
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR SOLARE ENERGIESYSTEME ISE

Agrophotovoltaik: Beitrag zur **ressourceneffizienten Landnutzung**
(APV-RESOLA)



Max Trommsdorff

Niedersächsische Solarenergietage

6. September 2018

www.agrophotovoltaik.de

AGENDA

- Problem
- Agrophotovoltaik als Lösung
- Die Pilotanlage
- Forschungsergebnisse

Problem

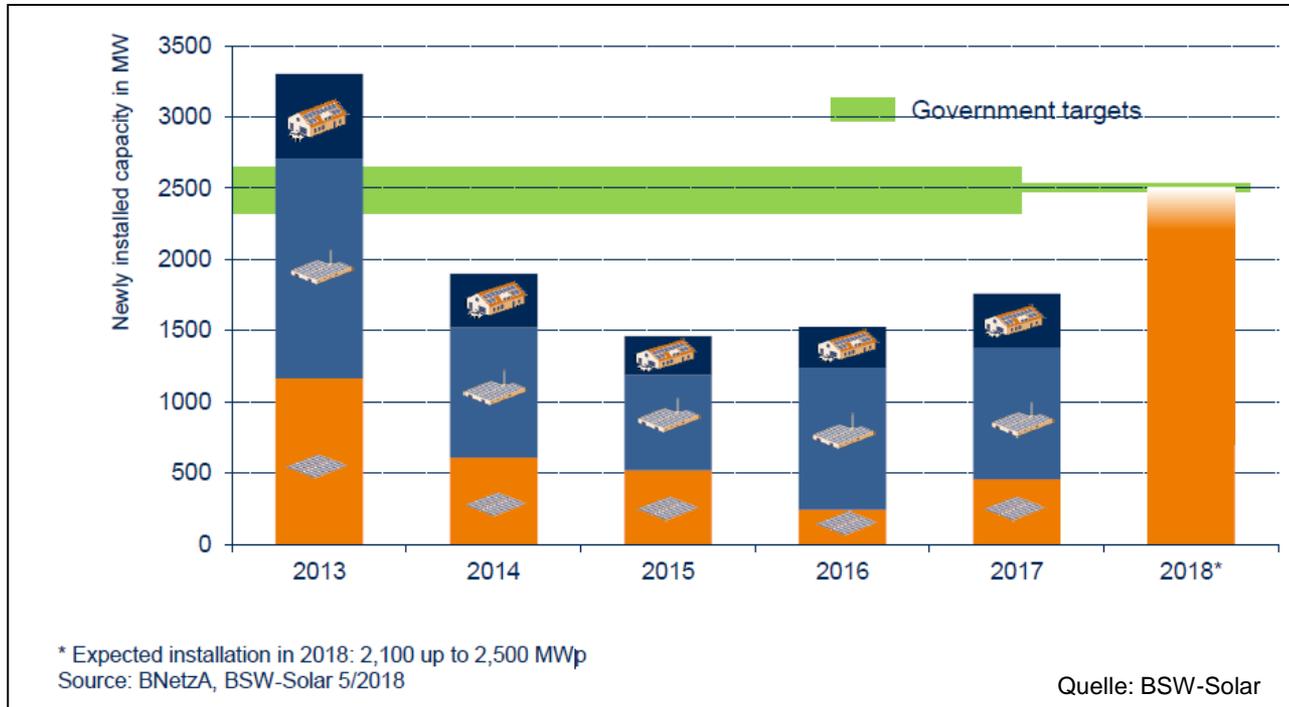
Energiewende stockt

- Energiewende hat gerade erst begonnen
- Beste EE-Standorte sind bereits verwendet
- NIMBY
- Elektrizitätssektor dringt in Wärme- und Transportsektor vor
- Paris Abkommen erhöht Zeitdruck (1,5 Grad-Ziel)
- Flächenversiegelung durch Infrastrukturbau (30 Ha-Ziel, DNS)

Quelle: AGEE-Stat, BMWi / Eigene Darstellung

Problem

PV-Ziele in Deutschland werden nicht erreicht



- Um Klimaschutzziele bis 2050 zu erreichen → 6-9 GWp/Jahr notwendig

Problem

Klimaschutz: Schlüsselsektoren Energie und Landwirtschaft

- Energiesektor ist für 85 % der CO₂-Emissionen verantwortlich
- Landwirtschaftssektor ist für 7,5% der CO₂-Emissionen verantwortlich
- Steigender ökonomischer Druck auf Landwirtschaft und Bodenmarkt
- Tank oder Teller Diskussion
- Klimawandel verursacht hohe Schäden in der Landwirtschaft
- Kulturpflanzen leiden zunehmend unter Wetterextremen

AGENDA

- Problem
- **Agrophotovoltaik als Lösung**
- Die Pilotanlage
- Forschungsergebnisse

Lösung

Agrophotovoltaik (APV) als Integriertes Food- and Energy System (Def. FAO 2014)

Definition von APV

„Die APV-Systemtechnik ermöglicht die simultane landwirtschaftliche Haupterzeugung und (sekundäre) Solarstromproduktion auf derselben Fläche und versucht dabei Synergieeffekte und Potentiale beider Produktionssysteme optimal zu nutzen.“

