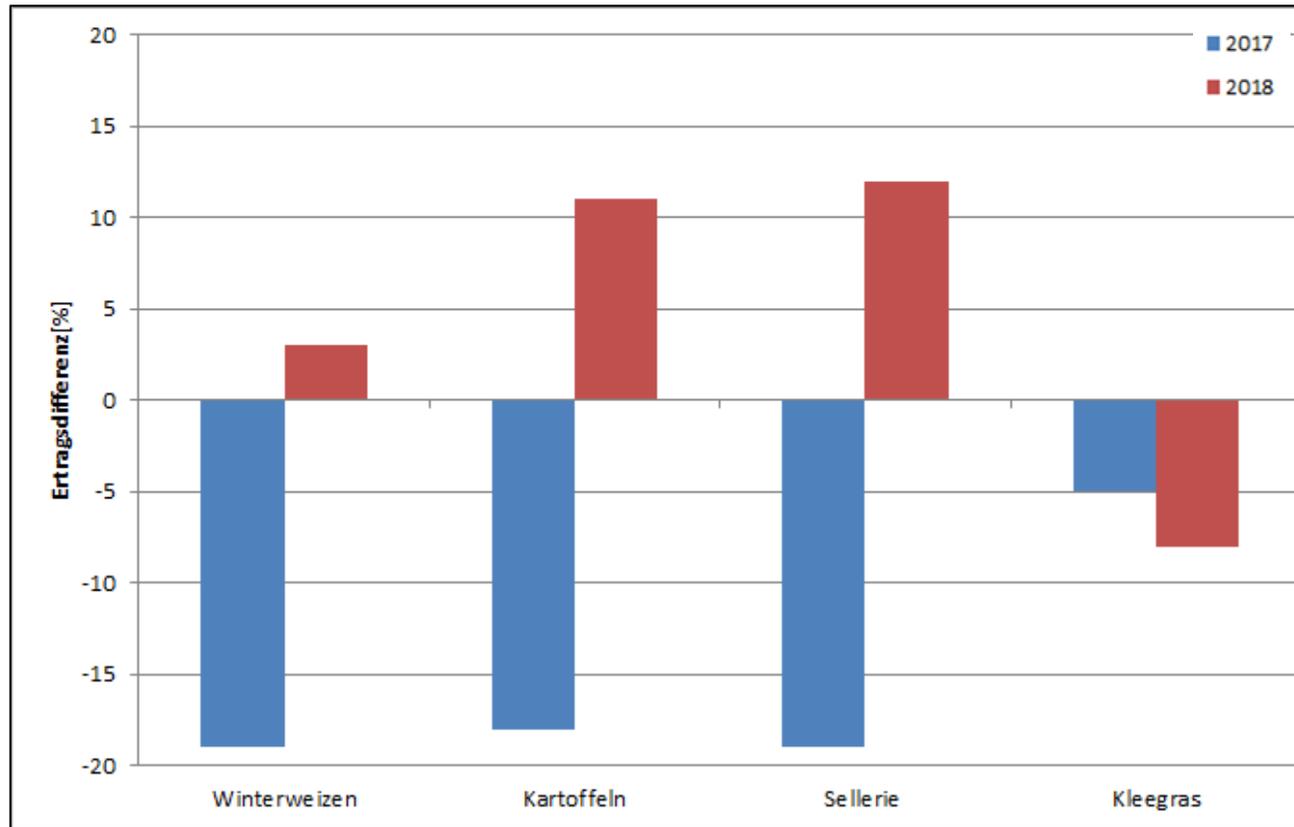
© Fraunhofer ISE & Universität Hohenheim

Ergebnisse APV-RESOLA

- 103 % Kartoffelernte 2018 = 100 % Ernte + 11 % Ertragssteigerung – 8 % Flächenverlust
 - 83 % Stromertrag 2018
 - Flächennutzungseffizienz 2018 = 186 %
-
- Vergrößerung des Flächenpotenzials ohne Flächennutzungskonflikte
 - Steigerung der Landnutzungseffizienz zwischen 60 und 90 % in Deutschland
 - Großes Potenzial bieten Gebiete mit Flächenknappheit und in ariden Klimazonen.

