

# Agri-Photovoltaik

- Sonne für Pflanzen und Energieerzeugung  
auf der gleichen Fläche



Bay.wa.re



<https://agri-pv.org/de/>



Dupraz et al. 2011



(NCSL, 2020)

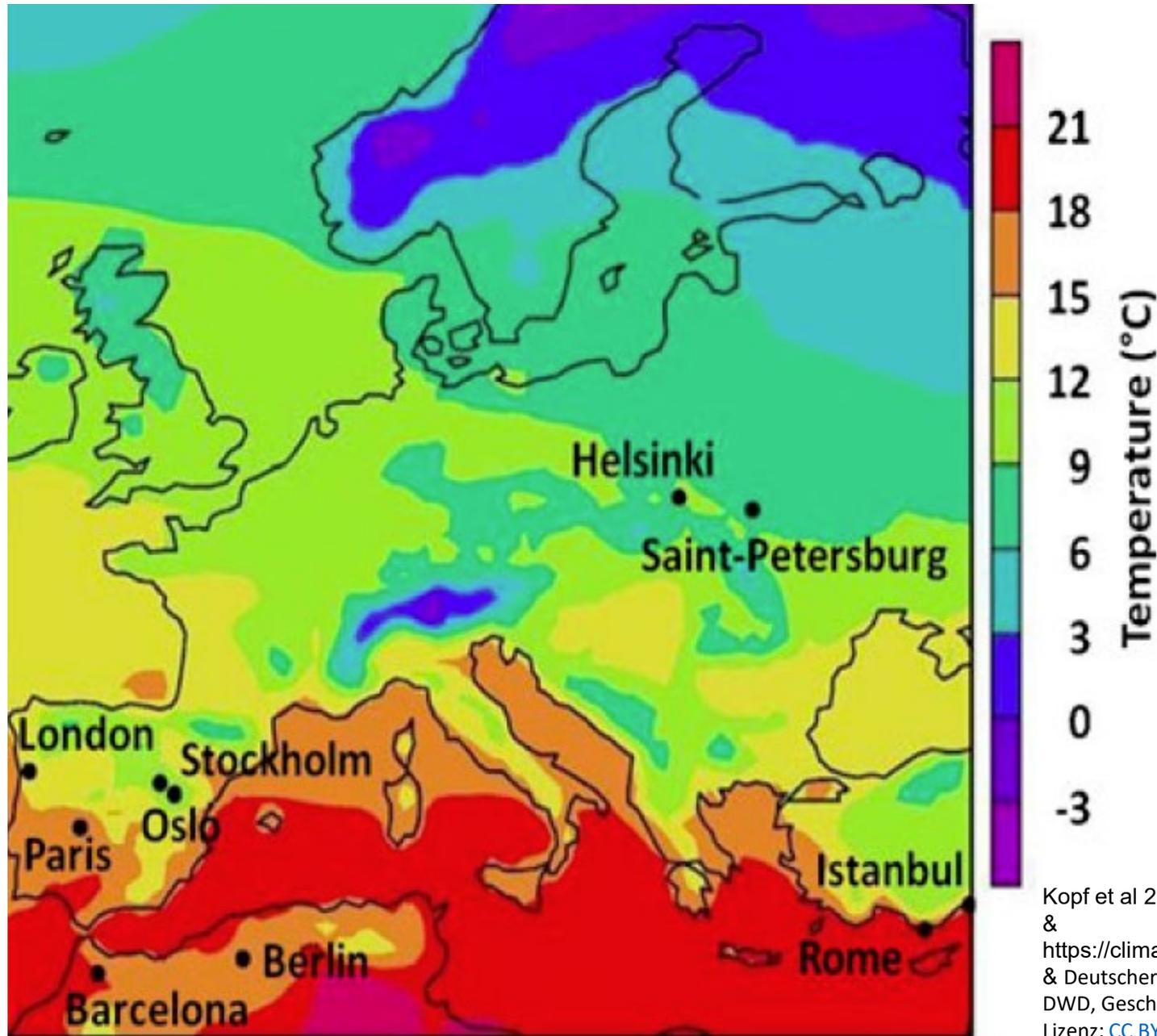


Fa. Brite Solar, Griechenland

Prof. Dr. sc. agr. habil. Kerstin Wydra  
Pflanzenproduktion im Klimawandel  
Fachhochschule Erfurt  
Solarinput e.V., Mitglied AbL

# Klimawandel

# Mittlere Temperaturen 1961-1990 & Prognose 2100



**2020:**

**Global +1,3°C**

**D + 2,3°C**

12 Monate bis Mai 2020 vergl. mit  
1881-1910

Kopf et al 2008

&

<https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-may-2020>

& Deutscher Wetterdienst (2021): [Klimastatusbericht Deutschland Jahr 2020](#).

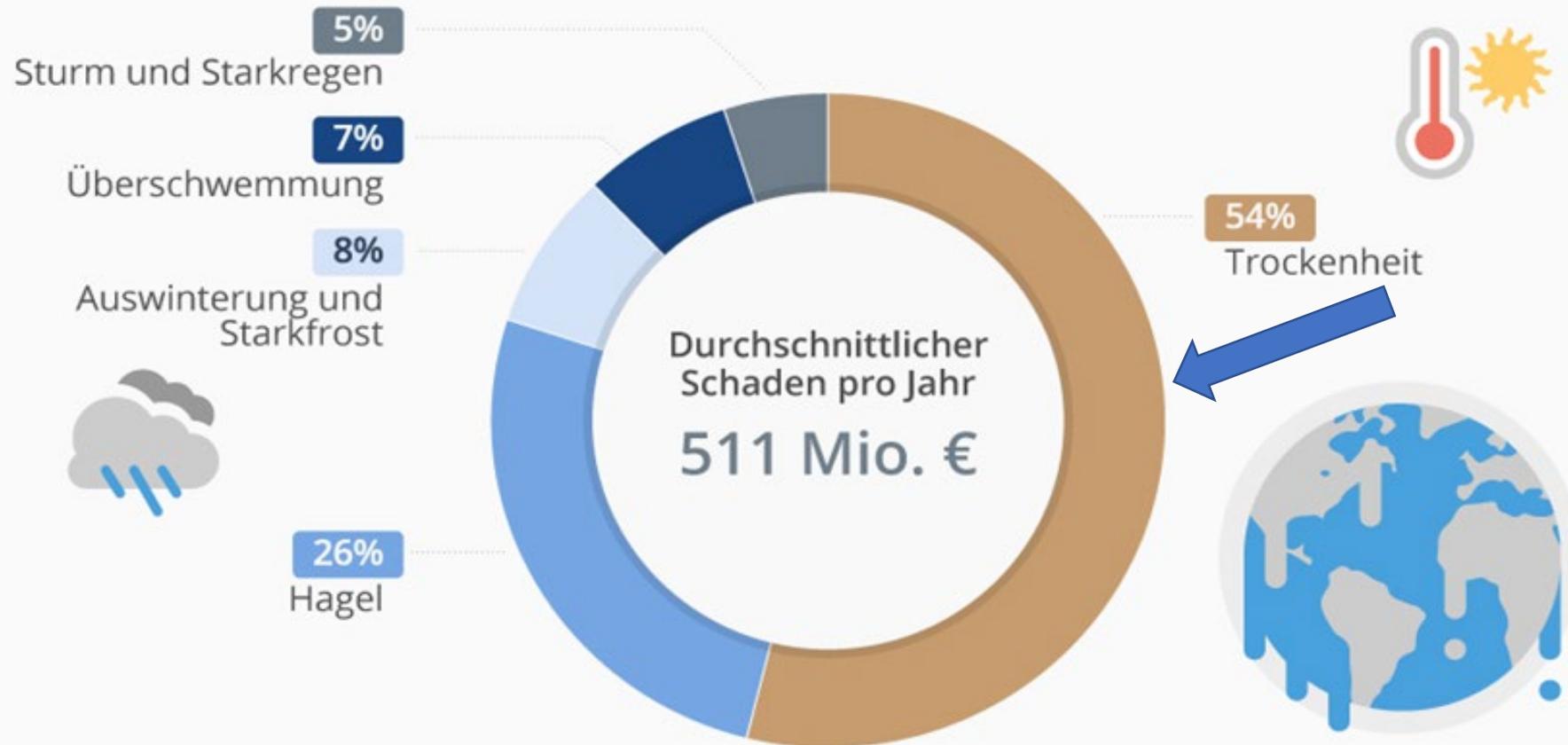
DWD, Geschäftsbereich Klima und Umwelt, Offenbach

Lizenz: [CC BY-NC](#)

Landwirtschaft

# Ernteschäden durch Wetterextreme in D

Schadenaufwand in der Landwirtschaft durch Wetterextreme in Deutschland 1990–2013



# Ernteschwankungen und -Verluste in Thüringen

<b>Obst</b>	Ertrag 2020	Ertrag 2021	Änderung zum Vorjahr	Mittel 2015/2020	Änderung zum Mittel 2015/2020
Kulturart	dt/ha	dt/ha	%	dt/ha	%
Apfel	162	258	60	279	-8
Süßkirsche	38	51	34	67	-24
Sauerkirsche	67	91	36	96	-6
Pflaume/ Zwetschge	107	74	-31	131	<b>-44</b>
Mirabelle/ Reneklode	100	110	10	118	-7
Erdbeeren	90	70	-22	91	-23

**Obst (2020: 22-51%)**

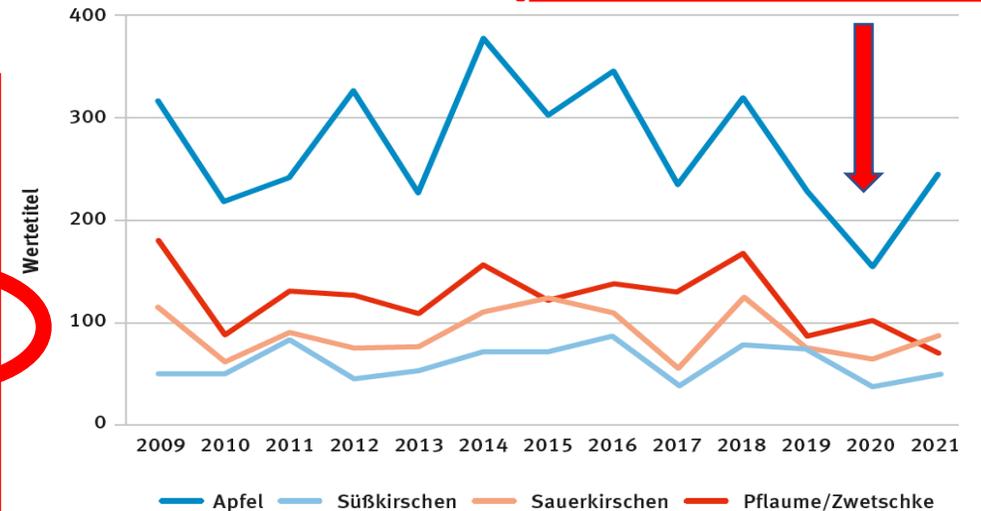


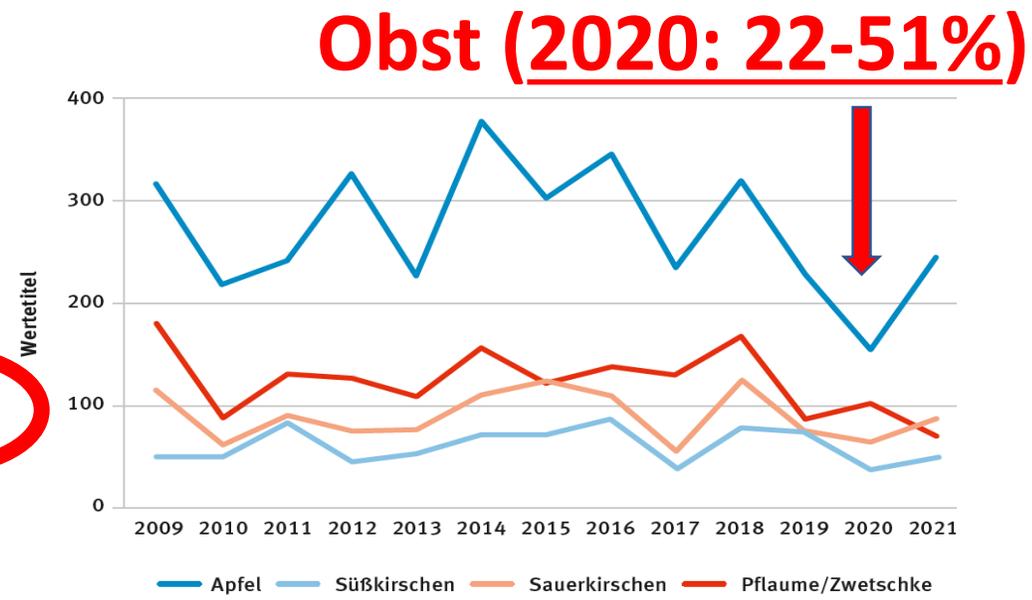
Abbildung 3: Ertragsverlauf bei ausgewählten Obstarten seit 2009

Quelle: TLS, erstellt TLLLR/LVG, Ref. 41

**Wein -30-50%**

# Ernteschwankungen und -Verluste in Thüringen

Kulturart	Ertrag 2020	Ertrag 2021	Änderung zum Vorjahr	Mittel 2015/2020	Änderung zum Mittel 2015/2020
	dt/ha	dt/ha	%	dt/ha	%
Apfel	162	258	60	279	-8
Süßkirsche	38	51	34	67	-24
Sauerkirsche	67	91	36	96	-6
Pflaume/ Zwetschge	107	74	-31	131	<b>-44</b>
Mirabelle/ Reneklode	100	110	10	118	-7
Erdbeeren	90	70	-22	91	-23



Fruchtart	vorläufig				
	Anbaufläche	Ertrag	Erntemenge	Änderung Erntemengen 2021 in % zu	
	ha	dt/ha	t	Ø 2015/20	2020
Winterweizen	201.092,29	74,00	1.488.083	-7,0	-7,0
Sommerweizen	1.730,17	57,77	9.995	-51,2	<b>-29</b>
Hartweizen	10.069,35	62,02	62.450	93,0	40,0
Winterroggen	10.220,54	58,50	59.790	6,7	-17,4
Wintergerste	71.634,81	78,00	558.752	6,1	13,5
Sommergerste	31.003,59	58,00	179.821	5,1	-7,5
Hafer	6.975,66	40,80	28.461	54,7	1,2
Sommernenggetreide	107,94	39,67	428	0,3	-8,9
Triticale	11.727,17	59,00	69.190	-9,4	-0,5
<b>Getreide gesamt (ohne Körnermais/CCM)</b>	<b>344.561,53</b>	<b>71,31</b>	<b>2.456.970</b>	<b>-1,8</b>	<b>1,4</b>
Winterraps	102.479,15	33,50	343.305	-6,9	<b>0,1</b>

Wein -30-50%

**-51**

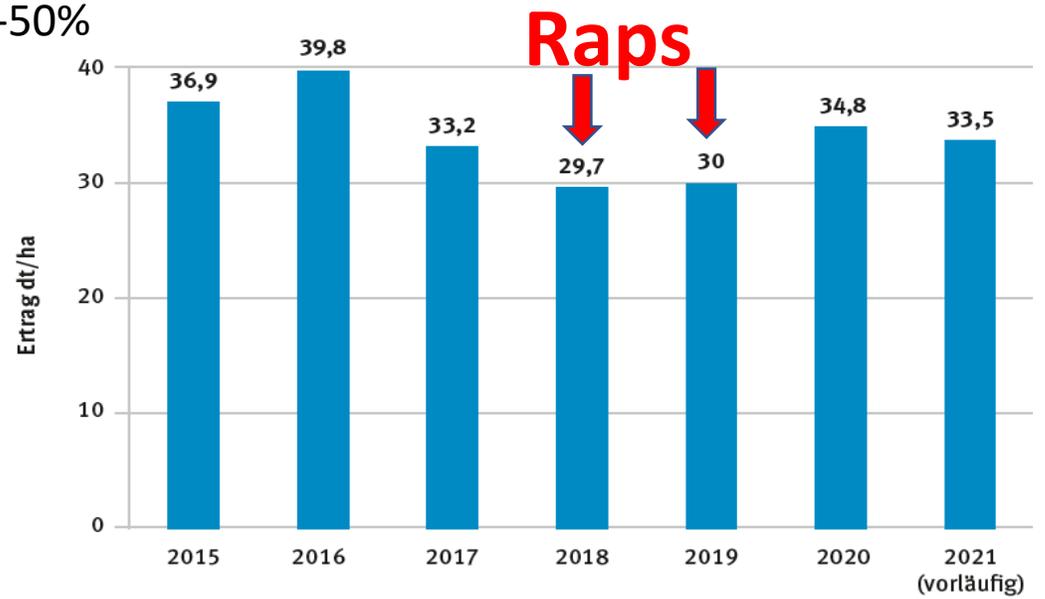
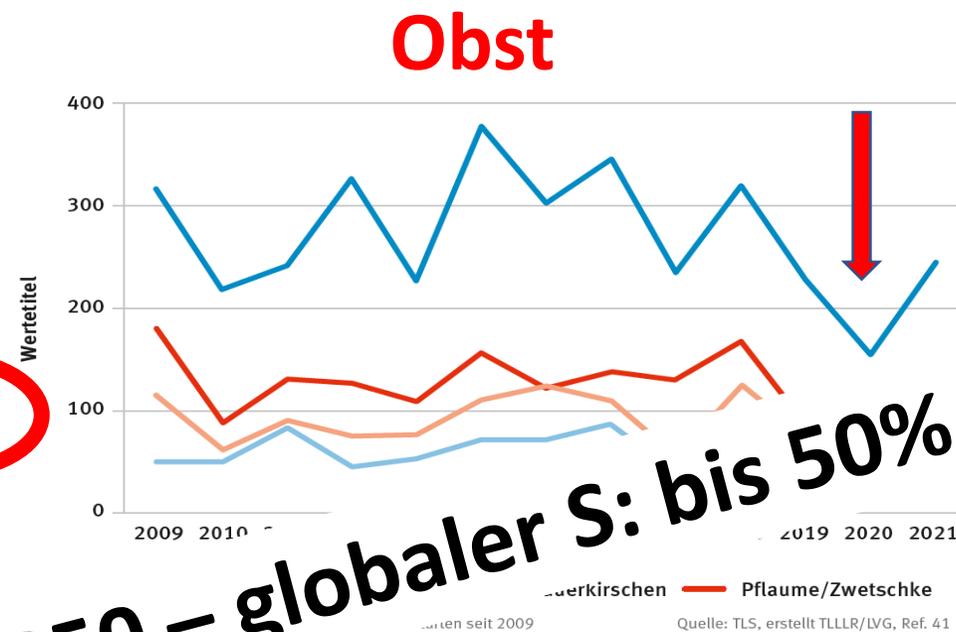


Tabelle 1: Zusammenstellung des ersten vorläufigen Ergebnisses der Besonderen Ernte- und Qualitätsermittlung 2021 (Stand 23.08.2021) Quelle: Thüringer Landesamt für Statistik/Statistisches Bundesamt; 2021

# Ernteschwankungen und -Verluste in Thüringen

Kulturart	Ertrag 2020	Ertrag 2021	Änderung zum Vorjahr	Mittel 2015/2020	Änderung zum Mittel 2015/2020
	dt/ha	dt/ha	%	dt/ha	%
Apfel	162	258	60	279	-8
Süßkirsche	38	51	34	67	-24
Sauerkirsche	67	91	36	96	-6
Pflaume/ Zwetschge	107	74	-31	131	<b>-44</b>
Mirabelle/ Reneklode	100	110	10	118	-7
Erdbeeren	90	70	-22	91	-23



Fruchtart	vorläufig			
	Anbaufläche	Ertrag	Erntemenge	Änderung Erntemengen 2021 in % zu Ø 2015/20
<b>Getreide</b>	ha	dt/ha	t	%
Winterweizen	201.092,29	74,00	1.488.000	40,0
Sommerweizen	1.730,17	57,77		
Hartweizen	10.069,35	62,02		
Winterroggen	10.220,54	58,50		6,7
Wintergerste	71.634,81	78,00	558.752	6,1
Sommergerste	31.003,59	58,00	179.821	5,1
Hafer	6.975,66	40,80	28.461	54,7
Sommernenggetreide	107,94	39,67	428	0,3
Triticale	11.727,17	59,00	69.190	-9,4
<b>Getreide gesamt (ohne Körnermais/CCM)</b>	<b>344.561,53</b>	<b>71,31</b>	<b>2.456.970</b>	<b>-1,8</b>
Winterraps	102.479,15	33,50	343.305	-6,9