Agrophotovoltaik als Lösung

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

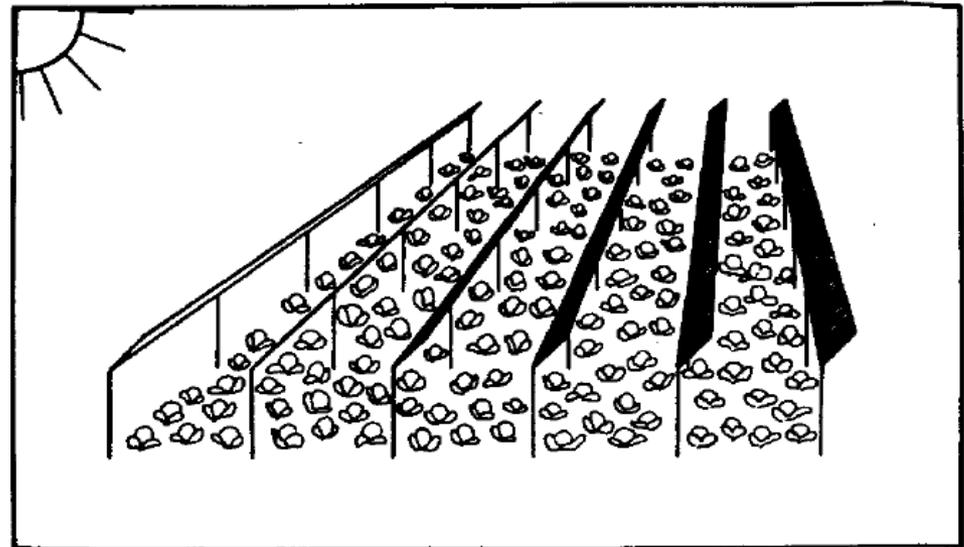


ABB. 1 SKIZZE EINES KOLLEKTORFELDES mit angehobenen Kollektoren

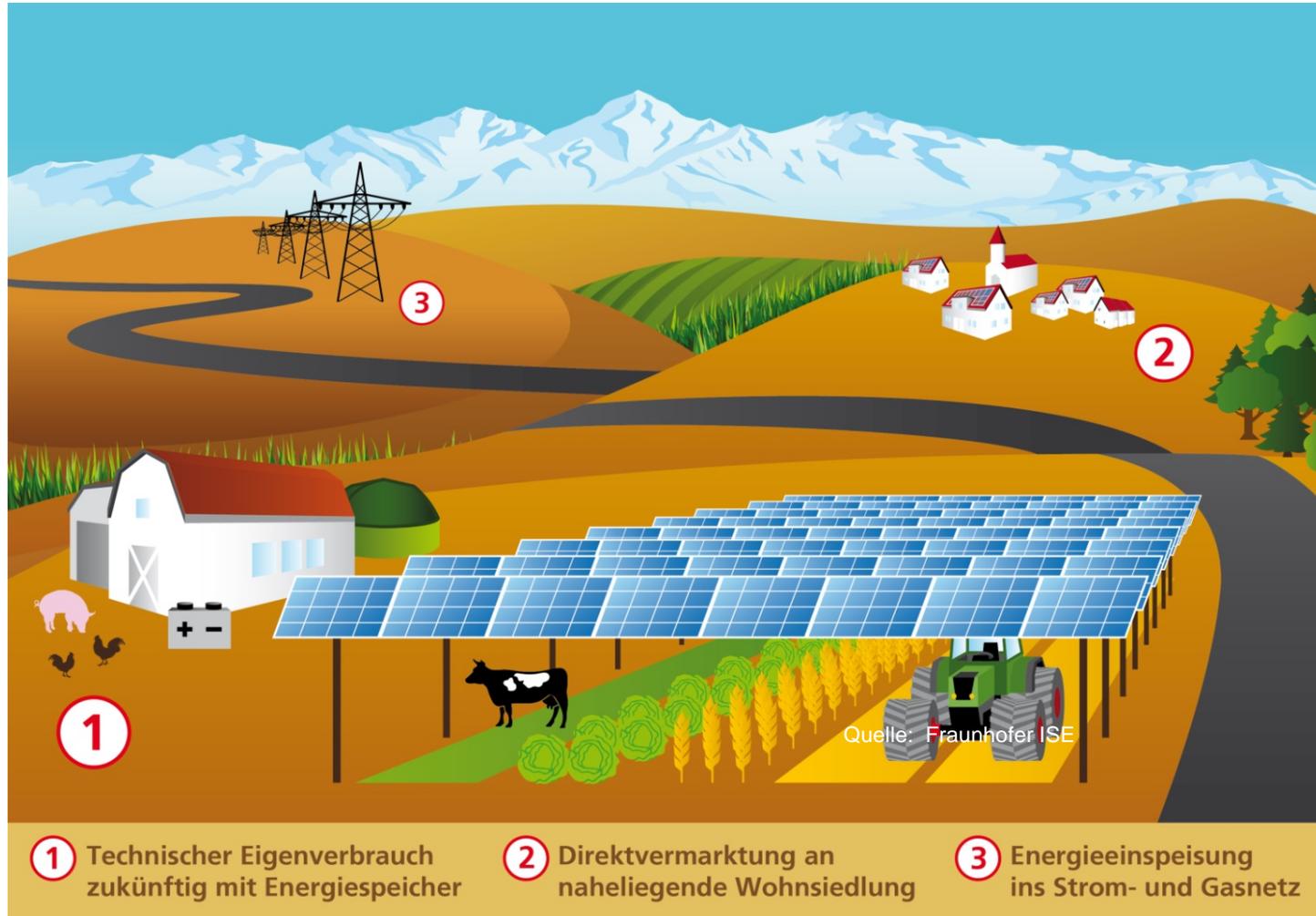


Quelle: Kartoffeln unter dem Kollektor, Goetzberger und Zastrow (1981)

Prof. Adolf Goetzberger

Agrophotovoltaik als Lösung

Konzept einer APV-Anlage

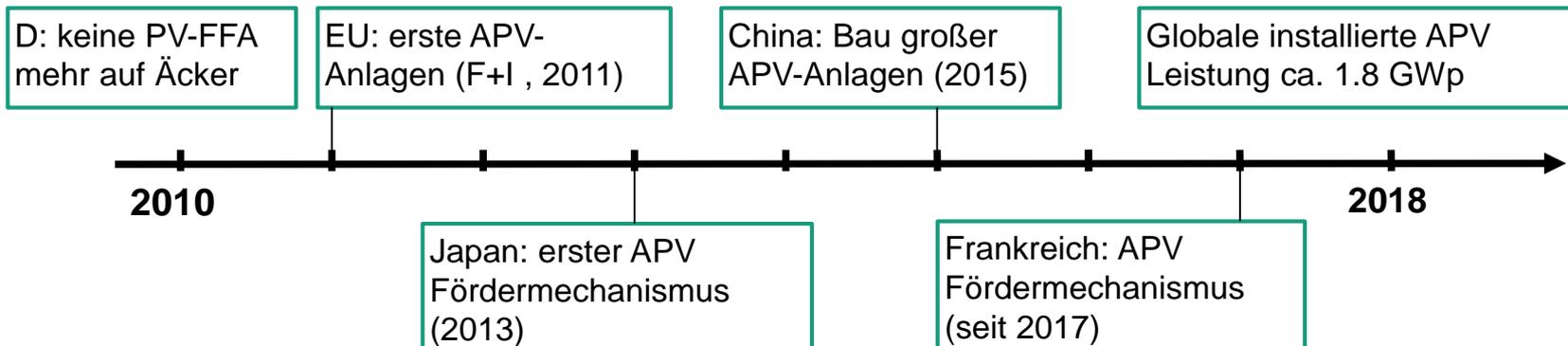


Agrophotovoltaik als Lösung

...30 Jahre später

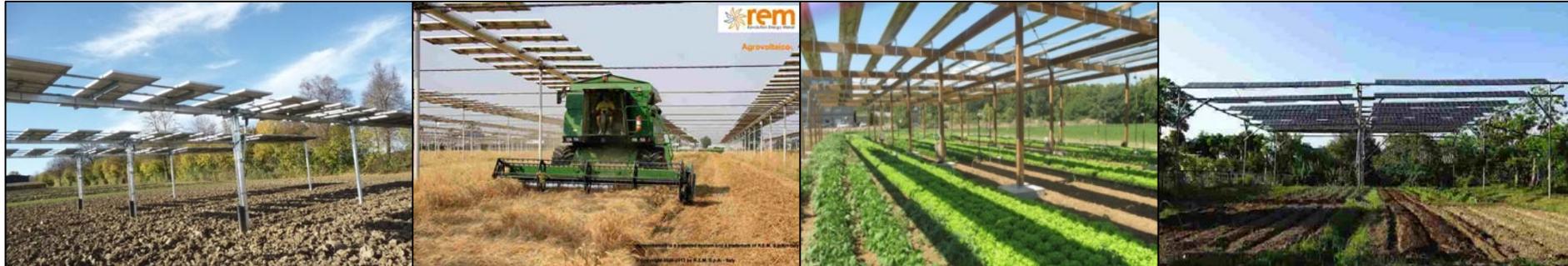
- EEG und Energiewende
- PV wird immer günstiger
- PV-FFA günstigste PV
- PV-FFA werden vom Acker verbannt (2010)
- Zeit für reif für APV