Agri-PV – Chancen für die Landwirtschaft und die Energiewende

Versuchsergebnisse Heggelbach



- Ertragsveränderungen stark abhängig von **klimatischen Bedingungen**
- Ertragsschwankungen vor allem auf Vergleichsfläche beobachtbar
- Erträge unter Modulen in beiden Jahren relativ stabil
- Im **Dürrejahr 2018** verzeichneten drei der vier angebauten Kulturen höhere Erträge als auf der Referenzfläche ohne PV-Module.
- Hohe Potenziale **für Dauer- und Sonderkulturen** zu erwarten

Erträge Agrar-PV gegenüber Referenzflächen 2017 und 2018 (ohne Verluste durch Aufständering). © Universität Hohenheim

Forschungsprojekt APV-RESOLA

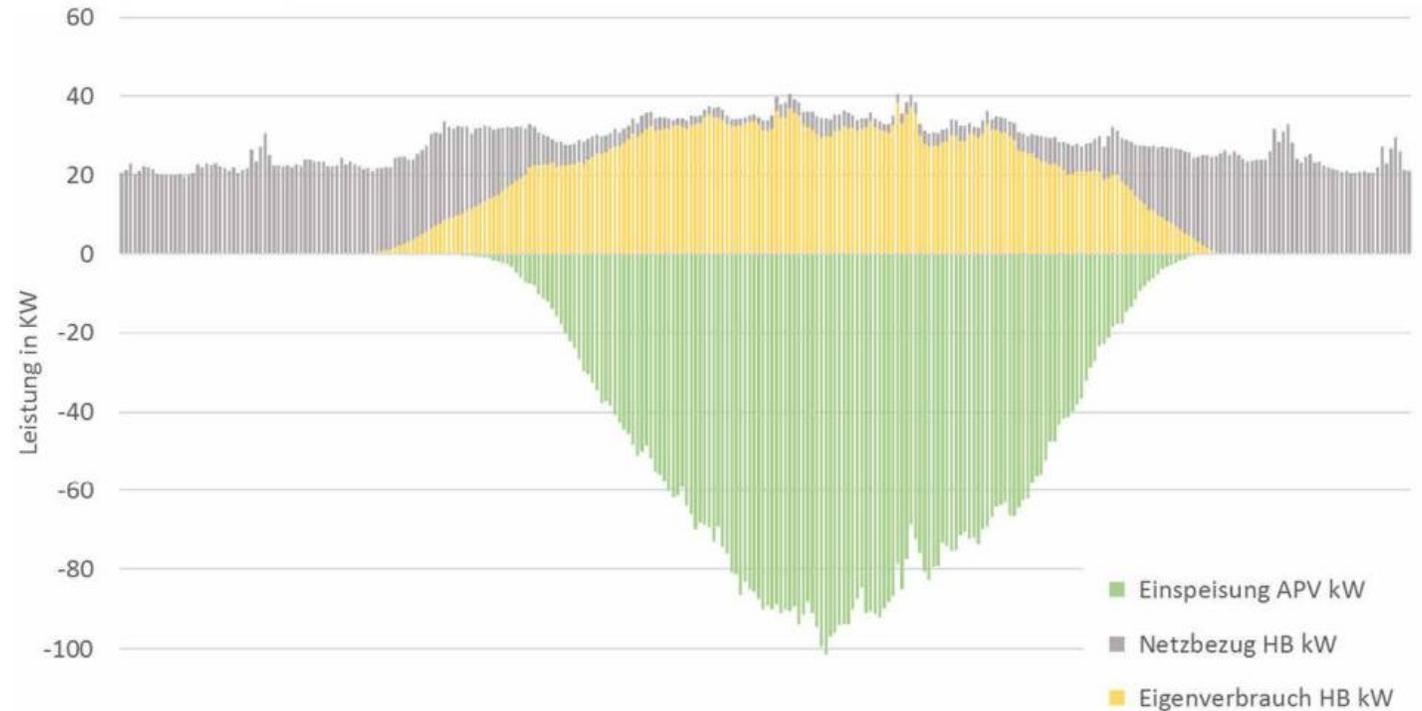
Versuchsergebnisse Heggelbach: Stromerzeugung

2017

- 1 266 kWh/kWp (DE: 950 kWh/kWp)
 - Bifaziale Module
 - Relativ sonnenreiche Region
- 44 % Eigenstromerzeugung