**Ertragsverluste bis 2050 – globaler S: bis 50%**

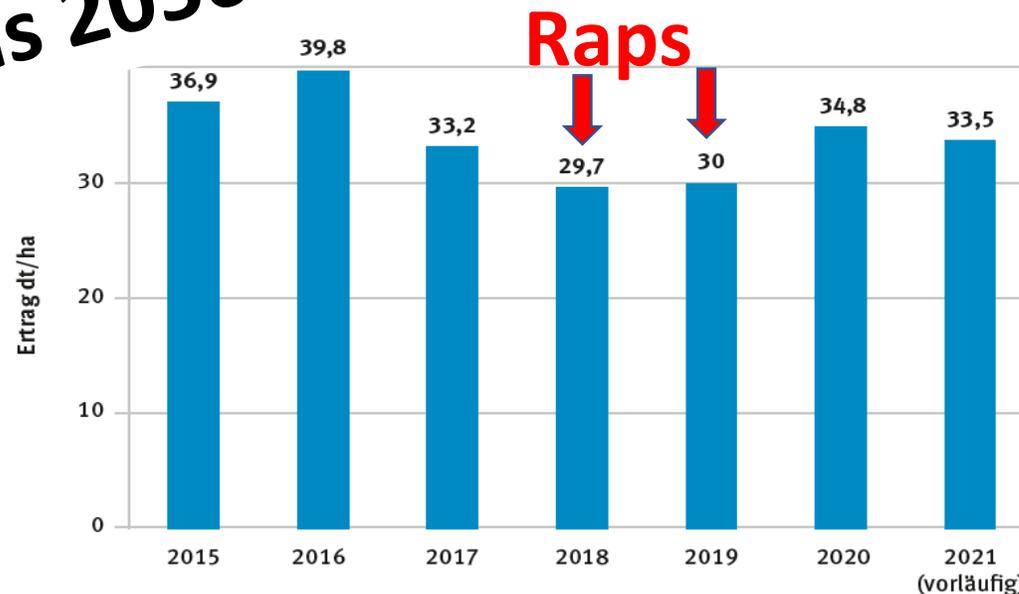
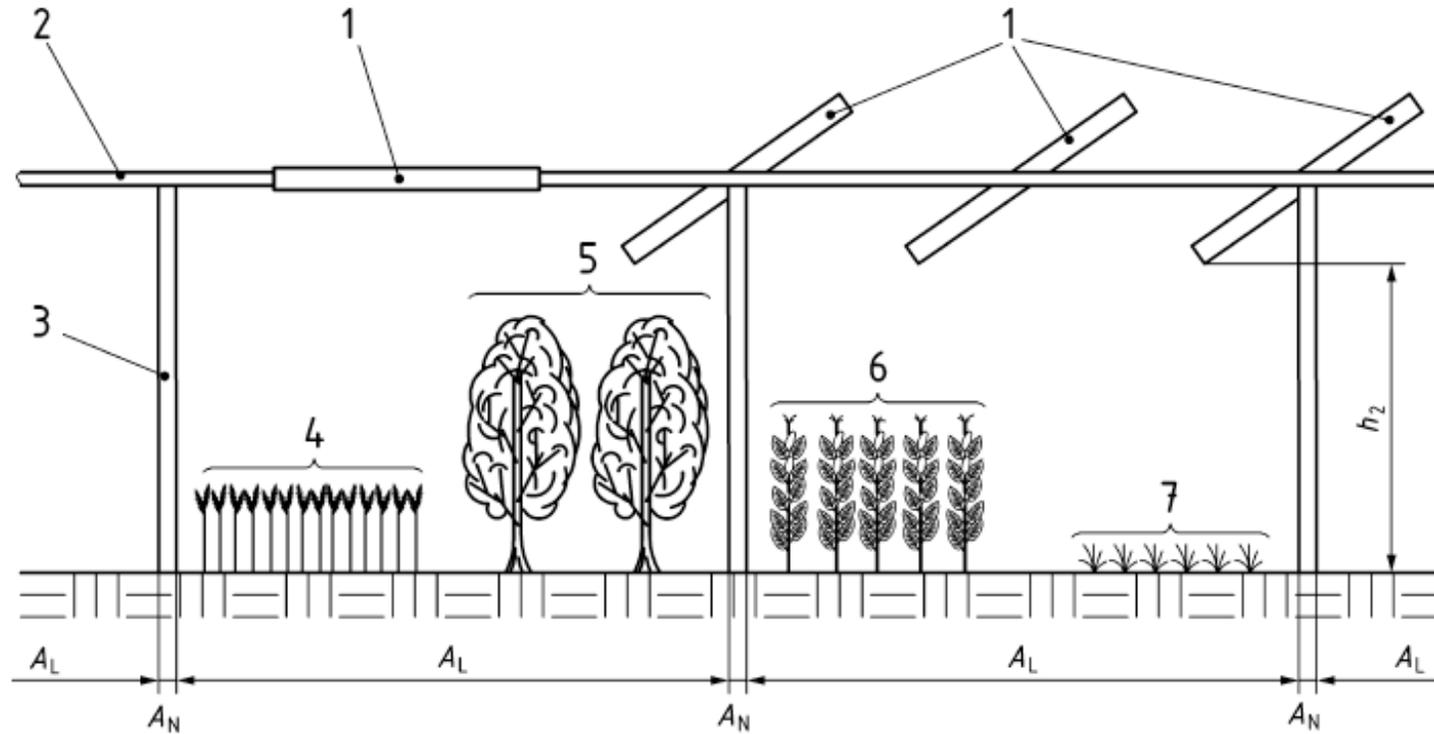


Tabelle 1: Zusammenstellung des ersten vorläufigen Ergebnisses der Besonderen Ernte- und Qualitätsermittlung 2021 (Stand 23.08.2021)  
Quelle: Thüringer Landesamt für Statistik/Statistisches Bundesamt; 2021

Abbildung 2: Entwicklung der Kernerträge von Winterraps in Thüringen  
Quelle: Statistisches Bundesamt/BMEL

... Agri-Photovoltaik

# Agri-Photovoltaik DinSpec Kategorie I Hochaufgeständert



## Legende

- $A_L$  landwirtschaftlich nutzbare Fläche
- $A_N$  landwirtschaftlich nicht nutzbare Fläche
- $h_2$  lichte Höhe über 2,10 m
- 1 Beispiele zu Solarmodulen
- 2 Verstrebung
- 3 Aufständering
- 4 bis 7 Beispiele landwirtschaftlicher Kulturen

DIN SPEC 91434:2021-5

# Agri-Photovoltaik - Anbau unter PV Modulen



## ■ Vorteile:

- doppelte Flächennutzung
- Schutz der Anbauprodukte vor Witterungsschäden
- Höhere Erträge - besonders in Trockenjahren
- Stromerträge
- Steigerung der Moduleffizienz



## Experten sehen großes Potenzial für die Agrophotovoltaik

Bei einer Anhörung im baden-württembergischen Landtag mahnten vier Experten Bund und Länder, bessere Rahmenbedingungen für die Agrophotovoltaik zu schaffen.

08.10.2020 von  [Hinrich Neumann](#) 



Topagrar  
8.10.2020



Florian Reyer hat seit 2016 gute Erfahrungen mit der Agrophotovoltaikanlage gemacht. (Bildquelle: Neumann)

<https://www.topagrar.com/energie/news/experten-sehen-grosses-potenzial-fuer-die-agrophotovoltaik-12370116.html>

## Pilotanlage Heggelbach

- Konstruktion: 5 m Anhebung (Gesamthöhe: 8 m)
- Gesamtfläche: 2 ha, APV-Anlage auf ca. 0,3 ha
- 720 bifaziale PV-Module
- Installierte Leistg.: 194 kWp
- **572 kWp/ha**
- Ertrag 40% PV < Ref.-Anlage/ha
- 37,5% weniger photosynthetisch aktive Strahlung

### Untersuchte Nutzpflanzen:

- Winterweizen
- Sellerie
- **Kartoffeln (Ertrag teils  )**
- Klee gras



Quelle: Hofgemeinschaft Heggelbach

## Forschungsanlage Weihenstephan-Triesdorf

- Konstruktion: 3,6 m Anhebung
- Gesamtfläche: 483 m<sup>2</sup>, APV-Anlage auf ca. 144 m<sup>2</sup>
- 90 PV-Module, 1-Achsen-Nachführungssysteme in Nord-Süd-Reihen mit bifazialen Modulen
- Installierte Leistung: **22 kWp**
- **455 kWp/ha**
- Ertrag 6% über Ref.-Anlage /ha
- 60% weniger photosynthetisch aktive Strahlung



### Untersuchte Nutzpflanzen:

- Chinakohl
- Lollo Rosso
- Kartoffeln

INSIDE Studie



# Beispiele

Europe PV News Snippets

## Germany's 'Largest' Agrivoltaic Project Approved

Apr 26, 2022

Apenburg 20 MWp APV, 34 ha  
599 kWp/ha



**Größe: bis zu 34 Hektar**

**Leistung: rund 20 Megawatt Strom/Jahr**

**Versorgung: Strom für > 5.000 Haushalte**

**Nutzung: 85 % der Fläche weiterhin für  
Landwirtschaft genutzt  
Reihenabstand 14m**

**CO2-Ersparnis: ca. 12.600 t pro Jahr**

**Biodiversität & Sichtschutz: Blühstreifen, Hecken**

**Stromkosten: Strom kann direkt vor Ort genutzt  
werden, Stromkosten sinken**

**Gemeinde: Gewinn - 1 Mio Euro/Jahr**

d &

IPV, 34 ha  
haft

# In Bayern starten erste Anlagen der Agri-Photovoltaik

18.05.2022 / Solarserver



Foto: Fraunhofer ISE

Anlage der Agri-PV: hier in Baden-Württemberg.

## Beispiele

**3 APV Projekte: 2,9 MWp**

**Innovationsausschreibung:  
Zuschlagswerte:  
3,95 bis 7,43 ct/kWh**

**Im Zuge der jüngsten Innovationsausschreibung entfiel die Hälfte der Zuschläge für besondere Solaranlagen auf Bayern. Drei Agri-PV-Projekte sind darunter.**

## Sonnenstrom und sonnengereifte Äpfel



Baden-Württemberg

### „Modellregion Agri-Photovoltaik Baden-Württemberg“

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft & Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz  
Fördert bis 2024 fünf Pilot-Anlagen zur Agri-PV in Baden-Württemberg

# Pilotanlagen Obstanbau

# Beispiele

August 2020



Quelle: BayWa r.e.



Beeren,  
Niederlande



Birnen

August 2020



Quelle: BayWa r.e.



Fruitvoltaic-Anlage:

- Solarstromquelle: **1,2 MWp**, mehr als 4.500 Solarmodule
- Strom für 400 Haushalte pro Jahr
- 4.500 Johannisbeersträucher
- **23 Tonnen Ernte** pro Jahr
- günstigere, niedrigere Temperaturen für Pflanzen (bis 10°C kühler)
- Schutz vor ungünstigen Wetterbedingungen
- Rückgang Pilzbefall
- Reduktion Abfall- und Investitionskosten



Birnen

## Agri-PV: Solares Riesengewächshaus lässt Beeren wachsen • 75% Sonnenschein

01.06.2021 ,



Foto: Karthaus

Die Panels des Gewächshauses sind lichtdurchlässig, etwa 75 Prozent des Sonnenscheins kommt bei den Pflanzen an.

Foto: Karthaus

- 2700 Module: **740kWp**, 660KVA Inverterleistung (6x 110KVA Huawei)
- **1700 kWp/ha**
- 580,000 Euro
- Smart: Windmaschinen, Nebelsprüher, Wassersammelschacht, smarte Bewässerungstechnik
- extreme Hitze abgehalten, Boden feucht & Kühl
- Hagelschutz
- **20% Mehrertrag Beeren**

## Murphy & Spitz: Agri-PV-Anlage mit 13 MW in Betrieb

26.09.2022



Foto: Murphy&Spitz

Die PV-Anlage in Weinheim liefert Solarstrom via PPA.

- **Weinheim**
- **Stromlieferung über PPA (Stromliefervertrag, Festpreis mit regionalem Energieversorger)**
- **13 MWp**
- **Module in 2-4m Höhe**
- **APV Anlage in < 2 Monaten zertifiziert**

## Steinicke: Solarstrom über dem Schnittlauchfeld



**Niedersachsen**

**10.000 qm LNF**

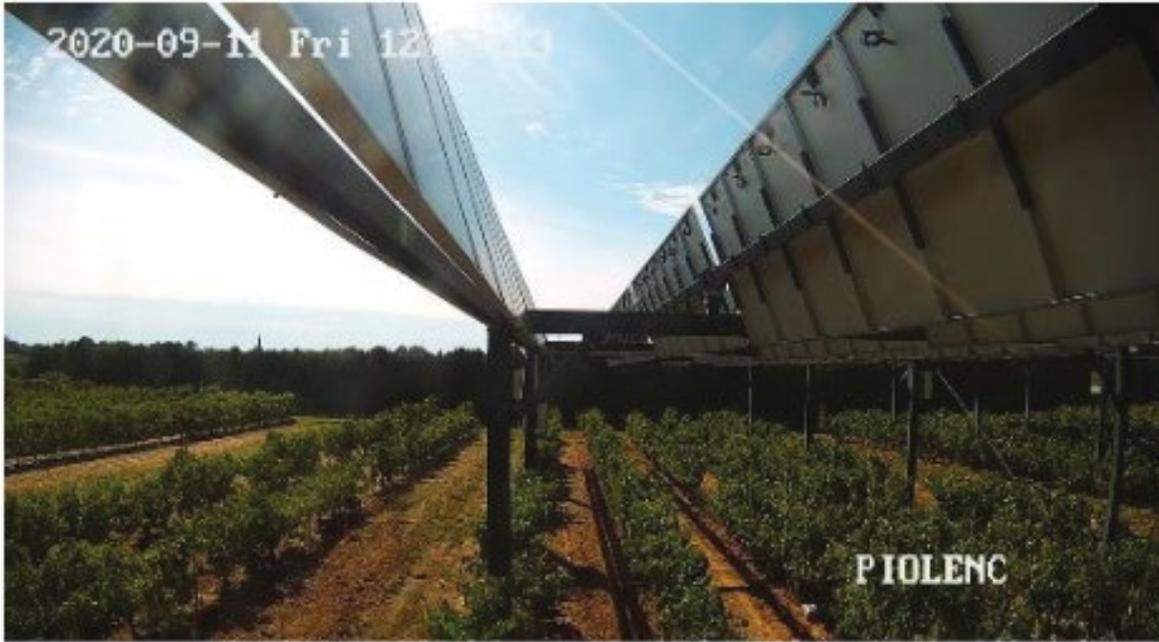
Aufn.: M. Lettenbichler

**NDR, 22.6.2022**



## **Dithmarschen: Landwirtschaft unter Photovoltaik-Paneelen**

- Blühwiesen, Heidelbeeren, Hühner...
- Paneelreihen mind. 4,50m Abstand
- Höhe maximal 3,50m
- Modulmix
- Investoren
- ohne Förderung
- Einspeisung ins Netz



SOURCE: SunAgri.

[https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2021/06/SPE-Agrisolar-Best-Practices-Guidelines.pdf?cf\\_id=41722](https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2021/06/SPE-Agrisolar-Best-Practices-Guidelines.pdf?cf_id=41722)



Bearbeitung mit konventionellen Geräten  
4m Höhe

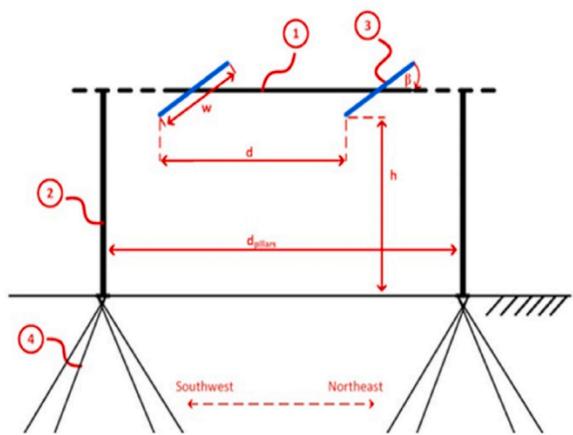
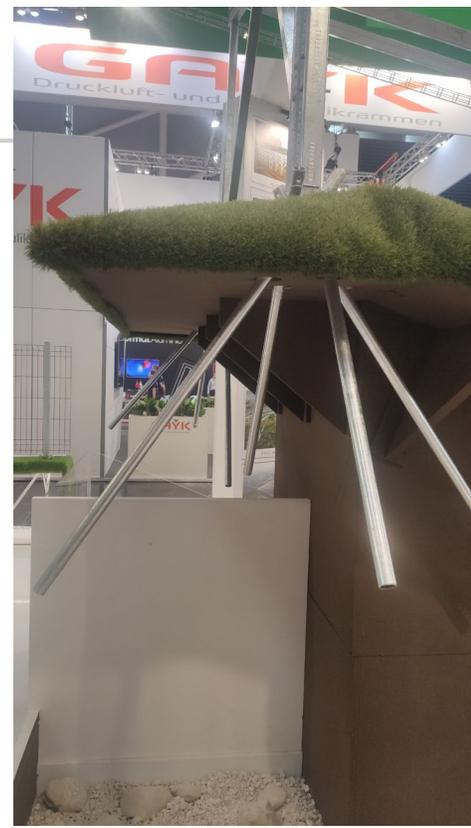
Montpellier, Frankreich

Dupraz et al. 2011

# Trends und Innovationen



Quelle: Adobe Stock



## Spinnanker



Source: Spinnanker

Fig. 1. Sketch of lateral view of an APV system. 1 = longitudinal beam, 2 = pillar, 3 = PV module, 4 = Spinnanker foundation;  $w$  = module width,  $\beta$  = tilt angle,  $d$  = row distance,  $d_{pillar}$  = width clearance,  $h$  = vertical clearance.



© G. Czaloun

## Südtirol

Abstand zwischen Pfeilern: 40m



HyPERFarm - Firma Krinner Carport GmbH

**Alternative Aufhängungssysteme auf Drahtseilbasis:**

Kostenverringerung gegenüber hochaufgest. APV-Konstruktion **90%** der BOS-Kosten

(Leitner 2020)

Durchfahrtsbreite 15m

**Abstand zwischen Pfeilern: 40m**

## Forschungsanlage HyPERFarm

Fa. Krinner Carport GmbH

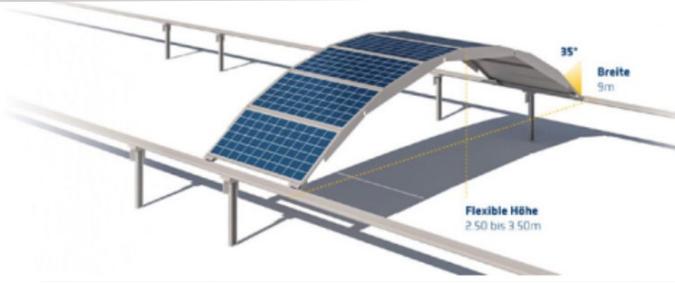


Juli 2022  
Straßkirchen

<https://agri-pv.org/de/>

## APV Anlage der Firma remtec



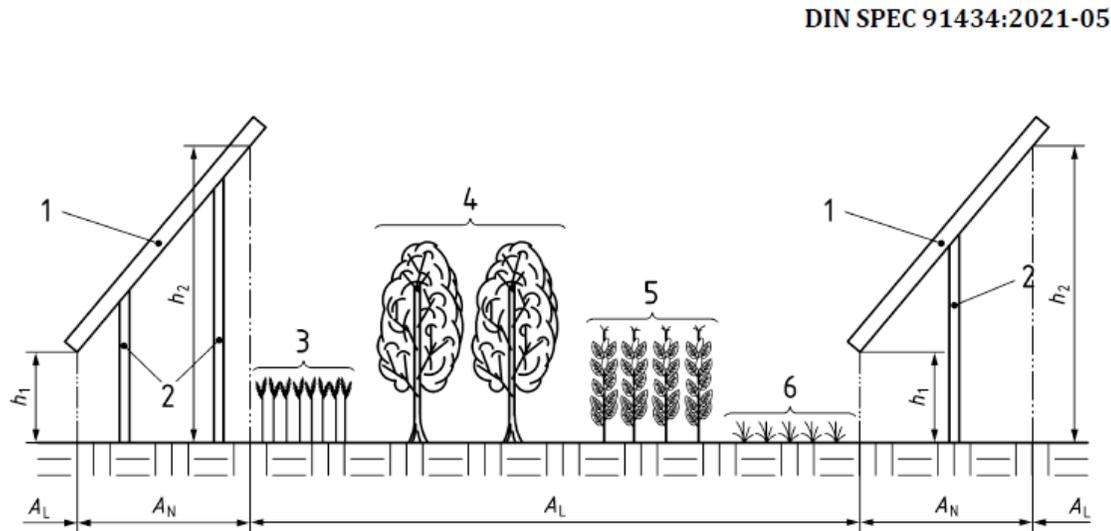


Firma GoldbeckSolar mit Tierhaltung (Goldbeck, o.J.).

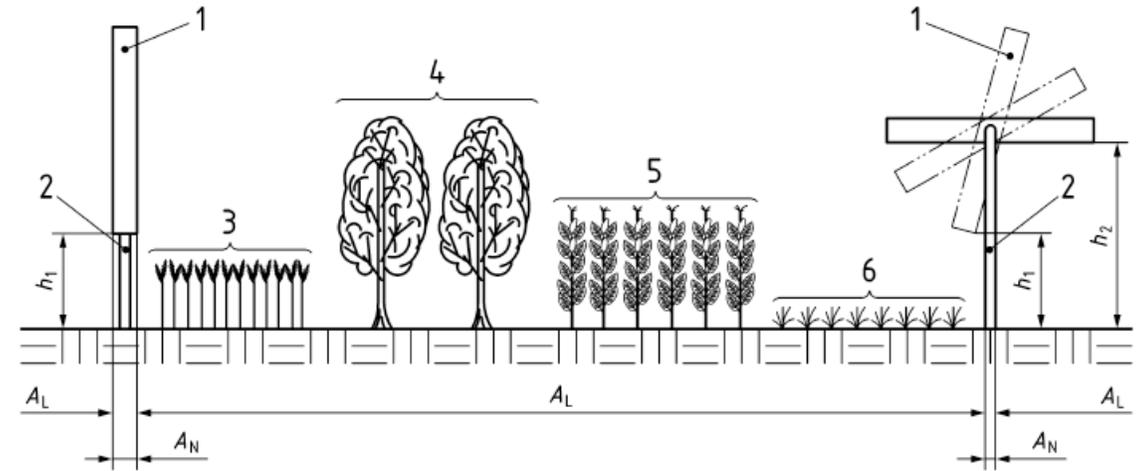
Bis zu 1,2 MWp/ha (!)