Timeline APV



Agrophotovoltaik als Lösung

Beispiele weltweit



(A)

(B)

(C)

(D)

- (A) Bayern, Hochschule Weihenstephan, ca. 30 kWp, 2013
- (B) Italien, R.E.M. Spa, ca. 3 MWp, 2011
- (C) Frankreich, INRA, Universität Montpellier, ca. 50 kWp, 2010
- (D) Japan, Solar Sharing, Ministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei, Akira Nagashima, 2013

Agrophotovoltaik als Lösung

Beispiele weltweit



(E)

(F)

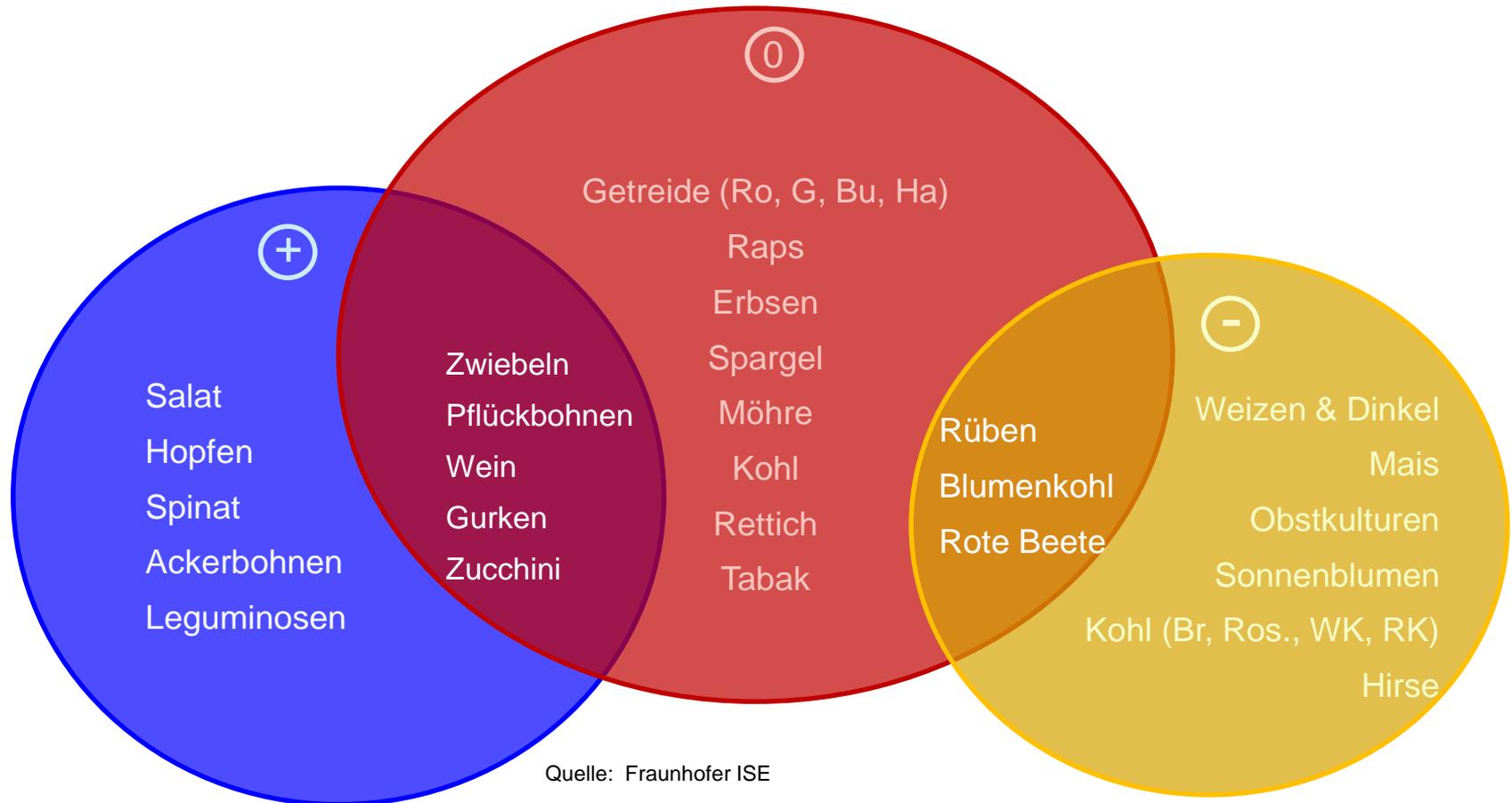
(G)

(H)

- (E) Italien, Villa Crespia Muratorio, Edgar Gimbel, Weinbau, 2011
- (F) Frankreich, Straßburg, 300 kWp, Edgar Gimbel, 2016
- (G) Deutschland, Heggelbach, 194 kWp, Fraunhofer ISE, 2016
- (H) China, Ningxia, 700 MWp, Huawei, 2016
- Weitere Anlagen sind in Chile, Katar, USA und Ostafrika geplant

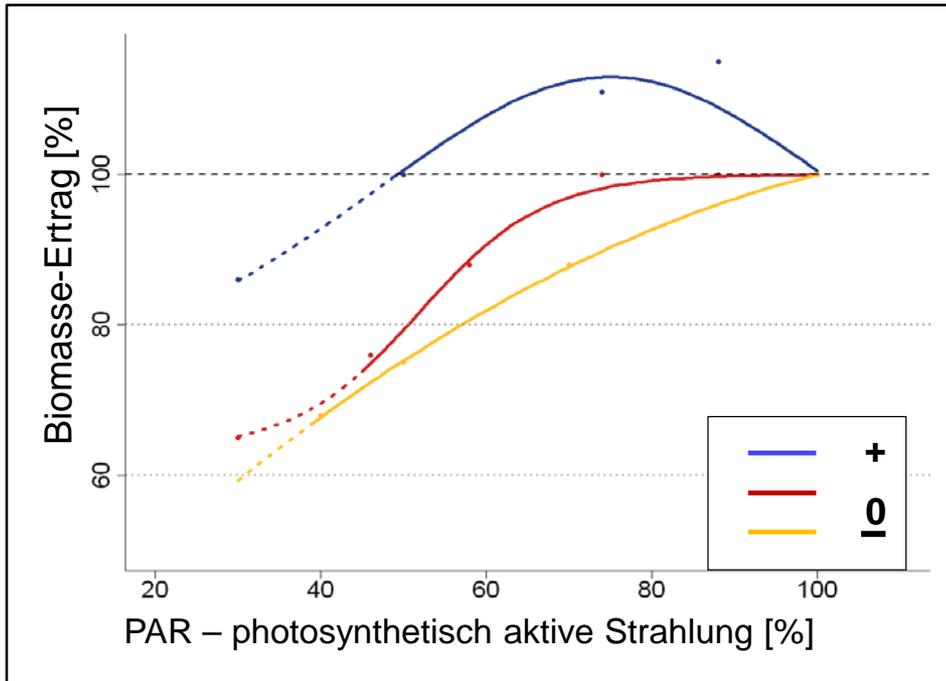
Agrophotovoltaik als Lösung

Kategorisierung der bedeutendsten Ackerkulturen Deutschlands



Agrophotovoltaik als Lösung

Welche Kulturpflanzen sind geeignet?