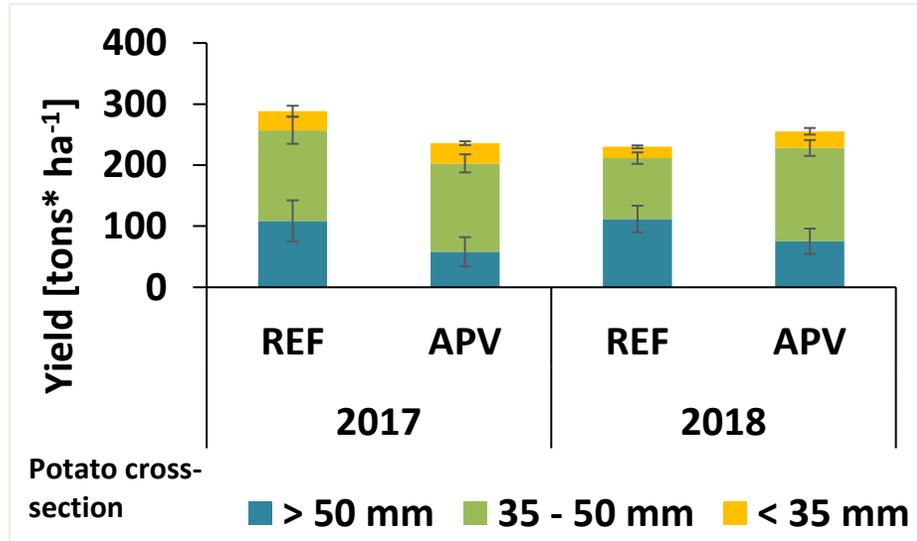
2018

- 1 285 kWh/kWp
- Zusätzlich 150 kW Batteriespeicher installiert
- 60 – 80 % Eigenstromerzeugung möglich



Agri-PV – Chance für die Landwirtschaft und die Energiewende

Ergebnisse der Forschungsanlage Heggelbach



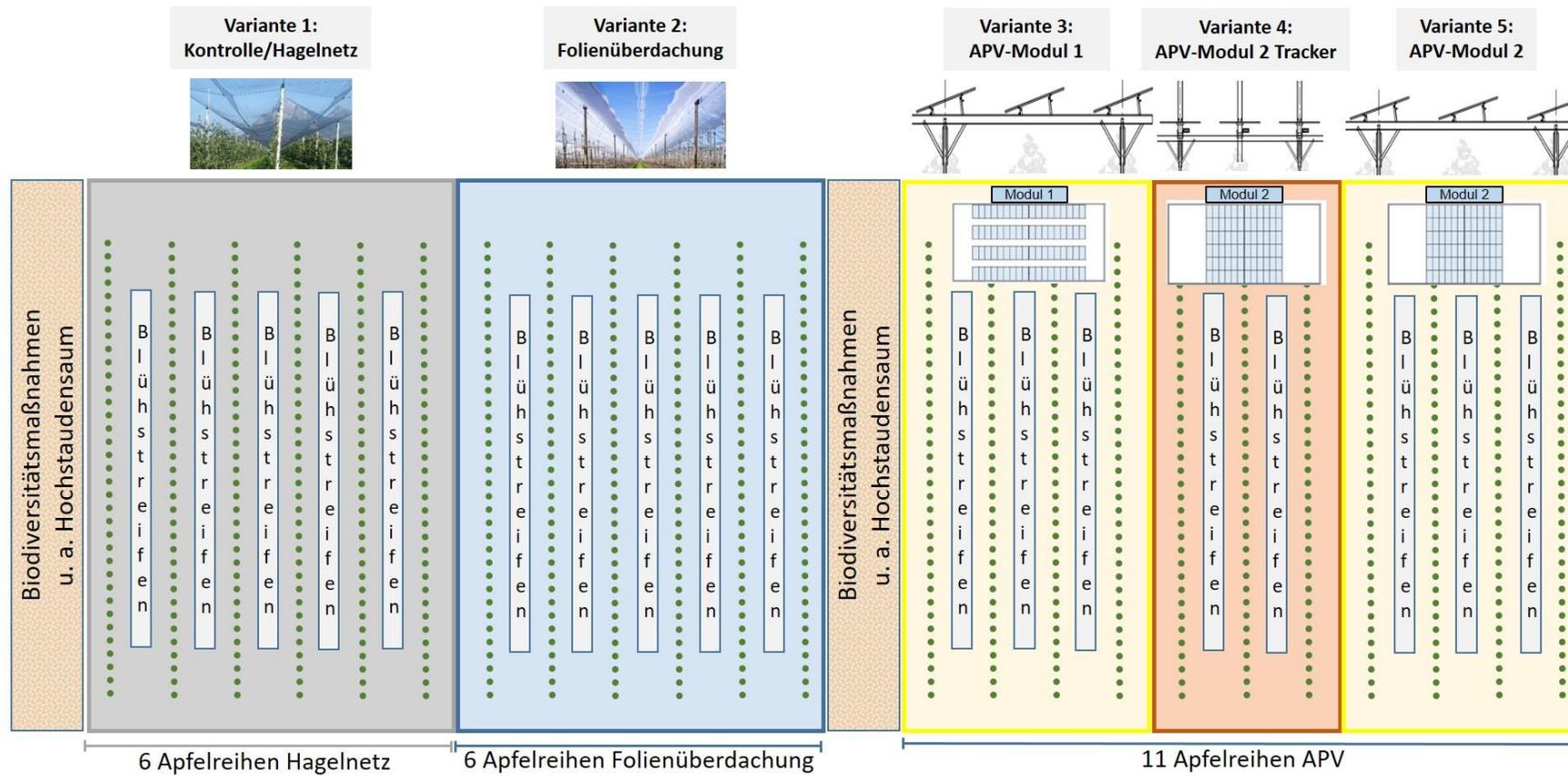
- 2017: Ertragsreduktion um bis zu 18 %
- 2018: Ertragssteigerung um bis zu 11 %
- Vermarktbarer Anteil der Kartoffeln (35-50 mm) in beiden Jahren unter PV höher