# Agri-Photovoltaik Kategorie II Bodennah

## Variante 1



## Variante 2



### 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 Aufständerung
- 3 bis 6 Beispiele landwirtschaftlicher Kulturen

# APV Bodennah - Anbau zwischen / unter

vertikal



- Bifaziale Module, vertikal,
- O-W-Ausrichtung, in N-S-Reihen
- **435-460 kWp/ha**
- 21% weniger photosynthetisch aktive Strahlung



# APV Bodennah - Anbau zwischen / unter

## Nachgeführte Anlagen / Tracking

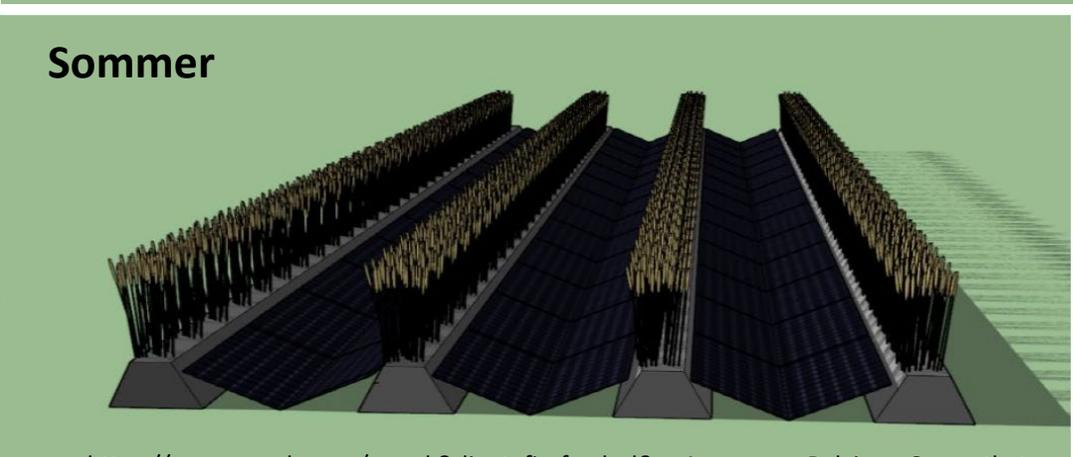
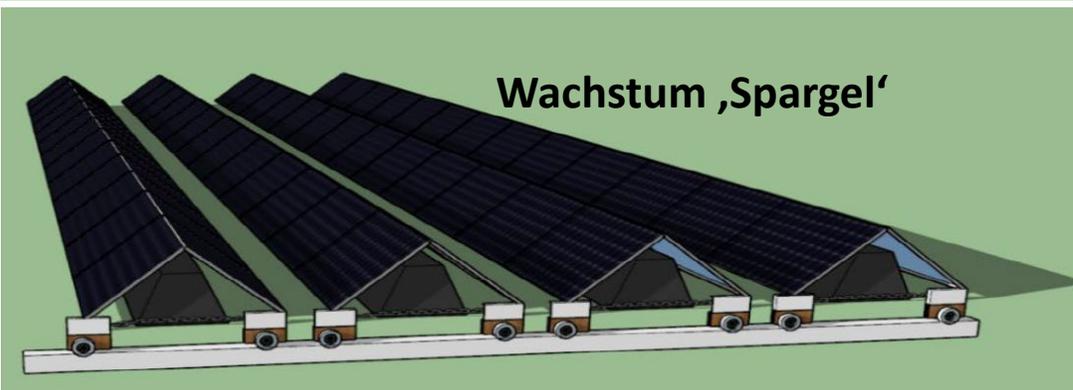
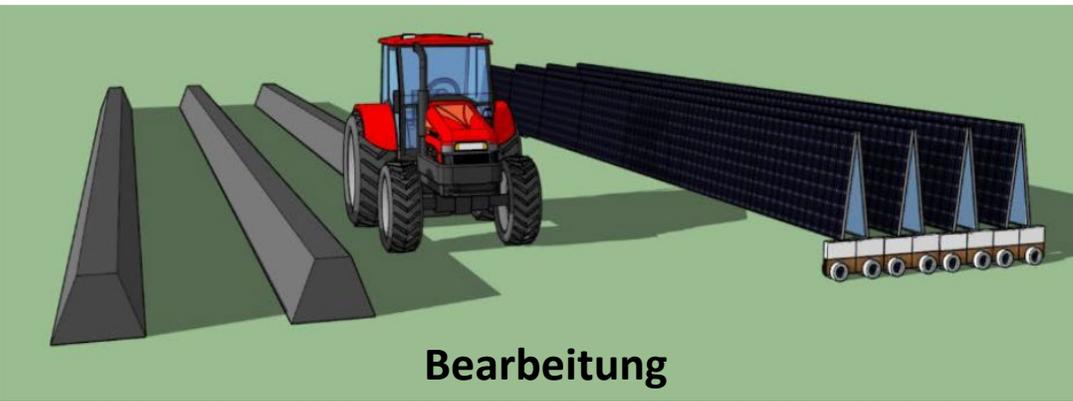
- Bewegliche Modultische
- Unterkante mind. 2,10m
- Reihenabstände entsprechend Maschinenbreite (vertikale Ausrichtung)
- Tracking: 30% höhere Stromerträge möglich
- Optimales Lichtmanagement
- Einachsig (horizontal/vertikal)
- Zweiachsig (horizontal+vertikal)



# APV Bodennah - Anbau zwischen / unter

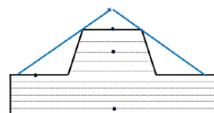
Schafhaltung,  
Gemüse ....





## Results: Energy yield

Depends on each situation during the year



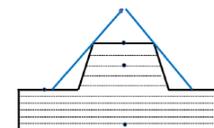
November – March

Tilt: 30°

Unshaded (E-W)

6kWp

780 kWh



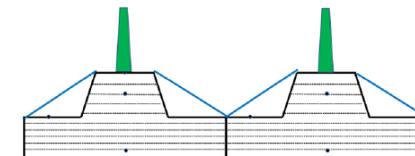
March – 24 June

Tilt: 45°

Unshaded (E-W)

6kWp

1820 kWh



24 June – November

Tilt 30°

Shaded

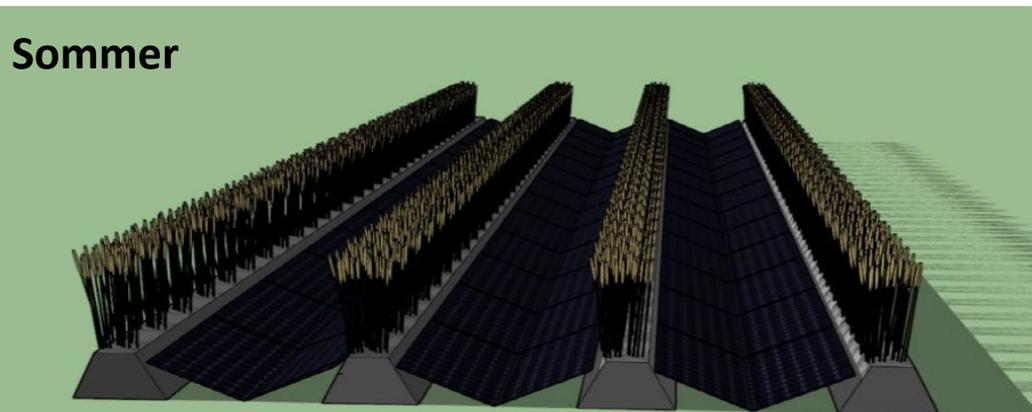
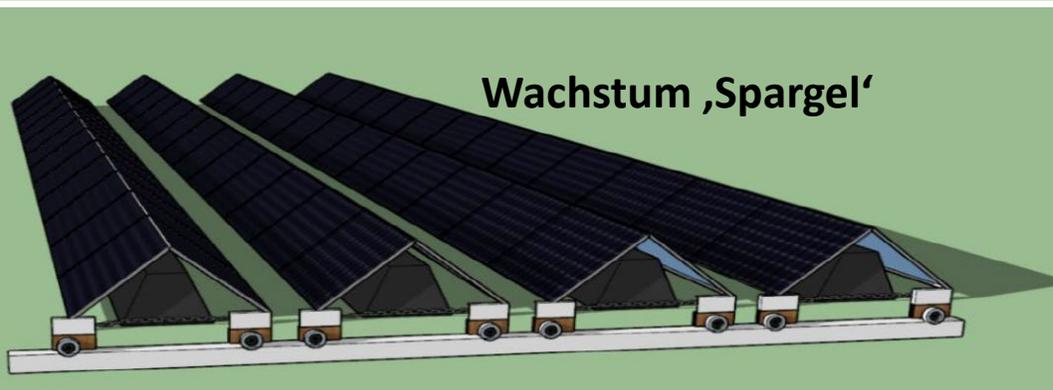
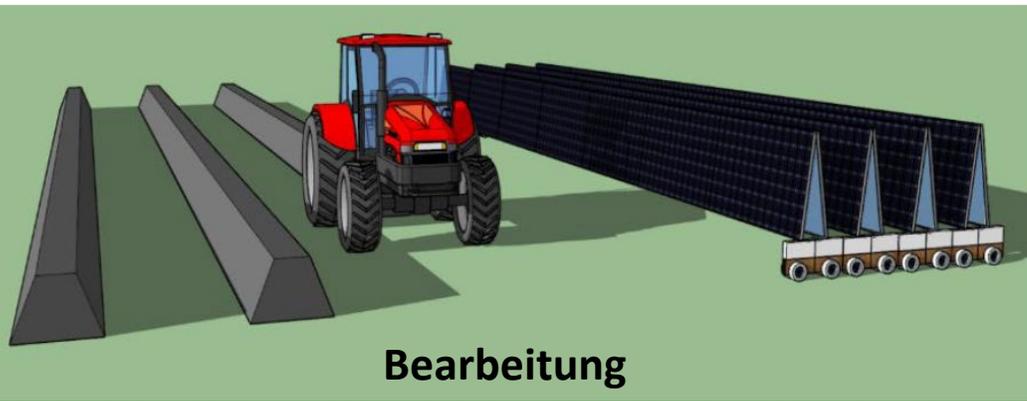
6kWp

790 kWh

470kWh/kWp/year

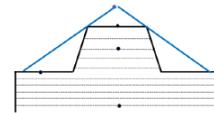
*In Belgium for 30° South (optimal)  
configuration: roughly 1000kWh/kWp/year*

## Variable Modulneigung



## Results: Energy yield

Depends on each situation during the year



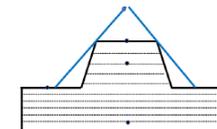
November – March

Tilt: 30°

Unshaded (E-W)

6kWp

780 kWh



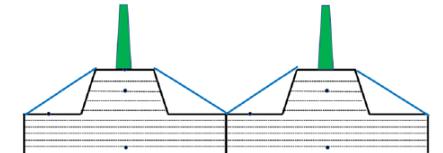
March – 24 June

Tilt: 45°

Unshaded (E-W)

6kWp

1820 kWh



24 June – November

Tilt 30°

Shaded

6kWp

790 kWh

470kWh/kWp/year

*In Belgium for 30° South (optimal)*

*configuration: roughly 1000kWh/kWp/year*

## Variable Modulneigung

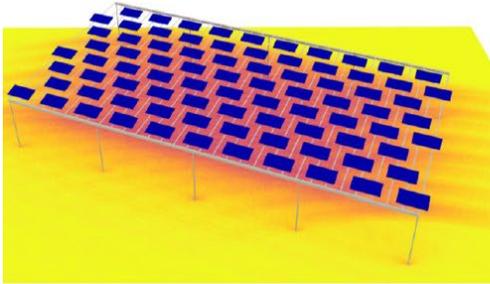
### Spargel-Konzept

- Räder-basiertes Design
- In Wachstumszeit: Domstruktur auf Dämmen

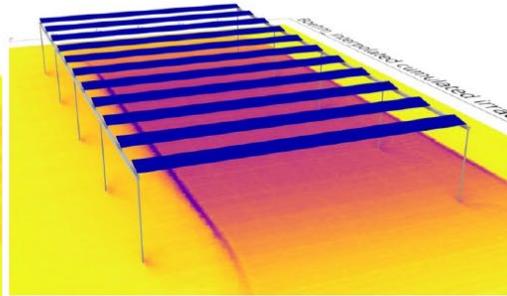
# Agriphotovoltaik - Modultechnik

# Modul Design & Technologie

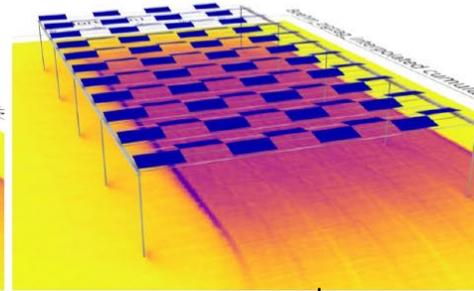
Chessboard pattern  
SSW orientation



East-oriented rows



Chessboard pattern  
EW orientation



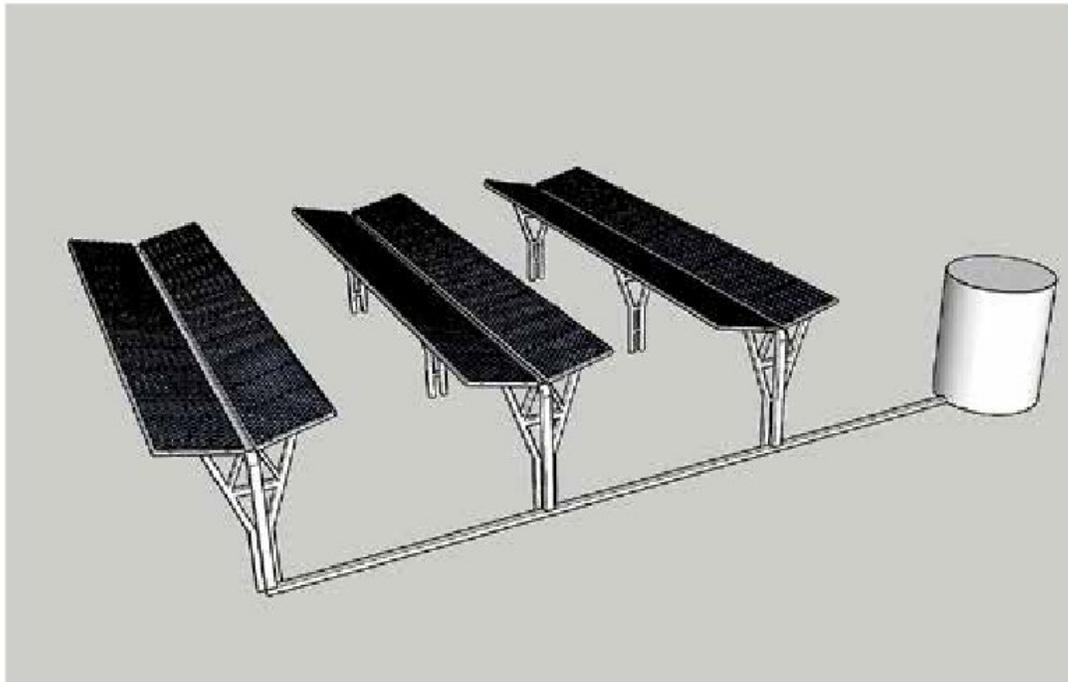
sbpsonne

## Faltdachsystem



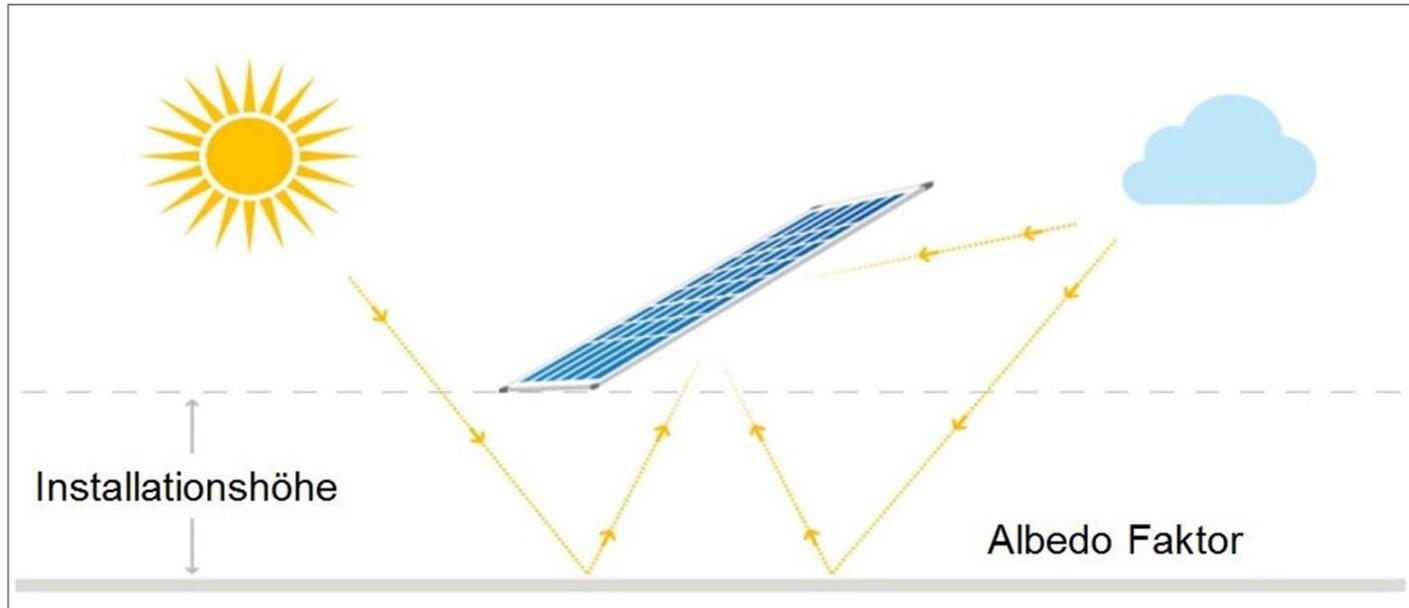
Aargau, Switzerland

Aargauer Zeitung 2021



## Regenwasserauffangsystem

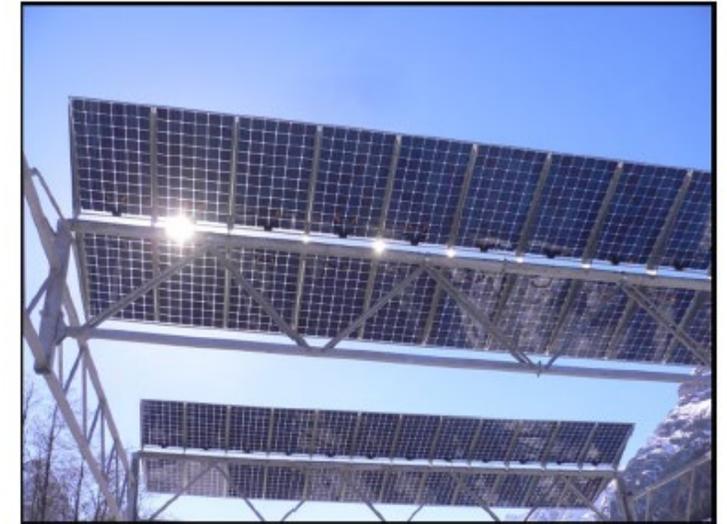
# Bifaziale Module



Bifaziale PV-Module, Süd-Süd-West Ausrichtung, oder Mover in Nord-Süd Reihen

- Zusätzliche Nutzung des reflektierten Lichts auf Unterseite, PERC+-Technologie (bis zu 25% Energieertragsteigerung)
- Beidseitige Verglasung: homogenere Lichtverteilung unter den Modulen
- Glass-Glass Module mit (geringer) Lichtdurchlässigkeit

PERC: Passivated Emitter and Rear Contact, marktbeherrschendes Zellkonzept für Si-Solarzellen



Bifacial glass-glass PV Modules from below



Diffuse shadows from bifacial PV modules near the ground  
Implementation of agrophotovoltaics thcno-economic.pdf

# Module Design & Technologie

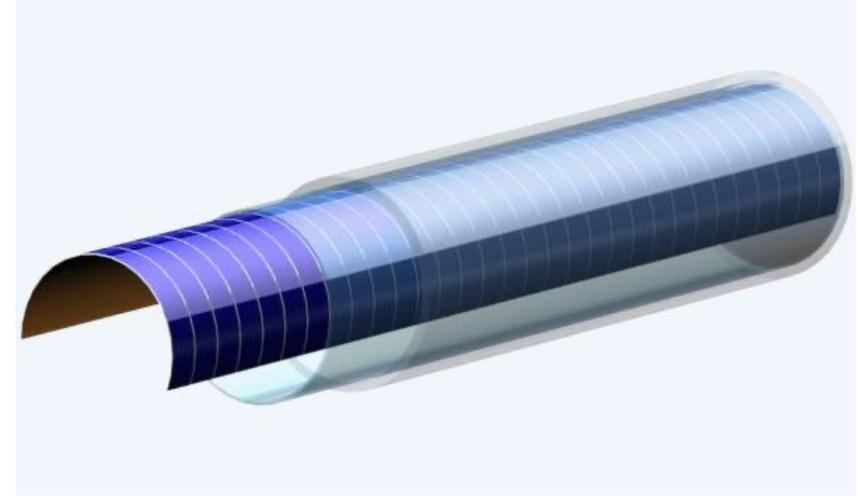


## Semi-transparent, bifaziale Glas-Glas Module



- Bis zu 40% mehr Energie
- Weniger Verschmutzung
- Weniger Degradation

# Modultechnologie der Firma TubeSolar AG

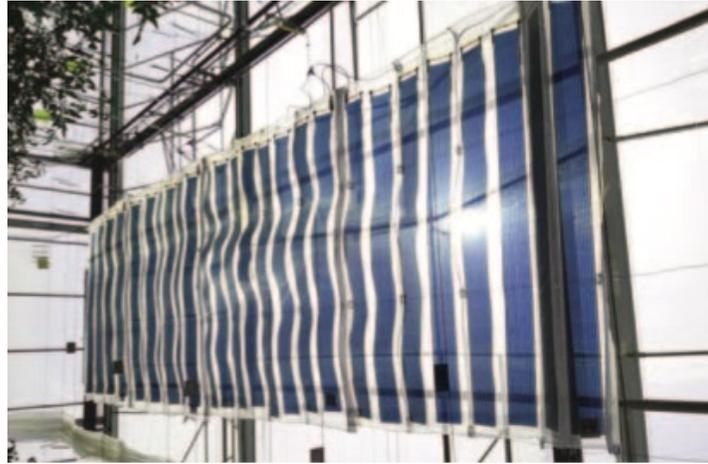


# Modul Design & Technologie



Flisom AG, 2021

Thinlayer Modul (CIGS)  
Copper-Indium-Gallium-Diselenid



Vandest & Hemetsberger, 2021

Organic,  
semi-transparent, flexible PV

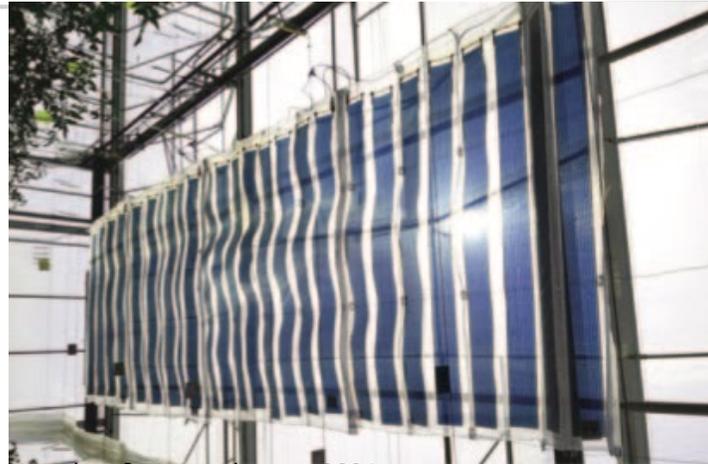
# PV auf Gewächshäusern

# Modul Design & Technologie für Gewächshäuser



Flisom AG, 2021

Dünnschicht- Modul (CIGS)



Vandest & Hemetsberger, 2021



Peretz & Teitel, Israel, 2020

Organisch,  
semi-transparente, flexible PV



Brite Solar



Beschattung mit PV

(Alinejad et al. 2020)

# Konventionelle Module für Gewächshäuser



© BayWa r.e.