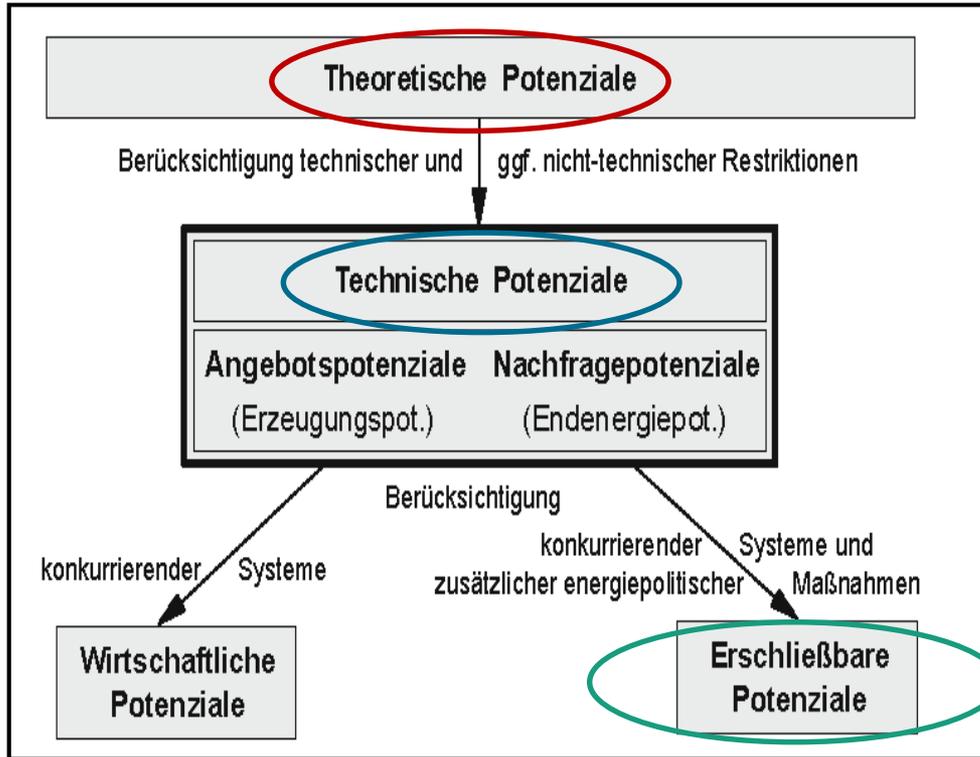
Kategorie	Referenzart
+	Salate, grünes Gemüse
0	Raps & Gerste
-	Mais

Quelle: Fraunhofer ISE

- Schattentolerante Kulturpflanzen vorhanden
- Ertrags- und Qualitätsgewinn durch Beschattung möglich

Agrophotovoltaik als Lösung

APV-Potenzial für Deutschland



Quelle: Fraunhofer ISE

■ Theoretisches Potenzial

Landwirtschaftliche
Nutzfläche:

~13,3 Mio. ha \triangleq 6.650 GWp

■ Technisches Potenzial

Kulturen Kategorie +/- :

~1,2 Mio. ha \triangleq 600 GWp

■ Erschließbares Potenzial

10% des technischen
Potenzials:

~0,12 Mio. ha \triangleq **60 GWp**

■ Installierte Leistung (Dtl.): 43 GWp PV Ende 2017

■ APV könnte Anteil PV-Strom von 7,2% auf ca. 17% steigern.

AGENDA

- Problem
- Agrophotovoltaik als Lösung
- **Die Pilotanlage**
- Forschungsergebnisse

Die Pilotanlage

- Installation: 2016 in Heggelbach
- Region: Bodenseekreis
- Länge: 136m
- Breite: 25m
- Fläche: ca. 1/3 ha
- Höhe: 8m
- Durchfahrtshöhe: 5m
- Installierte Leistung: 194 kWp
- Fruchtfolge: Klee gras, Sellerie, Kartoffeln und Winterweizen



Quelle: Fraunhofer ISE

Die Pilotanlage

Technische Besonderheiten

- Patent zur Optimierung von PV- und Photosynthese-Erträge
- Bifaziale Module
- Spinnanker und Rammschutz
- Große Stützenabstände (12 und 19 Meter)
- Flächenverluste durch Unterkonstruktion: ca. 8%
- Eigenverbrauch aktuell 44 %, zukünftig ca. 75 %



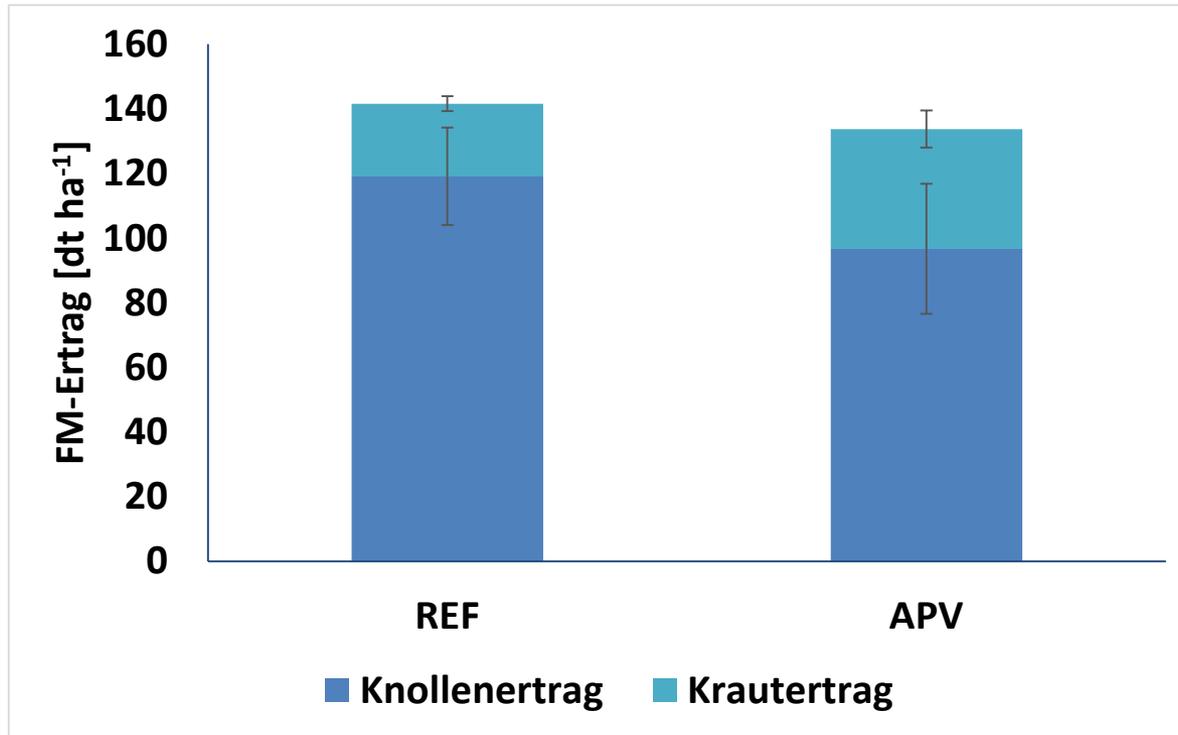
Ernte des Winterweizens unter der APV-Anlage