Forschungsprojekt APV-Obstbau

Versuchsdesign

Agri-PV - Obstbau: Versuchsanlage agrarwissenschaftliche Analyse (5 Varianten x 3 bis 4 Wiederholungen x 8 Apfelsorten)



Forschungsprojekt APV-Obstbau

Agri-PV Anlage und Referenzanlagen



Modellregion Agri-PV BW

Praxisanlage Obsthof

Anlagestandort
Kressbronn am Bodensee

Flächengröße
0.5 ha

Installierte Leistung
240 kWp

Besonderheiten

- Umsetzung der ersten Agri-PV-Anlage mit der Apfelsorte Gala.
- Einfluss des Mikroklimas der Bodenseeregion auf die Kulturen.
- Akzeptanzsteigerung der Agri-PV in der touristisch relevanten Bodenseeregion durch schmalen Anlagendesign.
- Agrarwissenschaftliche Forschung durch das KOB.



Agri-PV – Chance für die Landwirtschaft und die Energiewende

Geschäftsmodell ein Beispiel

Je nach Konstellation der Projektpartner sind bei der Umsetzung verschiedene Parteien mit unterschiedlichen Funktionen involviert.

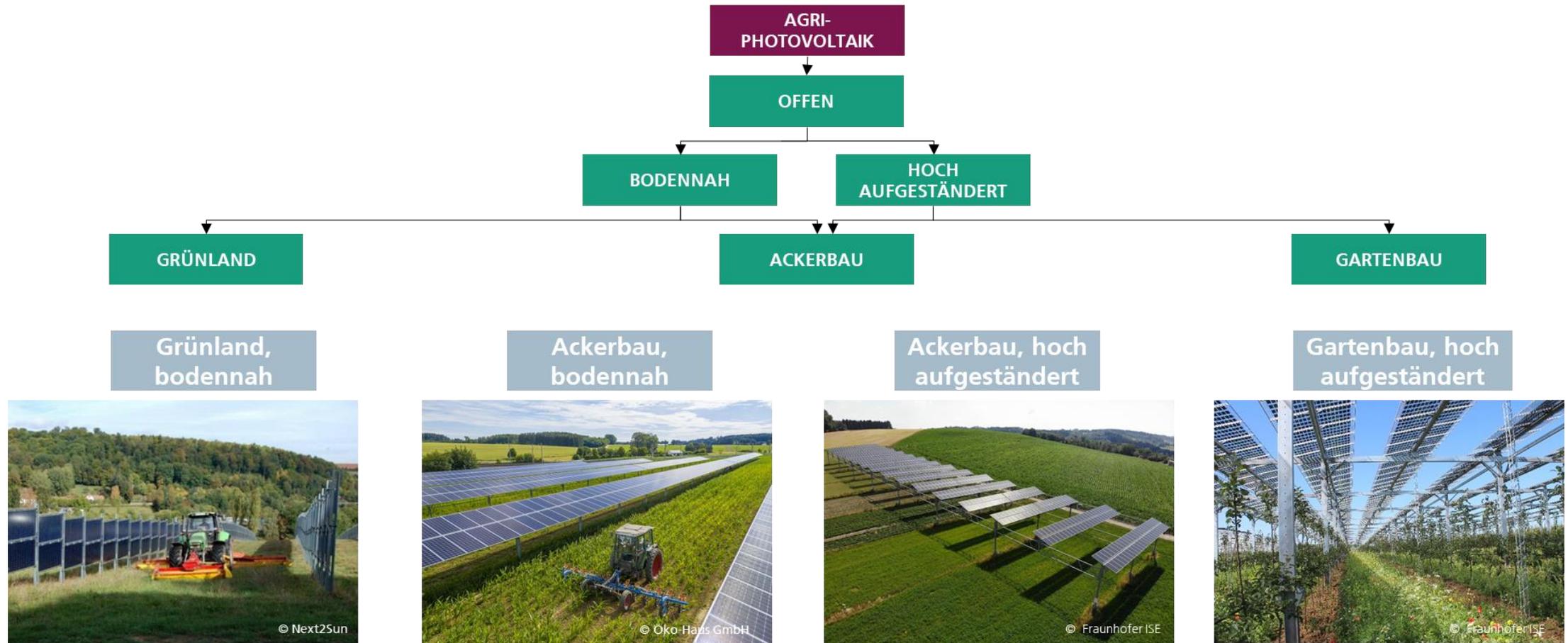
- Terminmarktorientierter Direktvermarktungsvertrag, dreijährig
 - 16,27 ct 22/33, 11,71 ct 24
 - Grünstromzertifizierung durch Stromabnehmer
 - Sonstige Zertifizierungen und Dokumentationspflichten bei Stromabnehmer
 - Schlagdatum Mai
- Ziel geteiltes Risiko und Beteiligung der Landwirte am Marktverhalten
- Ertrag: 10. Mai – Ende September, 144.000 kWh → 23.428,8 EUR

7. SYSTEMDESIGNS UND AGRI-PV IN DER PRAXIS (ANSCHAUUNGSBEISPIELE)

Welche Möglichkeiten technischer
Ausgestaltung gibt es und wie kann Agri-PV in
der Praxis aussehen?

Agri-Photovoltaik – technische Ausgestaltungsmöglichkeiten

Vielfältigkeit des Systemdesigns



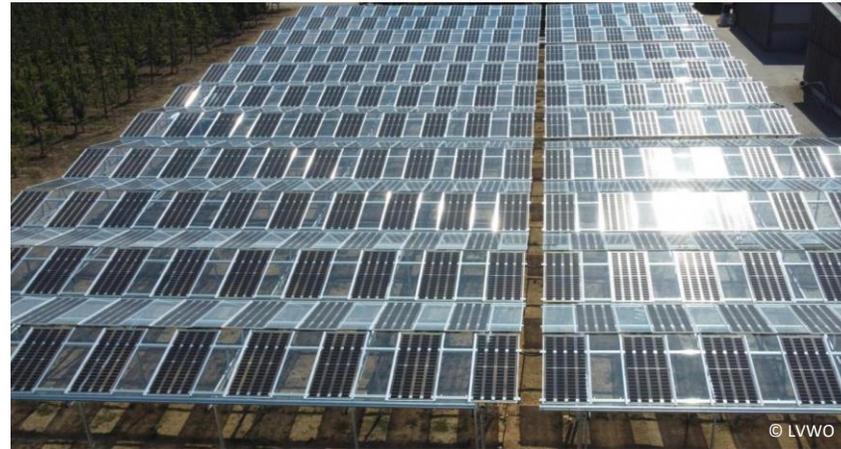
Agri-Photovoltaik – technische Ausgestaltungsmöglichkeiten