Naturschutz /  
Biodiversität....

# Artenverluste durch Klimawandel bis 2050: bis 50%

## Half of the Species on Earth Could Go Extinct by 2050: Scientists

A sixth mass extinction is underway, and it's not a meteor this time.



[Nature](#) volume 427, pages 145–148 (2004)

**Extinction risk from climate change**

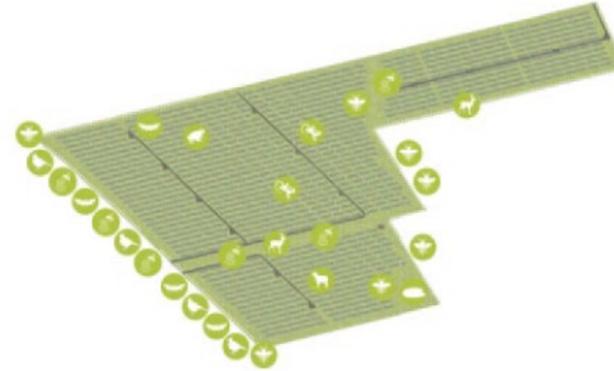
[Chris D. Thomas](#) et al.

<https://www.globalcitizen.org/en/content/half-earths-species-extinct-2050/>  
<https://www.nature.com/articles/nature02121>

...Klimaschutz  
+  
Klimaanpassung

...**Photovoltaik**

# Tierhaltung und Biodiversität

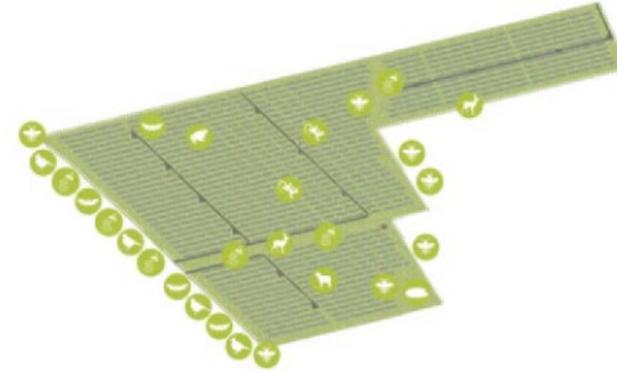


## Klein Rheide - Habitat Osterhof – Ökologisches Flächenmanagement

- PV + Biodiversität + extensive Landwirtschaft
- 450 Pflanzenarten
- Wildtiere, Insekten, Amphibien, Fische....Biotop
- Korridore
- Zertifiziert: EG-ÖkoVerordnung 834/2007



# Tierhaltung und Biodiversität



**Die großen Flächen von Solarparks können einen wichtigen Quelllebensraum für bedrohte Tier- und Pflanzenarten darstellen**



# PV-FFA und Naturschutz

## „Mehr Biodiversität in PV-Anlagen als auf dem konventionellen Acker“

Bundesverband

Neue Energiewirtschaft e.V. (bne)



**Solarparks –**  
Gewinne für  
die Biodiversität

Untersuchung zum Einfluss  
der Photovoltaik auf die Artenvielfalt

PV-Freiflächen-Anlagen heben sich von intensiv oder zur Energiegewinnung aus Biomasse genutzten Flächen ab, durch

- die Schaffung von extensivem Dauergrünland, das Lebensräume für viele Pflanzen- und Tierarten ermöglicht,
- die Förderung von Biodiversität, die Vorteile für die Landwirtschaft liefert (z.B. Zunahme bestäubender Insekten),
- die Förderung von Insektenreichtum, das eine wichtige Nahrungsquelle für viele Brutvogelarten ist,
- die Bildung von Humus, der die Fruchtbarkeit des Bodens erhöht und gleichzeitig CO<sub>2</sub> bindet.



## Naturschutzbund Deutschland (NABU) und der Bundesverband Solarwirtschaft (BSW):

### „Win-Win-Lösungen“ für Natur- und Klimaschutz



- Schaffen von Lebensraum für gefährdete Pflanzen und Tiere
- Anlagenwartung: stoppt zunehmende Verbuschung
- Gezielte Anpflanzungen werten extensive Flächen ökologisch auf
- Synergieeffekte zwischen PV-Freiflächenanlagen und Naturschutz

**Biotopverbundnetzwerk aus Solarparks.....**

# Stellungnahme des Bundesamts für Naturschutz

---

Auf **zuvor intensiv bewirtschafteten landwirtschaftlichen Standorten** können hingegen durch PV- Anlagen – bei einer extensiven Pflege der Flächen – **neue Lebensräume** für Kleinsäuger, Insekten, Vögel und verschiedene Pflanzenarten entstehen.

**Hier sind keine erheblichen negativen Auswirkungen zu erwarten.**

**Im Gegenteil:**

Die Nutzung als PV-Standort führt häufig sogar zu einer Verbesserung für bestimmte Artengruppen.

# PV-FFA und Biodiversität

---

- **75 Solarparks: Artenreichtum** erhöht sich in der Regel deutlich (SonneSammeln, 2022)
- **PV-FFA - auf 70 %–95 % des Bodens kann Biodiversität gefördert werden** (Esteves, 2016).
- PV-FFA nach Umwandlung von Acker in Grünland: **Biodiversität** nimmt grundsätzlich zu (BNE 2019)
- Beitrag zur Biodiversität vielfach belegt (Zürcher HAW im Auftrag des Bundesamts für Energie, Schweiz, Schlegel, 2021)
- PV-FFA: - mehr **Bienen und Bestäuber** als auf konv. Landwirtschaftsflächen
  - mehr **Heuschrecken, Tagfalter, Spinnen, Laufkäfer, seltene und bedrohte Arten** z.B. Zahnflügel-Bläuling (*Polyommatus daphnis*), Kleiner Schlehen-Zipfelfalter (*Satyrium acaciae*), Lilagold-Feuerfalter (*Lycaena hippothoe*), Wegerich-Scheckenfalter (*Melitaea cinxia*)
  - Hecken im Randbereich, «**Schmetterlingsgehölze**» Schwarzdorn, Rote Heckenkirsche, Kreuzdorn und Faulbaum (Raab, 2015) (Parker & McQueen 2013)

# PV-FFA und Biodiversität

---

## Bayern will ökologische Ausgleichsmaßnahmen künftig innerhalb der Photovoltaik-Freiflächenanlagen ermöglichen

Ein Antrag der Regierungsfractionen ist im Landwirtschaftsausschuss des bayerischen Landtags beschlossen worden. Damit könnten künftig die Vorschriften entfallen, die einen ökologischen Ausgleichsbedarf für die Errichtung von Photovoltaik-Freiflächenanlagen vorsehen.

2. JULI 2020 SANDRA ENKHARDT



Seltene Pflanzen- und auch Tierarten sind innerhalb vieler Solarparks zu finden. Die Freiflächenanlagen leisten damit einen positiven Beitrag zur Biodiversität, wie auch bereits in Studien nachgewiesen wurde.

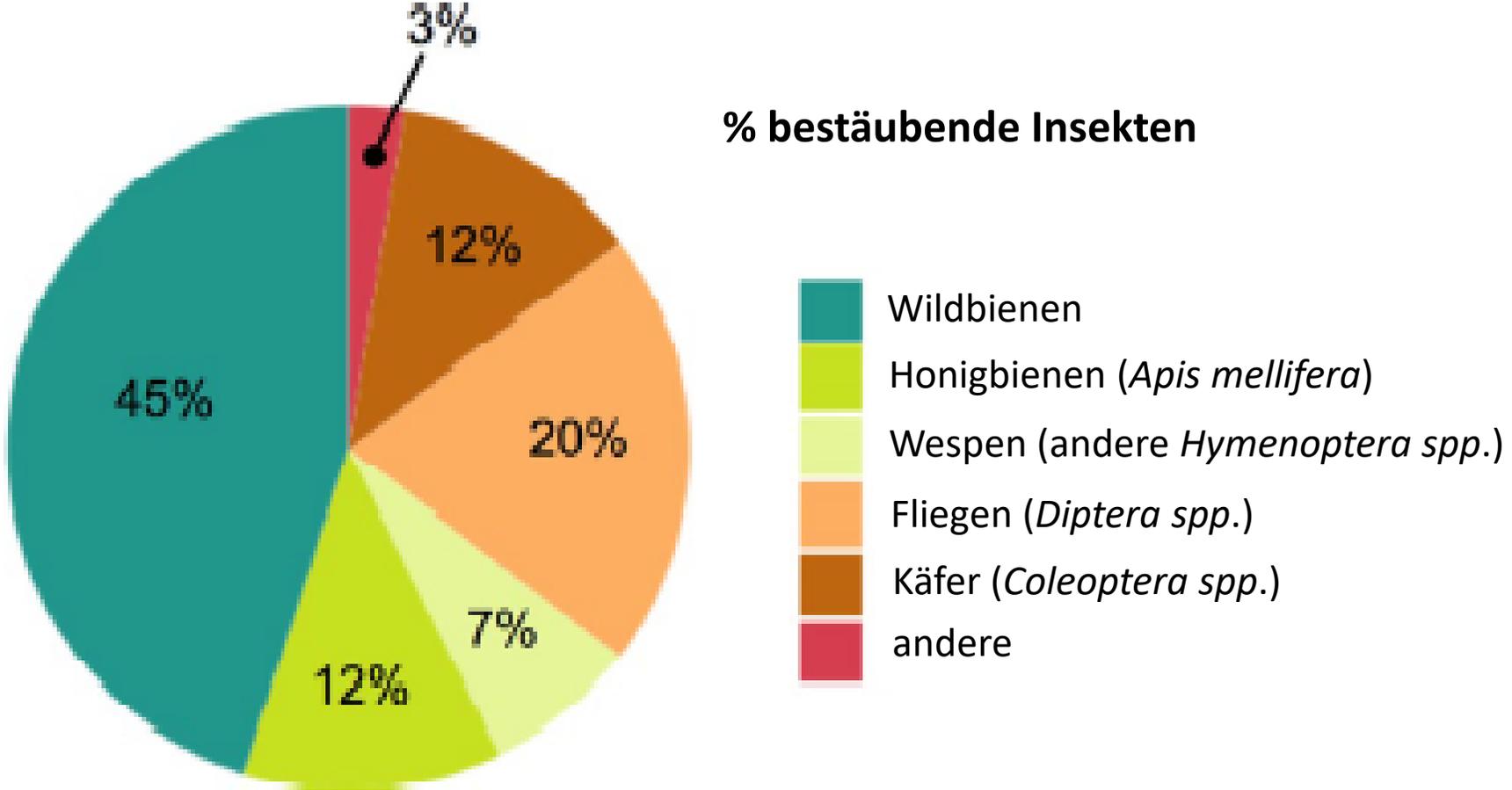
Foto: Christina Grätz, nagolare

# Ergebnisse zu Naturverträglichkeit aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Studien

---

- Positive Auswirkungen auf Schutzgüter: Natur- und Wasserhaushalt, Biodiversität, Boden
- Keine negativen Auswirkungen von PV-FFA festgestellt
- **Grünland:** C-Speicherung , zusätzl. Lebensräume für bedrohte Arten 
- Auflagen.....Blühstreifen, Gehölzhecken, Integration, etc.
- Frage: was ist die Referenzfläche für APV Anlage? .....Mais, Raps.....

# APV und Biodiversität



Graham 2021

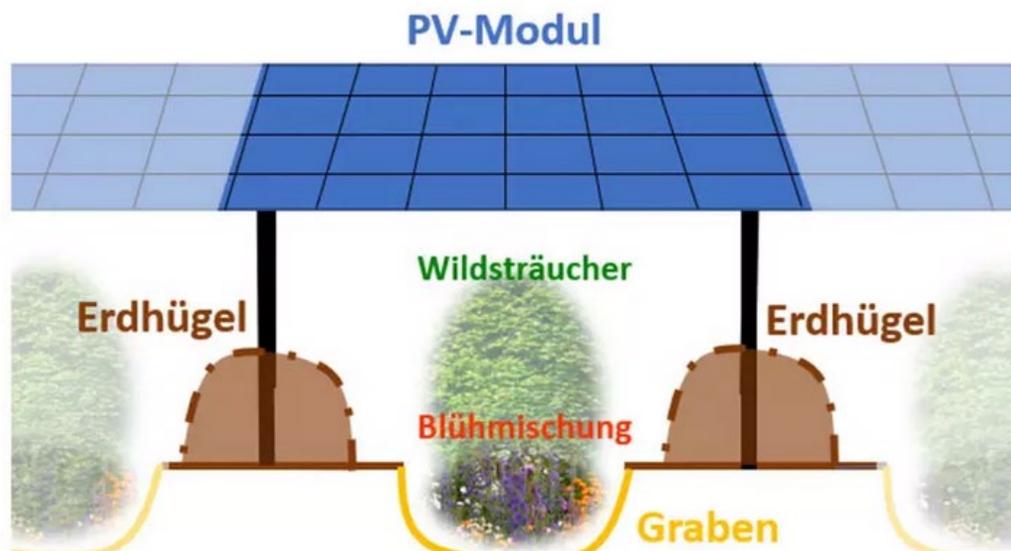
Module auf Blühstreifen

## Photovoltaik, Artenschutz und Landwirtschaft auf einer Fläche

Bei dem System „Flower Power“ sollen streifenförmig angelegte Solaranlagen Erosionsschutz bieten, die Artenvielfalt erhöhen und gleichzeitig Strom liefern.

09.09.2020 von  Hinrich Neumann 

FH



So ist der Solarblühstreifen aufgebaut. (Bildquelle: Kormann/Goldbeck Solar)

z.B.

- Anbau **Feldfrüchte**, 40-50m Breite
- Dazwischen: 5m Streifen mit **PV-Modulen**
- Im Schatten der Module **Blühstreifen**, stets **feucht**, nimmt überschüssiges Wasser bei Starkregenereignissen auf
- Heimische Wildkräuter brechen den **Wind** und verlangsamen dadurch das Austrocknen des Ackerbodens.

[https://www.solarserver.de/2021/06/01/agri-pv-solares-riesengewachshaus-laesst-beeren-wachsen/?utm\\_source=newsletter&utm\\_campaign=newsletter](https://www.solarserver.de/2021/06/01/agri-pv-solares-riesengewachshaus-laesst-beeren-wachsen/?utm_source=newsletter&utm_campaign=newsletter)

# Mehrfachnutzungskonzept auf landwirtschaftlichen Flächen



(Hietel et al. 2021)

---

# Landschaftsästhetik...

# Landschaftsästhetik



Beispiele

Hagelschutz-  
netze



Quelle: BayWa r.e.

# Landschaftsästhetik



## Beispiele

Landschaftsästhetik....



Quelle: BayWa r.e.

# Landschaftsästhetik

APV-Anlage (links), Hagelschutzfolie (Mitte) Hagelschutznetz (rechts)



# Beispiel für die standortangepasste Gestaltung

Fotos: Lenz C., 2020



---

# **APV in anderen Ländern**

# French consortium wants to mobilize €1 billion for agrivoltaic projects

Sun'Agri and RGreen Invest have launched an initiative aimed at deploying around 300 agrivoltaic projects in France by 2025.

NOVEMBER 6, 2020 **JOËL SPAES**



<https://www.pv-magazine.com/2020/11/06/french-consortium-wants-to-mobilize-e1-billion-for-agrivoltaic-projects/>

Image: Sun'Agri/Sun'R

- Ziel: 300 agrivoltaic Farmen in Frankreich 2025
- Erhöhung des Ernteertrages auf 1.500-2.000 ha
- 20% Wassereinsparung
- Schutz der Pflanzen vor Wetterschäden
- ....China: APV-Anlage von **700 MWp; 2 GW in Bau**

# French consortium wants to mobilize €1 billion for agrivoltaic projects

Sun'Agri and RGreen Invest have launched an initiative aimed at deploying around 300 agrivoltaic projects in France by 2025.

NOVEMBER 6, 2020 JOËL SPAES



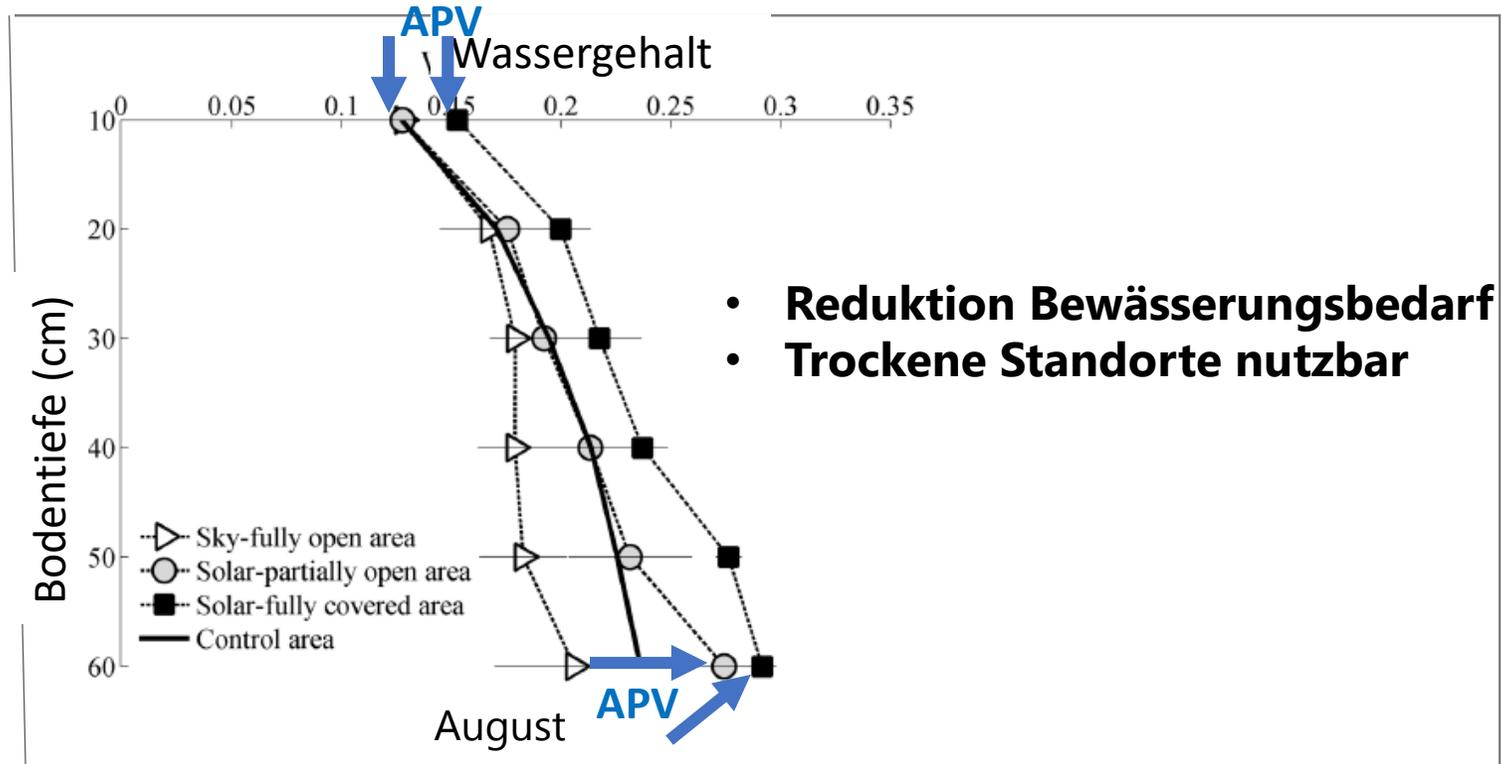
**Italien** plant Förderung APV mit **1,1 Mia Euro**  
- Installation von 2 GW APV-Anlagen

- Erhöhung des Ernteertrages auf 1.500-2.000 ha
- 20% Wassereinsparung
- Schutz der Pflanzen vor Wetterschäden
- ....China: APV-Anlage von **700 MWp**