AGENDA

- Problem
- Agrophotovoltaik als Lösung
- Die Pilotanlage
- **Forschungsergebnisse**

Forschungsergebnisse

Landwirtschaftliche Erträge: Sellerie

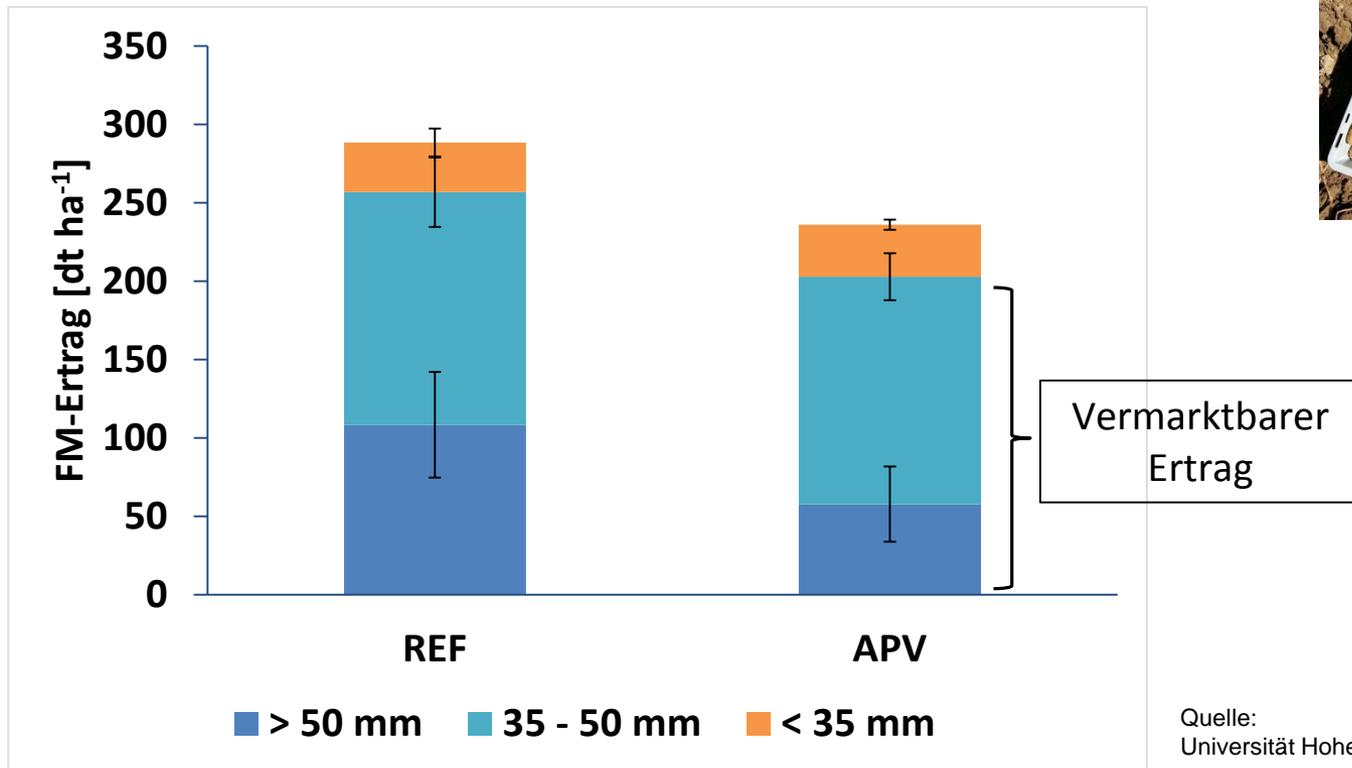


Quelle:
Universität Hohenheim

- Gesamtertrag um 5,6 % reduziert unter APV
- Knollenertrag um 18,9 % reduziert unter APV