Vielfältigkeit des Systemdesigns



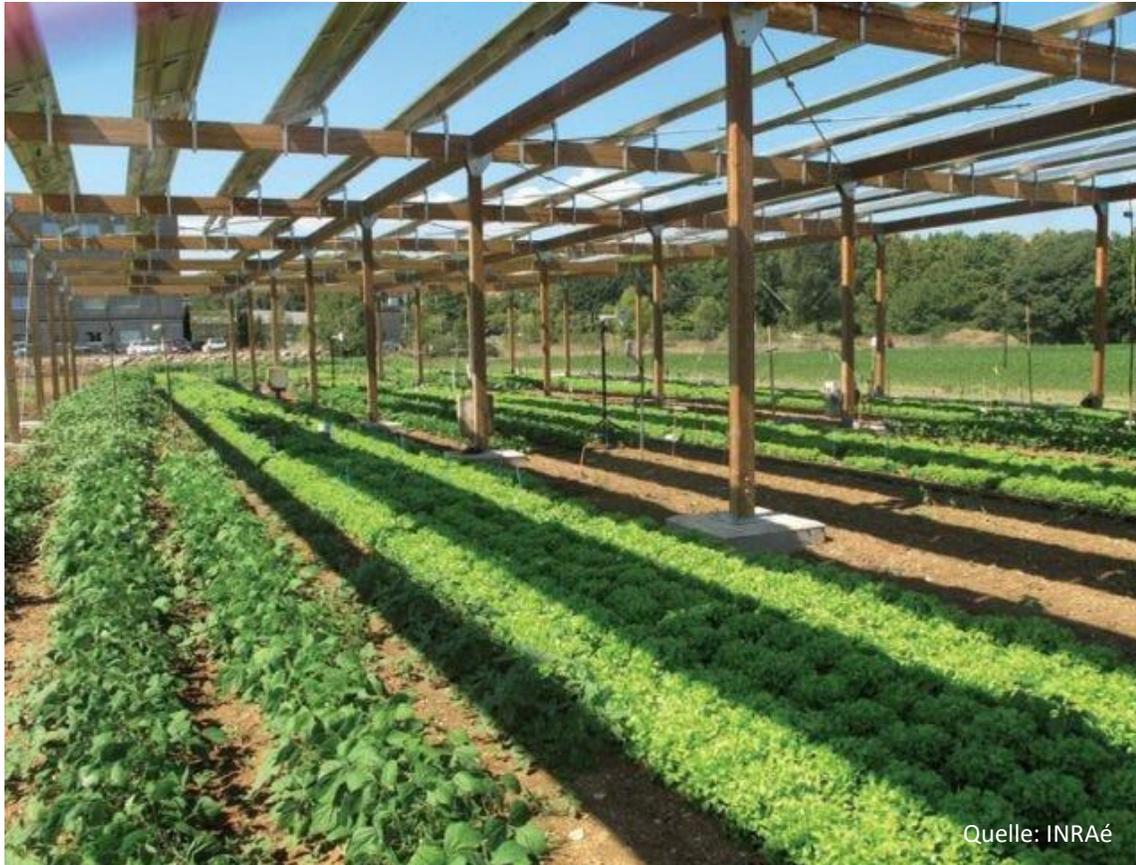
Modellregion Agri-PV BW

Agri-PV-Anlagen Übersicht



Agri-Photovoltaik – Chance für Landwirtschaft und Energiewende

Vielfältigkeit der Agri-PV



Agri-Photovoltaik – Chance für Landwirtschaft und Energiewende

Vielfältigkeit der Agri-PV



Agri-Photovoltaik – Chance für Landwirtschaft und Energiewende

Vielfältigkeit der Agri-PV



Agri-Photovoltaik – Chance für Landwirtschaft und Energiewende

Vielfältigkeit der Agri-PV



Agri-Photovoltaik – Chance für Landwirtschaft und Energiewende

Vielfältigkeit der Agri-PV



Agri-Photovoltaik – Chance für Landwirtschaft und Energiewende

Vielfältigkeit der Agri-PV



Agri-Photovoltaik – Chance für Landwirtschaft und Energiewende

Vielfältigkeit der Agri-PV



Kontakt

Carl Pump (Dipl. Kfm.)
Agri-Photovoltaik
carl.pump@ise-extern.fraunhofer.de
carl.pump@uni-greifswald.de