- Auswirkungen APV auf
  - Mikroklima
  - Ertrag
- Pflanzeneignung

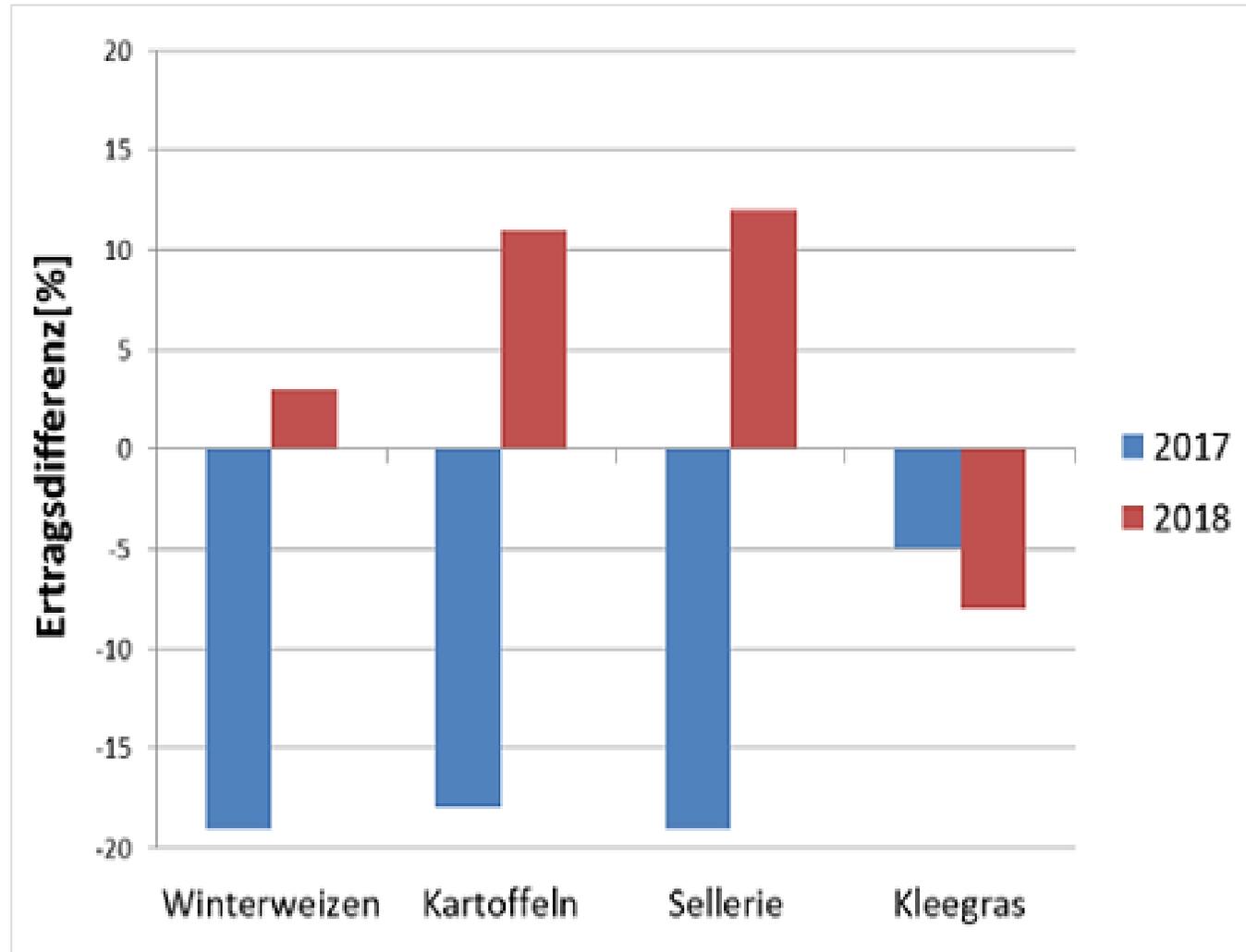
# Auswirkungen der APV-Anlage auf das Mikroklima

## Standortbezogene Bodenfeuchte steigt bei Trockenheit



Veränderung der Bodenfeuchte an verschiedenen Messpunkten unter der APV-Anlage und unter freiem Himmel in Abhängigkeit der Bodentiefe

# Ertragsunterschiede: Kulturen unter APV / Referenzflächen

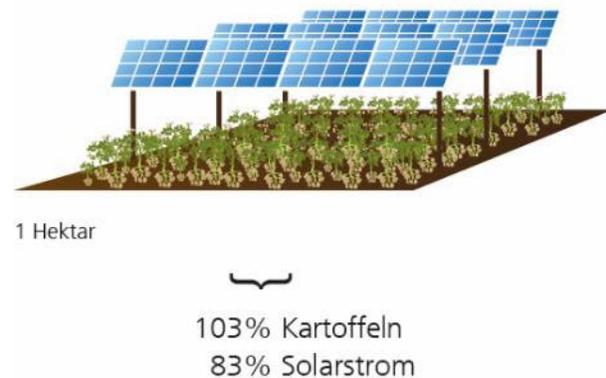


# Flächennutzungspotential von APV-Anlagen

Getrennte Flächennutzung auf 1 Hektar Ackerland: 100% Kartoffeln oder 100% Solarstrom



Gemischte Flächennutzung auf 1 Hektar Ackerland: 186% Landnutzungseffizienz



Flächennutzungspotential eines Hektars Ackerland  
(Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) 12.04.2019; S. 1)

\*Landäquivalentverhältnis

**APV kann LER einer Fläche steigern**

LER Kartoffeln & PV: **1,86**

## Fallstudie APV-RESOLA:

- LER/ha Kartoffeln 2018 = 186 %
- 103 %\* Kartoffelertrag = 100 % Kartoffelertrag + 11 % Ertragsteigerung – 8 % Flächenverlust
- 83 % Stromertrag

Kartoffeln

2017: Ertrag 18% reduziert

**2018: Ertrag 11% gesteigert**

- Flächeneffizienzsteigerung
- Diversifizierung der Einkommensstruktur

(Oberfell 2016, Fraunhofer ISE 2020)

# APV-Effekte Grünland

---

## Beispiele (wiss. Untersuchungen)

- Wassernutzungseffizienz ↑ 328%
- Ertrag ↑ 90%,
- C-Speicherung ↑
- zusätzl. Lebensräume für bedrohte Arten ↑

# Eignung von Kulturpflanzen für APV



Quelle: <https://www.xing.com/events/klimaretter-photovoltaik-chance-agri-photovoltaik-agri-pv-3584945>

s. Studie Wydra et al. 2022  
<https://www.fh-erfurt.de/fileadmin/Dokumente/Personen/LGF/Wydra/APV-Studie.pdf>

## Schattentolerante Kulturen

Kulturen profitabel bei Stress\*



Gerste, Weizen, Roggen, Triticale



Feldgras,  
Dauergrünland

kleinkörnige  
Leguminosen



Winterraps

Hanf



Kartoffel, Knollensellerie

Zuckerrübe



Mangold, Salat  
Gurke

Kohl\*\*, Möhre,  
Rhabarber, Kürbis



(Äpfel, Birnen), (Erdbeeren)  
Strauchbeeren (+Holunder)

Süß-/Sauerkirschen,  
Pflaumen u. Zwetschgen



(Wein, Hopfen), Ginseng,  
Bärlauch, Pilze

Melisse, Pfefferminze

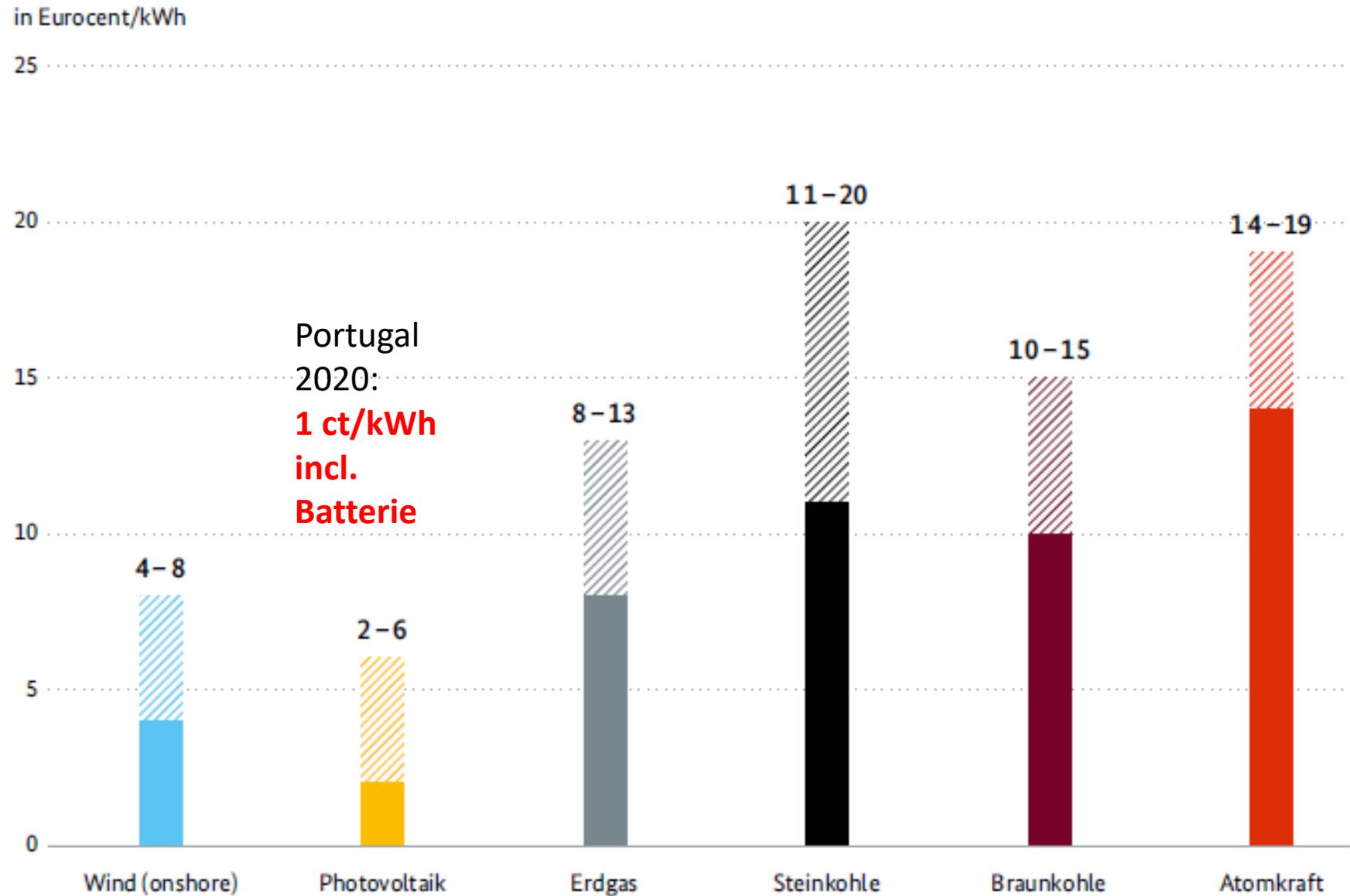
\* Hitze, Trockenheit, Regen, Spätfrost, Hagel, Sturm; \*\* kein Brokkoli, Blumenkohl, Rosenkohl, bedingt Grünkohl  
In Klammern: bedingt schattentolerant

# Vorteile der APV für die Landwirtschaft

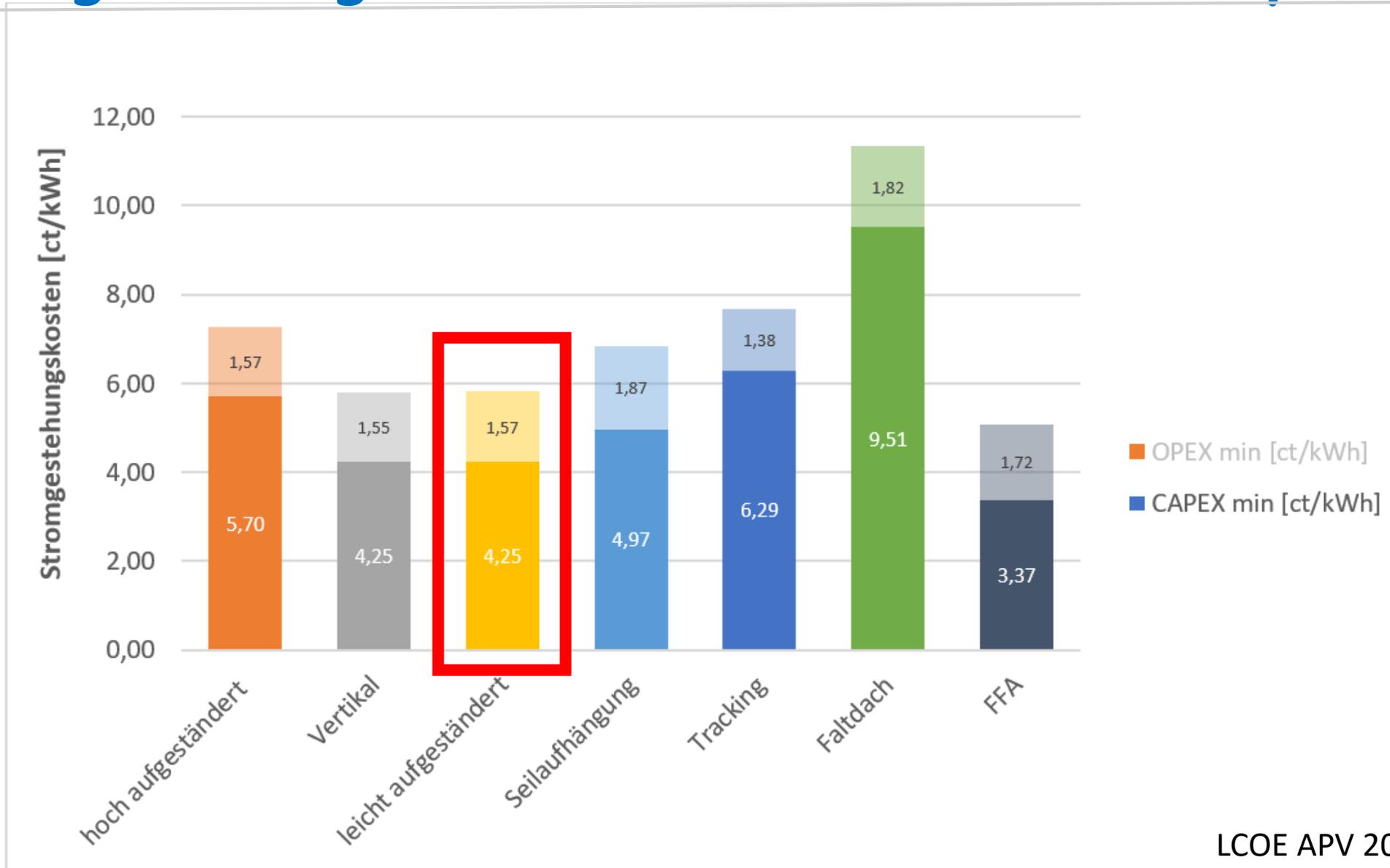
- **Höhere Erträge** in Kartoffeln, Weizen, Tomate etc. besonders in trockenen Jahren & Gebieten
  - Paprika Ertrag x 3 (in Arizona, Barron-Gafford et al. 2019)
  - Kartoffel, Sellerie > +10% , Winterweizen +3% (in Germany, Trommsdorff, et al. 2020)
  - Beeren +20% (in Germany, Karthaus, Germany 2021)
  - Futteranbau (+90% ), Qualität und Beweidung verbessert (Andrews et al. 2022, Picon-Cohard et al. agrivoltaics 2022)
- **Ertragssteigerungen durch**
  - niedrigere Temperatur = höhere Photosyntheseleistung bei Hitze (Barron-Gafford et al. 2019)
  - weniger Hitzeschäden & Sonnenbrand
  - weniger Schäden durch Starkregen, Hagel, Frost
  - höhere Bodenfeuchtigkeit (Adeh et al. 2018), geringere Erosion
- **Wasser**
  - höhere Wassernutzungseffizienz, um 157% (in Arizona, Barron-Gafford et al. 2019), um 328% in Weideland (Adeh et al. 2018)
  - weniger Transpiration & Evaporation: **20-40% Einsparung bei Bewässerung** (BayWa r.e.) , **27%** (remtec)
  - Höhere Bodenfeuchte, niedrigere Bodentemperatur