Forschungsergebnisse

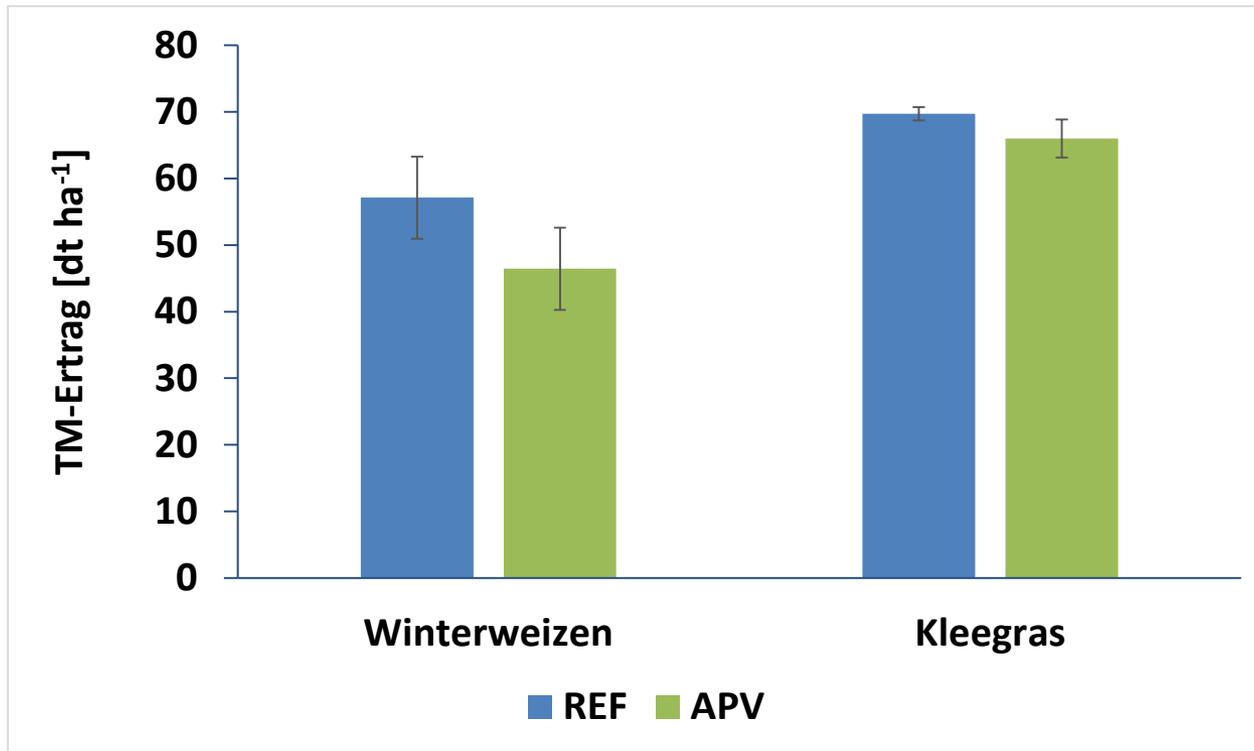
Landwirtschaftliche Erträge: Kartoffel



- Gesamtertrag um 18,2 % reduziert unter APV
- Anteil Knollen >50 mm war unter APV geringer

Forschungsergebnisse

Landwirtschaftliche Erträge: Winterweizen und Klee gras



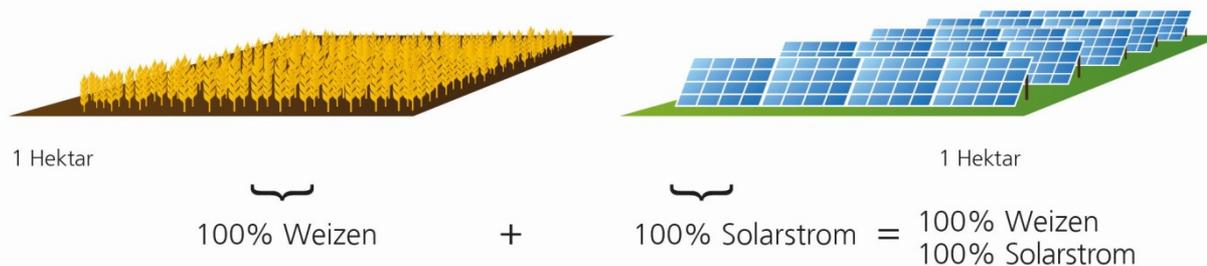
Quelle:
Universität Hohenheim

- Winterweizen: Ertragsrückgang um 18,7 % unter APV
- Klee gras: Ertragsrückgang um 5,3 % unter APV (4 Schnitte)
- Fazit: APV ist praxistauglich → zusätzlich Solarstrom-Ernte!

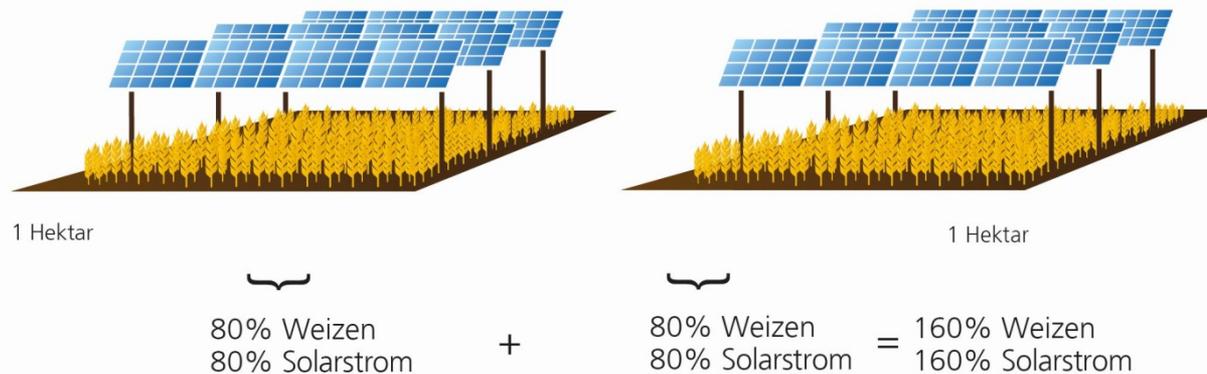
Forschungsergebnisse

Steigerung der Landnutzungseffizienz

Getrennte Flächennutzung auf 2 Hektar Ackerland



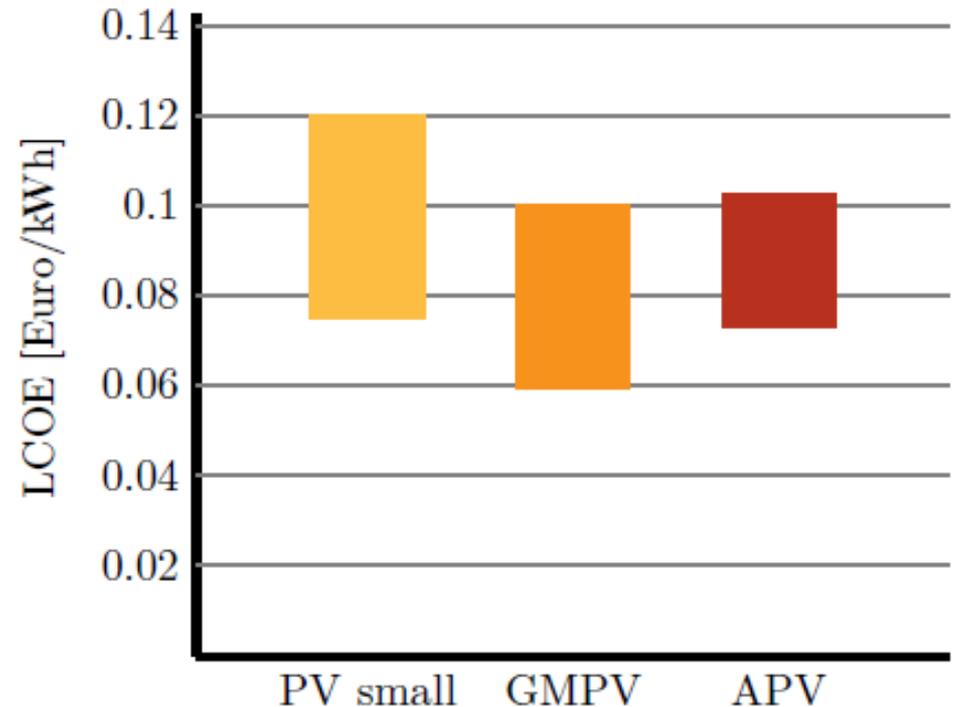
Gemischte Flächennutzung auf 2 Hektar Ackerland: Effizienz > 60% gesteigert