**Wirtschaftlichkeit**

# Kosten der Stromerzeugung in EU mit neuen Großkraftwerken



# Stromgestehungskosten verschiedener APV-Systeme



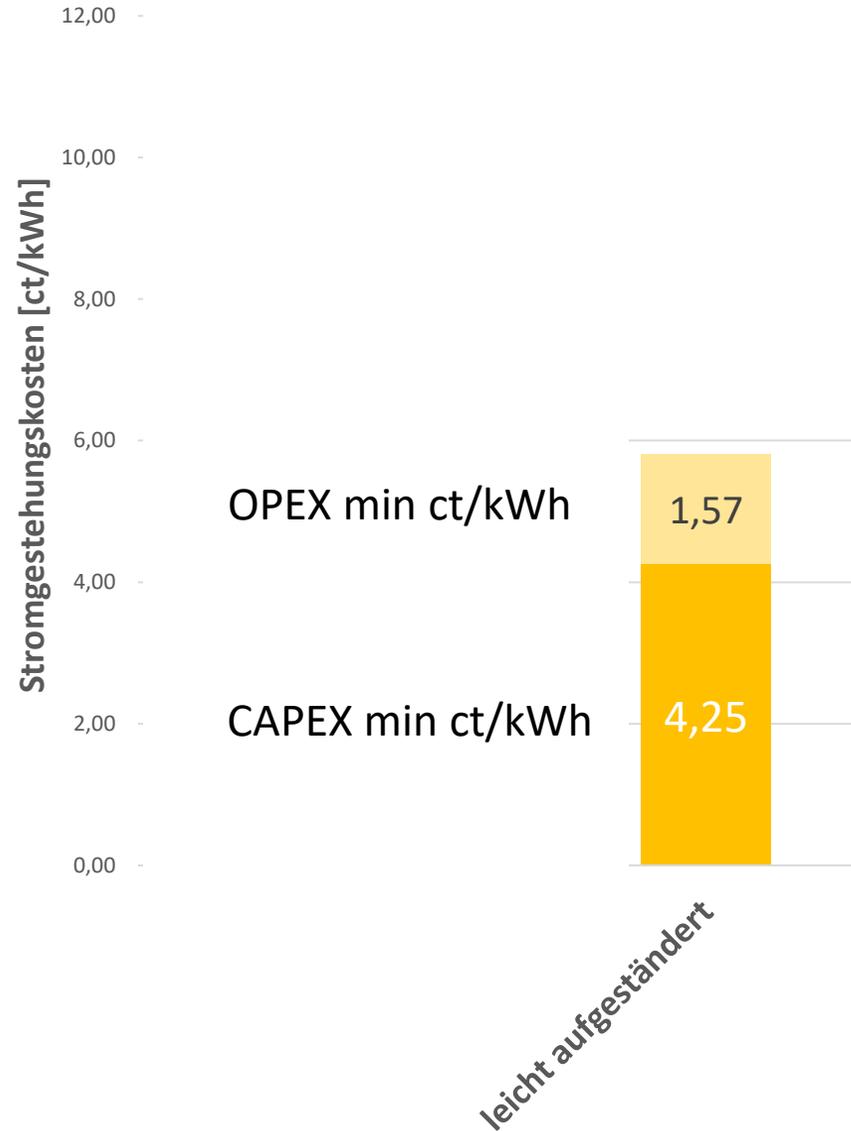
Vollmer&Wydra 2022

APV-Systeme und PV-FFA auf 1 ha in Cent pro kWh

LCOE APV 2022:  
6,42 ct/kWh

Schnaiker 2022

# Stromgestehungskosten leicht aufgeständerter APV-Systeme unter Idealbedingungen [ct/kWh]



**Überschlagmäßige Berechnung bei Minimal-Kosten:**

**1 ha**

Investitionskosten: ca. 575.000 €/ha

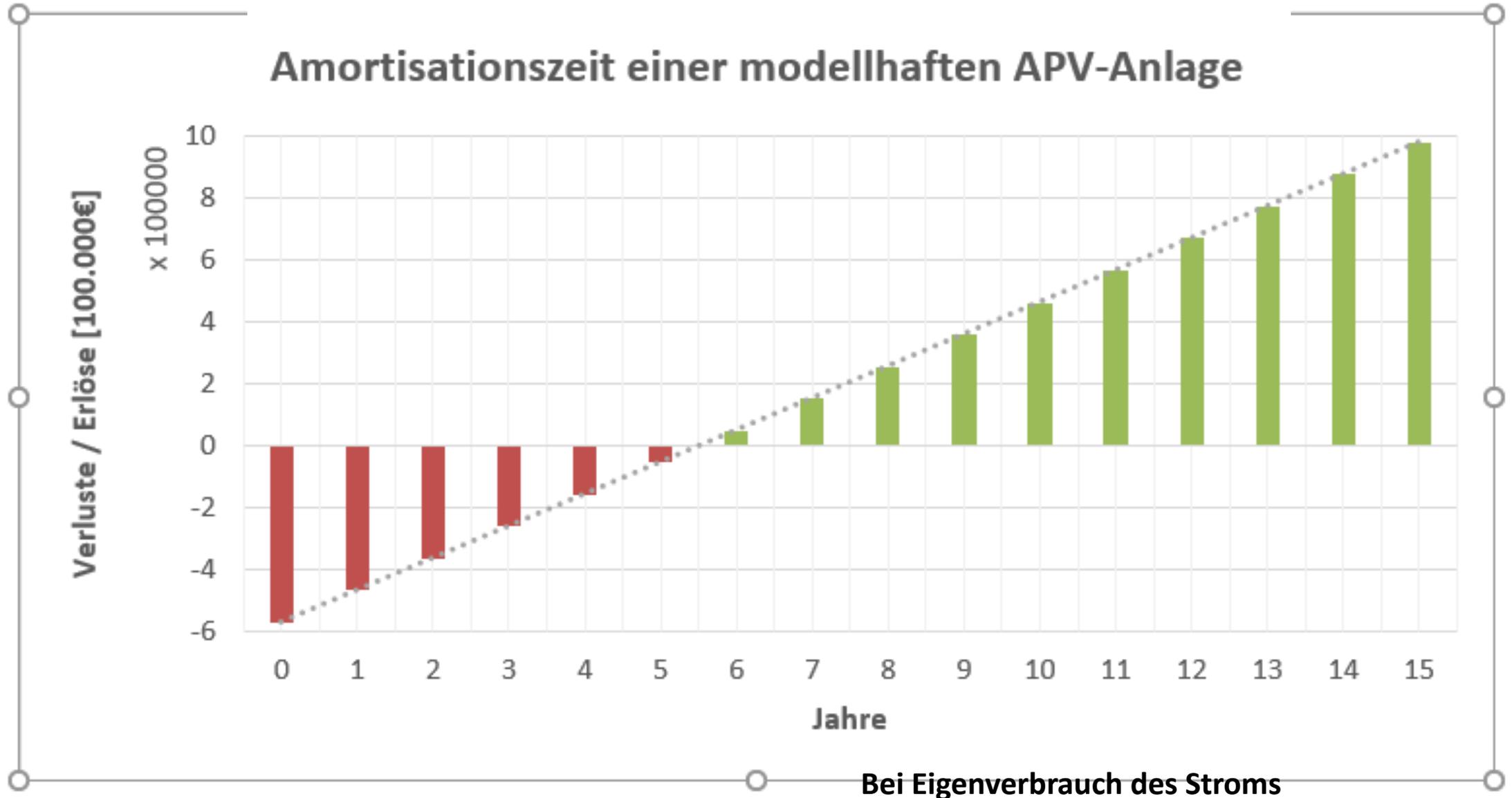
Jährliche Betriebskosten: 12.000 €/a

Stromertrag: 770 MWh/a

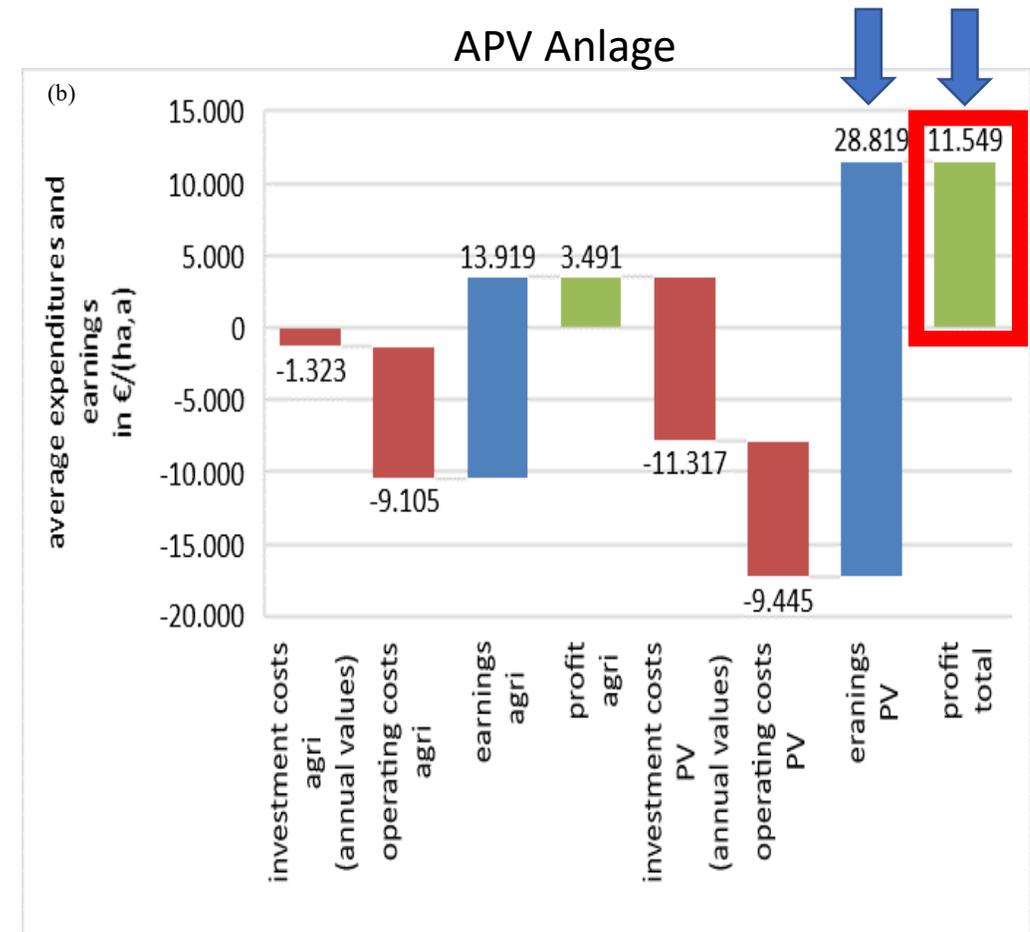
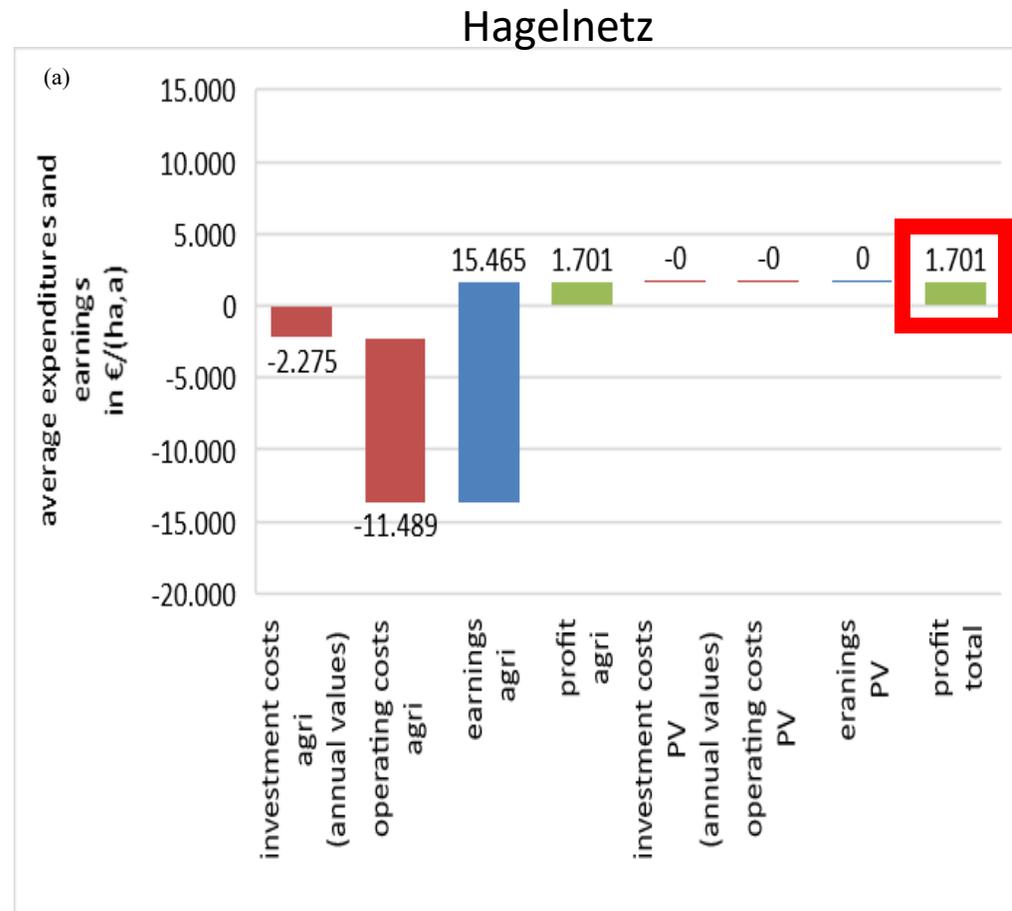
**Amortisationszeit: 5,54 Jahre**

Ohne Ertrag aus Anbaukultur

# Amortisationszeit einer modellhaften APV-Anlage (Idealbedingungen)

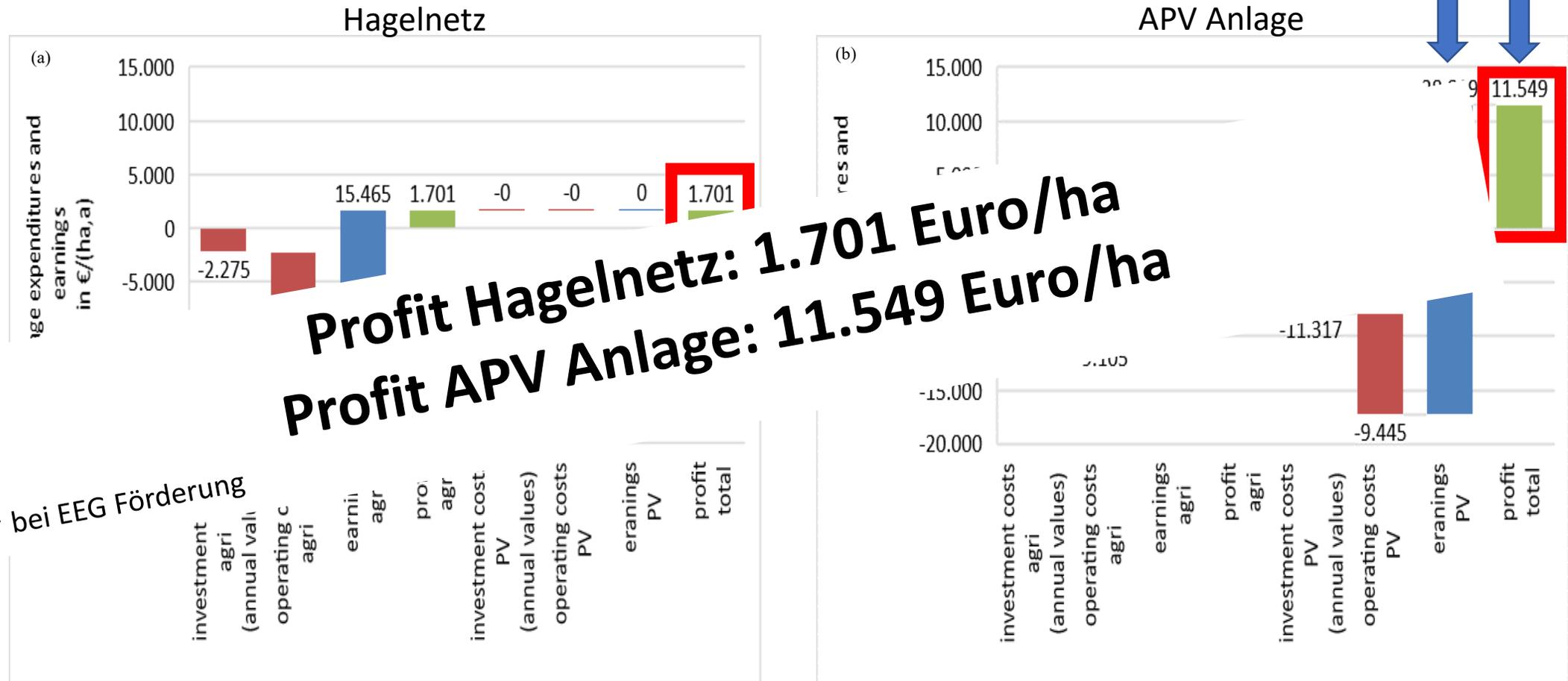


# Apfelanbau: ökonomischer Vergleich Hagelnetz und APV Anlage



Cashflow jährliche Kosten (rot), Ertrag (blau), Gewinn (grün) über 30 Jahre; mit EEG Förderung

# Apfelanbau: ökonomischer Vergleich Hagelnetz und APV Anlage



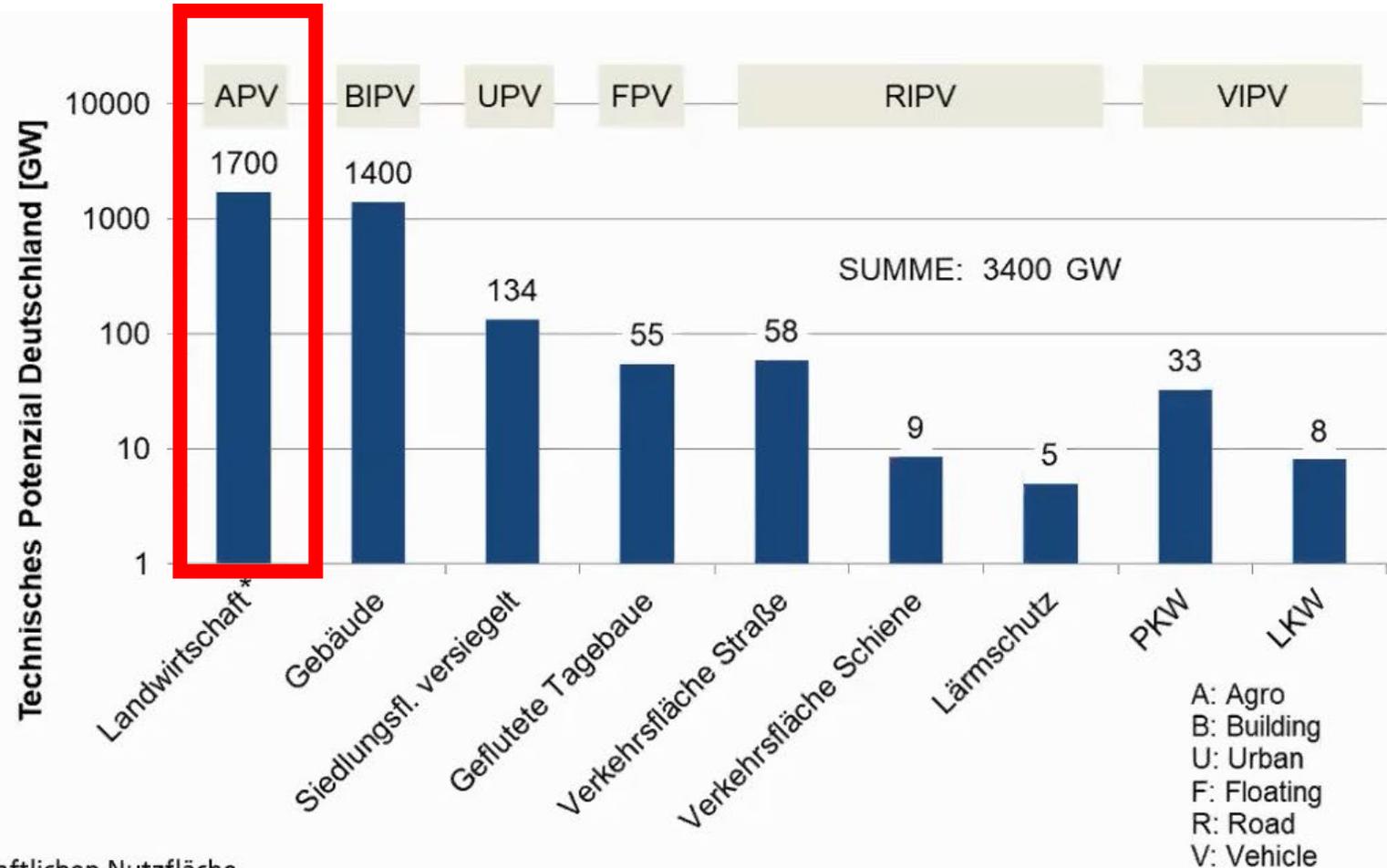
Cashflow jährliche Kosten (rot), Ertrag (blau), Gewinn (grün) über 30 Jahre; mit EEG Förderung

Flächenbedarf

# Potential Agri-Photovoltaik in Deutschland

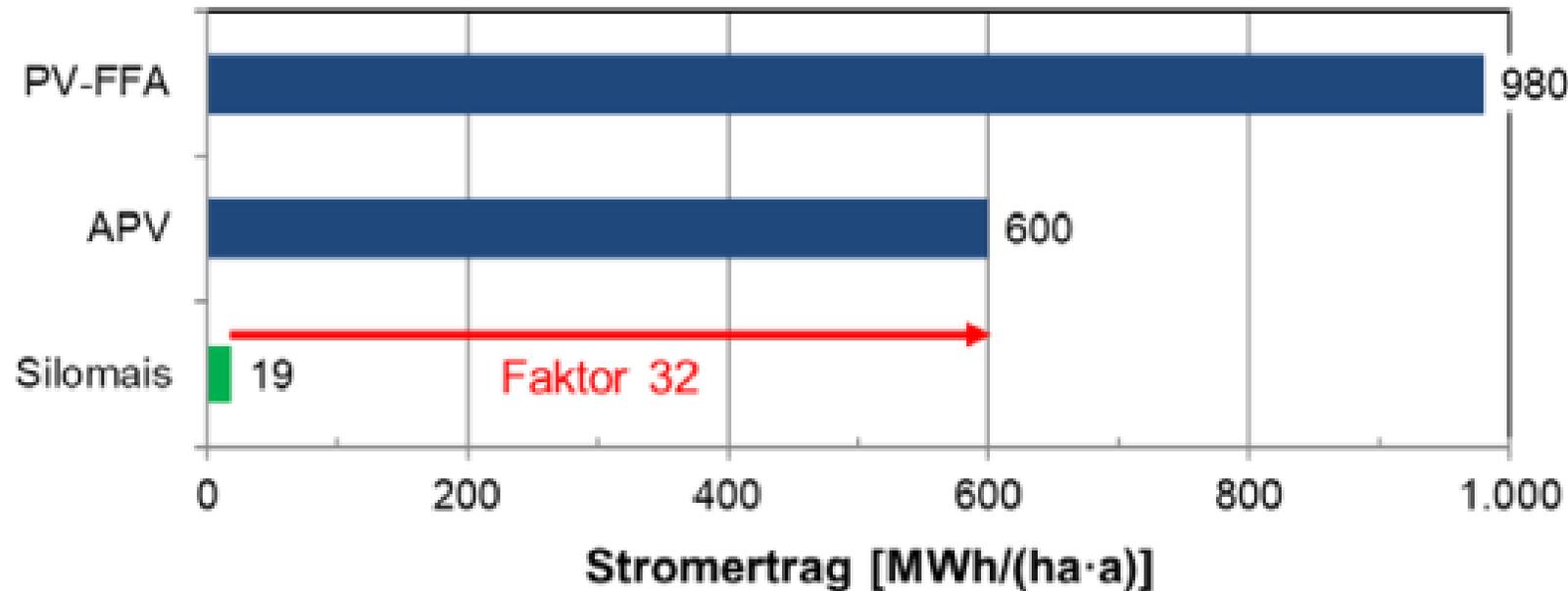
## Technisches Potential:

Berücksichtigung technischer, infrastruktureller und ökologischer Einschränkungen



\*Entspricht ca. 17 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland

# Stromerzeugung auf der Fläche: Vergleich Energiepflanzen / APV



**Stromerträge von PV-Kraftwerken und Silomais pro Hektar eingesetzter Fläche**

# Stromerzeugung auf der Fläche: Vergleich Energiepflanzen / APV

## Stromerzeugung (Nennleistung Energie)

1 ha Silomais	0,19 MWp/ha	Wirkungsgrad (Strahlung):	0,2%	<b>Faktor 32</b>
1 ha APV	<b>0,700 MWp</b>		<b>16-18 %</b>	

## Biokraftstoffen

1 ha Raps	PKW (Diesel-Motor, 5,5 l Biodiesel/100 km)	32.000 km	<b>Faktor 116</b>
1 ha APV	E-Auto	<b>3.750.000 km</b>	

(FNR, 2020  
Fraunhofer ISE 2021)

**Energiepflanzen in D: 2,2-2,5 Mio ha = 1540 GW durch APV**      **Ausbauziel D 2030: 132 GW**

**Bei 1 Mio ha als APV = 600 GW**

**Ausbauziel PV D 2040: max 500 GW = aktuell 70 GW**  
**+ 50% Dach/Parkplatz etc (215 GW)**  
**+ 215 GW FFA-PV**

**als rein APV: ca. 350.000 ha = 2% der LNF ....(1% der LNF)**      Heimsath,  
Fraunhofer ISE

# Sozioökonomische Aspekte

# Partizipation

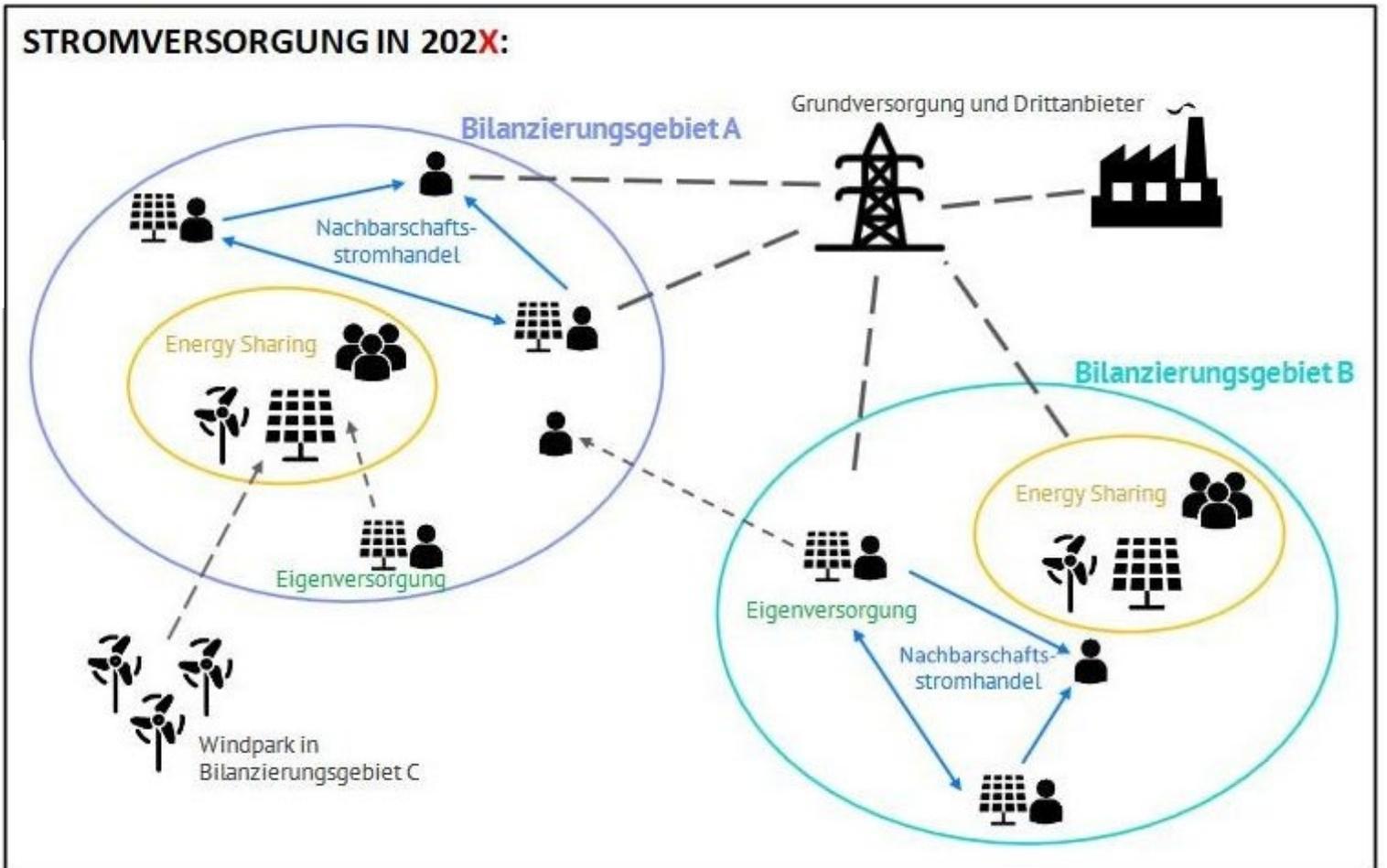
## Bürger\*innen, Kommunen, Landwirt\*innen, Energieversorger...

### Energiegemeinschaften als Schlüssel der Energiewende



Dezentrale Netze werden für einen Zusammenschluss vieler Prosumer zu einer Energiegemeinschaft benötigt.

Foto: Unsplash



Genehmigungsverfahren  
/  
Regelungen

# DinSpec - landwirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten

## Kategorien I & II

Agri-PV-Systeme	Nutzung	Beispiele
<b>Kategorie I:</b> <b>Aufständigung mit lichter Höhe</b> Bewirtschaftung <b>unter</b> der Agri-PV-Anlage (Bild 1)	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)
<b>Kategorie II:</b> <b>Bodennahe Aufständigung</b> Bewirtschaftung <b>zwischen</b> den Agri-PV-Anlagenreihen (Bild 3 und Bild 4)	2A: Dauerkulturen und mehrjährige Kulturen	Obstbau, Beerenobstbau, Weinbau, Hopfen
	2B: Einjährige und überjährige Kulturen	Ackerkulturen, Gemüsekulturen, Wechselgrünland, Ackerfutter
	2C: Dauergrünland mit Schnittnutzung	Intensives Wirtschaftsgrünland, Extensiv genutztes Grünland
	2D: Dauergrünland mit Weidenutzung	Dauerweide, Portionsweide (z. B. Rinder, Geflügel, Schafe, Schweine und Ziegen)

## Eckpunktepapier, BMWK, BMUV und BMEL zu Agri-PV und EEG 2023:

- Agri-PV-Anlagen sollen auf allen Ackerflächen grundsätzlich zulässig sein.
- Die Förderung mit **GAP-Mitteln** ist weiterhin möglich, wenn der **Verlust landwirtschaftlicher Fläche nur bis zu 15 %** beträgt.
- Anerkennung als **APV** bei einem **Ertragsverlust** gegenüber einer Referenzfläche **bis zu 34%**

### • Einspeisetarife PV

- bis 10 kW: 12,5 ct/kWh
- bis 100 kW: 10,3 ct/kWh
- bis 400 kW: 8,5 ct/kWh
- bis 1 MW: 7,3 ct/kWh

### • Bonus für APV > 1MW

2023	1,2 ct/kWh
2024	1,0 ct/kWh
2025	0,7 ct/kWh
2026-2028	0,5 ct/kWh

- Einspeisevergütung bei > 1MW über Ausschreibung – EEG23: **5,9 ct/kWh** + Bonus
- Bonus für FFA auf wiedervernässten Moorflächen: 0,5ct/kWh
- Bei **anteiliger Eigenversorgung** und Einspeisung **ins öffentl. Stromnetz gleiche Einspeisevergütungen wie bisher.....** (Marktpreis)
- vollständige **Zuordnung zum landwirtschaftlichen Betrieb:**  
Fläche = Grundsteuer A, erbschaftsteuerlichen Begünstigungen erhalten

# Zukünftige Anforderungen an Kommunen...

---

- **1%** der Fläche für PV (?)
- Klimaschutz - § 20A Grundgesetz - ist **Aufgabe der Gemeinde**
- Ausweisung **geeigneter Flächen** für PV-FFA und APV
- **Privilegierung** APV als landwirtschaftliche Nutzung? **Sondergebiet APV?**
- **Raumordnungsplanung** soll Klimaschutz **untergeordnet** werden
- **Beteiligung** der Gemeinden an FFA-PV: 1ha = 1 MWh = 2000Euro/ha<sub>x</sub>a an Gemeinde
- **Stromtankstelle** für E- Autos wird wohl zur **Pflichtaufgabe** der Kommune
- Gemeinde = Energieversorger
- Gemeinde mit **10.000** Einwohnern: **25-150 ha PV**
- **Bürgerbeteiligung**: Bürgerenergiemodelle, Bürgerstromtarife, ...



Deutscher  
Bauernverband



# Agri-Photovoltaik: bessere Chancen für kleinere Anlagen und hoch aufgeständerte Systeme

---

Positionspapier, Oktober 2022

---

## 1. Wichtige Weichen wurden gestellt

# Forderungen....

---

- **EEG-Bonus für APV Kat. I nicht ausreichend**
- Spezielles EEG Segment für hoch-aufgeständerte Anlagen
- Förderung auch kleiner Anlagen (< 1 MWp)
- **Privilegierung** kleiner Anlagen bis 1 ha oder 1 MW, die in räumlichem Zusammenhang mit landw. Betrieb stehen (§35 BauGB)
- **Vereinfachte Genehmigungsverfahren**

# Forderungen....

---

- EEG-Förderung auch bei Kombination mit Eigenverbrauch
- **Keine Naturschutzgutachten** für landwirts. Flächen außer in def. NS-Gebieten der höchsten Kategorien (zB 0,2% in Thüringen)
- **Keine generellen Umweltgutachten**, keine Einzelfallprüfung für Standard-APV
- APV = der „**Landwirtschaft dienende Funktion**“ = **Privilegierung**
- Deshalb: **vereinfachte, standardisierte Genehmigungsverfahren** (...Spargelfolie..)
- Entscheidung für Schutz der Kulturen (APV) liegt bei Landwirt\*in

# Forderungen....

---

- **Unterstützung** insbes. bäuerlicher Betriebe bei **Investitionen**  
(Landw. Rentenbank, zinslose Kredite)
- Vorrangige **Beteiligungsmöglichkeiten** für Landwirt\*innen, Bürger\*innen,....  
Kommunen.....
- Durchgesetzte **Verpflichtung** der Netzbetreiber zur **Netzanbindung (!)**

[https://solarinput.de/wp-content/uploads/2022/05/APV-Studie\\_19052022\\_Final.pdf](https://solarinput.de/wp-content/uploads/2022/05/APV-Studie_19052022_Final.pdf)



## Potential der Agri-Photovoltaik in Thüringen

**Verfasser\*innen:**

Kerstin Wydra, Vera Vollmer, Sabine Schmidt, Susann Prichta, Rahel Kunze, Hubert Aulich

**Kontakt:**

SolarInput e.V.  
Gustav-Tauschek-Str. 2  
99099 Erfurt  
Tel.: 0361 600 85 700  
E-Mail: [info@solarinput.de](mailto:info@solarinput.de)  
Web: [www.solarinput.de](http://www.solarinput.de)

Gefördert durch:



# Vielen Dank!



Dupraz et al. 2011



<https://agri-pv.org/de/>



Elysium Solar

Literatur:

**APV Studie Wydra et al. 2022:** <https://www.fh-erfurt.de/fileadmin/Dokumente/Personen/LGF/Wydra/APV-Studie.pdf>

Schindele 2021a **Feldfrüchte und Strom von Agrarflächen: Was ist Agri-Photovoltaik und was kann sie leisten?**

<https://www.ingentaconnect.com/contentone/oekom/gaia/2021/00000030/00000002/art00007?crawler=true&mimetype=application/pdf>

**APV im Obstbau:**

<https://www.gb-profi.de/nachricht-gemuese/detail/baywa-re-stellt-erste-fruitvoltaic-anlage-fuer-johannisbeeren-fertig/>

<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/apv-obstbau.html>

Schindele 2021b **Nachhaltige Landnutzung mit Agri-Photovoltaik: Photovoltaikausbau im Einklang mit der Lebensmittelproduktion.** [https://www.oekom.de/files/media/zeitschriften/artikel/GAIA\\_2021\\_02\\_96.pdf](https://www.oekom.de/files/media/zeitschriften/artikel/GAIA_2021_02_96.pdf)

[https://www.tfz.bayern.de/tfz\\_bericht\\_73\\_agri-pv](https://www.tfz.bayern.de/tfz_bericht_73_agri-pv)

<https://www.umwelt.uni-hannover.de/de/forschungsprojekte/forschungsprojekt-detailansicht/projects/integration-von-solarenergie-in-die-niedersaechsische-energielandschaft-inside/>

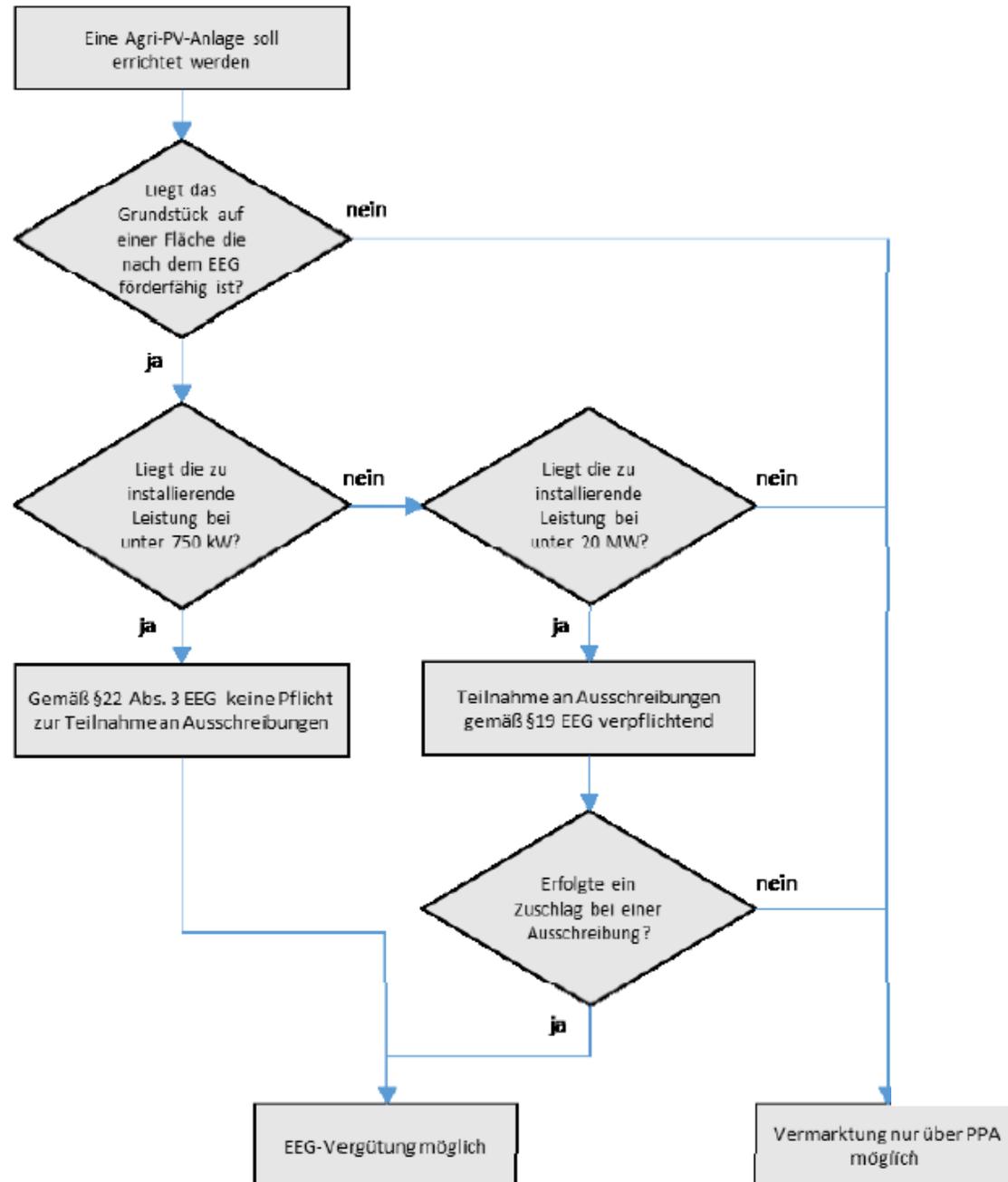
**DIN SPEC für APV:**

<https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-91434/337886742>

Agrivoltaics conference, 14.-16. Juni 2021, 2022

<https://www.agrivoltaics-conference.org/home>

# Möglichkeit zur Förderung von PV Anlagen im Rahmen des EEG



# PV-FFA und Biodiversität - Vögel

---

- PV-FFA: -Nahrungshabitat für **Graureiher, Rohrweihe, Rotmilan, Baumfalke, Turmfalke, Rauchschwalbe, Star, Fledermäuse, Weißstorch, Wiesenweihe, Steinkauz**  
(Peschel, 2010, Badelt et al., 2020)
- PV-FFA: - **Feldlerche, Rebhuhn, Schafstelze**, vermutlich auch für Wachtel, Ortolan, Grauammer (Demuth et al., 2019), **verhaltensflexible Kulturlandvögel** (Moore-O'Leary et al., 2017), **Wiesenbrüter** und andere anspruchsvollere Lebensraumspezialisten, z.B. **Wiesenpieper** oder **Braunkehlchen**, können profitieren (Günnewig et al., 2007):  
Brutnachweise von 16 **gefährdeten Vogel-Arten des Offenlands**, zB **Wachtel, Rebhuhn, Neuntöter, Braunkehlchen, Grauammer** (Badelt et al., 2020)
- PV-FFA: **Greifvögel** werden durch thermische Luftströmungen oberhalb von PV-FFA angelockt (Dwyer et al., 2018). **Turmfalke, Waldkauz** in Solarparks beobachtet; **Turmfalke, Rotmilan, Mäusebussard, Sperber, Wespenbussard, Baumfalke** bei Nahrungssuche (Scheller, et al., 2020).

# PV-FFA und Biodiversität - Säugetiere

---

- PV-FFA: **keine** Beobachtungen einer **Scheuchwirkung oder Meidung** von PVA durch Mittel- und Großsäuger (Herden et al., 2009, Günnewig et al., 2007). Hasen, Kaninchen, Rehe innerhalb (Van der Zee, et al., 2019)
- PV-FFA + - Säugetiere wie **Feldhamster und Hasen** profitieren von struktur- und artenreicher Agrarlandschaft.
- Solarparks mit Biodiversitätselementen: **Habitate** für Säugetieren, Vögeln, Reptilien, Amphibien und räuberischen Wirbellose, **wertvolles Refugium für viele seltener werdende oder bedrohte Arten** inmitten einer meist intensiv bewirtschafteten **Agrarlandschaft** dar (BNE, 2021).
- PV-FFA können Netzwerk **Natura 2000 stärken** und biologische Vielfalt und **Ökosystemleistungen verbessern** (Habitat-Richtlinie 92/43/EWG und Richtlinie 2009/147/EG; Semeraro, et al., 2020).

# PV-FFA und Boden

---

- **PV-FFA +** - **Bodentemperatur und -feuchtigkeit** (Adeh et al. 2018; Marrou et al. 2013; Makaronidou 2020, Schindler et al. 2018)
- **PV-FFA +** - mit Vegetationsdecke aus Gräsern, Sträuchern und Blühpflanzen,  
    ↑ **Bodengesundheit**  
    ↓ **,run-off', Vorbeugung Bodenerosion** (Li et al. 2007, Bartley et al. 2014; Beatty et al. 2017; Uldrijan et al., 2021)
- **PV-FFA +** - Umwandlung von Acker in naturnahes Grünland: **CO<sub>2</sub> Speicherung** ↑ **um 65 %**  
(Walston, et al., 2021), aber nicht immer (Choi, et al., 2020)
- **PV-FFA** - **Eingriff in Boden und Grundwasser meist gering** (Baden-Württemberg Umweltministerium, 2019)
- **PV-FFA** - **Wasserhaushalt**; möglich in Wasserschutz-zonen III und II (Badelt et al. 2020, Ebert & Müller 2011)

# PV-FFA und Mikroklima

---

- **PV-FFA +**
  - «**Cooling-Effekt**» der Lufttemperatur, höhere Luftfeuchtigkeit
  - **Habitat**-Heterogenität zugunsten von Fauna und Flora (Beatty et al., 2017; Adeg et al., 2018)
- **PV-FFA**
  - **lokale Wärmeerzeugung** wie 20 % Albedo (Vergleich: **grünes Gras 26 %**)  
(Umweltschutzamt, o. J.). **Wärmespeicherkapazität** geringer als Betonwand (Wirth, 2022).

# Ergebnisse zu Naturverträglichkeit aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Studien

- Positive Auswirkungen auf Schutzgüter: Natur- und Wasserhaushalt, Biodiversität, Boden
- Keine negativen Auswirkungen von PV-FFA festgestellt
- **Grünland:** Wassernutzungseffizienz ↑ 328%, Ertrag ↑ 90%, C-Speicherung ↑, zusätzl. Lebensräume für bedrohte Arten ↑
- Neue Technologien und Designs
- Frage: was ist die Referenzfläche für APV Anlage? .....Mais, Raps.....
- Landwirtschaftsklausel (!) Privilegierung der Lawi im Naturschutzrecht besteht (!)
- Auflagen.....Blühstreifen, Gehölzhecken, Integration, etc.

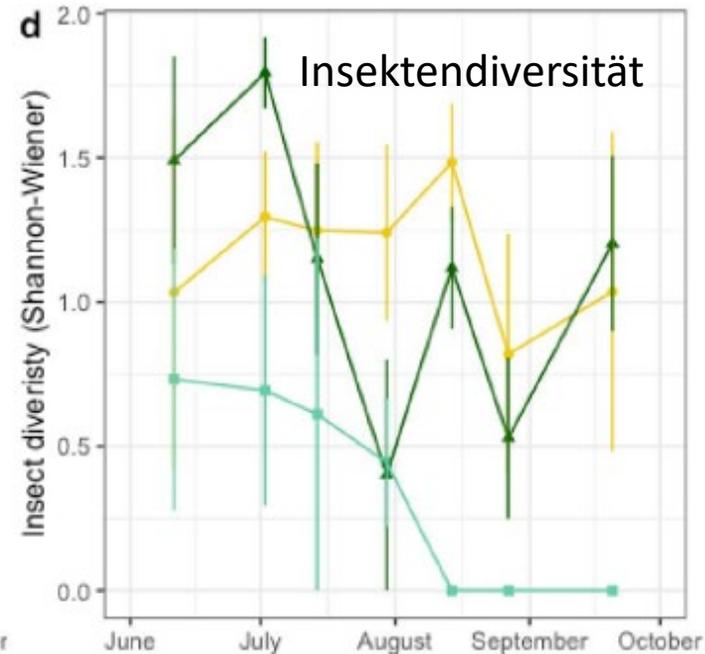
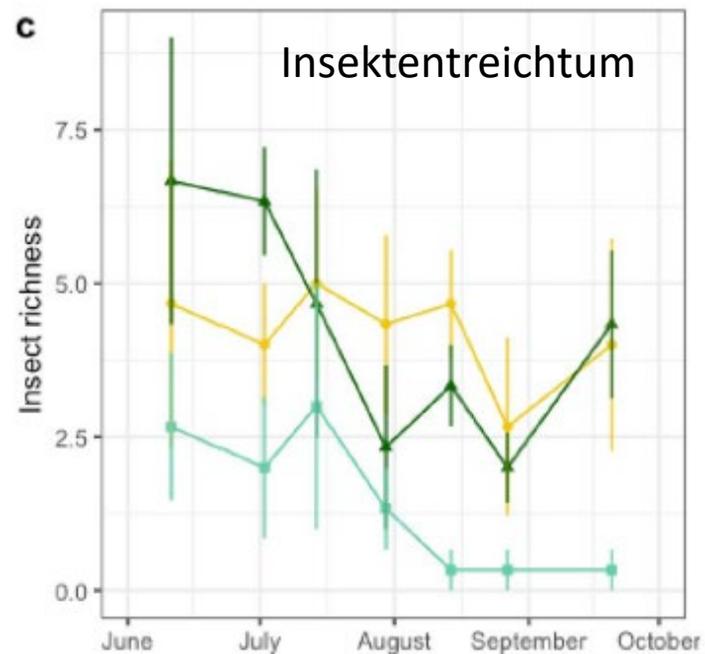
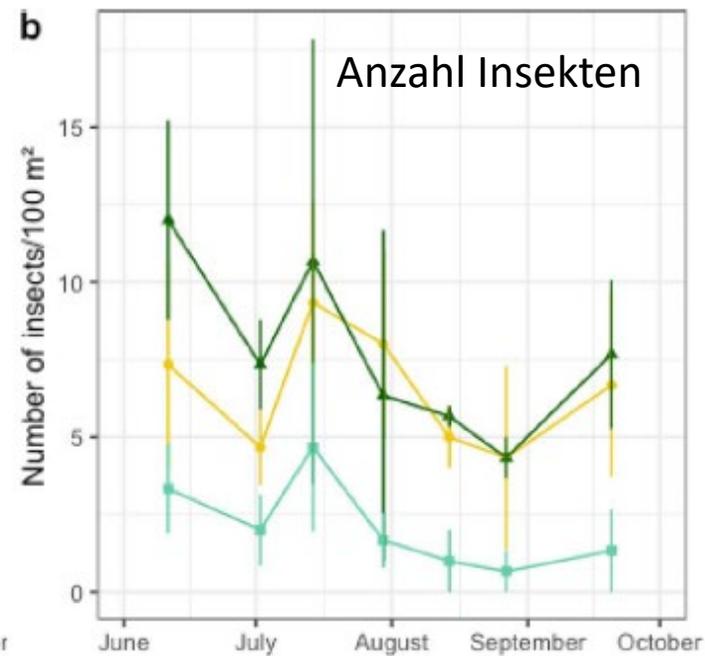
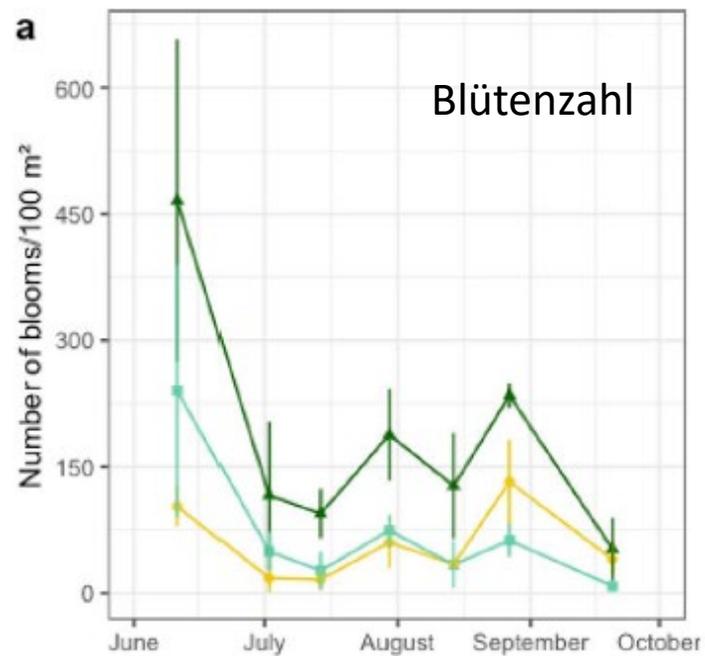
s. Studie Wydra et al. 2022:  
u.a. Turney & Fthenakis 2011, Ressar 2020,  
Badelt et al. 2020, Semeraro et al. 2020,  
etc.etc.