Forschungsergebnisse

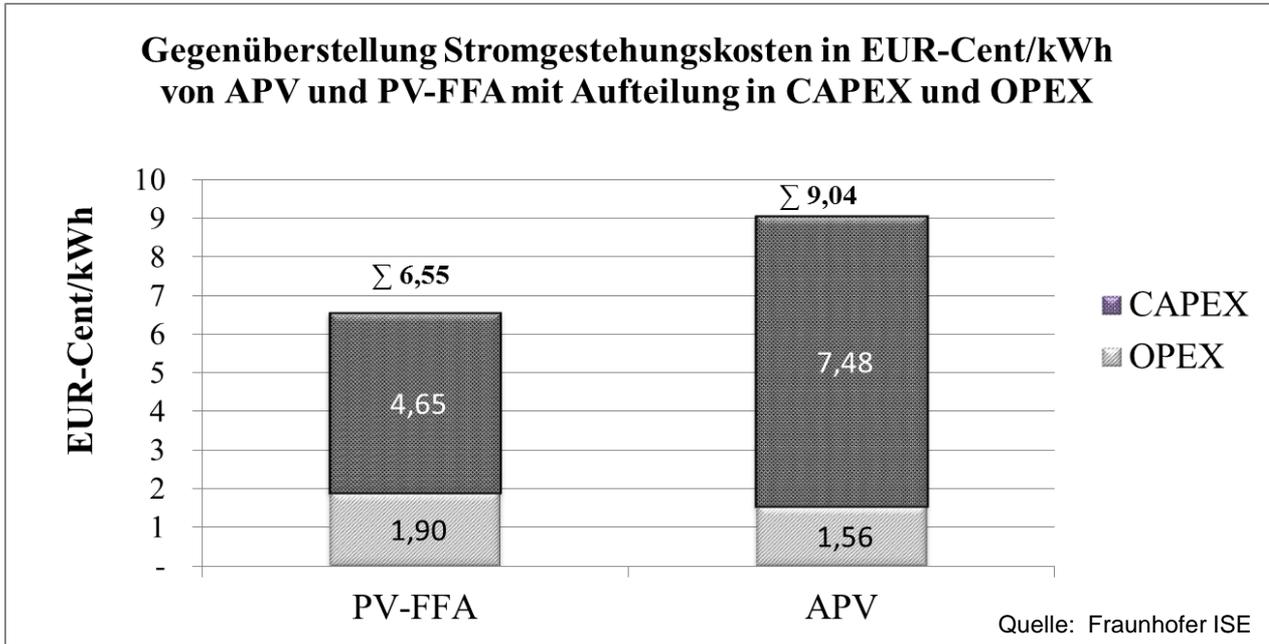
Ökonomische Betrachtung von APV

- Kosten ca. 20 – 70 % über Freiflächenanlagen
- Konkurrenzfähig mit Dachanlagen
- Installationskosten durch UK höher
- Laufende Kosten niedriger



Forschungsergebnisse

APV Levelized Cost of Electricity im Vergleich zu PV-FFA



- Annahmen:
 - Fläche: 2 ha
 - PV-FFA: 1,38 MWp
 - APV: 1,04 MWp
 - Solareinstrahlung: 1.209 kWh/m²/a

- Ergebnisse aus der Fallstudie Heggelbach:
 - APV-LCOE > ca. 1/3 höher als PV-FFA
 - APV-OPEX < als PV-FFA wegen Synergieeffekte

VERTRAULICH

Forschungsergebnisse

Vision: weitere Synergien

- Erhöhung der Wertschöpfung im Ländlichen Raum
- Integrierte Bewässerungssysteme
- Unwetterschutz (Dürre, Hagel, Frost...)
- APV als Maßnahmen gegen Desertifikation / Begrünung der Wüste
- Fluchtursachenbekämpfung
- APV als „Sprungbrett“ für Smart Farming

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
ISE

Max Trommsdorff

maximilian.trommsdorff@ise.fraunhofer.de

www.agrophotovoltaik.de

www.ise.fraunhofer.de

Schnittstelle PV- und Landwirtschaftssector im Kontext der EEG-Novellen

PV-Freiflächenanlagen

- Sehr wettbewerbsfähig und ökonomisch
- Verbrauchsnahe Stromerzeugung
- Großes Wertschöpfungspotential im ländlichen Raum
- Deutschland ist netto Energieimporteur

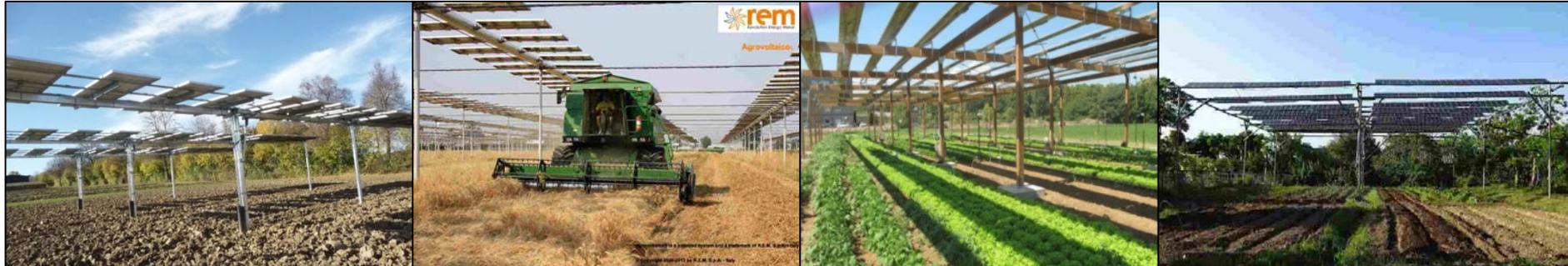
Landwirtschaft

- Steigender ökonomischer Druck auf Landwirtschaft
- Belastung der Umwelt nimmt stetig zu
- Verlust von traditioneller Kulturlandschaft
- Deutschland ist netto Nahrungsmittelimporteur



- EEG-Novelle 2010 schränkt Bau von PV-Freiflächenanlagen ein
- EEG-Novelle 2014 schränkt Bau von Biogasanlagen ein
- EEG-Novelle 2016 erweitert Flächenkulisse für PV, aber nicht für APV
- Andere Nationen fördern bereits APV-Freiflächenanlagen

Stand der APV-Technik



(A)

(B)

(C)

(D)

- (A) Bayern, Hochschule Weihenstephan, ca. 30 kWp, 2013
- (B) Italien, R.E.M. Spa, ca. 3 MWp, 2011
- (C) Frankreich, INRA, Universität Montpellier, ca. 50 kWp, 2010
- (D) Japan, Solar Sharing, Ministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei, Akira Nagashima, 2013

Stand der APV-Technik



(E)

(F)