# Umweltauswirkungen von PV-FFA

---

- Vergleich von **PV-FFA** mit der **traditionellen Stromerzeugung**:
  - 22 von 32 Auswirkungen - positiv, 4 – neutral, 6 - weitere Untersuchungen
  - **Keine der Auswirkungen negativ** (Turney & Fthenakis, 2011)
- **Natur- und Umweltschutzorganisationen** (DNR, DUH, WWF, Germanwatch, Greenpeace, 2021):
  - *„Solar-Freiflächenanlagen leisten bei guter Umsetzung einen wichtigen Beitrag zum Natur- und Artenschutz. .... Win-Win für den Klima- und Naturschutz ...“*
- **Solarparks** können so konzipiert werden, dass sie **Biodiversität und Bodenschutz** verbessern (Nordberg et al. 2021)
- *„Ertragsarme Agrarflächen, auf denen regelmäßig Energiepflanzen wie Mais und Getreide in Monokultur angebaut werden, wären künftig für Solar-Freiflächenanlagen mit **hohem Mehrwert für den Arten- und Naturschutz** nutzbar.....mehr **Lebensraum für Pflanzen und Tiere ...“*** (März & Schünemann, 2021)
- Nach besonderer Abwägung/Einzelfallprüfung sollen **Landschaftsschutzgebiete, Vogelschutzgebiete** (z.B. intensiv genutzte Ackerflächen), Entwicklungszonen der **Biosphärenreservate**, ökologische **Korridore/Wildtierkorridore, Renaturierungsflächen, unzerschnittene störungsarme Räume, .... für PV-FFA geeignet** sein

# APV und Biodiversität



- volle Sonne
- Partieller Schatten
- voller Schatten

# Parameter der beispielhaften APV-Anlage auf einem Hektar Fläche

1. PV-Anlagendimensionierung		
Anlagenleistung	700	kWp
Ertrag	770.000	kWh/a
spezifische Stromerzeugung	1.100	kWh/kWp
prozentualer Anteil Netzeinspeisung	0	%
prozentualer Anteil Eigenverbrauch	100	%
Anlagenfläche	10.000	m <sup>2</sup>
Anlagenfläche [ha]	1	ha
2. Investitionskosten		
spezifische Investitionskosten	819	€/kWp
<b>Investitionssumme</b>	<b>573.500</b>	<b>€</b>
Kalkulationszins	5	%
Preissteigerung / Jahr	2	%
korrigierter Zinsfaktor	0,02941	%
Annuitätenfaktor	0,05705	%/a
Nutzungsdauer	25	a
Annuität & Kapitaldienst	32.719,39	€/a
3. Erlöse		
Aktueller Strompreis Netto (gewerblich)	15,00	ct/kWh
Kosteneinsparung Eigenverbrauch	T €/a	115,50
<b>Summe Erlöse</b>	<b>T€/a</b>	<b>115,50</b>

Berechnung leicht-aufgeständerte APV-Anlage	Einheit	
<b>Investition</b>		
Investitionskosten gesamt	T€	574
Tilgungs-/Abschreibungsdauer	a	25
Kalkulationszins	%/a	5
Preissteigerungsrate	%/a	2
Annuitätenfaktor		0,0571
jährlicher Kapitaldienst	T€/a	32,72
<b>technische Daten der Anlage</b>		
Anlagenleistung	kWp	700
spezifische Stromerzeugung pro Jahr	kWh/kWp	1.100
absolute Stromerzeugung pro Jahr	MWh/a	770
prozentualer Anteil Netzeinspeisung	%	0
Netzeinspeisung	MWh/a	0
prozentualer Anteil Eigenverbrauch	%	100
Eigenverbrauch	MWh/a	770
<b>Betriebskosten</b>		
Versicherungen	T€/a	1,40
Wartung, Reparaturen	T€/a	1,19
kaufmännische Betriebsführung	T€/a	3,85
Reserve	T€/a	0,70
Sicherheitsüberwachung	T€/a	1,008
Monitoring	T €/a	1,68
Instandhaltung, Flächenpflege	T €/a	0,056
Inflation	T €/a	0,014
Verwaltungskosten	T €/a	1,40
Sonstiges	T €/a	0,77
Reinigung	T €/a	0
Flächenpacht	T €/a	0
<b>OPEX</b>	<b>T€/a</b>	<b>12,068</b>
<b>Erlöse</b>		
Strombezugskosten Netto	ct/kWh	15,00
Kosteneinsparung Eigenverbrauch	T €/a	115,50
<b>Summe Erlöse</b>	<b>T€/a</b>	<b>115,50</b>
<b>Wirtschaftlichkeit</b>		
Einsparungen / Verlust	T €/a	<b>70,713</b>
ROI statisch	a	5,54
Stromgestehungskosten	ct/kWh	5,82
Rendite	%/a	3,53

Berechnungs-  
grundlage einer  
beispielhaften  
APV-Anlage auf  
einem Hektar

# Erhalt von Ackerland - Effizienz der Flächennutzung zur Stromproduktion

## Verlust von Ackerland für Energieproduktion

zB Energiemenge aus 201 ha:

- Energie aus Biogas	201 ha	<u>Energiepflanzen belegen ein Fünftel des dt. Ackerlandes</u>
- Energie aus PV-FFA	3,1 ha	<b>= 2,2 bis 2,5 Mio ha</b>
- APV vertical	0,9 ha	
- APV horizontal	0,4 ha	
- APV 2D tracking	0,6 ha	

# Potential Agri-Photovoltaik in Thüringen

---

## Ackerland + Dauerkulturen

abz. 0,2% in Naturschutzgebieten: **605.153 ha mit 424 GWp** (mit 700 kWp/ha\*)

**Grünland:** **168.399 ha mit 67 GWp** (mit 395 kWp/ha\*\*)

## Summe

### Ackerland + Dauerkulturen

**und Grünland:** **773.552 ha mit 491 GWp**

\* 500 bis 800 kWp/ha (Trommsdorff et al. 2022), bei ‚Tracking‘ Anlagen höher; \*\* Next2Sun GmbH, 2021.

- Dem steht ein **Bedarf von 5 GW bis 2030 und 14 GW bis 2040** in Thüringen gegenüber.
- Große Einschränkungen in der Nutzung dieses Potentials: fehlende Netzeinspeisepunkte
- Schleppende und hemmende Genehmigungsverfahren

# Flächenbedarf D / Europa / Welt für Stromerzeugung mit APV

Wenn Ausbau PV-FFA durch **Agri-PV** ersetzt, könnten bis 2040 **60,000 ha landwirtschaftliche Nutzfläche** (= Anbaufläche für Obst in 2019) erhalten werden

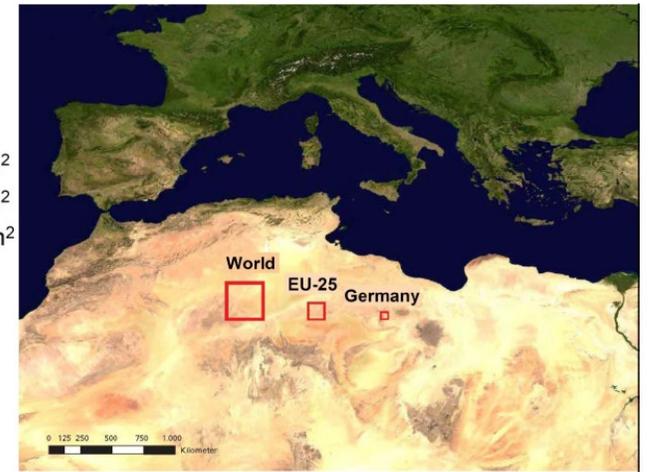
= **81,3 GWp** Agri-PV Leistung

APV:

Auf ca. **4% der landwirtschaftlichen Flächen** in Deutschland könnte der derzeitige **gesamte, aktuelle Strombedarf** (Endenergie, ca. 500 GWp installierte Leistung) gedeckt werden

Der **gesamte Energiebedarf der Menschheit** könnte mit **APV auf knapp 1 % der Ackerfläche** gedeckt werden (Schlegel, 2021)

World 300 x 300 km<sup>2</sup>  
EU-25 150 x 150 km<sup>2</sup>  
Germany 50 x 50 km<sup>2</sup>  
Elektr.bedarf



# Erhalt von Ackerland....

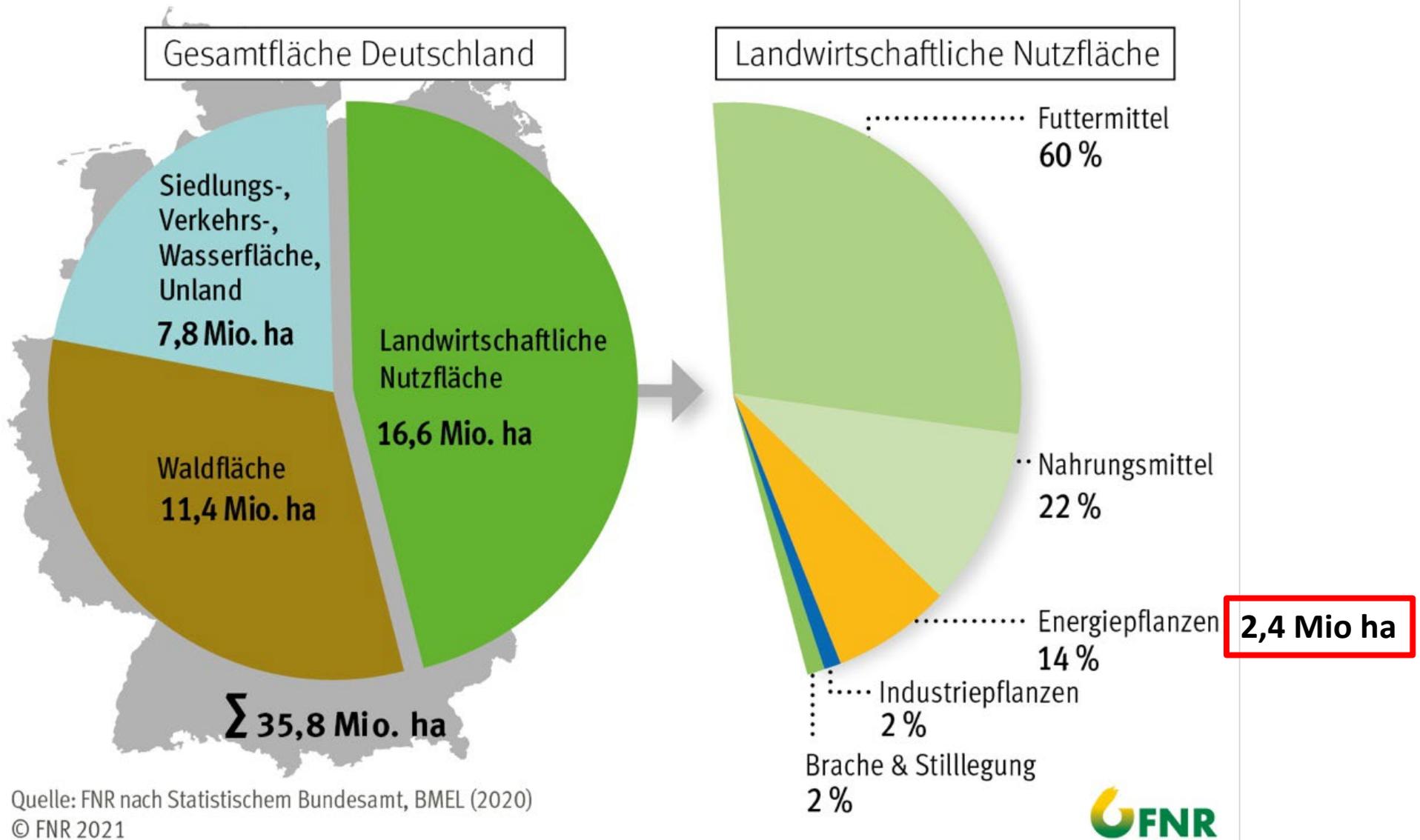
---

## Projektion

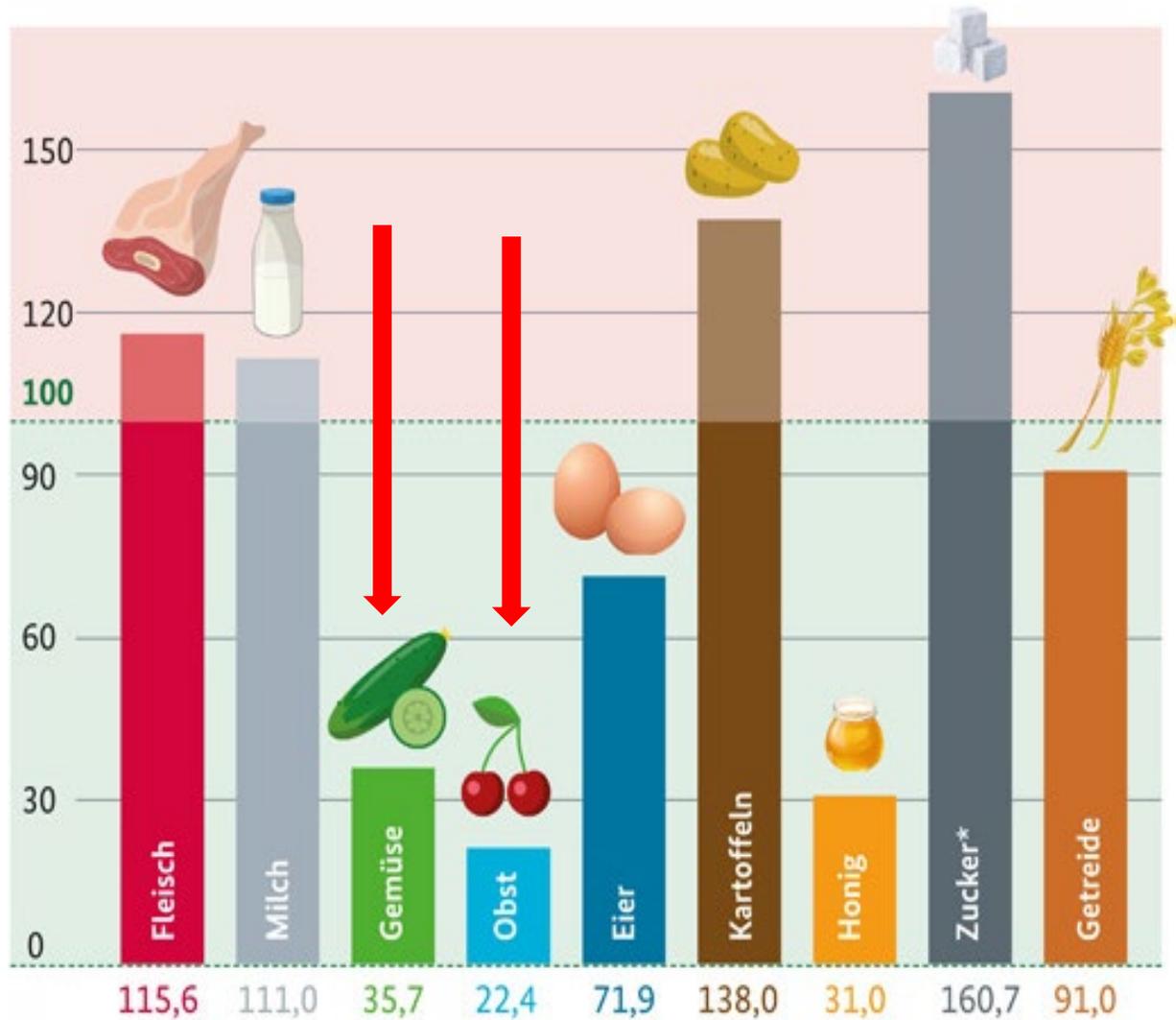
Gesamte zu **erwartende Agrarflächeninanspruchnahme** zwischen 2021-2050 aufgrund von **Gewerbe-, Wohnraum-, Freizeit- und Verkehrsflächenausweisung sowie des PV-FFA-Ausbaus** auf Agrarflächen entspricht **325,027 Hektar**, wovon **30 % auf die PV-FFA** entfallen und 70% auf Baumaßnahmen wie Gewerbe- oder Wohnflächen.

Ziel Flächenversiegelung bis 2050: Null

# Flächennutzung in Deutschland 2020



# Selbstversorgungsgrad mit Obst und Gemüse in D (2018)

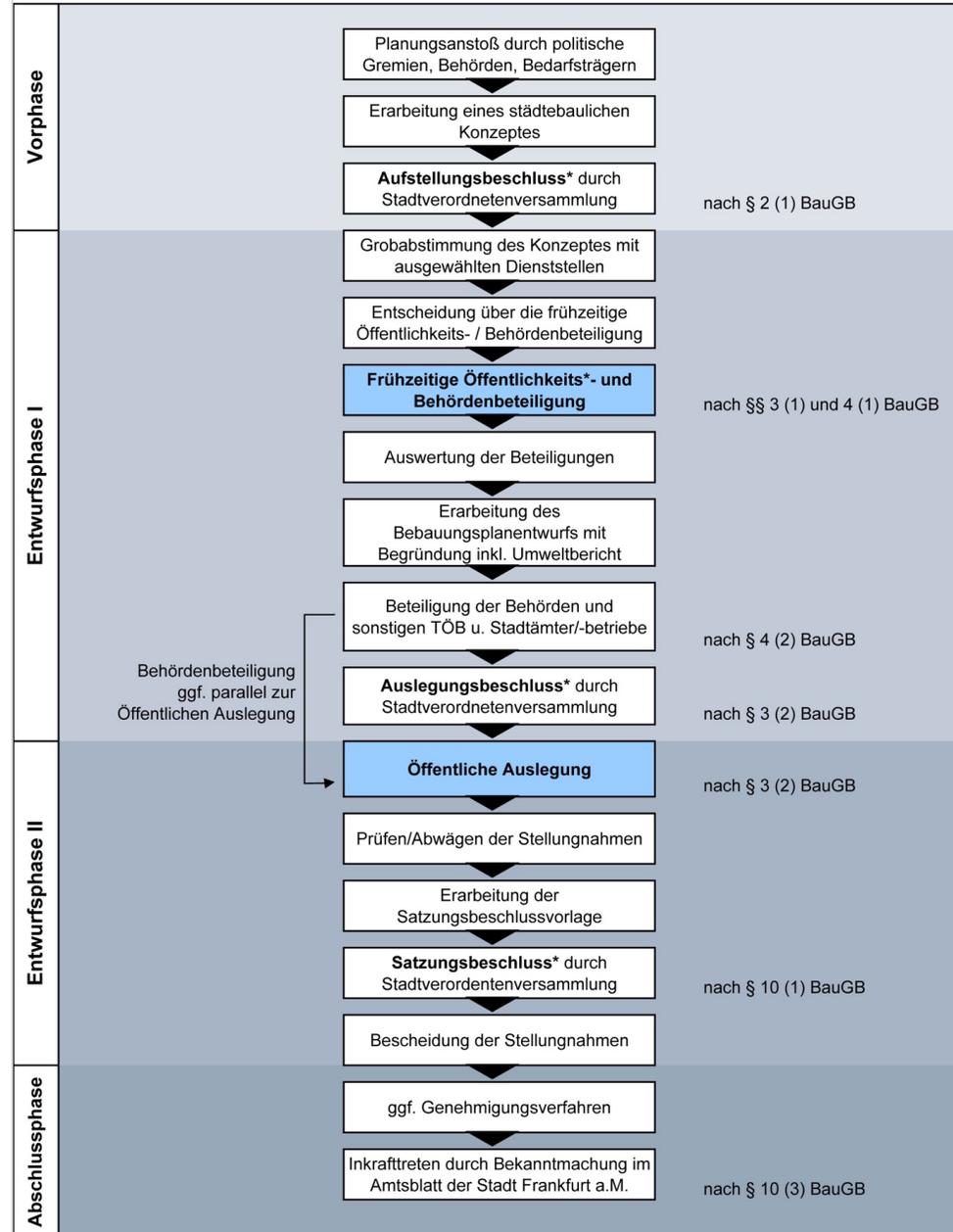


- weit unter 40 %
- Potential zur Erweiterung der Produktion
- ‚geschützte‘ Produktion unter APV

\* Angabe für 2017

# Das Bebauungsplanverfahren

(Ablauf Regelverfahren)



\* Die gekennzeichneten Arbeitsschritte werden öffentlich bekanntgegeben (Bekanntmachung im Amtsblatt der Stadt Frankfurt am Main).