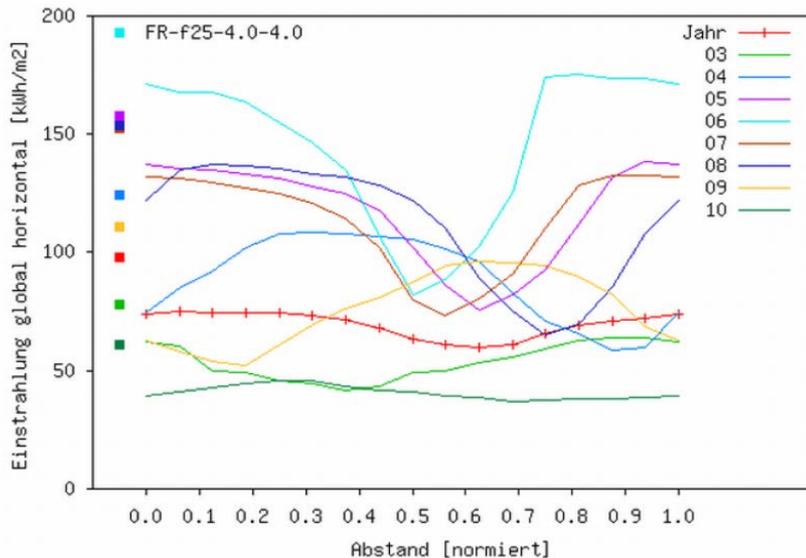
(G)

(H)

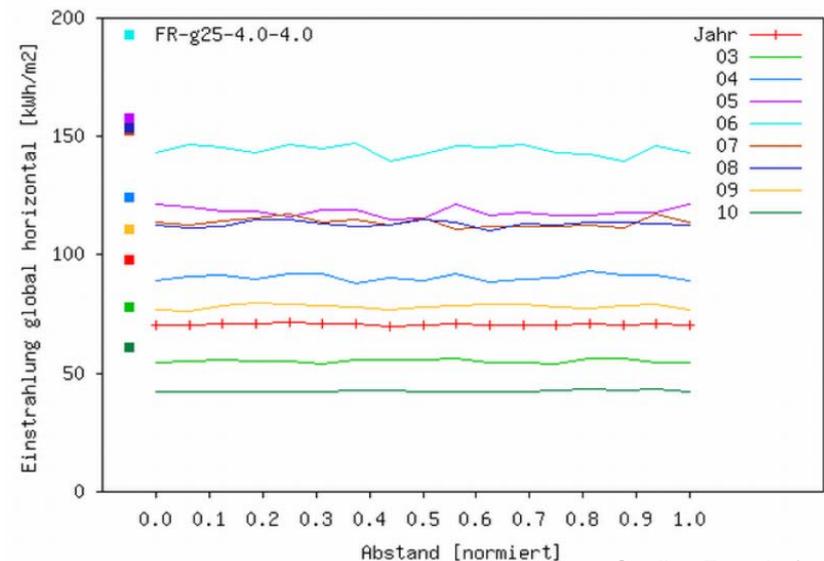
- (E) Italien, Villa Crespia Muratorio, Edgar Gimbel, Weinbau, 2011
- (F) Frankreich, Straßburg, 300 kWp, Edgar Gimbel, 2016
- (G) Deutschland, Heggelbach, 194 kWp, Fraunhofer ISE, 2016
- (H) China, Ningxia, 700 MWp, Huawei, 2016
- Weitere Anlagen sind in Chile, Katar, USA und Ostafrika geplant

Systemtechnik - Optimierung

Südausrichtung



Südwestausrichtung

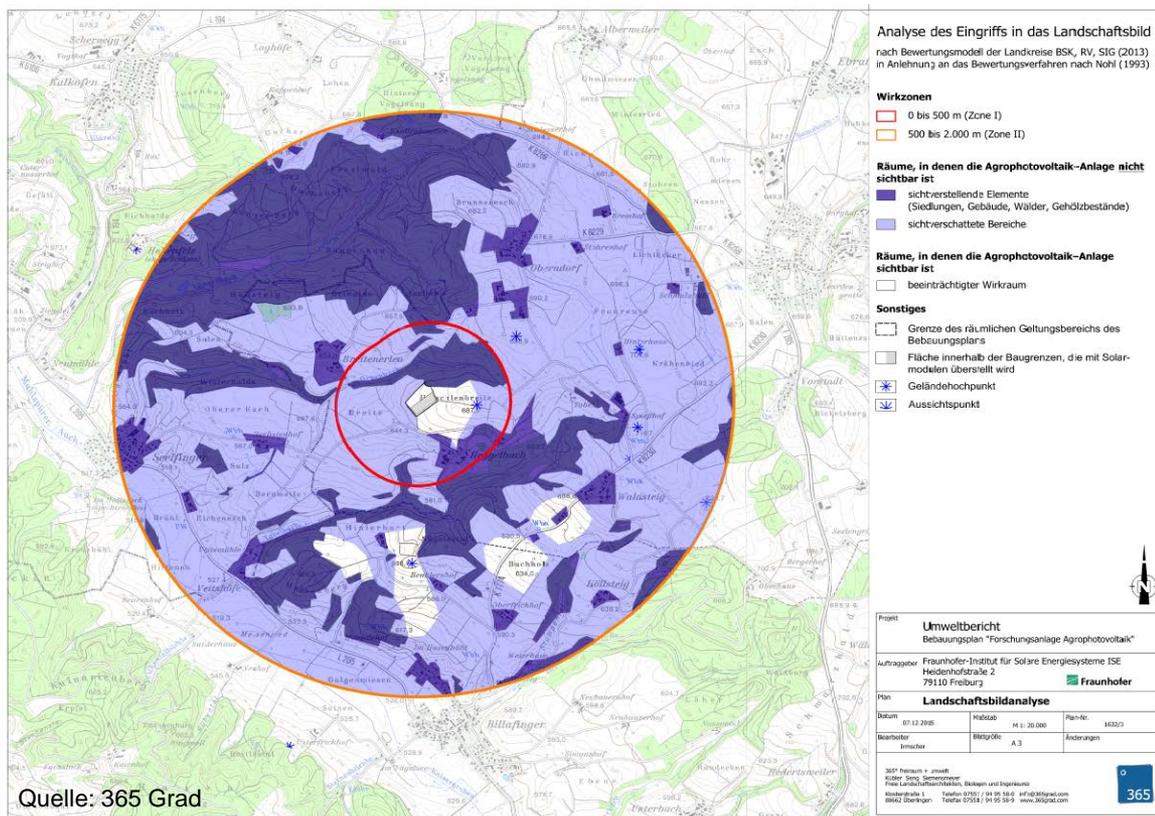


Quelle: Fraunhofer ISE

- Strahlungssimulationen ergaben: gleichmäßige Verteilung der Einstrahlung bei vom Optimum abweichender PV-Anlagenausrichtung
- Gleichmäßige und ausreichende Einstrahlung ist wichtig für Pflanzen
- Elektrische Ertragseinbußen durch Abweichung vom Optimum ca. 5 %
- Entlastung Stromnetze, da Erzeugung in Übergangszeiten

APV-Baugenehmigungsverfahren Besonderheiten

- ...im Verhältnis zu WKA, KKW, Wasserkraft und Biogas aber gering



Investitionskosten PV und WKA in Deutschland

- PV-FFA werden die günstigste Stromerzeugungsquelle
- Wettbewerbsfähigkeit ohne EEG-Förderung?!



Quelle: DIW / Eigene Darstellung